



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO



Logistyka

Skrypt dla studentów studiów niestacjonarnych

Rok III

redakcja

Agnieszka Szymankowska

Konin 2026

Tytuł
Logistyka
Skrypt dla studentów studiów niestacjonarnych
Rok III

Redakcja naukowa
Agnieszka Szymankowska

Autorzy
Robert Cieślak
Waldemar Gulczyński
Błażej Kuras
Robert Rogaczewski

Projekt pn.
„Rozwój studiów o profilu praktycznym i form kształcenia ustawicznego
dostosowanych do potrzeb Wielkopolski Wschodniej”,
realizowany przez Akademię Nauk Stosowanych w Koninie,
jest współfinansowany przez Unię Europejską
ze środków Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Wielkopolski 2021-2027



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO



Wydawca
Akademia Nauk Stosowanych w Koninie
ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin



Spis treści

Rozdział 1. Projektowanie procesów logistycznych w logistyce	<i>Robert Cieślak</i>	4
Rozdział 2. Technologie transportu wewnętrznego	<i>Robert Rogaczewski</i>	31
Rozdział 3. Opakowania i jednostki ładunkowe	<i>Waldemar Gulczyński</i>	62
Rozdział 4. Technologie identyfikacji i kompletacji	<i>Robert Rogaczewski</i>	112
Rozdział 5. Lean Management	<i>Błażej Kuras</i>	141



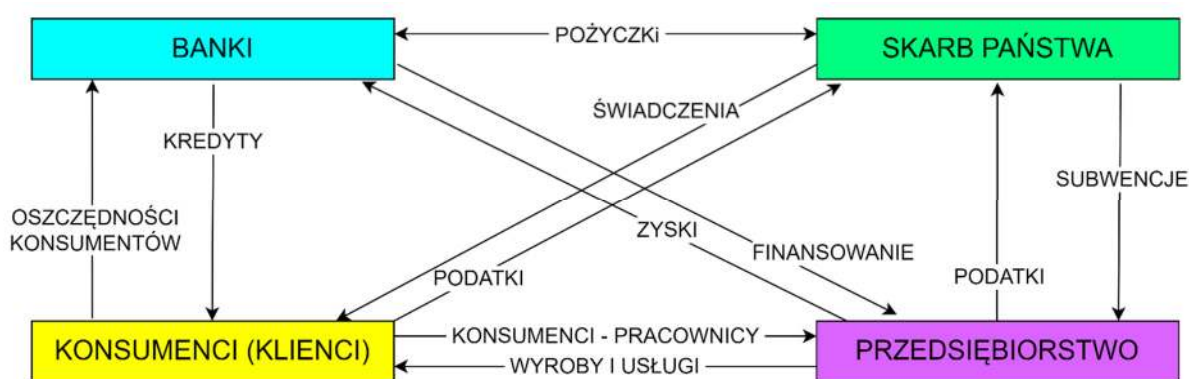
Rozdział 1

Projektowanie procesów logistycznych w logistyce

Robert Cieślak

Wstęp (Zagadnienia teoretyczne z przykładami)

Źródłem postępu w każdej dziedzinie naszego życia jest zapotrzebowanie na różne produkty i rozwiązania organizacyjne, których celem było i jest ułatwienie egzystencji. W ciągu wieków potrzeby ludzi się zmieniały. Przykładowo, kiedyś, aby zachować dla potomnych swoją wiedzę i doświadczenie, człowiek zapisywał informacje na glinianych tabliczkach, potem wynaleziono papier i sposób drukowania znaków, a współcześnie coraz większego znaczenia nabierają inne środki gromadzenia informacji. Dawniej na traktach królował dyliżans, który ułatwiał podróż między odległymi miastami i w owym czasie był to niezwykle dogodny środek komunikacji. Teraz pewnie trudno byłoby kogoś namówić na taką podróż. Podobnych przykładów każdy z nas może przytoczyć znacznie więcej. Wszystkie potwierdzają jednak przedstawione wyżej sformułowanie, że aby pojawiło się rozwiązanie - musi istnieć zapotrzebowanie. Pojawiają się klienci, którzy chcą kupić określony produkt, a skoro tak, to pojawiają również producenci, którzy wytwarzają ten produkt. Powstaje więc **system gospodarczy**, który stanowi podstawę gospodarczą każdego państwa (rys. 1.1.).



Rys. 1.1. System gospodarczy (Pająk E. *Zarządzanie produkcją*, PWN, Warszawa 2006)

Podstawą każdego systemu gospodarczego są przedsiębiorstwa - producenci określonego wyrobu lub usługi oraz nabywcy - czyli klienci. Ci ostatni występują w podwójnej



roli. Z jednej strony są pracownikami przedsiębiorstw, a z drugiej ich klientami. Z konsumentami i przedsiębiorstwami w systemie gospodarczym współpracują banki i skarbie państwa, a powiązania, jakie występują między tymi elementami systemu gospodarczego, ilustruje rysunek 1.1.

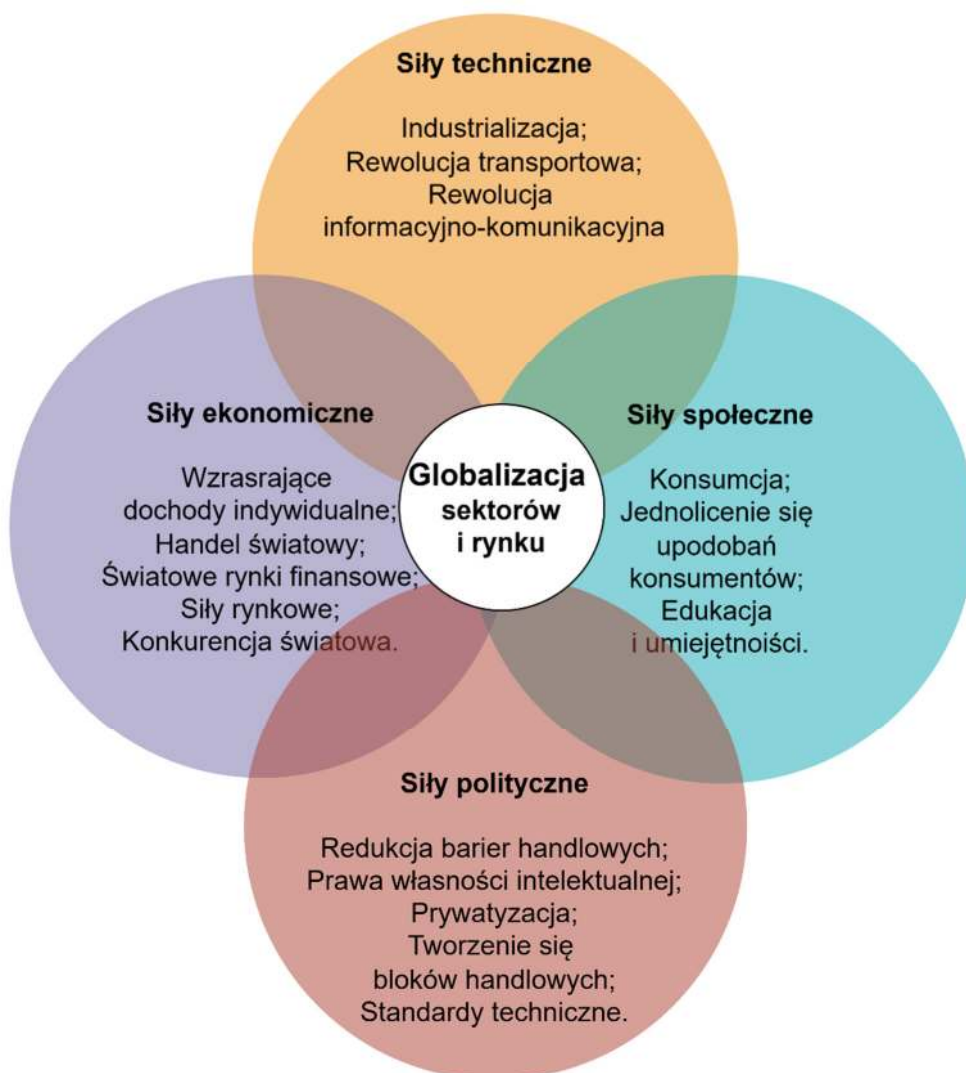
System to byt przejawiający swe istnienie przez synergiczne współdziałanie swych elementów, a teoria i inżynieria systemów to zbitka słowna dwu pojęć, teorii systemów i inżynierii systemów.

Prawidłowe działanie systemu gospodarczego jest podstawą działania każdego państwa na świecie. Wystarczy, że jeden z elementów (filarów tego systemu) będzie niesprawny, a stabilność całego systemu ulegnie zachwianiu. Przykładowo, nie tak dawno w jednym z krajów nastąpiła destabilizacja w działaniu sektora bankowego. Skutkowało to, między innymi, brakiem możliwości pobrania przez konsumentów swoich oszczędności lokowanych w bankach, ograniczeniem zakupu wyrobów i usług przez konsumentów, a zatem przedsiębiorstwa osiągały mniejsze dochody. W związku z tym odprowadzały do skarbu państwa mniejsze podatki, a to stwarzało problem wypłaty świadczeń, np. dla emerytów. System gospodarczy przestał być stabilny.

We współczesnym świecie systemy gospodarcze krajów są ze sobą powiązane. Każdy z nas spotkał się z pojęciem globalizacja, a w środkach masowego przekazu pojawia się często stwierdzenie, że cały świat stanowi „globalną wioskę”. Systemy gospodarcze poszczególnych krajów są ze sobą powiązane różnymi relacjami i tworzą światowy system gospodarczy.

Globalizacja to proces występujący w gospodarce światowej, który charakteryzuje się przede wszystkim nasileniem mobilizacji i przepływu dóbr, kapitałów i siły roboczej w skali ogólnoswiatowej, rozwoju transportu, komunikacji, telekomunikacji oraz szybkiego przepływu informacji w mediach. Tej ewolucji gospodarczej towarzyszą przeobrażenia w sferze społecznej, kulturowej, ustrojowej, politycznej, które prowadzą do zbliżenia między państwami, narodami, ludźmi całego świata. Globalizacja ma więc swój wymiar gospodarczy i społeczny, polityczny i kulturowy. Rodzi szanse dla świata, ale także zagrożenia.

Istotnym wskaźnikiem jakości jest właściwy ogląd świata, a zwłaszcza długofalowych trendów kształtujących warunki społeczno-gospodarcze. Mimo że świat się zmienia z dnia na dzień to da się wyodrębnić kilka stabilnych tendencji zilustrowanych częściowo na rys. 1.2.



Rys. 1.2. Ilustracja światowych tendencji globalizacji (Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów*, skrypt elektroniczny, neur.am.put.poznan.pl, 1999, s. 13)

Elementem każdego systemu gospodarczego jest przedsiębiorstwo (rys. 1.1), a jego podstawowym celem jest wytwarzanie dóbr (przedsiębiorstwa produkcyjne) lub świadczenie usług dla konsumentów (przedsiębiorstwa usługowe). Oczywiście mogą istnieć także przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowe, które zajmują się jednym i drugim rodzajem działalności, a więc produkcją dóbr i usług.

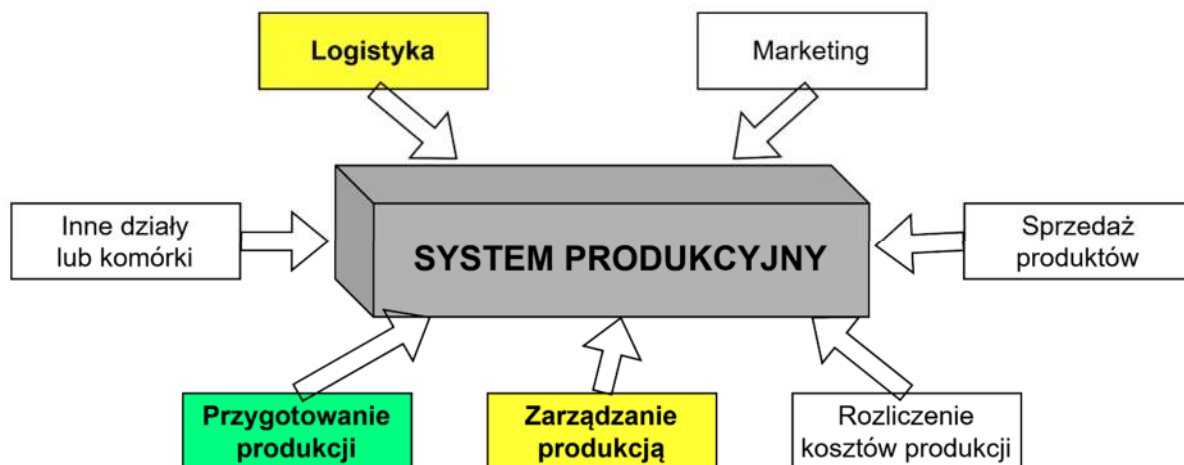
Aby zdobyć na rynku określoną markę, potrzeba jednak czasu i ogromnego wysiłku całego przedsiębiorstwa, a przede wszystkim jego kadry. Aby przedsiębiorstwo działało skutecznie na rynku (szczególnie globalnym - światowym rynku), musi być odpowiednio zorganizowane.



Nie wystarczy, że zakupione zostaną tylko odpowiednie urządzenia technologiczne i zatrudnieni pracownicy. W strukturze każdego przedsiębiorstwa bardzo ważną rolę odgrywa system lub systemy produkcyjne bądź też systemy usługowe - jeśli przedsiębiorstwo ma charakter usługowy.

System produkcyjny (lub usługowy) zdefiniować można jako układ materialny, energetyczny i informacyjny, eksploatowany przez człowieka i służący wytwarzaniu określonych produktów w celu zaspokojenia potrzeb klientów.

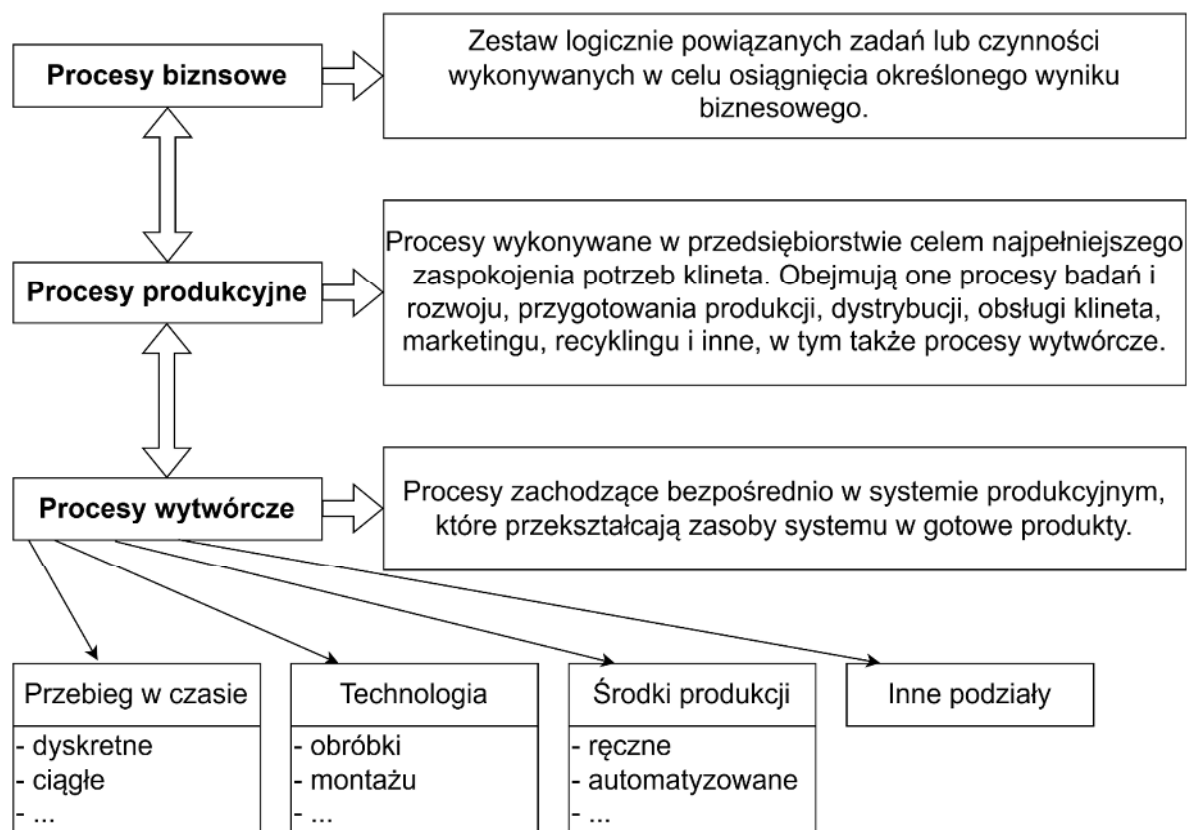
Przykładowe działanie systemu przedstawiono na rys. 1.3.



Rys. 1.3. Przykładowe działy przedsiębiorstwa pracujące na rzecz systemu produkcyjnego - kolorem zielonym zaznaczone są te działy, w których najczęściej zatrudniani są inżynierowie (Pająk E. *Zarządzanie produkcją*, PWN, Warszawa 2006, s. 15)

1.1. Procesy w przedsiębiorstwach

Działanie każdego przedsiębiorstwa to realizacja szeregu różnych procesów, w których jego pracownicy wykonują poszczególne działania. Procesy te umownie podzielić można na następujące grupy: procesy biznesowe, produkcyjne i twórcze (rys. 1.4).



Rys. 1.4. Procesy realizowane w przedsiębiorstwie (Pająk E. *Zasady i metody oszczędnego wytwarzania*, PWSZ w Koninie, Konin 2013, s.19)

Z punktu widzenia działalności inżynierów, szczególnie istotne są procesy produkcyjne i wytwórcze (w literaturze można się też spotkać z nazwą „procesy wytwarzania”)¹.

Proces produkcyjny obejmuje wszystkie działania, mające na celu wytworzenie określonych wyrobów w danym zakładzie.

Współczesne zakłady produkujące maszyny są jednostkami złożonymi pod względem gospodarczym i organizacyjnym. Procesy produkcyjne mogą obejmować:

- wytworzenie półfabrykatów,
- obróbkę poszczególnych części,
- kontrolę jakości,
- transport międzyoperacyjny,
- montaż,
- konserwację,

¹ Pająk E. *Zarządzanie produkcją*, PWN, Warszawa 2006, s.17.



- magazynowanie.

Do procesu produkcyjnego zalicza się także zaopatrzenie stanowisk roboczych w energię, smary, usuwanie odpadów itp. Nie należą natomiast do niego czynności związane z wytwarzaniem energii (nawet wtedy, gdy zakład ma własną siłownię), ogrzewaniem hal, przeróbką odpadów.

Proces produkcyjny w zakładzie budowy maszyn można rozpatrywać w odniesieniu do całego zakładu, tzn. począwszy od wydziałów, gdzie wykonuje się półfabrykaty, tj. odlewni lub kuźni, przez obróbkę mechaniczną i montaż, stanowiska kontroli technicznej, aż do ekspedycji. Wtedy jednak zagadnienie takie staje się bardzo złożone. Najczęściej analizuje się procesy produkcyjne odcinkowo, w odniesieniu do dużych wydziałów, np. odlewni, kuźni, obróbki skrawaniem itp.

Do podstawowych czynności występujących w każdym procesie produkcyjnym należą te czynności, które są bezpośrednio związane ze zmianą kształtu, wymiarów, jakości powierzchni, własności fizyko-chemicznych poszczególnych części, bądź łączeniem ich w zespół (zwany maszyną lub urządzeniem), a które ogólnie nazywamy **procesem technologicznym**. Proces ten ujmuje dwie zasadniczo różniące się fazy produkcji, to jest kształtowanie (produkcję z surowców i materiałów) części maszyn i ich montaż.

Z tych też względów wygodniej jest operować pojęciami bliżej charakteryzującymi te fazy, a mianowicie **procesem technologicznym obróbki i procesem technologicznym montażu**.

Główna komórka organizacyjna zakładu produkującego maszyny, w której przebiega proces technologiczny montażu, zwana najczęściej wydziałem (lub oddziałem) montażowym, jest odbiorcą wszystkich elementów wchodzących w skład wyrobu oraz wytwórcą wyrobu końcowego. Z tych to względów wydział ten w porównaniu z innymi wydziałami zakładu spełnia specjalną rolę, a przede wszystkim rolę koordynacyjną i dyspozytorską. W szczególności wydział montażowy nadaje rytm pracy całemu zakładowi, a m.in. określa wymagania jakościowe wykonania wszystkich części i zespołów, zamyka cykl produkcyjny wyrobów, określa terminy wykonania poszczególnych faz procesu produkcyjnego, kierunki i terminy dostaw materiałów produkcyjnych, części i zespołów. W ten sposób wydział montażowy, a zwłaszcza proces technologiczny montażu spełnia rolę kontroli ostatecznej, pozwalając wykryć nie tylko niedokładności konstrukcyjne i technologiczne poprzedzających faz produkcji, ale również niedokładności organizacyjne.



Proces technologiczny montażu jest oczywistym etapem procesu produkcyjnego i ma określone znaczenie dla całej produkcji zakładu. Rozpatrując proces technologiczny montażu na tle procesów wykonania części, należy stwierdzić, że żadna z własności uzyskanych poprzednio nie ulega zmianie w procesie montażu. Z drugiej strony nie można uważać procesu technologicznego montażu (co ogólnie powtarza się w spotykanych definicjach montażu lub procesu technologicznego montażu) za zbiór czynności mających na celu wzajemne ustalenie i zamocowanie poszczególnych części, gdyż w takim ujęciu trudno jest dostrzec istotę procesu montażu, o której już poprzednio wspomniano. Potwierdzeniem tego jest znany fakt decydującego wpływu procesu montażu na jakość maszyny, gdyż nieodpowiedni montaż może, mimo dobrze wykonanych części, doprowadzić do szybkiego zużycia maszyny, nie mówiąc już o niewłaściwym jej funkcjonowaniu. Dowodzi to, że proces technologiczny montażu jest jednym z ogniw wszystkich procesów technologicznych (poczynając od metalurgicznego) mających na celu wytworzenie maszyny.

1.2. Rodzaje produkcji

Niezbędnym czynnikiem dla technologa do opracowania procesu technologicznego jest wielkość produkcji na poszczególne lata lub na określoną jednostkę czasu. Do charakterystyki wielkości produkcji przyjmuje się najczęściej jeden rok. Z reguły całkowitą wielkość produkcji rozбивa się na serie produkcyjne i dla nich opracowuje się proces technologiczny. Wielkość serii jest czynnikiem najbardziej wpływającym na opracowanie procesu.

Rozróżnia się pięć rodzajów produkcji: jednostkową, małoseryjną, seryjną, wielkoseryjną i masową.

Ustalenie rodzaju produkcji zależy zarówno od wielkości produkcji, jak i jej charakteru. Orientacyjną wielkość różnych rodzajów produkcji podano w tabl. 1.1.

Tab. 1.1. Orientacyjne wielkości różnych rodzajów produkcji

Rodzaj produkcji	Roczny program produkcyjny		
	Wyroby A	Wyroby B	Wyroby C
Jednostkowa	do 5	do 10	do 100
Małoseryjna	5-100	10-200	100-500
Seryjna	100-300	200-500	500-5000
Wielkoseryjna	300-1000	500-5000	5000-50000
Masowa	ponad 1000	ponad 5000	ponad 50000



Oznaczenia:

Wyroby A – elementy ciężkie, o dużych gabarytach, znacznej pracochłonności i ciężarze ponad 300[N]

Wyroby B – elementy o średnich wymiarach i pracochłonności oraz ciężarze od 80-300[N]

Wyroby C – elementy małe, lekkie, o niewielkiej pracochłonności i ciężarze do 80[N]

Źródło: Feld M., *Podstawy projektowania*, s. 30, za Łabędz J., *Podstawy projektowania*, s. 12

1.3. Formy organizacyjne produkcji

Forma organizacji produkcji (dotyczy ona zarówno procesu technologicznego obróbki i montażu) określa sposób przepływu materiału między poszczególnymi stanowiskami roboczymi.

Zadanie określenia formy organizacyjnej produkcji polega na dobraniu i ustaleniu opłacalnych i korzystnych metod współdziałania elementów procesu wytwórczego (środków technicznych, przedmiotu pracy i siły roboczej), odpowiednich do obiektywnych wymagań procesu (proporcjonalność, równoległość, ciągłość, rytm), ustalonych wg zasad przestrzennej i czasowej struktury procesu technologicznego.

Dobór form organizacyjnych nie może się odbywać w sposób dowolny, lecz powinien przebiegać z uwzględnieniem wymagań ekonomicznych i technicznych.

Wybór form organizacyjnych powinien być dokonywany w oparciu o warianty projektowania tzn. z szeregu możliwych odmian należy na podstawie porównania techniczno-ekonomicznego wybrać optymalną formę organizacyjną produkcji.

Rozmieszczenie urządzeń w elastycznych systemach wytwarzania jest zdeterminowane przez strukturę systemów wytwarzania, którą tworzy sieć powiązań między elementami (podsystemami) systemu, związanych z przepływem strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych. Z punktu widzenia sposobu rozmieszczenia urządzeń podstawowe znaczenie ma przepływ obrabianych przedmiotów lub nośników przedmiotów, w mniejszym stopniu przepływ pomocy warsztatowych. W każdym systemie przepływu strumieni materiałowych występują funkcje magazynowania, transportu i manipulacji. Urządzenia realizujące te funkcje fizycznie integrują stanowiska technologiczne i inne urządzenia pomocnicze. Powiązania stanowisk wyznaczone przez sposób ich rozmieszczenia tworzą strukturę przestrzenną systemu produkcyjnego. Głównymi czynnikami kształtującymi strukturę przestrzenną systemu produkcyjnego są:

- przebieg procesu wytwarzania (marszruty technologiczne),
- stopień integracji systemu wytwarzania.



Rozróżnia się następujące formy organizacji (struktur) systemów wytwarzania:

- struktury skoncentrowane,
- struktury zwarte (gniazdowe),
- struktury liniowe.

Skoncentrowana forma organizacji produkcji charakteryzuje się tym, że wszystkie operacje niezbędne do pełnej obróbki wyrobu są skoncentrowane na jednym stanowisku pracy. W zależności od typu produkcji stanowisko robocze może realizować obróbkę jednego wyrobu lub wielu często zmieniających się wyrobów w zakresie możliwości technologicznych stanowiska. Według zasady koncentracji pracy można tworzyć całe komórki produkcyjne, w tym także całkowicie zautomatyzowane. Przepływ strumienia materiałów obejmuje:

- dostawę półfabrykatów z magazynu zewnętrznego do stacji obróbkowej,
- magazynowanie półfabrykatów w magazynach buforowych,
- podanie i mocowanie półfabrykatu na stanowisku obróbkowym (obrabiарce, centrum),
- obróbkę przedmiotu,
- zdjęcie obrobionej części ze stanowiska obróbkowego,
- magazynowanie części przy stanowisku,
- transport części do centralnego magazynu, innych stanowisk lub do montażu.

Koncentracja wymienionych funkcji z jednoczesną ich automatyzacją prowadzi do tworzenia autonomicznych stacji obróbkowych, jako formy zintegrowanych systemów wytwarzania.

Gniazdowa forma organizacji jest wynikiem przedmiotowej specjalizacji systemu produkcyjnego. Produkowane wyroby wykazują podobieństwo technologiczne. Asortyment produkowanych w gnieździe wyrobów jest szeroki - może być produkowanych jednocześnie wiele różnych wyrobów. Gniazdowa forma organizacji może mieć postać:

- gniazd technologicznych - w których grupowane są urządzenia technologiczne według swojego przeznaczenia (gniazda tokarek, frezarek, szlifierek itp.),
- gniazd przedmiotowych - w których grupowane są urządzenia pozwalające na wytwarzanie części określonej klasy (gniazdo korpusów, wałków itp.).

W strukturze gniazd technologicznych najczęściej stosowane są następujące rodzaje rozmieszczenia stanowisk roboczych: funkcjonalny oraz modułowy, natomiast w przypadku gniazd przedmiotowych - rozmieszczenie według faz procesu technologicznego i komórkowego.



Liniowa forma organizacji produkcji odpowiada przedmiotowej specjalizacji systemu wytwarzania. Produkowane wyroby wykazują podobieństwo w odniesieniu do wszystkich lub większości operacji technologicznych, a także ich kolejności. W liniowej formie organizacji produkcji powiązania między elementami systemu wytwarzania, a także sposób ich rozmieszczenia, są zgodne z kolejnością wykonywanych operacji technologicznych. Występuje tu jednokierunkowy przepływ strumienia materiałów, który jest realizowany bezpośrednio między kolejnymi stanowiskami. Z funkcjonalnego punktu widzenia można tu mówić o urzeczywistnieniu zasady następstwa operacji. W liniach produkcyjnych jest wykonywana zawsze wielozabiegowa obróbka przedmiotów i najczęściej są stosowane specjalizowane maszyny technologiczne (obrabiarki), chociaż nie jest to regułą. Dla danej partii produkowanych wyrobów takt linii jest stały. Wymaga to przynajmniej częściowej synchronizacji czasów obróbki na poszczególnych stanowiskach, co gwarantuje równomierne ich obciążenie. Czasami obok stanowisk roboczych tworzy się małe magazyny kompensacyjne, wyrównujące chwilowe różnice w wydajności kolejnych stanowisk i pracowników. Linie produkcyjne są budowane jako:

- jednorzędowe z wydzielonymi stacjami załadunku i rozładunku,
- liniowo-kołowe z centralną stacją załadunkowo-rozładunkową,
- segmentowe z magazynami kompensacyjnymi.

Elastyczność linii produkcyjnych wynika przede wszystkim z łatwości jej przebrojenia do wytwarzania różnych partii wyrobów, łatwości programowania przebiegu pracy oraz możliwości rozbudowy linii przy zachowaniu istniejących stanowisk i dróg przepływu materiałów.

W elastycznych liniach produkcyjnych stanowiska robocze są powiązane z podsystemem transportu w różny sposób:

- przedmioty są dostarczane przez podsystem transportu bezpośrednio do przestrzeni roboczej stanowisk z pominięciem elementów pośredniczących,
- przedmioty ze środka transportu trafiają do magazynu buforowego, skąd następnie są pobierane i podawane na stanowisko,
- przedmioty są podawane ze środka transportu do przestrzeni roboczej stanowiska za pomocą urządzenia manipulacyjnego, np. robota przemysłowego, zmieniacza palet.



1.5. Narzędzia do poprawy procesu produkcyjnego

Podstawowym wyzwaniem współczesnej produkcji jest wytwarzanie wyrobów, które spełniają w maksymalnym możliwym stopniu wymagania funkcjonalne klientów, a ponadto koszty ich produkcji są możliwie najniższe. Spełnienie tych warunków jest kluczowym zadaniem organizacji, a działania związane z osiągnięciem tego celu określane są pojęciem „lean” (pol. szczupły, chudy, oszczędny). W praktyce pojęcie „lean” uzupełniane jest dodatkowym słowem określającym obszar, w którym koncepcja jest stosowana. Tak więc można mówić o „lean manufacturing” w przypadku zarządzania systemem produkcyjnym, „lean management” w przypadku zarządzania przedsiębiorstwem. W odniesieniu do prac administracyjno-biurowych stosowane jest również określenie „lean office”.

Koncepcja lean manufacturing, czyli oszczędnego wytwarzania, jest produkcją umożliwiającą osiągnięcie oszczędności zasobów systemu produkcyjnego (materiałów, pracy ludzkiej, obciążenia środków technicznych itd.), przy jednoczesnym dostarczeniu klientowi dokładnie takiego produktu, jakiego oczekuje. Generalnym założeniem koncepcji „lean” jest eliminacja każdego marnotrawstwa – czyli eliminacja zadań i działań, które wykonywane są przy tworzeniu produktu lub usługi, a które nie dodają wartości temu produktowi lub usłudze. Eliminacja ta możliwa jest przez zastosowanie najczęściej bardzo prostych (często intuicyjnych) narzędzi, którymi „lean” dysponuje, lecz kluczowe dla tej koncepcji jest zaangażowanie wszystkich pracowników organizacji w jej realizację. Przez długi okres właśnie to zaangażowanie, a w zasadzie jego brak, było przyczyną stosunkowo małej popularności koncepcji „lean” w przedsiębiorstwach.

Podstawą koncepcji „lean” jest przede wszystkim likwidacja każdego marnotrawstwa, niezależnie od miejsca jego występowania. Dotyczyć więc może procesów produkcyjnych i wytwórczych – zadań wykonywanych w tych procesach, ale również produktów i funkcji spełnianych przez produkty (przykładowo eliminacja funkcji zbędnych). Może też dotyczyć procesów przygotowania produkcji, a także działań administracyjnych. Wynika to z faktu, że **marnotrawstwo jest wszechobecne** (nie tylko w przedsiębiorstwach, ale również w naszym życiu codziennym), a stwierdzenie jego występowania (czyli zauważenie problemu) może być początkiem jego likwidacji. Zgodnie z koncepcją oszczędnego wytwarzania źródłem marnotrawstwa jest 3M, czyli:

- **muda** – marnotrawstwo w tzw. czystej postaci. Stanowią je procesy czy też ogólniej, działania, które nie powodują przyrostu wartości dodanej.



Charakterystyczne jest jednak to, że wśród działań zaliczonych do tej do tej grupy wyróżnić można dwa rodzaje muda (marnotrawstwa). **Muda pierwszego rodzaju** to działania, które nie przyczyniają się do powstania wartości postrzeganej przez klienta, lecz są niezbędne do właściwego funkcjonowania procesu. **Muda drugiego rodzaju**, to czynności, które nie przyczyniają się do powstania wartości postrzeganej przez klienta, ale możliwe (a nawet konieczne) jest ich natychmiastowe wyeliminowanie;

- **muri** – przeciążenie ludzi i urządzeń technologicznych, które stanowią przyczyny pogorszenia warunków bezpieczeństwa i higieny pracy, pogorszenia jakości produkcji, a także stają się przyczyną awarii urządzeń technologicznych;
- **mura** – nierównomierność pracy (albo stanowiska są zbyt obciążone, albo niedociążone) staje się przyczyną marnotrawstwa wynikającego z magazynowania materiałów lub półwyrobów, a także rezerwy siły roboczej (przestoje pracowników).

Zmniejszenie marnotrawstwa każdego rodzaju (muda, mudi, mura), lub najlepiej jego całkowita likwidacja, **jest w każdym przypadku źródłem obniżenia kosztów** – niezależnie od miejsca, w którym to marnotrawstwo występuje. Taiichi Ohno, jeden z dyrektorów Toyoty, zdefiniował siedem typów marnotrawstwa: nadprodukcja, braki, zbędne zapasy, niewłaściwe procesy wytwórcze, nadmierny transport, przestoje oraz zbędny ruch. W późniejszym czasie J.P. Womack i D.T. Jones dodali jeszcze jeden typ marnotrawstwa: produkcja wyrobów niezgodnych z potrzebami klienta.

1.6. Analiza przykładowego procesu produkcyjnego za pomocą narzędzi Lean Manufacturing

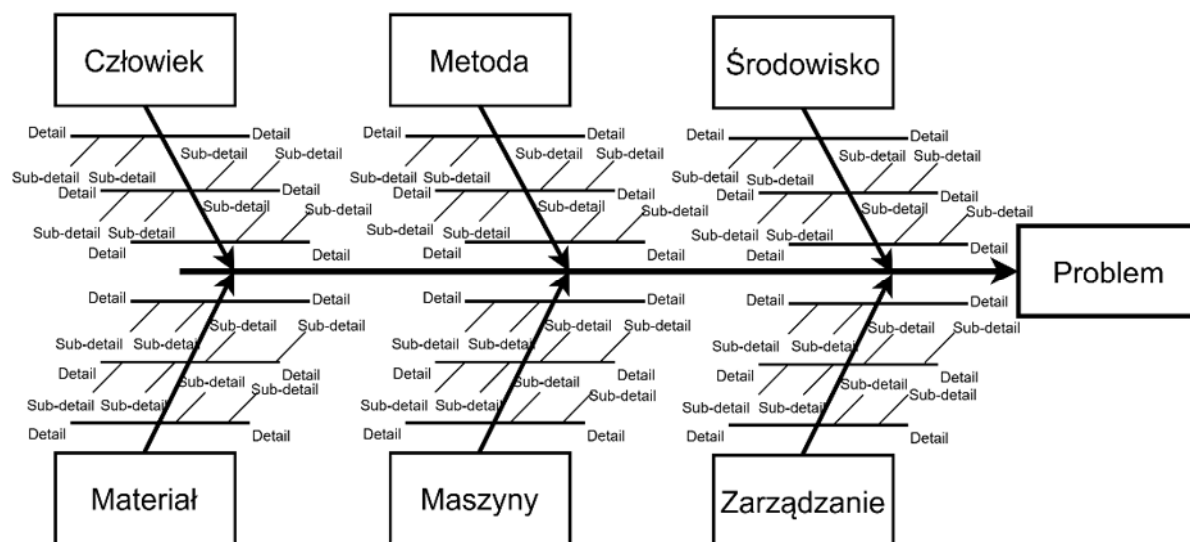
Analiza badawcza została oparta na synergii trzech uznanych metod zarządzania jakością. Pierwszym etapem jest zastosowanie Diagramu Ishikawy w celu wizualizacji struktury problemu. Następnie, dzięki Metodzie ABC, dokonano kategoryzacji czynników pod względem ich wpływu na końcowy wynik. Całość zamyka analiza mocnych i słabych stron, która syntetyzuje uzyskane dane i pozwala na określenie strategicznego położenia badanego podmiotu.



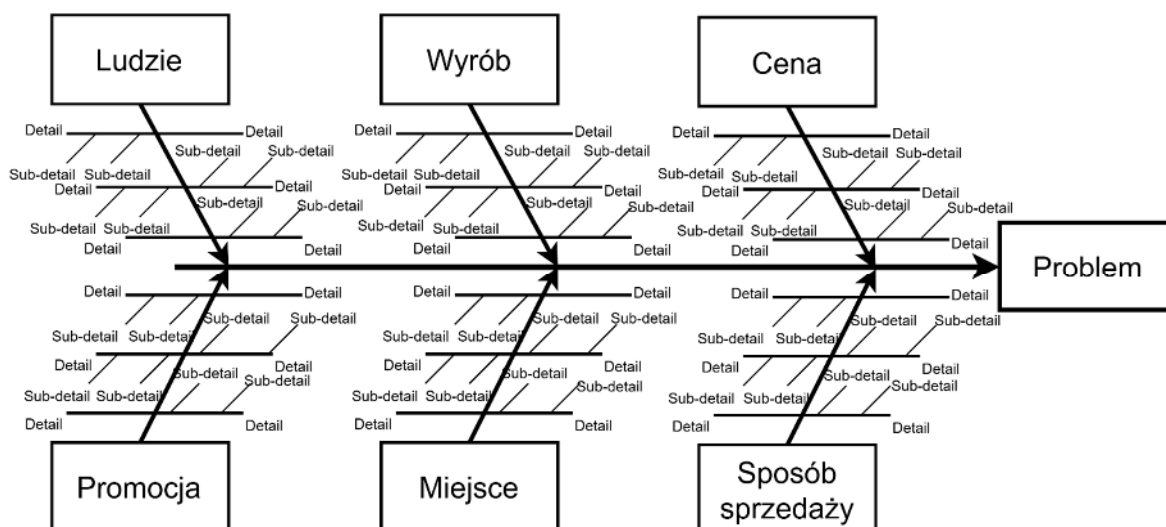
1.7. Diagram Isikawy

Diagram Ishikawy, nazywany również diagramem przyczynowo-skutkowym lub diagramem rybiej ości to jedno z najpowszechniejszych i najbardziej skutecznych tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością.

Metoda ta została opracowana w wieku XX przez Kaoru Ishikawę i zastosowana po raz pierwszy w Japonii przez Sumitomo Electric. Jej głównym przesłaniem jest graficzna prezentacja zależności pomiędzy skutkami i mogącymi je wywołać przyczynami danych kategorii (rys.1.4 i 1.5).



Rys. 1.4. Założenia diagramu Ishikawy dla produkcji (opracowanie własne)



Rys. 1.5. Założenia diagramu Ishikawy dla usługi (opracowanie własne)



Autor diagramu wyodrębnił główne kategorie przyczyn, nazywane obecnie 5M. Warto jednak przypomnieć, iż diagram Ishikawy na przestrzeni lat został rozbudowywany i dodawano kolejne grupy przyczyn. Aktualnie najpopularniejszy podział wskazuje na 5M+1E (lub 6M, gdzie dodatkowe M oznacza measurement, czyli pomiar):

- MAN (człowiek) – kategoria uznawana za najbardziej złożoną; obejmuje wiedzę, kompetencję, doświadczenia, ale także motywację i przyzwyczajenia pracowników;
- MACHINERY (maszyny) – grupa techniczna, odnosząca się do przyczyn związanych z maszynami i urządzeniami wykorzystywanymi w analizowanym procesie, takich jak: cechy, nowoczesność, bezpieczeństwo, wydajność, możliwości;
- METHODS (metody) – kategoria obejmująca przyczyny związane z procesem produkcji/ świadczenia usługi, w której zidentyfikowano problem, takie jak procedury, instrukcje, regulacje, normy, prawo;
- MATERIALS (materiały) – grupa przyczyn wynikających z problemami z surowcami, materiałami oraz półfabrykatami służącymi do produkcji danego dobra lub świadczenia usługi;
- MANAGEMENT (zarządzanie) – kategoria problemów z zarządzaniem i jego funkcjami (organizacją pracy, przewodem, motywacją, kontrolą, strukturą organizacyjną, kulturą i klimatem itp.);
- ENVIRONMENT (otoczenie) – przyczyny z otoczenia - środowiska pracy.

Metodologia zastosowania diagramu Ishikawy – postępowanie nie „krok po kroku” obejmuje:

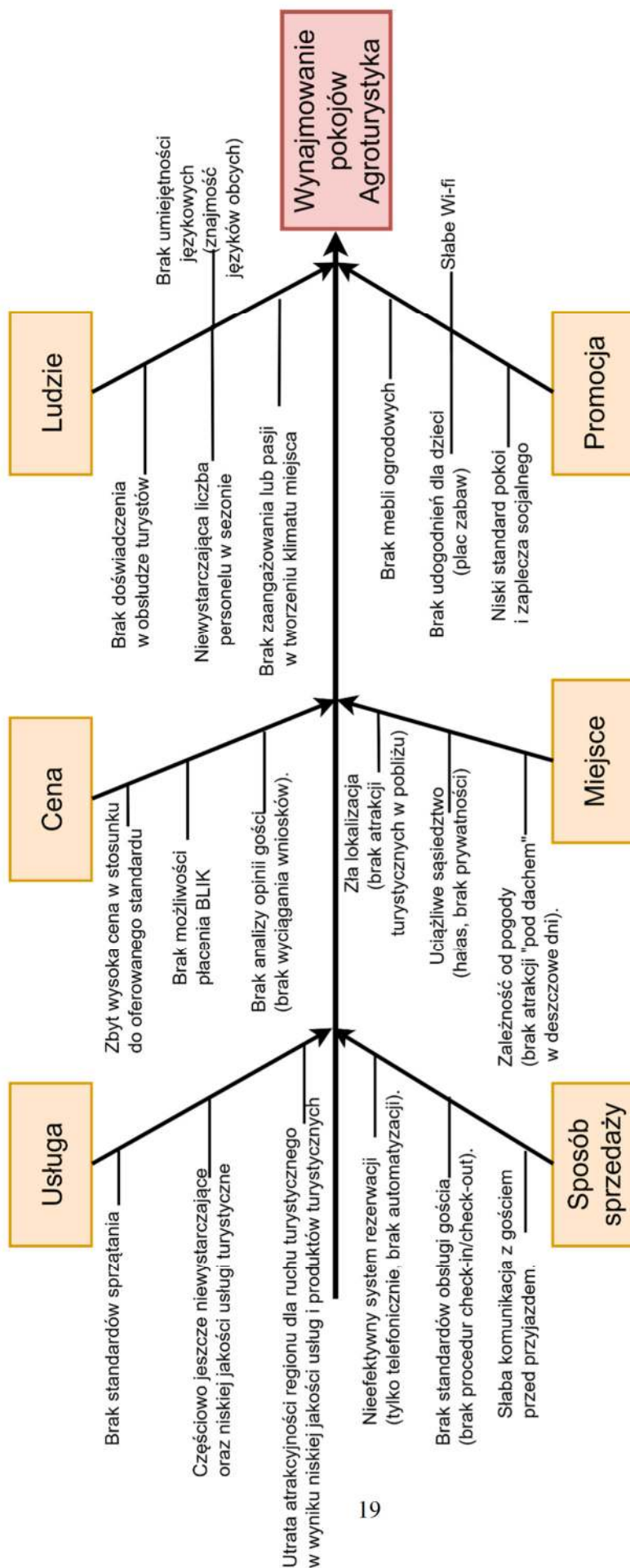
1. zdefiniowanie problemu (krótkie i jasne, jako wynik analizy rozważanego zagadnienia i zbierania informacji), podpunkty 2. 3. 4. 5. 6. 7;
2. ustalenie głównych kategorii możliwych przyczyn (lub oparcie o teorię 5M+1E lub inny istniejący podział);
3. burza mózgów – analizowanie każdej kategorii po kolei poprzez identyfikację przyczyn – poszukiwanie i hierarchizacja przyczyn do momentu ustalenia przyczyny, która będzie możliwa do usunięcia lub która zakwalifikuje problem do problemów nierozwiązywalnych (uwaga! każdy pomysł może okazać się wartościowy!);



4. tworzenie diagramu w oparciu o ustalone przyczyny;
5. analiza techniczna diagramu – sprawdzenie kompletności przyczyn, dodanie przyczyn pominiętych i zmiana miejsca przyczyn źle sklasyfikowanych;
6. analiza danych z diagramu – wybór kilku (2-4) przyczyn mających największy wpływ na powstanie problemu;
7. sformułowane wniosków.

Analizowany proces to usługa: **Agroturystyka** (rys. 1.6).

Ostatnim elementem analizy metody Ishikawy jest zestawienie w tabeli lub w formie opisu zaleceń dla rozwoju przedsiębiorstwa.



Rys. 1.6. Przykładowa analiza procesu - usługi Agroturystyka (opracowanie własne)



Podsumowanie i wdrożenie

Aby skutecznie zastosować powyższą analizę do rozwoju przedsiębiorstwa Agroturystyka należy:

- przeanalizować każdą z powyższych kategorii i wypisać te elementy, które w agroturystyce są elementami słabymi, nieefektywnymi (będą to tzw. kości boczne rzędu wskazujące na przyczyny problemów z rozwojem);
- skupić się na eliminowaniu barier, które dają największy efekt najniższym kosztem (np. poprawa marketingu w sieci lub wprowadzenie lokalnych śniadań).

W jaki sposób najlepiej rozwinąć to narzędzie dla gospodarstwa Agroturystyka? Można skupić się na opracowaniu konkretnej oferty niszowej (np. dla rodzin z dziećmi lub seniorów) albo na strategii pozyskiwania dotacji na rozbudowę infrastruktury.

1.8. Metoda ABC (Diagram Pareto)

Zasadę Pareto, będącą podstawą tworzenia diagramu Pareto, opracował Vilfredo Pareto w 1887 roku, w trakcie analizy rozkładu dochodów ludności. Rezultatem przeprowadzonych przez niego badań był wniosek, iż 80% bogactwa posiada 20% ludności. Analiza tej zależności na przestrzeni lat pozwoliła dostrzec jej zastosowanie w wielu innych dziedzinach praktyki gospodarczej².

W roku 1941 termin „zasada Pareto” został po raz pierwszy użyty w analizie badań z zakresu jakości przez Josepha Jurana, który zauważył, iż 80% problemów z jakością jest spowodowane przez 20% zidentyfikowanych przyczyn. Aktualnie, ogólna zasada 80/20 wskazuje, iż około 20% elementów reprezentuje około 80% skumulowanej wartości.

Analizę tą stosuje się między innymi w:

- zarządzaniu finansami (analiza rodzaju, nośnika i miejsc powstawania kosztów),
- gospodarce materiałowej (analiza dostawców oraz wartości materiałów),
- marketingu (analiza produktów, klientów, rynków):

Analiza Pareto największą popularnością cieszy się w zarządzaniu jakością, gdzie diagram Pareto-Lorenza uznawany jest za jedno z najczęściej wykorzystywanych tradycyjnych narzędzi jakości do podnoszenia poziomu jakości wyrobów i doskonalenia procesów.

² Borkowski S., *Tradycyjne narzędzia zarządzania jakością*. Oficyna Wydawnicza SMJiP. Częstochowa 2013.

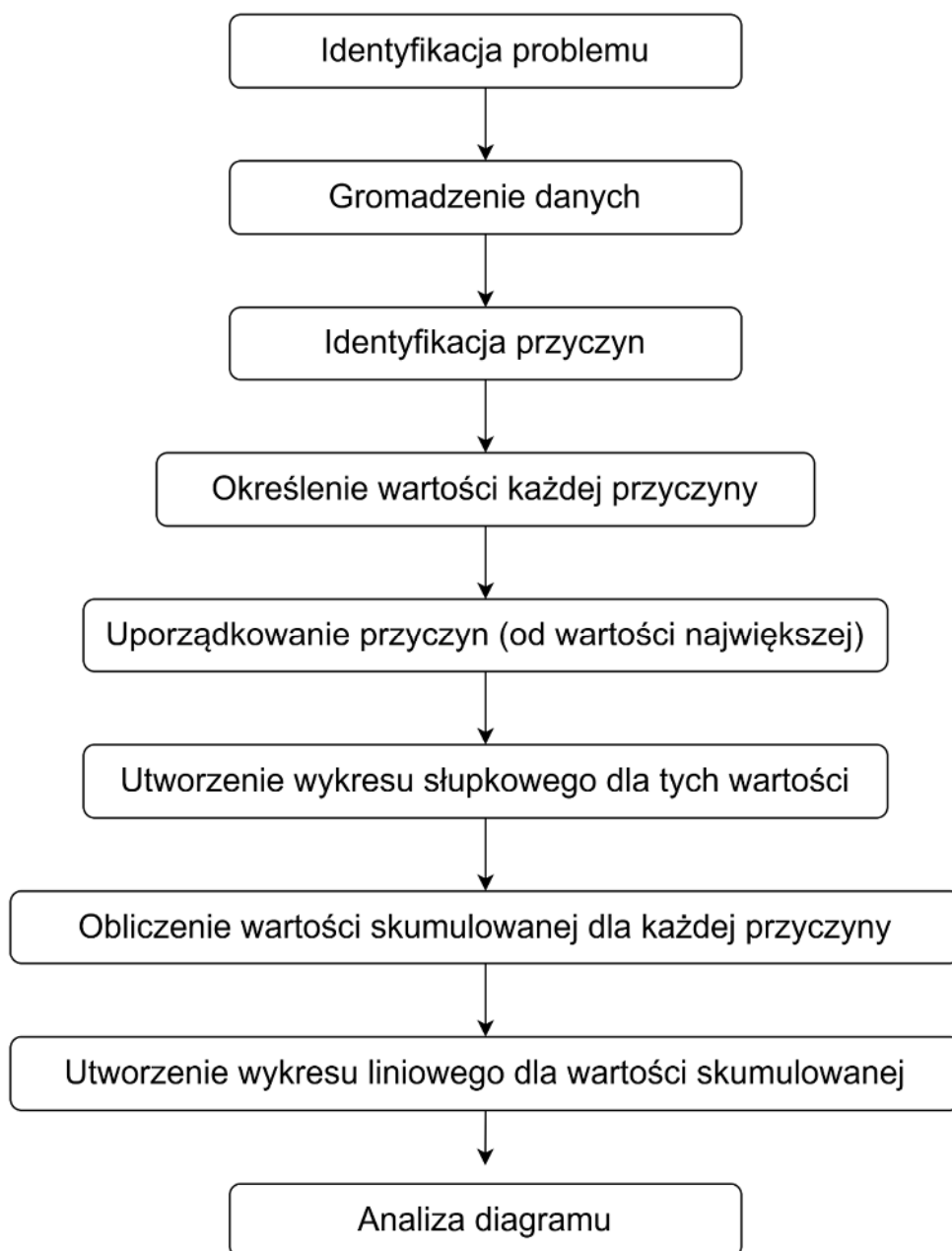


Oddziaływanie analizy Pareto na jakość produktów występuje głównie poprzez analizę częstości i istotności występowania niezgodności, eliminację problemów jakościowych występujących w przedsiębiorstwie najczęściej oraz eliminację problemów jakościowych generujących największe koszty.

Diagram Pareto-Lorenza jest użyteczny w analizie procesu produkcyjnego lub usługowego, który generuje zmienne możliwe do kategoryzacji.

Zastosowanie analizy Pareto pozwala na podjęcie działań korygujących i zapobiegawczych dla wąskiej grupy zidentyfikowanych przyczyn, które w największym stopniu przełożą się na eliminację błędów i poprawę poziomu jakości. Oznacza to, iż analiza to umożliwia wskazanie kierunków działań (na niewielką skalę i bez ponoszenia dodatkowych, dużych kosztów), które będą oddziaływać na najistotniejsze zagadnienia i dzięki temu przyczynią się do uzyskania maksymalnych efektów (poprzez wpływ na najczęściej powtarzające się problemy lub problemy generujące największe koszty).

Diagram Pareto-Lorenza, budowany w oparciu o analizę zasady Pareto, to wykres słupkowy i liniowy, który stanowi graficzną prezentację częstotliwości występowania przyczyn danego problemu (w ramach słupków) oraz ich wartość skumulowaną (w ramach krzywej Lorenza). Etapy tworzenia diagramu Pareto-Lorenza przedstawione są na rys. 1.7.



Rys. 1.7. Etapy tworzenia diagramu Pareto-Lorenza (Roszak M., *Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej*. Scientific International Journal of the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering 2014, 31, 51-68).

Uzupełnieniem analizy Pareto jest przeprowadzenie metody ABC. Metoda ta, przyczynom zidentyfikowanym w oparciu o zasadę Pareto przyporządkowuje trzy grupy:

- grupa A: przyczyny najważniejsze, stanowią około 20% przyczyn i generują około 80% efektów, działania należy podejmować pierwszorzędnie,



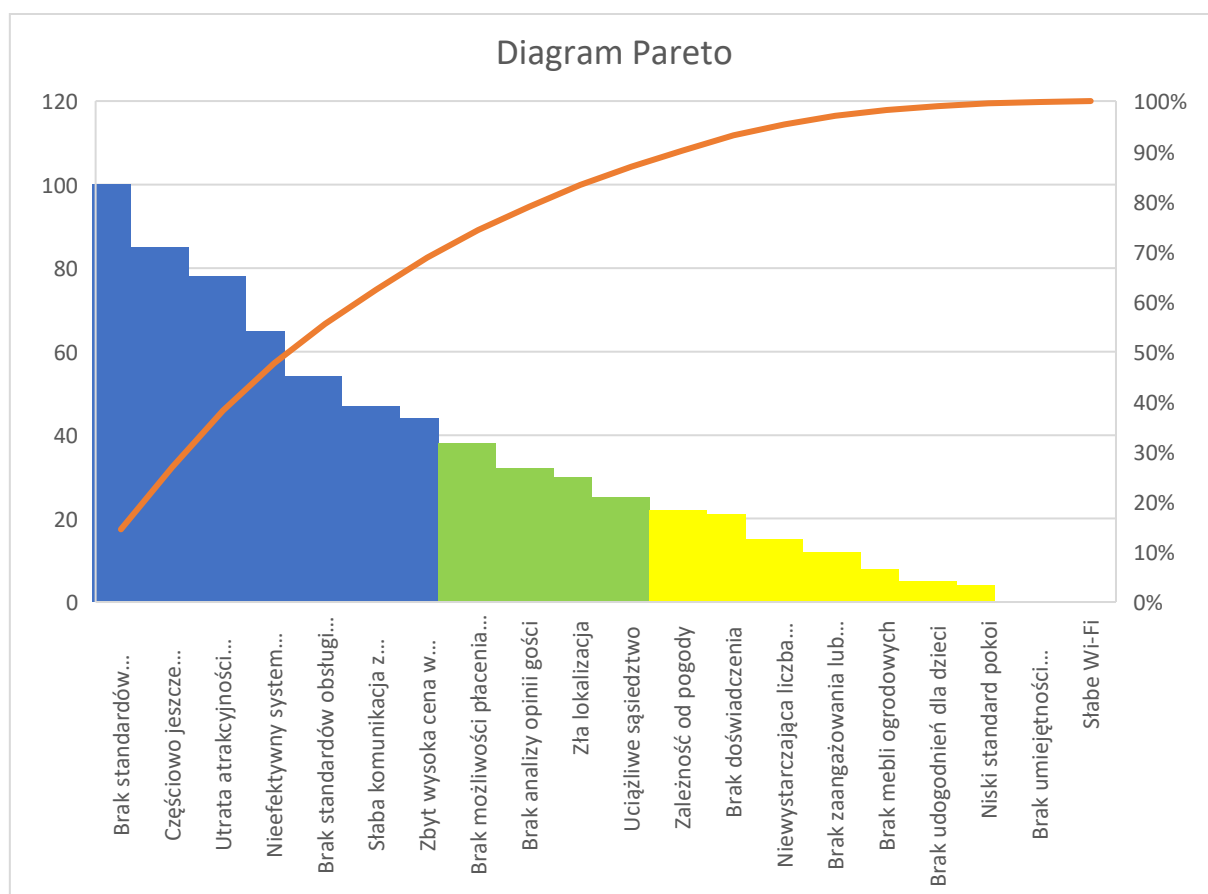
- grupa B: średnia istotność, kolejne 30% przyczyn, które powodują 15% efektów, działania należy podejmować w dalszej kolejności,
- grupa C: przyczyny najmniej ważne, pozostałe 50% przyczyn, które są odpowiedzialne za 5% efektów.

Podejmując analizę Pareto w celu optymalizacji działań należy pamiętać, iż proporcja 80/20 nie zawsze występuje (może to być inna proporcja, np. 70/30, co nie stanowi o błędzie w tworzeniu analizy), a 100% nakładów nie przynosi 100% efektów.

Analizowany proces to usługa: **Agroturystyka** (tabela. 1.2 i rys. 1.8.).

Tabela 1.2. Usługa Agroturystyka – przyczyny odrzutu opcji (opracowanie własne)

	Przyczyna odrzutu	Liczba wystąpień	%	% skumulowany
1.	Brak standardów sprzątnia	100	14,53	14,53
2.	Częściowo jeszcze niewystarczające oraz niskiej jakości usługi turystyczne	85	12,35	26,89
3.	Utrata atrakcyjności regionu dla ruchu turystycznego w wyniku niskiej jakości usług i produktów turystycznych	78	11,34	38,23
4.	Nieefektywny system rezerwacji	65	9,45	47,67
5.	Brak standardów obsługi gościa	54	7,85	55,52
6.	Słaba komunikacja z gościem	47	6,83	62,35
7.	Zbyt wysoka cena w stosunku do oferowanego standardu	44	6,40	68,75
8.	Brak możliwości płacenia BLIK	38	5,52	74,27
9.	Brak analizy opinii gości	32	4,65	78,92
10.	Zła lokalizacja	30	4,36	83,28
11.	Uciążliwe sąsiedztwo	25	3,63	86,92
12.	Zależność od pogody	22	3,20	90,12
13.	Brak doświadczenia	21	3,05	93,17
14.	Niewystarczająca liczba personelu w sezonie	15	2,18	95,35
15.	Brak zaangażowania lub pasji w tworzeniu klimatu miejsca	12	1,74	97,09
16.	Brak mebli ogrodowych	8	1,16	98,26
17.	Brak udogodnień dla dzieci	5	0,73	98,98
18.	Niski standard pokoi	4	0,58	99,56
19.	Brak umiejętności językowych	2	0,29	99,85
20.	Słabe Wi-Fi	1	0,15	100,00



Rys. 1.8. Usługa Agroturystyka – przyczyny odrzutu opcji (opracowanie własne)

Ostatnim elementem analizy metody Pareto jest zestawienie w tabeli lub w formie opisu zaleceń dla rozwoju przedsiębiorstwa.

Podsumowanie i plan naprawczy

Najprostsza zasada w agroturystyce mówi: **"Sprzedawaj czystość i autentyczność"**. Jeśli opanuje się chaos w sprzątaniu, automatycznie odetnie się od niskiej jakości, na którą zwracają uwagę klienci. Można opracować **wzorcową listę kontrolną (checklistę) sprzątania pokoju**, lub opracować **ankietę satysfakcji dla gości**, która pomoże wyłapać, jakie dokładnie usługi w agroturystyce są oceniane jako "niskiej jakości"?

W słabym i tracącym na popularności regionie wygrywa ten, kto opracuje **enklawę normalności i wysokiego standardu**. Kiedy turyści zorientują się, że cała okolica oferuje niską jakość, ale w Agroturystyce jest czysto, pysznie i swojsko – gospodarstwo będzie cieszyć się dużym zainteresowaniem, będzie komplet gości, podczas gdy inni będą mieli małą frekwencję. Można przygotować **konkretny plan "wiejskiego śniadania" (menu i sposób podania)**,



które zachwyci gości, czy rozpisac **trzy pomysły na pakiety tematyczne**, które uniezależnią Agroturystykę od atrakcji regionu.

1.9. Metoda SWOT

W obecnych czasach każde przedsiębiorstwo funkcjonuje w środowisku, które ulega ciągłym zmianom. Proces, który analizuje te zmiany i modyfikuje sposób działania i reagowania przedsiębiorstwa jest nazywany strategią. W literaturze odstępnych jest bardzo wiele różnych definicji strategii. Jednak wszystkie te definicje oparte są na starych definicjach. Według Chandlera strategia to określenie podstawowych długoterminowych celów przedsiębiorstwa, a także przyjęcie kierunków działań i alokacja zasobów niezbędnych do osiągnięcia tych celów.

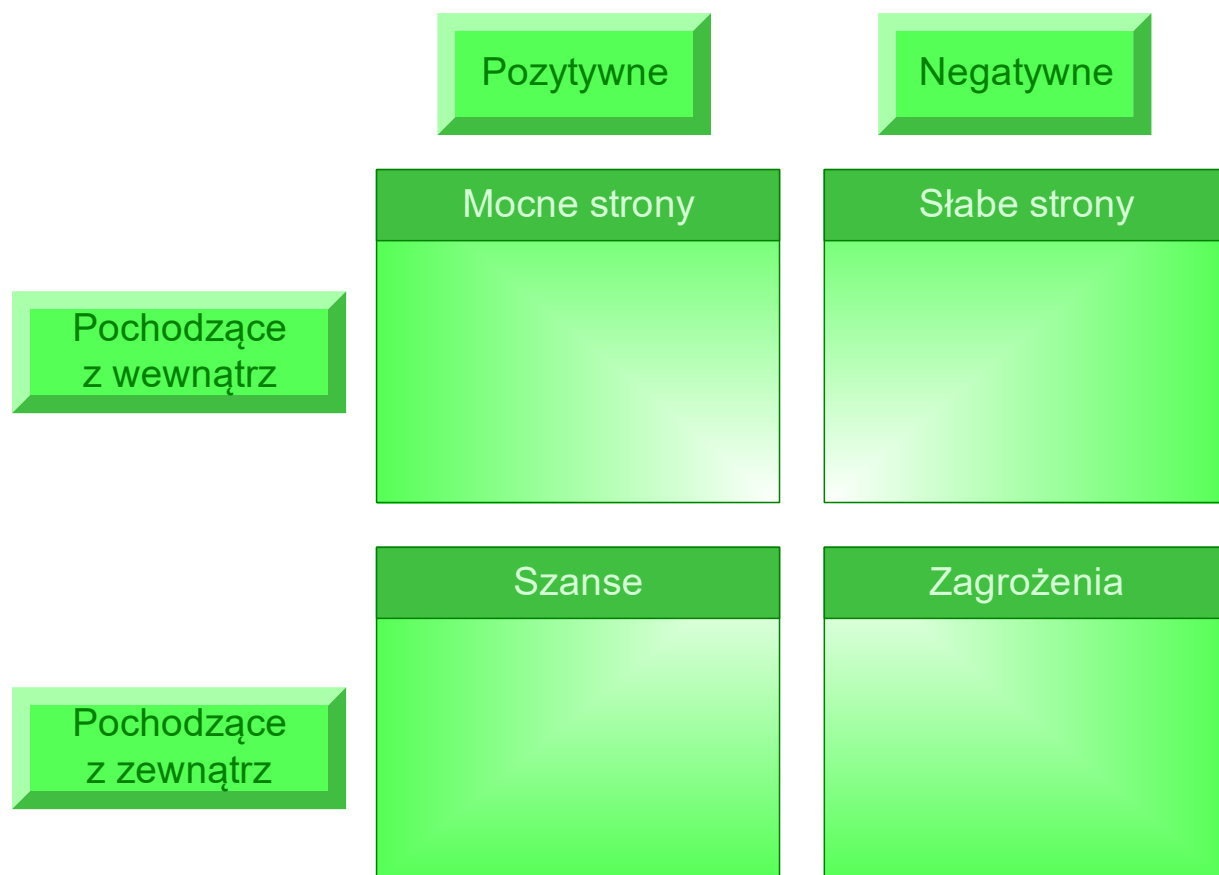
Budowa strategii jest poszukiwaniem syntez, ale nie da się stworzyć porządnej strategii firmy bez rzetelnej analizy danych o otoczeniu i firmie. Jednym z użytecznych instrumentów, które mogą być wykorzystywane do budowania strategii jest analiza SWOT. Pozwala wykorzystać zgromadzone informacje do opracowania strategii działania opartej na silnych stronach i szansach, przy jednoczesnym eliminowaniu bądź ograniczaniu słabych stron i zagrożeń.

Analiza SWOT jest jedną z najbardziej popularnych technik analitycznych. Analiza ta służy do opracowania ogólnej strategii rozwoju, a także strategii funkcjonalnych (ułamkowej), dotyczącej funkcji, jaką ma pełnić państwo, jednostka samorządu terytorialnego lub przedsiębiorstwo (marketing, finanse, logistyka itp.). Gierszewska i Romanowska twierdzą, że analiza SWOT nie jest metodą analizy strategicznej, ale jest "unikalnym algorytmem procesu analizy strategicznej, propozycją systemową i szeroką oceną czynników zewnętrznych i wewnętrznych, które określają obecny stan przedsiębiorstwa i jego potencjał rozwojowy". Można zatem stwierdzić, że jej głównym celem jest określenie strategii, które będą stanowić konkretny model biznesowy, który najlepiej dopasuje zasoby i możliwości organizacji do wymogów środowiska, w którym działa przedsiębiorstwo.

Analiza SWOT może być przeprowadzona dla produktu, miejsca, przemysłu lub osoby. Obejmuje określenie celu przedsięwzięcia lub projektu oraz określenie czynników wewnętrznych i zewnętrznych, które są korzystne i niekorzystne dla osiągnięcia tego celu. Technika ta była stworzona przez Alberta Humphrey'a, który w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych prowadził konwencję w Stanford Research Institute (obecnie SRI



International), wykorzystując dane z firm Fortune 500. Przeprowadzono badania na zlecenie największych amerykańskich przedsiębiorstw, których celem było wskazanie sposobów poprawy procesów planowania strategicznego i unikania błędów w planowaniu. Stopień, w jakim środowisko wewnętrzne przedsiębiorstwa jest zgodne z jego otoczeniem zewnętrznym wyraża się pojęciem strategicznego dopasowania.



Rys. 1.9. Elementy analizy SWOT (Źródło: opracowanie własne na podstawie SWOT analysis. Strategy skills. Team FME, 2013)

Analiza SWOT polega na podzieleniu zebranych informacji na cztery grupy (rys. 1.9)³:

- S (Strengths) – mocne strony: wszystko to co stanowi atut, przewagę, zaletę. Są to więc elementy, które w sposób pozytywny wyróżniają ją w otoczeniu i spośród konkurencji, są to tzw. kluczowe czynniki sukcesu organizacji umożliwiające dostosowywanie się jej do zmieniających się uwarunkowań otoczenia rynkowego.

³ Ingaldi M., Jagusiak-Kocik M., Zgaiba A. *Use of SWOT analysis for determining a strategic position of the dairy company*. [w:] Toyotarity. Evolution and Processes/Products' Improvement. Red. Borkowski S., Popa M., Sava^o Kitap ve Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2013, s. 8-17.



- W (Weaknesses) – słabe strony: wszystko to co stanowi słabość, barierę, wadę. Są one konsekwencją ograniczeń zasobów i niedostatecznych kwalifikacji pracowników i kierownictwa. Słabe strony związane są także ze wszelkimi innymi obszarami funkcjonowania, które ograniczają sprawność jej działania i reagowania na zmieniające się wymagania klientów i działania konkurencji.
- O (Opportunities) – szanse: wszystko to co stwarza szansę korzystnej zmiany. Są to wszelkie istniejące lub przewidywane procesy, zjawiska i trendy zachodzące w otoczeniu organizacji, które odpowiednio wykorzystane mogą stać się impulsem do jej rozwoju oraz pomogą osłabić wpływ ewentualnych pojawiających się zagrożeń.
- T (Threats) – zagrożenia: wszystko to co stwarza niebezpieczeństwo zmiany niekorzystnej. Są to wszystkie procesy, zjawiska i trendy zachodzące w otoczeniu organizacji, które stanowią lub stanowić mogą barierę w rozwoju organizacji, utrudniają jej funkcjonowanie, podnoszą koszty działania lub mogą doprowadzić do upadku przedsiębiorstwa.

Analizowany proces to usługa: **Agroturystyka** (rys. 1.10.).

Ostatnim elementem analizy metody SWOT jest zestawienie w tabeli lub w formie opisu zaleceń dla rozwoju przedsiębiorstwa.



Mocne strony	Słabe strony
1. stosunkowo bogate dziedzictwo kulturowe oraz historyczno-przemysłowe 2. korzystne warunki dla wypoczynku całorocznego 3. zróżnicowane warunki przyrodnicze o bogatej ofercie nietradycyjnych form oraz scenerii	1. brak standardów sprzątania 2. niska jakość usług turystycznych 3. utrata atrakcyjności regionu dla ruchu turystycznego 4. nieefektywny system rezerwacji 5. brak standardów obsługi gościa 6. słaba komunikacja 7. wysoka cena
Szanse	Zagrożenia
1. możliwości dalszego rozwoju oraz wykorzystania potencjału turystycznego 2. korzystne warunki dla rozwoju nowych form wypoczynku oraz produktów 3. możliwe całoroczne wykorzystanie obszaru do celów rekreacyjnych 4. rezerwy w zakresie zwiększenia promocji regionu 5. rezerwy w zakresie wspierania rozwoju przedsięwzięć nawiązujących do infrastruktury turystycznej 6. stworzenie wspólnego regionalnego systemu informacji turystycznej	1. niewystarczające wsparcie dla rozwoju ruchu turystyki, zwłaszcza na terenach wiejskich regionu 2. niedocenianie znaczenia ruchu turystycznego jako przedmiotu działalności gospodarczej 3. utrata atrakcyjności regionu dla ruchu turystycznego w wyniku niskiej jakości usług i produktów turystycznych 4. stopniowa utrata części walorów dziedzictwa kulturowo historycznego

Rys. 1.10. Elementy analizy SWOT – Agroturystyka (opracowanie własne)



Podsumowanie i wdrożenie

Analiza SWOT pokazuje, że największą szansą jest **uniezależnienie się od słabej oferty regionu**. Należy zbudować silną markę własną opartą na dwóch filarach:

- **bezwzględnej czystości** (eliminacja słabej strony),
- **smacznym, regionalnym jedzeniu i gościnności** (zastosowanie mocnej strony).

W jaki sposób można pójść dalej? Można ułożyć **szczegółowy plan "strategii agresywnej"** (czyli jak ułożyć ofertę pobytu dla klienta z dużego miasta), lub sprawdzić, jak sformułować **wniosek o lokalne dotacje** na podniesienie standardu obiektu.

Bibliografia

- Bociąga M., Klimecka-Tatar D., *Narzędzia zarządzania jakością w branży cementowej*. Archiwum Wiedzy Inżynierskiej 2016, 1, 36- 38,
- Borkowski S., *Tradycyjne narzędzia zarządzania jakością*. Oficyna Wydawnicza SMJiP. Częstochowa 2013,
- Brzeziński M., Organizacja i sterowanie produkcją, Agencja Wydawnicza „Placet”, Warszawa 2002,
- Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów*, skrypt elektroniczny, neur.am.put.poznan.pl, 1999,
- Chandler A. A., Jr. *Strategy and Structure: Chapters in the History of American Industrial Enterprise*. MA, The MIT Press, Cambridge, 1962.
- Feld M., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2000, 2003,
- Feld M., *Technologia budowy maszyn*, PWN, Warszawa 1993,
- Goranczewski B., Puciato D. *SWOT analysis in the formulation of tourism development strategies for destinations*. Tourism, 2010, 20/2,
- Gierszewska G., Romanowska M. *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. Warszawa, PWE, Warszawa, 2002,
- Hagemeyer C., Gershenson J., Johnson D., *Classification and application of problem solving quality tools: A manufacturing case study*. The TQM Magazine 2006, 18, 455-483,
- Honczarenko J., *Elastyczna automatyzacja wytwarzania, obrabiarki i systemy obróbkowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000,



- Jasica G., Heinrich M., *Statystyczna kontrola jakości z zastosowaniem analizy Pareto-Lorenza na przykładzie walcowni zimnejblach*. Problemy Eksploatacji 2008, 3, 153-164,
- Knights P., Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. Journal of Quality in Maintenance Engineering 2001, 7, 252-263,
- Kotus M., Holota T., Pauliček T., Petřík M., Sklenár M. *Quality and reliability of manufacturing process in automation of die-casting. Advanced Materials Research, Germany*, vol. 801, special iss., 2013,
- Mazur A., Gołaś H., *Zasady, metody i techniki w zarządzaniu jakością*. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010,
- Pająk E. *Zarządzanie produkcją*, PWN, Warszawa 2006,
- Pająk E. *Zasady i metody oszczędnego wytwarzania*, PWSZ w Koninie, Konin 2013,
- Roszak M., *Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej*. Scientific International Journal of the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering 2014, 31, 51-68,
- Prusak R., Kardas E., Skuza Z. *Analiza strategiczna działalności przedsiębiorstwa przewozowego*. Logistyka, 2012, Nr 6,
- Ingaldi M., Jagusiak-Kocik M., Zgaiba A. Use of SWOT analysis for determining a strategic position of the dairy company. [w:] Toyotarity. Evolution and Processes'/Products' Improvement. Red. Borkowski S., Popa M., Sava^o Kitap ve Yayinevi, Ankara, Türkiye, 2013,
- Puff T., Sołtys W., *Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1980,
- Pustějovská P., Jursová S., Brožová S., Pivko M. *Injection of brown coal tar in relation with significant parameters of blast furnace*. Materiali in Tehnologije, 2012, vol. 46, Nr 6,
- Richter E., Schilling W., Weisego M., *Montaż w budowie maszyn*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1980,
- Szczeńsiak B., Zasadzień M., Wapienik Ł., *Zastosowanie analizy Pareto oraz diagram Ishikawy do analizy przyczyn odrzutów w procesie produkcji silników elektrycznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Organizacja i Zarządzanie 2012, 63, 125 147,
- Wodecki J., *Podstawy projektowania procesów technologicznych części maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.



Rozdział 2

Technologie transportu wewnętrznego

Robert Rogaczewski

Wprowadzenie

Transport wewnętrzny odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstw produkcyjnych i logistycznych, ponieważ odpowiada za przemieszczanie materiałów, półproduktów oraz wyrobów gotowych w obrębie obiektów takich jak magazyny, hale produkcyjne czy centra dystrybucyjne. Prawidłowa organizacja tych procesów ma bezpośredni wpływ na sprawność realizacji zadań produkcyjnych, poziom kosztów operacyjnych oraz bezpieczeństwo pracy.

Postępujący rozwój technologiczny oraz rosnące wymagania rynku w zakresie efektywności i elastyczności procesów logistycznych sprawiają, że tradycyjne rozwiązania transportu wewnętrznego są coraz częściej zastępowane nowoczesnymi technologiami. Współczesne systemy obejmują zarówno rozwiązania manualne i zmechanizowane, jak i systemy automatyczne oraz autonomiczne, które umożliwiają usprawnienie przepływu materiałów i ograniczenie udziału pracy ręcznej.

Nowoczesne technologie transportu wewnętrznego charakteryzują się wysokim stopniem integracji z systemami informatycznymi przedsiębiorstwa, co pozwala na bieżące monitorowanie procesów, optymalizację tras transportowych oraz elastyczne dostosowanie do zmieniających się warunków pracy. Zastosowanie tych rozwiązań przyczynia się do zwiększenia wydajności, redukcji błędów oraz poprawy ergonomii i bezpieczeństwa pracy.

1. Transport wewnętrzny jako element systemu logistycznego

W gospodarce można wyróżnić dwa kluczowe rodzaje procesów. Z jednej strony są to procesy produkcyjne, w których ma miejsce zmiana właściwości dóbr materialnych, z drugiej natomiast są to procesy logistyczne, w których zmianie ulegają współrzędne czasowe i fizyczne tych dóbr. Aby procesy logistyczne mogły być realizowane, konieczne jest zastosowanie technologii przemieszczania dóbr i ich przechowywania. Chcąc realizować procesy logistyczne w przedsiębiorstwie, zarówno produkcyjnym, jak i usługowym, konieczne staje się zastosowanie odpowiednich środków transportu wewnętrznego. W większości przedsiębiorstw



produkcyjnych występuje transport związany z procesem produkcyjnym oraz transport, którego zadaniem jest obsługa magazynów, składów surowców czy też półfabrykatów. Tego rodzaju transport nosi miano transportu wewnętrznego. Ten rodzaj transportu jest kluczowym ogniwem w prawidłowym funkcjonowaniu przedsiębiorstw produkcyjnych, natomiast efektywne zarządzanie nim zapewnia ciągłość procesów produkcyjnych (Tarasiuk, Jarocka, 2023).

Pod pojęciem transportu wewnętrznego rozumie się zorganizowany system przemieszczania surowców, półfabrykatów oraz produktów gotowych w granicach przedsiębiorstwa, obejmujący cały cykl przepływu materiałowego: od przyjęcia dostawy do wydania produktu końcowego. System transportu wewnętrznego to zestaw urządzeń i zasad organizacyjnych, które zapewniają sprawne przemieszczanie materiałów i towarów wewnątrz zakładu (Fertsch, 2008). System transportu wewnętrznego to zespół urządzeń przeznaczonych do przenoszenia materiałów i towarów w magazynie lub centrum dystrybucyjnym. Rozwiązania te odgrywają istotną rolę w podnoszeniu wydajności, skracaniu czasu realizacji operacji oraz zapewnieniu bezpieczeństwa w procesie obsługi produktów – od ich przyjęcia aż do momentu wysyłki (Mecalux, 2024). Transport wewnętrzny to realizacja przemieszczeń ładunków wewnątrz obiektu logistycznego, która umożliwia sprawne wykonywanie jego zasadniczych funkcji operacyjnych. Warto podkreślić, iż transport wewnętrzny obejmuje wszelkie operacje przemieszczania towarów na terenie przedsiębiorstwa, począwszy od przyjęcia dostawy do magazynu, aż po przygotowanie i przekazanie wyrobu gotowego do wysyłki dla odbiorcy zewnętrznego (Lean Action Plan, 2025).

System transportu wewnętrznego tworzą zatem:

- specjalistyczne wyposażenie, które służy do przemieszczania ładunków pojedynczych, w opakowania, w jednostkach ładunkowych, w kontenerach oraz ładunków sypkich, cieczy czy gazów,
- środki transportu i manipulacji,
- specjalizowane maszyny i urządzenia przeładunkowe,
- urządzenia do składowania ładunków,
- wyspecjalizowane obiekty stałe,
- środki przetwarzania informacji (urządzenia, programy komputerowe).

Właściwie zaprojektowany system transportu wewnętrznego powinien zapewniać sprawny i ekonomiczny przepływ materiałów w przedsiębiorstwie. Oznacza to maksymalizację wykorzystania dostępnych środków transportu, eliminację zbędnych przejazdów, skrócenie



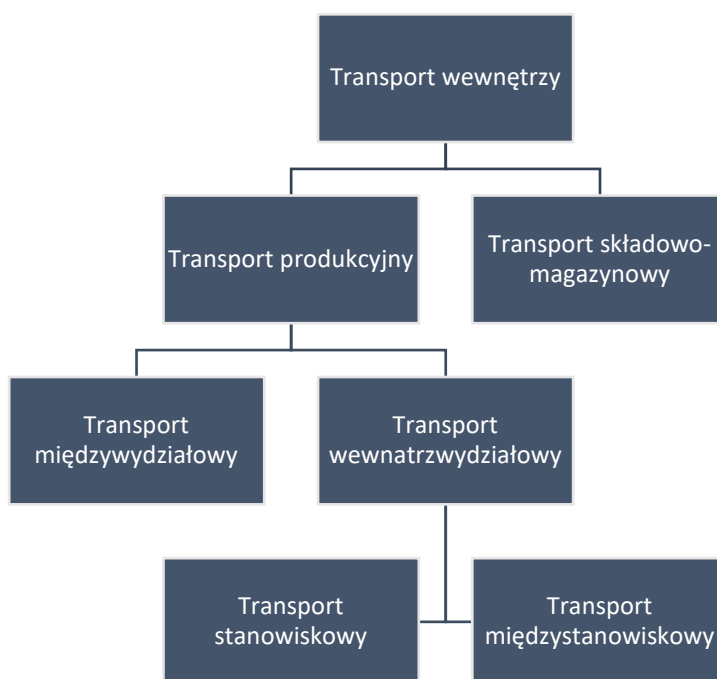
czasu operacji oraz ograniczenie zaangażowania pracowników w powtarzalne czynności transportowe. W konsekwencji prowadzi to do obniżenia kosztów wewnętrznej obsługi materiałowej oraz zmniejszenia liczby uszkodzeń i braków powstających podczas przemieszczania ładunków (Martin, 2018).

Transport wewnętrzny obejmuje wszystkie przemieszczania materiałów, półproduktów i wyrobów gotowych wewnątrz przedsiębiorstwa. Jego działanie rozpoczyna się już w momencie przyjęcia materiałów z transportu zewnętrznego, a kończy dopiero wtedy, gdy gotowe produkty lub odpady trafiają ponownie do transportu na zewnątrz firmy. Sprawny system transportu wewnętrznego wpływa na płynność produkcji i minimalizację przestojów. Do zadań transportu wewnętrznego należy przede wszystkim rozpoznawanie potrzeb materiałowych i określanie, gdzie i kiedy są one wymagane. Oznacza to również utrzymywanie odpowiedniej wielkości zapasów tak, aby były zgodne z harmonogramem produkcji. System ten powinien także synchronizować dostarczanie materiałów na linie produkcyjne z rzeczywistym przebiegiem procesu produkcyjnego. Bardzo ważne jest również reagowanie na zmiany w planie produkcji. Osiąga się to m.in. poprzez automatyzację czynności związanych z przemieszczaniem materiałów, skracanie czasu przygotowania ich do produkcji oraz optymalizację tras przemieszczania od magazynów do stanowisk roboczych. W ramach transportu wewnętrznego ustala się także ekonomiczne wielkości zamówień materiałów i wielkości serii produkcyjnych, tak aby proces był opłacalny. Dodatkowym elementem jest integracja przepływu informacji z przepływem materiałów — odpowiednie systemy informacyjne pozwalają na śledzenie stanów magazynowych, zużycia materiałów i postępu produkcji. Dzięki temu możliwe jest bieżące monitorowanie procesu i szybkie podejmowanie decyzji (Grzybowska, 2011; Głodowska i in., 2023). Transport wewnętrzny stanowi skomplikowany element funkcjonowania przedsiębiorstwa. Współczesne warunki rynkowe powodują rosnące zapotrzebowanie na wdrażanie rozwiązań automatyzujących procesy transportowe. Spośród dostępnych technologii, takich jak rozwiązania manualne, zmechanizowane oraz automatyczne, coraz więcej przedsiębiorstw decyduje się na wykorzystanie automatyzacji lub rozważa jej wdrożenie w przyszłości. Jednak zasadność takich decyzji powinna być poprzedzona szczegółową i kompleksową analizą, uwzględniającą zarówno aspekty techniczne, jak i ekonomiczne (Głodowska i in., 2023).



1.1. Podział transportu wewnętrznego

Podział transportu wewnętrznego umożliwia identyfikację oraz charakterystykę różnorodnych form przemieszczania ładunków występujących w zakładzie, a tym samym pozwala na świadome kształtowanie organizacji przepływu materiałów. Najczęściej występującym w literaturze podziałem transportu wewnętrznego, jest podział na transport produkcyjny oraz składowo-magazynowy.



Rysunek 1. Klasyfikacja transportu

Źródło: opracowanie własne.

Transport wewnątrzwydziałowy obejmuje przemieszczanie materiałów i komponentów w obrębie pojedynczych jednostek organizacyjnych zakładu, takich jak wydziały produkcyjne, montażowe, przygotowania produkcji, odlewnie czy kuźnie. Jego celem jest zapewnienie płynnego przepływu materiałów między stanowiskami pracy oraz wsparcie efektywności procesów produkcyjnych (Nowotyńska, 2017). Transport międzystanowiskowy, jako jeden z elementów transportu wewnątrzwydziałowego, odpowiada za przemieszczanie materiałów, w szczególności półfabrykatów, pomiędzy kolejnymi stanowiskami produkcyjnymi lub gniazdami obróbkowymi, z pominięciem operacji magazynowych. Ruch ten odbywa się od punktów zdawczo-odbiorczych obsługiwanych przez transport międzywydziałowy i do nich



powraca. W praktyce transport międzystanowiskowy realizowany jest głównie jako transport przelotowy lub boczny. W przypadku transportu bocznego wymagane jest wykorzystanie dodatkowych urządzeń doprowadzających materiały bezpośrednio na każde stanowisko pracy. W literaturze transport tego typu określa się także mianem transportu międzyoperacyjnego lub technologicznego, podkreślając jego rolę w utrzymaniu ciągłości procesów produkcyjnych (Hohmann, 2022). **Transport stanowiskowy** z kolei obejmuje wszelkie operacje manipulacyjne realizowane przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu procesu obróbki na stanowisku produkcyjnym. Do typowych czynności zalicza się przenoszenie materiałów, wkładanie ich do zasobników, ustawianie, oddzielanie i wydawanie, podawanie i odbieranie, a także załadunek i wyładunek urządzeń transportowych. Transport stanowiskowy stanowi istotny element organizacji pracy, gdyż bezpośrednio wpływa na czas cyklu produkcyjnego oraz ergonomię pracy operatorów (Mourato i in., 2020). **Transport międzystanowiskowy** stanowi integralny element procesu produkcyjnego, odpowiadający za przemieszczanie materiałów i półproduktów pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pracy. W literaturze często określany jest również jako transport międzyoperacyjny lub transport technologiczny. Jego organizacja i sposób realizacji są ściśle uzależnione od rodzaju produkcji oraz przyjętej struktury procesu technologicznego. W produkcji seryjnej czy masowej transport technologiczny musi być zsynchronizowany z cyklem pracy linii produkcyjnej, natomiast w produkcji jednostkowej lub na zamówienie większą rolę odgrywa elastyczność i możliwość dostosowania tras transportowych do zmiennego planu produkcji (Kosacka-Olejniki, 2021).

Klasyfikacja może być prowadzona według następujących kryteriów:

- ze względu na sposób realizacji,
- ze względu na charakter ruchu,
- ze względu na tor przemieszczania,
- ze względu na stopień ciągłości pracy,
- ze względu na rodzaj zastosowanych środków transportu,
- ze względu na rolę w procesie logistycznym.

Ze względu na sposób realizacji procesy transportu wewnętrznego w firmach można sklasyfikować w trzech głównych kategoriach. Pierwszą z nich jest transport ręczny, który opiera się na wykorzystaniu siły mięśni pracowników. Zastosowanie tego rodzaju transportu jest typowe przy przemieszczaniu materiałów o niewielkiej masie oraz na krótkich dystansach. Do podstawowych narzędzi wspomagających ten transport zalicza się wózki platformowe oraz



ręczne. Drugą kategorią jest transport mechaniczny, w którym do przemieszczania ładunków wykorzystuje się urządzenia transportu bliskiego. Rozwiązania te umożliwiają przewóz cięższych materiałów na większe odległości, przyczyniając się jednocześnie do zwiększenia wydajności pracy oraz zmniejszenia obciążenia fizycznego pracowników. Do najczęściej stosowanych urządzeń należą wózki widłowe, przenośniki taśmowe i rolkowe oraz suwnice. Trzecią, najbardziej zaawansowaną formą transportu jest transport automatyczny lub zrobotyzowany, realizowany przy użyciu systemów autonomicznych lub sterowanych komputerowo. Ten typ transportu jest charakterystyczny dla przedsiębiorstw o wysokim stopniu automatyzacji procesów produkcyjnych i magazynowych, gdzie kluczowe znaczenie mają precyzja, powtarzalność operacji oraz minimalizacja udziału pracy ludzkiej. Przykłady tego rodzaju rozwiązań obejmują autonomiczne pojazdy transportowe AGV i AMR oraz automatyczne systemy składowania, w tym regały obsługiwane przez roboty (Tubis, 2024).

Ze względu na charakter ruchu w procesach transportu wewnętrznego można wyróżnić dwa zasadnicze typy. Pierwszy z nich to transport jednostkowy — obejmujący pojedyncze ładunki, takie jak palety czy skrzynie, które są przemieszczane jako odrębne jednostki ładunkowe. Drugi typ to transport masowy lub ciągły — charakteryzujący się regularnym, nieprzerwanym przepływem materiałów (np. w postaci przenośników taśmowych na liniach produkcyjnych), co umożliwia stałe zaopatrywanie procesów produkcyjnych w niezbędne materiały (Głodowska, Piekarska, 2024).

Ze względu na tor przemieszczania, transport wewnętrzny w przedsiębiorstwach można podzielić na trzy podstawowe typy. Pierwszy z nich to transport poziomy, który obejmuje przemieszczanie ładunków w płaszczyźnie poziomej, np. przesuwanie palet po hali magazynowej przy użyciu wózków widłowych. Drugi typ to transport pionowy, w którym ładunki są podnoszone lub opuszczane na różne poziomy, co jest realizowane przy użyciu urządzeń takich jak suwnice czy podnośniki magazynowe. Trzecia kategoria to transport mieszany, łączący elementy transportu poziomego i pionowego, np. linie montażowe wyposażone w windy i przenośniki, umożliwiające kompleksowe przemieszczanie materiałów w trzech wymiarach (Lewczuk, 2024).

Ze względu na stopień ciągłości pracy procesy transportu wewnętrznego można podzielić na trzy główne typy. Pierwszym z nich jest transport cykliczny, który realizowany jest w określonych odstępach czasu, zgodnie z ustalonym harmonogramem. Przykładem może być trasa dostaw mleczarza, gdzie przewóz materiałów odbywa się regularnie, w ściśle



określonych porach. Drugim typem jest transport na żądanie, wykonywany wówczas, gdy pojawia się konkretna potrzeba przemieszczania materiałów. Przykładem takiego transportu jest sytuacja, w której operator zgłasza zapotrzebowanie na określony materiał lub komponent, a transport odbywa się dopiero po jego zgłoszeniu. Trzecią kategorią jest transport ciągły, który odbywa się bez przerw, zapewniając stały przepływ materiałów w procesie produkcji lub magazynowania. Typowym przykładem są przenośniki rolkowe stosowane w sortowniach, gdzie materiał przemieszcza się w sposób nieprzerwany, co umożliwia optymalizację procesów logistycznych i produkcyjnych (Gołembski, Gołembska, 2023).

Ze względu na rodzaj zastosowanych środków transportu wewnętrznego można wyodrębnić cztery podstawowe grupy rozwiązań technicznych. Pierwszą z nich stanowią wózki i pojazdy transportowe, które umożliwiają swobodne przemieszczanie ładunków na stosunkowo duże odległości w obrębie zakładu. Obejmują one m.in. wózki widłowe, wózki systemowe pracujące w wąskich korytarzach magazynowych oraz ciągniki magazynowe wykorzystywane do zestawów transportowych. Drugą grupę tworzą różnego rodzaju przenośniki, czyli urządzenia realizujące transport materiałów w sposób ciągły. Mogą to być przenośniki taśmowe, rolkowe, płytkowe czy ślimakowe, stosowane szczególnie w magazynach wysokiej przepustowości oraz w liniach produkcyjnych, gdzie istotna jest płynność przepływu materiałów. Trzecią kategorią są urządzenia dźwignicowe, służące do przenoszenia ładunków w pionie lub poziomie, zwłaszcza wtedy, gdy ich masa jest duża. Do tej grupy zalicza się suwnice, żurawie warsztatowe, podnośniki oraz manipulatory. Najbardziej zaawansowaną technologicznie grupę stanowią systemy zautomatyzowane, które wykorzystują rozwiązania sterowane komputerowo lub działające autonomicznie. Wśród nich znajdują się samojezdne pojazdy transportowe AGV (Automated Guided Vehicles), roboty mobilne AMR (Autonomous Mobile Robots) oraz automatyczne systemy składowania AS/RS, które pozwalają na minimalizację udziału pracy ręcznej oraz zapewniają wysoką precyzję i powtarzalność operacji logistycznych (Fijałkowski, 2013; Raczyk, 2013).

Ze względu na realizowaną funkcję w przepływie materiałów, transport wewnętrzny może pełnić różne role w procesie logistycznym. Transport zaopatrzeniowy obejmuje dostarczanie materiałów, komponentów oraz surowców z magazynów dostawczych lub stref składowania do stanowisk produkcyjnych. Jego zadaniem jest zapewnienie ciągłości produkcji oraz zapobieganie przestojom wynikającym z braku materiałów. Transport międzyoperacyjny to przemieszczanie półproduktów pomiędzy kolejnymi stanowiskami lub fazami procesu



technologicznego. Wykonywany jest często wielokrotnie i na krótkie odległości, dlatego jego organizacja wpływa bezpośrednio na rytmiczność i czas trwania cyklu produkcyjnego. Transport wyrobów gotowych obejmuje przekazywanie produktów końcowych z ostatniego etapu produkcji do magazynów wyrobów gotowych lub bezpośrednio do działu ekspedycji. Jego zadaniem jest przygotowanie produktu do wysyłki, a więc łączy proces produkcyjny z procesem dystrybucji (Schmidt, 2019).

Podział transportu wewnętrznego umożliwia efektywne dopasowanie odpowiednich środków transportu do rodzaju przewożonych materiałów, optymalizację tras oraz skuteczne zarządzanie przepływem materiałów w obrębie przedsiębiorstwa. W praktyce większość zakładów stosuje system mieszany, łączący transport ręczny, mechaniczny oraz zautomatyzowane rozwiązania, co pozwala jednocześnie zwiększyć elastyczność operacyjną, zminimalizować przestoje i poprawić efektywność procesów logistycznych.

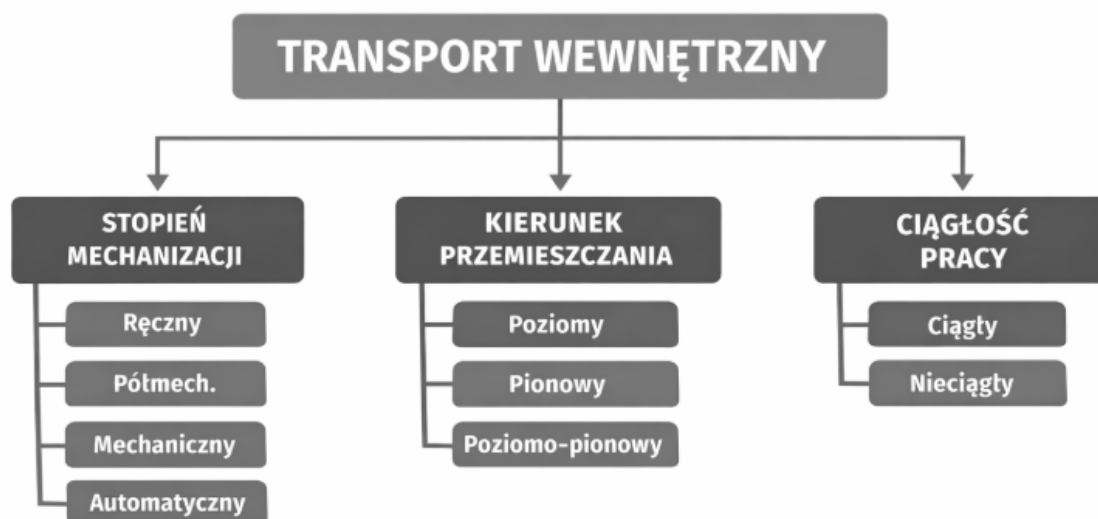
2. Środki transportu wewnętrznego

Środki transportu wewnętrznego to wszelkiego rodzaju urządzenia techniczne oraz pojazdy wykorzystywane do przemieszczania surowców, materiałów, półproduktów i wyrobów gotowych w obrębie jednego obiektu, takiego jak zakład produkcyjny, magazyn czy centrum logistyczne. Ich zadaniem jest usprawnienie przepływu materiałów pomiędzy kolejnymi etapami procesu produkcyjnego lub magazynowego. Według Fijałkowskiego (2003) środki transportu wewnętrznego obejmują zespół urządzeń i pojazdów technicznych przeznaczonych do realizacji procesów transportowych zachodzących wewnątrz przedsiębiorstwa, bez opuszczania jego terenu. Z kolei według Krzyżaniaka i Kisperskiej-Moroń (2009) środki transportu wewnętrznego stanowią element systemu logistycznego przedsiębiorstwa i służą do zapewnienia ciągłości przepływu materiałów pomiędzy stanowiskami roboczymi, strefami składowania oraz punktami załadunku i rozładunku. W opinii Blaika (2010) Transport wewnętrzny obejmuje czynności związane z przemieszczaniem materiałów, surowców i wyrobów gotowych pomiędzy stanowiskami roboczymi, magazynami oraz innymi punktami w obrębie przedsiębiorstwa, realizowane przy użyciu odpowiednich środków technicznych.



2.1. Klasyfikacja środków transportu wewnętrznego

Transport wewnętrzny odgrywa ważną rolę w funkcjonowaniu zakładów produkcyjnych i magazynów, ponieważ umożliwia sprawne przemieszczanie materiałów, surowców oraz wyrobów gotowych w obrębie jednego obiektu. Odpowiedni dobór środków transportu wewnętrznego wpływa na efektywność pracy, bezpieczeństwo oraz organizację procesów logistycznych. Ze względu na różnorodność stosowanych urządzeń i pojazdów, środki transportu wewnętrznego dzieli się według określonych kryteriów. Podział ten ułatwia ich klasyfikację oraz właściwe zastosowanie w zależności od potrzeb przedsiębiorstwa (rysunek 2).



Rysunek 2. Podział transportu wewnętrznego
Źródło: opracowanie własne.

Jednym z podstawowych kryteriów podziału jest stopień mechanizacji. Wyróżnia się transport ręczny, w którym przemieszczanie ładunków odbywa się wyłącznie przy użyciu siły mięśni pracownika. Forma ta stosowana jest głównie przy lekkich ładunkach i na krótkich odległościach, jednak cechuje się niską wydajnością i dużym obciążeniem fizycznym. Kolejną formą jest transport półmechaniczny, w którym praca człowieka wspomagana jest prostymi urządzeniami mechanicznymi, co pozwala na ograniczenie wysiłku i zwiększenie efektywności. Transport mechaniczny wykorzystuje urządzenia napędzane silnikami, takie jak wózki widłowe czy suwnice, umożliwiając przemieszczanie ciężkich ładunków na większe



odległości. Najwyższym stopniem rozwoju charakteryzuje się transport automatyczny, w którym proces przemieszczania ładunków przebiega samoczynnie, często w ramach zintegrowanych systemów logistycznych (Frazelle, Frazelle, 2002).

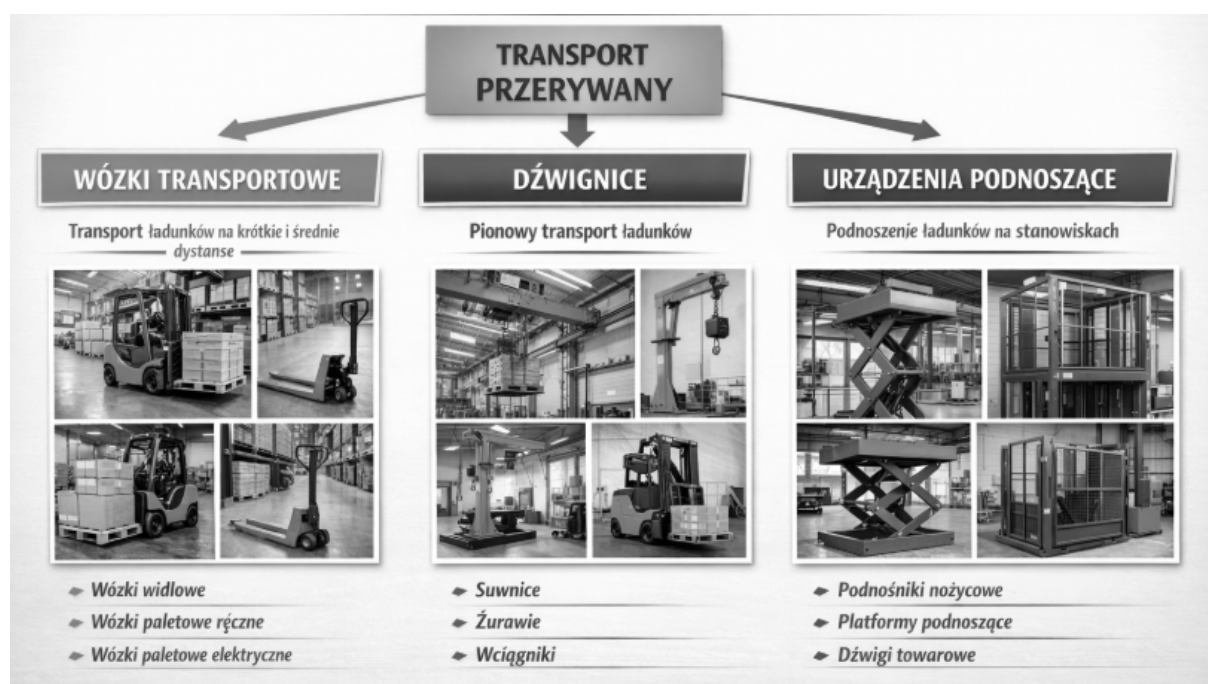
Kolejnym kryterium klasyfikacji jest kierunek przemieszczania ładunków. Transport poziomy polega na przemieszczaniu materiałów w jednej płaszczyźnie, najczęściej po powierzchni podłogi lub przy użyciu przenośników. Transport pionowy umożliwia przemieszczanie ładunków pomiędzy różnymi poziomami obiektu, co jest szczególnie istotne w magazynach wielokondygnacyjnych. Transport poziomo-pionowy łączy oba te kierunki, pozwalając na jednoczesne przemieszczanie ładunku w poziomie i pionie, co znajduje zastosowanie m.in. w magazynach wysokiego składowania (Reese, 2000).

Środki transportu wewnętrznego dzieli się również ze względu na ciągłość pracy. Transport ciągły charakteryzuje się nieprzerwanym przepływem materiałów w czasie pracy urządzenia, co zapewnia wysoką wydajność i powtarzalność procesów. Jest on często stosowany w liniach produkcyjnych o stałym rytmie pracy. Natomiast transport przerywany odbywa się etapami, w określonych cyklach roboczych, pomiędzy którymi mogą występować przerwy. Ten rodzaj transportu cechuje się większą elastycznością i możliwością dostosowania do zmiennych warunków pracy (Bartholdi, Hackman, 2008).

2.2. Środki transportu wewnętrznego ze względu na ciągłość pracy

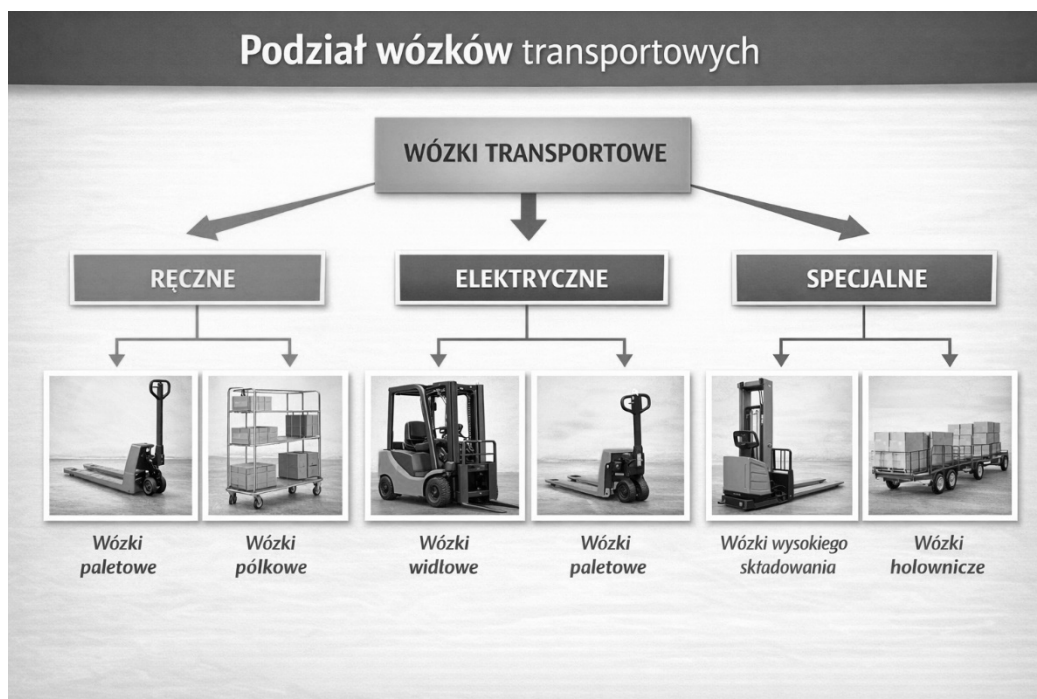
Ze względu na sposób realizacji procesu transportowego środki transportu wewnętrznego dzieli się na **pracujące w sposób ciągły** oraz **pracujące w sposób przerywany**. Podział ten ma istotne znaczenie przy projektowaniu i organizacji procesów logistycznych w przedsiębiorstwie. Podział środków transportu wewnętrznego ze względu na ciągłość pracy odnosi się do sposobu realizacji procesu przemieszczania ładunków w czasie. Kryterium to pozwala określić, czy transport odbywa się w sposób nieprzerwany, czy też jest realizowany etapami, w zależności od organizacji pracy i charakteru przepływu materiałów.

Poniżej dokonano klasyfikacji środków transportu o charakterze przerywanym (rys. 3).



Rysunek 3. Środki transportu wewnętrznego o działaniu przerywanym
Źródło: opracowanie własne.

Wózki transportowe stanowią jedną z najczęściej stosowanych grup środków transportu wewnętrznego i od wielu lat podlegają systematycznemu rozwojowi technicznemu. Ich szerokie zastosowanie wynika z uniwersalności, możliwości obsługi różnorodnych ładunków oraz zdolności do pracy w zróżnicowanych warunkach magazynowych i produkcyjnych. Postęp technologiczny w zakresie konstrukcji wózków przyczynia się do zwiększenia wydajności procesów transportowych, poprawy bezpieczeństwa oraz ograniczenia obciążenia fizycznego pracowników (Fijałkowski, 2003). Do tej grupy zalicza się m.in. wózki widłowe oraz wózki paletowe ręczne i elektryczne. Urządzenia te cechują się dużą uniwersalnością i możliwością obsługi zróżnicowanych ładunków (Blaik, 2010).



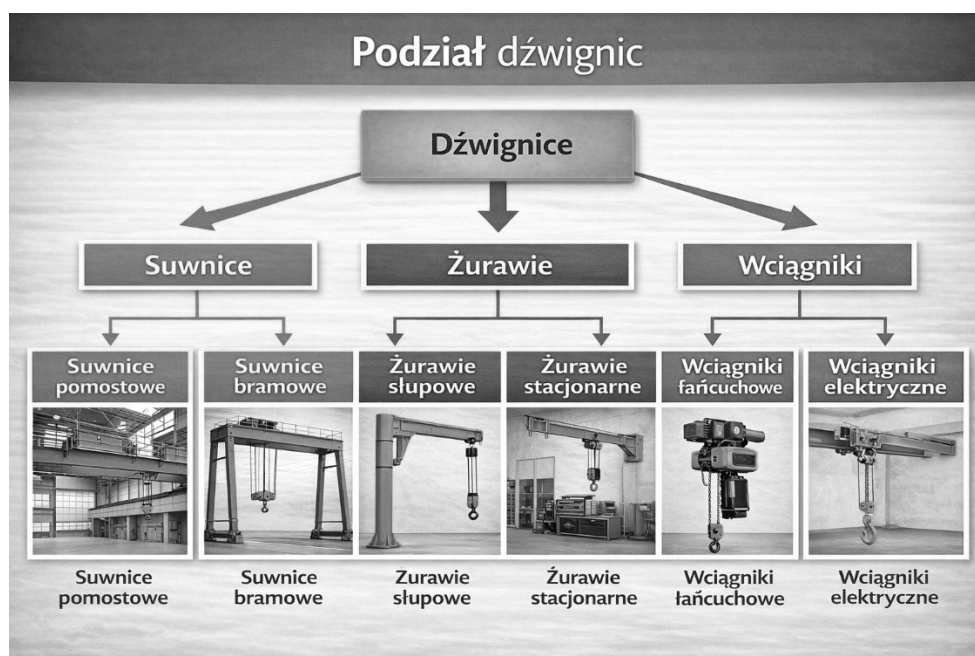
Rysunek 4. Podział wózków transportowych
Źródło: opracowanie własne.

Wózki paletowe służą do poziomego transportu ładunków na paletach na krótkich odcinkach przy ręcznym bądź elektrycznym sterowaniu. Z kolei wózki widłowe czołowe należą do najczęściej wykorzystywanych środków transportu wewnętrznego. Znajdują zastosowanie przede wszystkim w realizacji prac przeładunkowych zarówno wewnątrz obiektów, jak i na terenach zewnętrznych. Służą do wykonywania takich czynności, jak załadunek i rozładunek towarów, obsługa procesów produkcyjnych, podnoszenie ładunków oraz ich przemieszczanie w poziomie. Nowoczesne wózki widłowe wyposażane są w zaawansowane rozwiązania techniczne, które przyczyniają się do zwiększenia efektywności oraz poprawy bezpieczeństwa pracy. Ponadto stosowane w nich układy napędowe umożliwiają ograniczenie zużycia energii oraz zmniejszenie negatywnego wpływu eksploatacji urządzeń na środowisko naturalne. Innym rodzajem wózków są wózki unoszące, które wykorzystywane są głównie do przemieszczania jednostek ładunkowych w poziomie oraz do wykonywania pomocniczych czynności przeładunkowych. Najczęściej wyposażone są w napęd elektryczny i obsługiwane przez operatora poruszającego się obok wózka lub zajmującego na nim pozycję siedzącą bądź stojącą. Urządzenia te mogą być stosowane do jednoczesnego transportu kilku palet, zwłaszcza na dłuższych odcinkach komunikacyjnych wewnątrz obiektów (Halusiak, Uciński, 2014). Należy również wspomnieć o wózkach podnośnikowych widłowych, które stanowią podstawową



grupę uniwersalnych środków transportu bliskiego. Do najczęściej stosowanych należą: wózki z ręcznym napędem jazdy i prowadzeniem, wózki akumulatorowe prowadzone wózki podnośnikowe widłowe, czołowe wózki podnośnikowe widłowe, czołowo-boczne. Istotną zaletą wózków podnośnikowych jest ich uniwersalność zastosowania, polegająca na możliwości obsługi wielu korytarzy międzyregalowych oraz różnych stref transportowych przy użyciu jednego urządzenia. Dodatkowo wózki te cechują się wysoką elastycznością w integracji z innymi środkami transportu wewnętrznego, takimi jak przenośniki wałkowe, co umożliwia sprawną realizację złożonych procesów logistycznych (Halusiak, Uciński, 2014).

Kolejną grupą środków transportu wewnętrznego są dźwignice (rysunek 5). Dźwignice należą do środków transportu wewnętrznego o charakterze przerywanym i są wykorzystywane przede wszystkim do przemieszczania ładunków w kierunku pionowym lub łączącym ruch pionowy i poziomy. Ich praca polega na realizacji pojedynczych operacji podnoszenia i opuszczania ładunku, pomiędzy którymi występują przerwy wynikające z cyklicznego charakteru działania. Do tej grupy urządzeń zalicza się między innymi suwnice, żurawie oraz wciągniki, które znajdują zastosowanie w zakładach produkcyjnych, warsztatach i magazynach, zwłaszcza przy transporcie ładunków ciężkich oraz o dużych gabarytach (Strzałko, Grabski, 2004).



Rysunek 5. Podział dźwignic
Źródło: opracowanie własne.



Suwnice wyróżniają się konstrukcją opartą na ruchomym ustroju nośnym poruszającym się po torach jezdnych, po którym przemieszcza się mechanizm podnoszący w postaci wciągarki lub wciągnika. Urządzenia te umożliwiają transport ładunków zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym, przy czym obszar pracy jest ograniczony maksymalną wysokością podnoszenia oraz skrajnymi położeniami mechanizmu podnoszącego na moście suwnicy, a także krańcowymi pozycjami samego mostu na torze jezdny (Halusiak, Uciński, 2014). Wyróżnia się suwnice pomostowe, bramowe, podwieszane i specjalne, ich wizualizacje przedstawiono z kolei na rysunku 6.



Rysunek 6. Podział suwnic
Źródło: opracowanie własne.

Suwnice pomostowe przemieszczają się po torach jezdnych umieszczonych nad obszarem składowania ładunków, zazwyczaj bezpośrednio pod stropem hali produkcyjnej, montażowej lub magazynowej. Mogą być również instalowane na estakadach zlokalizowanych na placach składowych, co umożliwia ich wykorzystanie na terenach otwartych. Natomiast suwnice bramowe poruszają się po torach jezdnych zlokalizowanych na poziomie składowania ładunków. Znajdują zastosowanie przede wszystkim w realizacji operacji przeładunkowych zarówno ładunków masowych, jak i jednostkowych na placach składowych. Umożliwiają obsługę wszystkich relacji przeładunkowych pomiędzy składowiskiem a środkami transportu drogowego oraz kolejowego. Kolejny rodzaj suwnic, suwnice podwieszane, poruszają się po



torach zamocowanych do konstrukcji stropu lub dachu obiektu, co pozwala na efektywne wykorzystanie przestrzeni roboczej poniżej. Stosowane są głównie w halach produkcyjnych i montażowych do transportu ładunków na krótkich i średnich odległościach (Fijałkowski, 2003).

Kolejnym rodzajem dźwignic są żurawie. Żurawie charakteryzuje wspornikowy ustrój nośny, obrotowy w płaszczyźnie poziomej lub wysięgnik – ustrój nośny zdolny do wykonywania ruchów w płaszczyźnie pionowej, poziomej lub obu jednocześnie. Wyróżnia się żurawie słupowe, przyściennie, wypadowe, warsztatowe oraz budowlane.

W transporcie wewnętrznym szeroko stosowane są żurawie słupowe, szczególnie do mechanizacji prac transportowo-montażowych na stanowiskach pracy. Innym rodzajem dźwignic są wciągniki, czyli to urządzenia służące do przemieszczania ładunków w pionie lub w pionie i poziomie w jednej płaszczyźnie pionowej. Konstrukcja wciągnika stanowi jego ustrój nośny. W literaturze można spotkać ich następujący podział, tj. wciągniki ręczne, elektryczne łańcuchowe, elektryczne linowe.

Kolejnym rodzajem urządzeń o charakterze przerywanym stosowanych w przedsiębiorstwach produkcyjnych i usługowych są urządzenia podnoszące. Służą one do przemieszczania ładunków na stosunkowo niewielkie wysokości i są zazwyczaj wykorzystywane w obrębie jednego stanowiska roboczego lub jego bezpośredniego otoczenia. Ich funkcjonowanie ma charakter przerywany, ponieważ poszczególne operacje podnoszenia realizowane są w zależności od bieżących potrzeb operatora lub kolejnych etapów procesu technologicznego. Do tej grupy zalicza się między innymi podnośniki nożycowe, platformy podnoszące oraz dźwigi towarowe, które znajdują szerokie zastosowanie w magazynach, zakładach produkcyjnych oraz obiektach usługowych. Zastosowanie urządzeń podnoszących przyczynia się do poprawy ergonomii pracy, ograniczenia wysiłku fizycznego pracowników oraz zwiększenia poziomu bezpieczeństwa podczas manipulowania ładunkami (Fijałkowski, 2003).

3. Automatyzacja transportu wewnętrznego

Automatyzacja transportu wewnętrznego oznacza wykorzystanie zaawansowanych rozwiązań technicznych oraz systemów informatycznych, które umożliwiają automatyczne przemieszczanie materiałów, surowców i wyrobów gotowych w obrębie magazynu lub zakładu produkcyjnego. Podstawowym celem wdrażania takich rozwiązań jest zwiększenie



efektywności procesów logistycznych, zmniejszenie udziału pracy manualnej oraz poprawa warunków bezpieczeństwa i ergonomii pracy. W zautomatyzowanych systemach transportu wewnętrznego stosuje się między innymi przenośniki automatyczne, układnice magazynowe, systemy sortujące, a także autonomiczne pojazdy transportowe, takie jak AGV i AMR, które realizują zadania transportowe bez bezpośredniego udziału operatora. Zastosowanie tych technologii umożliwia zachowanie ciągłości przepływu materiałów, wysoką powtarzalność operacji oraz dokładne sterowanie procesami transportowymi. Decyzja o wdrożeniu automatyzacji transportu wewnętrznego powinna być poprzedzona szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną, uwzględniającą charakter działalności przedsiębiorstwa, intensywność przepływów materiałowych oraz poziom nakładów inwestycyjnych. Prawdłowo zaprojektowany i wdrożony system zautomatyzowanego transportu wewnętrznego może w istotnym stopniu przyczynić się do usprawnienia procesów logistycznych oraz wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstwa (De Ryck i in., 2020; Ellithy i in., 2024).

3.1. Podstawy automatyzacji przepływu materiałów

Automatyzacja przepływu materiałów jest fundamentem nowoczesnych systemów logistycznych i produkcyjnych. Polega ona na wykorzystaniu zintegrowanych rozwiązań technicznych oraz informatycznych w celu zapewnienia sprawnego, uporządkowanego i możliwie nieprzerwanego przemieszczania materiałów, półproduktów oraz wyrobów gotowych. Jej głównym zadaniem jest zwiększenie wydajności operacyjnej, redukcja błędów ludzkich oraz ograniczenie kosztów związanych z ręczną obsługą transportu wewnętrznego (Christopher, 2016).

Jednym z kluczowych warunków skutecznej automatyzacji przepływu materiałów jest standaryzacja jednostek ładunkowych oraz nośników transportowych. Ujednolicone palety, pojemniki i kontenery umożliwiają współpracę różnych urządzeń transportowych w jednym systemie, bez konieczności dodatkowych operacji przeładunkowych. Równie istotne jest zaprojektowanie logicznych i powtarzalnych tras przepływu materiałów, które ograniczają zbędne przemieszczenia oraz kolizje strumieni transportowych (Bartholdi i Hackman, 2014).

Automatyzacja przepływu materiałów opiera się również na zastosowaniu odpowiednich urządzeń technicznych, takich jak przenośniki taśmowe i rolkowe, układnice magazynowe, systemy sortujące oraz autonomiczne pojazdy transportowe AGV i AMR. Urządzenia te realizują transport w sposób powtarzalny i zsynchronizowany z innymi



procesami logistycznymi, co pozwala na utrzymanie ciągłości przepływu materiałów i skrócenie czasów realizacji operacji (Frazelle i Frazelle, 2002).

Istotnym elementem automatyzacji przepływu materiałów jest integracja urządzeń transportowych z systemami informatycznymi zarządzającymi logistyką i produkcją, takimi jak systemy WMS, MES czy ERP. Systemy te umożliwiają bieżące monitorowanie przepływu materiałów, identyfikację jednostek ładunkowych oraz dynamiczne sterowanie transportem w zależności od aktualnych potrzeb produkcyjnych lub magazynowych (De Ryck i in., 2020). Automatyzacja przepływu materiałów ma również istotny wpływ na poprawę bezpieczeństwa i ergonomii pracy. Ograniczenie ręcznego przenoszenia ładunków zmniejsza ryzyko urazów oraz przeciążeń fizycznych pracowników, a jednocześnie stabilizuje i ujednolica przebieg procesów logistycznych. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą osiągać wyższą niezawodność operacyjną i lepsze wykorzystanie zasobów (Fijałkowski, 2003).

3.2. Pojazdy AGV i AMR

Automatyczne wózki AGV (*Automated Guided Vehicles*) są rozwiązaniem znanym i stosowanym od wielu lat, jednak ich intensywny rozwój nastąpił wraz z postępem w zakresie nowoczesnych systemów sterowania oraz technologii lokalizacji. Wprowadzenie tych rozwiązań znacząco zwiększyło możliwości eksploatacyjne pojazdów AGV, umożliwiając ich pracę w zróżnicowanych warunkach środowiskowych. Do głównych zalet tego typu wózków należą wysoka precyzja działania, powtarzalność realizowanych operacji oraz zdolność do długotrwałej, niemal ciągłej pracy (Kurzacz, 2017). Roboty mobilne AGV stanowią bezzałogowe pojazdy autonomiczne przeznaczone do transportu ładunków wzdłuż wcześniej określonych tras przejazdu. Drogi te wyznaczane są przy użyciu taśm magnetycznych lub innych technologii nawigacyjnych, natomiast punkty docelowe, takie jak stanowiska robocze czy stacje przeładunkowe, identyfikowane są przez pojazd za pomocą systemów czujników, na przykład technologii RFID. AGV poruszają się samodzielnie dzięki elektrycznym układom napędowym zasilanym akumulatorami, a proces podejmowania decyzji opiera się na analizie bieżących danych pozyskiwanych w czasie rzeczywistym (Płaczek, Osieczko, 2020).

**Tabela 1. Podział pojazdów AGV ze względu na rodzaj pojazdu**

Rodzaj pojazdu AGV	Charakterystyka
Wózki holownicze (towing vehicles)	Pojazdy AGV przeznaczone do holowania zestawów transportowych lub innych wózków. Charakteryzują się dużą ładownością i stosowane są głównie w magazynach, halach produkcyjnych oraz centrach dystrybucyjnych. Poruszają się po ściśle wyznaczonych trasach.
Wózki podnoszące ładunek (unit load vehicles)	Klasyczne pojazdy AGV przystosowane do transportu jednostek ładunkowych, takich jak palety czy pojemniki. Mogą być ładowane ręcznie lub automatycznie i wykorzystywane w magazynach oraz zakładach produkcyjnych.
Wózki widłowe AGV (fork trucks)	Autonomiczne wózki widłowe przeznaczone do transportu ładunków paletowych. Charakteryzują się wysoką precyzją oraz możliwością integracji z systemami identyfikacji i monitorowania towarów.
Proste wózki transportowe (cart vehicles)	Pojazdy AGV o prostej konstrukcji, stosowane do transportu pojedynczych ładunków lub współpracy z wózkami holowniczymi. Najczęściej poruszają się po trasach wyznaczonych taśmą magnetyczną.

Źródło: (Płaczek, Osieczko, 2020).

Wdrożenie robotów AGV w magazynach oraz centrach dystrybucyjno-logistycznych umożliwia ich integrację z systemami zarządzania magazynem (WMS). Połączenie tych systemów pozwala na sprawniejsze sterowanie procesami transportowymi, co w efekcie zwiększa elastyczność funkcjonowania magazynu oraz umożliwia lepsze dostosowanie pracy do zmieniających się warunków operacyjnych.

Roboty AGV są powszechnie wykorzystywane do realizacji zadań transportowych w obrębie obiektów logistycznych, w szczególności do przemieszczania zapasów pomiędzy różnymi strefami magazynu oraz do obsługi procesów załadunku i rozładunku w dokach przeładunkowych. Dzięki wysokiej nośności i zdolności do transportu ciężkich ładunków znajdują one również zastosowanie w zakładach produkcyjnych, gdzie służą do zaopatrywania linii montażowych w duże lub nietypowe elementy.

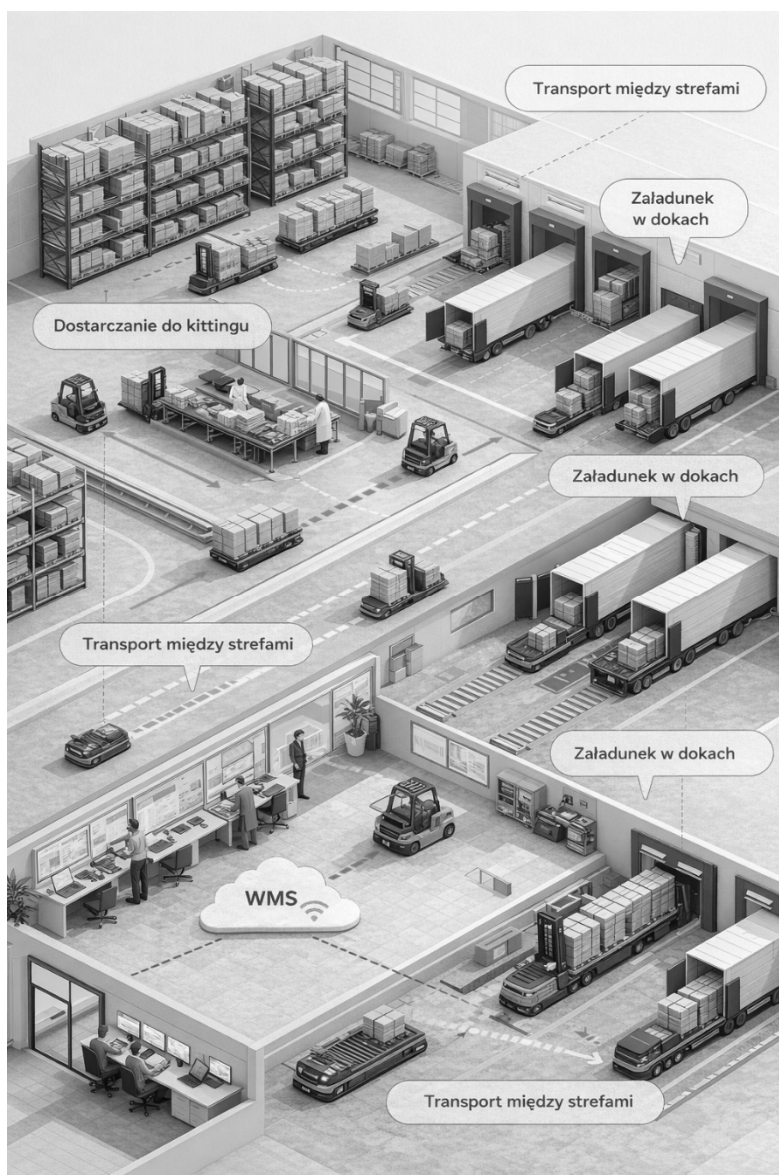


Do najczęściej spotykanych zastosowań robotów AGV należy automatyczny załadunek i rozładunek pojazdów transportowych, w ramach którego zastępują one tradycyjne wózki widłowe oraz inne urządzenia przeładunkowe. Systemy AGV mogą samodzielnie pobierać ładunki i umieszczać je w przestrzeni ładunkowej pojazdów. Kolejnym obszarem wykorzystania jest obsługa regałów magazynowych, polegająca na odkładaniu towarów w wyznaczonych lokalizacjach oraz ich pobieraniu i dostarczaniu do stanowisk kompletacji zamówień, co znacząco usprawnia przepływ materiałów i pracę personelu.

Roboty AGV są także szeroko stosowane w procesach zaopatrywania zakładów produkcyjnych, zwłaszcza w branżach wymagających transportu dużych partii towarów lub ciężkich elementów o nieregularnych kształtach. Z tego względu rozwiązania te są szczególnie popularne w przemyśle motoryzacyjnym oraz lotniczym. Ponadto roboty AGV wykorzystywane są do dostarczania komponentów do stanowisk kittingu, gdzie zapewniają terminowe i precyzyjne dostawy elementów składowych zestawów produkcyjnych.

Ze względu na swoją uniwersalność i niezawodność roboty AGV znalazły zastosowanie w wielu sektorach gospodarki, w tym w przemyśle wytwórczym funkcjonującym w modelu *just-in-time*, przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz motoryzacyjnym, gdzie kluczowe znaczenie ma terminowość i ciągłość zaopatrzenia procesów produkcyjnych (Frazelle, 2002).

Przykładowe zastosowanie robotów AGV przedstawiono na poniższym rysunku (rysunek 7).



Rysunek 7. Wybrane obszary zastosowania wózków AGV
Źródło: opracowanie własne.

Pojazdy AGV mogą być sterowane z wykorzystaniem różnych metod nawigacji, które umożliwiają im poruszanie się po wyznaczonych trasach w obrębie obiektu. Jedną z najczęściej stosowanych metod jest nawigacja magnetyczna, realizowana przy użyciu taśmy magnetycznej umieszczonej na posadzce. Innym rozwiązaniem jest nawigacja indukcyjna, w której trasa przejazdu wyznaczana jest przez przewód zasilany prądem, poprowadzony pod powierzchnią podłogi. Stosowana jest również nawigacja optyczna, oparta na kontrastowych liniach lub taśmach naklejonych na posadzce (Ullrich, 2015).



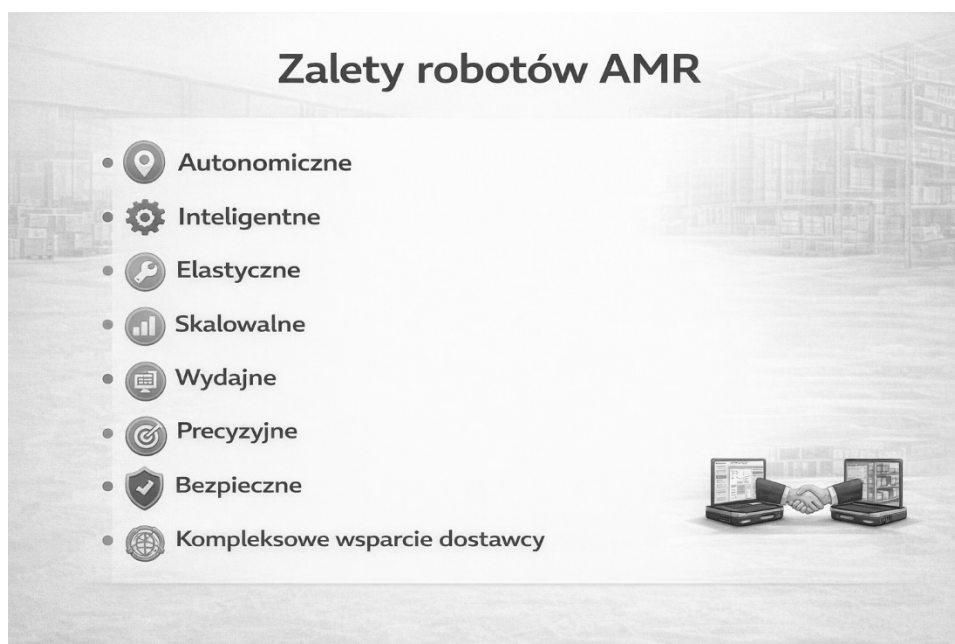
Coraz częściej wykorzystywane są także systemy nawigacji laserowej. W przypadku nawigacji laserowej z punktami odniesienia pojazd wyposażony jest w skaner laserowy, który emituje i odbiera wiązkę światła, lokalizując się względem rozmieszczonych w otoczeniu znaczników. Z kolei nawigacja laserowa naturalna nie wymaga stosowania dodatkowych punktów odniesienia, ponieważ pojazd porusza się w oparciu o wcześniej zmapowany obszar zapisany w jego pamięci (Siegwart i in., 2011).

Istotne jest również rozróżnienie pojęć pojazdu automatycznego i autonomicznego. W przypadku pojazdów automatycznych zastosowane technologie umożliwiają przejęcie przez system jedynie wybranych czynności związanych z prowadzeniem pojazdu, przy jednoczesnym udziale operatora. Natomiast pojazdy autonomiczne charakteryzują się pełnym stopniem automatyzacji, który pozwala na samodzielne sterowanie pojazdem bez udziału człowieka. W celu uporządkowania tych różnic opracowano różne systemy klasyfikacji poziomów autonomii pojazdów (SAE, 2018).

Kolejną grupą pojazdów stosowanych w przedsiębiorstwach są **pojazdy AMR**. Pojazdy AMR (*Autonomous Mobile Robots*) są zaawansowanymi autonomicznymi robotami mobilnymi przeznaczonymi do realizacji zadań transportu wewnętrznego w magazynach, centrach dystrybucyjnych oraz zakładach produkcyjnych. W przeciwieństwie do klasycznych pojazdów AGV nie poruszają się po stałych, fizycznie wyznaczonych trasach, lecz wykorzystują algorytmy lokalizacji i mapowania otoczenia, które umożliwiają im samodzielne określanie położenia oraz orientację w przestrzeni (Siegwart i in., 2011). Istotną cechą robotów AMR jest zdolność do dynamicznego planowania trasy oraz reagowania na zmiany zachodzące w otoczeniu w czasie rzeczywistym. Dzięki zastosowaniu czujników, kamer oraz skanerów laserowych roboty te potrafią wykrywać przeszkody i omijać je bez ingerencji człowieka, co znacząco zwiększa elastyczność ich zastosowania w środowiskach o zmiennej organizacji pracy (Lackner i in., 2024). Roboty AMR są najczęściej zasilane elektrycznie i wyposażone w systemy automatycznego ładowania, co pozwala na ich długotrwałą i niemal ciągłą eksploatację. Ich praca jest zwykle zintegrowana z systemami zarządzania logistyką i produkcją, takimi jak WMS czy MES, co umożliwia automatyczne przydzielanie zadań transportowych oraz optymalizację przepływu materiałów w całym obiekcie (De Ryck i in., 2020). Ze względu na wysoki poziom autonomii oraz zdolność adaptacji do zmieniających się warunków, pojazdy AMR znajdują coraz szersze zastosowanie w nowoczesnej intralogistyce. Są one szczególnie często wykorzystywane w magazynach e-commerce oraz w przemyśle



motoryzacyjnym, elektronicznym i farmaceutycznym, gdzie kluczowe znaczenie mają elastyczność, bezpieczeństwo oraz ciągłość procesów logistycznych (Christopher, 2016). Na rysunku 8 przedstawiono kluczowe zalety stosowania robotów AMR.



Rysunek 8. Ważniejsze zalety zastosowania wózków AMR w produkcji
Źródło: opracowanie własne

Roboty AMR charakteryzują się wysokim poziomem autonomii, co oznacza, że mogą poruszać się swobodnie po magazynie w oparciu o wirtualne mapy otoczenia, bez konieczności stosowania fizycznie wyznaczonych tras przejazdu. Zastosowanie zaawansowanych systemów nawigacyjnych sprawia, że roboty te są inteligentne i potrafią samodzielnie obliczać optymalne trasy przejazdu, a także wykrywać i omijać przeszkody w czasie rzeczywistym. Istotną zaletą robotów AMR jest ich elastyczność, ponieważ mogą być wdrażane w istniejących obiektach logistycznych bez potrzeby przebudowy układu magazynu, co znacząco skraca czas implementacji. Jednocześnie systemy te cechują się skalowalnością, umożliwiającą łatwą rozbudowę floty robotów wraz ze wzrostem zapotrzebowania lub w okresach zwiększonej intensywności pracy. Roboty AMR są również rozwiązaniami wydajnymi, gdyż oprogramowanie do zarządzania flotą pozwala na optymalny przydział zadań i efektywne sterowanie ruchem pojazdów. Wysoka precyzja realizowanych operacji ogranicza liczbę błędów i przekłada się na wzrost produktywności procesów magazynowych. Dodatkowo zaawansowane czujniki oraz skanery antykolizyjne zapewniają bezpieczną współpracę



robotów z ludźmi i innymi maszynami. W praktyce rozwiązania AMR oferowane są często jako część kompleksowych systemów intralogistycznych, wspieranych przez doświadczonych dostawców, co gwarantuje profesjonalne wdrożenie oraz długoterminowe wsparcie techniczne (Zhong, 2017).

Roboty AMR są najczęściej integrowane z systemami informatycznymi wspomagającymi zarządzanie magazynem, produkcją oraz zasobami przedsiębiorstwa, takimi jak WMS, MES i ERP. Integracja ta umożliwia automatyczne przypisywanie zadań transportowych, bieżące śledzenie przebiegu procesów oraz koordynację transportu z procesami produkcyjnymi i kompletacją zamówień. W rezultacie system logistyczny zyskuje większą elastyczność w reagowaniu na zmieniające się potrzeby operacyjne, a także wyższy poziom przejrzystości i kontroli nad realizowanymi procesami. Rozwój robotów AMR koncentruje się na zwiększaniu poziomu ich autonomii oraz coraz szerszym zastosowaniu metod sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Przyszłe rozwiązania będą umożliwiały dokładniejsze prognozowanie zdarzeń zachodzących w środowisku pracy, samodzielne doskonalenie tras przejazdu oraz efektywną współpracę w ramach zróżnicowanych flot, składających się z różnych typów robotów mobilnych.

Rozwój robotów mobilnych AGV i AMR znacząco wpłynął na sposób realizacji transportu wewnętrznego w nowoczesnych magazynach i zakładach produkcyjnych. Mimo, że oba typy robotów pełnią podobne funkcje transportowe, różnią się pod względem stopnia autonomii, technologii nawigacji oraz możliwości adaptacji do zmiennych warunków pracy. Zestawienie tych rozwiązań pozwala na lepsze zrozumienie ich zastosowań oraz ograniczeń (tabela 2).

**Tabela 2. Porównanie zastosowań modelu AMR i AVG**

Kryterium	AGV (Automated Guided Vehicles)	AMR (Autonomous Mobile Robots)
Charakter środowiska pracy	Środowiska o stałym i przewidywalnym układzie procesów	Środowiska dynamiczne, o zmiennej organizacji pracy
Rodzaj tras	Trasy z góry zdefiniowane i fizycznie wyznaczone	Trasy wyznaczane dynamicznie na podstawie map wirtualnych
Główne zastosowanie	Transport powtarzalny i cykliczny	Transport elastyczny i adaptacyjny
Transport międzyoperacyjny	Szeroko stosowane na liniach produkcyjnych	Stosowane głównie w zmiennych procesach
Zaopatrywanie linii produkcyjnych	Często wykorzystywane w systemach just-in-time	Skuteczne przy częstych zmianach asortymentu
Magazyny wysokiego składowania	Transport palet między strefami magazynu	Wspomaganie kompletacji i transport jednostkowy
Kompletacja zamówień	Ograniczone zastosowanie	Szerokie zastosowanie, szczególnie w e-commerce
Kitting	Rzadziej stosowane	Często wykorzystywane
Współpraca z człowiekiem	Ograniczona, często wydzielone strefy	Bezpośrednia współpraca w tej samej przestrzeni
Elastyczność wdrożenia	Niska–średnia	Wysoka
Typowe branże	Motoryzacja, ciężka produkcja, magazyny paletowe	E-commerce, farmacja, elektronika, logistyka kontraktowa

Źródło: opracowanie własne.

Reasumując, roboty AGV są bardziej odpowiednie dla procesów o ustalonej i niezmienniej strukturze, natomiast roboty AMR sprawdzają się w środowiskach wymagających dużej elastyczności i szybkiego reagowania na zmiany. Ostateczny wybór



technologii powinien wynikać z analizy specyfiki procesów logistycznych oraz potrzeb danego przedsiębiorstwa.

3.3. Integracja technologii transportu wewnętrznego z systemami IT

Współczesne systemy transportu wewnętrznego coraz rzadziej działają jako samodzielne, odseparowane rozwiązania techniczne. Ich skuteczność jest w dużym stopniu uzależniona od poziomu integracji z informatycznymi systemami przedsiębiorstwa, które odpowiadają za planowanie, sterowanie oraz nadzorowanie procesów logistycznych i produkcyjnych. Połączenie technologii transportu wewnętrznego z systemami IT pozwala na zsynchronizowanie przepływu materiałów z obiegiem informacji, co stanowi podstawę nowoczesnych rozwiązań logistycznych oraz koncepcji Przemysłu 4.0. (Kiehne, Olaru, 2017). Systemy informatyczne pełnią funkcję nadrzędną wobec fizycznych środków transportu, takich jak przenośniki, układnice magazynowe, wózki AGV czy roboty AMR. Dzięki ich integracji możliwe staje się bieżące śledzenie realizacji zadań transportowych, elastyczne przydzielanie zleceń oraz efektywniejsze wykorzystanie dostępnych zasobów transportowych.

Jednym z najważniejszych systemów wspomagających funkcjonowanie transportu wewnętrznego jest system zarządzania magazynem WMS (Warehouse Management System). System WMS stanowi kompleksowe rozwiązanie informatyczne, obejmujące oprogramowanie, urządzenia, usługi oraz wsparcie serwisowe, które umożliwia skuteczne zarządzanie przepływem towarów w magazynie. Jednocześnie system ten pozwala na optymalizację wykorzystania przestrzeni magazynowej, co przekłada się na zwiększenie efektywności operacyjnej i lepsze zagospodarowanie dostępnych zasobów. System WMS jest narzędziem informatycznym wspierającym obszar gospodarki magazynowej w procesie podejmowania decyzji. Jego właściwe i efektywne wykorzystanie przyczynia się do zwiększenia przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie zarówno w magazynach tradycyjnych, jak i w magazynach wysokiego składowania (Andiyappillai, 2020). System WMS odpowiedzialny jest za określanie lokalizacji towarów, kontrolę stanów magazynowych, realizację procesów kompletacji zamówień oraz nadzorowanie przepływu materiałów w przestrzeni magazynowej. Integracja rozwiązań transportu wewnętrznego z systemem WMS pozwala na automatyczne tworzenie i przekazywanie zadań transportowych do urządzeń takich jak przenośniki czy mobilne roboty transportowe, co znacząco zwiększa sprawność i płynność realizowanych operacji. Dzięki



takiej integracji środki transportu wewnętrznego wykonują zadania w ścisłym powiązaniu z bieżącymi potrzebami magazynu, co umożliwia skrócenie czasu realizacji operacji oraz redukcję błędów wynikających z ręcznego sterowania procesami.

Systemy realizacji produkcji MES (Manufacturing Execution Systems) pełnią ważną funkcję w integrowaniu transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwach produkcyjnych. MES jest systemem informatycznym służącym do monitorowania procesów produkcyjnych, umożliwiającym automatyczne gromadzenie danych dotyczących ich przebiegu. Rozwiązania tego typu są najczęściej wdrażane w dużych przedsiębiorstwach, które cechuje wysoki poziom mechanizacji oraz automatyzacji procesów produkcyjnych.

Systemy tej klasy umożliwiają stały nadzór nad przebiegiem procesów wytwórczych oraz koordynację przepływu materiałów z realizowanymi operacjami technologicznymi. Połączenie systemów transportu wewnętrznego z MES pozwala na automatyczne i terminowe dostarczanie surowców oraz półproduktów do stanowisk produkcyjnych, zgodnie z aktualnym planem i harmonogramem produkcji (Kletti, 2007). Do najważniejszych funkcji systemów MES można zaliczyć:

- automatyczne pozyskiwanie danych dotyczących przebiegu procesów produkcyjnych,
- analizowanie oraz identyfikowanie zakłóceń, kolizji i awarii zasobów produkcyjnych,
- generowanie automatycznych powiadomień o występujących zakłóceniach, kolizjach i awariach,
- raportowanie wykorzystania i pracy zasobów produkcyjnych przedsiębiorstwa,
- bieżące monitorowanie realizacji procesów produkcyjnych,
- wymianę danych z systemami klasy ERP,
- komunikację ze sterownikami oraz systemami wizualizacji procesów,
- analizę wydajności i efektywności systemu produkcyjnego,
- zarządzanie obiegiem dokumentacji produkcyjnej,
- zarządzanie alokacją oraz dostępnością zasobów produkcyjnych,
- harmonogramowanie produkcji, przydzielanie zleceń oraz śledzenie produkcji w toku,
- wspomaganie i zarządzanie procesami utrzymania ruchu (Pająk, 2021).

Systemy MES realizują rozbudowany zestaw funkcji obejmujących kluczowe obszary działalności przedsiębiorstwa, integrując procesy produkcyjne, jakościowe, kadrowe oraz magazynowe. W sferze produkcji umożliwiają one elektroniczne przekazywanie zleceń wraz z niezbędnymi instrukcjami technologicznymi, bieżące raportowanie postępu prac oraz



szczegółowe śledzenie produkcji z uwzględnieniem ilości, partii wytwórczych i numerów seryjnych. Istotnym elementem jest także powiązanie procesów produkcyjnych z kontrolą jakości oraz stosowanie mechanizmów autoryzacji i elektronicznych podpisów pracowników. W obszarze jakości systemy MES wspierają nadzór nad terminami przydatności produktów oraz rejestracją wyników kontroli przypisanych do konkretnych partii i numerów seryjnych. Umożliwiają automatyczne generowanie zadań inspekcyjnych, analizę danych materiałowych, wspomaganie decyzji operacyjnych oraz tworzenie alertów w przypadku wykrycia niezgodności. Zapewniają również kontrolę zgodności z obowiązującymi specyfikacjami i możliwość śledzenia wyników jakościowych dla poszczególnych dyspozycji. System MES odgrywa także ważną rolę w zarządzaniu czasem pracy. Pozwala na automatyczną rejestrację czasu pracy z wykorzystaniem kart zbliżeniowych i zegarów rejestrujących, elastyczne definiowanie harmonogramów, przerw i okresów rozliczeniowych, a także przypisywanie pracownikom zmiennych grafików. Dodatkowo system wspiera inteligentny przydział zadań produkcji w toku, uwzględniając aktualne obciążenie zasobów oraz zależności czasowe pomiędzy operacjami, przy zachowaniu możliwości nadzoru i zatwierdzania decyzji przez kadrę zarządzającą. W obszarze magazynowym MES umożliwia automatyczne planowanie i realizację zadań związanych z przyjęciem dostaw, identyfikację oraz śledzenie przepływu materiałów, kontenerów i palet zwrotnych. Wspiera kontrolę zapasów powierzonych przez klientów i dostawców, zarządzanie stanami wyrobów gotowych oraz materiałów opakowaniowych, a także nadawanie identyfikatorów wysyłanym produktom. System pozwala na automatyczne inicjowanie inspekcji wysyłkowych, generowanie dokumentów i etykiet, tworzenie identyfikatorów RFID oraz monitorowanie statusu wysyłek na wszystkich etapach realizacji.

Integracja rozwiązań transportu wewnętrznego z systemami informatycznymi zapewnia skoordynowane zarządzanie przepływem materiałów oraz informacji w przedsiębiorstwie. Umożliwia powiązanie operacji transportowych z procesami magazynowymi i produkcyjnymi, sprzyjając ich automatyzacji i lepszej synchronizacji. Skutkuje to skróceniem czasu realizacji działań, zmniejszeniem liczby błędów oraz bardziej efektywnym wykorzystaniem dostępnych zasobów, co przekłada się na wzrost sprawności i elastyczności funkcjonowania organizacji.



Bibliografia

- Andiyappillai, N. (2020). Factors influencing the successful implementation of the warehouse management system (WMS). *International Journal of Computer Applications*, 177(32), 21-25.
- Bartholdi, J. J., Hackman, S. T. (2008). *Warehouse & Distribution Science: Release 0.89*. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute.
- Bielawa, A. (2011). Postrzeganie i rozumienie jakości – przegląd definicji jakości, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego* (142-152), nr 21.
- Blaik, P. (2010). *Logistyka: koncepcja zintegrowanego zarządzania*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management: logistics & supply chain management*. Pearson UK.
- De Ryck, M., Versteijhe, M., & Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 152-173.
- Detyna, B. (2011). *Zarządzanie jakością w logistyce: metody i narzędzia wspomagające: przykłady, zadania*. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Angelusa Silesiusa.
- Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S., Shalaby, R. (2024). AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(1), 15-38.
- Fajczak-Kowalska, A. (2015). Rola instrumentów informatycznych w systemach transportu wewnętrznego. *Logistyka*, (3, CD 1), 1271-1277.
- Fertsch, M. (2008). *Podstawy Logistyki*. PWE. Warszawa.
- Fijałowski, J. (2013). *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*. Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
- Frankowska, M., Myszak, J. M., Czaban, S. (2017). Zarządzanie logistyką wewnętrzną w aspekcie złożoności sieci organizacyjnych. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 18(8, cz. 2 Logistyka w naukach o zarządzaniu. Część II), 79-91.
- Frazelle, E., Frazelle, E. (2002). *World-class warehousing and material handling (Vol. 1)*. New York: McGraw-Hill.



- Głodowska, K., Piekarska, K. (2024). Organization of the internal transport process in the warehouse. *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*, 28(1), 32-37.
- Głodowska, K., Grzelak, M., Waśniewski, T. R. (2023). Wybór technologii transportu wewnętrznego z wykorzystaniem wybranych narzędzi. *Transport Samochodowy*, 68(2), 27-41.
- Gołembski, M., Gołembska, E. (2023). *Transport w logistyce*. Warszawa: CeDeWu.
- Grzybowska, K. (2011). *Strategie zakupowe*. Wydawnictwo Politechniki Poznań „skiej.
- Halusiak S., Uciński J. (2014). *Transport Wewnętrzny. Zagadnienia wybrane*. Łódź: wydaw. Politechniki Łódzkiej.
- Hamrol, A. (2018), *Zarządzanie i inżynieria jakości*. Warszawa: PWN.
- Hamrol, A. (2007). *Zarządzanie jakością z przykładami*. Warszawa: PWN.
- Hohmann, S. (2022). *Logistik- und Supply Chain Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kiehne, J., Olaru, M. (2017). Implementing Industrie 4.0 strategies: beyond technical innovations. In *Basiq International Conference: New Trends in Sustainable Business and Consumption* (pp. 363-371).
- Kisperska-Moroń, D. Krzyżaniak S. (2009). *Logistyka*. Poznań. Biblioteka Logistyka.
- Kletti, J. (Ed.). (2007). *Manufacturing Execution Systems—MES*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kosacka-Olejniki, M., Kostrzewski, M., Marczevska, M., Mrówczyńska, B., Pawlewski, P. (2021). How Digital Twin Concept Supports Transport Systems? — Literature Review. *Energies*, 14
- Kurzacz, T. (2017). Wózki AGV. *Główny Mechanik*”, listopad–grudzień.
- Lackner, T., Hermann, J., Kuhn, C., Palm, D. (2024). Review of autonomous mobile robots in intralogistics: state-of-the-art, limitations and research gaps. *Procedia CIRP*, 130, 930-935.
- Lean Action Plan (2025). 6 rad jak usprawnić transport wewnętrzny i magazynowy w firmie. Pobrano z: <https://leanactionplan.pl/6-rad-jak-usprawnic-transport-w-firmie/>; 07.11.2025.
- Lewczuk, K. (2024). *Modelowanie i ocena systemów transportu wewnętrznego oraz sterowanie procesami transportu wewnętrznego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.



- Łunarski, J. (2009). Zarządzanie jakością w logistyce. Rzeszów: PR.
- Mantura, W. (2025). Wprowadzenie do zarządzania jakością, W: red. A. Hamrol, W. Mantura, Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka (91-120), Warszawa: PWN.
- Martin, H. (2018). Warehousing and transportation logistics: systems, planning, application and cost effectiveness. Kogan Page Publishers.
- Mecalux (2022). Jak działają roboty AGV? Pobrano z: <https://www.mecalux.pl/blog/roboty-agv>; 04.01.2026
- Mecalux (2024). Transport wewnętrzny – systemy i przykłady. Pobrano z: <https://www.mecalux.pl/blog/transport-wewnetrzny>; 7.11.2025.
- Mourato, J., Pinto Ferreira, L., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Dieguez, T., & Tjahjono, B. (2020). Improving internal logistics of a bus manufacturing using the lean techniques. International Journal of Productivity and Performance Management, 70(7),
- Nowotyńska, I., Kut, S., & Krauz, M. (2017). Internal transport as an integral part of logistics in production. Part 1. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18(12).
- Pająk, E. (2021). Zarządzanie produkcją: produkt, technologia, organizacja. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Płaczek, E., Osieczko, K. (2020). Zastosowanie robotów AGV w intralogistyce. Zarządzanie Innowacyjne w Gospodarce i Biznesie, (1/30), 165-176.
- Raczyk, R. (2013). Środki transportu bliskiego i magazynowania. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Reese, C. (2000). Material Handling Systems: Designing for Safety and Health. CRC Press.
- SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee. (2018). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. SAE International: Warrendale, PA, USA.
- Sato, K. (1998). Osiem podstawowych zasad japońskiego stylu zarządzania, Problemy jakości, 7.
- Schmidt, T. (Hrsg.). (2019). Innerbetriebliche Logistik. Springer Vieweg.
- Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., Scarmorzes, D. (2011). Introduction to autonomous mobile robots. MIT press.
- Strzałko, J., Grabski, J. (2004). Analiza ruchu ładunku przenoszonego przez dźwignice. Przegląd Mechaniczny, 16-21.



- Tarasiuk, W., & Jarocka, M. (2023). Usprawnienie organizacji transportu wewnętrznego poprzez zastosowanie stacji pociągu logistycznego. Akademia Zarządzania.
- Thomson, J.R., Kornacki, J. (1994). Statystyczne sterowanie procesem. Metoda Deminga etapowej optymalizacji jakości. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ.
- Tubis, A. (2024). The new paradigm of risk in internal transport supporting logistics 4.0 system. Springer.
- Ullrich, G. (2015). Automated guided vehicle systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 10, 978-3.
- Wawrzynek J. (2009). Planowanie eksperymentów zorientowane na doskonalenie jakości produktu, Wrocław: UE.
- Wolniak R., Skotnicka B. (2007). Metody i narzędzia zarządzania jakością. Teoria i praktyka. Gliwice: PŚ.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering, 3(5), 616-630.



Rozdział 3

Opakowania i jednostki ładunkowe

Waldemar Gulczyński

Wprowadzenie

Współczesne opakowanie (*packaging*) jest przedmiotem zainteresowania wielu dyscyplin (głównie towaroznawstwa, materiałoznawstwa, transportu, logistyki oraz marketingu), a z praktycznego punktu widzenia charakteryzuje się zróżnicowaniem i powszechnym wykorzystaniem przez przedsiębiorstwa. Ponadto występuje ono w bardzo różnej postaci i pełni różnorodne funkcje. Z wymienionych wyżej powodów zdefiniowanie pojęcia opakowania jest zadaniem trudnym.

1. Pojęcie opakowania

W oparciu o najbardziej istotne cechy opakowania, do których zalicza się: ochronę wyrobu podczas magazynowania, transportu i użytkowania, ułatwienie przemieszczania, sprzedaży i użytkowania wyrobu, informowanie o wyrobie oraz właściwa prezentacja estetyczna pozytywnie oddziałująca na kupującego, Korzeniowski i Kwiatkowski (1995) definiują opakowanie „jako gotowy wytwór, zazwyczaj posiadający odpowiednią konstrukcję, mający za zadanie ochronę opakowanego wyrobu przed szkodliwym oddziaływaniem czynników zewnętrznych (lub odwrotnie – ochronę otoczenia przed szkodliwym oddziaływaniem wyrobu), umożliwiający przemieszczanie wyrobów podczas magazynowania, transportu, sprzedaży i użytkowania, informujący o zawartości, dzięki swej estetyce oddziałujący na kupującego oraz posiadający walory ekonomiczne”.

W praktyce przedsiębiorstw funkcjonujących w gospodarce, które z różnych powodów posiadają lub wykorzystują opakowania, z punktu widzenia realizacji procesów logistycznych, a także ze względu na wymagania klientów, zastosowanie znajdują prawne oraz normatywne definicje opakowania. Według obowiązującej w Polsce definicji prawnej opakowanie to wyrób, w tym wyrób bezzwrotny, wykonany z jakiegokolwiek materiału, przeznaczony do przechowywania, ochrony, przewozu, dostarczania lub prezentacji produktów, od surowców do towarów przetworzonych (Ustawa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych 2013). Polska Norma PN-O-79000⁴ definiuje opakowanie jako: wyrób zapewniający utrzymanie określonej jakości pakowanych produktów, przystosowanie ich do transportu i składowania oraz prezentacji, a także chroniący środowisko naturalne przed szkodliwym działaniem niektórych

⁴ Pobrano z: <https://sip.lex.pl/orzeczenia-i-pisma-urzedowe/pisma-urzedowe/311000-pa-0550-8-3-05-kg-pojecie-opakowania-jednostkowego-184554023>. Dostęp 10.3.2026.



produktów. Norma ISO TC-122 WG 5 definiuje opakowanie jako zaprojektowany wyrób służący do zabezpieczenia, przygotowania wyrobu do dystrybucji, operacji logistycznych, W uznaniu, czy określony produkt jest opakowaniem niezbędne jest zastosowanie trzech kryteriów: funkcji produktu (czy ma on służyć do ochrony lub dostarczania towaru?), możliwości oddzielenia opakowania od produktu bez utraty funkcji oraz trwałości (czy produkt jest przeznaczony do jednorazowego, czy wielokrotnego użycia?)⁵.

Ze względu na rolę jaką odgrywa w logistyce często stosowane jest definiowanie opakowania jako kluczowego elementu łańcucha logistycznego, ważnego składnika infrastruktury logistycznej oraz jako skoordynowanego systemu przygotowania towarów do transportu, dystrybucji, magazynowania sprzedaży oraz konsumpcji.

Do elementów, z których składa się opakowanie zalicza się: środek opakowaniowy (wyrób - materiału opakowania przeznaczonego do pokrycia zapakowanego towaru lub utrzymania go w całości), materiału opakowania z którego jest ono wykonane wraz ze środkami opakowaniowymi, służącymi do opakowania, zamknięcia i przygotowania do wysyłki spakowanego towaru.

Funkcja opakowania to określona rola lub zadanie, które ma ono do spełnienia. Jest to również zdolność do wykonania (lub pełnienia) tego zadania. Bardziej adekwatne jest w tym przypadku użycie tego pojęcia w liczbie mnogiej ponieważ znaczenie współczesnych opakowań oraz ich użyteczność (rozumiana jako miara wydajności, efektywności i satysfakcji z jaką opakowanie może być wykorzystywane) w gospodarce wynika z wielości funkcji, jakie one pełnią. Podkreśla się zależność właściwości opakowań od spełnianych przez nie funkcji. Funkcja opakowania jest powiązana z kluczowymi, unikatowymi atrybutami i korzyściami, które pozwalają zaspokoić określone potrzeby jego użytkowników. Każde opakowanie zwykle pełni jednocześnie różne funkcje, a ich występowanie i znaczenie (np. w określonej fazie cyklu życia opakowania) nie jest jednakowe. W zależności od rodzaju opakowania i jego przeznaczenia liczba funkcji jest zróżnicowana. Podział i znaczenie funkcji opakowania jest zagadnieniem dość szeroko omówionym w literaturze (Tabela 1).

⁵ Por. Decyzja Komisji 2013/2/UE, <https://gieluda-odpadow.pl/prawo/ue/dyrektywa-94-62-we/definicja-i-klasyfikacja-opakowan-w-rozumieniu-dyrektywy-94-62-we/>, dostęp: 28.03.2026.

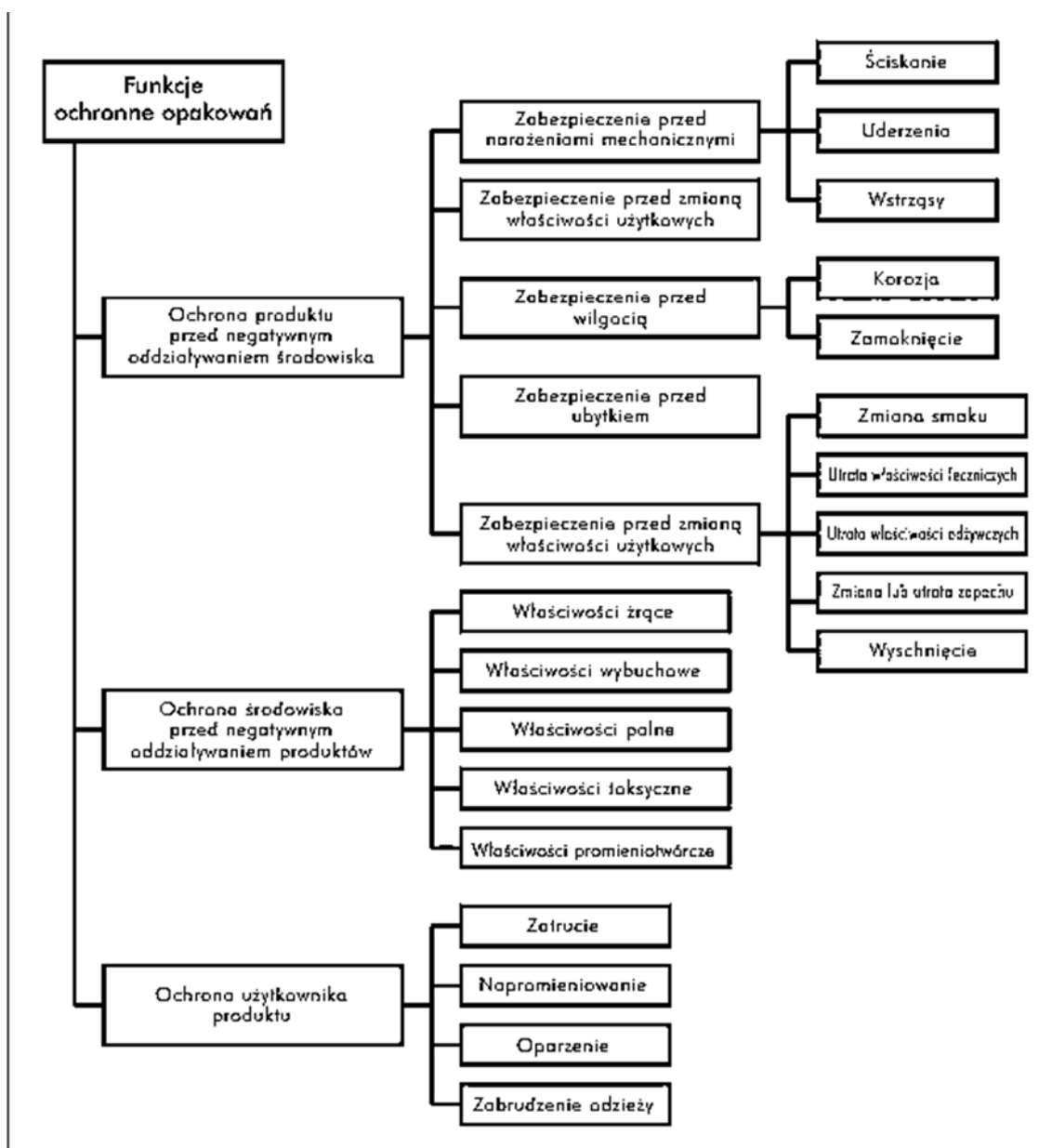


Tabela 1. Zestawienie funkcji opakowania w literaturze – wybrane klasyfikacje

Autor	Wyróżniane funkcje opakowania
C.F. Hales	Techniczna, ekonomiczna, estetyczna
A. Korzeniowski, J. Jasiczak	Ochronne i logistyczne – funkcje transportowe, magazynowe i komplementacyjne, informacyjne, marketingowe, ekologiczne, związane z użytkowaniem
H. Szulce, J. Chwałek, W. Ciechomski	Ochronne, informacyjne, promocyjne, ekologiczne, identyfikacyjne
E.H. Lada	Ochronne, promocyjne i reklamowe, informacyjne, techniczne
H.-Ch. Pfohl	Produkcyjne, marketingowe, logistyczne, użytkowe (zastosowawcze)
LP. Rutkowski	Produkcyjne, marketingowe, użytkowe, logistyczne
B. Grabowska	Ochronne, dystrybucyjno-logistyczne, informacyjne, ekonomiczne

Źródło: Ratajczyk M. (2021). Opakowanie jako narzędzie oddziaływania na nabywców. Zarządzanie opakowaniem w przedsiębiorstwie, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 24.

Historycznie najważniejszą funkcją przypisywaną opakowaniu była funkcja ochronna. Współcześnie tej funkcji opakowania przypisuje się ciągle najważniejsze miejsce. Funkcja ochronna opakowania polega na prawidłowej ochronie i zabezpieczeniu opakowanego produktu przed oddziaływaniem szkodliwych czynników zewnętrznych, a także na prawidłowej ochronie środowiska oraz użytkownika produktu przed szkodliwym oddziaływaniem samego produktu. Poprzez funkcję ochronną opakowania zapobiegają powstawaniu odpadów towarów (ograniczenia strat towarowych) w różnych fazach łańcucha dostaw, a w dalszej kolejności u konsumentów. Aby opakowania właściwie spełniały swoją funkcję ochronną związaną z minimalizacją wpływu czynników egzogennych i endogennych, muszą spełniać określone wymagania techniczne, które zależą od stanu skupienia, kształtu, wymiarów, masy oraz fizycznych i chemicznych i właściwości opakowania. Opakowania transportowe powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością umożliwiającą ich udział w czynnościach manipulacyjnych oraz piętreniu, natomiast opakowania jednostkowe żywności powinny wykazywać szczelność i barierowość, aby zabezpieczyć żywność przed zepsuciem i utratą cech organoleptycznych oraz oddziaływaniem różnych, szkodliwych dla ich jakości czynników.



Rys. 1. Funkcje ochronne opakowań

Źródło: Wojciechowski A. (2007), Infrastruktura w przechowywaniu towarów cz.5, Logistyka, 4, s.46.

Do tradycyjnych, podstawowych funkcji przypisywanych opakowaniom, wymienianych w literaturze zalicza się:

- **funkcję techniczną**, która umożliwiającą dystrybucję i konsumpcję oraz ochronę produktu przed wpływem niekorzystnych czynników; umożliwia również ochronę środowiska przed niekorzystnym oddziaływaniem samego produktu,
- **funkcję ekonomiczną**, obejmującą relacje kosztów produkcji opakowania do kosztów produkcji pakowanego produktu oraz relacje kosztów dystrybucji, oraz



- **funkcję estetyczną**, eksponującą walory estetyczne opakowania.

Według Helesa (1999) opakowanie pełni funkcję zabezpieczenia jego wartości użytkowej przed zepsuciem lub zniszczeniem (ochronna), funkcję promującą wyrób (promocyjna), umożliwiając identyfikowanie i odróżnianie produktów od innych produktów tej samej branży (informacyjna) oraz funkcje ułatwiające ich użytkowanie (użytkowa) i przemieszczanie (logistyczna).

Dla logistyków szczególne znaczenia ma znajomość **funkcji logistycznych opakowania**, na które składa się **wiązka różnych funkcji (Tabela 2)**, które umożliwiają **sprawne przepływy produktów w łańcuchach logistycznych (magazynowo-transportowych)**. Obejmują one różnorodne relacje opakowań z pozostałymi elementami tego łańcucha. Prawidłowo realizowana funkcja logistyczna opakowania umożliwia – zgodnie z zasadą 6R - dostarczenie klientowi właściwych produktów, we właściwej ilości, do właściwego miejsca, we właściwym czasie oraz po właściwych kosztach. Z punktu widzenia logistyki wyodrębnia się różne zakresy funkcji opakowania:

- magazynowe i kompletacyjne,
- magazynowe, transportowe i manipulacyjne,
- magazynowe, kompletacyjne i transportowe.

Funkcje magazynowe związane są z usprawnieniem procesu magazynowania, czyli ułatwieniem jego przyjmowania, składowania, kompletowania i wydawania. Od opakowania wymaga się, aby było podatne na czynności manipulacyjne. Kształt, wymiary, tarcie statyczne i wytrzymałość opakowania powinny umożliwiać układanie towarów w stosy lub w paletowych jednostkach ładunkowych oraz przemieszczanie ich w przestrzeni magazynowej. Wymiary i kształt opakowania powinny ułatwiać optymalne wykorzystanie przestrzeni magazynowej oraz pojemników magazynowych. Konstrukcja opakowania wielokrotnego użytku, które zostanie ponownie wykorzystane w magazynie powinna umożliwiać składowanie zapasu środków opakowaniowych (np. składane kartony). Na pełnienie funkcji magazynowej znaczący wpływ ma stosowanie znormalizowanego systemu wymiarowego.



Tabela 2. Funkcje logistyczne opakowania

Funkcja ochronna	Głównym zadaniem owej funkcji jest ochrona produktu, dzięki odpowiednio zaprojektowanemu opakowaniu, które powinno zabezpieczać ładunek przed stratą lub obniżeniem jego jakości podczas drogi od producenta do odbiorcy, które może nastąpić w skutek obciążeń mechanicznych oraz klimatycznych (temperatura, wilgotność).
Funkcja magazynowa	Opakowanie powinno ułatwiać magazynowanie wyrobu, to oznacza, że da się jego większą ilość ułożyć w stosy, umożliwiając wykorzystanie w optymalny sposób przestrzeni magazynowej. Mechanizacja oraz automatyzacja warunkują przystosowanie zapakowanych produktów do procesów, takich jak np.: uformowanie z nich jednostek ładunkowych.
Funkcja transportowa	Zadaniem opakowania jest ułatwienie transportu, jego kształt i wymiary powinny pozwolić na optymalne wykorzystanie powierzchni, jaką gospodaruje środek transportu. Funkcja transportowa związana jest z przebiegami towarowymi, w których duże znaczenie mają relacje masy pakowanego towaru do masy samego opakowania.
Funkcja informacyjna	Opakowanie będąc nośnikiem informacji, powinno być tak oznakowane, aby osoba odpowiedzialna za kompletację zamówienia, mogła łatwo zidentyfikować potrzebne towary oraz oznaczyć symbolami rysunkowymi towary, które wymagają specjalnego traktowania, ze względu na przykład na swoją kruchość.
Funkcja manipulacyjna	Wymaga się, aby opakowanie ułatwiało prowadzenie robót ładunkowych, mechanicznych i ręcznych.

Źródło: Bieniek A. (2019) Rola opakowań transportowych w łańcuchu logistycznym. Journal of Translogistics, 5, 15, 1, s. 157.

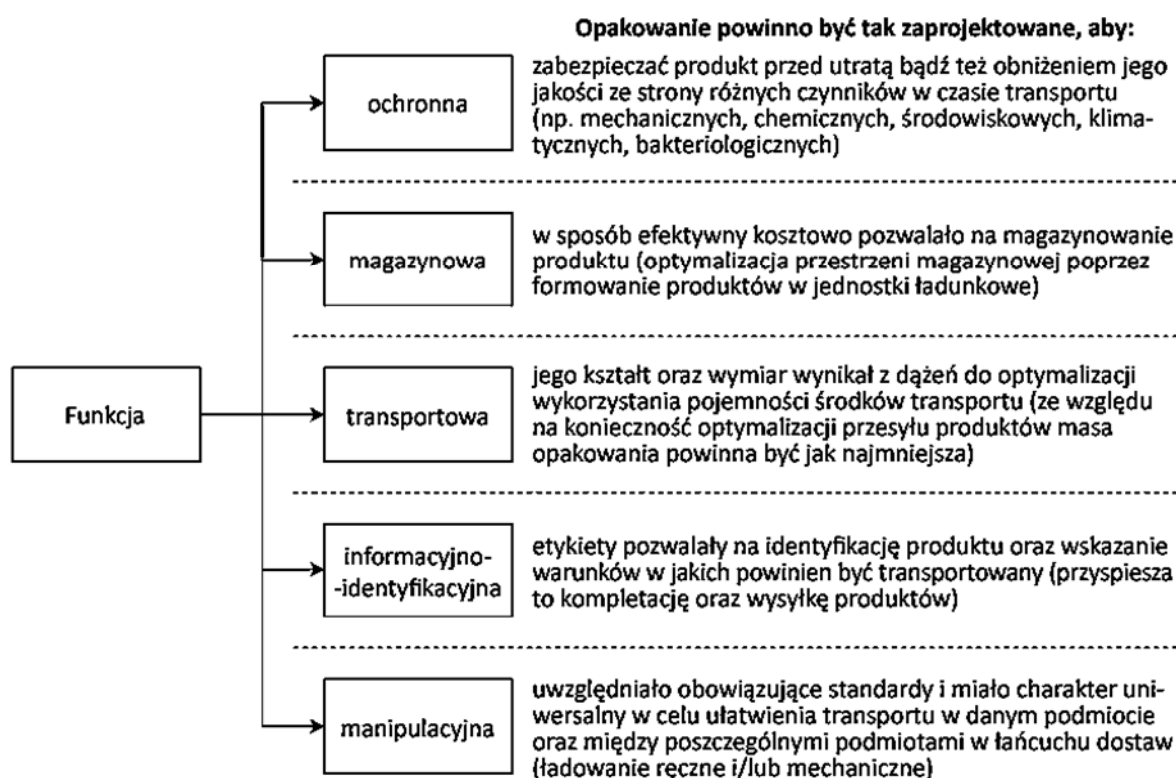
Funkcje kompletacyjne opakowania wiążą się z ułatwieniem realizacji procesów tworzenia zestawów asortymentowych w poszczególnych partiach dostawy w magazynie i w hurtowni przy założeniu maksymalnego wykorzystania ładowności środka transportowego. Jednocześnie tworzenie zestawów odbywać się powinno w taki sposób, aby ładowność środka transportowego została maksymalnie wykorzystana, a wymagany komplet towarów został dostarczony odbiorcy do dalszej podróży.

Funkcje manipulacyjne oznaczają, że opakowanie powinno łączyć towary w takie jednostki, które ułatwiają manipulowanie nimi przy wysyłce. Czynności manipulacyjne stosowane są nie tylko w kompletacji do wysyłki, ale również przy umieszczaniu i przemieszczaniu opakowanych towarów na regałach magazynowych. Opakowania powinny być dostosowane do rodzaju manipulacji, które mogą być wykonywane ręcznie, zmechanizowane bądź zautomatyzowane. W przypadku przeładunku ręcznego funkcja manipulacyjna wymaga zastosowania opakowania wykonanego z odpowiedniego materiału, mającego kształt i wielkość dostosowane do chwytania. W przypadku manipulacji zmechanizowanej



dostosowany do określonego rodzaju opakowań zestaw urządzeń może nie nadawać się do wykorzystania w przypadku innych opakowań.

Funkcje transportowe wiążą się z umożliwieniem i usprawnieniem transportu towarów przy optymalnym wykorzystaniu ładowności środka transportowego. W opakowaniu mającym funkcje transportowe istotną rolę odgrywają odpowiednie relacje jego wielkości (wymiary), wagi oraz kształtu dostosowane do warunków transportu oraz parametrów przestrzeni załadunku. Wśród różnych rodzajów opakowań wyodrębnia się specjalny ich rodzaj – opakowania transportowe, które mają „ułatwić przemieszczanie i transport pewnej liczby jednostek handlowych lub opakowań grupowych, zapobiegając powstawaniu uszkodzeń przy przemieszczaniu i w transporcie”.



Rys. 2. Kluczowe funkcje opakowania w łańcuchu dostaw

Źródło: Kozar Ł.J. i in. (2023). Opakowania w procesie zazielenienia łańcucha dostaw, w: Kozar Ł.J., Matusiak M. (red.), Współczesne wyzwania transportu, spedycji oraz logistyki Łódź. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s.14.

2. Klasyfikacja opakowań i jej rodzaje

Trudności związane z wyborem odpowiedniego opakowania wymagają uwzględnienia wielu różnych czynników, do których zaliczamy: rodzaj pakowanego wyrobu i jego podatność transportową, wartość wyrobu, rodzaj i czas trwania transportu, środki transportowe wykorzystywane do przewozu,



wymagania kupującego określone w zawartej umowie, przepisy sanitarne kupującego, wymagania innych podmiotów sformułowane w innych dokumentach. Uporządkowanie różnorodności opakowań ułatwia wybór właściwego względem stawianych wymagań i oczekiwań opakowania. Stosowane są różne kryteria podziału opakowań. Opakowania mogą być klasyfikowane ze względu na: styczność opakowania z produktem, stosowane materiały, sposób formowania, podatność na składanie i rozkładanie, możliwość wykorzystania w obrocie towarowym, formę własności, sposób rozliczania w obrocie towarowym, wpływ na środowisko naturalne, kształt (forma konstrukcyjna), funkcje, jakie spełnia, sposób wykorzystania, przemysł użytkujący opakowanie, wielkość i trwałość, położenie opakowań względem siebie w zestawie. Zbiorcze zestawienie kryteriów i klasyfikacji współczesnych opakowań przedstawia Tabela 3.



Tabela 3. Klasyfikacje opakowań

Ze względu na funkcję, jakie spełniają opakowania w stosunku do ich zawartości	Ze względu na zasięg wymiany towarowej (obrotu)	Według stopnia zużycia opakowań
■ Jednostkowe ■ Zbiornicze ■ SRP (ang. <i>shelf ready package</i>) ■ Transportowe ■ Wysyłkowe	■ Krajowe ■ Eksportowe	■ Nowe ■ Używane
Ze względu na przeznaczenie	Z punktu widzenia marketingowego	W zależności od rodzaju materiału, z którego zostało wykonane
■ Jednostkowe bezpośrednie – np. puszka ■ Zbiornicze pośrednie – np. karton ■ Transportowe bezpośrednie – np. cysterna na mleko ■ Transportowe pośrednie – np. skrzynię	■ Czynne – wpływające na kształtowanie popytu ■ Bierne – niewywierające wpływu na motywację konsumentów	■ Drewniane ■ Metalowe ■ Papierowo-teksturalne ■ Szkłane ■ Z laminatów
Ze względu na kształt opakowania	Ze względu na trwałość	Uwzględniając zakres stosowania
■ Standardowy – np. puszki, słoiki ■ Symboliczny – np. postaci z bajek	■ Trwale – np. beczka ■ Nietrwałe – np. torebka papierowa	■ Uniwersalne – np. puszka ■ Specjalne – np. pojemnik z aerozolem
Uwzględniając sposób rozliczeń w obrocie towarowym	Ze względu na wpływ na środowisko	Ze względu na możliwość wykorzystania w obrocie towarowym
■ Sprzedawane – przechodzą na własność odbiorcy ■ Zwrotne – stanowią własność dostawcy towaru i służą do wielokrotnego użycia	■ Biodegradowalne – ulegające naturalnemu procesowi rozkładu ■ Nieulegające biodegradacji	■ Jednorazowego użytku ■ Wielokrotnego użytku
Uwzględniając kontakt z produktem	Ze względu na sposób interakcji z produktem	Ze względu na sposób interakcji z konsumentem
■ Pośrednie (ang. <i>secondary packaging</i>) – opakowania zewnętrzne, które chronią towary przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz wpływami atmosferycznymi ■ Bezpośrednie (ang. <i>primary packaging</i>) – stykają się bezpośrednio z towarami	■ Tradycyjne ■ Aktywne	■ Tradycyjne ■ Funkcjonalne ■ Inteligentne ■ E-opakowanie

Źródło: Ratajczyk M. (2021), Opakowanie jako narzędzie oddziaływania na nabywców. Zarządzanie opakowaniem w przedsiębiorstwie, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s. 28.



W praktyce logistycznej powszechne zastosowanie znajduje podział opakowań ze względu na funkcje jakie spełniają one w łańcuchu dostaw. W zależności od spełnianych funkcji opakowania dzielimy na:

- **Opakowania jednostkowe** – są przeznaczone do finalnego odbiorcy, służą do sprzedaży pojedynczego produktu (np. butelka napoju, kartonik mleka, słoik dżemu). stanowią bezpośrednie opakowanie wyrobu, zawierają zwykle taką dawkę produktu, która jest najczęściej kupowana przez klientów w obrocie detalicznym, chronią wyroby przed ubytkami ilościowymi i zmianami jakościowymi tylko częściowo, nie zapewniając im jednak wystarczającej ochrony przed narażeniami w czasie transportu i magazynowania, "Opakowaniem jednostkowym jest opakowanie bezpośrednio chroniące wyrób akcyzowy, samodzielne, jednorazowego lub wielokrotnego użytku, umożliwiające jego przystosowanie, przystosowane lub przeznaczone do przechowywania, eksponowania i sprzedaży w nim lub z niego wyrobu, posiadające zamknięcie lub wskazane miejsce i sposób otwierania, które umożliwia przystosowanie, jest przystosowane lub umożliwia bezpośrednio lub pośrednio spożycie wyrobu, a także przystosowane do pakowania, przechowywania i przewożenia go w opakowaniach zbiorczych lub transportowych". Inną nazwą tego typu opakowań jest opakowanie handlowe - takie, z jakim konsument styka się w sklepie podczas robienia zakupów, dzielone ze względu na sposób kontaktu z zawartością na: bezpośrednie – mające bezpośredni kontakt z wyrobem oraz pośrednie – oddzielone od towaru.
- **Opakowania zbiorcze** (tzw. drugorzędowe) – zawierają wielokrotność produktów jednostkowych w celu ich wspólnej sprzedaży lub transportu. To pośrednie opakowania między jednostkowymi i transportowymi (np. zgrzewki foliowe, kartony zbiorcze), mogą być wykorzystywane w sprzedaży detalicznej (sprzedaż w takiej postaci lub sprzedaż na jednostki), usprawniają dystrybucję (ułatwiają zaopatrywanie punktów sprzedaży detalicznej lub hurtowni), chronią one opakowania jednostkowe oraz ułatwiają manipulacje nimi. Opakowania tego rodzaju służą głównie celom logistycznym, wykonane są zwykle z kartonu, drewna lub tworzywa sztucznego oraz mogą być zdjęte z produktu bez naruszenia jego własności. Stosowanie niektórych rodzajów opakowań zbiorczych regulowane jest prawnie (np. opakowania żywności) ponadto mogą one zawierać różne oznaczenia, podobnie jak opakowania jednostkowe.



- **Opakowania transportowe⁶** – opakowania służące do przechowywania i przewożenia opakowań jednostkowych, zbiorczych lub towarów luzem, spełniają typowo techniczne zadania, chronią całkowicie lub częściowo zawartość przed narażeniami typu mechanicznego, klimatycznego, biologicznego w czasie transportu i magazynowania. Głównym zadaniem tego rodzaju opakowania jest zabezpieczenie umieszczonych w nich wyrobów przed wysypaniem, wylaniem, uszkodzeniem lub zniszczeniem w wyniku występujących w czasie transportu różnego typu narażeń oraz umożliwienie dostarczenia tych wyrobów do miejsca ich przeznaczenia w stanie nieuszkodzonym w pełnej wartości handlowej. Opakowania transportowe zwiększają podatność do piętrzenia w stabilne stopy, jak również podatność przeładunkową i przewozową poprzez ułatwianie mechanizacji prac przeładunkowych oraz przez ułatwienie rozmieszczenia i mocowania ładunku na pojeździe, dzięki wyposażeniu w uchwyty). O wysokiej ich funkcjonalności decydują również łatwość ich otwierania i zamykania, łatwość oczyszczenia po ich opróżnieniu, a także możliwość zabezpieczenia przed niewidocznym w skutkach otwarciem opakowania w celu kradzieży. Ochrona zapakowanych produktów uzyskiwana jest przez właściwe projektowanie i wykonawstwo opakowania transportowego: dobór konstrukcji i materiału z którego jest wykonane oraz właściwa technologia produkcji i przyjęty system kontroli jej jakości. W przypadku transportu ładunków szczególnie cennych lub bardzo wrażliwych na narażenia mechaniczne oraz klimatyczne stosuje się opakowania atestowane. Atestacja opakowań polega na stwierdzeniu, na podstawie wyników odpowiednich badań, zgodności z wymaganiami wynikającymi z normalnych warunków transportu.

⁶ Funkcję opakowań transportowych mogą pełnić niektóre opakowania jednostkowe lub zbiorcze.



Tabela 4. Podział podstawowych materiałów opakowaniowych ze względu na rodzaje opakowań według kryterium funkcji

MATERIAŁ	Jednostkowe	Transportowe	Zbiorcze
Aluminium	+	-	-
Drewno	+	+	+
Papier	+	+	+
Tworzywa sztuczne	+	+	+
Stal	+	+	+
Szkło	+	-	-

Źródło: Wodzisławski J. (2020). Metale – aluminium i stal opakowaniowe, W: Środowiskowe aspekty projektowania opakowań, Warszawa, Krajowa Izba Opakowań, s.24.

Przykład: opakowanie transportowe z drewna

W ramach opakowań transportowych popularne są opakowania drewniane, które znajdują zastosowanie w najbardziej wymagających gałęziach przemysłu. Drewno jest materiałem anizotropowym, co w praktyce oznacza wyjątkową zdolność do absorpcji drgań i naturalną amortyzację, nieocenioną przy transporcie delikatnych urządzeń. Lite drewno pozwala na budowę konstrukcji zdolnych wytrzymać nawet kilkanaście ton obciążenia, zachowując przy tym korzystny profil kosztowy.



Rys. 3. Przykład opakowania transportowego z drewna – skrzynia pełna

Źródło pobrano z: <https://woodenpack.pl/blog/opakowania-transportowe-w-logistyce-podzial-i-funkcje/>.
Dostęp 27.03.2026.

Opakowania transportowe z drewna, takie jak skrzynia pełna, wykorzystywane są praktycznie we wszystkich gałęziach transportu: w transporcie morskim – ze względu na



zapewnienie pełnej izolacji od wody słonej oraz wilgoci, w transporcie lądowym – ze względu na właściwości amortyzacyjne oraz ochron przed uderzeniami i otarciami, a także w transporcie lotniczym – stanowią one kompromis między relatywnie niską wagą i wytrzymałością.

3. Opakowania aktywne, inteligentne i funkcjonalne

Wzrastające wymagania, dotyczące sprawności i efektywności w łańcuchach dostaw, a także nowe wymagania ostatecznych klientów oraz związane z bezpieczeństwem produktu zmiany przepisów prawnych przyczyniają się do ulepszania opakowań. Obok tradycyjnych opakowań, które dominują na rynku, coraz częściej stosowane są opakowania nowszej generacji, bardziej nowoczesne. Do opakowań nowoczesnych, poszerzających funkcje tradycyjnych opakowań należą opakowania innowacyjne: aktywne i inteligentne oraz opakowania funkcjonalne.

Opakowania aktywne to takie, które oprócz pasywnego przechowywania i ochrony produktu mają pewne dodatkowe funkcje. Opakowania aktywne są definiowane jako systemy, które w wyniku działań chemicznych, fizycznych i biologicznych aktywnie zmieniają warunki panujące wewnątrz opakowania w celu przedłużenia okresu spożycia oraz zachowania wyjściowej jakości i właściwości sensorycznych żywności. W opakowaniach aktywnych - typowy dla tradycyjnych opakowań - bierny sposób ochrony, polegający na zabezpieczeniu produktu przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych, zostaje zastąpiony czynną formą ochrony. Pomiędzy takim opakowaniem, produktem, atmosferą wewnątrz opakowania oraz otoczeniem zachodzą interakcje, a ich efektem jest przedłużenie trwałości produktu, zwiększenie jego bezpieczeństwa oraz przydatności do spożycia, poprawa właściwości sensorycznych produktu.

Do podstawowych rodzajów opakowań aktywnych zaliczamy:

- Pochłaniacze – pochłaniają określone substancje ze środowiska wewnątrz opakowania (np. tlen, wilgoć, etylen)
- Emitery – uwalniają określone substancje wewnątrz (np. dwutlenek węgla)
- Substancje adoptujące – powodują określone pożądane biologiczne lub chemiczne zmiany wewnątrz opakowania (w atmosferze, w produkcji, w obecnej mikroflorze).



Tabela 5. Przykłady zastosowania różnych pochłaniaczy

Rodzaje pochłaniaczy	Związki	Zastosowanie
Pochłaniacze tlenu	Związki żelazowe, kwas askorbinowy, sole metali, oksydazy glukozowe	Ser, pieczywo, słodycze, orzechy, mleko w proszku, kawa, herbata, fasola, zboże, mięso
Pochłaniacze wody	Żel silikonowy, glicerol	Pieczywo, mięso, ryby, drób, warzywa i owoce
Pochłaniacze CO ₂	Wodorotlenek wapnia, sodu lub potasu	Palona kawa
Pochłaniacze etylenu	Tlenek glinu, aktywny węgiel, nadmanganian potasu	Owoce (jabłka, morele, banany, awokado) i warzywa (marchew, ziemniaki, pomidory, ogórki)
Pochłaniacze związków zapachowych	Kwas cytrynowy, estry celulozy, poliamid	Produkty łatwo ulegające utlenianiu, np. tłuszcze w produktach rybnych, soki owocowe

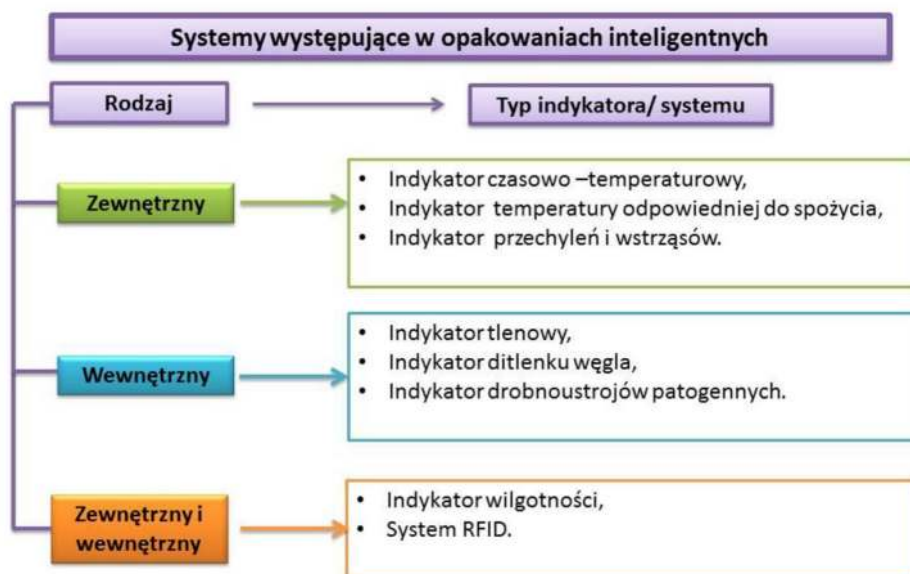
Źródło: Ratajczyk M. (2021). Opakowanie jako narzędzie oddziaływania na nabywców. Zarządzanie opakowaniem w przedsiębiorstwie, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s.30.

Opakowania inteligentne dają możliwość wykrywania i wykorzystania danej właściwości produktu lub otaczającej go atmosfery. Opakowania inteligentne definiowane są jako innowacyjne opakowania wyposażone we wskaźniki monitorujące określone parametry atmosfery wewnątrz i na zewnątrz opakowania w celu dostarczenia informacji o stanie chronionego produktu. Opakowania te umożliwiają monitorowanie określonych parametrów dotyczących produktu, jego historii, otoczenia i lokalizacji oraz zachodzących zmian.

Opakowania inteligentne dzieli się zwykle, w zależności od roli, jaką mają spełniać, na trzy grupy:

- monitorujące zmiany jakości opakowanego produktu,
- poprawiające wygodę użytkowania produktu z opakowaniem,
- chroniące przed zniszczeniem, zagubieniem, kradzieżą itp.

Uzyskanie potrzebnych aktualnych informacji o produkcie bez otwierania opakowania jest możliwe, ponieważ posiadają one umiejscowione na zewnątrz lub wewnątrz opakowania interaktywne wskaźniki (indykatory) zmieniające barwę przy zmianie parametrów. Opakowania inteligentne, przez rozszerzenie tradycyjnej funkcji informacyjnej umożliwiają usprawnienie przepływów materialnych i informacyjnych na wszystkich etapach łańcuchów dostaw (Cierpiszewski 2016), a klienci mogą samodzielnie monitorować stan produktu przed jego konsumpcją. Podstawowe systemy występujące w ramach opakowań inteligentnych przedstawione zostały na rys. 4.



Rys. 4. Systemy występujące w opakowaniach inteligentnych

Źródło: Kaźmierczak M. (2017), Innowacyjne opakowania jako inteligentne rozwiązania na przykładzie branży spożywczej, Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej, 2, 107, s. 90.

Opakowania inteligentne zwykle uzupełniają opakowania aktywne. Zasadnicza rola opakowań aktywnych jest ochrona jakości towarów poprzez zastosowanie nowoczesnych systemów, podczas, gdy opakowania inteligentne „wyczuwają i informują” – ich rola polega na komunikacji z jego nabywcą.

Tabela 6. Przykłady opakowań inteligentnych dostępnych w handlu

System	Nazwa handlowa	Producent
Wskaźniki świeżości	Fresh Tag* Food Sentinel System Raflatac RipeSense Toxin Guard	COX Technologies SIRA Technologies Inc. VTT and UPM Raflatac RipeSense International Inc
Wskaźniki TTI	3M Monitor Mark™ CheckPoint* Fresh-Check* Keep-it* OnVu™ VITSAB* Tempix* Timestrip® PLUS™	3M company VITSAB Temptime Corp. Keep-it Technologies Freshpoint and Ciba VITSAB International AB Tempix AB Timestrip Plc
Wskaźniki obecności gazów/wskaźniki integralności opakowania	Ageless Eye* O2Sense	Mitshubishi Gas Chemical FreshPoint Lab

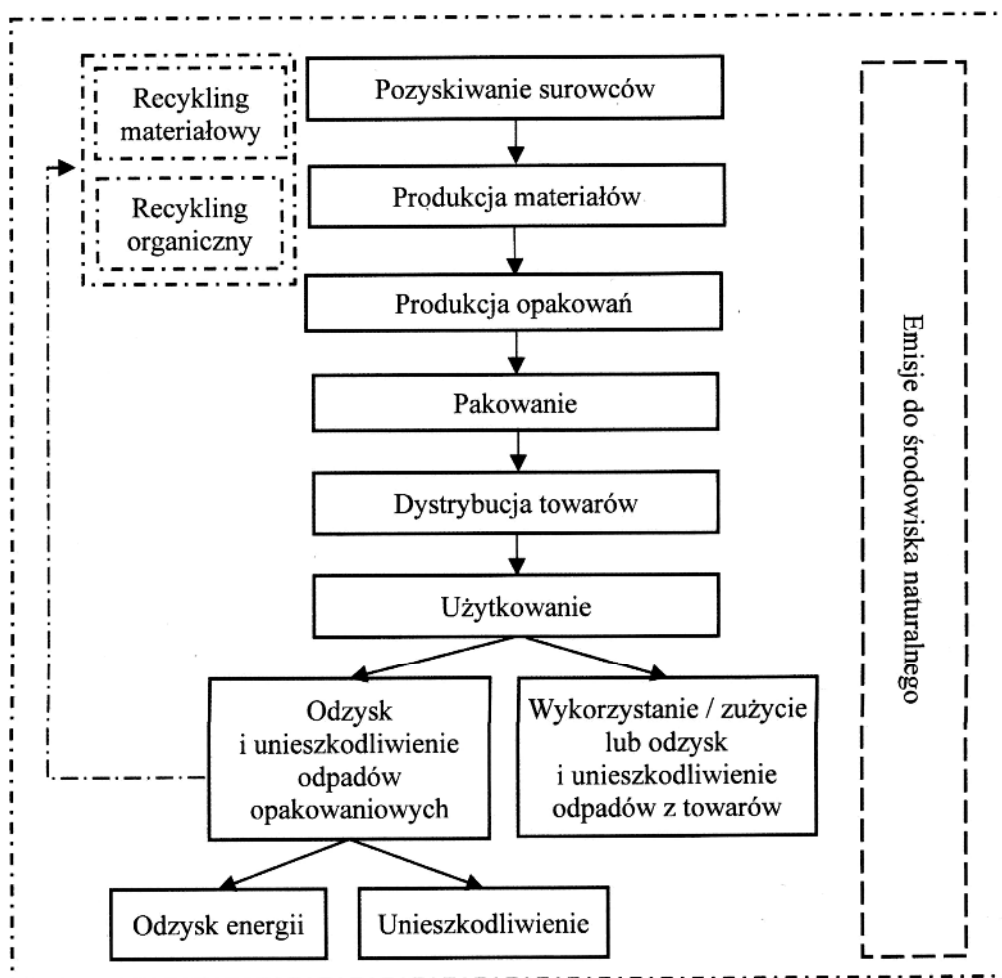
Źródło: Cierpiszewski R. (2023). Wykorzystanie opakowań aktywnych i inteligentnych do minimalizowania marnotrawienia żywności. W: Pyś-Skrońska B., Tkaczyk S., Kornacki A. (red.), Przemysł opakowaniowy wobec wyzwań rynku, Warszawa, Polska Izba Opakowań. s. 94.



Niektórzy autorzy wyodrębniają jako odrębną grupę opakowania funkcjonalne, stosowane głównie w branży spożywczej, których podstawową rolą jest zapewnienie wygodnego korzystania z produktów żywnościowych w warunkach uniemożliwiających ich szybkie ich szybkie użycie, np. podgrzanie lub schłodzenie oraz, podobnie jak opakowania inteligentne, przekazanie konsumentowi dodatkowych informacji np. kiedy zapakowany towar może być przez niego w sposób bezpieczny spożyty.

4. Cykl życia opakowań

Przez cykl życia opakowania określa się kolejne, zintegrowane ze sobą procesy, począwszy od pobrania ze środowiska surowców do wytwarzania materiałów, poprzez fazę produkcji i dystrybucji, aż do etapu powstania odpadów opakowaniowych oraz procesów ich odzysku lub unieszkodliwiania. Ze schematu na rys. X.5. wynika, że cykl życia opakowania ma znaczący wpływ na środowisko naturalne, począwszy od pozyskiwania surowców, przez produkcję i dystrybucję, aż po etap recyklingu lub utylizacji. Cykl życia opakowania poprzez zintegrowanie go z produktem, do którego zostało przeznaczone silnie powiązany z cyklem życia tego produktu.



Rys. 5. Główne fazy cyklu życia opakowań

Źródło: Bałdowska-Witos P. (2020). Ekoefektywność procesu formowania opakowań, Bydgoszcz, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, s.18.

Na przebieg cyklu życia opakowania, w tym jego długość, wpływ mają różnorodne czynniki, takie jak: rodzaj zawartości, kategoria opakowania, jednak najsilniejszy wpływ mają obecnie regulacje prawne prowadzące do zmniejszenia ilości i szkodliwości opakowań na każdym etapie tego cyklu. Należy do nich zaliczyć, w szczególności opublikowane w 2025 roku, Rozporządzenie Unii Europejskiej w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych – PPWR (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady 2025/40 2024). Do podstawowych wymagań dotyczących opakowań wprowadzanych przez rozporządzenie PPWR zalicza się według Sapoty (2025):

-obowiązek minimalizowania zawartości substancji niebezpiecznych (w szczególności ograniczenie opakowań zawierających PFAS) - opakowania wprowadzane do obrotu muszą być wolne od substancji szkodliwych, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia konsumentów,

- obowiązek minimalizowania masy i objętości opakowań,



- obowiązek zapewnienia minimalnego udziału zawartości materiałów z recyklingu w opakowaniach - każda wykonana z tworzywa sztucznego część opakowania będzie musiała zawierać określoną w przepisach minimalną zawartość procentową materiału pochodzącego z recyklingu odzyskanych z odpadów pokonsumenckich z tworzyw sztucznych (butelki PET na napoje od 2025 r., pozostałe opakowania od 2030 r.),
- obowiązek projektowania opakowań nadających się do recyklingu - od 01.01.2030 r. wszystkie opakowania wprowadzane na rynek UE będą musiały nadawać się do recyklingu,
- wymogi w zakresie etykietowania - na opakowaniach (z wyjątkiem opakowań transportowych i objętych systemem kaucyjnym) konieczne będzie umieszczanie zharmonizowanej etykiety zawierającej informacje o ich składzie materiałowym.

Alternatywą dla tradycyjnego opakowań, które stanowią znaczną część odpadów produkowanych na całym świecie jest opakowanie zrównoważone. Przez zrównoważone (ekologiczne) opakowanie rozumiemy takie opakowanie, które minimalizuje negatywny wpływ na środowisko na każdym etapie jego cyklu życia: od pozyskania surowców, przez produkcję, użytkowanie, aż po ich utylizację lub recykling. Uzyskanie opakowania zrównoważonego możliwe jest między innymi poprzez zastosowanie do jego produkcji materiałów biodegradowalnych (tworzone z surowców organicznych, np. bioplastik) oraz materiałów z recyklingu. Opakowania tego rodzaju redukują ilość odpadów z tworzyw sztucznych oraz minimalizują zanieczyszczanie środowiska.

Przykłady firm stosujących ekologiczne opakowania (Kasprzyk 2025):

Tetra Pak – jeden z największych producentów opakowań kartonowych; firma jako pierwsza zastosowała w całości opakowań w Brazylii bioplastik z trzciny cukrowej (2014);

Nestlé - od lat wdraża ekologiczne innowacje, w tym biodegradowalne kapsułki do kawy i opakowania z materiałów recyklingowych;

IKEA - dąży do całkowitego wyeliminowania plastiku z opakowań i stosuje wyłącznie materiały papierowe pochodzące z recyklingu lub inne biodegradowalne alternatywy;

Unilever - złożyła zobowiązanie, że do 2025 roku wszystkie ich opakowania będą nadawały się do ponownego użycia, recyklingu lub kompostowania;

L'Oréal - wprowadza nowe technologie w opakowaniach kosmetycznych, takie jak tubki z papieru i pojemniki wielokrotnego użytku.



Przykład: opakowanie ekologiczne paletowej jednostki ładunkowej



Rys. 6. SeaStrecth - pierwsza ręczna folia stretch wykonaną z papieru

Źródło: WorldStar Packaging Awards (2023), za: Bergmeir J. (2023). Trendy w opakownictwie na zmieniającym się globalnym i europejskim rynku. W: Przemysł opakowaniowy wobec wyzwań rynku. Warszawa, Polska Izba Opakowań, s.27.

Do zapewnienia stabilizacji ładunku na paletcie zastosowanie znajdują np. półautomatyczne i automatyczne owijarki PaperWrap wykorzystujące papieru kraft (naturalny, niebielony papier, który jest mocny i ekologiczny) cechującego się wysoką wytrzymałością i rozciągliwością (zamiast folii do owijania palet). Owijanie papierem odbywa się przy użyciu specjalnych maszyn wyposażonych w mechanizmy naciągu papieru oraz system klejenia lub składania arkuszy, dzięki czemu uzyskuje się efekt podobny do stretch - PaperWrap tworzy tzw. papierową “owijkę” wokół palety.

Opakowania muszą być odpowiednio oznakowane, aby poinformować konsumenta o cechach i właściwościach towaru. Specjalne znaki określają właściwości produktu, jego cechy handlowe, sposób postępowania w czasie transportu, przeładunku, użytkowania i przechowywania. Generalnie znaki na opakowaniach można podzielić na:

- obligatoryjne, bez których zapakowany towar nie może być wprowadzony do obrotu;
- nieobligatoryjne (fakultatywne), stosowane dobrowolnie, głównie w celu kształtowania określonego wizerunku firmy i towaru.



W Polsce w zakresie oznakowania opakowań z zawartością, tak jednostkowych jak i transportowych, obowiązuje m.in. norma PN-EN ISO 780 (2016). Zgodnie z nią znaki dzielą się na zasadnicze, informacyjne, niebezpieczeństwa i manipulacyjne. Na opakowaniach jednostkowych mogą być dodatkowo umieszczone znaki reklamowe, mające na celu zachęcenie do kupna danego wyrobu.

5. Opakowania a proces produkcyjny⁷

Opakowanie odgrywa zasadniczo odmienne role z punktów widzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego oraz klienta będącego konsumentem umieszczonego wewnątrz niego wyrobu. Dla przedsiębiorstwa pełni ono role magazynowe, manipulacyjne, transportowe, ochronne oraz identyfikacyjne, natomiast dla klienta umożliwia wzmocnienie koncepcji produktu, zapewnienie jego bezpieczeństwa, zwiększenie wygody użycia, minimalizację kosztów logistycznych oraz wsparcie komunikacji marketingowej.

Związki opakowania, które osiągnęło poziom wyrobu gotowego) z procesem produkcyjnym można zasadniczo rozpatrywać w odniesieniu do faz cyklu życia opakowania. Można zidentyfikować istotne aspekty tego związku w sytuacjach: projektowania wyrobu, przebiegu procesu produkcyjnego i stosowanej technologii funkcji produkcyjnej w ramach procesu produkcyjnego, efektu procesu produkcyjnego, zadania łącznika produkcji z dystrybucją oraz statusu odpadu opakowaniowego po wykorzystanie i możliwości uzyskania w wyniku recyklingu surowca wykorzystywanego do produkcji.

Opakowanie jako wyrób jest efektem procesu produkcyjnego, poprzedzonego działaniami przygotowawczymi, w których zawiera się między innymi faza jego konstruowania. Odpowiednio zaprojektowane i wykonane opakowanie spełniające stawiane mu wymagania jakościowe może wypełniać określoną rolę w gospodarce, przyczynić się do tego, aby można było ponownie je wykorzystać oraz osiągnąć najwyższy możliwy poziom recyklingu wykorzystanych do jego produkcji materiałów - aby użyte do jego produkcji surowce mogły być ponownie wykorzystane w dużym stopniu jako surowce wtórne po fazie użytkowania. Tradycyjne metody wytwarzania prototypów zazwyczaj są czasochłonne i kosztowne, ponieważ wymagają tworzenia form i narzędzi. Nowe możliwości daje zastosowanie technologii druku 3D, która odgrywa coraz większą rolę w różnych gałęziach przemysłu, w tym w produkcji opakowań. Dzięki niej możliwe jest tworzenie innowacyjnych, niestandardowych opakowań, które są bardziej ekologiczne, ekonomiczne oraz dostosowane do indywidualnych potrzeb klientów. Do

⁷ Zmieniona i rozszerzona wersja tekstu zamieszczonego wcześniej. W: Gulczyński W. (2024). Opakowania i jednostki ładunkowe, w: Lewandowska -Ciszek A, Pawłowski T. (red.), Magazynowanie i obsługa rynku. Wybrane zagadnienia z logistyki, Warszawa. CeDeWu, s.213-251.



największych zalet druku 3D w produkcji opakowań jest właśnie możliwość szybkiego i elastycznego prototypowania.

Produkcja opakowań odbywa się w ramach przemysłu opakowań, do którego zalicza się podmioty wytwarzające opakowania, materiały opakowaniowe, maszyny i urządzenia do produkcji opakowań oraz opakowania, materiały i środki pomocnicze, a także zakłady poligraficzne oraz podmioty świadczące usługi opakowaniowe. Różnice między poszczególnymi wymaganiami optymalizacji sposobu pakowania często prowadzą do sprzecznych celów realizowanych w trakcie procesów prowadzących do powstania gotowego wyrobu opakowaniowego. Sprzeczności w tych obszarach wynikają na przykład z zastosowania elastycznych systemów opakowaniowych, które często są złożone pod względem recyklingu, lub sztywnych opakowań, które zazwyczaj mają większy wpływ na środowisko niż opakowania elastyczne. Zbyt skomplikowana forma, nietypowy materiał czy pozornie atrakcyjny design mogą w praktyce znacząco utrudnić proces pakowania – od aplikacji etykiet przez foliowanie aż po kompletację zestawów. Skutkiem mogą być późnienia, dodatkowe koszty, a nawet konieczność rezygnacji z zaplanowanej pierwotnie linii automatycznej i przejście na ręczne pakowanie.

Funkcja produkcyjna opakowania umożliwia przygotowanie i pobranie odpowiedniej ilości surowca lub materiału na wejściu procesu produkcyjnego oraz przygotowanie odpowiedniej ilości wyrobów na wyjściu procesu produkcyjnego, do której dopasowane jest kształtem i wielkością oraz rodzajem odpowiednie opakowanie. Umieszczenie produktu w opakowaniu obecnie występuje coraz częściej **jako końcowa faza procesu produkcyjnego**. W łańcuchu dostaw opakowanie **łączy produkcję z konsumpcją** tzn. traktowane jest jako ogniwo łączące producenta z finalnym odbiorcą produktu, którym jest konsument. Powiązanie lokalizacji pakowania z miejscem wytwarzania jest efektem zmian, jakie zaszły w procesach wytwarzania wyrobu - przejścia od opakowywania wyrobów w punkcie ich sprzedaży do pakowania w miejscu produkcji. Oddziaływanie produkcji i opakowania w tej fazie ma charakter obustronny: zarówno przebieg procesu produkcyjnego może wywierać wpływ na opakowanie, jak również opakowanie może wpływać na proces produkcji. Kierownicy produkcji, którzy zwykle odpowiadają również za umieszczenie produktów w opakowaniach mogą traktować opakowanie z nieco odmiennej perspektywy niż logistycy, ponieważ jego rodzaj, wielkość i kształt mają istotny wpływ na efektywność przebiegu procesów produkcji. Poważnym wyzwaniem w zarządzaniu produkcją staje się zintegrowanie fazy pakowania wytwarzanych wyrobów z pozostałymi elementami składowymi procesów produkcyjnych, które są mechanizowane, automatyzowane i robotyzowane. Zakres tej integracji zależy



od jakości i kosztu opakowania produktu⁸ oraz od czynników ekologicznych. Automatyzacja pakowania jest możliwa i coraz częściej stosowana, ponieważ w przypadku identycznych wyrobów gotowych proces pakowania cechuje się powtarzalnością. Jednak przy planowaniu działań modernizacyjnych trzeba wziąć pod uwagę istotne charakterystyki, takie jak: masa, ilość, gabaryt i konsystencja produktu, które w znacząco wpływają na możliwości usprawnień automatyzacyjnych pakowania. Systemy, technologie i maszyny do pakowania stosowane w procesach produkcji są różnicowane. Do podstawowych czynników wpływających na wybór systemu pakowania należą:

- postać fizyczna i właściwości produktów przewidywanych do pakowania,
- warunki i okres przechowywania pakowanych produktów,
- właściwości przewidywanych do zastosowania materiałów opakowaniowych lub opakowań,
- specjalne wymagania stawiane opakowaniom.

Wśród systemów pakowania produktów wyróżniamy systemy, w których opakowanie jest wykonane bezpośrednio w procesie pakowania i stanowi końcową fazę technologicznego wytwarzania produktu oraz systemy, w których opakowanie w całości lub częściowo wykonane jest poza procesem pakowania.

Ostatnim etapem procesu pakowania jest **pakowanie końcowe** (*End-of-Line, EoL*), które obejmuje współcześnie automatyzację zadań takich jak owijanie palet, spinanie taśmą, zaklejanie kartonów, pakowanie w folię lub papier, formowanie kartonów, a także paletyzację przy użyciu robotów.

Po wykorzystaniu opakowanie staje się coraz poważniejszym problemem dla gospodarki, ponieważ stanowi najliczniejszą grupę wśród odpadów. W odniesieniu do odpadów opakowaniowych jednym z możliwych, obecnie preferowanych rozwiązań jest ponowne wykorzystanie ich w całości lub w części jako surowca do produkcji wyrobów, zwłaszcza innych opakowań. Wyrób opakowaniowy, który przestał pełnić różne funkcje opakowania w tradycyjnym łańcuchu dostaw może zostać włączony do łańcucha logistyki zwrotnej i stać się, po odpowiednim przetworzeniu, surowcem, wykorzystywanym w procesie produkcyjnym nowego wyrobu opakowaniowego.

6. Pojęcie, znaczenie i rodzaje jednostek ładunkowych

Ładunki w systemach logistycznych nie są zwykle bezpośrednio przystosowane do procesów transportowo-magazynowych, dlatego wymagają odpowiednich zabiegów, które przyczynią się do zwiększenia przede wszystkim ich podatności magazynowo-transportowej. Cel ten jest osiągany poprzez

⁸ Koszty pakowania stanowią około 15% wartości produktów. Por. Jeszka A.M. (2009). Rola opakowań w technologiach logistycznych. W: Długosz J. (red.), Nowoczesne technologie w logistyce, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s.240.



łączenie drobnych ładunków w ładunki zbiorcze oraz dzielenie ładunków o dużych wymiarach lub dużej masie własnej na ładunki mniejsze (Sokolski 2011). Efektem tych zabiegów jest powstanie jednostki ładunkowej.

Jednostka ładunkowa to rodzaj ładunku zbiorczego, składającego się z wielu mniejszych ładunków, mającego określony kształt i wymiary umożliwiające jego sprawne, efektywne i bezpieczne przemieszczanie w łańcuchu dostaw. Spotykamy różne sposoby określania jednostki ładunkowej. Według Korzenia (1989), który nawiązuje do polskiej normy PN-72/M-78000 „jednostkę ładunkową stanowi ładunek utworzony z szeregu jednorodnych lub niejednorodnych ładunków mniejszych – przy zastosowaniu (lub niestosowaniu) elementów dodatkowych – traktowany w procesie transportowym jako całość. Według Słownika terminologii logistycznej jednostka ładunkowa (*unid load*) to „ładunek zbiorczy określonej ilości dóbr materialnych, uformowany w sposób zapewniający trwałość kształtu, wymiarów, zawartości, ochronę przed uszkodzeniami, umożliwiający łatwe liczenie oraz zmechanizowanie przemieszczanie i składowanie za pomocą typowych urządzeń transportowych”. Nieco inną definicję jednostki ładunkowej podają Cieśla, Hat-Garnarz, Opasiak i Nowakowski (2017), dla których jest to „ilość ładunku w opakowaniach, utworzona z wielu drobnych ładunków, z zastosowaniem elementów dodatkowych, traktowanych w procesie transportowym jako zwartą całość”.

Obszerną definicję podaje Rokicki (2015), według którego jednostka ładunkowa to „określona ilość ładunku zestawionego w jedną całość przy wykorzystaniu pomocniczych środków wiążących lub urządzeń transportowych (paleta, kontener) w sposób zapewniający trwałość jej kształtu, wymiarów i zawartości od miejsca jej zestawienia, poprzez cały łańcuch do chwili rozformowania, umożliwiająca pełną mechanizację przeładunków na drodze swego przebiegu, z zachowaniem warunków bezpieczeństwa i higieny pracy przy przewozie, przeładunkach i składowaniu”.

Do podstawowych zalet tworzenia jednostek ładunkowych zalicza się: ograniczenie lub wyeliminowanie pracy ręcznej, poprawę warunków bezpieczeństwa, zwiększenie wydajności, lepsze wykorzystanie ładowności środków transportowych, oraz skrócenie czasu trwania prac przeładunkowych. Prochowski i Żuchowski (2016) wyliczają ponadto: obniżanie kosztów i czasu transportu, zmniejszenie liczby uszkodzeń ładunku, lepsze wykorzystanie powierzchni ładunkowej środków transportowych i magazynów (dopasowanie wymiarów i możliwość piętrzenia), a w przypadku kontenerów także eliminację potrzeby magazynowania w miejscach przeładunku oraz uproszczenie ewidencji i kontroli poprzez możliwość szybkiego określenia ilości towaru, bez konieczności jego rozformowania i przeliczania. W uzupełnieniu należy



zwrócić uwagę na zmniejszenie liczby operacji związanych z obsługą towaru oraz ograniczenie emisji z transportu.

Jednostka ładunkowa spełnia określone istotne zadania w procesach logistycznych. Do podstawowych jej zadań zalicza się zwiększenie podatności transportowej dla danego ładunku. Do innych szczegółowych zadań jednostek ładunkowych zaliczyć można: umożliwienie ograniczenia lub wyeliminowania pracy ręcznej przez mechanizację, zwiększenie wydajności, polepszenie wykorzystania ładowności pojazdów i magazynowania. Duże znaczenie przypisuje się intermodalnym jednostkom ładunkowym, wykorzystywanym w przewozach na duże odległości, a także umożliwiającym transport „od drzwi do drzwi” bez przeładunku.

Jednostki ładunkowe uczestniczą w obrocie krajowym i międzynarodowym, dlatego muszą odpowiadać ustalonym zasadom, normom i przepisom dotyczącym: współzależności wymiarowej oraz konstrukcji urządzeń do formowania jednostek ładunkowych, a także standaryzowania procedur związanych z tworzeniem poszczególnych jednostek. Duże znaczenie w europejskiej polityce transportowej przypisuje się wprowadzeniu jednego standardu intermodalnych jednostek ładunkowych (Sowa 2012). Standaryzacja i unifikacja jednostek ładunkowych usprawnia procesy w łańcuchach dostaw, redukuje zbędne czynności manipulacyjno-transportowe i przeładunkowe oraz przyczynia się do obniżenia kosztów fizycznego przemieszczania towarów.

Podstawowy podział jednostek ładunkowych:

- jednorodne (homogeniczne) – ładunek jednorodny; cała jednostka zawiera tylko jedną partię jednej pozycji asortymentowej,
- niejednorodne (heterogeniczne) – ładunek niejednorodny; utworzona z co najmniej dwóch pozycji asortymentowych lub minimum z dwóch partii tej samej pozycji.

Ze względu na zastosowane technologie jednostki ładunkowe można podzielić na:

- Mikrojednostki ładunkowe (pojemniki ładunkowe),
- Paletowe jednostki ładunkowe (ładunek spaletyzowany),
- Pakietowe jednostki ładunkowe,
- Kontenerowe jednostki ładunkowe.

Mikrojednostki ładunkowe (pojemniki ładunkowe) – niespaletyzowane, Ponieważ charakteryzuje je trwałość kształtu i odporność na narażenia mechaniczne, można je układać warstwy oraz piętrzyć w stosy. można je przemieszczać ręcznie i mechanicznie, a także formować w większe jednostki (np. paletowe jednostki ładunkowe). W celu utworzenia mikrojednostki stosuje się pojemniki



transportowo – magazynowe oraz opakowania (np. kartonowe). Pojemniki transportowo – magazynowe mają różne kształty, konstrukcjach oraz wymiary (mogą mieć konstrukcję stałą, otwartą lub mogą być składane). Wykonane są z różnego materiału: tworzywa sztucznego, drewna, metalu: blachy pełnej lub siatkowe. Pojemniki mogą również stanowić opakowanie zbiorcze/transportowe dla elementów drobnych, o małej objętości lub niskiej wadze jednostkowej (Marcjanik 2018). Ze względu na sposób przemieszczania możemy je podzielić na pojemniki przejezdne i nieprzejezdne. Pierwszą grupę stanowią urządzenia przemieszczane ręcznie na kołach jezdnych. W ramach podziału pojemników przejezdnych na rys. 7. zaprezentowano ich rodzaje i odmiany.



Rys. 7. Podział pojemników przejezdnych

Źródło: Marcjaniak Z. (2018), Wybór sposobu składowania ze względu na parametry techniczne jednostki ładunkowej, Systemy Logistyczne Wojsk, 48, s. 156 .

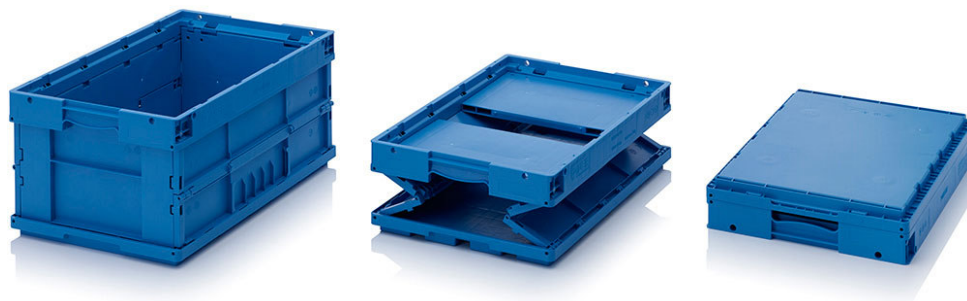
Pojemniki rozbieralne charakteryzują się możliwością szybkiego montażu i demontażu wszystkich elementy składowe (np. słupki, ramy boczne, półki), Pojemniki składane po zdemontowaniu lub uniesieniu podłogi, konstrukcję nośną boczną możemy złożyć do środka. Pojemniki wsuwane charakteryzują się możliwością suwać jeden w drugi Pojemniki o konstrukcji sztywnej umożliwiają piętrzenie w ich stosy oraz możliwością złożenia ich do transportu lub przechowywania. Drugą grupę stanowią pojemniki nieprzejezdne mogą, które być składowane w regałach. Może to jednak wymagać wyposażenia regałów w elementy dodatkowe, takie jak krata, siatka, poprzeczki metalowe lub drewno, jako wypełnienie gniazda regałowego.

Przykład: mikrojednostka skrzynkowa KLT

Na potrzeby procesów logistycznych w branży motoryzacyjnej, w zautomatyzowanych procesach produkcyjnych, do przechowywania i transportu ładunków małogabarytowych (śruby, nakrętki, nity, łożyska toczne itp.) wykorzystuje się mikropojemniki nieprzejezdne, skrzynkowe typu KLT (niem. Klein – Ladungs – Trager). Stanowią one główny element sieci łączącej poddostawców przemysłu



motoryzacyjnego i wytwórców samochodów. Zaletą mikropojemników jest posiadanie standardowych wymiarów, które ułatwiają automatyzację i układanie ich w magazynach.



Rys. 8. Składane pojemniki KLT

Źródło: pobrano z: <https://www.auer-packaging.com/pl/pl/Pojemniki-sk%C5%82adane-KLT.html>. Dostęp 12.03.2026.

Przykład: mikrojednostka – opakowanie modułowe

Opakowania modułowe - standaryzowane systemy, w których elementy opakowania są zaprojektowane w sposób pozwalający na ich dowolne łączenie oraz tworzenie różnych konfiguracji w zależności od wymaganych rozmiarów. Jest to typ opakowania elastycznego umożliwiający ich łatwą wymianę i dostosowanie do różnych potrzeb: do różnych typów produktów oraz różnych warunków transportowych lub magazynowych. Opakowania modułowe składają się z różnych elementów, które można dowolnie łączyć i dostosowywać do rozmiaru oraz rodzaju transportowanego produktu.

Szeroki zakres stosowania mikrojednostek uwarunkowany jest nieprzekroczeniem gabarytów eurojednostki ładunkowej – modułu przestrzennego o wymiarach 800 x 1200 x 1000 mm o maksymalnej pojemności do 0,96m³ i masie brutto, która nie może być większa 70 kg w przypadku prac ręcznych oraz 1000kg - 1500kg (Mindur 2010).

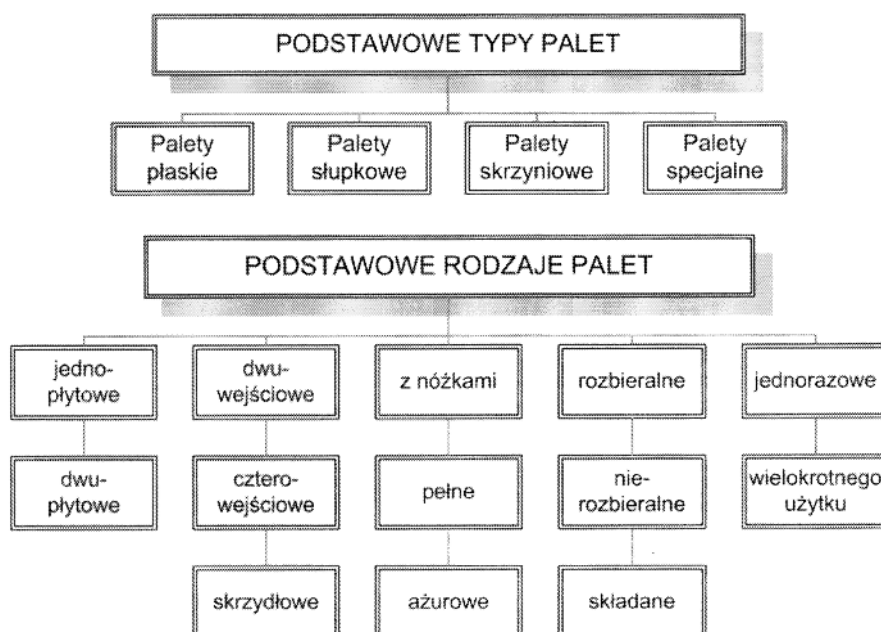
Paletowe jednostki ładunkowe (ładunek spaletyzowany) – jednostka ładunkowa formowana jest na paletcie, która mimo wielu odmian charakteryzuje się stałymi wymiarami podstawy (europaleta 800 x 1200 mm, paleta ISO 100 x 1200 mm).



Tabela 7. Rola palet w łańcuchu dostaw

Aspekt funkcji			
logistycznych	magazynowych	transportowych	informacyjnych
– ułatwienie procesów przepływu materiałów i towarów albo wręcz ich umożliwienie czy warunkowanie (procesy logistyczne koordynują bowiem przepływ materiałów i informacji na całej ich drodze od dostawców, poprzez produkcję, dystrybucję i użytkownika końcowego, a nawet dalej, w niektórych wypadkach aż po utylizację odpadów, względnie kasację nieużytecznych pozostałości)	– ułatwienie procesów przyjmowania, składowania, kompletowania i wydawania towarów – możliwość zastosowania pracy zmechanizowanej – zwiększenie powierzchni magazynowej przeznaczonej do składowania – sporządzanie zestawów asortymentowych w poszczególnych partiach dostawy – podatność na piętrzenie – uporządkowanie systemu składowania towarów – ułatwiony proces inwentaryzacji – zabezpieczanie wyrobów przed narażeniem na uszkodzenie mechaniczne (statyczne i dynamiczne) – podniesienie poziomu bezpieczeństwa i higieny pracy	– optymalne wykorzystanie przestrzeni ładownej zewnętrznego środka transportu – stabilność formy – zmniejszenie strat i ubytków powstających podczas przewozu towarów – ułatwienie manipulacji przy załadunku/ przeładunku/ rozładunku na środki transportu zewnętrznego	– ułatwiona identyfikacja towarów – stymulowanie przepływami opakowanych towarów w łańcuchu dostaw, od producenta do ostatecznego odbiorcy

Źródło: Sowa M. (2021), Palety ładunkowe, Szczecin, s. 13.



Rys. 9. Ogólna klasyfikacja palet

Źródło: Sokolski M. (2011). Infrastruktura magazynów i transportu wewnętrznego, Wrocław, Consulting i Logistyka Spółka z o.o. Oficyna Wydawnicza NDiO, s. 39.

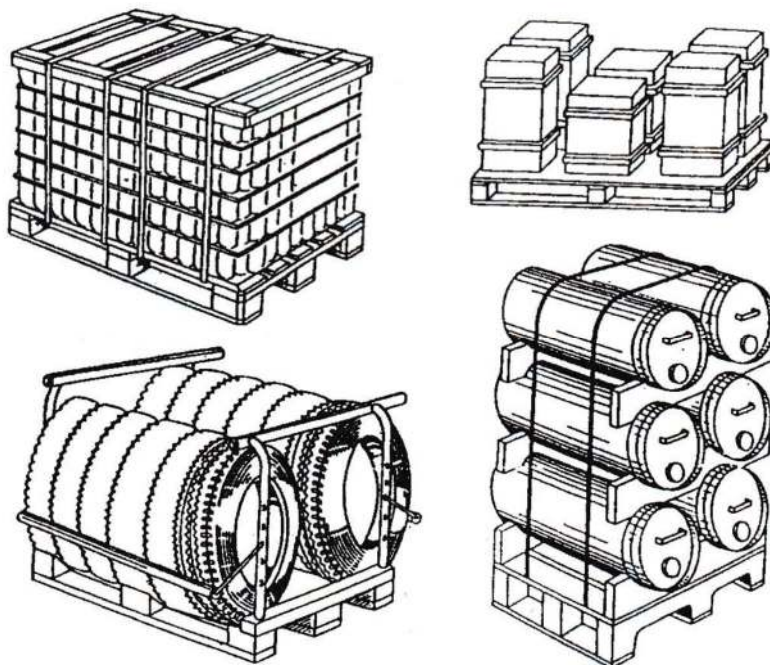


Istotny z punktu widzenia formowania jednostek ładunkowych jest podział palet ładunkowych w zależności od kształtu, wymiarów, stanu skupienia, wytrzymałości na nacisk wyrobu oraz rodzaju transportu na:

- płaskie, które służą do formowania jednostek ładunkowych z wyrobów odpornych na uszkodzenia mechaniczne w trakcie transportu, niewrażliwych na piętrzenie, przeznaczone do formowania jednostek ładunkowych wyrobów zbiorczych lub transportowych,
- słupkowe – słupki z odpowiednimi poprzeczkami przenoszącymi obciążenie od stosu, które chronią znajdujące się wewnątrz wyroby, służą do formowania jednostek ładunkowych z ładunków wrażliwych na ściskanie,
- skrzyniowe – palety z pełnymi lub zamkniętymi ścianami bocznymi, chroniącymi znajdujące się wewnątrz wyroby przed naciskami w czasie piętrzenia lub uszkodzeniami w transporcie, stosowane do formowania jednostek ładunkowych z ładunków drobnowymiarowych i nieregularnych co do kształtu,
- specjalne (specjalizowane) – dostosowane ściśle kształtem i konstrukcją do transportu i składowania uformowanych w nich ładunków o kształtach nieregularnych.



Ze względu na rodzaj ładunku umieszczonego na paletcie paletowe jednostki ładunkowe mogą przybierać różne kształty (rys. 10.).



Rys. 10. Przykłady paletowych jednostek ładunkowych

Źródło: Prochowski L., Żuchowski A. (2016), Technika transportu ładunków, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, s.18.

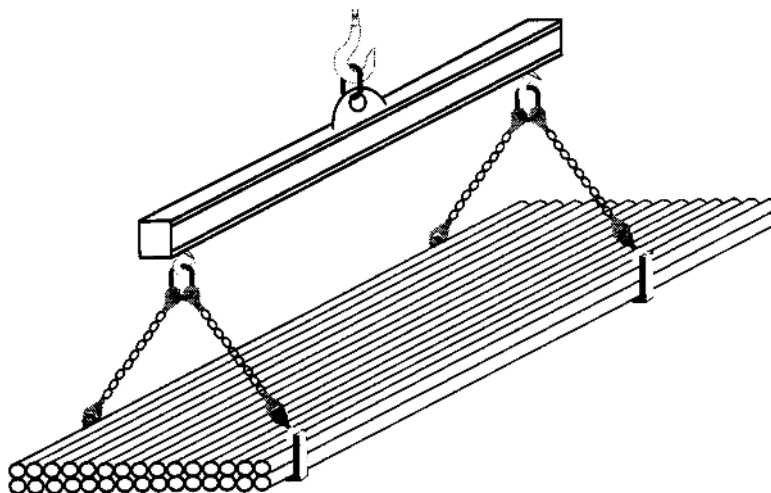
Zastosowanie paletowych jednostek ładunkowych w logistyce przynosi znaczące korzyści: umożliwia lepsze wykorzystanie powierzchni środka transportu, pozwala bardziej efektywnie wykorzystać powierzchnię i przestrzeń magazynów oraz ułatwia przeładunek towarów pomiędzy środkami przewozowymi różnych gałęzi transportu. Uformowane paletowe jednostki ładunkowe w warunkach realizowanych procesów magazynowo-transportowych zapewniają ponadto ochronę towarów przed działaniem czynników zewnętrznych oraz dostarczają informacji o towarach i warunkach ich przechowywania, a poprzez dostosowanie do zmechanizowanych czynności manipulacyjnych skracają czas realizacji dostaw w łańcuchach dostaw.

Pakietowe jednostki ładunkowe – to jednostki uformowane z ładunków sztukowych w jeden lub większą liczbę pakietów, zabezpieczone materiałami spinającymi lub wiążącymi tak, aby dla operatora tworzyły jedną całość. w sposób zapewniający jej trwałą formę w czasie magazynowania i transportu, przystosowane całkowicie do zmechanizowanych prac przeładunkowych.



Pakiem jest jednostka ładunkowa, która:

- składa się z dwóch lub więcej sztuk ładunku tego samego rodzaju,
- jest przystosowana do zmechanizowanego załadunku i rozładunku,
- jest dostosowana do wymiarów skrajni drogowej lub kolejowej,
- gwarantuje trwałość formy oraz wygodę i bezpieczeństwo obsługi.



Rys. 11. Pakietowa jednostka ładunkowa prętów

Źródło: Halusiak S., Uchciński J. (2013). Transport wewnętrzny. Zagadnienia wybrane, Łódź, Politechnika Łódzka, s. 23.

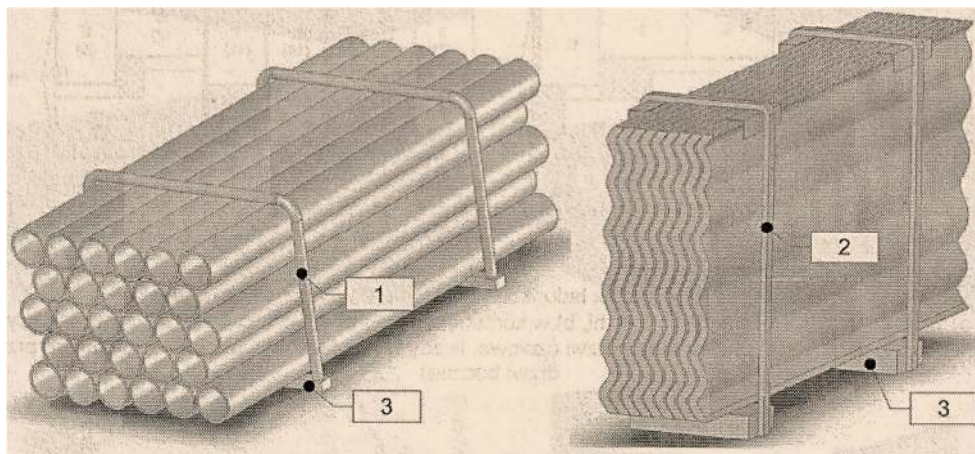
W pakietowych jednostkach ładunkowych formułuje się ładunki (np. arkusze blachy, pręty i rury stalowe, tafle szkła) o wymiarach (często nietypowych) przekraczających standardy palet, odporne na działania klimatu i uszkodzenia typu mechanicznego w celu zapewnienia im trwałości formy i możliwości mechanicznego przeładunku (Hassa 2013), głównie za pomocą widłowych wózków podnośnikowych lub dźwignicami z zawieszem hakowym. Wymiary jednostek pakietowych są zróżnicowane, zależne od rodzaju ładunku (zwykle jeden z wymiarów jest znacznie większy od pozostałych).

Wymiary pakietu wynikają z charakteru pakietyzowanego ładunku oraz sposobu jego ułożenia w jednostkę pakietową. Pakiet może mieć kształt sztywnego prostopadłościanu, walca lub wiązki. Pakietowe jednostki ładunkowe dzieli się na elementarne i wielokrotne. Pierwsze uformowane są z jednego lub więcej pakietów i zabezpieczone materiałami spinającymi, zapewniającymi trwałość ich kształtu w czasie magazynowania oraz transportu, natomiast pakietowe jednostki ładunkowe wielokrotne uformowane są z co najmniej dwóch pakietowych jednostek elementarnych.

Wymiary te powinny się mieścić w dopuszczalnych granicach wymiarów dla pojazdów drogowych oraz powinny umożliwiać optymalne wykorzystanie powierzchni i przestrzeni środków



przewozowych dla pojazdów drogowych oraz a ich ograniczenia ciężarowe związane są z możliwościami udźwigu przez urządzenia ładunkowe.



Legenda: 1- jarzmo 2- opaska 3 - podkładka dystansowa

Rys. 12. Przykłady pakietowych jednostek ładunkowych

Źródło: Sokolski M. (2011). Infrastruktura magazynów i transportu wewnętrznego, Wrocław, Consulting i Logistyka Spółka z o.o. Oficyna Wydawnicza NDiO, s. 54.

Wśród urządzeń wykorzystywanych do formowania pakietowych jednostek ładunkowych najczęściej znajdują zastosowanie elementy dystansowe, minimalizujące luzy i służące do utrzymania odpowiedniego dystansu między elementami oraz jarzma teleskopowe.

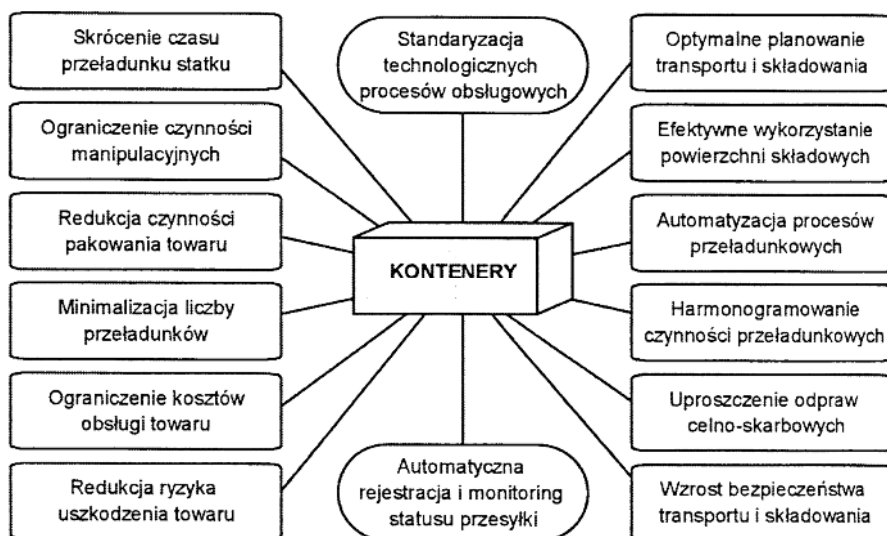


Przykład: załadunek pakietowej jednostki ładunkowej na pojazd ciężarowy



Rys. 13. Pakietowe jednostki ładunkowe po załadunku na pojazd ciężarowy
Źródło: pobrano z: <https://www.amwlogistics.pl/blog/zabezpieczenie-ladunku-w-transporcie-drogowym-dostepne-rozwiazania>. Dostęp 30.03.2026.

Kontenerowe jednostki ładunkowe określane są w literaturze jako jednostki formowane z ładunków umiejscowionych wewnątrz kontenerów, czyli uniwersalnych zamykanych pojemników, wielokrotnego użytku, zapewniających przewóz jednym lub kilkoma gałęziami transportu przy zastosowaniu zmechanizowanych czynności przeładunkowych. Uformowane z kontenerów jednostki ładunkowe mogą być przemieszczane różnymi gałęziami transportu bez konieczności ich rozformowania. Kontenery posiadają wiele zalet (Por. Tabela 8.), które decydują o ich dominacji, zwłaszcza w transporcie intermodalnym. W Polsce udział kontenerów w przewozach intermodalnych stanowił w 2023 r. 93% przewozów wszystkich rodzajów jednostek ładunkowych (Przewozy intermodalne w 2023 2024).



Rys. 14. Cechy użytkowe kontenerów

Źródło: Rokicki T. (2015), Intermodalne jednostki ładunkowe, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 21.

W tabeli 8. zestawiono główne cechy oraz wynikające z nich korzyści tej jednostki ładunkowej, które przyczyniły się w ciągu kilkudziesięciu lat do rozpowszechnienia kontenerów w transporcie międzynarodowym na masową skalę.

Tabela 8. Cechy kontenerów i przesłanki ich sukcesu jako jednostki ładunkowej

Cecha	Korzyści – przesłanki sukcesu
Standaryzacja w skali światowej rozpowszechnienie w obrocie międzynarodowym, szczególnie w transporcie morskim	Przyspieszenie i zwiększenie bezpieczeństwa przeładunku, krótszy czas dostawy, większa terminowość
	Integracja różnych gałęzi transportu, ujednolicenie stosowanych w nich rozwiązań technicznych, technologicznych, organizacyjnych
Pojemność, cechy konstrukcyjne trwałość, wytrzymałość pozwalająca na wielokrotne użycie, szczelne zamknięcie	Tańsze opakowanie i ubezpieczenie, ograniczone ryzyko uszkodzenia i utraty ładunku, niższe koszty transportu

Źródło: Gajewski P., Własczynowicz M. (2018). Składane kontenery i potencjał ich wykorzystania na Nowym Jedwabnym Szlaku, *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 3,1, s. 15.

Według definicji ISO **kontenerem ładunkowym** jest jednostka wyposażenia transportowego, mająca określoną charakterystykę techniczną i dostateczną wytrzymałość, umożliwiającą wielokrotne używanie, specjalną konstrukcję, zapewniającą przewóz ładunków jednym lub kilkoma rodzajami



transportu, bez pośrednich przeładunków samego ładunku oraz wyposażenie, zapewniające zmechanizowany przeładunek, zwłaszcza z jednego rodzaju transportu na inny, i pojemność nie mniejszą niż 1 m³.

Na potrzeby opracowań statystycznych kontener ISO (*Container ISO*) definiowany jest jako pojemnik przeznaczony do wielokrotnego przewożenia towarów, bez potrzeby ich przeładowywania przy zmianie środka transportu, wyposażony w urządzenia umożliwiające łatwy transport i przeładunek, odporny na warunki przewozu i mający możliwie znormalizowane wymiary: szerokość i wysokość 8 stóp, długość: 10, 20, 30, 40 stóp (GUS).

Przepisy związane z wymogami stawianymi przy budowie kontenerów określają **kontener** jako urządzenie transportowe, trwałe, dające możliwość wielokrotnego użycia, o specjalnej konstrukcji ułatwiającej przewóz ładunków jednym lub kilkoma rodzajami środków transportu bez konieczności ich za- i wyładunku, wyposażone w naroża zaczepowe, umożliwiające szybkie jego zamocowanie i zwolnienie zamocowania, o takich wymiarach, aby w przypadku gdy jest ono wyposażone w górne naroża zaczepowe, powierzchnia zawarta między jego czterema zewnętrznymi dolnymi (Przepisy budowy kontenerów 2026).

Zgodnie z klasyfikacją Międzynarodowej Normy ISO (Bartosiewicz 2020) kontenery według kryterium rodzaju ładunków dla których są one przeznaczone można podzielić na:

- I. Kontenery ładunkowe lotnicze (*air*);
- II. Kontenery ładunkowe nielotnicze:
 1. Kontenery uniwersalne (*general purpose*):
 - a) zamknięte (*dry van*);
 - b) specjalizowane:
 - zamknięte z wentylacją (*ventilated dry van*);
 - z dachem otwartym (*open top*);
 - podstawie płytowej (*flat rack*);
 - płytowe (*platform, bolster*);
 2. Kontenery specjalne (*named cargo*):
 - a) izotermiczne (*thermal*):
 - izolowane (*insulated*);
 - chłodzone (*refrigerated*);
 - chłodnicze (*reefer*);
 - ogrzewane (*heated*);



- chłodzone lub chłodnicze i ogrzewane (*refrigerated or reefer and heated*);
- b) zbiornikowe (*tank*);
- c) do przewozu ładunków sypkich (*bulk*);
- d) inne kontenery specjalne.

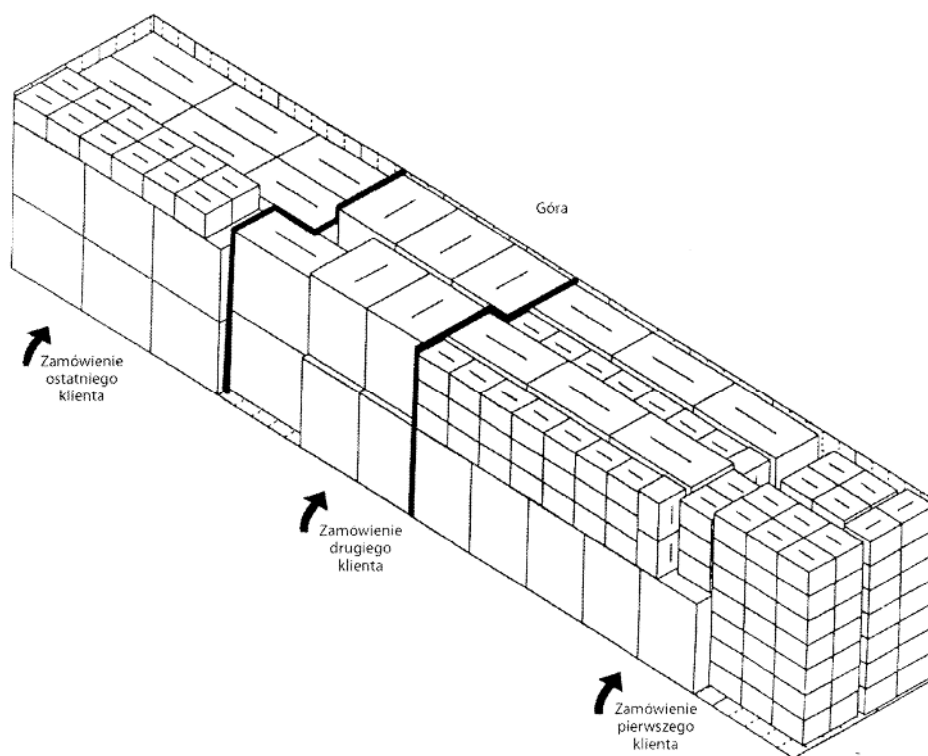
Każdy kontener wykorzystywany w procesach logistycznych jest oznaczony unikalnym numerem identyfikacyjnym (np. kod BIC), wyposażony w stalowe elementy narożne ułatwiające składowanie i obsługę, i musi spełniać wymogi konwencji bezpieczeństwa CSC (Międzynarodowa Konwencja Bezpiecznych Kontenerów).

Z punktu widzenia podatności transportowej według Wiśnickiego (2006) kontenerowa jednostka ładunkowa stanowi trwałą ochronę szczególnie dla ładunków charakteryzujących się niską naturalną podatnością transportową, zwłaszcza towarów wrażliwych na oddziaływanie czynników zewnętrznych. Ładunki przewożone w kontenerach muszą spełniać określone wymagania, dotyczące wymiarów i stosowanych opakowań, a ich załadunek i wyładunek musi odbywać się przy pomocy specjalnego przygotowania technicznego. Wybór odpowiedniego kontenera spośród różnych jego odmian umożliwia przewóz ładunków w każdym stanie skupienia, w zróżnicowanych partiach, dostosowanych do danej wymiany handlowej, bez ograniczeń, związanych z czasem i odległością transportu, ale wymaga dostępu do odpowiedniej kosztownej infrastruktury. Przy podejmowaniu decyzji o wyborze kontenera jako jednostki ładunkowej podstawowe znaczenie ma rachunek ekonomiczny.

Rezerwacja całego kontenera dla jednej przesyłki FCL (*Full Container Load*) znacząco obniża koszty transportu z wykorzystaniem tej jednostki ładunkowej. Osiągnięcie tego rodzaju korzyści jest jednak możliwe przy jak największym wypełnieniu ładunkiem jego wewnętrznej przestrzeni. Jedną z wad kontenerowych jednostek ładunkowych w wykorzystaniu ich w międzynarodowym transporcie morskim jest konieczność oczekiwania nadawcy ładunku na wypełnienie się kontenera. Wysyłka kontenera przed jego wypełnieniem oznacza wzrost kosztów transportu. W takim przypadku można zastosować inną formę transportu morskiego, w której ładunek nie zajmuje całej przestrzeni kontenera i jest konsolidowany z przesyłkami innych nadawców, czyli LCL (*Less than Container Load*). Taka forma przewozu pozwala na dzielenie kosztów transportu różnych nadawców, co umożliwia danemu podmiotowi obniżkę kosztów wysyłki mniejszych partii towarów bez konieczności wynajmowania całego kontenera. Stosowanie tego rozwiązania oznacza jednak złożone procesy konsolidacji, dokumentacji, dekonsolidacji oraz odpraw celnych. Każde opóźnienie nawet jednego z



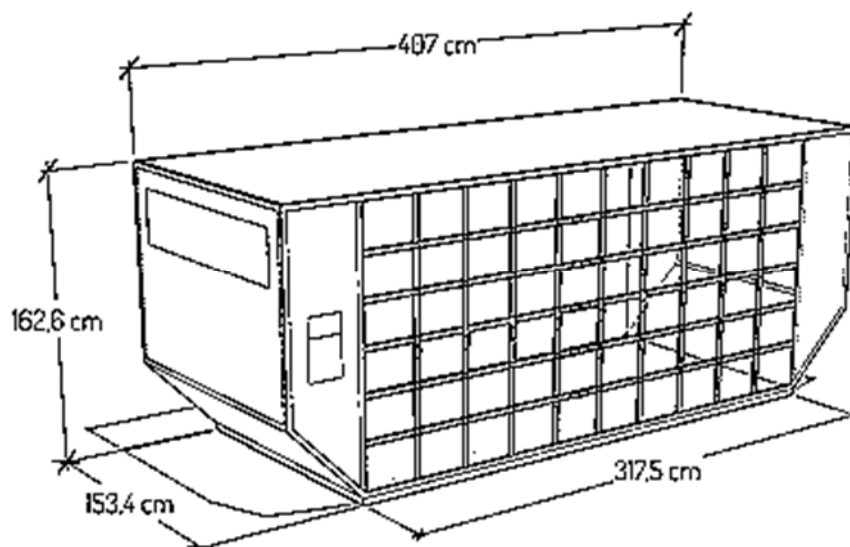
nadawców w dostarczeniu towaru do magazynu konsolidacyjnego lub wymaganych do odprawy celnej dokumentów może opóźnić transport całego kontenera. Różnorodność towarów pochodzących od różnych nadawców, konsolidowanych w jednym kontenerze zwiększa ryzyko uszkodzeń spowodowanych niewłaściwym rozmieszczeniem ładunku.



Rys. 15. Wygenerowany za pomocą oprogramowania do rozmieszczania ładunków (*load-planner*) plan załadunku kontenera według LCL (*Less than Container Load*)

Źródło: Murphy jr P.R., Wood D.F. (2011). Nowoczesna logistyka, Wydanie X. Wydawnictwo Onepress, s.301.

W transporcie lotniczym wykorzystywane są kontenery różniące się kształtem i wymiarami oraz materiałem, z którego są wykonane od tych, które stosuje się w transporcie morskim i lądowym, zarówno pod względem różnorodności wymiarów jak i kształtów.



Rys. 16. Rysunek kontenera lotniczego typu ALF_ATA LD_6

Źródło: pobrano z: <https://www.goodloading.com/pl/blog/kontenery-lotnicze-wymiary-i-charakterystyka/>, Dostęp 30.03.2026.

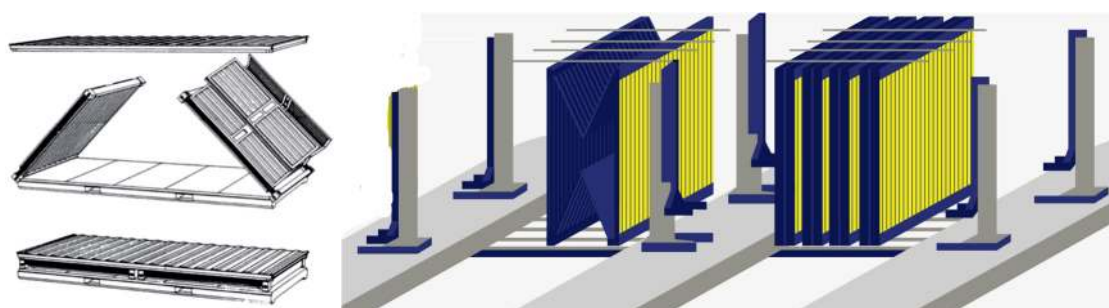
Kształt używanych do transportu ładunków samolotów wymaga dopasowania przewożonych w nich jednostek ładunkowych. Ponadto nie mogą być one ustawiane jeden na drugim oraz obsługiwane za pomocą żurawia. Dlatego kontenery te nie mogą być wykorzystane w transporcie intermodalnym. Kontenery lotnicze wykonane z aluminium lub jego stopów, co pozwala uzyskać maksymalną lekkość konstrukcji przy jednoczesnym zabezpieczeniu ładunku. Identyfikacja kontenerów odbywa się za pomocą numerów ULD ULD (*Unit Load Devices*).

Przykład: kontenery składane (Gajewski, Właszynowicz 2018; Marek 2017)

Jedną z istotnych wad kontenerowych jednostek ładunkowych jest wynikająca z problemu różnych miejsc załadunku, konieczność transportu pustych kontenerów. Występowanie tego zjawiska dotyczy nie tylko przewozów żegluga morską, ale również transportu kolejowego, w ramach którego puste przewozy kontenerowe stanowiły w 2012 roku 40% wszystkich przewozów. Mające masowy charakter przemieszczanie pustych kontenerów generuje znaczące koszty, na które składają się: koszty transportu i manipulacji na każdym etapie łańcucha dostaw oraz koszty składowania nieużywanych kontenerów w terminalach intermodalnych (koszt *dwell-time* po przekroczeniu czasu darmowego *free-*



time). Zastosowanie w transporcie kontenerów składanych umożliwia częściowe rozwiązanie tego problemu. Składane kontenery są rodzajem składanych pojemników (obok składanych mikrojednostek oraz składanych palet), których stosowanie obniża koszty transportu i składowania oraz upraszcza załadunek i rozładunek. Rozwiązanie typu kontener składany (składanie poziome) znane jest od kilkudziesięciu lat, ale w jego upowszechnieniu przeszkodą były mała funkcjonalność, wysoka waga (tara kontenera składanego 20' wynosi o. 4000 kg i jest wyższa od kontenera uniwersalnego o ok. 1700 kg) oraz wysoki koszt ich wdrożenia.



1 - poziomo 2 - pionowo

Rys. 17. Techniki składania kontenerów

Źródło: Marek R. (2017). Korzyści ekonomiczne eksploatacji kontenerów składanych dla uczestników kontenerowego łańcucha logistycznego, *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego*, 14, s.27. oraz pobrano z: <https://staxxon.com/folding-and-unfolding/>. Dostęp 10.04.2026.

Rozwiązanie opatentowane przez firmę Staxxon (autor: Georg Kochanowski) wprowadza inną od dotychczasowej technikę składania kontenerów (składanie pionowo), dzięki której możliwe jest usprawnienie czynności manipulacyjnych, procesu transportu oraz składowania.



Rys. X.18. Wiązka kontenerów składanych odpowiadająca wymiarom standardowego kontenera

Źródło: pobrano z: <https://www.businessinsider.com/foldable-shipping-containers-could-help-supply-chain-crisis-2022-5?IR=T>. Dostęp 11.04.2026.

Dzięki technice składowania pionowo w przestrzeni zajmowanej przez jeden niezłożony kontener mieścić się pięć złożonych do jednego boku. Wiązka tak przygotowanych złożonych kontenerów może być przenoszona przez powszechnie stosowany sprzęt do manipulacji.

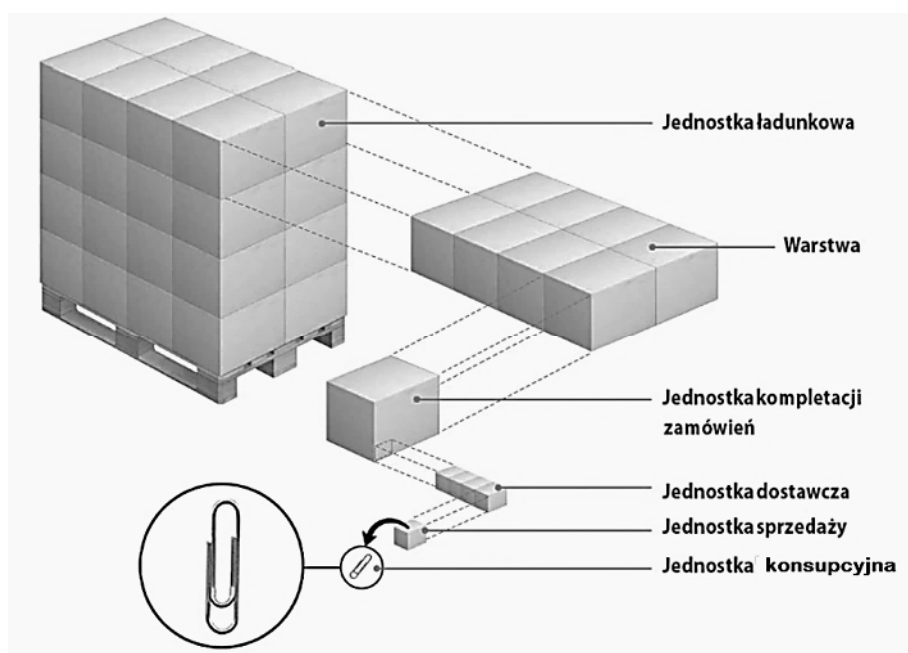
7. Formowanie jednostek ładunkowych

Jednostka ładunkowa jako ładunek zbiorczy stanowi efekt wcześniej podjętych działań, zwanych formowaniem, które mają na celu zabezpieczenie ładunku przed oddziaływaniem różnych czynników oraz efektywne wykorzystanie przestrzeni ładunku. Słownik terminologii logistycznej określa **formowanie jednostek ładunkowych** jako: „Zbiór czynności związanych z formowaniem lub układaniem ładunków – wyrobów w opakowaniach zbiorczych, pojemników sztywnych w stosy, w celu usprawnienia prac transportowo-magazynowych”. Według Madeja, Madeja i Kurcz (2017) na formowanie jednostek ładunkowych składa się „zespół czynności organizacyjnych umożliwiających odpowiednie przygotowanie do przewozu wyrobów luzem, w opakowaniach jednostkowych i zbiorczych, zapewniających racjonalne wykorzystanie powierzchni i przestrzeni ładownych środków transportu i magazynów”. Formowanie jednostek ładunkowych obejmuje różne czynności (przygotowanie, układanie i zabezpieczanie), w rezultacie których utworzona zostaje jednorodna masa, wypełniająca przestrzeń jednostki ładunkowej z uwzględnieniem wielu różnych czynników. Przebieg tego procesu zależy od różnych czynników, do których można zaliczyć m.in.: właściwości ładunku, rodzaj użytych opakowań



jednostkowych, rodzaj jednostki ładunkowej, urządzenia załadunkowe, sposoby mocowania ładunku, środki transportu i technologii transportu jednostki ładunkowej. Formowane jednostki ładunkowe mogą być jednorodne (homogeniczne) lub niejednorodne (heterogeniczne). Na prawidłowe uformowanie jednostki ładunkowej ma wpływ:

- dobór właściwego urządzenia, odpowiadającego naturalnej, technicznej i ekonomicznej podatności transportowej ładunku,
- właściwe ułożenie ładunku na lub w urządzeniu (maksymalne wykorzystanie powierzchni i pojemności urządzenia oraz jego udźwigu),
- zabezpieczenie ładunku przed rozformowaniem w czasie przewozu i składowania.



Rys. 19. Podział paletowej jednostki ładunkowej w łańcuchu logistycznym

Źródło: pobrano z: <https://www.mecalux.pl/podrecznik-magazynowania/magazyn/jednostka-ladunkowa>. Dostęp 30.03.2026.

Prawidłowe ułożenie mniejszych opakowań jednostkowych, jednostek zbiorczych w ramach większej jednostki ładunkowej jest istotne z punktu widzenia jej stabilności, zabezpieczenia przed przemieszczaniem opakowań lub wysunięciem elementów ładunku i zachowania dopuszczalnych norm jednostki ładunkowej. Formowanie jednostek ładunkowych jest złożonym procesem, jednak dzięki niemu możliwe jest zapewnienie sprawnego przemieszczania, składowania i przeładunku sformowanej jednostki



ładunkowej w łańcuchu dostaw. Istotny jest wybór odpowiedniej jednostki do formownia, która umożliwi skrócenie łańcucha dostaw (Pfohl 1998), usprawniając w nim przepływy i składowanie. Proces formowania jednostek ładunkowych zrealizowany we wczesnej fazie przepływu ładunku, czyli u producenta wyrobu finalnego umożliwia maksymalizację jego użyteczności.

- Formowanie paletowych jednostek ładunkowych zależy od właściwości i wrażliwości ładunku, rodzaju materiału używanego do pakowania towarów, wytrzymałości pakowania, warunków transportu i magazynowania. Formowanie jednostek ładunkowych na paletach odbywa się w sposób zapewniający stabilność ładunku podczas transportu i magazynowania oraz konieczność przestrzegania ustalonych normami takich parametrów jak wymiary i nośność. Do czynności składających się na formowanie paletowej jednostki ładunkowej należą m.in. układanie i mocowanie towaru na palecie. Bezpieczne i efektywne układanie ładunku na palecie wymaga przestrzeganiu określonych zasad, do których należą:
 - dążenie do uzyskania kształtu palety wraz z ładunkiem, zbliżonego do prostopadłościanu,
 - dążenie do maksymalnego wykorzystania powierzchni ładunkowej palety, przez stosowanie opakowań o wymiarach zgodnych z systemem wymiarowym opakowań,
 - ładunek nie powinien wystawać poza obrys podstawowy palety,
 - ładunek należy rozmieszczać w sposób zapewniający stabilność (trwałość kształtu) jednostki ładunkowej,
 - ładunek na palecie (a co najmniej w każdej warstwie) powinien być jednorodny (opakowania o tej samej zawartości, kształcie, wymiarach i własnościach fizycznych),
 - jeżeli nie ma możliwości uzyskania jednorodności ładunku, należy go tak układać na palecie, aby masa ładunku, w kolejnych układanych na sobie warstwach była coraz mniejsza.

8. Przykłady zadań

Zadanie 1.

Sformować paletową jednostkę ładunkową z jednolitych opakowań zbiorczych, które mają wymiary: długość 300mm, szerokość 200mm, wysokość 400mm. Na palecie EUR należy utworzyć pełną warstwę w trzech wariantach. Opakowania zbiorcze powinny być spiętrzone w dwóch warstwach. Rozwiązanie przestawić również graficznie (rzut z góry i z boku).



Zadanie 2.

Objasnij znaczenie niżej zamieszczonych znaków manipulacyjnych:



1



2



3



4



5



6



7

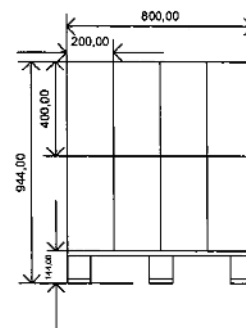
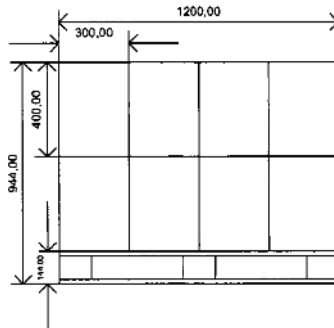
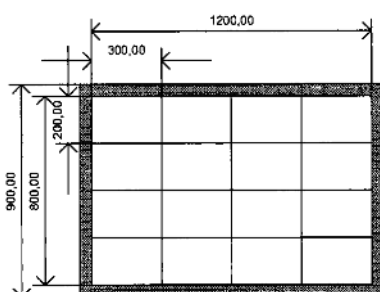


8

Rozwiązania zadań

Rozwiązanie Zadania 1:

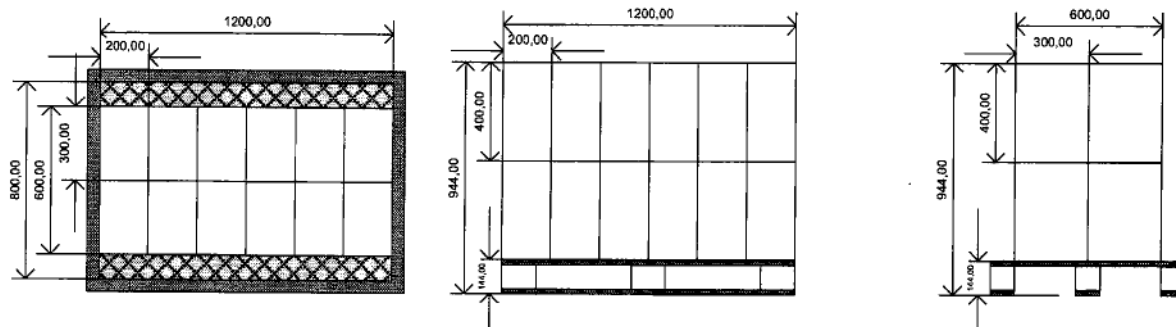
I wariant



Opakowania zbiorcze zostały ułożone w następujący sposób: długi bok opakowania zbiorczego posadowiono względem długiego boku palety, w taki sam sposób postąpiono z krótkim bokiem opakowania zbiorczego. Przy takim ułożeniu opakowań na długości palety można umieścić cztery opakowania zbiorcze. W jednej warstwie można umieścić 16 opakowań zbiorczych ($4 \times 4 = 16$). W dwóch warstwach na paletie możliwe jest umieszczenie 32 opakowań zbiorczych ($16 + 16 = 32$). Ułożenie opakowań zbiorczych w powyższy sposób zajmuje 100% powierzchni palety.

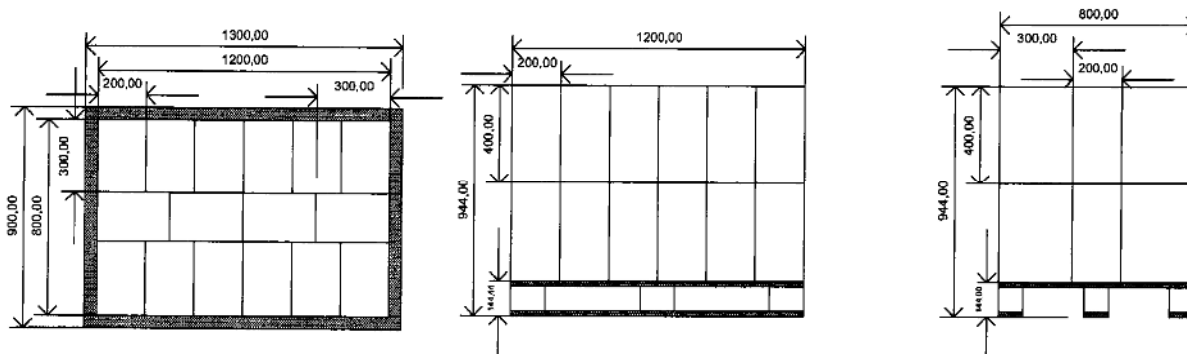


II wariant



Opakowania zostały ułożone w taki sposób, że odwrócono boki opakowań zbiorczych względem palety. W tym wariantcie ułożono krótki bok opakowania zbiorczego względem długiego boku palety, a długi bok opakowania zbiorczego ułożono względem krótkiego boku palety. W takim ułożeniu na długości nośnika można umieścić sześć opakowań zbiorczych, natomiast na szerokości można położyć zaledwie dwa opakowania zbiorcze. W jednej warstwie znajduje się 12 opakowań zbiorczych ($6 \times 2 = 12$), natomiast w dwóch warstwach na paletcie można pomieścić 24 opakowania zbiorcze ($12 + 12 = 24$). Takie ułożenie opakowań zbiorczych nie zajmuje całkowitej powierzchni palety.

III wariant



Hybrydowe rozwiązanie w oparciu o I i II wariant.

Rozwiązanie zadania 2.

1 – środek ciężkości, 2 – nie przemieszczać wózkiem widłowym, 3 – nie zakładać zawiesia, 4 – nie piętrzyć, 5 – chronić przed wilgocią, 6 – chronić przed nagrzeniem, 7 – nie przewracać, 8 – nie toczyć.



Bibliografia

Literatura

- Andrzejczyk P., i inni (2019). Procesy magazynowe w przykładach i ćwiczeniach. Biblioteka Logistyka, Poznań, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Bałdowska-Witos P. (2020). Ekoefektywność procesu formowania opakowań, Bydgoszcz, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego.
- Barska A., Wyrwa J. (2016). Konsument wobec opakowań aktywnych i inteligentnych na rynku produktów spożywczych. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, 4, 349, s.138-161.
- Bartosiewicz A. (2020). Transport morski kontenerów. Rola i znaczenie intermodalnych terminali przeładunkowych, Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Bergmeir J. (2023). Trendy w opakowaniach na zmieniającym się globalnym i europejskim rynku. W: Przemysł opakowaniowy wobec wyzwań rynku. Warszawa, Polska Izba Opakowań, s.25-32.
- Bieniek A. (2019) Rola opakowań transportowych w łańcuchu logistycznym. Journal of TransLogistics, 5, 15, 1, s. 155-163.
- Bril J., Łukasik Z. (2013). Jednostki ładunkowe oraz ich znaczenie w obsłudze logistycznej, TTS Technika Transportu Szynowego 19, 9, s.73- 87.
- Cholewa-Wójciak A. (2017). Rola opakowań w sprawnej realizacji przepływów w ramach łańcucha dostaw, Problemy Jakości, 1, 9, s.43-47.
- Cichoń M., Lesiów T. (2013), Zasada działania innowacyjnych opakowań inteligentnych w przemyśle żywnościowym. Artykuł przeglądowy, Nauki Inżynierskie i Technologia, 2, 9, s.9-32.
- Ciechomski W. (2008). Opakowanie jako instrument promocji, LogForum, 4, 4, 4, pobrano z https://www.logforum.net/pdf/4_4_4_2008.pdf . Dostęp: 31.3.2021.
- Cierpiszewski R. (2016). Opakowania aktywne i inteligentne. Poznań, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.
- Cierpiszewski R. (2023). Wykorzystanie opakowań aktywnych i inteligentnych do minimalizowania marnotrawienia żywności. W: Pyś-Skrońska B., Tkaczyk S., Kornacki A. (red.), Przemysł opakowaniowy wobec wyzwań rynku, Warszawa, Polska Izba Opakowań, s.89-100.



- Cieśla M, Hat-Garncarz G., Opasiak T., Nowakowski P. (2017). Logistyka w łańcuchach dostaw. Wybrane zagadnienia. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Coles, R. (2003). Introduction. In.: R. Coles, D. McDowell, M.J. Kirwan (Ed.), Food packaging technology. Blackwell Publishing. p.1-31., pobrano z:
https://k8449r.weebly.com/uploads/3/0/7/3/30731055/33_food_packaging_technology-signed.pdf. Dostęp: 31.03.2026.
- Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J. (2002). Zarządzanie logistyczne. Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Dudziński Z., Kizyn M. (2000), Poradnik magazyniera. Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Emblem A., Emblem H. (2014). Technika opakowań. Podstawy, materiały, procesy wytwarzania. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Farmer N. (2016). Innowacje w opakowaniach żywności i napojów. Rynki Materiały technologie. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Fechner I. (2016), Łańcuch logistyczny. Struktura. Podstawowe ogniwa i funkcje. W:
Opakowania w łańcuchu dostaw. Wybrane problemy, Polska Izba Opakowań, s.27-39.
- Fertsch M. (red.), (2016), Słownik terminologii logistycznej, wydanie II, Biblioteka Logistyka. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Gajewski P., Właszczynowicz M. (2018). Składane kontenery i potencjał ich wykorzystania na Nowym Jedwabnym Szlaku, *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 3,1, 2018, s.13-23.
- Gołębska E. (red.), (2007). Kompendium wiedzy o logistyce. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Gulczyński W. (2024). Opakowania i jednostki ładunkowe. W: Lewandowska - Ciszek A, Pawłowski T. (red.), *Magazynowanie i obsługa rynku. Wybrane zagadnienia z logistyki*, Warszawa. CeDeWu, s.213-251.
- Hales C. F. (1999). Opakowanie jako instrument marketingu. Warszawa. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Halusiak S., Uchciński J. (2013). Transport wewnętrzny. Zagadnienia wybrane, Łódź, Politechnika Łódzka.
- Hassa K. (2013). Wymagania logistyczne opakowań transportowych. W: Kozłowski R. (red.), *Wybrane zagadnienia infrastruktury logistyki i jej ekonomii*, Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s.63-97.



- Jakubowski L. (2006). Jakubowski L. (2006). Miejsce przewozów intermodalnych w systemie transportowym, *Problemy Kolejnictwa*, 142, s.28-36.
- Jakubowski L. (2009). *Technologia prac ładunkowych*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Jankowski S. (2014). *Opakowania transportowe. Poradnik*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Jakowski S. (2002). Analiza czynników wpływających na rozwój przemysłu opakowań w Polsce, *Opakowania*, T. 47, 08, s.20-22.
- Jakowski S. (1996). Opakowania wielokrotnego użytku, *Opakowania*, 12. s.30-31.
- Jeszka A.M. (2009). Rola opakowań w technologiach logistycznych. W: Długosz J. (red.), *Nowoczesne technologie w logistyce*. Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, s.231-248.
- Jeżyk E. (2014). Design opakowania i jego elementy w procesie podejmowania decyzji zakupowych, *Marketing i rynek 4 (CD)*, s.391-398.
- Kasprzyk K. (2025). Zrównoważony rozwój w branży opakowań i rola poligrafii w produkcji ekologicznych opakowań. W: Pyś-Skrońska (red.), *Ekologiczna rewolucja - czy regulacje wpływają na rozwój innowacji?*, Warszawa, Polska Izba Opakowań, s.89-97.
- Kaźmierczak M. (2017). Innowacyjne opakowania jako inteligentne rozwiązanie na przykładzie branży spożywczej, *Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej*, 2, 107.
- Kozar Ł.J. i in. (2023). Opakowania w procesie zazielenienia łańcucha dostaw. W: Kozar Ł.J., Matusiak M. (red.), *Współczesne wyzwania transportu, spedycji oraz logistyki* Łódź. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Korzeniowski A., Kwiatkowski J. (1995). *Towaroznawstwo opakowań*. Poznań, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Korzeniowski A., Skrzypek M., Szyszka G. (2010). *Opakowania w systemach logistycznych*, Wydanie III zm., Biblioteka Logistyka. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Kozar Ł.J. i in. (2023). Opakowania w procesie zazielenienia łańcucha dostaw. W: Kozar Ł.J., Matusiak M. (red.), *Współczesne wyzwania transportu, spedycji oraz logistyki*. Łódź. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Kucińska-Landwójtowicz A., Jurczyk-Bunkowska M. (2015). Aspekty ekologiczne w logistycznym łańcuchu opakowań jednostkowych, *Logistyka*, 6, s.704-712, CD.



- Kucińska-Landwójtowicz A., Jurczyk-Bunkowska M. (2015). Znaczenie innowacji w opakowaniach jednostkowych w podnoszeniu konkurencyjności wyrobów. W: Knosala R. (Red.), Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, T. 1, Opole, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, s. 88-99.
- Lesiów T., Foltynowicz Z. (2018), Opakowania funkcjonalne w żywności, Nauki Inżynierskie I Technologie, 1, 28, s.32-41.
- Lisińska-Kuśnierz M., Ucherek M., (2004). Podstawy opakowalnictwa towarów. Kraków, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie.
- Lisińska-Kuśnierz M., Ucherek M. (2003). Postęp techniczny w opakowalnictwa. Kraków, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie,
- Madej, B., Madej R., Kurcz J. (2017). Zarządzanie magazynem. Warszawa, Akademia Transportu i Przedsiębiorczości.
- Marcjaniak Z. (2018), Wybór sposobu składowania ze względu na parametry techniczne jednostki ładunkowej, Systemy Logistyczne Wojsk, 48, s.149-168.
- Marek R. (2017). Korzyści ekonomiczne eksploatacji kontenerów składanych dla uczestników kontenerowego łańcucha logistycznego. Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego, 14, s.32-47.
- Murphy jr P.R. Wood D.F. (2011). Nowoczesna logistyka, Wydanie X. Wydawnictwo Onepress.
- Michniewska K. (2013). Logistyka odzysku w opakowalnictwie, Warszawa. Wydawnictwo Difin.
- Mindur L. (2010). Postać ładunku determinantą doboru technologii transportowych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 604, Ekonomiczne Problemy Usług, 60. Szczecin, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, s.205-215.
- Panfil-Kuncewicz H., Kuncewicz A., Juśkiewicz M. (2012). Wybrane zagadnienia z opakowalnictwa żywności. Olsztyn, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- Pfohl H.Ch. (1998). Systemy logistyczne, Biblioteka Logistyka. Poznań, Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Prochowski L., Żuchowski A. (2016), Technika transportu ładunków, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.



Przepisy budowy kontenerów (2026). Gdańsk, Polski Rejestr Statków, pobrano z:

https://prs.pl/wp-content/uploads/bko_pl.pdf, Dostęp 11.04.2026.

Przewozy intermodalne w 2023 r. (2024). Warszawa, Urząd Transportu Kolejowego, pobrano

z: www.utk.gov.pl, Dostęp 30.03.2026.

Ratajczyk M. (2021). Opakowanie jako narzędzie oddziaływania na nabywców. Zarządzanie opakowaniem w przedsiębiorstwie, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.

Rokicki T. (2015). Intermodalne jednostki ładunkowe. Warszawa, Wydawnictwo SGGW.

Sapota A. (2025). PPWR - wymogi dotyczące opakowań a technologiczna możliwość ich recyklingu. W: Pyś-Skrońska (red.), Ekologiczna rewolucja - czy regulacje wpływają na rozwój innowacji?, Warszawa, Polska Izba Opakowań, s.17-26.

Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z. (2012), Logistyka w przedsiębiorstwie. Wyd.V. Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.

Sokolski M., (2011). Infrastruktura magazynów i transportu wewnętrznego, Wrocław, Consulting i Logistyka Spółka z o.o. Oficyna Wydawnicza NDiO.

Sowa M. (2021), Palety ładunkowe, Szczecin, Uniwersytet Szczeciński.

Sowa M. (2012). Przemieszczanie ładunków w łańcuchach dostaw z wykorzystaniem paletowych jednostek ładunkowych z tworzyw sztucznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 1863, Seria: Transport, 75. Gliwice, Wydawnictwo Politechnik Śląskiej, s.71-78.

Sowa, M. (2012). Rola opakowań w usprawnianiu przepływów materiałowych od producenta do konsumenta. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Transportu i Logistyki, 17, s.9-22.

Staniszewska A. (2018). Automatyzacja pakowania i transportu, Automatyka 7-8, s.28-37

Wodzisławski J. (2020). Metale – aluminium i stal opakowaniowe. W: Środowiskowe aspekty projektowania opakowań, Warszawa, Krajowa Izba Opakowań, s.22-31.

Wiśnicki B. (red.), (2006). Vademecum konteneryzacji. 1. Formowanie kontenerowej jednostki ładunkowej. Szczecin.

Wojciechowski A. (2007), Infrastruktura w przechowywaniu towarów, Logistyka, 4, s.45-48.

Wojciechowski Ł., Wojciechowski A., Kosmatka T. (2009). Infrastruktura magazynowa i transportowa. Poznań, Wyższa Szkoła Logistyki.

Woźniak D., Kukiłka L. (2011). Logistyka opakowań w transporcie drogowym, Autobusy, 5, s.430-437.



Wroniak M., Maszewska M. (2016). Opakowania zbiorcze i transportowe. W: Leszczyński K., Żbikowska A. (red.), Opakowania i pakowanie żywności. Wybrane zagadnienia. Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s.109-133.

Żakowska H. (2016). Opakowania a środowisko. Wymagania, standardy, projektowanie, znakowanie, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Żbikowska A., Leszczyński K., (2016). Klasyfikacje i funkcje opakowań. W: Leszczyński K., Żbikowska A., (red.), Opakowania i pakowanie żywności. Wybrane zagadnienia, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s.9-25.

Akty prawne

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/1020 i dyrektywę (UE) 2019/904 oraz uchylające dyrektywę 94/62/WE.

Ustawa z dnia 23 stycznia 2004 r. o podatku akcyzowym (Dz. U. Nr 29, poz. 257 z późn. zm.), Dział IV Znaki Akcyzy, w art. 90 ust. 3.

Ustawa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych z dnia 13 czerwca 2013 r., t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 927, 1911., pobrano z:
<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20240000927>, dostęp 10.03.2026.

Strony internetowe

<https://www.amwlogistics.pl/blog/zabezpieczenie-ladunku-w-transporcie-drogowym-dostepne-rozwiazania> . Dostęp 30.03.2026.

<https://www.auer-packaging.com/pl/pl/Pojemniki-sk%C5%82adane-KLT.html>. Dostęp 12.03.2026.

<https://www.businessinsider.com/foldable-shipping-containers-could-help-supply-chain-crisis-2022-5?IR=T>. Dostęp 11.04.2026.

<https://gielda-odpadow.pl/prawo/ue/dyrektywa-94-62-we/definicja-i-klasyfikacja-opakowan-w-rozumieniu-dyrektywy-94-62-we/>. Dostęp: 28.03.2026.

<https://staxxon.com/folding-and-unfolding/>. Dostęp 10.04.2026.

<https://www.mecalux.pl/podrecznik-magazynowania/magazyn/jednostka-ladunkowa>. Dostęp 30.03.2026.



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO

<https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/834,pojecie.html> . Dostęp 26.03.2026.

<https://sip.lex.pl/orzeczenia-i-pisma-urzedowe/pisma-urzedowe/311000-pa-0550-8-3-05-kg-pojecie-opakowania-jednostkowego-184554023>. Dostęp 10.3.2026.



Rozdział 4

Technologie identyfikacji i kompletacji

Robert Rogaczewski

Wprowadzenie

Współczesna logistyka stanowi jeden z kluczowych obszarów działalności przedsiębiorstw, wpływając na efektywność przepływu towarów oraz poziom obsługi klientów. W warunkach intensywnej konkurencji rynkowej oraz dynamicznego rozwoju handlu elektronicznego szczególnego znaczenia nabierają procesy realizowane w magazynach, wśród których istotną rolę odgrywają identyfikacja i kompletacja zamówień. To właśnie na tych etapach następuje fizyczne przygotowanie towarów zgodnie z oczekiwaniami odbiorców, co bezpośrednio przekłada się na terminowość oraz jakość dostaw.

Identyfikacja towarów ma na celu ich jednoznaczne rozpoznanie oraz określenie lokalizacji w magazynie, co umożliwia sprawne zarządzanie zapasami oraz ograniczenie błędów operacyjnych. Z kolei kompletacja należy do najbardziej pracochłonnych i kosztowych twórczych procesów magazynowych, mających istotny wpływ na efektywność całego systemu logistycznego. Właściwa organizacja tych działań jest niezbędna dla zapewnienia wysokiego poziomu obsługi klienta oraz optymalizacji kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa.

W odpowiedzi na rosnące wymagania rynku coraz większe znaczenie zyskują nowoczesne technologie wspierające zarządzanie magazynem. Do najważniejszych z nich należą systemy informatyczne, takie jak WMS, technologie identyfikacyjne (kody kreskowe, RFID), a także rozwiązania wspomagające kompletację, w tym pick-by-light, pick-by-voice oraz pick-by-vision. Istotną rolę odgrywają również roboty oraz systemy automatyczne, które przyczyniają się do zwiększenia wydajności, poprawy dokładności oraz usprawnienia przepływu informacji. Integracja tych rozwiązań stanowi fundament nowoczesnych magazynów i wpisuje się w założenia Logistyki 4.0.

Celem niniejszego opracowania jest ukazanie znaczenia procesów identyfikacji i kompletacji w logistyce oraz analiza roli nowoczesnych technologii w zarządzaniu magazynem.



1. Technologie identyfikacji produktów

Identyfikacja produktów stanowi istotny element funkcjonowania zarówno systemów magazynowych, jak i całych łańcuchów dostaw. Jej głównym zadaniem jest jednoznaczne rozpoznanie towarów oraz przypisanie im odpowiednich informacji, takich jak kod produktu, miejsce składowania, data ważności czy numer partii. Skutecznie zorganizowany proces identyfikacji pozwala na sprawne zarządzanie zapasami, ograniczenie liczby błędów oraz pełną kontrolę nad przepływem towarów.

Najczęściej stosowaną technologią identyfikacji są kody kreskowe, które umożliwiają szybkie i precyzyjne oznaczanie produktów. Ich odczyt odbywa się za pomocą skanerów, co pozwala na automatyczne przekazywanie danych do systemów informatycznych, takich jak WMS. Ze względu na niski koszt oraz łatwość wdrożenia rozwiązanie to znajduje szerokie zastosowanie w magazynach, handlu i produkcji.

Bardziej zaawansowaną metodą identyfikacji jest technologia RFID (Radio Frequency Identification), umożliwiająca bezkontaktowe rozpoznawanie produktów z wykorzystaniem fal radiowych. W odróżnieniu od kodów kreskowych nie wymaga ona bezpośredniego kontaktu ani widoczności etykiety, a także pozwala na jednoczesny odczyt wielu obiektów, co znacząco zwiększa efektywność operacji magazynowych oraz poprawia jakość danych. W nowoczesnych systemach logistycznych coraz częściej stosuje się również kody QR, które umożliwiają zapis większej ilości informacji niż tradycyjne kody kreskowe. Mogą one zawierać szczegółowe dane dotyczące produktu, instrukcje użytkowania czy odnośniki do systemów informatycznych, co zwiększa ich funkcjonalność.

Coraz większe znaczenie zyskują także systemy wizyjne oraz technologie rozpoznawania obrazu, pozwalające na automatyczną identyfikację produktów na podstawie ich cech fizycznych. Rozwiązania te wykorzystywane są głównie w zautomatyzowanych magazynach oraz w procesach kontroli jakości. Współczesne technologie identyfikacji są ściśle powiązane z systemami informatycznymi, takimi jak WMS i ERP, co umożliwia bieżące monitorowanie przepływu towarów oraz szybkie podejmowanie decyzji operacyjnych. Coraz częściej wykorzystuje się także rozwiązania oparte na Internecie Rzeczy (IoT), które pozwalają na automatyczne gromadzenie i analizowanie danych w czasie rzeczywistym.



1.1. Kody kreskowe

Kody kreskowe są jedną z najczęściej wykorzystywanych technologii identyfikacji produktów w logistyce i magazynowaniu. Umożliwiają szybkie i jednoznaczne oznaczanie towarów poprzez zapis informacji w formie graficznej, odczytywanej przez skanery, co pozwala na automatyzację procesów oraz ograniczenie błędów.

Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje kodów kreskowych: jednowymiarowe (1D) oraz dwuwymiarowe (2D) (tabela 1). Kody 1D, takie jak EAN czy Code 128, zawierają głównie numer identyfikacyjny produktu, natomiast kody 2D, np. QR czy Data Matrix, umożliwiają zapis większej ilości danych, w tym informacji dodatkowych.

Kody jednowymiarowe (liniowe) są najstarszą i najczęściej stosowaną formą identyfikacji produktów. Składają się z układu równoległych linii o różnej szerokości, które reprezentują zakodowane informacje – najczęściej numer identyfikacyjny produktu. Kody dwuwymiarowe zapisują informacje w dwóch wymiarach (poziomo i pionowo), co umożliwia przechowywanie znacznie większej ilości danych na niewielkiej powierzchni.

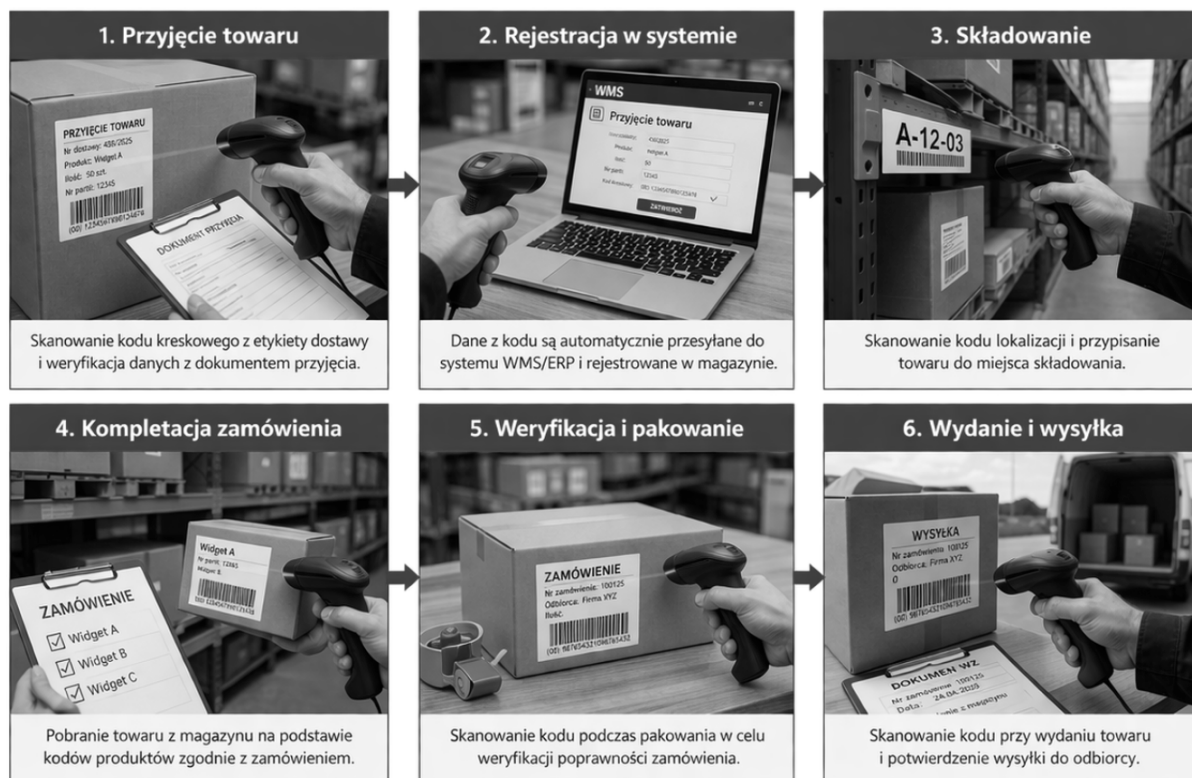
Tabela 1. Ważniejsze różnice w kodach kreskowych

Cecha	Kody 1D	Kody 2D
Ilość danych	Mała	duża
Budowa	Linie	punkty / kwadraty
Odczyt	skaner laserowy	kamera / skaner 2D
Zastosowanie	handel, magazyny	logistyka, przemysł, IT
Odporność na uszkodzenia	Niska	Wysoka

Źródło: opracowanie własne.

Odczyt kodów kreskowych odbywa się za pomocą skanerów laserowych lub kamer, które przekazują dane bezpośrednio do systemów informatycznych, takich jak WMS czy ERP. Umożliwia to bieżącą kontrolę stanów magazynowych oraz wsparcie procesów kompletacji. Do głównych zalet tej technologii należą niski koszt wdrożenia, łatwość użytkowania oraz wysoka szybkość odczytu. Jednak jej ograniczeniem jest konieczność bezpośredniej widoczności kodu oraz możliwość jego uszkodzenia.

Przykład procesu magazynowania z wykorzystaniem kodu kreskowego i skanera przedstawiono poniżej (rysunek 1).



Rysunek 1. Przykładowy proces magazynowania z wykorzystaniem kodów kreskowych

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawiony schemat ilustruje proces magazynowania z wykorzystaniem kodów kreskowych oraz skanerów, obejmujący wszystkie kluczowe etapy obsługi towaru – od momentu jego przyjęcia aż do wysyłki do odbiorcy. Proces rozpoczyna się od przyjęcia towaru, podczas którego pracownik skanuje kod kreskowy znajdujący się na etykiecie dostawy. Na tym etapie następuje weryfikacja zgodności dostawy z dokumentacją oraz wprowadzenie danych do systemu. Następnie realizowana jest rejestracja w systemie informatycznym (np. WMS/ERP). Dane odczytane ze skanera są automatycznie zapisywane w systemie, co umożliwia bieżącą kontrolę stanów magazynowych oraz identyfikację produktów. Kolejnym etapem jest składowanie towaru, polegające na przypisaniu produktu do odpowiedniej lokalizacji magazynowej. Pracownik skanuje zarówno kod produktu, jak i kod miejsca składowania, co pozwala systemowi na dokładne określenie położenia towaru. W dalszej kolejności następuje kompletacja zamówienia, podczas której produkty są pobierane z magazynu na podstawie listy kompletacyjnej. Skanowanie kodów kreskowych umożliwia potwierdzenie poprawności pobieranych towarów oraz minimalizację błędów. Następnie



realizowana jest weryfikacja i pakowanie, gdzie ponownie skanowane są produkty w celu sprawdzenia zgodności zamówienia. Po pozytywnej weryfikacji towar zostaje zapakowany i przygotowany do wysyłki. Ostatnim etapem jest wydanie i wysyłka towaru, podczas którego następuje końcowe skanowanie oraz potwierdzenie przekazania przesyłki do odbiorcy. System aktualizuje dane, zamykając proces realizacji zamówienia.

1.2. Technologia RFID

Technologia RFID (Radio Frequency Identification) wykorzystuje fale radiowe do bezkontaktowej identyfikacji obiektów. Umożliwia ona odczyt informacji zapisanych na znacznikach bez konieczności ich bezpośredniej widoczności, co stanowi istotną przewagę nad tradycyjnymi kodami kreskowymi. System RFID obejmuje podstawowe elementy, takie jak znaczniki (tagi), czytniki, anteny oraz system informatyczny odpowiedzialny za przetwarzanie danych. Komunikacja pomiędzy tymi komponentami odbywa się za pośrednictwem fal radiowych, co pozwala na szybkie i zautomatyzowane przekazywanie informacji.

Do najważniejszych zalet technologii RFID zalicza się możliwość jednoczesnego odczytu wielu obiektów, brak konieczności fizycznego kontaktu z tagiem oraz wysoki poziom dokładności danych. W efekcie jej zastosowanie przyczynia się do zwiększenia efektywności procesów logistycznych oraz lepszej kontroli przepływu towarów. Należy jednak zauważyć, że wdrożenie RFID wiąże się również z pewnymi ograniczeniami, takimi jak wyższe koszty inwestycyjne, podatność na zakłócenia sygnału oraz konieczność integracji z systemami informatycznymi przedsiębiorstwa.

Przykładowy proces magazynowy z wykorzystaniem technologii RFID przedstawiono poniżej (rysunek 2).



Rysunek 2. Proces magazynowy z wykorzystaniem technologii RFID

Źródło: opracowanie własne.

Schemat ilustruje wykorzystanie technologii RFID w procesach magazynowych, obejmujących główne etapy przepływu towarów, takie jak przyjęcie, składowanie, kompletacja zamówień oraz wydanie i wysyłka. Proces rozpoczyna się od etapu przyjęcia towaru, podczas którego produkty wyposażone w znaczniki RFID są automatycznie identyfikowane przy przejściu przez bramkę RFID. Odczytane dane są przekazywane do systemu informatycznego (np. WMS), gdzie następuje ich rejestracja i dalsze przetwarzanie. Następnie towary trafiają do strefy składowania, gdzie przypisywane są do konkretnych lokalizacji magazynowych. Dzięki technologii RFID możliwe jest ciągłe monitorowanie ich położenia bez konieczności ręcznego skanowania. W dalszym etapie realizowana jest kompletacja zamówień. Pracownik korzysta z mobilnego czytnika RFID, który umożliwia szybkie i precyzyjne identyfikowanie produktów oraz ich pobieranie zgodnie z zamówieniem. Ostatnim etapem jest wydanie i wysyłka towarów. Podczas opuszczania magazynu produkty są ponownie identyfikowane, a system automatycznie aktualizuje stany magazynowe oraz potwierdza realizację zamówienia.

Technologia RFID znajduje coraz szersze zastosowanie w nowoczesnych systemach logistycznych, będąc jednym z istotnych elementów koncepcji Logistyki 4.0. Jej rozwój sprzyja automatyzacji procesów magazynowych oraz umożliwia integrację z zaawansowanymi systemami informatycznymi, takimi jak WMS, ERP czy systemy zarządzania transportem. W rezultacie przedsiębiorstwa mogą skuteczniej kontrolować przepływ towarów oraz szybciej dostosowywać się do zmieniających się warunków rynkowych. W ramach Logistyki 4.0 technologia RFID wspiera także rozwój autonomicznych rozwiązań magazynowych, w tym



robotów mobilnych oraz zautomatyzowanych systemów wysokiego składowania. Przyczynia się to do dalszego wzrostu efektywności operacyjnej oraz ograniczenia udziału pracy ludzkiej w realizacji procesów magazynowych.

Kody kreskowe oraz technologia RFID należą do podstawowych narzędzi stosowanych w identyfikacji produktów w logistyce i magazynowaniu. Kody kreskowe są rozwiązaniem prostym, ekonomicznym i szeroko rozpowszechnionym, jednak ich wykorzystanie wymaga bezpośredniego kontaktu z czytnikiem oraz indywidualnego skanowania każdego produktu. Z kolei technologia RFID umożliwia bezkontaktowy odczyt informacji, jednoczesną identyfikację wielu obiektów oraz łatwą integrację z nowoczesnymi systemami informatycznymi. Dzięki temu pozwala na znaczące zwiększenie poziomu automatyzacji procesów magazynowych. W praktyce dobór odpowiedniej technologii uzależniony jest od charakteru działalności przedsiębiorstwa. Kody kreskowe znajdują zastosowanie w prostszych i mniej kosztownych systemach, natomiast RFID wykorzystywane jest w zaawansowanych magazynach o dużej skali operacji, gdzie istotne są szybkość działania, wysoka dokładność oraz możliwość monitorowania procesów w czasie rzeczywistym. Ważniejsze różnice pomiędzy technologiami identyfikacji przedstawiono poniżej (rysunek 3).



Rysunek 3. Porównanie technologii RFID i kodów kreskowych

Źródło: opracowanie własne.



2. Proces kompletacji zamówień

2.1. Definicja kompletacji

Strefa kompletacji to wyodrębniony obszar magazynu, w którym realizowane jest przygotowanie towarów do wysyłki. Sposób jej organizacji ma istotny wpływ na sprawność całego procesu kompletacyjnego. Odpowiednie zaprojektowanie tej przestrzeni pozwala skrócić czas realizacji zamówień oraz ograniczyć liczbę błędów. W zależności od specyfiki działalności przedsiębiorstwa możliwe jest utworzenie jednej centralnej strefy kompletacji lub kilku stref rozmieszczonych w różnych częściach magazynu. Dobór właściwej konfiguracji strefy kompletacji uzależniony jest od wielu czynników, takich jak charakter asortymentu, wielkość i struktura zamówień czy dostępne rozwiązania technologiczne.

Kompletacja wysyłek jest jedną z kluczowych funkcji w procesie technologicznym magazynu, a jej sprawna realizacja w dużym stopniu wpływa na efektywność wewnętrznych procesów logistycznych przedsiębiorstwa. Ma ona również istotne znaczenie dla prawidłowej współpracy z partnerami handlowymi w ramach łańcucha dostaw. Według Pulverich (2009) kompletacja stanowi jeden z podstawowych elementów systemu logistycznego. Jej głównym celem jest przygotowanie zamówień przeznaczonych do wysyłki w sposób możliwie najbardziej wydajny oraz zapewniający odpowiedni poziom jakości realizacji dostaw. Istotną rolę odgrywa także właściwe zaprojektowanie procesów towarzyszących kompletacji, zarówno tych poprzedzających, jak i następujących po niej. Do procesów tych należą między innymi magazynowanie towarów, uzupełnianie zapasów, kompletacja jedno- lub dwustopniowa oraz łączenie poszczególnych dostaw w przesyłki lub trasy transportowe. Odpowiednia organizacja tych działań pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów. Proces kompletacji uznawany jest za jeden z najważniejszych etapów funkcjonowania magazynu. Ma on duże znaczenie zarówno z punktu widzenia kosztów i nakładu pracy, jak i z perspektywy klienta oraz konkurencyjności przedsiębiorstwa. To właśnie podczas kompletacji w dużej mierze kształtuje się jakość realizacji zamówienia, która bezpośrednio wpływa na poziom satysfakcji odbiorcy. Z kolei według m.in. Hompel (2011) kompletacja jest kluczowym elementem wewnętrznych systemów przepływu materiałów w przedsiębiorstwie. W ramach firmy stanowi ona punkt styku z klientem w procesie dystrybucji lub zapewnia odpowiednie dostarczanie części i komponentów potrzebnych do kolejnych etapów produkcji (zaopatrzenie produkcji).



Kompletacja zamówień (ang. *order picking*) stanowi istotny element procesu komisjonowania. W literaturze komisjonowanie definiuje się jako proces polegający na rozdzielaniu jednorodnych jednostek ładunkowych znajdujących się w magazynie na mniejsze partie – zarówno w postaci opakowań jednostkowych, jak i zbiorczych – a następnie ich łączeniu w nowe jednostki ładunkowe zgodne z zamówieniami klientów.

Wybór odpowiedniej koncepcji procesu kompletacji jest zagadnieniem złożonym i wymaga analizy wielu czynników (rysunek 4). Do najważniejszych z nich należą przede wszystkim cechy struktury asortymentowej kompletowanych zapasów, takie jak ich rodzaj, wymiary, postać fizyczna, masa czy sposób pakowania. Istotne znaczenie ma także skala oraz zakres realizowanych zadań kompletacyjnych, które wynikają z wielkości obrotu magazynowego. Obejmują one zarówno przepływ towarów i sposób sterowania nimi, jak i liczbę dostępnych asortymentów oraz procesów realizowanych jednocześnie. Kolejnym ważnym czynnikiem jest wielkość i organizacja przestrzeni magazynowej, w tym podział na strefy oraz charakterystyka przepływu towarów między nimi. Należy również uwzględnić poziom mechanizacji procesów magazynowych, który może wspierać lub ograniczać przebieg kompletacji. Nie bez znaczenia pozostaje także sposób organizacji i zarządzania procesami magazynowymi, który wpływa na efektywność całego systemu kompletacji.



Rysunek 4. Czynniki wpływające na proces kompletacji w magazynie

Źródło: opracowanie własne.



Proces kompletacji (ang. *order picking*) (rysunek 5) stanowi jeden z kluczowych etapów działalności magazynu i obejmuje czynności związane z przygotowaniem zamówienia zgodnie z wymaganiami odbiorcy. Ma on istotny wpływ na poziom obsługi klienta, czas realizacji zamówień oraz koszty operacyjne przedsiębiorstwa. Proces kompletacji stanowi jeden z głównych filarów procesu magazynowania.

Pierwszym etapem jest przyjęcie zlecenia kompletacyjnego, które najczęściej generowane jest przez system informatyczny, np. WMS. Dokument ten zawiera szczegółowe informacje dotyczące rodzaju, ilości oraz lokalizacji produktów w magazynie. Następnie odbywa się identyfikacja oraz lokalizacja towarów, podczas której wskazywane są miejsca ich składowania. Na tej podstawie ustalana jest optymalna trasa kompletacji, co pozwala usprawnić przebieg całego procesu. Kolejnym krokiem jest pobieranie produktów, czyli właściwa kompletacja zamówienia. Może być ona realizowana manualnie lub przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii, takich jak systemy pick-by-light, voice picking czy rozwiązania automatyczne. Jest to etap najbardziej czasochłonny oraz generujący najwyższe koszty. Po skompletowaniu zamówienia następuje jego kontrola i weryfikacja, których celem jest sprawdzenie zgodności z zamówieniem oraz eliminacja ewentualnych błędów. Ostatnim etapem jest pakowanie oraz przygotowanie zamówienia do wysyłki. Obejmuje to zabezpieczenie towaru, oznakowanie oraz przekazanie do transportu, dzięki czemu zamówienie może zostać dostarczone do klienta. Sprawność procesu kompletacji zależy od wielu czynników, w tym organizacji magazynu, wykorzystywanych technologii oraz zastosowanej metody kompletacji. Ze względu na duży udział pracy ręcznej, proces ten stanowi znaczącą część kosztów funkcjonowania magazynu.



Rysunek 5. Podstawowe etapy procesu kompletacji

Źródło: opracowanie własne.

2.2. Znaczenie kompletacji w funkcjonowaniu magazynu oraz czynniki wpływające na jej efektywność

Kompletacja zamówień stanowi jeden z kluczowych procesów realizowanych w magazynie. W sposób bezpośredni determinuje ona jakość obsługi klienta oraz sprawność całego systemu logistycznego. Na etapie kompletacji dochodzi do fizycznego przygotowania towarów zgodnie z zamówieniem, co wpływa na to, iż proces ten jest ważnym ogniwem łączącym magazyn z odbiorcą. Kompletacja ma kluczowe znaczenie dla terminowości realizacji zamówień, jakości ich realizacji oraz kształtuje koszty operacyjne magazynu i jego organizację. Szczególne znaczenie ma wpływ kompletacji na terminowość realizacji zamówień. Sprawnie zorganizowany proces umożliwia szybkie przygotowanie wysyłek, co przekłada się na skrócenie czasu dostawy oraz zwiększenie satysfakcji klientów. Kompletacja odgrywa również istotną rolę w zapewnieniu wysokiej jakości realizacji zamówień. Błędy popełnione na tym etapie, takie jak niezgodność ilościowa lub asortymentowa, mogą prowadzić



do reklamacji, dodatkowych kosztów oraz pogorszenia relacji z klientami. Istotnym aspektem jest także wpływ kompletacji na koszty operacyjne magazynu. Ze względu na dużą pracochłonność proces ten generuje znaczną część kosztów funkcjonowania magazynu, dlatego jego optymalizacja ma kluczowe znaczenie dla efektywności przedsiębiorstwa. Nie bez znaczenia pozostaje organizacja pracy magazynu, obejmująca odpowiednie rozmieszczenie towarów, planowanie tras kompletacyjnych oraz dobór właściwych metod kompletacji. Działania te pozwalają na lepsze wykorzystanie zasobów oraz usprawnienie przepływu materiałów.

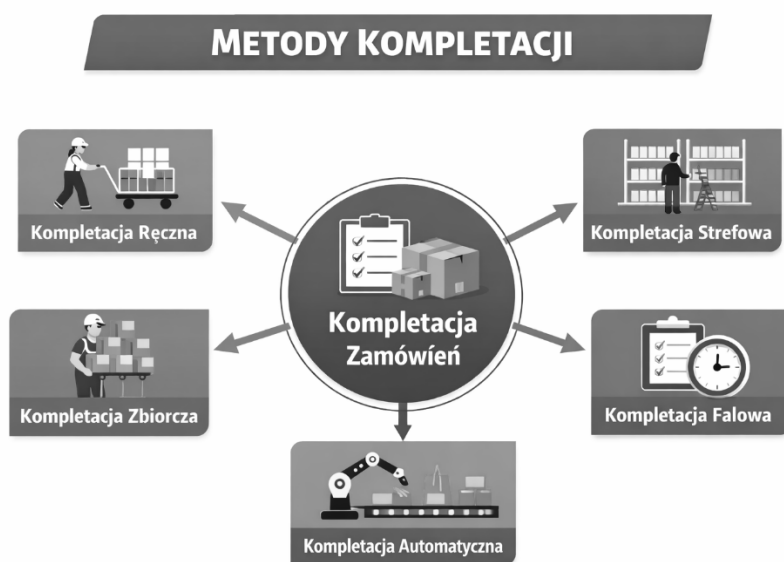
Efektywność procesu kompletacji jest uzależniona od wielu powiązanych ze sobą czynników o charakterze organizacyjnym, technicznym oraz ludzkim. Ich właściwe zaprojektowanie i wykorzystanie umożliwiają skrócenie czasu realizacji zamówień, zmniejszenie liczby błędów oraz obniżenie kosztów operacyjnych. Jednym z najważniejszych czynników determinujących sprawność funkcjonowania magazynu jest czas realizacji kompletacji zamówień. Oddziałuje on zarówno na poziom kosztów operacyjnych, jak i jakość obsługi klientów. Obserwowana obecnie tendencja polega na zwiększaniu liczby mniejszych zamówień, które wymagają większej precyzji podczas realizacji. W związku z tym proces kompletacji nabiera szczególnego znaczenia i staje się kluczowym, wrażliwym elementem całego systemu magazynowego. Według Ratkiewicza (2011) kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność procesu kompletacji jest wydajność pracowników odpowiedzialnych za pobieranie towarów. Traktując pracownika jako centralny element systemu kompletacji zamówień, jego rola w układzie wzajemnych zależności ma kluczowe znaczenie dla osiąganych wyników. Poziom jego efektywności można w sposób intuicyjny przedstawić jako jeden z głównych elementów determinujących sprawność całego procesu kompletacji.

3. Metody kompletacji

Proces kompletacji zamówień należy do najbardziej istotnych i jednocześnie najbardziej pracochłonnych operacji realizowanych w magazynie. Jego efektywność ma bezpośredni wpływ na funkcjonowanie całego systemu logistycznego, poziom obsługi klienta oraz koszty działalności przedsiębiorstwa. W warunkach rosnącej konkurencji oraz dynamicznego rozwoju e-commerce znaczenie tego procesu stale rośnie, co skłania przedsiębiorstwa do poszukiwania bardziej efektywnych rozwiązań. Wraz ze zwiększającą się liczbą zamówień oraz rosnącą



różnorodnością asortymentu pojawia się potrzeba doskonalenia procesów magazynowych, szczególnie w obszarze kompletacji. Kluczowe znaczenie ma tutaj dobór odpowiedniej metody kompletacji (rysunek 6), która powinna być dopasowana do specyfiki magazynu, rodzaju produktów oraz charakteru zamówień. Poszczególne metody kompletacji różnią się stopniem zaawansowania, udziałem pracy ludzkiej oraz wykorzystaniem technologii. Mogą one obejmować zarówno tradycyjne rozwiązania manualne, jak i nowoczesne systemy oparte na automatyzacji i technologiach informatycznych. Właściwie dobrana metoda kompletacji umożliwia skrócenie czasu realizacji zamówień, ograniczenie liczby błędów oraz zwiększenie wydajności pracy magazynu. Z tego względu zagadnienie to stanowi ważny obszar badań i praktycznych zastosowań w logistyce magazynowej.



Rysunek. 6. Metody kompletacji

Źródło: opracowanie własne.

Najprostszą i najczęściej stosowaną metodą jest kompletacja ręczna, polegająca na samodzielnym przemieszczaniu się pracownika po magazynie i pobieraniu towarów zgodnie ze zleceniem. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie przede wszystkim w mniejszych magazynach, gdzie liczba zamówień nie jest duża. W bardziej rozbudowanych obiektach magazynowych często wykorzystuje się kompletację strefową, w której magazyn podzielony jest na obszary, a każdy pracownik odpowiada za określoną część asortymentu. Zamówienie przechodzi wówczas przez kolejne strefy, co pozwala ograniczyć czas przemieszczania się pracowników. Innym rozwiązaniem jest kompletacja zbiorcza, polegająca na jednoczesnym



pobieraniu produktów dla kilku zamówień, a następnie ich rozdzieleniu na poszczególne zlecenia. Metoda ta jest szczególnie efektywna w przypadku dużej liczby podobnych zamówień. Z kolei kompletacja falowa opiera się na grupowaniu zamówień i ich realizacji w określonych przedziałach czasowych, co umożliwia lepszą organizację pracy oraz synchronizację z procesami pakowania i wysyłki. W nowoczesnych magazynach coraz częściej stosuje się także kompletację automatyczną, wykorzystującą zaawansowane technologie, takie jak systemy transportowe, roboty czy automatyczne regały. Rozwiązania te znacząco zwiększają wydajność oraz dokładność procesu, jednak wymagają wysokich nakładów inwestycyjnych. Podsumowując, metody kompletacji różnią się stopniem zaawansowania oraz organizacją pracy, a ich wybór powinien być dostosowany do warunków funkcjonowania magazynu. W praktyce często stosuje się kombinację różnych metod, aby osiągnąć optymalny poziom efektywności i jakości realizacji zamówień.

Podsumowanie metod kompletacji i ich charakterystyki przedstawiono w poniższej tabeli (tabela 2).

Tabela 2. Metoda kompletacji i ich charakterystyka

Metoda kompletacji	Charakterystyka	Przykład zastosowania
Ręczna	Pracownik pobiera towary samodzielnie	Małe magazyny e-commerce
Strefowa	Podział magazynu na strefy	Centra dystrybucyjne sieci handlowych
Zbiorcza	Pobieranie dla wielu zamówień jednocześnie	Branża spożywcza, farmacja
Falowa	Realizacja zamówień w cyklach czasowych	Magazyny e-commerce
Automatyka	Wykorzystanie robotów i systemów	Amazon, centra logistyczne

Źródło: opracowanie własne.

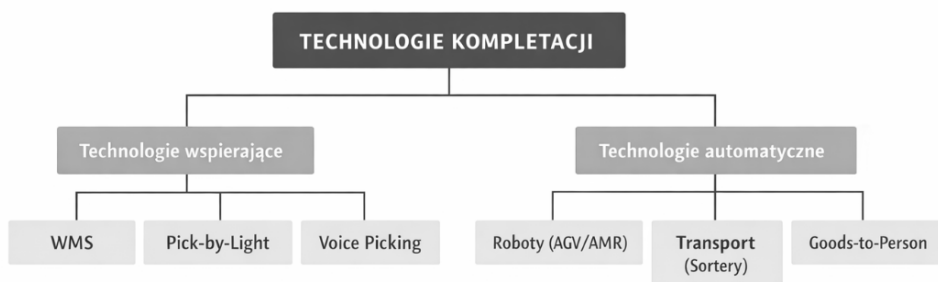
W praktyce przedsiębiorstwa dostosowują metody kompletacji do charakteru prowadzonej działalności oraz skali operacji logistycznych. Wybór odpowiedniego rozwiązania uzależniony jest od wielkości magazynu, rodzaju asortymentu oraz liczby realizowanych zamówień. Kompletacja ręczna znajduje zastosowanie przede wszystkim w mniejszych magazynach, szczególnie w sektorze e-commerce, gdzie pracownik samodzielnie pobiera towary z półek na podstawie listy zamówień lub przy użyciu skanera. Tego typu rozwiązania są typowe dla małych i średnich przedsiębiorstw. W większych obiektach



magazynowych często stosuje się kompletację strefową, polegającą na podziale magazynu na określone obszary przypisane do konkretnych grup produktów. Pracownicy odpowiadają wówczas za wyznaczone strefy, co usprawnia organizację pracy. Takie rozwiązania można spotkać w centrach dystrybucyjnych dużych sieci handlowych, takich jak Zara czy Decathlon. Kompletacja zbiorcza wykorzystywana jest w magazynach realizujących dużą liczbę podobnych zamówień, np. w branży spożywczej lub farmaceutycznej. Umożliwia ona jednocześnie pobieranie tych samych produktów dla wielu odbiorców, co zwiększa efektywność procesu. Z kolei, kompletacja falowa polega na realizacji zamówień w określonych przedziałach czasowych. Metoda ta stosowana jest głównie w dużych centrach dystrybucyjnych oraz magazynach obsługujących sprzedaż internetową, gdzie istotna jest synchronizacja procesów kompletacji z wysyłką. Najbardziej zaawansowanym rozwiązaniem jest kompletacja automatyczna, wykorzystywana w nowoczesnych centrach logistycznych. W takich obiektach stosuje się roboty oraz systemy transportowe, które dostarczają towary do pracowników, znacząco zwiększając wydajność i dokładność realizacji zamówień. Przykładem są centra logistyczne firmy Amazon.

4. Technologie wspierające kompletację

Współczesne procesy kompletacji zamówień w magazynach są coraz częściej wspomagane przez zaawansowane technologie informatyczne oraz systemy automatyzacji, które umożliwiają zwiększenie wydajności, poprawę precyzji oraz skrócenie czasu realizacji zamówień. Dynamiczny rozwój sektora e-commerce oraz rosnące wymagania klientów w zakresie szybkości dostaw powodują, że przedsiębiorstwa wdrażają nowoczesne rozwiązania technologiczne, pozwalające na optymalizację procesów magazynowych. Ważniejsze technologie kompletacji zostały przedstawione na rysunku 7.



Rysunek 7. Technologie kompletacji

Źródło: opracowanie własne.



Podstawowym narzędziem wspierającym kompletację są systemy zarządzania magazynem WMS (Warehouse Management System). Systemy te odpowiadają za koordynację procesów magazynowych, optymalizację tras kompletacyjnych oraz kontrolę przepływu towarów. Dzięki integracji z systemami ERP możliwe jest bieżące monitorowanie stanów magazynowych oraz automatyczne generowanie zleceń kompletacyjnych. Przykładem wdrożenia są systemy stosowane przez firmy takie jak Zalando czy IKEA, gdzie WMS zarządza tysiącami zamówień dziennie.

Systemy WMS pełnią kluczową rolę w zarządzaniu lokalizacją produktów w magazynie, planowaniu tras kompletacyjnych oraz przydzielaniu zadań pracownikom. Dzięki ich zastosowaniu możliwe jest skrócenie czasu realizacji zamówień oraz ograniczenie liczby błędów związanych z nieprawidłowym pobraniem towarów. WMS wykorzystuje przy tym algorytmy optymalizacyjne, które uwzględniają m.in. częstotliwość pobrań, rozmieszczenie produktów oraz strukturę zamówień. Istotnym aspektem funkcjonowania systemów WMS jest również ich integracja z innymi rozwiązaniami informatycznymi przedsiębiorstwa, takimi jak systemy ERP (Enterprise Resource Planning) czy TMS (Transport Management System). Integracja ta umożliwia sprawny przepływ informacji w całym łańcuchu dostaw oraz bieżące monitorowanie stanów magazynowych i realizacji zamówień. Nowoczesne systemy WMS coraz częściej wpisują się w koncepcję Logistics 4.0, integrując się z zaawansowanymi technologiami, takimi jak Internet Rzeczy (IoT), sztuczna inteligencja oraz rozwiązania automatyzacyjne. Pozwala to na dalszą automatyzację procesów magazynowych oraz podejmowanie decyzji w oparciu o analizę danych w czasie rzeczywistym.

Systemy pick-by-light (zdjęcie 1) należą do nowoczesnych rozwiązań wspierających proces kompletacji zamówień w magazynach. Ich funkcjonowanie opiera się na wykorzystaniu sygnałów świetlnych, które wskazują pracownikowi dokładną lokalizację produktu oraz ilość do pobrania. Każde miejsce składowania wyposażone jest w moduł świetlny oraz wyświetlacz informujący o aktualnym zleceniu. Wdrożenie tej technologii pozwala znacząco usprawnić proces kompletacji, eliminując konieczność korzystania z dokumentów papierowych czy urządzeń mobilnych (De Koster i in., 2007). Pracownik realizuje zadania zgodnie ze wskazaniami systemu, co skraca czas potrzebny na odnalezienie produktów oraz ogranicza ryzyko błędów. Jedną z najważniejszych zalet systemu pick-by-light jest bardzo wysoka dokładność kompletacji, często przekraczająca 99%. Wynika to z jednoznacznego wskazywania lokalizacji oraz obowiązku potwierdzenia wykonania operacji, co umożliwia



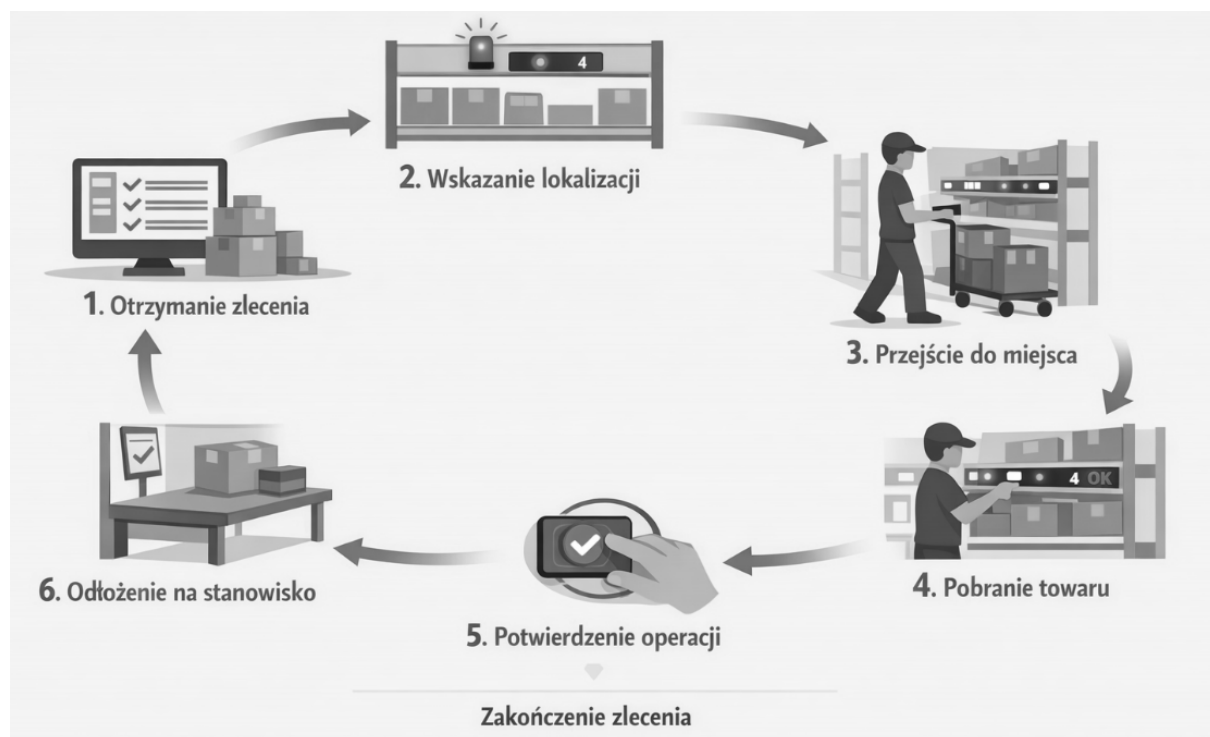
bieżącą kontrolę poprawności realizowanych zamówień. Technologia ta znajduje zastosowanie przede wszystkim w magazynach o dużej intensywności operacji, takich jak centra dystrybucyjne branży e-commerce, farmaceutycznej czy handlu detalicznego. Szczególnie dobrze sprawdza się w środowiskach charakteryzujących się dużą liczbą powtarzalnych operacji oraz wysoką rotacją towarów. Należy jednak zaznaczyć, że wdrożenie systemu pick-by-light wiąże się z wysokimi kosztami inwestycyjnymi, wynikającymi z konieczności instalacji infrastruktury dla każdej lokalizacji magazynowej. Z tego względu rozwiązanie to jest najbardziej opłacalne w magazynach obsługujących duże wolumeny zamówień. Podsumowując, systemy pick-by-light stanowią efektywne narzędzie wspierające kompletację zamówień, przyczyniające się do zwiększenia wydajności, poprawy dokładności oraz usprawnienia organizacji pracy magazynu.



Zdjęcie 1. System Pick-by-Light

Źródło: www.luca.eu

Typowy proces kompletacji w systemie Pick-by-Light przedstawiono na rysunku 7.



Rysunek 7. Proces kompletacji zamówienia w systemie Pick-by-Light

Źródło: opracowanie własne.

Schemat ilustruje przebieg procesu kompletacji zamówień w systemie pick-by-light na przykładzie standardowego magazynu dystrybucyjnego, takiego jak centrum logistyczne obsługujące sprzedaż internetową. Proces rozpoczyna się od wygenerowania zlecenia kompletacyjnego w systemie informatycznym, np. WMS, które zawiera informacje o asortymencie, ilościach oraz miejscach składowania produktów. Następnie system uruchamia moduły świetlne przypisane do konkretnych lokalizacji magazynowych, wskazując pracownikowi miejsce pobrania towaru oraz jego ilość, co eliminuje konieczność ręcznego wyszukiwania produktów. W kolejnym kroku pracownik przemieszcza się do wskazanej lokalizacji, kierując się sygnałami świetlnymi. Po dotarciu na miejsce pobiera odpowiednią ilość towaru zgodnie z wyświetlanymi informacjami. Następnie potwierdza wykonanie operacji za pomocą przycisku znajdującego się przy module świetlnym, co umożliwia systemowi aktualizację danych w czasie rzeczywistym oraz przejście do kolejnego zadania. Na końcu procesu skompletowane zamówienie trafia do strefy pakowania lub dalszej dystrybucji, gdzie jest przygotowywane do wysyłki. Cały proces zostaje zakończony poprzez zamknięcie zlecenia w systemie. Przedstawiony przykład wskazuje, że zastosowanie technologii pick-by-light



przyczynia się do skrócenia czasu kompletacji oraz zmniejszenia liczby błędów, dzięki precyzyjnemu wskazywaniu lokalizacji i bieżącej kontroli realizacji operacji.

Systemy pick-by-voice (voice picking) to nowoczesne rozwiązania wspomagające proces kompletacji zamówień, wykorzystujące komunikację głosową między systemem informatycznym a pracownikiem magazynu. W tym rozwiązaniu operator korzysta z zestawu słuchawkowego z mikrofonem oraz terminala mobilnego, który przekazuje polecenia dotyczące lokalizacji produktów, ich ilości oraz kolejności realizacji zadań. Funkcjonowanie systemu opiera się na przekazywaniu instrukcji w formie komunikatów głosowych, które pracownik realizuje, a następnie potwierdza wykonanie operacji również za pomocą głosu. Takie podejście eliminuje konieczność używania dokumentów papierowych oraz urządzeń ręcznych, umożliwiając pracę w trybie „hands-free” i „eyes-free”. Dzięki temu operator może skoncentrować się wyłącznie na czynnościach związanych z pobieraniem towarów, co przekłada się na wzrost efektywności procesu. Do najważniejszych zalet technologii pick-by-voice należy poprawa ergonomii pracy oraz zmniejszenie liczby błędów kompletacyjnych. System wymaga potwierdzenia każdej wykonanej operacji, co pozwala na bieżące monitorowanie poprawności realizacji zamówień.

W badaniach podkreśla się, że zastosowanie rozwiązań głosowych może istotnie zwiększyć zarówno wydajność, jak i dokładność kompletacji. Technologia ta znajduje zastosowanie przede wszystkim w dużych magazynach o zróżnicowanym asortymencie, gdzie kluczowe znaczenie ma ograniczenie czasu przemieszczania się pracowników oraz utrzymanie wysokiej dokładności operacji. Jest szeroko wykorzystywana m.in. w branży spożywczej, logistycznej oraz w centrach dystrybucyjnych dużych sieci handlowych.

Warto zaznaczyć, że wdrożenie systemu pick-by-voice (zdjęcie 2) wiąże się z koniecznością odpowiedniego przeszkolenia pracowników oraz dostosowania systemu do języka i specyfiki danego przedsiębiorstwa. Na początkowym etapie użytkowania mogą pojawić się trudności związane z rozpoznawaniem mowy oraz adaptacją pracowników do nowego sposobu pracy. Podsumowując, systemy pick-by-voice stanowią skuteczne narzędzie wspierające proces kompletacji zamówień, umożliwiające zwiększenie wydajności, poprawę ergonomii pracy oraz ograniczenie liczby błędów, szczególnie w dużych i złożonych systemach magazynowych.



Zdjęcie 2. Zastosowanie technologii Pick-by-Voice.

Źródło: www.automation.honeywell.com

Typowy proces kompletacji w systemie Pick-by-Voice przedstawiono poniżej (rysunek 7):



Rysunek 7. Proces kompletacji zamówienia w systemie Pick-by-Voice

Źródło: opracowanie własne



Systemy pick-by-vision należą do najbardziej zaawansowanych technologii wspierających proces kompletacji zamówień, wykorzystujących rozwiązania z zakresu rozszerzonej rzeczywistości (AR – *Augmented Reality*). W tym podejściu pracownik magazynu korzysta z inteligentnych okularów (tzw. smart glasses), które wyświetlają niezbędne informacje bezpośrednio w jego polu widzenia, eliminując konieczność używania dodatkowych urządzeń.

Funkcjonowanie systemu opiera się na prezentowaniu operatorowi wizualnych wskazówek dotyczących lokalizacji produktów, ich ilości oraz kolejności pobierania. Dane te są nakładane na rzeczywisty obraz otoczenia magazynowego, co umożliwia szybkie i intuicyjne odnalezienie właściwego miejsca składowania. W niektórych rozwiązaniach stosowane są także elementy nawigacyjne, takie jak strzałki czy wizualne oznaczenia lokalizacji. Do najważniejszych zalet technologii pick-by-vision należy możliwość pracy w trybie „hands-free”, co znacząco wpływa na poprawę ergonomii i komfortu pracy. Operator nie musi odrywać wzroku od wykonywanych czynności, co przekłada się na wzrost wydajności oraz ograniczenie liczby błędów kompletacyjnych. Dodatkowo systemy te często integrują funkcje skanowania kodów kreskowych lub rozpoznawania obrazu, co zwiększa dokładność realizowanych operacji. Rozwiązania pick-by-vision znajdują zastosowanie głównie w nowoczesnych centrach logistycznych oraz magazynach o wysokim stopniu automatyzacji, gdzie istotna jest efektywność operacyjna oraz szybkie wdrażanie nowych pracowników. Intuicyjny charakter interfejsu wizualnego pozwala na skrócenie czasu szkolenia i ułatwia adaptację do pracy w magazynie. Należy jednak zaznaczyć, że implementacja tej technologii wiąże się z relatywnie wysokimi kosztami inwestycyjnymi oraz koniecznością integracji z istniejącymi systemami informatycznymi, takimi jak WMS. Dodatkowym wyzwaniem może być również komfort użytkowania urządzeń w dłuższym okresie oraz ich dostosowanie do warunków środowiska magazynowego. Podsumowując, systemy pick-by-vision stanowią innowacyjne narzędzie wspierające proces kompletacji zamówień, które dzięki wykorzystaniu rozszerzonej rzeczywistości pozwala zwiększyć wydajność, poprawić dokładność oraz usprawnić organizację pracy w magazynie.

Inną grupą wspierającą technologie kompletacji są roboty i automatyczne systemy magazynowe, które należą do najszybciej rozwijających się obszarów współczesnej logistyki i stanowią istotny element koncepcji Przemysłu 4.0. Ich podstawowym zadaniem jest automatyzacja kluczowych procesów magazynowych, takich jak transport, składowanie oraz



kompletacja zamówień, co przyczynia się do zwiększenia wydajności operacyjnej, obniżenia kosztów oraz ograniczenia błędów wynikających z czynnika ludzkiego. Do najczęściej wykorzystywanych rozwiązań należą roboty mobilne AGV (*Automated Guided Vehicles*) oraz AMR (*Autonomous Mobile Robots*). Roboty AGV poruszają się po wcześniej zaprogramowanych trasach, natomiast AMR wykorzystują zaawansowane systemy nawigacyjne i sensory, które umożliwiają im samodzielne podejmowanie decyzji oraz omijanie przeszkód w czasie rzeczywistym. Rozwiązania te są stosowane głównie do transportu towarów pomiędzy strefami magazynu, co znacząco ogranicza konieczność przemieszczania się pracowników (Wurman i in., 2008). Kolejną kategorię stanowią systemy typu *goods-to-person*, w których produkty są dostarczane bezpośrednio do stanowiska pracy operatora. Takie podejście eliminuje potrzebę przemieszczania się pracowników po magazynie, co prowadzi do istotnego zwiększenia wydajności procesu kompletacji. Przykładem mogą być rozwiązania oparte na robotach transportujących regały, stosowane m.in. w nowoczesnych centrach logistycznych. Należy zatem wskazać na podstawowe różnice pomiędzy robotami AGV i AMR (tabela 3).

Tabela 3. Różnice między AGV i AMR

Cecha	AGV	AMR
Sposób poruszania się	Stałe trasy (linie, taśmy, przewody)	Dynamiczna nawigacja (mapy, AI, czujniki)
Elastyczność	Niska	Wysoka
Reakcja na przeszkody	Zatrzymanie	Omijanie przeszkód
Wdrożenie	Tańsze, ale mniej elastyczne	Droższe, ale bardziej zaawansowane
Zmiany w magazynie	Wymagają przebudowy tras	Łatwa adaptacja

Źródło: opracowanie własne.

Ważnym elementem automatyzacji są również automatyczne magazyny wysokiego składowania (AS/RS), które umożliwiają zautomatyzowane składowanie i pobieranie jednostek ładunkowych. Systemy te wykorzystują układnice magazynowe, przenośniki oraz zaawansowane oprogramowanie sterujące, co pozwala na efektywne wykorzystanie przestrzeni magazynowej oraz zwiększenie precyzji operacji.



Współczesne magazyny coraz częściej wykorzystują także roboty kompletacyjne, zdolne do identyfikacji i pobierania produktów przy użyciu systemów wizyjnych oraz algorytmów sztucznej inteligencji. Choć technologia ta nadal się rozwija, jej zastosowanie przyczynia się do dalszego ograniczenia udziału pracy ludzkiej w procesach magazynowych (Mourtzis i in., 2018). Wdrożenie robotów i systemów automatycznych przynosi liczne korzyści, takie jak wzrost wydajności, poprawa bezpieczeństwa pracy, zmniejszenie liczby błędów oraz możliwość prowadzenia operacji w trybie ciągłym. Należy jednak pamiętać, że rozwiązania te wymagają znaczących nakładów inwestycyjnych oraz integracji z istniejącymi systemami informatycznymi, w szczególności z systemami WMS.

5. Systemy informatyczne w identyfikacji i kompletacji

W obecnych czasach trudno znaleźć przedsiębiorstwo, czy to handlowe, produkcyjne czy usługowe, które nie wykorzystywałoby do prowadzenia ewidencji magazynowych zintegrowanych systemów informatycznych, a więc systemów klasy WMS (Warehouse Management System), które pozwalają na zarządzanie magazynem. W sektorze e-commerce, gdzie kluczowe znaczenie mają szybkość dostaw i precyzja operacyjna, system zarządzania magazynem (WMS – Warehouse Management System) pełni kluczową funkcję w optymalizacji procesów logistycznych i zapewnieniu ich płynności.

System WMS to zaawansowane narzędzie informatyczne wspierające kompleksowe zarządzanie procesami magazynowymi – począwszy od przyjęcia towarów, poprzez ich lokalizację i przechowywanie, aż po kompletację zamówień i wysyłkę do klientów. Dzięki pracy w czasie rzeczywistym, WMS zapewnia pełną kontrolę nad stanami magazynowymi oraz automatyzuje i usprawnia działania logistyczne, zwiększając efektywność i dokładność operacji. Według Miszewskiego (2019) WMS pozwala określić strukturę magazynu, tzn. wyznaczyć jego sektory oraz wskazać, gdzie się one znajdują. System ten wspomaga takie czynności magazynowe, jak operacje przyjęć i wydań oraz umożliwia śledzenie i identyfikowanie towaru. Zastosowanie tego systemu umożliwia efektywniejsze zarządzanie dostępną powierzchnią magazynową oraz redukuje udział pracy człowieka w całym procesie magazynowania do niezbędnego minimum. Według Urbasa i in. (2011) właściwie zaprojektowany magazynowy system informatyczny powinien uwzględniać możliwość realizowania całego zakresu operacji i czynności występujących w magazynie. System klasy WMS określany jest jako program, który pozwala zarządzać przepływami i ruchem w



magazynie. Pozwala on na koordynowanie prac magazynowych i tym samym usprawnia procesy (Łazicki i in., 2019) Nadrzędnym celem systemów klasy WMS jest wspomaganie zarządzania sferą operacyjną powiązaną z przepływami towarów w obszarze magazynów. Standardowy model systemu WMS dotyczy kompleksowej obsługi strumieni przepływu materiałów, począwszy od wejścia towaru do magazynu, poprzez składowanie, jego kompletowanie, a skończywszy na wyjściu towaru z magazynu. Przez cały czas realizacji procesów logistycznych w magazynach system WMS powinien weryfikować poprawność wykonywanych zadań.

System WMS umożliwia bardziej efektywne zarządzanie przepływem informacji i lepszą koordynację operacji magazynowych. Korzyści płynące z jego zastosowania obejmują m.in.:

- bieżące monitorowanie poziomu zapasów;
- poprawę efektywności pracy;
- ograniczenie liczby błędów podczas kompletacji zamówień;
- możliwość automatycznego uzupełniania stanów magazynowych;
- precyzyjne określenie dostępności towarów;
- zwiększenie elastyczności operacyjnej;
- zdalny dostęp do danych;
- wyższy poziom obsługi klienta.

Automatyzacja operacji magazynowych, zwłaszcza w zakresie kompletacji zamówień, zyskuje na znaczeniu. Celem tych rozwiązań jest częściowe lub całkowite zastąpienie pracownika w takich zadaniach jak kompletowanie palet, ich pakowanie, etykietowanie oraz transportowanie do odpowiedniej lokalizacji magazynowej lub strefy wysyłki. Zastosowanie zaawansowanych systemów informatycznych w logistyce i gospodarce magazynowej przyczynia się do zwiększenia efektywności operacyjnej, redukcji kosztów związanych z eksploatacją floty transportowej oraz zapewnia większą elastyczność w zarządzaniu przepływem towarów w ramach łańcucha dostaw. Pełna automatyzacja procesów magazynowych nie jest jednak jedynym możliwym rozwiązaniem kwestii automatyzacji procesów magazynowych. W magazynach, w których jednak praca człowieka jest nieodzowna, wprowadza się szereg systemów, które wspomagają pracę ludzką. Pozwala to ograniczyć ilość popełnianych błędów oraz wykorzystać naturalne zdolności manualne ludzi oraz ich



inteligencję, która w odniesieniu do sztucznej inteligencji potrafi reagować na sytuacje nieprzewidywalne. Przykładem takich rozwiązań są chociażby systemy kompletacji takie jak: Pick-By-Point, Pick-By-Light czy Pick-By-Voice.

W kontekście zastosowania systemów WMS w e-commerce warto przedstawić wybrane rozwiązania przedsiębiorstw z tej branży. Jednym z przedsiębiorstw stosujących np. zaawansowaną integrację WMS z robotyką, jest Amazon. Przedsiębiorstwo to wykorzystuje własny system WMS, który jest zintegrowany z robotami Kiva. Roboty te automatycznie transportują regały do stanowisk kompletacyjnych. Dostarczanie regałów do pracowników eliminuje przede wszystkim konieczność przemieszczania się pracowników, stanowi oszczędność czasu oraz zwiększa wydajność i eliminuje liczbę błędów. Również w Zalando w centrach dystrybucji system WMS dokonuje analizy danych w czasie rzeczywistym, zarządzając lokalizacją towarów, kolejnością zamówień i optymalizując ścieżki kompletacyjne. Umożliwia to przede wszystkim skrócenie czasu dostawy, redukcję błędów w procesie kompletacji oraz wyższą elastyczność w przypadku zamówień dużych ilości. System WMS dla przykładu w firmie eObuwie współpracuje z automatycznym magazynem AutoStore. Magazyn ten umożliwia zautomatyzowane przechowywanie i wydawanie towarów. Wdrożenie tego systemu pozwoliło na skrócenie czasu kompletacji oraz oszczędność miejsca. Z kolei Allegro korzysta z własnego systemu WMS w magazynach One Fulfillment, który dokonuje automatycznego sortowania oraz w czasie rzeczywistym kontroluje zapasy.

Szczególnie istotna jest integracja systemów informatycznych w magazynie (rysunek 8). Stanowi ona istotny element sprawnego zarządzania procesami logistycznymi. Polega ona na powiązaniu różnych systemów wspierających funkcjonowanie przedsiębiorstwa, takich jak WMS (Warehouse Management System), ERP (Enterprise Resource Planning) oraz TMS (Transport Management System), w jeden zintegrowany układ zapewniający płynny przepływ informacji. Głównym celem integracji jest umożliwienie bieżącej wymiany danych pomiędzy poszczególnymi obszarami działalności. System ERP odpowiada za planowanie zasobów i obsługę zamówień, WMS zarządza operacjami magazynowymi, natomiast TMS wspiera organizację transportu. Współpraca tych systemów pozwala na synchronizację procesów oraz ograniczenie opóźnień wynikających z braku aktualnych informacji.



Rysunek 7. Integracja systemów informatycznych w magazynie

Źródło: opracowanie własne.

Zintegrowane systemy informatyczne umożliwiają automatyczne przekazywanie danych dotyczących zamówień, stanów magazynowych oraz realizacji dostaw. Ogranicza to konieczność ręcznego wprowadzania informacji, zmniejsza ryzyko błędów oraz przyspiesza przebieg procesów logistycznych. W praktyce oznacza to m.in. automatyczne generowanie zleceń kompletacyjnych oraz bieżącą aktualizację stanów magazynowych. W nowoczesnych magazynach integracja obejmuje również technologie identyfikacji, takie jak kody kreskowe i RFID, a także systemy wspierające kompletację, np. pick-by-light, pick-by-voice czy pick-by-vision. Połączenie tych rozwiązań z systemem WMS umożliwia bezpośrednie przekazywanie informacji pracownikom oraz ciągłe monitorowanie realizowanych operacji.

Coraz większe znaczenie ma także integracja z technologiami Internetu Rzeczy (IoT) oraz narzędziami analityki danych. Dzięki zastosowaniu czujników i systemów monitorujących możliwe jest śledzenie przepływu towarów w czasie rzeczywistym oraz optymalizacja procesów na podstawie aktualnych danych. Mimo licznych korzyści, integracja systemów informatycznych wiąże się również z wyzwaniami, takimi jak konieczność zapewnienia kompatybilności różnych rozwiązań, wysokie koszty wdrożenia oraz potrzeba odpowiedniego przygotowania organizacyjnego. Istotne znaczenie ma także zapewnienie bezpieczeństwa danych oraz stabilności funkcjonowania systemów. Podsumowując, integracja systemów informatycznych w magazynie przyczynia się do zwiększenia efektywności operacyjnej, poprawy jakości obsługi klienta oraz lepszej kontroli nad procesami logistycznymi. Stanowi



ona podstawę funkcjonowania nowoczesnych magazynów i jest niezbędna w warunkach rosnącej konkurencji oraz dynamicznych zmian rynkowych.

Bibliografia

- Attaran, M. (2012). Critical success factors and challenges of implementing RFID in supply chain management. *Journal of supply chain and operations management*, 10(1), 144-167.
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science. The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology. Resource document.*
- Boysen, N., De Koster, R., & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 396-411.
- Casella, G., Volpi, A., Montanari, R., Tebaldi, L., & Bottani, E. (2023). Trends in order picking: A 2007–2022 review of the literature. *Production & Manufacturing Research*, 11(1), 2191115.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
- Fijałkowski, J. (1995). *Technologia magazynowania: wybrane zagadnienia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Glema, A., Maćkowiak, M., & Rusinek, Z. (2023). Construction product identification and localization using RFID tags and GS1 data synchronization system. In *ECPPM 2022-eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*(pp. 85-90). CRC Press.
- Głodowska, K., & Świdorski, A. (2019). Optymalizacja procesu kompletacji. *WUT Journal of Transportation Engineering*, (127), 15-24.
- Ho, P. T., Albajez, J. A., Santolaria, J., & Yagüe-Fabra, J. A. (2022). Study of augmented reality based manufacturing for further integration of quality control 4.0: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 12(4), 1961.
- Hompel, M., Sadowsky, V., & Beck, M. (2011). *Kommissionierung: Materialflusssysteme 2-Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Springer-Verlag.
- Jonak, J., Nieoczym, A. (2014). *Logistyka w obszarze produkcji i magazynowania*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.



- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *International journal of production economics*, 219, 179-194.
- Kembro, J. H., Danielsson, V., & Smajli, G. (2017). Network video technology: exploring an innovative approach to improving warehouse operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(7), 623-645.
- Kizyn, M. (2006). Problemy kompletacji w procesach magazynowych cz. 1. *Logistyka*, 1, 36-38.
- Łazicki, A., Krużycka, L., Zieliński, L., Jurek, R., Jaworska, E., & Krzyżak, P. (2019). *Zarządzanie magazynem: zapasy, WMS, Lean, bezpieczeństwo: praca zbiorowa*. Warszawa: Wydawnictwo Wiedza i Praktyka.
- Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S., & Tappia, E. (2013). Development of a framework for the design of autonomous vehicle storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 51(14), 4365-4387.
- Miszewski, P. (2019). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of Trans Logistics*, 5(1), 175-182.
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., & Vlachou, E. (2018). Augmented reality supported product design towards industry 4.0: a teaching factory paradigm. *Procedia manufacturing*, 23, 207-212.
- Pulverich, M. (2009). *Handbuch Kommissionierung: Effizient picken und packen*. Vogel.
- Ratkiewicz, A. (2011). Efektywność procesu kompletacji. *Logistyka*, 4.
- Ready, P. J., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2015). Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment. *International Journal of Production Economics*, 159, 29-40.
- Richards, G. (2017). *Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. Kogan Page Publishers.
- Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European journal of operational research*, 194(2), 343-362.
- Sarac, A., Absi, N., & Dauzère-Pérès, S. (2010). A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *International journal of production economics*, 128(1), 77-95.
- Skowronek, C., & Sarjusz-Wolski, Z. (2008). *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa: PWE.



- Urbas, A., Czech, P., Barcik, J. (2011). Rola i znaczenie zarządzania informatycznego w magazynie. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, 93-100.
- Van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & De Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European journal of operational research*, 267(1), 1-15.
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International journal of production research*, 58(1), 18-43.
- Wurman, P. R., D'Andrea, R., & Mountz, M. (2008). Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses. *AI magazine*, 29(1), 9-9.
- Zelbst, P. J., Green Jr, K. W., Sower, V. E., & Baker, G. (2010). RFID utilization and information sharing: the impact on supply chain performance. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 25(8), 582-589.



Rozdział 5

Lean Management

Błażej Kuras

Wprowadzenie

Lean Manufacturing, czyli „szczupłe wytwarzanie”, to filozofia zarządzania produkcją, której celem jest maksymalizacja wartości dla klienta przy jednoczesnym minimalizowaniu marnotrawstwa. Opiera się na ciągłym doskonaleniu procesów, standaryzacji pracy oraz aktywnym zaangażowaniu pracowników na wszystkich poziomach organizacji, przypominając, że sukces produkcji nie zależy jedynie od maszyn, lecz przede wszystkim od ludzi i ich sposobu myślenia.

Podjęcie Lean wykorzystuje różnorodne narzędzia, takie jak 5Why, Kaizen, Kanban czy Total Productive Maintenance (TPM), które pozwalają systematycznie identyfikować problemy, eliminować straty i zwiększać efektywność procesów produkcyjnych. W praktyce Lean uczy, że nawet małe, codzienne usprawnienia prowadzą do znaczących zmian w jakości, wydajności i kulturze organizacyjnej, a prawdziwa doskonałość w produkcji polega na ciągłym poszukiwaniu możliwości poprawy, zamiast zadowalania się stanem obecnym.

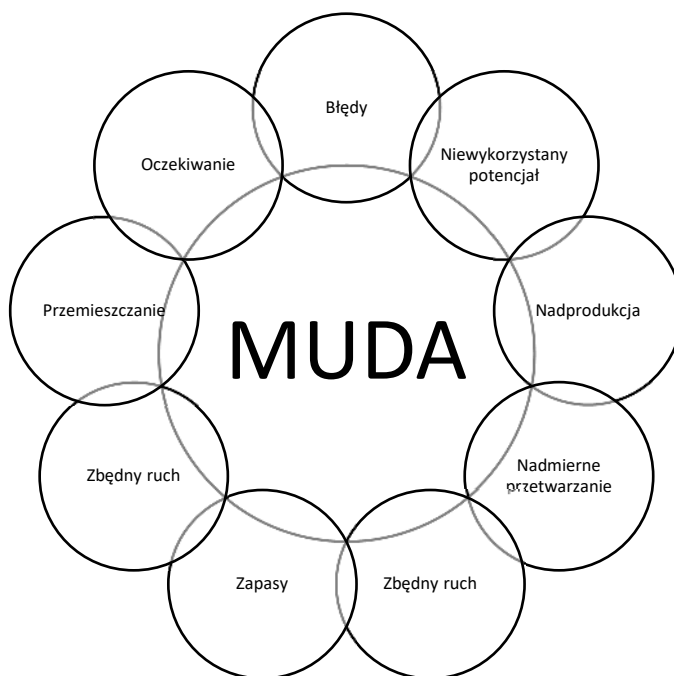
1. Podstawy Lean Management [LM]

LM stanowi ważny element koncepcji zrównoważonego rozwoju, umożliwiając przedsiębiorstwu stopniowe i systemowe dostosowywanie się do współczesnych wyzwań. Lean Management (z ang. szczupłe zarządzanie) polega na racjonalnym gospodarowaniu zasobami, redukcji kosztów oraz optymalizacji procesów w taki sposób, by zapewnić klientowi możliwie najwyższą jakość produktów i usług. Lean Management to koncepcja tworzenia wartości dla klienta poprzez eliminowanie marnotrawstwa i nieefektywności w procesach. Według Ohno (2019) Lean Management opiera się na zasadach systemu produkcyjnego Toyoty i polega na ciągłej redukcji strat oraz budowaniu płynnego przepływu pracy. Według Linkera (2020) Lean Management to filozofia dążenia do doskonałości procesów poprzez ciągłe doskonalenie, standaryzację i angażowanie ludzi na wszystkich szczeblach organizacji. Z kolei Bicheno i Holweg (2000) uważają, że Lean Management to zestaw metod służących do eliminowania marnotrawstwa, skracania czasu przepływu i poprawy jakości procesów. Z kolei według Hamrola (2015) Lean Management jest koncepcją zarządzania ukierunkowaną na racjonalne



gospodarowanie zasobami, ciągłe doskonalenie procesów oraz eliminację wszelkich działań nieprzynoszących wartości.

Koncepcja Lean Management stosowana jest przez największe zakłady produkcyjne na świecie. Zapoczątkowana została przez firmę Toyota Motor Company i obejmuje zbiór narzędzi i metod polegających na redukcji i eliminowaniu wszystkich czynności, które nie przynoszą wartości dodanej (tzw. MUDA) i usprawnieniu czynności, które dodają wartość do produktu. **MUDA** to japońskie określenie stosowane w filozofii Lean, oznaczające marnotrawstwo – czyli działania lub procesy, które nie wnoszą wartości dodanej. Innymi słowy, są to czynności zbędne i nieefektywne. W koncepcji Lean Management każda aktywność pochłaniająca zasoby, a nie generująca wartości dla klienta, jest uznawana za marnotrawstwo. Aby zwiększyć efektywność organizacji, działania takie należy systematycznie identyfikować i eliminować (Zieliński, 2015). Takie czynności, jak nadprodukcja, składowanie zapasów na zapas, zbędny ruch i czynności w transporcie wewnętrznym, błędy w organizacji procesów czy zbyt długi czas oczekiwania na materiał niezbędny do produkcji, określać należy mianem MUDA (rysunek 1).



Rysunek 1. Kluczowe źródła marnotrawstwa
Źródło: opracowanie własne.



Pierwszym rodzajem marnotrawstwa jest nadprodukcja. Zazwyczaj ma ona miejsce w przypadku, gdy przedsiębiorstwo z różnych względów wytwarza dany produkt bez żadnego powiązania z zapotrzebowaniem rynku. Zazwyczaj w tym przypadku kierownictwo produkcji podejmuje decyzję o wytwarzaniu na zapas w większej ilości, aby nie doprowadzać do spadku wydajności. Nadprodukcja implikuje innego rodzaju marnotrawstwa, chociażby konieczność przechowywania nadmiernych zapasów. Kolejnym źródłem marnotrawstwa są nadmierne zapasy, a więc wszystko to, co nie przynosi wartości dodanych i tym samym jest zbędne do utrzymywania. Nadmierne zapasy oznaczają „zamrożone” środki finansowe, których nie można wykorzystać chociażby na inwestycje. Konieczność magazynowania zapasów powoduje wyższe ryzyko uszkodzenia będące następstwem niekiedy podejmowanych czynności manipulacyjnych. Należy również wspomnieć o błędach jakościowych, określanych jako następne źródło zapasów. Zazwyczaj są to wyroby, które nie spełniają oczekiwanych rezultatów, a tylko wymierne straty nie tylko w formie wadliwych produktów, ale niekiedy z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów związanych np. z naprawą. Kolejnym źródłem marnotrawstwa są przestoje, które najczęściej występują w procesie produkcyjnym, gdy dane działanie zostanie spowolnione lub też wstrzymane ze względu na oczekiwanie. Źródłem marnotrawstwa jest również niewykorzystany potencjał pracowników, a więc niewykorzystanie ich pomysłów, kreatywności, kompetencji czy też dostępnego czasu pracy pracowników. Kolejnym źródłem marnotrawstwa jest zbędny ruch, a więc wszelkie niepotrzebne czynności wykonywane przez pracownika, takie jak nadmierne chodzenie, sięganie po narzędzia, schylanie się czy wykonywanie dodatkowych ruchów, które nie tworzą żadnej wartości dodanej. Każdy taki nadmierny wysiłek fizyczny, wynikający najczęściej z niewłaściwej organizacji pracy lub źle zaprojektowanego stanowiska, stanowi formę *MUDA* czyli marnotrawstwa. Istotnym źródłem marnotrawstwa w procesach produkcyjnych jest również zbędny transport, który oznacza wszelkie niepotrzebne przemieszczanie materiałów lub produktów, które nie wnosi wartości do procesu. Powoduje ono dodatkowe koszty oraz zwiększa ryzyko uszkodzeń lub zniszczenia przewożonych elementów

Warto również przywołać inną klasyfikację marnotrawstwa. Według Womack i in. (2008) wyróżnia się trzy rodzaje marnotrawstwa, tzw. trzy **MU**: *muda*, *mura* i *muri*, co oznacza kolejno: marnotrawstwo, nieregularność oraz nadmierne obciążenie. O ile *muda* została już szczegółowo omówiona powyżej, warto wskazać, że *mura* odnosi się do nieregularności w wykonywaniu pracy, np. wykonywania zadań wolniej niż pozostali



pracownicy, co może wymuszać dostosowanie tempa pracy całego zespołu do najsłabszego ogniwa. Natomiast *muri* dotyczy nadmiernego obciążenia pracowników, maszyn lub procesów, prowadzącego do spadku efektywności i jakości wykonywanych działań.

Należy wskazać ponadto na kluczowe cechy zarządzania przedsiębiorstwem według zasad tradycyjnych i zgodnie z koncepcją Lean Management (tabela 1).

Tabela 1. Koncepcje zarządzanie organizacją – porównanie

Wyszczególnienie	Zarządzanie tradycyjne	Zarządzanie zgodnie z koncepcją LM
Integracja procesów	Ograniczona	Zaawansowana
Hierarchia organizacyjna	Rozbudowana, sformalizowana i scentralizowana	Płaska struktura, niska formalizacja i hierarchizacja
Określenie roli pracowników	Ciągły nadzór nad pracownikami	Wzmacnianie roli pracowników stanowiący istotny element organizacji oraz ciągłe szkolenia i doskonalenie
Definiowanie przepływu	Produkcja dużych partii	Ciągły przepływ produktów
Współpraca z dostawcami	Wielu przypadkowych dostawców, egzekwowanie zawieranych umów	Długoletnia współpraca partnerska, ograniczona liczba dostawców
Wpływ klienta na proces	Ograniczony wpływ na wytwarzane produkty i innowacje	Włączenie klienta w proces wytwarzania i innowacje

Źródło: (Kwiatkowski i in., 2016).

Reasumując, koncepcję Lean Management definiuje się jako podejście oparte na zasadach, których celem jest dostarczanie klientowi maksymalnej wartości przy jednoczesnym ograniczeniu wszelkiego marnotrawstwa zasobów, czyli działań niewnoszących wartości do końcowego produktu. W praktyce jest to koncepcja kierowania przedsiębiorstwem ukierunkowana na zwiększanie jego konkurencyjności poprzez świadome i efektywne kształtowanie procesów wytwórczych. Dzięki wykorzystaniu odpowiednio dobranych narzędzi dąży się do jak najlepszego wykorzystania posiadanych zasobów. Zastosowanie metod Lean Management umożliwia organizacjom osiąganie realnych, mierzalnych korzyści, w tym przede wszystkim finansowych. Kluczową zasadą Lean Management jest ograniczanie wszelkich form marnotrawstwa. Podejście to wyróżnia się jednak sposobem interpretacji jego źródeł — zakłada bowiem, że za powstawanie strat nie odpowiadają pracownicy, lecz niewłaściwie zaprojektowane procesy i procedury. Ponieważ człowiek może popełniać błędy, zadaniem organizacji jest tworzenie takich rozwiązań i standardów pracy, które minimalizują ryzyko pomyłek. W doskonaleniu funkcjonowania przedsiębiorstwa powinien uczestniczyć każdy zatrudniony. Sprzyja temu zarówno przyznanie pracownikom większej samodzielności



w wykonywaniu zadań, jak i zapewnienie im odpowiednich możliwości rozwoju poprzez szkolenia oraz działania ukierunkowane na podnoszenie kwalifikacji.

Aby usprawnić doskonalenie nie tylko procesów produkcyjnych, ale również procesów administracyjnych czy logistycznych, opracowano zestaw narzędzi i technik, które — zgodnie z założeniami Lean — powinny być łatwe w stosowaniu, a jednocześnie zapewniać wyraźne i mierzalne efekty. Do najważniejszych z nich zalicza się m.in.:

1. **TPM** (*Total Productive Maintenance*) – całkowite produktywne utrzymanie ruchu.
2. **KAIZEN** – nieustanne doskonalenie i usprawnianie procesów.
3. **JIT** (*Just in Time*) – ograniczanie zbędnego magazynowania materiałów poprzez dostarczanie ich dopiero wtedy, kiedy są faktycznie potrzebne.
4. **5S** – sortowanie, systematyka, sprząatanie, standaryzacja, samodoskonalenie.
5. **SMED** (*Single-Minute Exchange of Die*) – szybkie przebrojenia maszyn.
6. **Poka-yoke** – zapobieganie błędom i pomyłkom.

Lean management zakłada budowanie w organizacji odpowiedniej kultury pracy, opartej na zaangażowaniu zarówno pracowników, jak i kadry kierowniczej. Wspólna odpowiedzialność za procesy i ich doskonalenie sprzyja osiąganiu coraz efektywniejszych rozwiązań. Wdrożenie zasad Lean Management przynosi przedsiębiorstwu wiele korzyści, do których należą między innymi:

- obniżenie kosztów funkcjonowania,
- zwiększenie elastyczności oraz szybsze reagowanie na zmiany popytu i oczekiwań klientów,
- wzrost produktywności,
- poprawa jakości oferowanych produktów i usług,
- redukcja poziomu zapasów, wyższa rotacja magazynowa, a także zmniejszenie zapotrzebowania na przestrzeń magazynową,
- skrócenie czasu realizacji zamówień (lead time),
- szybsze tworzenie oraz wdrażanie nowych produktów i usług,
- poprawa płynności finansowej dzięki szybszemu przepływowi gotówki,
- rozwój kompetencji pracowników poprzez ciągłe uczenie się,
- zwiększenie poziomu bezpieczeństwa i higieny pracy,
- zmniejszenie negatywnego oddziaływania przedsiębiorstwa na środowisko.



2. Narzędzia Lean Management

2.1. System 5S

Zasada 5S to inaczej metodologia tworzenia i utrzymywania dobrze zorganizowanego, czystego oraz wysoko wydajnego stanowiska pracy. Zasada ta wskazuje na pięć poziomów organizacji stanowiska pracy.

Nazwa japońska		Nazwa angielska	Nazwa polska
整理	Seiri	Sort	Selekcja (stosowane jest również tłumaczenie Sortowanie)
整頓	Seiton	Set (Storage)	Systematyka (stosowane jest również tłumaczenie Porządkowanie)
清掃	Seiso	Shine	Sprzątanie (stosowane jest również tłumaczenie Polerowanie)
清潔	Seiketsu	Standarize	Standaryzacja (stosowane jest również tłumaczenie Schludność)
躰	Shitsuke	Sustain	Samodyscyplina (stosowane jest również tłumaczenie Podtrzymanie)

Rysunek 2. Etapy metody 5S

Źródło: Gundlach, M. (2009). Praktyki 5S jako pierwszy krok do wdrożenia produkcji odchudzonej w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Rozwinięcie teorii 6S, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Organizacja i zarządzanie, 1064(45).

W polskiej wersji językowej co do zasady stosuje się następujące nazewnictwo:

- selekcja (eliminacja zbędnych materiałów),
- systematyka (miejsce dla wszystkiego),
- sprzątanie (usuwanie brudu i odpadków),
- standaryzacja (stałe miejsce dla rzeczy, ściśle określone zasady organizacji przechowywania i utrzymywania czystości),
- samodyscyplina (automatyczna realizacja według zasad).

Celem stosowania 5S jest zatem utrzymanie wysokich standardów stanowiska pracy. Metoda ta dotyczy systematycznego uczenia się, dyscypliny, standaryzacji i dążenia do perfekcji. Najważniejszym elementem 5S jest takie zorganizowanie stanowiska pracy, aby wszystko było widoczne. Chodzi o to, by dzięki wizualnym oznaczeniom każdy mógł łatwo



zorientować się, jak powinny wyglądać standardowe działania, a wszelkie odchylenia od tych zasad były od razu zauważalne. Poniżej dokonano krótkiej charakterystyki poszczególnych etapów:

1S – SEGREGACJA

Pierwszy krok polega na dokładnym oddzieleniu wszystkich potrzebnych narzędzi, materiałów i dokumentów od tych, które nie są używane. Wszystkie zbędne elementy usuwa się ze stanowiska pracy, aby pozostawić wyłącznie to, co naprawdę konieczne do wykonywania zadań. Dzięki temu miejsce pracy staje się przejrzyste, uporządkowane i łatwiejsze w codziennym użytkowaniu.

2S – SYSTEMATYKA

Drugi etap polega na takim zorganizowaniu stanowiska pracy, aby każda rzecz miała swoje stałe, jasno oznaczone miejsce. Narzędzia, części i materiały są opisane i ułożone w sposób ułatwiający ich szybkie odnalezienie i prawidłowe użycie. Dzięki temu praca przebiega sprawniej, a ryzyko pomyłek czy zbędnych przestojów znacząco się zmniejsza.

3S – SPRZĄTANIE

Trzeci krok polega na dokładnym utrzymaniu czystości w miejscu pracy. Obejmuje to nie tylko regularne porządkowanie i usuwanie zabrudzeń, ale także dbanie o stan maszyn, narzędzi i otoczenia. Celem jest stworzenie środowiska, w którym łatwo zauważyć wszelkie nieprawidłowości, takie jak wycieki, uszkodzenia czy zużycie sprzętu. Systematyczne sprzątanie zwiększa bezpieczeństwo, poprawia komfort pracy oraz pozwala szybko wykrywać i eliminować potencjalne problemy zanim przerodzą się w większe awarie.

Metoda 5S sprawdza się, ponieważ dostarcza wartości każdemu, kto jest związany z firmą. Korzyści dla firmy to przede wszystkim: zwiększenie bezpieczeństwa zarówno dla pracowników, jak i dla produktów, wyższa wydajność pracy dzięki lepszej organizacji, mniej błędów i defektów, a co za tym idzie – lepsza jakość wyrobów, ograniczenie awaryjności maszyn i urządzeń, lepsze dopasowanie działań do oczekiwań klienta, niższe koszty operacyjne oraz większa konkurencyjność firmy, wizualne przedstawienie procesów ułatwia ich monitorowanie i kontrolę, lepsze wykorzystanie umiejętności i pomysłów pracowników w rozwoju firmy oraz pozyskanie dodatkowej przestrzeni, która może być użyta w sposób produktywny. Należy również wskazać na korzyści dla pracownika. Dzięki 5S miejsce pracy staje się bardziej uporządkowane, przyjazne i przede wszystkim bezpieczne. Pracownik ma realny wpływ na to, jak wygląda jego stanowisko i jak przebiegają codzienne czynności, co



zwiększa poczucie sprawczości. Utrzymanie porządku wymaga mniej wysiłku, ponieważ wszystko ma swoje wyznaczone miejsce, a narzędzia i materiały są łatwo dostępne. Wspólna praca nad utrzymaniem standardów 5S sprzyja budowaniu współpracy w zespole i uświadamia wartość działania razem. Dzięki eliminacji źródeł bałaganu, pomyłek oraz niepotrzebnych trudności pracownicy rzadziej napotykają problemy, co znacząco obniża poziom stresu i pozwala skupić się na samej pracy. Mając również na uwadze, iż w całym procesie doskonalenia i optymalizacji kluczową rolę odgrywa klient, należy wskazać na kluczowe korzyści dla klienta. Dzięki wdrożeniu 5S klient otrzymuje produkty o wyższej, bardziej stabilnej jakości. Uporządkowane procesy i lepsza organizacja pracy sprawiają, że dostawy są bardziej przewidywalne i częściej realizowane na czas. W przypadku pojawienia się problemów jakościowych firma szybciej je identyfikuje i usuwa, co zwiększa zaufanie do dostawcy. Usprawniona komunikacja i większa efektywność po stronie producenta przekładają się na sprawniejszą współpracę z klientem. W rezultacie dostawca buduje silniejszą, bardziej wiarygodną pozycję na rynku, co dodatkowo wzmacnia pewność klienta w podejmowaniu z nim długofalowej współpracy.

2.2. SMED

SMED (Single-Minute Exchange of Die) to metoda zarządzania produkcją wywodząca się z koncepcji *Lean Manufacturing*, której celem jest **radikalne skrócenie czasu przebrojeń maszyn i stanowisk pracy**, najlepiej do poziomu jednocyfrowej liczby minut (poniżej 10 minut) (Shingo, 2019). Metoda została opracowana przez **Shigeo Shingo** w latach 50. XX wieku w zakładach Toyoty. Jej głównym celem jest zwiększenie elastyczności produkcji, redukcja przestojów oraz umożliwienie produkcji małych partii bez istotnego wzrostu kosztów (Shingo, 2019). SMED opiera się na rozróżnieniu dwóch rodzajów czynności wykonywanych podczas przebrojenia:

- a) czynności wewnętrzne (internal setup) – mogą być wykonywane wyłącznie wtedy, gdy maszyna jest zatrzymana (np. wymiana narzędzia),
- b) czynności zewnętrzne (external setup) – mogą być wykonywane przy pracującej maszynie (np. przygotowanie narzędzi, dokumentacji).

Kluczowym założeniem SMED jest maksymalne przekształcanie czynności wewnętrznych w zewnętrzne, a następnie ich upraszczanie i standaryzacja.



System SMED zawiera metodę oraz serię technik pozwalających wykonać prawie każde przebrojenie w ciągu kilku minut. Początkowo SMED był wykorzystywany do przebrojeń zautomatyzowanych linii mechanicznych, jednakże istnieje możliwość wykorzystania go do każdego rodzaju przebrojenia.

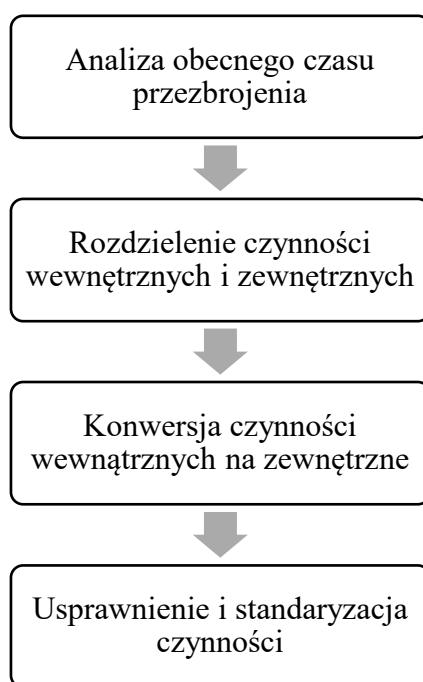
Wśród technik, wspomagających wdrożenie tego etapu SMED wyróżnić należy karty kontrolne. Karta kontrolna (ang. checklist) stanowi formularz zawierający informacje o wszystkich składnikach niezbędnych do poprawnego przeprowadzenia przebrojenia. Należą do nich:

- wykaz pracowników przeszkolonych i uprawnionych do wykonania przebrojenia,
- wykaz zadań dedykowany pracownikom biorącym w przebrojeniu,
- wykaz narzędzi, przyrządów i materiałów do przebrojenia,
- wartości nastaw na przezbieranej maszynie lub procesie,
- wykaz procedur i instrukcji do zastosowania.

Należy również wskazać na kluczowe etapy wdrażania SMED. Klasyczna metodyka obejmuje 4 etapy (rysunek 3). Pierwszym etapem wdrażania metody SMED jest **analiza obecnego procesu przebrojenia**, która polega na szczegółowej obserwacji rzeczywistego przebiegu działań wykonywanych przez operatorów. Proces ten jest najczęściej dokumentowany za pomocą arkuszy obserwacji, pomiarów czasu oraz nagrań wideo, co umożliwia dokładną identyfikację wszystkich czynności składających się na przebrojenie maszyny. Celem tego etapu jest uzyskanie obiektywnego obrazu aktualnego stanu procesu oraz wykrycie działań zbędnych, powtarzalnych lub niewnoszących wartości dodanej. Kolejnym krokiem jest **rozdzielenie czynności wewnętrznych i zewnętrznych**, czyli klasyfikacja wszystkich zidentyfikowanych działań na takie, które mogą być wykonywane wyłącznie podczas postoju maszyny, oraz te, które można realizować przy jej pracy. Etap ten pozwala ujawnić rzeczywisty potencjał skrócenia czasu przestoju, gdyż w praktyce wiele czynności tradycyjnie wykonywanych przy zatrzymanej maszynie może zostać przeniesionych poza czas przebrojenia. Następnie realizowana jest **konwersja czynności wewnętrznych na zewnętrzne**, która stanowi kluczowy element metody SMED. Polega ona na reorganizacji pracy w taki sposób, aby jak największą liczbę czynności przygotowawczych wykonywać przed zatrzymaniem maszyny lub po jej ponownym uruchomieniu. Przykładami takich działań są wcześniejsze nagrzewanie form, kompletowanie i sprawdzanie narzędzi, przygotowanie materiałów czy wstępne ustawienie parametrów procesu. Dzięki temu rzeczywisty czas postoju



maszyny zostaje znacząco skrócony. Ostatnim etapem jest **usprawnienie i standaryzacja czynności**, którego celem jest dalsza redukcja czasu przebrojenia oraz zapewnienie jego powtarzalności. Stosuje się tu rozwiązania techniczne i organizacyjne, takie jak standaryzacja pracy operatorów, wykorzystanie szybkozłączy, eliminacja regulacji poprzez zastosowanie elementów nastawczych, a także wizualizację i instrukcje stanowiskowe. Etap ten sprzyja nie tylko skróceniu czasu przebrojenia, lecz również poprawie jakości, bezpieczeństwa pracy oraz stabilności procesu (Liker, 2020).



Rysunek 3. Etapy wdrażania SMED

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie SMED przynosi liczne korzyści organizacyjne i ekonomiczne, m.in.:

- skrócenie czasu przebrojeń nawet o 50–90%,
- zmniejszenie wielkości partii produkcyjnych,
- redukcję zapasów i kosztów magazynowania,
- wzrost dostępności maszyn (OEE),
- poprawę jakości i bezpieczeństwa pracy (Liker, 2020).



2.3. Poka-Yoke

Z perspektywy klienta działania związane z kontrolą jakości nie stanowią wartości dodanej, ponieważ oczekuje on otrzymania wyrobu spełniającego wymagania jakościowe już za pierwszym razem. Mimo to wiele organizacji, w przypadku pojawienia się niezgodności, koncentruje się na działaniach doraźnych, takich jak zwiększanie liczby kontroli lub wprowadzanie dodatkowych procedur i formularzy. Tego rodzaju reakcje mają charakter naprawczy i pozwalają jedynie ograniczyć skutki problemu, nie eliminując jego pierwotnych przyczyn.

Metoda Poka-Yoke została opracowana przez Shigeo Shingo w drugiej połowie XX wieku i zapoczątkowała rozwój systemów zarządzania jakością skoncentrowanych na maksymalizowaniu odporności procesów na wszelkiego rodzaju błędy. Shingo zakładał, że osiągnięcie stuprocentowego skupienia pracownika podczas wykonywania czynności jest niemożliwe, dlatego zaproponował stosowanie odpowiednich urządzeń oraz rozwiązań organizacyjnych, które ułatwiają pracę i jednocześnie zapobiegają powstawaniu błędów.

Podejście **Poka-Yoke** zakłada projektowanie procesów w taki sposób, aby minimalizować ryzyko popełnienia błędu przez człowieka. Zamiast polegać na wykrywaniu wad na końcowych etapach procesu, metoda ta skupia się na zapobieganiu ich powstawaniu lub natychmiastowym ujawnianiu w miejscu ich wystąpienia. Z uwagi na to, iż koszt usunięcia defektu wzrasta wraz z postępem procesu, kluczowe znaczenie ma trwałe usunięcie źródła błędu. Właśnie temu służą rozwiązania Poka-Yoke, które poprzez proste zabezpieczenia techniczne i organizacyjne stabilizują proces i ograniczają konieczność reagowania na problemy w sposób ad hoc. Zastosowanie metody Poka-Yoke umożliwia znaczną poprawę jakości procesów produkcyjnych poprzez eliminację błędów już na etapie ich powstawania. Podejście to jest zdecydowanie bardziej efektywne niż tradycyjne metody kontroli wyrobu gotowego, ponieważ koncentruje się na zapobieganiu defektom, a nie jedynie na ich wykrywaniu. Z tego względu zaleca się stosowanie rozwiązań Poka-Yoke wszędzie tam, gdzie jest to możliwe i uzasadnione charakterem procesu.

Celem Shigeo Shingo było opracowanie metody umożliwiającej realizację procesów produkcyjnych w sposób bezbłędny i bezpieczny poprzez eliminację źródeł niezgodności już na etapie ich powstawania. W tym celu zaproponował zestaw metod Poka-Yoke opartych na



wbudowanych mechanizmach kontrolnych, które zapobiegają dalszemu przetwarzaniu wadliwych elementów oraz wspierają stabilność i wydajność procesów.

Do podstawowych metod Poka-Yoke należą **metody kontroli i sterowania**, które wykrywają niezgodności i w razie ich wystąpienia zatrzymują proces, oznaczają wadliwy wyrób lub uniemożliwiają jego przekazanie do kolejnego etapu. **Metody ostrzegania** informują operatora o odchyleniach za pomocą sygnałów wizualnych lub dźwiękowych, umożliwiając szybką reakcję jeszcze przed powstaniem defektu. **Metody kontaktu** wykorzystują czujniki i urządzenia pomiarowe do automatycznego wykrywania nieprawidłowości cech takich jak waga, kształt czy obecność elementów. **Metody ustalonej wartości** bazują na licznikach i zliczaniu czynności, co pozwala potwierdzić kompletność operacji i poprawność montażu. Z kolei **metody koniecznego kroku** sprawdzają, czy wszystkie wymagane działania zostały wykonane we właściwej kolejności i czasie, zapobiegając pominięciu istotnych etapów procesu. Zastosowanie tych metod pozwala na systemowe zapobieganie błędom, redukcję kosztów jakości oraz zwiększenie niezawodności procesów poprzez wykrywanie i eliminację niezgodności u ich źródła, zamiast polegania na końcowej kontroli wyrobu.

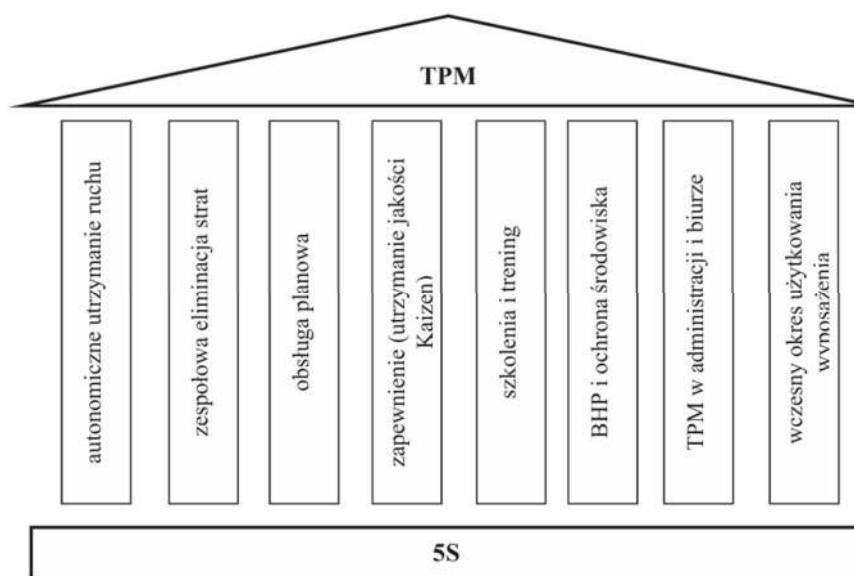
Metoda **Poka-Yoke** opiera się na sześciu kluczowych założeniach, które mają na celu zapobieganie błędom i zwiększenie niezawodności procesów produkcyjnych. Po pierwsze, błędy są eliminowane poprzez odpowiednie przeprojektowanie procesów, tak aby w danym zadaniu nie było możliwości popełnienia pomyłki, na przykład poprzez ograniczenie liczby używanych elementów. Po drugie, konstrukcja produktu jest tak projektowana, aby minimalizować ryzyko powstania defektów podczas wytwarzania. Po trzecie, nieefektywne procesy produkcyjne są zastępowane bardziej niezawodnymi, które ułatwiają wykrywanie nieprawidłowości. Kolejnym założeniem jest usprawnienie produkcji poprzez ułatwienie wykonywania poszczególnych operacji. Piąte założenie dotyczy wykrywania błędów, które odbywa się za pomocą urządzeń i czujników uniemożliwiających niewłaściwe wykonanie czynności lub montaż elementu. Wreszcie, szóste założenie polega na łagodzeniu skutków błędów poprzez minimalizowanie negatywnych konsekwencji pomyłek, jeśli do nich dojdzie.



2.4. Total Productive Maintenance (TPM)

TPM to całościowe podejście do zarządzania utrzymaniem ruchu, którego głównym celem jest zapewnienie maksymalnej dostępności oraz wydajności maszyn i urządzeń w procesie produkcyjnym. Koncepcja ta została opracowana w Japonii w latach 70. XX wieku jako rozszerzenie tradycyjnych metod konserwacji, przy czym istotny nacisk położono nie tylko na działania techniczne, lecz także na aktywny udział wszystkich pracowników w utrzymaniu sprzętu w pełnej sprawności.

TPM to kompleksowe zarządzanie sprawnością techniczną urządzeń. Technika ta zakłada osiągnięcie takich efektów, jak: zero usterek, zero wad w wyrobach, zero wypadków podczas pracy. Etapy wdrażania TPM przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Elementy koncepcji TPM

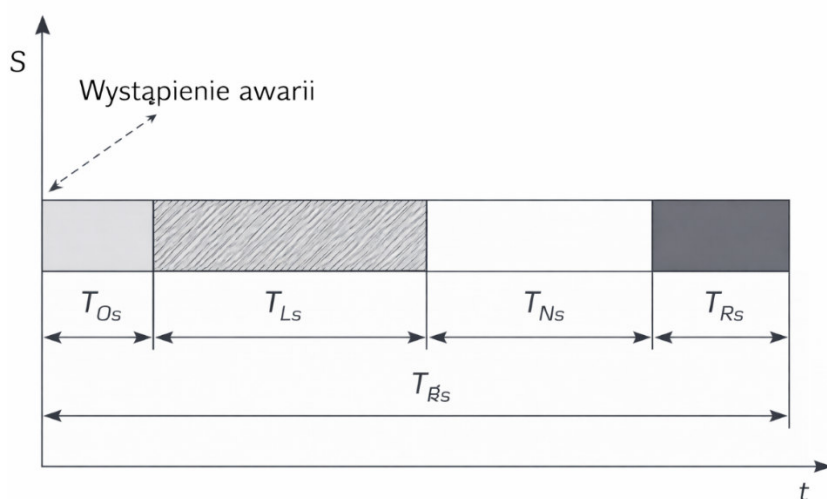
Źródło: (Frąs i in, 2018).

Metoda **TPM** opiera się na kilku podstawowych filarach, które wspólnie przyczyniają się do maksymalizacji efektywności maszyn i niezawodności procesów produkcyjnych. Jednym z nich jest **autonomiczne utrzymanie ruchu**, w ramach którego operatorzy maszyn dbają o codzienne czynności konserwacyjne, takie jak czyszczenie, smarowanie czy drobne naprawy. Kolejnym filarem jest **planowane utrzymanie ruchu**, czyli realizacja harmonogramów działań prewencyjnych mających na celu przewidywanie potencjalnych awarii i ich zapobieganie. Ważnym elementem TPM jest również **udoskonalanie jakości i**



wydajności maszyn, polegające na eliminacji źródeł problemów technicznych i organizacyjnych, które mogą wpływać na stabilność procesów. Metoda zakłada także **szkolenie i rozwój kompetencji pracowników**, aby zwiększyć ich wiedzę techniczną oraz świadomość wpływu utrzymania maszyn na jakość produkcji. Ostatnim filarem jest **bezpieczeństwo, higiena i ochrona środowiska pracy**, zapewniające, że sprzęt jest użytkowany w sposób bezpieczny, zgodny z przepisami i minimalizujący ryzyko wypadków.

Wdrożenie efektywnego systemu zarządzania ruchem wymaga rejestracji wielu danych i wyboru odpowiednich wskaźników. Wyznaczanie kosztów awarii jest istotne, jeśli trzeba określić rzeczywiste straty przedsiębiorstwa z powodu zakłóceń w procesie produkcyjnym i nieterminowej realizacji zlecenia. Dlatego też warto wskazać na rysunek przedstawiający kolejne fazy przestoju lub urządzenia w czasie (rysunek 5).



Rysunek 5. Etapy procesu naprawy maszyny po wystąpieniu awarii

Źródło: opracowanie własne.

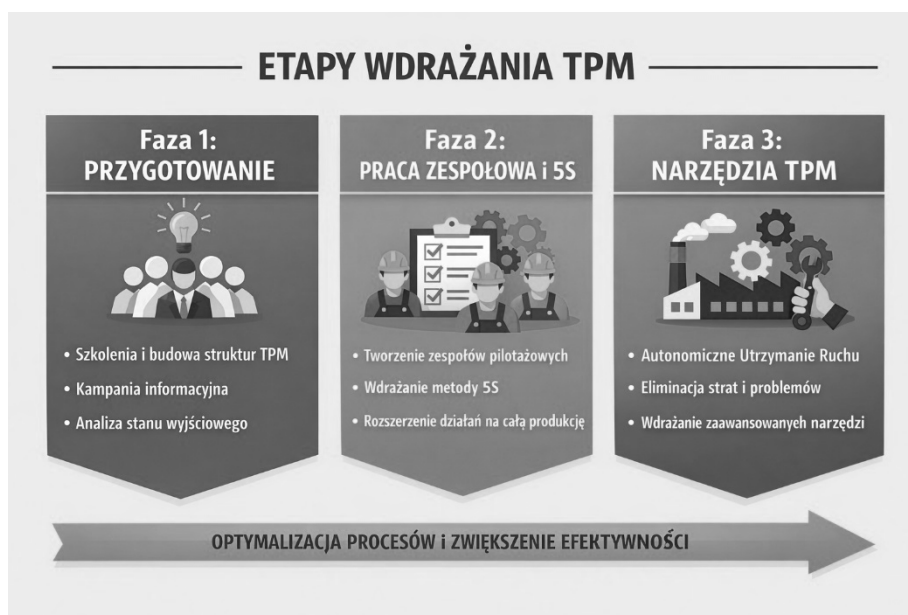
Okres T_{Os} to czas potrzebny na zdiagnozowanie przyczyny awarii maszyny poprzez analizę objawów i testy diagnostyczne. Następnie okres T_{Ls} obejmuje czas niezbędny na zapewnienie części zamiennych, narzędzi oraz przyjazd specjalistów do wykonania naprawy. Sam proces przywracania funkcjonalności maszyny trwa w okresie T_{Ns} , podczas którego wykonywane są wszystkie operacje naprawcze i eliminowana jest przyczyna awarii. Na końcu okres T_{Rs} obejmuje testowanie maszyny po naprawie, sprawdzenie jej poprawnego działania oraz skuteczności podjętych działań naprawczych.



TPM (Total Productive Maintenance) to ciągły proces utrzymania maszyn i urządzeń, realizowany w całym przedsiębiorstwie zarówno przez operatorów, jak i pracowników działu utrzymania ruchu. Jego celem jest zapewnienie, że każda maszyna w procesie produkcyjnym jest gotowa do pracy bez zakłóceń. Wdrażanie TPM pozwala na osiągnięcie kilku kluczowych celów:

- maksymalizacji efektywności wyposażenia poprzez doskonalenie całkowitej wydajności maszyn,
- rozwoju systemu utrzymania ruchu i konserwacji w celu wydłużenia żywotności urządzeń,
- zaangażowania wszystkich działów w planowanie, projektowanie i obsługę konserwacyjną sprzętu,
- aktywizacji pracowników w bieżącej obsłudze i konserwacji urządzeń,
- promowania TPM poprzez działania małych grup zadaniowych realizujących konkretne zadania usprawniające.

Należy wskazać trzy podstawowe etapy wdrażania TPM w przedsiębiorstwach (rysunek 6).



Rysunek 6. Etapy wdrażania TPM w przedsiębiorstwach

Źródło: opracowanie własne.

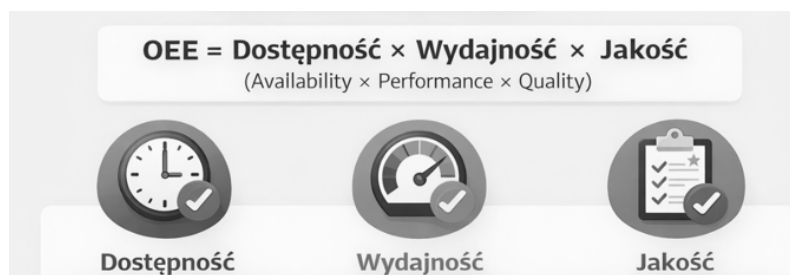
Wdrażanie TPM przebiega w trzech głównych fazach. Faza przygotowawcza obejmuje edukację całego personelu, w tym kierownictwa, budowę struktur TPM oraz analizę stanu



wyjściowego firmy, w tym wydajności maszyn, liczby awarii i morale pracowników. Faza wdrożeniowa polega na tworzeniu zespołów pilotażowych, wdrażaniu metody 5S w wybranych obszarach produkcji i stopniowym rozszerzaniu działań na kolejne działy, przynosząc pierwsze widoczne efekty. Faza rozwoju i narzędzi obejmuje wdrożenie filarów TPM, autonomiczne utrzymanie ruchu, eliminację strat, regularne audyty maszyn oraz powielanie działań w całym zakładzie. Efektem programu jest wzrost wydajności, redukcja awarii, mniejsze odpady, poprawa bezpieczeństwa oraz większe zaangażowanie i rozwój umiejętności pracowników.

Do oceny stanu parku maszynowego w przedsiębiorstwach wykorzystuje się współczynnik (rysunek 7) **OEE (Overall Equipment Effectiveness)**, który jest jednym z najważniejszych wskaźników w TPM. Pozwala on mierzyć wydajność i sprawność maszyn, linii produkcyjnych, a nawet całych działów w zakładzie. OEE składa się z trzech elementów:

- Dostępność – określa, w jakim stopniu maszyna była dostępna do pracy w stosunku do całkowitego czasu pracy, po uwzględnieniu przestojów, awarii, przebrojeń czy czynności konserwacyjnych.
- Efektywność (wydajność) – mierzy, ile czasu dostępnego maszyna faktycznie spędziła na produktywnej pracy, po uwzględnieniu mikroprzestojów i startów/rozruchów.
- Jakość – pokazuje, jaka część produkcji była zgodna ze standardem, po odliczeniu braków, defektów i przeróbek.



Rysunek 7. Współczynnik wykorzystania maszyn i urządzeń OEE

Źródło: opracowanie własne.

TPM i OEE są narzędziami stosowanymi w zarządzaniu produkcją w celu zwiększenia efektywności i niezawodności maszyn. TPM koncentruje się na utrzymaniu ruchu poprzez zaangażowanie wszystkich pracowników i zapobieganie awariom. OEE jest wskaźnikiem ilościowym, który pozwala mierzyć wydajność, dostępność i jakość pracy urządzeń. Oba systemy wspierają ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych i redukcję strat. Wdrożenie



TPM i monitorowanie OEE przyczynia się do optymalizacji wykorzystania zasobów i zwiększenia produktywności. Pomagają także w identyfikacji słabych punktów w procesach produkcyjnych i planowaniu działań usprawniających. Razem stanowią kompleksowe podejście do zwiększania konkurencyjności przedsiębiorstwa.

2.5. Kaizen

Kaizen określany jest w literaturze jako japońska praktyka i sztuka zarządzania. Kaizen to ciągle rozwiązywanie problemów, inaczej nieustanne doskonalenie i usprawnianie organizacji dzięki wykorzystaniu wiedzy i zaangażowania pracowników. To ciągła identyfikacja i eliminacja marnotrawstw. To stałe zaangażowanie wszystkich pracowników, by firma wciąż była Lean. Kaizen to metoda ciągłego doskonalenia, która skupia się na usprawnianiu miejsca pracy, procesów produkcyjnych oraz codziennych czynności. Jej dwa główne filary to wprowadzanie ulepszeń i stałe dążenie do poprawy. Celem Kaizen jest skracanie czasu realizacji zadań, podnoszenie jakości pracy oraz ustalanie kryteriów oceny i nagradzania efektywności działań. Metoda ta przede wszystkim wspiera redukcję kosztów poprzez identyfikację i eliminację marnotrawstwa. Kaizen promuje współpracę w firmie i tworzy kulturę rozwiązywania problemów wewnętrznych, koncentrując się na procesach i sposobach zarządzania, a nie na indywidualnej ocenie wyników pracowników.

Zasadą Kaizen jest ciągle doskonalenie procesów poprzez wprowadzanie stopniowych, systematycznych zmian. W ramach tych działań dąży się do skrócenia czasu realizacji poszczególnych etapów pracy, podniesienia jakości wykonywanych zadań oraz wprowadzania ulepszeń technicznych, które pozwalają lepiej dostosować systemy do potrzeb produkcji. Ważnym celem jest również obniżanie kosztów operacyjnych oraz tworzenie jasnych kryteriów oceny i nagradzania pracowników za wprowadzane usprawnienia. Realizacja tych zmian zwiększa efektywność pracy, a jednocześnie może poprawiać ergonomię stanowisk i bezpieczeństwo w miejscu pracy, tworząc środowisko sprzyjające zarówno wydajności, jak i komfortowi pracowników.

W praktyce Kaizen często przyjmuje sformalizowaną postać, obejmując kilka kluczowych elementów. Po pierwsze, wyznacza się osobę odpowiedzialną za program, która nadzoruje jego realizację, szkoli pracowników i popularyzuje ideę Kaizen. Po drugie, wprowadza się formularze zgłaszania usprawnień, które mogą być składane papierowo lub elektronicznie. Następnie podejmowana jest decyzja o akceptacji lub odrzuceniu wniosku,



zwykle zależnie od jego rodzaju i znaczenia, a w procesie mogą uczestniczyć przełożeni lub odpowiednie zespoły. Po zatwierdzeniu wniosku realizowane są proponowane działania, wykonywane przez autora, koordynatora programu lub przypisane działu. Na końcu ogłasza się przyjęte pomysły, a najlepsze pomysły są nagradzane, często w formie zestawień lub tabel pokazujących zrealizowane usprawnienia. Cały proces ma na celu nie tylko wprowadzanie ulepszeń, ale także motywowanie pracowników do aktywnego udziału w doskonaleniu pracy.

3. Lean w praktyce

3.1. Rozwiązywanie problemów

W podejściu Lean kluczowe znaczenie ma systematyczne rozwiązywanie problemów, które pozwala na eliminację marnotrawstwa i ciągłe doskonalenie procesów. Jedną z podstawowych metod jest cykl PDCA (Plan-Do-Check-Act), który obejmuje planowanie działań naprawczych, ich wdrożenie, sprawdzenie skuteczności oraz standaryzację rozwiązań. Kolejnym narzędziem jest metoda 5 Why, polegająca na wielokrotnym zadawaniu pytania „dlaczego?” w celu zidentyfikowania pierwotnej przyczyny problemu, a nie tylko jego skutków. Obie metody wspierają kulturę Lean, pozwalając zespołom produkcyjnym na szybkie reagowanie na problemy, podejmowanie skutecznych działań korygujących i wprowadzanie trwałych usprawnień.

Metoda **5 Why** to systematyczne podejście służące do identyfikowania pierwotnych przyczyn problemów oraz doskonalenia procesów. Polega ono na wielokrotnym zadawaniu pytania „dlaczego?” w odniesieniu do zaistniałej sytuacji, co umożliwia stopniowe odkrycie rzeczywistej przyczyny problemu, zamiast zajmowania się jedynie jego skutkami (Jękał, Małyś, 2022). Zgodnie z filozofią Lean zakłada się, że problemy rzadko są winą ludzi, a znacznie częściej rezultatem źle zaprojektowanych procesów. Dlatego 5W pomaga skupić się na usprawnianiu systemów, standardów pracy i sposobu podejmowania decyzji, zamiast obwiniać pracowników.

Stosowanie metody 5W w Lean Management pozwala wyjść poza doraźne działania skupione wyłącznie na skutkach problemów. Poprzez konsekwentną analizę kolejnych przyczyn organizacja identyfikuje rzeczywiste źródło nieprawidłowości, a jego eliminacja ogranicza ryzyko ich ponownego pojawienia się. W podejściu Lean oznacza to zmianę z działań reaktywnych na świadome, długofalowe doskonalenie procesów. Metoda 5W znajduje zastosowanie w wielu narzędziach Lean, takich jak cykl PDCA, raport A3 czy inicjatywy



Kaizen. W ich ramach pełni funkcję narzędzia analitycznego, które wspiera rozpoznanie i zrozumienie problemu już na etapie planowania. Dzięki swojej prostocie jest użyteczna zarówno dla pracowników operacyjnych, jak i kadry zarządzającej, co pomaga budować wspólne, spójne podejście do rozwiązywania problemów w całej organizacji (Paul Brunet, New, 2003).

Przykład zastosowania narzędzia 5Why przedstawiono poniżej (rysunek 8).



Rysunek 4. Zastosowanie metody 5 Why w praktyce

Źródło: opracowanie własne.

Analiza problemu awarii maszyny produkcyjnej przeprowadzona metodą 5Why wykazała, że bezpośrednią przyczyną było przegrzanie silnika, wynikające z niesprawnego systemu chłodzenia, który nie funkcjonował prawidłowo z powodu zatkanej pompy chłodzenia oraz brudnego filtra, a wszystkie te usterki były konsekwencją braku wdrożonego i przestrzegane harmonogramu konserwacji, stanowiącego przyczynę źródłową problemu; z perspektywy Lean Manufacturing i filozofii TPM oznacza to, że zidentyfikowanie i eliminacja tej przyczyny poprzez wprowadzenie systematycznej, prewencyjnej konserwacji maszyn pozwala nie tylko zredukować liczbę awarii i przestojów, ale również zwiększyć niezawodność



procesów produkcyjnych, optymalizować wykorzystanie zasobów, zmniejszyć koszty napraw awaryjnych oraz wzmocnić kulturę ciągłego doskonalenia procesów, co jest kluczowym elementem efektywnego zarządzania produkcją w warunkach Lean.

PDCA to metoda rozwiązywania problemów bazująca na cyklu Deminga (PDCA), która jest powszechnie stosowana jako praktyczne narzędzie realizacji idei ciągłego doskonalenia Kaizen (Obora, 2010). Sednem PDCA jest zastosowanie cyklu Deminga jako narzędzia ciągłego doskonalenia organizacji poprzez systematyczne rozwiązywanie pojawiających się problemów. Proces ten nie tylko prowadzi do eliminowania istniejących trudności, ale także sprzyja ujawnianiu i identyfikowaniu kolejnych obszarów wymagających usprawnień przez członków organizacji.

Cykl PDCA rozpoczyna się od fazy **Plan**, w której identyfikuje się problem, określa jego zakres i analizuje przyczyny. W Lean Management do tego celu często stosuje się narzędzia takie jak 5 Why, diagram Ishikawy czy mapowanie strumienia wartości. Celem tej fazy jest zaprojektowanie rozwiązania eliminującego źródło problemu, a nie tylko jego objawy, oraz ustalenie wskaźników umożliwiających ocenę skuteczności działań. W fazie **Do** zaplanowane rozwiązania są wdrażane w praktyce, zwykle w ograniczonym zakresie lub w formie pilotażu. Testowanie zmian odbywa się tak, aby nie zakłócać całego procesu, a pracownicy zaangażowani w działania mogą obserwować efekty i dostarczać dane operacyjne. Faza **Check** polega na porównaniu rzeczywistych wyników z założeniami planu. Analizuje się wtedy mierniki efektywności, jakość, czas realizacji i inne wskaźniki istotne dla organizacji i klienta. Etap ten pozwala obiektywnie ocenić skuteczność wprowadzonych zmian i wychwycić ewentualne odchylenia. W ostatniej fazie **Act** podejmowane są decyzje co do dalszych działań. Jeśli rozwiązanie okazało się skuteczne, wprowadza się je na stałe i standaryzuje w całej organizacji. Jeśli efekty są częściowe lub nie przynoszą oczekiwanych rezultatów, wyciąga się wnioski i rozpoczyna kolejny cykl PDCA, wykorzystując zdobyte doświadczenia. W ten sposób cykl staje się narzędziem uczenia się i ciągłego doskonalenia organizacji.

Metodyka PDCA zakłada dziewięć etapów procesu rozwiązywania problemów, skorelowanych z kolejnymi fazami pętli Deminga (rysunek 9):



Fazy cyklu PDCA	Etapy procesu rozwiązywania problemów	Metody i techniki pomocnicze
Plan	1. Stawianie pytań i identyfikacja problemu	techniki badań społecznych, analiza 5W&2H
	2. Tworzenie zespołu projektowego	techniki badań społecznych
	3. Analiza obecnej sytuacji (procesu)	arkusz kontrolny, flow chart
	4. Określenie celu do osiągnięcia	SMART
	5. Identyfikacja przyczyn problemu i opracowanie rozwiązań	Burza mózgów, wykres Ishikawy, diagram Pareto, analiza 5xWhy, wykres korelacji, flow chart
	6. Wyznaczanie priorytetów i podejmowanie decyzji	metoda grupy eksperckiej, rankingi
Do	7. Wdrażanie i doskonalenie rozwiązań	wykres Gantt'a, action plan
Check	8. Kontrola i ocena rozwiązań	karty kontrolne Shewharta, analiza SWOT
Act	9. Wdrożenie nowego standardu	wykres Ishikawy, wykres Gantt'a, action plan

Rysunek 9. Metodyka PDCA

Źródło: (Obora, 2010).

W Lean Management cykl PDCA jest ściśle powiązany z filozofią Kaizen i stanowi fundament systematycznego doskonalenia procesów. Jego regularne stosowanie wspiera rozwój kultury ciągłego usprawniania, opartej na analizie danych, faktach oraz aktywnym udziale pracowników na wszystkich szczeblach organizacji. PDCA pozwala nie tylko skutecznie rozwiązywać bieżące problemy, lecz także zapobiega ich ponownemu pojawianiu się, wprowadzając trwale zmiany w standardach pracy i sposobie zarządzania.

3.2.Zarządzanie wizualne

Zarządzanie wizualne (ang. *Visual Management*) w Lean Management polega na stosowaniu przejrzystych narzędzi wizualnych oraz sygnałów w miejscu pracy, które umożliwiają szybkie przekazywanie informacji, kontrolę przebiegu procesów oraz sprawną komunikację w zespole. Dzięki temu pracownicy mogą w każdej chwili ocenić aktualny stan procesów, zidentyfikować odchylenia od normy i podjąć odpowiednie działania korygujące.



Zarządzanie wizualne polega na przejrzystym przedstawianiu procesów, informacji i standardów pracy w formie wizualnej w miejscu pracy, tak aby wspierało procesy oraz stymulowało ich doskonalenie. Głównym celem jest szybkie przekazywanie informacji, zmiana zachowań pracowników oraz uruchamianie cyklu ciągłego usprawniania.

Kluczowe funkcje zarządzania wizualnego:

1. Wizualizacja problemów i marnotrawstwa – np. wadliwe części trafiają do wyraźnie oznaczonej skrzyni, co umożliwia ich analizę i korektę.
2. Zapobieganie marnotrawstwu – np. brakujące materiały sygnalizowane są w widoczny sposób, co pozwala na szybkie uzupełnienie zapasów.
3. Dostępność informacji – instrukcje, standardy i dane wydajności są umieszczone w zasięgu wzroku pracowników.
4. Przejrzystość procesów i wyników – wszyscy mają wgląd w aktualne poziomy wydajności i przestrzeganie standardów.
5. Natychmiastowa identyfikacja odstępstw – odchylenia od ustalonych procedur stają się od razu widoczne (np. nieodłożone narzędzia).
6. Zwiększanie zaangażowania pracowników – regularne pokazywanie wyników i postępów motywuje zespoły do aktywnego udziału i poprawy wyników.

Zarządzanie wizualne to metoda w zarządzaniu, która wykorzystuje różnorodne narzędzia wizualne – takie jak tablice, wykresy, diagramy czy mapy procesów – w celu ułatwienia monitorowania wyników, komunikacji w zespole oraz podejmowania decyzji. Wśród najczęściej stosowanych narzędzi znajdują się tablice **KPI (Key Performance Indicators)**, które pozwalają skutecznie śledzić kluczowe wskaźniki wydajności organizacji. Zarządzanie wizualne to metoda wykorzystująca obrazy i wizualizacje do przekazywania kluczowych informacji. Umożliwia ona pracownikom i menedżerom szybsze podejmowanie decyzji oraz usprawnienie komunikacji, zapewniając szybki dostęp do najważniejszych danych bez konieczności przeszukiwania raportów czy organizowania dodatkowych spotkań.

Zarządzanie wizualne przynosi szereg istotnych korzyści dla organizacji i jej pracowników. Przede wszystkim zwiększa **przejrzystość procesów i wyników** – dzięki czytelnym wizualizacjom zarówno pracownicy, jak i menedżerowie mogą szybko zorientować się w aktualnych celach i osiągnięciach organizacji. Kolejną zaletą jest **usprawnienie komunikacji**. Wizualne narzędzia ułatwiają szybkie przekazywanie informacji między zespołami oraz na poziomie kierowniczym, eliminując nieporozumienia i przyspieszając



przepływ informacji. Zarządzanie wizualne wspiera również **szybsze podejmowanie decyzji**. Menedżerowie, mając natychmiastowy dostęp do kluczowych danych i wskaźników, mogą szybko identyfikować problemy i wdrażać odpowiednie działania korygujące lub usprawniające procesy. Wreszcie, stosowanie wizualizacji zwiększa **motywację i zaangażowanie pracowników**. Dzięki widoczności wpływu własnej pracy na realizację celów organizacji, pracownicy mogą lepiej rozumieć znaczenie swoich działań, co pozytywnie wpływa na ich zaangażowanie i chęć udziału w procesach doskonalenia.

Zarządzanie wizualne opiera się na kilku kluczowych narzędziach, które umożliwiają przejrzyste monitorowanie procesów i wyników w organizacji:

- a) Tablice i wykresy – zarówno w formie fizycznej, jak i cyfrowej, są używane do prezentacji wyników, postępów projektów, celów oraz wskaźników efektywności. Pozwalają one pracownikom i menedżerom w szybki sposób ocenić aktualny stan procesów i osiągnięcia zespołów.
- b) Mapy procesów – wizualizacje procesów biznesowych pomagają zrozumieć, jak poszczególne zadania są powiązane oraz jakie mają priorytety. Dzięki nim łatwiej identyfikować miejsca, w których mogą pojawić się problemy lub opóźnienia.
- c) Kolorowe oznaczenia – stosowanie kolorów pozwala kategoryzować dane i wskazywać obszary wymagające uwagi. Przykładowo, czerwony sygnalizuje problem, a zielony oznacza, że zadania zostały wykonane pomyślnie.
- d) Wskaźniki statusu – wizualizacja statusu projektów lub zadań za pomocą ikon, takich jak zielony (zadanie zakończone), żółty (w trakcie realizacji) czy czerwony (opóźnione), umożliwia szybkie wychwycenie odchyleń od planu i podjęcie odpowiednich działań.

W Lean Management zarządzanie wizualne pozwala na sprawne przekazywanie informacji, śledzenie przebiegu procesów oraz wspomaganie podejmowania decyzji. Dzięki stosowaniu tablic, wykresów, map procesów i kolorowych oznaczeń, odchylenia i problemy są szybko identyfikowane, a działania usprawniające wdrażane sprawniej. Ponadto zwiększa zaangażowanie pracowników i promuje kulturę ciągłego doskonalenia.



Bibliografia

- Al Smadi, S. (2009). Kaizen strategy and the drive for competitiveness: challenges and opportunities. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 19(3), 203-211.
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2000). *The lean toolbox* (Vol. 4). Buckingham: PICSIE books.
- Czerski, J. (2006). Total productive maintenance. *Politechnika Gdańska*. Pobrano z: www.zie.pg.gda.pl (26.11.2025).
- Damrath F. (2012), Increasing Competitiveness of Service Companies: Developing Conceptual Models for Implementing Lean Management in Service Companies, Politecnico di Milano, Milano.
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., & Martínez-Loya, V. (2019). Impact Analysis of Total Productive Maintenance. *Impact Analysis of Total Productive Maintenance*, 5(1), 71-74.
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, 36(1), 95-102.
- Frąś, J., Frąś, T., Frąś, I., & Frąś, M. (2018). Współczesne koncepcje zarządzania utrzymaniem ruchu maszyn w systemach produkcyjnych. *Studia i Prace WNEiZ US*, 53, 65-75.
- Furman, J. (2016). Poprawa skuteczności utrzymania maszyn w przedsiębiorstwie produkcyjnym–studium przypadku. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, 2.
- Furman, J., & Małysa, T. (2023). The role of visual management in the organization of safe work in production companies. *Production Engineering Archives*, 29(2), 195-200.
- Gundlach, M. (2009). Praktyki 5S jako pierwszy krok do wdrożenia produkcji odchudzonej w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Rozwinięcie teorii 6S, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Organizacja i zarządzanie, 1064(45).
- Huber Z. (2006), Poka-Yoke. Wyd. 1. Dostępne na: <http://www.huber.pl/files/art-4.pdf> (dostęp: 29.12.2020).
- Jękal, A., & Małysa, T. (2022). Zastosowanie wybranych narzędzi lean manufacturing i jakości w zakresie poprawy organizacji produkcji. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 25(1-2), 2-6.
- Kato, I. (2017). *Toyota Kaizen methods: Six steps to improvement*. CRC press.
- Kisiel, P. (2017). Koncepcja wdrożenia wybranych metod Lean Production w przedsiębiorstwie produkcyjnym. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18(6).
- Kosieradzka, A. (2012). *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*. CH Beck



- Kosieradzka, A., Lis, S. (1996). *Produktywność. Metody analizy oceny i tworzenia programów poprawy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Krasoń, P. (2016). Wykorzystanie wskaźnika OEE w koncepcji kompleksowego utrzymania ruchu. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Łódzka*.
- Król, T. (2021). *Lean management po polsku: o dobrych i złych praktykach: 11 i pół powodu, dlaczego zmiana się nie udaje*. Onepress.
- Kwiatkowski, M., Lorenc, K., Nowicka, D., Prosół, H., Sikora, M., Pham, L., & Univercity, A. P. (2016). Lean Management jako instrument zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa. *Management Systems in Production Engineering*, 1(21), 31-36.
- Liker, J. (2020). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Lonkwić, P. (2023). Metody upraszczania procesów produkcyjnych w aspekcie braków kadrowych. *Obróbka Metalu*, (3), 16-20.
- Mann, D. (2005). *Creating a lean culture: tools to sustain lean conversions*. Productivity Press.
- Myszewski J. (2009), Po prostu jakość. Podręcznik zarządzania jakością. Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa.
- Obora, H. (2010). Podejście PDCA Problem Solving w rozwiązywaniu problemów organizacji.
- Ohno, T. (2019). *Toyota production system: beyond large-scale production*. Productivity press.
- Paul Brunet, A., & New, S. (2003). Kaizen in Japan: an empirical study. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(12), 1426-1446.
- Piasecka-Głuszak, A. (2013). Korzyści z wdrożenia Lean management w polskich przedsiębiorstwach w dobie kryzysu–wyniki badań ankietowych. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* (315 vol 2), 99-111.
- Piasecka-Głuszak, A. (2013). Poprawa innowacyjności i konkurencyjności polskich przedsiębiorstw przez zastosowanie koncepcji lean management. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, (57).
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean enterprise institute.
- Shingo S. (1985), Zero quality control: source inspection and the Poka-Yoke system. Trans. A.P. Dillion. Portland, Oregon.
- Shingo, S. (2019). *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Routledge.



- Taufik, D. (2020). PDCA cycle method implementation in industries: A systematic. *IJIEM (Indones J Ind Eng Manag)*, 1(3), 157-166.
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of manufacturing technology management*, 27(6), 766-799.
- Trojanowska, J., Kolińska, K., & Koliński, A. (2011). Stosowanie narzędzi Lean w przedsiębiorstwach produkcyjnych jako skuteczny sposób walki z kryzysem gospodarczym. *Problemy zarządzania*, (1/2011 (31), 34-52.
- Wireman, T. (2004). *Total productive maintenance*. Industrial Press Inc.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2008). *Maszyna, która zmieniła świat*. ProdPress.com.
- Zieliński, P. (2015). Zorganizowany proces. *Kaizen* 4(12).
- Zlatić, M. (2019). TPM–Total productive maintenance. *Proceedings on Engineering Sciences*, 1(2), 581-590.