

**Michał Jakubiak**<sup>1</sup>

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

**Paweł Michalski**<sup>2</sup>

Politechnika Łódzka

## Wpływ procesu komisjonowania zamówień w węzle logistycznym na dostępność produktów w łańcuchu dostaw

### 1. WSTĘP

Globalizacja działalności gospodarczej jest powszechnym elementem współczesnej ekonomii. Firmy operujące w otwartych systemach gospodarczych poszukują metod i narzędzi pozwalających wzmocnić przewagę konkurencyjną i efektywność funkcjonowania. Taką szansę dają udoskonalenia w obszarze logistyki, a zwłaszcza łańcuchów dostaw. Powiązane ze sobą łańcuchy dostaw, wzajemnie konkurują, przejmując rolę strategiczną w walce o przewagę konkurencyjną. Logistyka nie pełni już roli czysto operacyjnej, związanej jedynie z przepływami dóbr, lecz jest zaliczana do grupy narzędzi strategicznych, pozwalających zwiększyć szansę utrzymania się na rynku.

Zmieniają się również gospodarki narodowe wielu krajów. Z roli wytwórców przechodzą one bardziej do roli odbiorców produktów i usług. Powoduje to, iż pomiędzy różnymi podmiotami gospodarczymi, a nabywcą końcowym następuje coraz bardziej zintensyfikowany przepływ produktów i informacji. Stanowi on nieodzowny element współczesnej gospodarki i pozwala uczestniczyć w konkurencji o klienta praktycznie w każdym zakątku świata. Niesie on też wiele wyzwań i zagrożeń zarówno dla funkcjonowania poszczególnych przedsiębiorstw jak i gospodarki w znaczeniu makroekonomicznym. Choć przepływ towarów jest dziś powszechny nie oznacza to, że nie nastęrcza żadnych problemów stąd też znaczenie koordynacji działań zaczyna odgrywać kluczową rolę dla efektywności całego procesu przepływu.

### 2. DOSTĘPNOŚĆ PRODUKTÓW

Podstawą konkurencji w handlu detalicznym, w obszarze logistyki, jest zapewnienie odpowiedniej dostępności produktów. Niedobór artykułów jest zjawiskiem nagminnym. Dotyczy zarówno produktów o wysokiej rotacji jak i tych, których klienci poszukują okazjonalnie. Brak na „półce” poszukiwanego przez odbiorcę dobra w momencie jego zainteresowania, może spowodować negatywne reakcje, których najłagodniejszą konsekwencją, może być opuszczenie sklepu i utracona korzyść wynikająca ze sprzedaży.

W obecnych czasach, dobra promocja i wysoka jakość towaru nie są już gwarantem sukcesu firmy. Porter M.E.<sup>3</sup> wskazuje, iż podstawowym źródłem przewagi konkurencyjnej jest możliwość dostarczenia przez dane przedsiębiorstwo produktów na rynek zgodnie z oczekiwaniami potencjalnych nabywców.

Zapewnienie dostępności produktów wymaga zwrócenia uwagi na sześć zasad: odpowiednie towary, w odpowiedniej ilości, we właściwym stanie, dostarczone do właściwego miejsca, we właściwym czasie i za właściwą cenę.

---

<sup>1</sup>michal.jakubiak@ue.wroc.pl

<sup>2</sup>pawel.michalski@p.lodz.pl

<sup>3</sup>Porter M.E., (2001), Porter o konkurencji, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, s. 93-96

Dostępność produktów jest efektem finalnym funkcjonowania systemów logistycznych, których funkcjonowanie można przedstawić jako cykl składający się z następujących elementów:

- wybrane produkty (odpowiednie towary)
- prognozowanie i zamówienia (odpowiednia ilość i cena)
- zarządzanie zapasami i dystrybucja (właściwe miejsce, czas i cena)
- świadczenia na rzecz klientów (właściwe miejsce, czas i cena).

Wymienione elementy, to nic innego jak opis cech charakteryzujących samo pojęcie dostępności.

W literaturze stosunkowo mało jest definicji określających dostępność produktów. Można ją zdefiniować m.in., jako dostawę pełnowartościowego towaru w miejscu i czasie wymaganym przez klienta. Choć brzmi to dość lakonicznie i prosto, w praktyce jest to skomplikowany proces, na który wpływa wiele wzajemnie powiązanych czynników, w tym dostawców, producentów, sprzedawców detalicznych, hurtowni i sklepów. Zapewnienie dostępności na odpowiednim poziomie jest zagadnieniem dotyczącym całego rynku, mającym wpływ na wszystkich uczestników łańcuchów dostaw.

Jeśli produkt nie jest dostępny w czasie, gdy klient chce go kupić, oznacza to, że zawiódł system logistyczny. Nie jest zatem zaskoczeniem, że podstawowym celem zarządzających przepływem produktów w łańcuchach dostaw, jest zapewnienie dostatecznej obsługi klienta, której głównym wymogiem jest dostępność tego co chce nabyć w danej chwili.

Pojęcie dostępność produktów jest również szeroko omawiane w kręgach osób zajmujących się sprzedażą i marketingiem. Badane są zjawiska wpływu jej braku na preferencje zakupowe klientów. Jedną z takich obserwacji jest stwierdzenie, iż o ile po raz pierwszy, klienci będą skłonni do zakupu zastępczego, być może wybiorą inną markę lub wielkość opakowania. To, jeżeli sytuacja powtórzy się po raz trzeci, odbiorcy najprawdopodobniej w ogóle nie dokonają zakupu i zmieniają sklep (lub dostawcę).

Na rynku, gdzie wzrost jest trudno zauważalny, poprawa dostępności jest postrzegana, jako silny mechanizm zwiększenia sprzedaży i utrzymania lojalności klientów.

Ważnym elementem badań w obszarze dostępności produktów, są sposoby jej mierzenia i opisywania. Szczególnie ciekawe mierniki przedstawione zostały na przykładzie branży FMCG. Wyróżnione zostały następujące metody:

- jakościowa – zadawanie klientom pytań dotyczących zakupów, w tym dotyczących dostępności produktów
- fizyczna – ręczne sprawdzenie, czy produkt jest na półce. Badanie może być przeprowadzone we własnym zakresie lub przez zewnętrzną organizację
- technologiczna – za pomocą urządzenia do automatycznego sprawdzania, czy produkt jest na półce
- systemowa – analiza danych w celu określenia, czy produkty są dostępne

Po pomiarze dostępności i zrozumieniu przyczyny, kolejnym wyzwaniem jest określenie i wybór najwłaściwszej strategii działania. Z grupy najczęściej stosowanych można wymienić m.in.:

- planowanie popytu – inwestowanie w systemy i procesy wewnętrzne, aby łańcuchy dostaw mogły lepiej reagować na zmiany popytu. Większa ilość danych, pochodząca z wielu źródeł, jest brana pod uwagę. Celem jest dostarczenie danych operacyjnych dotyczących oczekiwanej wielkości sprzedaży.
- poprawa dokładności w procesie kompletacji w węźle logistycznym – kontrola istniejących procesów w celu poprawy lub inwestowanie w nowe systemy tj. kompletacja sterowana głosem
- poziom zapasów - upewnienie się, że dane o poziomie zapasów w węźle logistycznym są precyzyjne, poprzez sprawdzenie bieżących procesów i systemów. Sprawdzenie czy istnieje możliwość poprawy.

Dostępność produktów to obszar badań, który ciągle się rozwija zarówno w literaturze naukowej oraz przede wszystkim w praktycznych projektach. Coraz łatwiej mierzyć jej poziom i określać wymagania klientów. Dane są lepszej jakości, bardziej wszechstronne i dostępne od większej liczby sprzedawców i dystrybutorów. Dodatkowo, systemy wykorzystywane do analizy i interpretacji tych danych stają się coraz bardziej wyrafinowane. Takie systemy generują informacje nie do osiągnięcia metodą manualną. Dzięki temu czas, pieniądze i inne zasoby mogą być inwestowane w ludzi, którzy podejmują działania na podstawie danych uzyskanych ze wspomnianych systemów.

Dostawcy zaczynają odgrywać coraz ważniejszą rolę w procesie przepływu produktu przez łańcuch dostaw – na półkę. Projekty współpracy między dostawcami a detalistami są coraz bardziej powszechne, a dane mogą wspierać dostawców w tej roli, dając im podgląd na łańcuch dostaw, nawet jeśli jest on poza ich bezpośrednią kontrolą.

Dane będą coraz częściej wykorzystywane do prowadzenia działań i rozwiązywania problemów, a nie jedynie w kategoriach informacyjnych. Systemy będą wykorzystane do identyfikacji, a ludzie do podejmowania działania.

Środowisko detaliczne jest niezwykle konkurencyjne, a konsumenci są coraz bardziej wymagający - poprawa dostępności jest niezbędne. Firmy muszą współpracować w całym łańcuchu dostaw w celu maksymalizacji sprzedaży, utrzymania klientów i dzielenia się nabytym doświadczeniem.

### 3. KOMISJONOWANIE ZAMÓWIEŃ

Liczne badania wykazują, iż jednym z głównych elementów, na które należy zwrócić uwagę, przy zapewnieniu dostępności produktów w akceptowalnym przez odbiorcę czasie, są operacje wykonywane w węzłach logistycznych związane z przepływem dóbr. Procesem wykonywanym w węzłach logistycznych, który stanowi podstawowy aspekt przygotowania zamówienia zgodnie z wymaganiami klienta jest komisjonowanie. Operacyjna część tego procesu określana jest mianem kompletacji. W przypadku przygotowywania zestawów na produkcję nie ma konieczności wprowadzania nowego terminu i pozostajemy przy terminie kompletacji. W operacjach przygotowania produktów do wysyłki zgodnie z zamówieniem klientów, samo określenie kompletowanie nie odzwierciedla wagi wykonywanego procesu. Nastąpiła konieczność wprowadzenia terminu, w którym techniczne operacje dopełnione zostaną czynnościami związanymi z przygotowaniem i wydawaniem dokumentów, dyspozycji itp.

Proces łączący operacje techniczne (kompletację) z czynnościami administracyjnymi takimi jak przygotowanie zleceń wydania, powiązanych z przejmowaniem odpowiedzialności prawnej za prawidłowość wykonywanych operacji jest określany mianem **komisjonowania**.<sup>4</sup>

Proces komisjonowania definiowany jest w sposób niejednorodny. Ghiani G., Bartholdi J.J. i Hackman S.T. opisują, komisjonowanie, jako proces (ang. *order picking*) logistycznych czynności operacyjnych i organizacyjnych. Polega na zestawieniu określonych podzbiorów (artykułów) z przygotowanego zbioru całkowitego (asortymentu), na podstawie informacji o zapotrzebowaniu w postaci zlecenia. Następuje przy tym zmiana stanu specyficznego dla składowania materiałów w stan charakterystyczny dla wydania materiałów.<sup>5</sup> Komisjonowanie według definicji Petersen C., Aase R., Heiser D. to wyszukiwanie i kompletowanie z miejsc odkładczych węzła logistycznego, odpowiednich produktów, widniejących na zamówieniu złożonym przez klienta w sposób adekwatny do jego wymagań.<sup>6</sup>

W praktyce występuje wiele różnych systemów komisjonowania. Głównym czynnikiem klasyfikujących jest rola, jaką w procesie kompletacji zamówień pełni człowiek.

Występują dwie główne grupy systemów komisjonowania. Tzw. „ręczne” systemy komisjonowania (ang. *employing humans*), czyli te, w których człowiek odgrywa rolę wiodącą, ze swoim najpopularniejszym przykładem „człowiek-do-produktu” (ang. *picker-to-part*) występują najczęściej w rzeczywistych magazynach (według badań De Koster stanowią około 94% wszystkich systemów komisjonowania).<sup>7</sup> Systemy komisjonowania automatyczne, czyli te, w których człowiek pełni m.in.

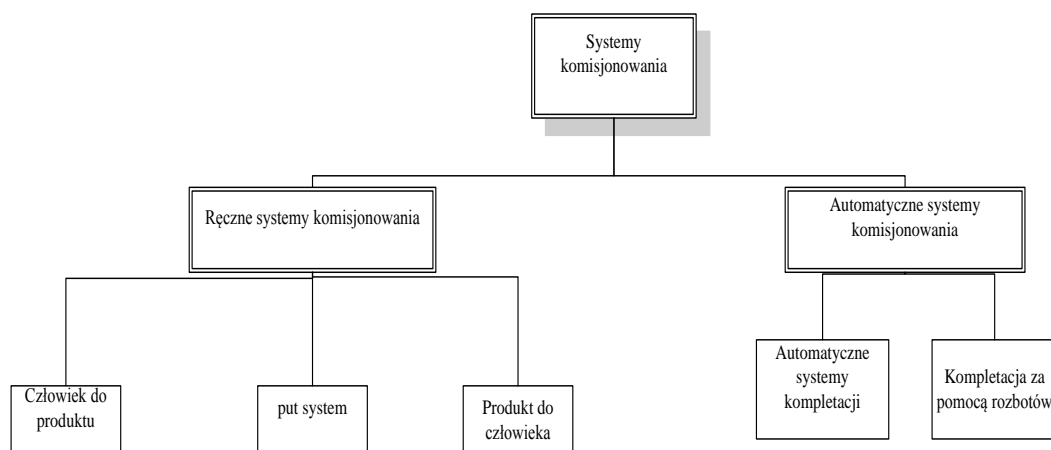
<sup>4</sup> Jakubiak M., *Komisjonowanie produktów jako element sterowania przepływami w węzłach logistycznych*, praca doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 2013, s. 99

<sup>5</sup> Ghiani G., (2004), *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, West Sussex

<sup>6</sup> Petersen C., Aase R., Heiser D., (2004), *Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Volume 34, Issue: 7, s. 534-544

<sup>7</sup> De Koster, R. (2008). Warehouse assessment in a single tour. Facility Logistics. Approaches and Solutions to Next Generation Challenges. M. Lahmar. New York: Auerbach. Taylor & Francis Group: 39-60

rolę nadzorcy procesu lub/oraz podmiotu wysyłającego zamówiony produkt występują rzadziej aczkolwiek coraz częściej wypierają tradycyjne metody kompletacji.



**Rys. 1.** Klasyfikacja systemów komisjonowania

Źródło: De Koster, (2008), *Warehouse assessment in a single tour, Facility Logistics. Approaches and Solutions to Next Generation Challenges*, M. Lahmar (ed.), New York: Auerbach - Taylor & Francis Group, s. 39-60

Systemy komisjonowania, w których to człowiek wykonuje większość czynności, swoją popularność zawdzięczają głównie względom ekonomicznym tzn. mniejszymi kosztami wdrożenia oraz tym, iż w przeciwieństwie do strategii zautomatyzowanych sprawdzają się dobrze wtedy, gdy należy kompletować stosunkowo dużo artykułów o różnych wymiarach i kształtach.

Komisjonowania jest najbardziej pracochłonnym procesem, który według różnych badań stanowi od 55 %<sup>8</sup> do 65%<sup>9</sup> wszystkich kosztów operacji wykonywanych w węzłach logistycznych. Wyniki tych badań powodują, iż tematyka związana z próbami usprawnienia systemów komisjonowania nabrała szerokiego znaczenia zarówno w pracach naukowych jak i przede wszystkim projektach praktycznych, których celem jest zwiększenie efektywności procesu przy jednoczesnym zmniejszeniu zaangażowania kosztowego zasobów.

Badania przeprowadzone w magazynach operatorów logistycznych na terenie Niemiec pozwoliły wyodrębnić najistotniejsze, podstawowe grupy czasowe procesu komisjonowania zamówień. Prezentowany udział procentowy wskazuje obszary, które w największy sposób wpływają na czas realizacji zamówień w magazynach.

**Tab 1.** Udział procentowy czasów operacji w całkowitym czasie komisjonowania

Podstawowe grupy czasowe komisjonowania	Procentowy udział w czasie komisjonowania (%)
Czas bazowy	5-10
Czas drogi	około 50
Czas przestojów	10-25
Czas podjęcia towaru	25-35
Czas czynności dodatkowych	Zależny od uwarunkowań przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie na podstawie Martin H., (2002), *Transport- und Lagerlogistik - Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage*, Vieweg Verlag: Braunschweig/Wiesbaden, Wiesbaden

Analizując tabelę 1, nie dziwi fakt, iż naukowcy i praktycy logistyki swoje szczególne zainteresowanie kierują w stronę zagadnień związanych z minimalizacją czasu potrzebnego na przebycie określonej drogi pomiędzy punktami przyjęcia zlecenia, miejscami pobrania i punktem

<sup>8</sup> Frazelle E.H., Apple J.M., (1994), *Warehouse Operations in The Distribution Management Handbook*, McGraw-Hill, New York

<sup>9</sup> Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J. Jr., (2002), *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa

wydania towaru.<sup>10</sup> Spośród licznych algorytmów wspomagających rozwiązanie problemu minimalizacji trasy kompletacji, największą popularnością cieszą się metody heurystyczne takie jak S-shape, Return, Largest-gap, Midpoint, Combined (szczegółowy opis znajdziemy w pracy Koster R., Le-Duc T., Roodberger K., 2007) oraz algorytm o rozwiązaniu dokładnych [Ratlif H.D., Rosenthal A.S., 1987], który ma jednak ograniczone zastosowanie w praktyce.

Drugim problemem rozważanym w ramach prac związanych z komisjonowaniem jest sposób przechowywania towarów w magazynie (ang. storage policies). Pod pojęciem tym rozumiana jest strategia właściwego dla danego przedsiębiorstwa przyporządkowywania produktów do miejsc składowania w przestrzeni magazynowej. Pojawiają się tu dwa podstawowe pytania: techniczne i zarządcze. Pierwsze z nich szuka odpowiedzi, jakich narzędzi i technik użyć, aby dany towar miał jak najlepsze warunki przechowywania przy jednoczesnym maksymalnym wykorzystaniu miejsca magazynowego. Drugie zagadnienie skupia się na przyjęciu właściwej strategii organizacyjnej, która pozwoli dany produkt składować w taki sposób, aby znalezienie go przez magazyniera odbyło się jak najszybszy i jak najtaniej, przy jednoczesnym poprawieniu jakości realizacji zamówień. W ramach strategii zarządczych wykorzystywanych przy ustalaniu sposobów składowania towarów na szczególną uwagę zasługują dwa podejścia. Pierwsze (ang. randomly storage policie), minimalizuje czas potrzebny na odłożenie towaru, jednakże powoduje często znaczne wydłużenie go przy procesie kompletacji. Polega na przechowywaniu produktów w przestrzeni magazynowej w której akurat jest wolne miejsce. Pracownik przyjmujący towar do magazynu odkłada go na dowolne, losowo wybrane miejsce magazynowe kierując się przy tym zazwyczaj zasadą im bliżej od miejsca przyjęcia tym lepiej (z ang. closest open location) [De Koster R., Le-Duc T., Roodberger K., 2007]. Druga reguła składowania towarów, przypisuje produktom w magazynie konkretne miejsca (z ang. assign storage policie), które mogą być wyodrębnione ze względu na kilka czynników z których najbardziej istotnym jest czynnik wprowadzający prostą zasadę według której towary o najszybszej rotacji muszą być ulokowane jak najbliżej punktów wyjścia magazynu tak, aby minimalizować prace potrzebną do ich kompletacji [Kłodawski M., Jacyna M., 2009; Frazelle E.H., Apple J.M., 1994]. Tu najpopularniejsze jest wykorzystanie klasyfikacji ABC przy jednoczesnym rozłożeniu produktów według reguł Volume – based storage (patrz De Koster R., Le-Duc T., Roodberger K., 2007).

Trzeci punkt szeroko omawiany w pracach naukowych to sposób organizacji pracy przy procesie kompletacji (precyzyjny opis znajduje się w pracy m.in. Gibson D. R., Sharp G. P., 1992 oraz Gademann, A.J., Van den Berg J.P., Van der Hoff H.H., 2001).

#### 4. OPIS PROBLEMU BADAWCZEGO

Analizie poddano wpływ reguł przyjętych przy procesie komisjonowania na czas realizacji zamówień w węźle logistycznym typu magazyn. Jak zostało przedstawione w pierwszej części opracowania, czas to główna determinanta wpływająca na dostępność produktów.

Badania zostały przeprowadzone na przykładzie czterech stref kompletacji, których wprowadzenie rozważa jeden z operatorów logistycznych. Niezbędne założenia przyjęto na podstawie analizy literatury oraz obserwacji i doświadczeń praktycznych autorów.

W eksperymencie rozpatrywanych jest wiele aspektów wpływających na czas realizacji procesów kompletacyjnych w magazynie. Są nimi:

- różne reguły składowania produktów - składowanie losowego oraz metody wykorzystujące klasyfikację ABC przy podziale produktów według częstotliwości pobrań *Volume – based storage* (*Within –aisle storage*, *Across –aisle storage*, *Perimeter storage* oraz *Diagonal storage*). Podział procentowy i liczbowy produktów w poszczególnych klasach ABC przedstawia tabela 2.

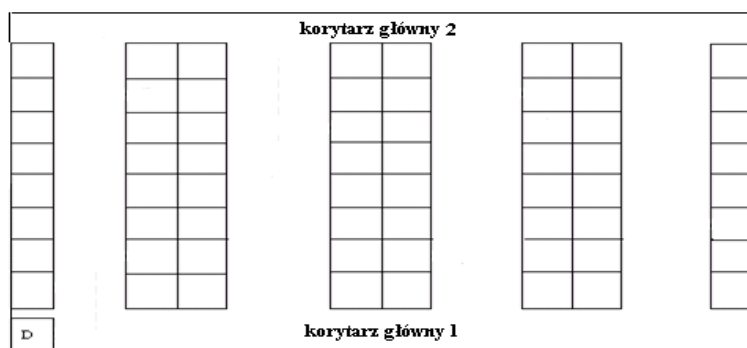
<sup>10</sup> Kłodawski M., Jacyna M., (2009), Wybrane aspekty problematyki komisjonowania w funkcji pracochłonności procesu, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Zeszyt 70, Warszawa, s. 73 - 84

**Tab. 2.** Podział produktów w klasyfikacji ABC przyjęty na potrzeby badań

Grupa	Liczba europalet	Częstotliwość pobrań w %
A	240	80
B	360	15
C	600	5

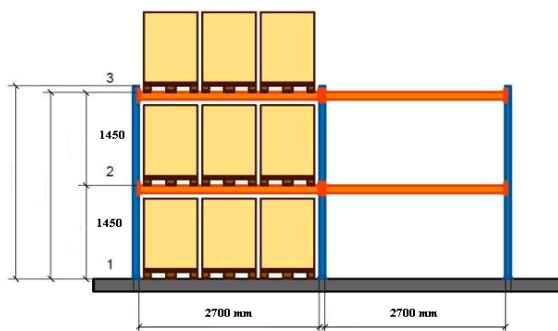
Źródło: Opracowanie własne

- Różne metody wyznaczania trasy podczas procesów kompletacyjnych (algorytm dokładny Rathliffa-Rosenthala oraz heurystyki takie jak *S-shape*, *Return*, *Largest-gap*, *Midpoint*, *Combined*)
- Liczba produktów w zamówieniu waha się i stanowi wielokrotności piątki. Lista kompletacyjna najmniejsza składa się z 5 pozycji, a największa z pozycji 40 (jest to założenie ułatwiające obliczenia, a uwzględniające jednocześnie duży zakres pozycji kompletacyjnych).
- W badaniu rozpatrywane są cztery konfiguracje strefy kompletacyjnej. Wszystkie one zbudowane są według podobnego schematu bardzo charakterystycznego dla wielu węzłów logistycznych (rys. 2.) Wybór takich konfiguracji wynika również z tego, iż możliwe jest dla nich, korzystając z algorytmu Rattlifa i Rosenthala, wyznaczanie optymalnej trasy.

**Rys. 2.** Układ strefy kompletacji rozpatrywanej w badaniach

Źródło: Opracowanie własne

Konfiguracja 1 i 3 strefy kompletacyjnej składa się z miejsc do składowania produktów zwanych rzędami, w których ładunki przechowywane są na paletach bez udziału regałów. Drugi i czwarty układ wykorzystuje regały rzędowe-paletowe zbudowane z modułów zwanych potocznie gniazdami (rys. 3). Każde miejsce paletowe traktowane jest jako pojedyncza lokalizacja w strefie kompletacji.

**Rys. 3.** Układ regału europaletowego

Źródło: Opracowanie własne

Niezależnie od tego czy produkty składowane są przy udziale regałów czy bezpośrednio na podłodze, palety ułożone są rzędowo, jedna obok drugiej, stykając się dłuższymi bokami. Szczegółowy opis wykorzystywanych konfiguracji stref kompletacji zawarty jest w tabeli 3.

**Tab 3.** Dane wejściowe dla 4 konfiguracji strefy kompletacji

Parametry strefy kompletacji	Konfiguracja 1	Konfiguracja 2	Konfiguracja 3	Konfiguracja 4
Liczba europalet	1200	1200	1200	1200
Liczba rzędów	12	12	24	10
Liczba poziomów składowania w rzędzie	1	2	1	3
Liczba palet na każdym poziomie w rzędzie	100	50	50	40
Liczba korytarzy bocznych	6	6	12	5
Liczba korytarzy głównych	2	2	2	2

*Źródło: Opracowanie własne*

Szerokość korytarzy bocznych oddzielających rzędy palet dla wszystkich konfiguracji strefy kompletacji są takie same i wynoszą 2,2 metra. Korytarze główne mają szerokość 3,4 metra, a ich długość zależna jest od liczby rzędów w rozpatrywanym układzie.

- W badaniach autor skorzystał z norm pracy wózka widłowego podanych przez Fijałkowskiego<sup>11</sup> oraz z własnych obliczeń wykonanych na potrzeby eksperymentu.

## 5. WYNIKI BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone metodą symulacyjną za pomocą narzędzia opracowanego przez Jakubiak M, Tarczyński G.<sup>12</sup> Wykonano 1000 replikacji, w których jedna replikacja obejmowała jeden dzień roboczy pracy magazynu. Zamówienia generowane były stochastycznie, z rozkładu jednostajnego. Przy regułach składowania opartych na klasyfikacji ABC prawdopodobieństwa są różne dla każdej klasy, dla składowania losowego prawdopodobieństwa są takie same dla każdego miejsca pobrania. Czasy napływania zamówień do węzła logistycznego są również stochastyczne (rozkład wykładniczy).

Replikacje obejmowały różne warianty symulacyjne na liczbę, których składały się: liczba produktów w zamówieniu (8 wariantów), reguły składowania (5 wariantów), metody poruszania się w strefie kompletacji (6 wariantów) oraz układ strefy kompletacyjnej (4 warianty). Pierwsze wyniki wskazują na rolę decyzji związanej z określeniem metody poruszania się po strefie kompletacji podczas realizacji procesu komisjonowania. Uzyskane wyniki prezentowane są sumarycznie dla wszystkich pięciu reguł składowania i ośmiu wariantów obejmujących różne liczby produktów na liście kompletacyjnej.

**Tab. 4.** Średni czas kompletacji wszystkich zamówień w 1 układzie konfiguracji strefy kompletacji dla różnych metod wyznaczania trasy podczas procesu realizacji zamówień

Metoda	Średni czas kompletacji zamówień	Pogorszenie wyników względem rozwiązania optymalnego (w %)
S-shape	00:41:48	29
Midpoint	00:40:46	25
Return	00:45:17	39
Largest Gap	00:39:10	20
Combined	00:36:20	12
Optimal	00:32:31	-

*Źródło: Opracowanie własne*

<sup>11</sup> Fijałkowski J., 2003, *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa

**Tab. 5.** Średni czas kompletacji wszystkich zamówień w 2 układzie konfiguracji strefy kompletacji dla różnych metod wyznaczania trasy podczas procesu realizacji zamówień

Metoda	Średni czas kompletacji zamówień	Pogorszenie wyników względem rozwiązania optymalnego (w %)
S-shape	00:29:27	17
Midpoint	00:29:57	19
Return	00:32:18	29
Largest Gap	00:28:57	15
Combined	00:27:16	9
Optimal	00:25:07	-

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 6.** Średni czas kompletacji wszystkich zamówień w 3 układzie konfiguracji strefy kompletacji dla różnych metod wyznaczania trasy podczas procesu realizacji zamówień

Metoda	Średni czas kompletacji zamówień	Pogorszenie wyników względem rozwiązania optymalnego (w %)
S-shape	00:37:06	30
Midpoint	00:33:27	17
Return	00:38:55	37
Largest Gap	00:32:11	13
Combined	00:31:49	12
Optimal	00:28:30	-

Źródło: Opracowanie własne

**Tab. 7.** Średni czas kompletacji wszystkich zamówień w 4 układzie konfiguracji strefy kompletacji dla różnych metod wyznaczania trasy podczas procesu realizacji zamówień

Metoda	Średni czas kompletacji zamówień	Pogorszenie wyników względem rozwiązania optymalnego (w %)
S-shape	00:27:26	11
Midpoint	00:29:05	18
Return	00:29:43	20
Largest Gap	00:28:13	14
Combined	00:26:21	7
Optimal	00:24:42	-

Źródło: Opracowanie własne

Przy pierwszym i trzecim układzie strefy kompletacyjnej, rozwiązania heurystyczne dają wyraźnie gorsze wyniki od algorytmu dokładnego. Jest to spowodowane dużymi odległościami, które musi pokonywać wózek widłowy. Na uwagę zwraca wyraźnie słaby wynik metody *S-shape* i *Return*, które nie sprawdzają się przy budowie stref kompletacji składających się z długich korytarzy bocznych. Im pozioma powierzchnia przeznaczona pod proces komisjonowania jest większa tym mniejsza efektywność wyżej wspomnianych metod. Przy drugim i czwartym wariancie badawczym różnice pomiędzy rozwiązaniem dokładnym, a algorytmami heurystycznymi nie są już tak duże. Szczególnie metoda *Combined* daje bardzo dobre efekty, które w wypadku ostatniego układu są zaledwie o 7 % gorsze od wyniku najlepszego. Należy jednak pamiętać, że o ile *S-shape*, *Return* i *Midpoint* to proste heurystyki niewymagające dużych obliczeń, o tyle *Largest gap* i *Combined* wymagają już zaangażowania informatycznego. Przy strefach kompletacyjnych zbudowanych z regałów kilkupoziomowych, w których na czas kompletacji składa się nie tylko pokonywanie odległości



pomiędzy lokalizacjami, ale również podjęcie produktów, warto zwrócić uwagę na efektywność prostych heurystyk.

Druga grupa wyników obejmuje wpływ zastosowanych reguł składowania na czas realizacji procesów kompletacyjnych. Tabela 8 zawiera średnie czasy komisjonowania zamówień z sumarycznym uwzględnieniem pozostałych zmiennych.

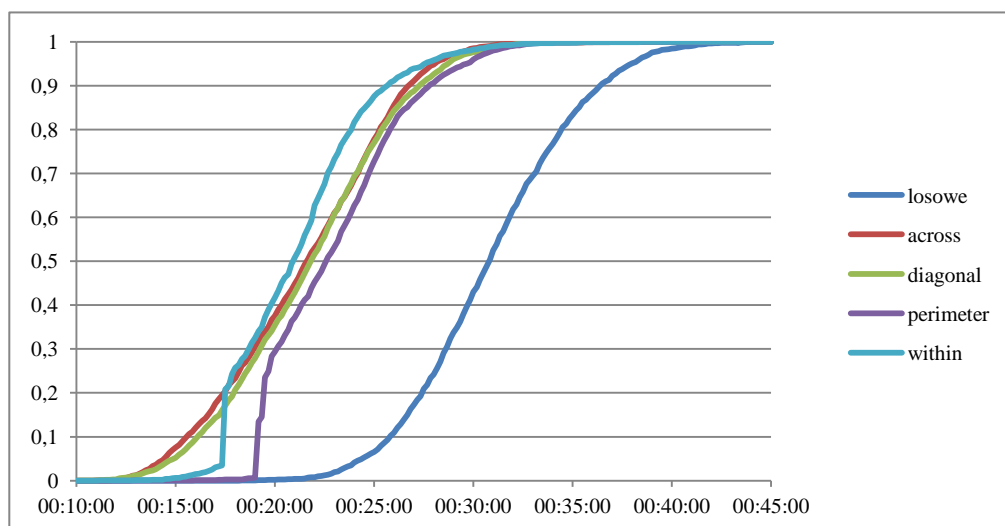
**Tab. 8.** Porównanie średnich czasów kompletacji dla różnych polityk składowania

Reguła składowania	Średni czas kompletacji wszystkich zamówień	Pogorszenie wyników względem rozwiązania najlepszego
<i>Diagonal</i>	29:18	-
<i>Within</i>	30:05	2,71%
<i>Across</i>	30:16	3,33%
<i>Perimeter</i>	32:10	9,82%
Losowe	39:55	36,29%

*Źródło: Opracowanie własne*

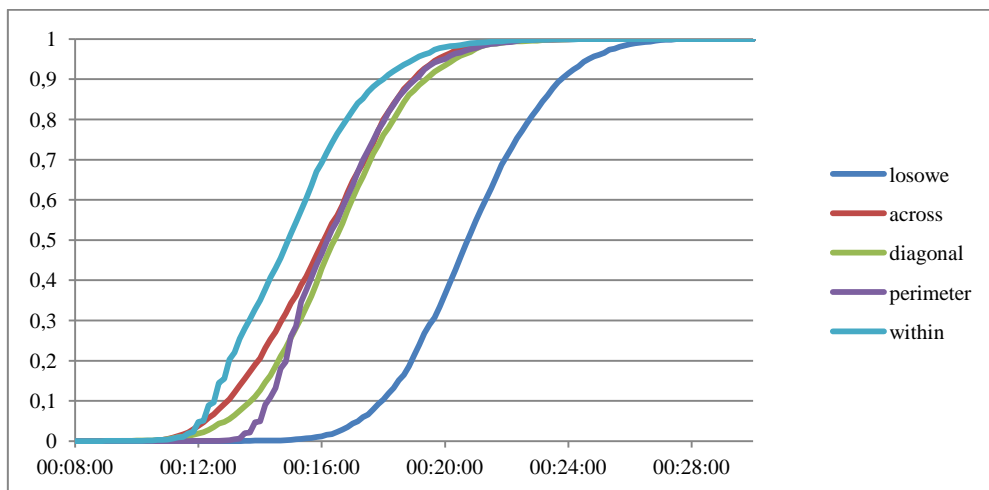
Należy zauważyć, że w wyniku porównania średnich czasów kompletacji w ujęciu całościowym, jako wszystkie warianty badawcze, najlepszą regułą składowania okazała się Diagonal storage (tabela 8.). Pamiętać należy jednak, że na przykład jeśli badamy wyłącznie strefę kompletacji o układzie pierwszym wynik jest inny i tutaj najlepszą regułą jest Across – aisle (rys.4). W ujęciu całościowym Diagonal storage daje średnio, aż o 36,29% lepsze czasy realizacji zamówień od najgorszej polityki składowania losowego i we wszystkich układach strefy kompletacyjnej daje najlepsze (strefa druga i czwarta) lub prawie najlepsze (strefa pierwsza i trzecia) wyniki.

Właściwe dobranie reguły składowania produktów zwiększa znacząco prawdopodobieństwo terminowej realizacji zamówień w węźle logistycznym. Rysunki 4 – 7 przedstawiają dystrybuantę rozkładu czasu kompletacji zamówień (dla 10 wózków widłowych) dla wszystkich układów strefy kompletacyjnej. Im dystrybuanta zmierza szybciej do jedności tym większe prawdopodobieństwo realizacji zamówień w określonym czasie.



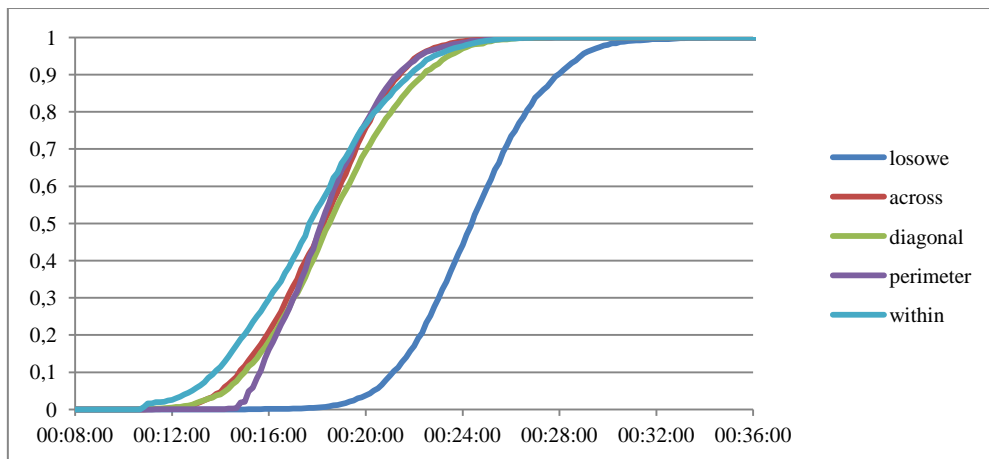
**Rys. 4.** Dystrybuanta czasu kompletacji zamówień (dla 10 wózków widłowych) dla pierwszego układu strefy kompletacyjnej

*Źródło: Opracowanie własne*



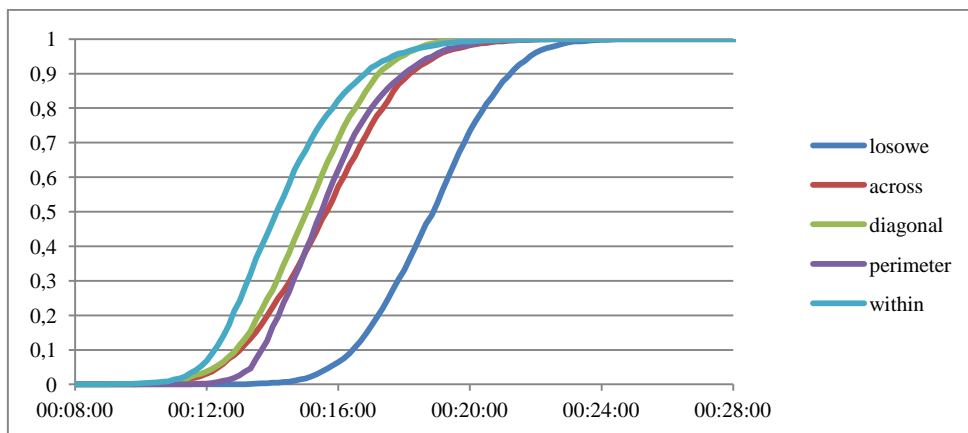
**Rys. 5.** Dystrybuanta czasu kompletacji zamówień (dla 10 wózków widłowych) dla drugiego układu strefy kompletacyjne

Źródło: Opracowanie własne



**Rys. 6.** Dystrybuanta czasu kompletacji zamówień (dla 10 wózków widłowych) dla trzeciego układu strefy kompletacyjne

Źródło: Opracowanie własne



**Rys. 7.** Dystrybuanta czasu kompletacji zamówień (dla 10 wózków widłowych) dla czwartego układu strefy kompletacyjne

Źródło: Opracowanie własne

Wykresy dystrybuanty wyraźnie wskazują, iż przy losowej regule składowania prawdopodobieństwo realizacji zamówień w wyznaczonym czasie jest najmniejsze.

Jak duże znaczenie dla czasu realizacji zamówień ma przyjęcie właściwej reguły składowania dowodzi fakt, iż w większości rozpatrywanych przypadkach nawet najlepsza metoda poruszania się podczas procesu kompletacji przy jednocześnie najgorszej regule składowania daje gorsze wyniki od najgorszej metody wyznaczania trasy przy jednoczesnym stosowaniu najlepszej reguły składowania.

Proste sposoby ustawienia produktów w strefie kompletacyjnej mają większe znaczenie w skróceniu czasu realizacji zamówień od stosowania trudnych i skomplikowanych metod wyznaczania tras dających rozwiązanie dokładne.

Kształt strefy kompletacyjnej ma bardzo duże znaczenie i wpływ na czas realizacji zamówień w węźle logistycznym. Na przykładzie wykonanego eksperymentu można zaobserwować jak duże różnice w szybkości procesu komisjonowania powodowane są przez właściwe dobranie układu strefy kompletacji.

**Tab. 9.** Porównanie średnich czasów kompletacji dla różnych konfiguracji strefy kompletacyjnej

Układ strefy kompletacji	Średni czas kompletacji wszystkich zamówień	Procent pogorszenia rozwiązania względem najlepszego
Konfiguracja 4	27:35	-
Konfiguracja 2	28:50	4,55%
Konfiguracja 3	33:40	22,02%
Konfiguracja 1	39:18	42,49%

*Źródło: Opracowanie własne*

Porównując badane strefy kompletacyjne (tabela 9) możemy zaobserwować, że średnia czasów realizacji zamówień dla układu pierwszego jest o ponad 42% gorsza od czwartej konfiguracji. Przy małej liczbie produktów w zamówieniu różnice te są jeszcze większe i mogą sięgać nawet około 59%.

## 6. WNIOSKI

Dobór odpowiednich reguł komisjonowania ma bardzo duży wpływ na czas realizacji zamówień w węźle logistycznym. Skrócenie oczekiwania na skompletowany produkt zwiększa prawdopodobieństwo poprawienia dostępności produktów w łańcuchu dostaw. W dzisiejszym, wymagającym rynku, gotowe zamówienie jest efektem oczekiwanym przez klienta. Według idei Lean Managementu skompletowane zamówienie stanowi wartość dodaną dla procesu, reszta czynności to efekt planowanego lub nieplanowanego marnotrawstwa. Dostępność produktu stanowi efekt finalny, za który odbiorca płaci. Stanowi ona wartość mierzalną (zyski ze sprzedaży), ale też trudno dokładnie oszacować potencjalny wpływ braku dostępności produktów na koszty utraconych korzyści i w konsekwencji utratę zaufania do firmy.

Zapewnienie dostępności produktów to często koszt ponoszony przez przedsiębiorstwa na wysokie zapasy, usprawnianie procesów przepływu, budowanie relacji z klientami. Dobór odpowiednich reguł komisjonowania pozwala osiągnąć znaczne oszczędności w czasie przepływu produktów przez węzeł logistyczny, co bezpośrednio wpływa na wzrost dostępności produktów w łańcuchu dostaw.

### Streszczenie

Zapewnienie dostępności produktów stało się warunkiem umożliwiającym przychód ze sprzedaży i jednocześnie pozwalającym przedsiębiorstwom zdobywać nowe rynki zbytu.

Jednymi z kluczowych elementów wpływającym na poziom dostępności produktów w łańcuchu dostaw są czynności manipulacyjne wykonywane w węzłach logistycznych, a szczególnie proces komisjonowania. Realizacja zamówień w

węzłach logistycznych obejmuje około 55%-65% kosztów operacyjnych. Poprawa efektywności komisjonowania wpływa nie tylko na obniżkę kosztów operacyjnych ale przede wszystkim na podniesienie poziomu obsługi klienta.

Autorzy, przy pomocy zastosowanych metod symulacyjnych, analizują wpływ różnych czynników na czas procesu komisjonowania zamówień w magazynie.

**Słowa kluczowe:** dostępność produktów, komisjonowanie, węzły logistyczne, symulacje

## The influence of the order picking process in the logistics hub on the products availability in the supply chain

### Abstract

Providing the availability of products appeared to be the crucial condition for generating income from the sales as well as making possible for the companies to conquer new markets.

The one of the most important elements affecting the level of products availability in the supply chain are the manipulation activities performed in logistics hubs, especially – the order picking process. The order execution in the logistics hubs covers around 55%-65% of the operational costs. Improvement of the order picking influences the reduction of operational cost and increases the level of customer service.

Authors, using the simulation methods, analyse the influence of different factors on the time period of order picking process in the warehouse.

**Keywords:** products availability, order picking, logistics hubs, simulations

## LITERATURA

- [1] Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J. Jr.: *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002
- [2] De Koster R., Le-Duck T., Roodbergen K.J.: *Design and control of warehouse order picking: a literature review*, European Journal of Operational Research 182(2), 2007, s. 481-501
- [3] De Koster, R.: *Warehouse assessment in a single tour*, Facility Logistics. Approaches and Solutions to Next Generation Challenges, M. Lahmar, New York: Auerbach. Taylor & Francis Group, 2008, s. 39-60
- [4] Fijałkowski J.: *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [5] Frazelle E.H., Apple J.M.: *Warehouse Operations in The Distribution Management Handbook*, McGraw-Hill, New York 1994
- [6] Gademann, A.J., Van den Berg J.P., Van der Hoff H.H.: *An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse*. IIE Transactions 33/2001, s. 385-398
- [7] Ghiani G.: *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, West Sussex 2004
- [8] Gibson D. R., Sharp G. P.: *Order batching procedures*, European Journal of Operational Research 58/1992, s. 57-67
- [9] Jakubiak M.: *Komisjonowanie produktów jako element sterowania przepływami w węzłach logistycznych*, praca doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 2013, s. 99
- [10] Kłodawski M., Jacyna M.: *Wybrane aspekty problematyki komisjonowania w funkcji pracochłonności procesu*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Zeszyt 70, Warszawa 2009, s. 73 – 84
- [11] Le-Duc T.: *Design and Control of Efficient Order Picking Processes*, Doctoral Thesis, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), Rotterdam 2011
- [12] Martin H.: *Transport- und Lagerlogistik - Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen*. Verlag: Braunschweig/Wiesbaden, Wiesbaden 2002
- [13] Petersen C., Aase R., Heiser D.: *Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Volume 34/2004, Issue: 7, s. 534-544
- [14] Porter M.E.: *Porter o konkurencji*, PWE, Warszawa 2001, s. 93-96
- [15] Ratliff H.D., Rosenthal A.S.: *Order picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem*, Operations Research 31(3) 1983, s. 507-521