

Michał KŁODAWSKI*, Marianna JACYNA*

CZAS PROCESU KOMPLETACJI JAKO KRYTERIUM KSZTAŁTOWANIA STREFY KOMISJONOWANIA

Streszczenie:

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zależności pomiędzy czasem realizacji dwuwymiarowego procesu kompletacji a zastosowanym układem strefy komisjonowania. Autorzy zwrócą uwagę na to, w jaki sposób strefa komisjonowania powinna zostać ukształtowana (dobrana liczba korytarzy roboczych i poziomów składowania/oferowania), aby czas skompletowania zlecenia o zadanej strukturze był jak najkrótszy. W tym celu opracowany został model obliczeniowy, służący do wyznaczania czasu procesu kompletacji dwuwymiarowej przy losowym rozmieszczeniu asortymentu w strefie komisjonowania.

Słowa kluczowe: kompletacja dwuwymiarowa, układ strefy komisjonowania, czas procesu kompletacji

1. WPROWADZENIE

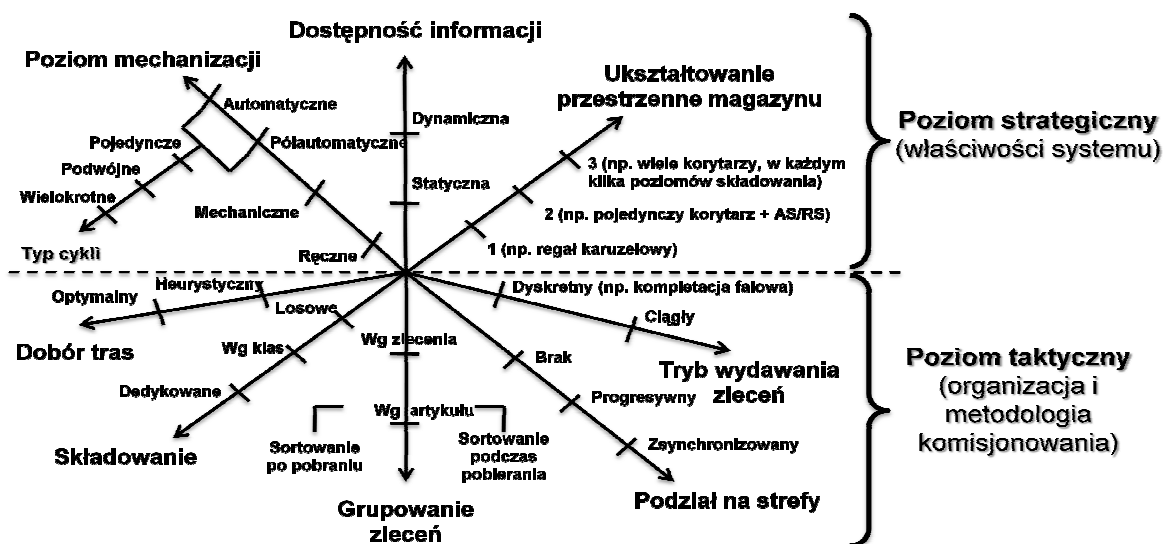
Proces kompletacji definiowany jest jako zespół logistycznych czynności operacyjnych i organizacyjnych, w wyniku których następuje zestawienie asortymentów, towarów zgodnie ze zleceniami wewnętrznymi w systemie magazynowym, sporządzonym na podstawie zamówień odbiorców [6]. W podobny sposób do tego pojęcia odnosi się norma PN-N-01800:1984, w której kompletowanie określane jest jako operacje w procesie magazynowym, polegające na pobraniu zapasów ze stosów lub urządzeń do składowania w celu utworzenia zbioru zapasów zgodnie ze specyfikacją asortymentową i ilościową dla określonego odbiorcy [7]. Czyli innymi słowy procesem kompletacji, nazywać będziemy czynności związane z wybieraniem z określonych miejsc składowania lub oferowania odpowiedniej liczby artykułów, oraz zestawienie ich w odrębną, wydzieloną całość, która następnie zostanie przekazana do strefy wydań magazynu celem wydania odbiorcy.

Wyodrębniona przestrzeń w obiekcie logistycznym zwana strefą kompletacji wraz z urządzeniami, środkami transportowymi i pracownikami realizującymi czynności i procesy kompletacyjne tworzy układ komisjonowania. W przypadku, gdy dodatkowo jest on uzupełniony o podsystem informacyjny mówimy wówczas o systemie komisjonowania.

Dobór, kształtowanie, wymiarowanie czy też analiza systemów komisjonowania są czynnościami wysoce skomplikowanymi i czasochłonnymi. Wynika to głównie z faktu, iż zależne są one od szerokiego spektrum czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Do czynników zewnętrznych zaliczyć można czynniki zależne od marketingu, wielkości zapotrzebowania klientów na towar, częstości realizacji wysyłek, poziomu utrzymywanego zapasu, całkowitego popytu na określone dobra na rynku oraz stanu ekonomicznego i gospodarczego kraju lub regionu, w którym zlokalizowane jest przedsiębiorstwo, itp. Czynniki wewnętrzne dotyczą charakterystyk i właściwości systemów komisjonowania, sposobu ich organizacji oraz metod realizacji. Wspomniane charakterystyki i właściwości systemów komisjonowania dotyczą poziomu ich mechanizacji, dostępności informacji oraz ukształtowania przestrzennego strefy kompletacji. Wykorzystywane są głównie na poziomie projektowania systemów komisjonowania (poziomie strategicznym).

* Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Do czynników związanych ze sposobem organizacji systemów komisjonowania oraz metodami ich realizacji zalicza się głównie sposób wydawania zleceń kompletacyjnych, podział obszaru realizacji kompletacji na strefy funkcjonalne, grupowanie zleceń kompletacyjnych, metody składowania i oferowania asortymentu, a także metody doboru tras podczas realizacji procesów kompletacyjnych (poziom taktyczny) [1] (Rys. 1).



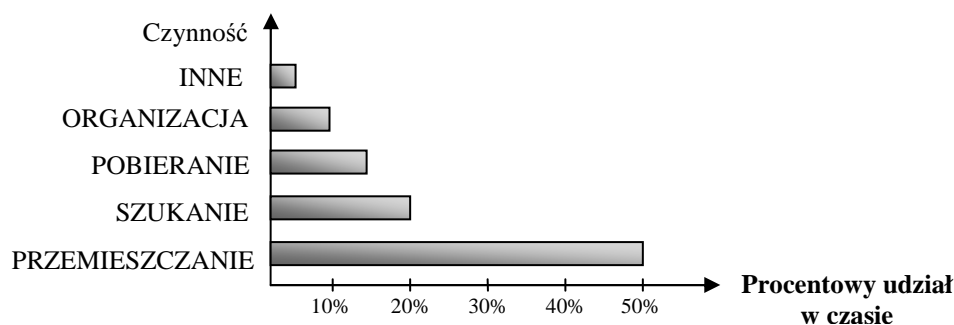
Rys. 1. Złożoność systemów komisjonowania.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

Wspólnym celem wszystkich systemów komisjonowania jest maksymalizacja poziomu obsługi klienta przy ograniczonych zasobach takich jak np.: praca, urządzenia, pracownicy czy kapitał [3]. Wspomniany poziom obsługi klienta dekomponuje się na wiele różnorodnych czynników. Ważne jest, aby zamówienie było prawidłowo skompletowane pod względem asortymentowym oraz ilościowym, jak również dotarło do strefy wydań w określonym czasie (termin wysyłki do klienta nie został przekroczony). Dlatego też, proces komisjonowania uważa się za kluczowy dla całego przedsiębiorstwa oraz poświęca mu wiele czasu i uwagi. Szczególnie istotny jest fakt, iż wspomniany proces może pochłaniać nawet do 60% czasu przeznaczanego na wszystkie czynności magazynowe [2]. Dodatkowo, jak pisze Tompkins w [9], komisjonowanie może generować 55% wszystkich kosztów operacyjnych przedsiębiorstwa (obszaru magazynowego).

Zatem w każdym systemie komisjonowania dąży się do zminimalizowania czasu realizacji zlecenia kompletacyjnego. Analizując udział poszczególnych czynności w całkowitym czasie realizacji procesu komisjonowania przedstawionym na Rys. 2, łatwo zauważyć, iż blisko połowę całego procesu stanowi czas przemieszczania pracownika realizującego czynności kompletacyjne.

Należy również pamiętać o tym, iż czas poświęcony na przemieszczanie podczas realizacji zleceń klientów generuje bezpośrednie koszty, natomiast w żaden sposób nie zwiększa wartości dóbr dostarczanych do klientów. Dlatego także, minimalizacja tego czasu często uważana jest za podstawowy etap w dążeniu do polepszenia i zwiększania wydajności systemów komisjonowania.



Rys. 2. Procentowy udział poszczególnych czynności w czasie realizacji procesu kompletyjnego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9]

W niniejszym artykule przedstawiony zostanie jeden z pod-problemów procedury kształtowania i wymiarowania systemów komisjonowania, dotyczący układu strefy komisjonowania. W literaturze problemu, zagadnienie to dekomponowane jest na dwa odrębne przypadki. Pierwszy z nich skupia się na podjęciu decyzji gdzie i jak rozmieścić poszczególne elementy strefy komisjonowania, tj. strefę przyjęć, pobrań, rezerw, sortowania, formowania, itp.. Drugi natomiast, zwany wewnętrznym problemem doboru układu strefy komisjonowania, dotyczy określenia liczby bloków regałowych, a także liczby i długości korytarzy roboczych w każdym z tych bloków. Istotnym aspektem tych rozważań jest decyzja dotycząca lokalizacji punktu zadawczo-pobraniowego, czyli miejsca, z którego pobierane jest zlecenie kompletyjne oraz w którym odkładana jest skompletowana jednostka ładunkowa.

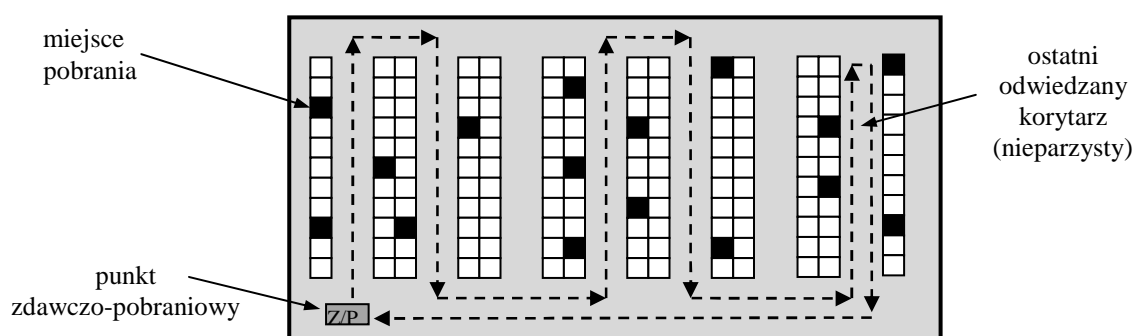
W tym przypadku rozważony zostanie wewnętrzny problem doboru układu strefy komisjonowania. Autorzy zwrócą uwagę na fakt, jak ukształtować wspomnianą strefę, aby czas realizacji procesu kompletyjacji był najkrótszy. W tym celu w artykule przedstawiony zostanie analityczny model wyznaczania czasu realizacji wielowymiarowego procesu kompletyjacji w przypadku losowego rozmieszczenia artykułów w strefie komisjonowania oraz zastosowywania heurystycznej metody doboru tras - „S-shape”.

2. SFORMUŁOWANIE ZAŁOŻEŃ DO ANALIZOWANEGO PROBLEMU

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zależności pomiędzy czasem realizacji dwuwymiarowego procesu kompletyjacji a zastosowanym układem strefy komisjonowania. Autorzy zwrócą uwagę na to, w jaki sposób strefa komisjonowania powinna zostać ukształtowana (dobrana liczba korytarzy roboczych i poziomów składowania/oferowania), aby czas skompletowania zlecenia o zadanej strukturze był jak najkrótszy. W tym celu niezbędne będzie opracowanie modelu obliczeniowego, służącego do wyznaczania czasu procesu kompletyjacji. Wobec powyższego przyjęto następujące założenia:

- 1) Proces komisjonowania realizowany jest mechanicznie, tj. pracownik magazynu porusza się za pomocą wielofunkcyjnego (systemowego) wózka widłowego podnośnikowego pomiędzy miejscami oferowania, z których pobiera artykuły określone w realizowanym zleceniu,
- 2) W analizowanej strefie kompletyjacji występuje jeden blok regałowy, równoległe korytarze robocze, oraz dwa korytarze poprzeczne (przedni oraz tylny), służące do zmiany korytarza roboczego. Miejsca oferowania artykułów rozmieszczone są po obu stronach korytarza roboczego oraz na różnych poziomach składowania.
- 3) Punkt zadawczo-pobraniowy zlokalizowany jest w przednim korytarzu poprzecznym i może być umiejscowiony pomiędzy dowolną parą przyległych do siebie korytarzy roboczych lub na czole każdego z nich. Jednak na podstawie wyników przedstawionych

- w pozycji [5] przyjęto, iż punkt ten w każdym z analizowanych wariantów będzie zlokalizowany w połowie długości strefy kompletacji.
- 4) Artykuły rozmieszczone są w strefie komisjonowania w sposób równomierny, według losowej metody rozmieszczenia. Dodatkowo w jednym miejscu oferowania może znajdować się tylko jeden rodzaj asortymentu.
 - 5) Wózki kompletacyjne poruszają się według heurystycznej metody „S-shape”. Oznacza to, że odwiedzane będą tylko te korytarze, w których znajduje się co najmniej jedna pozycja do pobrania (w przeciwnym wypadku korytarz jest pomijany). Wózki nie zmieniają kierunku jazdy w trakcie przemierzania korytarzy, czyli jeżeli wjeżdżają do niego z jednej strony to opuszczają go po stronie przeciwnej (Rys. 3). Wyjątek stanowi sytuacja, gdy liczba korytarzy zawierających co najmniej jedną pozycję do pobrania jest nieparzysta. Wówczas ostatni z nich opuszczany i odwiedzany jest z tej samej strony (Rys. 3). Ponadto założono, iż korytarze robocze w analizowanych układach strefy komisjonowania będą miały takie szerokości, które umożliwiają pobieranie artykułów z obu ich stron bez konieczności przemieszczania się wózka w kierunku poprzecznym.
 - 6) Wózki widłowe mogą podnosić i opuszczać kabinę z operatorem tylko podczas postoju.
 - 7) W modelu nierozważane są czasy przyśpieszania i hamowania wózka wielofunkcyjnego. Autorzy przyjmują stałe prędkości poruszania się wózków.
 - 8) Czas realizacji procesu kompletacji dotyczyć będzie zestawienia pojedynczego średniego zlecenia kompletacyjnego o zadanie strukturze wierszy i pozycji do pobrania.



Rys. 3. Droga pokonywana wg metody „S-shape” przy nieparzystej liczbie korytarzy do odwiedzenia.

Źródło: opracowanie własne

3. METODYKA WYZNACZANIA CZASU KOMPLETACJI ZASTOSOWANA W OPRACOWANYM MODELU

W celu przedstawienia modelu wyznaczenia czasu realizacji wielowymiarowego procesu kompletacji przyjęto następujące oznaczenia:

- A – całkowita liczba lokacji niezbędnych do składowania/oferowania wszystkich rodzajów asortymentu,
- g – liczba poziomów składowania/oferowania w strefie komisjonowania,
- k – liczba korytarzy roboczych,
- y – długość korytarza roboczego [m],
- n – liczba kolumn regałowych zawierających miejsca oferowania,
- d_s – numer lokalizacji punktu zdawczo-pobraniowego,
- m – średnia liczba wierszy w zleceniu (liczba miejsc niezbędnych do odwiedzenia),
- r – średnia liczba pozycji w wierszu (średnia liczba artykułów do pobrania w jednym miejscu oferowania)

Y – długość całkowita wszystkich korytarzy roboczych [m],
 s_r – odległość pomiędzy środkami dwóch przyległych korytarzy roboczych [m],
 s_p – szerokość korytarza poprzecznego [m],
 s_{mo} – szerokość miejsca oferowania [m],
 h_{mo} – wysokość miejsca oferowania [m],
 f_{mo} – głębokość miejsca oferowania [m],
 V_r – średnia prędkość jazdy wózka w korytarzu roboczym [m/min],
 V_p – średnia prędkość jazdy wózka w korytarzu poprzecznym [m/min],
 V_{pod} – średnia prędkość podnoszenia kabiny wózka [m/min],
 V_{op} – średnia prędkość opuszczania kabiny wózka [m/min],
 t_{pob} – średni czas pobrania jednego artykułu i odłożenia go na paletę (pojemnik) [min],
 t_{pz} – średni czas pobrania pustego pojemnika (palety) i zlecenia kompletacyjnego oraz odczytania jego pierwszego wiersza [min],
 t_m – średni czas odczytania kolejnego wiersza zlecenia [min],
 t_{pot} – średni czas potwierdzenia pobrania wszystkich pozycji w danym wierszu [min],
 t_{ods} – średni czas odstawienia jednostki skompletowanej [min],
 $E[D_r]$ – oczekiwana długość drogi przemierzanej wzdłuż korytarzy roboczych [m],
 $E[D_p]$ – oczekiwana długość drogi przemierzanej wzdłuż korytarzy poprzecznych [m],
 $E[K]$ – oczekiwana liczba korytarzy roboczych niezbędnych do odwiedzenia,
 $E[T_k]$ – oczekiwany czas realizacji zlecenia kompletacyjnego [min],
 $E[T_j]$ – oczekiwany czas jazdy wózka [min],
 $E[T_{jr}]$ – oczekiwany czas jazdy wózka w korytarzu roboczym [min],
 $E[T_{jp}]$ – oczekiwany czas jazdy wózka w korytarzu poprzecznym [min],
 $E[T_{pob}]$ – oczekiwany czas pobrań [min],
 $E[T_{gd}]$ – oczekiwany czas podnoszenia i opuszczania kabiny wózka [min],
 T_{poz} – czas pozostały [min],

Czas niezbędny na realizację procesu kompletacji (T_k) można podzielić na:

- czas jazdy wózka (T_j),
- czas pobrań pozycji zawartych w zleceniu (T_{pob}),
- czas pozostały (T_{poz}).

Czas jazdy jest to czas poświęcony na przemieszczanie się wózka pomiędzy punktami pobrań towaru, tj. miejscami oferowania, w których składowane są artykuły oczekujące na pobranie. Czas pobrań (T_{pob}) zawiera w sobie czas niezbędny na odnalezienie szukanych artykułów, podniesienie i opuszczanie kabiny wózka na odpowiedni poziom, pobranie odpowiedniej liczby artykułów, odłożenie ich na paletę (pojemnik, skrzynię, itp.), sprawdzenie poprawności pobranych pozycji, odznaczenie na liście kompletacyjnej pobranych pozycji oraz odczytanie pozycji jaka ma zostać pobrana w dalszej kolejności. Ostatnia ze składowych, czyli czas pozostały, odnosi się do czynności związanych z pobraniem listy kompletacyjnej do zrealizowania, odłożeniem gotowej jednostki skompletowanej w odpowiednim miejscu, oczekiwaniem na przydzielenie kolejnego zlecenia, itp. Na podstawie powyższego całkowity czas realizacji zlecenia kompletacyjnego zapisać możemy jako:

$$T_k = T_j + T_{pob} + T_{poz} \quad (1)$$

Należy jednak pamiętać, iż w rozważanym problemie mamy do czynienia z losowym rozmieszczeniem artykułów w strefie komisjonowania. Dlatego również, przedstawiony model wykorzystywał będzie teorie prawdopodobieństwa i kombinatoryki. Z tego względu

w przypadku wielu z wykorzystywanych i obliczanych parametrów będziemy mieli do czynienia z ich wartościami oczekiwanymi. Możemy, zatem wzór (1) zapisać jako:

$$E[T_k] = E[T_j] + E[T_{pob}] + T_{poz} \quad (2)$$

Oczekiwany czas jazdy wózka w trakcie realizacji zlecenia kompletacyjnego należy podzielić na oczekiwany czas jazdy w korytarzach roboczych oraz korytarzach poprzecznych. Wobec tego możemy to zapisać w następujący sposób:

$$E[T_j] = E[T_{jr}] + E[T_{jp}] \quad (3)$$

Przy czym oczekiwany czas jazdy w korytarzach roboczych będzie ilorazem wartości oczekiwanej odległości pokonywanych wzdłuż tych korytarzy oraz średniej prędkości jazdy wózka w tym korytarzu.

$$E[T_{jr}] = \frac{E[D_r]}{V_r} \quad (4)$$

Wartość oczekiwaną odległości przemierzanych wzdłuż korytarzy roboczych, możemy wyznaczyć korzystając z zależności [5]:

$$E[D_r] = l^* \times E[K] + C \quad (5)$$

gdzie:

$l^* = l + s_p$ - długość korytarza roboczego powiększona o podwojoną odległość od końca korytarza roboczego do środka korytarza poprzecznego (zakłada się, że osoba zmieniająca korytarz roboczy porusza się środkiem korytarza poprzecznego),

C - parametr oznaczający dodatkową odległość pokonywaną w przypadku, gdy liczba korytarzy zawierających co najmniej jedną pozycję do pobrania jest nieparzysta (w takim przypadku podczas pokonywania ostatniego z korytarzy pracownik zawraca oraz opuszcza go z tej samej strony, z której do niego wszedł). Założono (zgodnie z rozważaniami N. G. Hall'a, [4]), że wówczas parametr C przyjmuje wartość równą l^* .

Zakładając, że asortyment jest rozłożony w regałach (korytarzach) w sposób losowy i równomierny, możemy określić wartość oczekiwaną liczby korytarzy zawierających co najmniej jedną lokalizację, z której należy pobrać artykuły:

$$E[K] = k \cdot \left[1 - \left(\frac{k-1}{k} \right)^m \right] \quad (6)$$

Oczekiwany czas jazdy w korytarzach poprzecznych będzie ilorazem wartości oczekiwanej drogi pokonywanej wzdłuż tych korytarzy ($E[D_p]$) oraz średniej prędkości jazdy wózka w korytarzu poprzecznym. Droga pokonywana w korytarzach poprzecznych składa się na:

- drogę pokonywaną z punktu zdawczo-pobraniowego do najbardziej wysuniętego w lewo korytarza roboczego, od którego pracownik rozpoczyna realizację zlecenia,

- drogę pokonywaną podczas zmian korytarzy roboczych,
- drogę pokonywaną od końca ostatniego odwiedzonego korytarza roboczego do punktu zdawczo-pobraniowego.

Zależność na oczekiwany czas jazdy w korytarzach poprzecznych można zapisać zależnością:

$$E[T_{jp}] = \frac{E[D_p]}{V_p} \quad (7)$$

Poszczególne etapy wyprowadzania wzoru na wartość oczekiwaną drogi pokonywanej wzdłuż korytarzy poprzecznych przedstawione zostały w pozycji [5].

Jak już zostało wcześniej wspomniane, oczekiwany czas pobrań ($E[T_{pob}]$) dekomponuje się na oczekiwany czas podnoszenie i opuszczanie kabiny wózka na odpowiedni poziom, czas pobrania odpowiedniej liczby artykułów i odłożenie ich na paletę (pojemnik, skrzynię, itp.), czas sprawdzenie poprawności pobranych pozycji i odznaczenia ich na liście kompletacyjnej oraz czas odczytania wiersza, sugerującego jaka pozycja ma zostać pobrana w dalszej kolejności. Możemy, więc zapisać zależność na oczekiwany czas pobrań, jako:

$$E[T_{pob}] = E[T_{gd}] + m \cdot (r \cdot t_{pob} + t_{pot}) + t_m \cdot (m - 1) \quad (8)$$

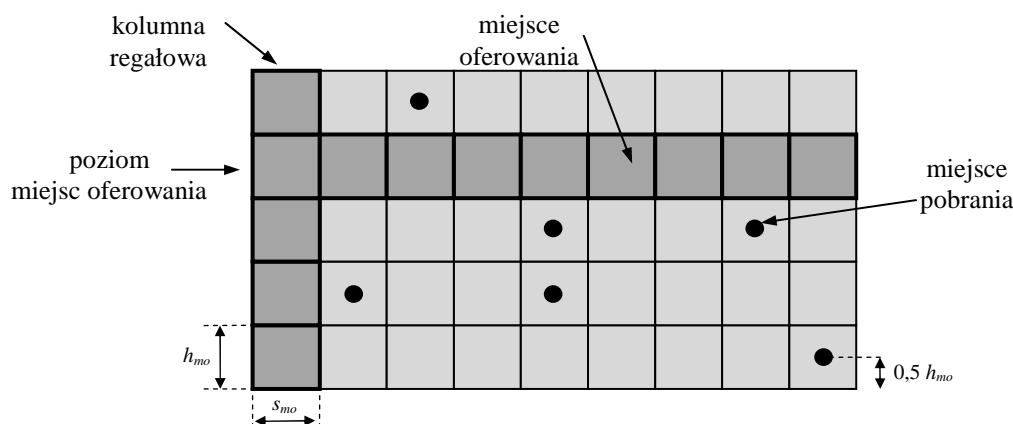
Przy czym oczekiwany czas podnoszenia i opuszczania kabiny wózka określany jest na podstawie zależności:

$$E[T_{gd}] = E[N] \cdot \left(\frac{h_{mo}}{2} + (E[G] - 1) \cdot h_{mo} \right) \cdot \left(\frac{1}{V_{pod}} + \frac{1}{V_{op}} \right) \quad (9)$$

gdzie:

$E[G]$ - oznacza oczekiwane najwyżej położone miejsce oferowania (odwiedzane jako ostatnie) w kolumnie regałowej zawierającej co najmniej jedną pozycję do pobrania,

$E[N]$ - oznacza oczekiwaną liczbę kolumn regałowych zawierających co najmniej jedno miejsce pobrania



Rys. 4. Schemat ściany regałowej w korytarzu roboczym z miejscami oferowania artykułów.

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim składnikiem całkowitego czasu realizacji zlecenia kompletacyjnego jest czas pozostały T_{poz} . Zawarty jest w nim czas niezbędny na pobranie przez pracownika listy kompletacyjnej, odczytanie pierwszego wiersza zlecenia oraz odłożenie skompletowanej jednostki w odpowiednim miejscu. W analizowanym modelu pomijany jest czas oczekiwania pracownika na przydzielenie mu kolejnego zlecenia do zrealizowania. Zatem czas pozostały możemy zapisać jako:

$$T_{poz} = t_{pz} + t_{ods} \quad (12)$$

4. WERYFIKACJA ZAPROPONOWANEGO PODEJŚCIA NA DANYCH RZECZYWISTYCH

Weryfikacji proponowanego podejścia dokonano przy następujących stałych wartościach parametrów:

$s_r=1,7m$	$s_{mo}=1m$	$f_{mo}=0,65m$	$V_p=120m/min$	$V_{op}=30m/min$	$t_{pz}=0,5551min$	$t_{pot}=0,02min$
$s_p=3,5m$	$h_{mo}=0,8m$	$V_r=90m/min$	$V_{pod}=20m/min$	$t_{pob}=0,1164min$	$t_m=0,018min$	$t_{ods}=0,456min$

W poszczególnych wariantach obliczeniowych zmieniane były:

- liczba korytarzy roboczych – k ,
- liczba poziomów składowania – g , przy czym: $1 \leq g \leq 10$,
- średnia liczba pozycji asortymentowych do pobrania w zleceniu – m ,
- całkowita liczba lokacji niezbędnych do składowania/oferowania wszystkich rodzajów asortymentu – A ,

Dodatkowo przyjęto, iż średnia liczba pozycji w wierszu zlecenia kompletacyjnego będzie równa $r=10$. Oznacza to, że pracownik przeciętnie będzie pobierał 10 sztuk tego samego rodzaju asortymentu w jednym miejscu oferowania.

W celu zweryfikowania zaproponowanego podejścia niezbędna była implementacja modelu obliczeniowego w postaci aplikacji komputerowej. W ten sposób dokonane zostały obliczenia czasów procesu kompletacji dwuwymiarowej dla wszystkich możliwych układów strefy komisjonowania (biorąc pod uwagę liczbę korytarzy roboczych i poziomów składowania) przy zadanej średniej liczbie pozycji asortymentowych do pobrania w zleceniu oraz całkowitej liczbie lokacji niezbędnych do składowania/oferowania wszystkich rodzajów asortymentu. Następnie na podstawie przeglądu zupełnego wybrano te układy, dla których wspomniane czasy są najkrótsze. Uzyskane wyniki zestawiono w Tablica 1.

Tablica 1. Zestawienie układów strefy komisjonowania o najkrótszych czasach kompletacji zlecenia dla zadanych A, m .

A	m	$E[T_k]$	k	g	A	m	$E[T_k]$	k	g
500	5	7,9934	2	6	3000	5	8,8933	8	10
	10	14,3749	2	4		10	15,9599	19	7
	15	20,7034	2	4		15	22,7521	2	9
	20	26,9582	2	3		20	29,3556	2	8
	25	33,2295	2	3		25	35,8677	2	7
	30	39,4451	2	2		30	42,3495	2	6
1000	5	8,2492	8	6	4000	5	9,1566	8	10
	10	14,8703	2	6		10	16,2593	18	9
	15	21,2779	2	5		15	23,3057	2	10
	20	27,6521	2	4		20	29,9704	2	9
	25	33,9725	2	4		25	36,5696	2	8
	30	40,2700	2	3		30	43,1201	2	7

1500	5	8,4404	8	9	5000	5	9,3280	22	10
	10	15,2375	2	8		10	16,5114	19	10
	15	21,7457	2	6		15	23,6502	30	8
	20	28,1674	2	5		20	30,5246	2	10
	25	34,5506	2	5		25	37,1887	2	9
	30	40,9071	2	4		30	43,7846	2	8
2000	5	8,6126	8	9	6000	5	9,4928	21	10
	10	15,5560	2	9		10	16,7726	19	10
	15	22,1088	2	7		15	23,9261	29	9
	20	28,5988	2	6		20	31,0207	25	9
	25	35,0481	2	6		25	37,7441	2	10
	30	41,4361	2	5		30	44,4070	2	9

Źródło: opracowanie własne

Po wstępnej analizie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż w znacznej większości przypadków najlepszymi z punktu widzenia czasu kompletacji zlecenia były układy o dwóch korytarzach roboczych i różnej liczbie poziomów składowania. Tylko dla małych wartości pobrań na trasę (m) lub dużej liczebności lokacji niezbędnych do składowania/oferowania wszystkich rodzajów asortymentu (A) liczba korytarzy wzrastała. Sytuacja ta może sugerować nadrzędność czasu przemieszczania poziomego w stosunku do czasu przeznaczanego na przemieszczanie pionowe i czynności pobraniowe w całym czasie procesu kompletacji dwuwymiarowej. Istotna w tym przypadku jest droga pokonywana przez wózek w strefie komisjonowania.

Według pozycji [5] mniejszą długością drogi charakteryzują się układy o parzystej liczbie korytarzy międzyregalowych, które należy odwiedzić. Natomiast w przypadku wielowierszowych list kompletacyjnych najkorzystniejsze, ze względu na długość pokonywanej drogi, są układy o dwóch korytarzach roboczych. Oba powyższe stwierdzenia znajdują odzwierciedlenie w uzyskanych w niniejszym artykule wynikach (Tablica 1). Należy, jednak pamiętać, iż wraz ze zmniejszaniem się liczby korytarzy międzyregalowych rosną ich długości.

Bardzo często przy tym zdarza się, iż zarówno w przypadku wymiarowanych jak i dopiero kształtowanych systemów komisjonowania pojawiają się ściśle ograniczenia przestrzenne dotyczące dopuszczalnej, maksymalnej powierzchni, jaką może zajmować strefa komisjonowania. Opracowany w postaci aplikacji komputerowej model obliczeniowy pozwala na wykonanie obliczeń z uwzględnieniem maksymalnych, dopuszczalnych wymiarów powierzchni, jaką może zajmować strefa komisjonowania (S_K – szerokość strefy komisjonowania, D_K – długość strefy komisjonowania). Przy założeniu, że strefa komisjonowania nie może być szersza niż 60m ($S_K=60m$) i dłuższa niż 120m ($S_D=120m$) dokonano obliczeń, a wyniki przedstawiono w Tablica 2.

Tablica 2. Zestawienie układów strefy komisjonowania o najkrótszych czasach kompletacji zlecenia dla zadanych A , m , S_K , S_D .

A	m	$E[T_k]$	k	g	A	m	$E[T_k]$	k	g
500	5	7,9934	2	6	3000	5	8,8933	8	10
	10	14,3964	2	5		10	15,9599	19	7
	15	20,8312	2	5		15	22,8971	16	7
	20	27,1356	4	3		20	29,6863	6	8
	25	33,4072	4	3		25	36,2444	6	7
	30	39,6007	4	2		30	42,7269	6	6
1000	5	8,2492	8	6	4000	5	9,1566	8	10
	10	15,0264	8	6		10	16,2593	18	9

	15	21,4543	4	5		15	23,3577	29	6
	20	27,8074	4	4		20	30,2111	25	7
	25	34,1280	4	4		25	36,9463	6	8
	30	40,4649	4	4		30	43,5239	6	8
1500	5	8,4404	8	9	5000	5	9,3280	22	10
	10	15,3428	8	7		10	16,5114	19	10
	15	21,8999	4	6		15	23,6502	30	8
	20	28,3530	4	6		20	30,6612	25	7
	25	34,7505	4	5		25	37,5477	25	7
	30	41,1503	4	5		30	44,3161	8	8
2000	5	8,6126	8	9	6000	5	9,4928	21	10
	10	15,6212	18	6		10	16,7726	19	10
	15	22,2982	4	8		15	23,9261	29	9
	20	28,8225	4	7		20	31,0207	25	9
	25	35,3604	4	7		25	38,0219	25	9
	30	41,7690	6	5		30	44,8575	26	7

Źródło: opracowanie własne

W tym przypadku układy strefy komisjonowania o dwóch korytarzach roboczych pojawiają się tylko dla mniejszych wartości całkowitej liczby lokacji niezbędnych do składowania/oferowania wszystkich rodzajów asortymentu. Należy zauważyć, iż wraz z jej wzrostem rośnie również całkowita długość wszystkich korytarzy roboczych. W przypadku układów dwu-korytarzowych poszczególne korytarze robocze osiągają zbyt duże długości i niespełnione jest ograniczenie dotyczące maksymalnych, dopuszczalnych wymiarów powierzchni, jaką może zajmować strefa komisjonowania. Należy jednak zauważyć pewien trend w uzyskanych wynikach. Przy zadanych ograniczeniach powierzchniowych wraz ze wzrostem całkowitej liczby lokacji rośnie również liczba korytarzy roboczych i poziomów składowania, dla których czas kompletacji jest najkrótszy.

LITERATURA

- [1] De Koster R., Le Duc T., Rootbergen K., *Design and control of warehouse order picking: a literature review*, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2006
- [2] Drury J., *Towards more efficient order picking*, The Institute of Materials Management, Cranfield, U.K., 1988
- [3] Geotschalckx M., Ashayeri J., *Classification and design of order picking systems*, Logistics World, 1989
- [4] Hall N. G., *Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse*, IIE Transactions 25, 1993
- [5] Kłodawski M., Jacyna M.: *Wpływ układu strefy komisjonowania na długość drogi kompletowania*. Logistyka 04/2010, str. 18, artykuł na CD,
- [6] Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania. Tom II*, Biblioteka Logistyczna
- [7] Niemczyk A., *Zapasy i magazynowanie. Tom II*, Biblioteka Logistyczna, Poznań, 2006
- [8] Parikh P. J., Meller R. D. *A travel-time model for a person-onboard order picking system*, European Journal of Operational Research 200, 2010
- [9] Tompkins J. A., White J. A., Bozer Y. A., Frazelle E. H., Tanchoco J. M. A., *Facilities planning*, 2003

TIME OF ORDER PICKING CYCLE AS A CRITERION FOR ORDER PICKING AREA CONSTRUCTING

Abstract:

The aim of the article is to present a dependence between time of two-dimensional order picking process and the order picking area layout. Authors considered how to construct order picking area (choose number of aisles and number of storage levels at a pick-column) to minimize time of order picking. In this article authors develop an analytical model to estimate the time of two-dimensional order picking process.

Keywords: two-dimensional order picking, order picking area layout, order picking process time

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy. Projekt N N509 601839 pt. Metodyka kształtowania sieci transportowo-logistycznej w wybranych obszarach.