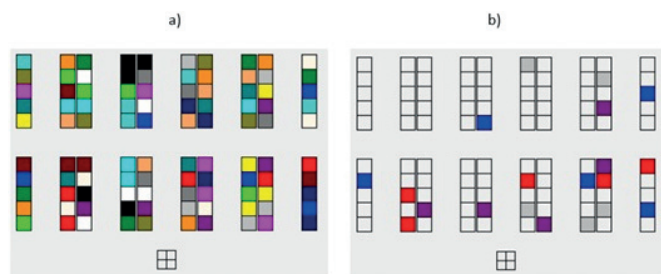


## Zagadnienie doboru punktów pobrań dla zleceń na komisjonowanie<sup>2</sup>

Artykuł przedstawia zagadnienie doboru punktów pobrań jako jeden z podproblemów związanych z procesem komisjonowania. Zaprezentowany zostanie przykładowy algorytm doboru punktów pobrań. Za pomocą przykładu obliczeniowego przeanalizowany zostanie wpływ wspomnianego algorytmu na długość dróg kompletacyjnych dla różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania oraz z wykorzystaniem różnych algorytmów wyznaczania trasy kompletacyjnej.

Komisjonowanie definiujemy jako zestawienie określonych podzbiorów artykułów z asortymentu (czyli całkowitego zbioru dostępnych artykułów), na podstawie zlecenia na komisjonowanie [1]. Z pojęciem komisjonowania bezpośrednio wiąże się pojęcie kompletacji – kompletacja jest częścią procesu komisjonowania, odpowiada za sam proces związany z wybraniem z określonych miejsc składowania odpowiedniej liczby artykułów oraz zestawienie ich w odrębną, wydzieloną całość [4].

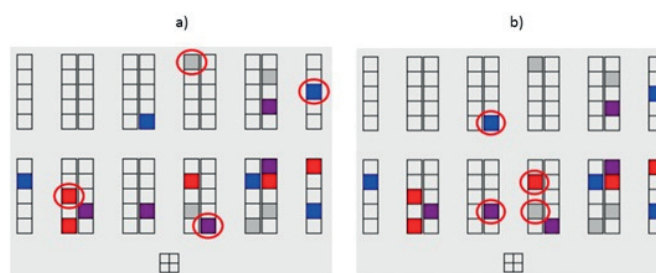
Innymi słowy, aby dokonać kompletacji należy wiedzieć, które i w jakiej kolejności, punkty pobrania należy odwiedzić. Za ustalenie kolejności odpowiada algorytm wyznaczający trasę kompletacji. Natomiast wybór konkretnych punktów pobrania jest oczywisty tylko w przypadku, kiedy jednemu artykułowi zostaje przypisane dokładnie jedno miejsce pobrania. W takiej sytuacji, samo rozmieszczenie asortymentu w strefie komisjonowania jednoznacznie wskazuje dostępne punkty pobrania (relacja 1 do 1 pomiędzy artykułami, a miejscami pobrania). W przeciwnym wypadku (relacja 1 do wielu dla artykułów i miejsc pobrania) należy dokonać wyboru, z którego (spośród wszystkich dostępnych miejsc pobrań zawierających dany artykuł) miejsca należy dokonać pobrania. Zostało to przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie 20 artykułów (oznaczone poszczególnymi kolorami) na 100 miejscach składowania (a) oraz zaznaczone wszystkie możliwe punkty pobrania dla przykładowego zlecenia na komisjonowanie o 4 artykułach (b). Punkt znajdujący się poniżej punktów składowania to punkt zdawczo-odbiorczy przedstawionej strefy komisjonowania.

Źródło: opracowanie własne.

Łatwo zauważyć, że sposób, w jaki zostaną wybrane konkretne punkty pobrania, będzie miał wpływ (między innymi) na długość drogi kompletacyjnej dla danego zlecenia. Dodatkowo zostało to zilustrowane na rysunku 2.



Rys. 2. Dwa sposoby wyboru konkretnych miejsc pobrań dla danego zlecenia na komisjonowanie.

Źródło: opracowanie własne.

Można stwierdzić, że bez względu na wykorzystany algorytm doboru trasy kompletacyjnej, trasa wyznaczona dla punktów wybranych zgodnie z rysunkiem 2a będzie zdecydowanie dłuższa, niż trasa pomiędzy punktami przedstawionymi w punkcie 2b. Ponieważ poprawa wydajności strefy komisjonowania najczęściej jest utożsamiana z poszukiwaniem sposobów na redukcję długości dróg kompletacyjnych ([2],[11]), widać, że zagadnienie doboru poszczególnych punktów będzie miało wpływ na efektywność całego procesu komisjonowania.

### Przegląd literatury

Samo zagadnienie doboru punktów pobrań jest praktycznie nieobecne zarówno w literaturze polskiej, jak i zagranicznej. Procesem poprzedzającym wyznaczenie punktów pobrania jest rozmieszczenie asortymentu wewnątrz strefy komisjonowania, natomiast czynnością następującą po wyborze miejsc pobrań jest wyznaczenie trasy kompletacyjnej (alternatywnie: zastosowanie algorytmu grupowania zleceń, a dopiero następnie wyznaczenie trasy kompletacyjnej). Oba te zagadnienia są szeroko opisane w literaturze.

W części obliczeniowej wykorzystano algorytm rozłożenia asortymentu w strefie komisjonowania oparty na klasach – opisany na przykład w [6], [7], [9], [10] oraz następujące metody wyznaczania trasy kompletacji: trasa optymalna (na podstawie algorytmu przedstawionego w [5]) oraz trasa „kombinowana” (jako przykład algorytmu heurystycznego – patrz [2], [12]).

<sup>1</sup> M. Kacprzak – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

<sup>2</sup> Artykuł recenzowany.

Dodatkowo obliczenia zostały przeprowadzone dla 6 różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania – wpływ układu przestrzennego strefy komisjonowania na efektywność procesu komisjonowania jest opisany i analizowany między innymi w [3] i [13].

Celem działania poniżej opisanego algorytmu jest wyznaczenie takich miejsc pobrań, aby były one zgrupowane jak najbliżej siebie. Tym samym droga wyznaczona pomiędzy takimi punktami będzie krótsza, niż droga wyznaczona pomiędzy mniej restrykcyjnie dobranymi punktami. Kryterium minimalnej odległości pomiędzy punktami pobrań nie jest jedynym kryterium, według którego można dokonywać selekcji punktów. Do innych, przykładowych kryteriów mogą należeć:

- minimalizacja (maksymalizacja) liczby bloków roboczych, w których znajdują się miejsca pobrania (dla układów przestrzennych strefy komisjonowania o wielu blokach roboczych)
- minimalizacja (maksymalizacja) liczby korytarzy roboczych, w których znajdują się miejsca pobrania (dla układów o więcej niż jednym korytarzu roboczym)
- minimalizacja odległości poszczególnych punktów pobrań od punktu zdawczo-odbiorczego strefy komisjonowania.

## Metoda badawcza

Przyjmijmy, że znane są poniższe dane:

$A$  – zbiór wszystkich artykułów wchodzących w skład asortymentu:

$$A = \{1, 2, \dots, n\}, a \in A \quad (1)$$

gdzie:

$n$  – liczba artykułów w asortymencie,

$a$  – dany artykuł z asortymentu.

$P$  – zbiór wszystkich punktów pobrań w strefie komisjonowania, taki że:

$$P = \{1, 2, \dots, k\}, p \in P \quad (2)$$

gdzie:

$k$  – liczba punktów pobrań w strefie komisjonowania,

$p$  – dany punkt pobrania.

$ZD$  – zbiór wszystkich punktów zdawczo-odbiorczych (punktów gdzie rozpoczynany jest lub kończony jest proces kompletacji) w strefie komisjonowania, taki że:

$$ZD = \{z_1, z_2, \dots, z_m\} \quad (3)$$

gdzie:

$m$  – liczba punktów zdawczo-odbiorczych w strefie komisjonowania,

$z_n$  – dany punkt zdawczo-odbiorczy.

$P_A$  – zbiór punktów pobrań z przypisanymi doń artykułami – zbiór powstaje w wyniku działania algorytmu dokonującego rozłożenia asortymentu wewnątrz strefy komisjonowania.

$$P_A = \{p_a : p \in P, a \in A\} \quad (4)$$

$D_{i,j}^l$  – macierz odległości pomiędzy poszczególnymi punktami znajdującymi się w strefie komisjonowania. Oprócz punktów pobrań w tej macierzy powinien być uwzględniony punkt (punkty) zdawczo-odbiorczy strefy.

$$D_{i,j} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & d_{1,j} \\ \vdots & 0 & \vdots \\ d_{i,1} & \dots & 0 \end{bmatrix}, i, j \in P \cup i, j \in ZD \quad (5)$$

gdzie:

$d_{(i,j)}$  – najkrótsza odległość pomiędzy punktami  $i$  oraz  $j$

Następnie rozpatrzone zostaje  $l$ -te zlecenie na komisjonowanie o  $l_n$  artykułach. Każdemu zleceniu na komisjonowanie można przypisać zbiór  $A_l$  – zbiór artykułów występujących w danym zleceniu, jednocześnie będący podzbiorem zbioru  $A$  ( $A_l \subset A$ ). Tym samym można wyznaczyć zbiór wszystkich miejsc pobrania zawierających artykuły z  $l$ -tego zlecenia:

$$P_{A_l} = \{p_a : p \in P, a \in A_l\}, P_{A_l} \subset P_A \quad (6)$$

oraz macierz:

$$D_{i,j}^l = \begin{bmatrix} 0 & \dots & d_{1,j} \\ \vdots & 0 & \vdots \\ d_{i,1} & \dots & 0 \end{bmatrix}, i, j \in P_{A_l} \cup i, j \in ZD \quad (7)$$

$D_{i,j}^l$  – jest macierzą odległości pomiędzy punktami pobrań zawierającymi tylko artykuły znajdujące się na zleceniu  $l$ .

Celem działania algorytmu jest stworzenie zbioru punktów  $P^l$  takiego, że:

- liczba jego elementów wynosi dokładnie  $l_n + 1$ , czyli  $|P^l| = l_n + 1$
- każdy z artykuł ze zbioru  $A_l$  składowany jest w dokładnie jednym miejscu pobrania należącym do  $P^l$
- $P^l$  jest podzbiorem zbioru  $P_{A_l}$  czyli:  $P^l \subset P_{A_l}$ .

## Działanie algorytmu

1. Pierwszym punktem jest zawsze punkt zdawczo-odbiorczy.
2. Obecny punkt to  $p_o$ .
3. Wyznacz minimalny, niezerowy element macierzy  $D_{i,j}^l$  taki, że  $i = p_o$ . Będzie to punkt pobrania o minimalnej odległości od obecnego punktu. Przypisz  $p_o = j$ .
4. Określ jaki artykuł ( $a_o$ ) zajmuje miejsce wyznaczone w pkt. 3.
5. Wyznacz losowe miejsce pobrania ( $p_{nast}$ ) zawierające artykuł  $a_o$ .
6. Dodaj miejsce pobrania  $p_{nast}$  do rozwiązania (zbioru  $P^l$ ).
7. Usuń wszystkie punkty zawierające artykuł  $a_o$  ze zbioru  $P_{A_l}$ .
8.  $p_o = p_{nast}$
9. Usuń wszystkie punkty zawierające artykuł  $a_o$  ze zbioru  $P_{A_l}$ .
10. Przypisz wszystkim elementom macierzy  $D_{i,j}^l$  wartość 0 jeżeli  $i, j \notin P_{A_l}$ .
11. Wyznacz minimalny, niezerowy element macierzy  $D_{i,j}^l$  taki, że  $i = p_o$ . Przypisz  $p_{nast} = j$ . Określ jaki artykuł ( $a_o$ ) zajmuje miejsce  $p_{nast}$ .
12. Powtarzaj kroki 6-11 dopóki zbiór  $P_{A_l}$  zawiera jakies elementy ( $P_{A_l} \neq \emptyset$ ).
13. Koniec działania algorytmu.

Należy zwrócić uwagę na to, dlaczego w przypadku drugiego punktu, miejsce pobrania jest wybierane w sposób losowy spośród wszystkich miejsc zawierających dany artykuł? Zakładając, że analizowany asortyment został rozlokowany wewnątrz strefy składowania zgodnie z algorytmem klasowego rozłożenia asortymentu (metoda „ABC”), najbliższe punktu ZO zostały umieszczone artykuły najczęściej pobierane (występujące na większości zleceń na komisjonowanie). Na ogół, dla każdego artykułu będzie istnieć jedno (lub dwa) najbliższe punktu ZO miejsce składowania zawierające dany artykuł. Tym samym te dwa konkretne miejsca byłyby odwiedzane dla większości zleceń na komisjonowanie. Z tego względu zostałyby stosunkowo szybko opróżnione, podczas gdy miejsca zawierające ten sam artykuł (ale jednocześnie bardziej oddalone od punktu ZO) w ogóle nie byłyby odwiedzane. Losowy wybór drugiego miejsca ma spowodować bardziej równomierne „eksploatowanie” wszystkich miejsc pobrania zawierających poszczególne artykuły.

Opisany algorytm łatwo zmodyfikować tak, aby nie był wybierany punkt najmniej oddalony od obecnego punktu, a jeden z kilku najbliższych punktów. Taka modyfikacja algorytmu będzie w dalszej części pracy nazywana algorytmem „najbliższy z  $r$ ”, gdzie  $r$  jest dowolną liczbą naturalną. W takim przypadku 11. krok algorytmu należy zastąpić poniższymi krokami:

- 11.1. Policz ile jest niezerowych elementów macierzy  $D_{i,j}^l$  takich, że  $i = p_0$ . Będzie to wartość  $r_D$ ;
- 11.2. Posortuj w kolejności rosnącej niezerowe elementy macierzy  $D_{i,j}^l$  takie, że  $i = p_0$ ;
- 11.3. Wyznacz losową liczbę  $r_{nd}$  z przedziału  $< 1, r_D >$  gdzie
 
$$r_{nd} = \begin{cases} r, & \text{jeżeli } r \leq r_D \\ r_D, & \text{jeżeli } r > r_D \end{cases}$$
- 11.4.  $r_{nd}$ -ty element ciągu wyznaczonego w punkcie 2 będzie nowym punktem  $p_{nast}$ ;
- 11.5. Określ jaki artykuł ( $a_0$ ) zajmuje miejsce  $p_{nast}$ .

## Wyniki obliczeń

Obliczenia zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu autorskiej aplikacji komputerowej przy następujących założeniach oraz danych wejściowych:

- asortyment 250 artykułów
- 1000 zleceń na komisjonowanie, dla każdego z analizowanych rozmiarów listy kompletacyjnej
- zastosowano algorytm klasowego rozłożenia asortymentu wewnątrz strefy komisjonowania
- wykorzystano 6 różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania (patrz tabela 1)
- wykorzystano dwa różne algorytmy generowania drogi kompletacyjnej: algorytm optymalny oraz algorytm trasy „kombinowana+”
- obliczenia zostały przeprowadzone dla 5 wariantów algorytmu doboru punktów pobrania: zawsze najbliższy, najbliższy z 2, najbliższy z 3, najbliższy z 4 (omówione powyżej) oraz losowo (kolejny punkt pobrania jest losowany z puli wszystkich dostępnych pozostałych miejsc).

Tab. 1. Wykorzystane układy przestrzenne strefy komisjonowania.

Liczba bloków	Liczba korytarzy	Liczba miejsc w korytarzu	Wszystkich miejsc
1	10	30	600
2	5	30	600
2	10	15	600
3	5	20	600
4	5	15	600
5	5	12	600

Źródło: opracowanie własne.

Porównano sumaryczną długość dróg kompletacyjnych dla poszczególnych wariantów obliczeniowych. Jako bazę przyjęto wyniki otrzymane dla algorytmu „zawsze najbliższego” wyboru punktu pobrania, pozostałe wyniki zostały odniesione do tych wartości. Tym samym poniższa analiza odpowiada na pytanie: „o ile pogorszy się sumaryczna długość dróg kompletacyjnych, jeżeli zostanie wykorzystany mniej efektywny algorytm wyboru miejsc pobrania?” Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabelach 2 (algorytm optymalny generowania trasy kompletacyjnej) oraz 3 (algorytm trasy „kombinowana+”).

Tab. 2. Porównanie sumarycznej długości dróg kompletacyjnych dla różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania oraz różnych wariantów algorytmu wyboru miejsc pobrania. Wykorzystana metoda generowania tras kompletacyjnych: algorytm optymalny. Wartości uśrednione dla zleceń zawierających 5-15 artykułów na zleceniu.

Układ przestrzenny strefy komisjonowania	Algorytm wyboru punktów pobrania				Losowo
	Zawsze najbliższy	Najbliższy z 2	Najbliższy z 3	Najbliższy z 4	
1 blok, 10 korytarzy, 30 miejsc	100,0%	105,0%	110,0%	114,3%	135,4%
2 bloki, 10 korytarzy, 15 miejsc	100,0%	104,4%	109,9%	113,3%	130,4%
2 bloki, 5 korytarzy, 30 miejsc	100,0%	103,3%	109,0%	113,0%	134,4%
3 bloki, 5 korytarzy, 20 miejsc	100,0%	102,7%	107,0%	110,0%	126,5%
4 bloki, 5 korytarzy, 15 miejsc	100,0%	102,6%	106,1%	108,9%	122,7%
5 bloków, 5 korytarzy, 12 miejsc	100,0%	102,2%	105,9%	108,3%	119,9%

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 3. Porównanie sumarycznej długości dróg kompletacyjnych dla różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania oraz różnych wariantów algorytmu wyboru miejsc pobrań. Wykorzystana metoda generowania tras kompletacyjnych: trasa „kombinowana+”. Wartości uśrednione dla zleceń zawierających 5-50 artykułów na zleceniu.

Układ przestrzenny strefy komisjonowania	Algorytm wyboru punktów pobrań				
	Zawsze najbliższy	Najbliższy z 2	Najbliższy z 3	Najbliższy z 4	Losowo
1 blok, 10 korytarzy, 30 miejsc	100,0%	105,2%	109,5%	113,1%	136,2%
2 bloki, 10 korytarzy, 15 miejsc	100,0%	103,6%	107,6%	110,6%	131,9%
2 bloki, 5 korytarzy, 30 miejsc	100,0%	103,8%	109,1%	113,5%	136,1%
3 bloki, 5 korytarzy, 20 miejsc	100,0%	102,8%	107,2%	110,6%	130,1%
4 bloki, 5 korytarzy, 15 miejsc	100,0%	103,0%	106,9%	110,4%	129,3%
5 bloków, 5 korytarzy, 12 miejsc	100,0%	102,6%	106,5%	109,6%	127,0%

Źródło: opracowanie własne.

## Wnioski

Analizując otrzymane wyniki można wyciągnąć następujące wnioski:

- wykorzystany układ przestrzenny strefy komisjonowania zasadniczo nie wpływa na efektywność metod wyboru punktów pobrań
- spośród analizowanych, algorytm generowania trasy kompletacyjnej zasadniczo nie wpływa na efektywność metod wyboru punktów pobrań
- losowy wybór punktów pobrań znacząco wydłuża trasy kompletacyjne dla wszystkich analizowanych układów przestrzennych strefy komisjonowania oraz wykorzystanych algorytmów generowania tras kompletacyjnych
- w porównaniu z algorytmem „zawsze najbliższym” każdy dodatkowy punkt, spośród których losowane są punkty pobrań, zwiększa długość tras kompletacyjnych o około 5%.

## Podsumowanie

Zastosowanie algorytmu wyboru punktów pobrań ma znaczący wpływ na efektywność całego procesu komisjonowania – w stosunku do wyboru losowego poprzez zastosowanie odpowiedniej metody możliwe jest skrócenie długości dróg kompletacyjnych nawet o 20-30%. Przedstawiony algorytm może być z powodzeniem stosowany w strefach komisjonowania o zróżnicowanym układzie przestrzennym i przy wykorzystaniu różnych metod generowania tras kompletacyjnych.

## Streszczenie

Artykuł zawiera opis problemu wyboru punktów pobrań w trakcie procesu komisjonowania. Przedstawiony został przykładowy algorytm (wraz z modyfikacjami), który można wykorzystać w tym celu. Efektywność algorytmu została przetestowana dla różnych układów przestrzennych strefy komisjonowania, różnej liczby artykułów na zleceniu oraz różnych algorytmów generowania trasy kompletacyjnej.

**Słowa kluczowe:** komisjonowanie, optymalizacja, wybór punktów pobrań.

## Problem of pick location selection during order picking process

### Abstract

The paper presents problem of pick location selection during order picking process. Example algorithm for this purpose is presented along with possible modifications. Effectiveness of said algorithm is tested for different layouts of order picking zone, different lengths of pick list and different routing methods.

**Key words:** order picking, optimization, pick location selection.

### LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

- [1] Fijałkowski J., *Technologia magazynowania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1995.
- [2] Kacprzak M., *Metoda wyznaczania tras kompletacji wg kryterium minimalnej łącznej ich długości dla realizacji ustalonej liczby zleceń kompletacyjnych*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2010.
- [3] Kłodawski M., Jacyna M., Wpływ układu strefy komisjonowania na długość drogi kompletowania, „Logistyka”, nr 4/2010.
- [4] Kłodawski M., Jacyna M., Czas procesu kompletacji jako kryterium kształtowania strefy komisjonowania, „Logistyka”, nr 2/2011.
- [5] Little J., Murty K., Sweeney D., Karel C., An algorithm for traveling salesman problem, “Operation Research”, vol. 11, Cambridge 1963.
- [6] Niemczyk A., Wybrane problemy efektywnego rozmieszczania towarów w magazynach, „Logistyka”, nr 5/2011.
- [7] Pan J.-H., Wu M.-H., A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system, “Computers & Industrial Engineering”, vol. 57/2009.
- [8] Petersen C., An evaluation of order picking routeing policies, “International Journal of Operations & Production Management”, vol. 11/1997.
- [9] Petersen C., Aase G., A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking, “International Journal of Production Economics”, vol. 94/2004.
- [10] Petersen C., Aase G., Heiser D., Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage, “International Journal of Physical Distribution & Logistics Management”, vol. 34/2004.
- [11] Ratkiewicz A., Efektywność procesu kompletacji, „Logistyka”, nr 4/2011.
- [12] Roodbergen K., *Layout and Routing Methods for Warehouses. Ph.D. Thesis*. The Netherlands TRIAL Research School, 2001.
- [13] Roodbergen K., Sharp G., Vis I., *Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses*, IIE Transactions, vol. 40/2008.