



Aleksandra Sabo-Zielonka

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
Wydział Informatyki i Komunikacji
Katedra Badań Operacyjnych
a.sabo@wp.pl

HEURYSTYKI WYZNACZANIA TRAS W DWUBLOKOWEJ NIEPROSTOKĄTNEJ STREFIE KOMPLETACJI ZAMÓWIEŃ

Streszczenie: Klasyczne modele kompletacji zamówień dedykowane są zazwyczaj symetrycznym prostokątnym układom strefy kompletacji zamówień w magazynie. W praktyce do wyznaczania trasy przejścia przez magazyn stosowane są heurystyki, z uwagi na pewne niedogodności, które niosą za sobą metody optymalne. Najczęściej wykorzystywaną heurystyką jest heurystyka *S-Shape*. Zdarza się jednak, że na potrzeby magazynowania adaptuje się istniejące budynki i pomieszczenia, które nie posiadają kształtów symetrycznych, a zatem istniejące modele nie znajdują zastosowania dla układów niestandardowych.

Przedmiotem badań jest wybrany niestandardowy dwublokowy układ strefy kompletacji magazynu *L-Shape*. Omówiono 4 heurystyki wyznaczania tras (*S-Shape*, *Midpoint*, *Return*, *Largest Gap*), zmodyfikowane i dostosowane na potrzeby badanego układu strefy kompletacji zamówień dla różnych położenia pola odkładczego.

Słowa kluczowe: kompletacja zamówień, heurystyki wyznaczania tras, pole odkładcze.

Wprowadzenie

Kompletacja zamówień (ang. *order-picking*) jest jedną z podstawowych czynności realizowanych w magazynie, która polega na wybieraniu z miejsc składowania (lub miejsc przygotowania) odpowiednich rodzajów i ilości asortymentów oraz zestawienie ich w odrębną, wydzieloną całość, która następnie zostanie przekazana do strefy wydań magazynu, celem wydania odbiorcy [Kizyn, 2006]. Jest to proces polegający na przygotowaniu towarów na potrzeby zamówienia. W praktyce polega na tym, że pracownik otrzymuje dyspozycję komple-

tacji, która powstała w systemie wspomagającym zarządzanie magazynem, i na jej podstawie pobiera towary.

Problem kompletacji może być rozwiązywany zarówno przy pomocy metod dokładnych, jak i przybliżonych, np. przeszukiwanie lokalne, symulowane wyżarczenie, algorytmy ewolucyjne. Dla minimalizacji nakładów związanych z otrzymaniem rozwiązania dokładnego (optymalnego) problemu wykorzystuje się metody przybliżone. Metody heurystyczne (przybliżone) charakteryzują się dużym stopniem przystosowania do problemu, lecz nie gwarantują znalezienia rozwiązania optymalnego. Jednak dobrze dobrany algorytm heurystyczny pozwala na osiągnięcie rozwiązania często niewiele odbiegającego od rozwiązania optymalnego, często akceptowalnego z praktycznego punktu widzenia.

Problem kompletacji zamówień jest szeroko analizowany w literaturze – zarówno krajowej, jak i światowej. Podstawowe problemy omówione są np. w pracach: [de Koster, Le-Duc i Roodbergen, 2007; van der Berg, 1999; Wäscher, 2004; Gu, Goetschalckx i McGinnis, 2010]. W literaturze polskiej o funkcjach kompletacji piszą: Krawczyk i Jakubiak [2011], Tarczyński [2012] oraz Kłodawski i Jacyna [2011]. Wielokryterialną ocenę tego procesu przedstawia Tarczyński [2013b]. Wszystkie te prace dotyczą jednak wariantu standardowego, czyli magazynu o kształcie prostokątnym.

Celem artykułu jest adaptacja klasycznych heurystyk wyznaczania tras dedykowanych prostokątnemu układowi strefy kompletacji na potrzeby układu niestandardowego dla różnych wariantów lokalizacji pola odkładczego. Dodatkowo zweryfikowano, która z zaproponowanych heurystyk pozwala na osiągnięcie najlepszych wyników w rozpatrywanych wariantach.

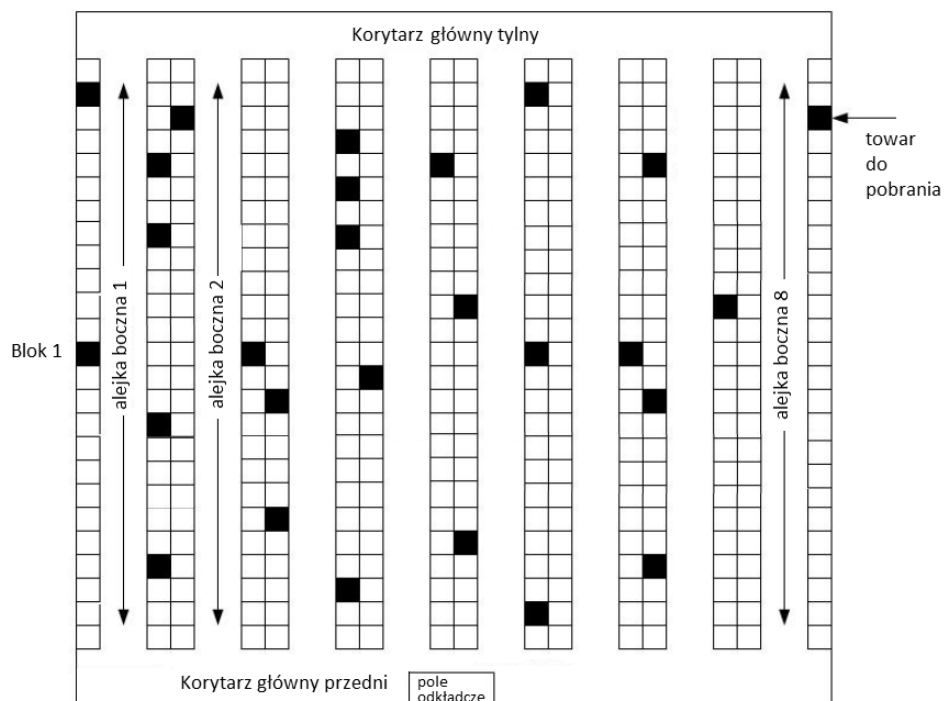
1. Układ magazynu i strefy kompletacji

Zasadniczo wyróżnia się dwa rodzaje decyzji związanych z układem magazynu. Pierwszy typ decyzji dotyczy rozmieszczenia poszczególnych stref w magazynie (przyjęcia, wydania, kompletacji, składowania), natomiast drugi typ decyzji ma na celu określenie układu każdej ze stref [de Koster, Le-Duc i Roodbergen, 2007]. Procedurę systematyzującą przebieg czynności wspomagających podejmowanie decyzji związanych z utworzeniem optymalnego układu magazynu opisuje Muther [1973].

Prezentowane w literaturze modele kompletacji zamówień dedykowane są zazwyczaj symetrycznym układom stref kompletacji i nie znajdują one zastosowania w przypadku układów niestandardowych. Za standardowy układ (ang. *basic*

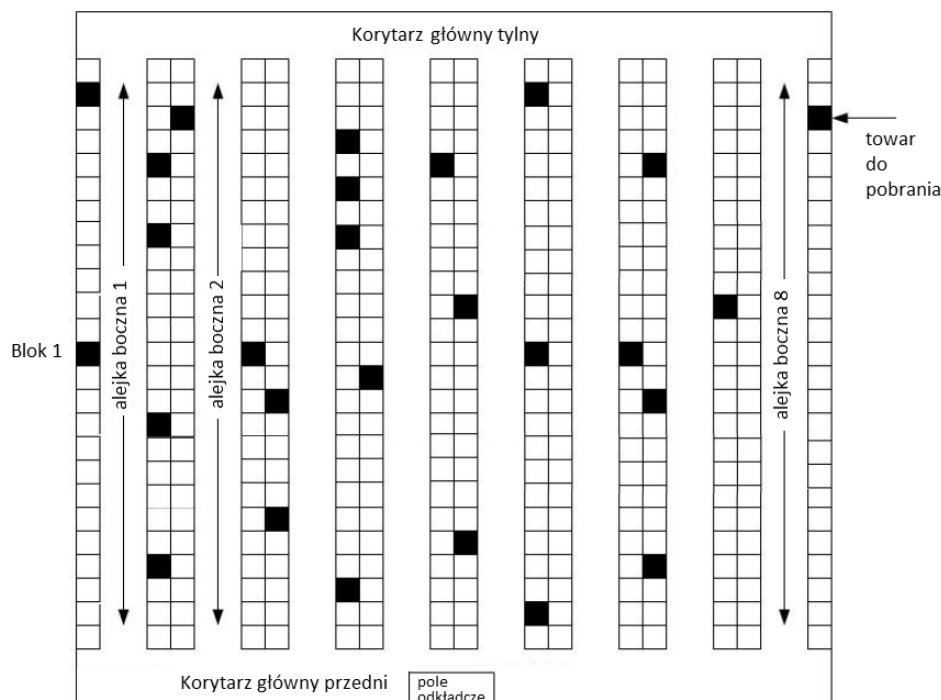
warehouse layout)¹ strefy kompletacji zamówień uważa się strefę o układzie prostokątnym z równolegle ułożonymi alejkami bocznymi oraz prostopadle do nich ułożonymi korytarzami głównymi: korytarz główny przedni (ang. *front cross aisle*) i korytarz główny tylny (ang. *rear cross aisle*), którymi przemieszczają się pracownicy kompletujący zamówienia. Korytarze główne nie zawierają towarów wymagających pobrania w procesie kompletacji, a jedynie służą do zmiany alejek bocznych. Pole odkładcze, czyli miejsce, do którego dostarczane są skompletowane towary, zlokalizowane jest zazwyczaj centralnie. W każdej z alejek bocznych po obu stronach znajdują się wielopoziomowe regały, z których pobierane są towary podczas procesu kompletacji.

Na rys. 1-2 zaprezentowano przykłady klasycznych układów strefy kompletacji zamówień, zarówno układu jednoblokowego, jak i wieloblokowego.



Rys. 1. Standardowy układ strefy kompletacji – układ jednoblokowy

¹ W literaturze angielskojęzycznej można spotkać się również z nazwą *traditional warehouse layout*.



Rys. 2. Standardowy układ strefy kompletacji – układ wieloblokowy

Często na potrzeby magazynowania adaptuje się istniejące budynki czy pomieszczenia, które nie posiadają kształtów i wymiarów symetrycznych. Wówczas kompletacja zamówień odbywa się w tzw. budynkach odziedziczonych, gdzie nie ma fizycznych możliwości ujednolicenia kształtów pomieszczeń. Przez **niestandardowy układ strefy kompletacji** rozumie się strefę kompletacji posiadającą kształt inny niż prostokątny, w której mogą, lecz nie muszą, występować alejki boczne ułożone zarówno równoległe, jak i prostopadłe do siebie. Inną przyczyną wpływającą na układ strefy inny niż standardowy mogą być różne rodzaje i wymiary zastosowanych regałów, wymuszające zmianę układu strefy, czy chociażby różne gabaryty asortymentu. Dodatkowo, różne wymagania proceduralne, takie jak termiczne warunki przechowywania czy konieczność odseparowania jednych towarów od innych, mogą skutkować wydzieleniem strefy, a co za tym idzie – powstaniem niesymetrycznego układu strefy kompletacji.

W niestandardowych układach stref mogą występować dodatkowe przejścia pozwalające na zmianę alejek bocznych bez konieczności powrotu do korytarzy głównych. Często zdarza się także, że pole odkładcze nie jest umiejscowione centralnie.

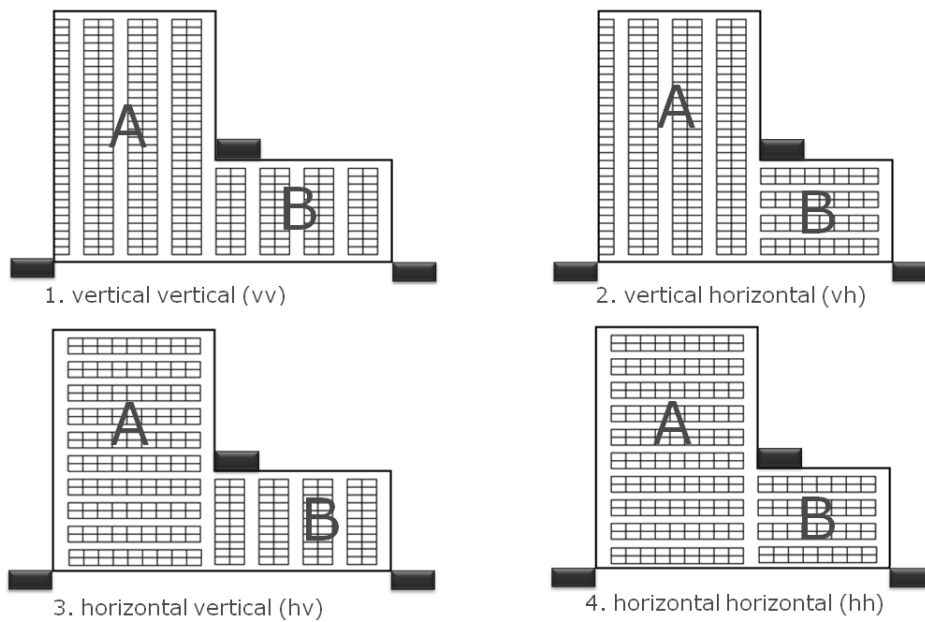
Przeprowadzono badanie w firmie zajmującej się dostarczaniem oprogramowania klasy MWS do magazynów w całej Polsce, weryfikujące występowanie niestandardowych układów stref kompletacji w magazynach. Wyniki badania potwierdziły występowanie takich niestandardowych układów.

Układ strefy kompletacji, który najczęściej powtarzał się w uzyskanych wynikach badania, to kształt składający się z dwóch prostokątnych bloków, przypominający swym kształtem literę L. Na potrzeby dalszych badań, przyjęto, że taki układ strefy kompletacji będzie określany jako układ *L-Shape*.

Wyróżniono 4 możliwe warianty (rys. 3) układu *L-Shape*, są to odpowiednio układy:

- *vertical vertical*,
- *vertical horizontal*,
- *horizontal vertical*,
- *horizontal horizontal*.

Przyjęte nazwy układów strefy *L-Shape* są odzwierciedleniem ułożenia alejek bocznych w blokach A oraz B.



Rys. 3. Standardowy układ strefy kompletacji – układ wieloblokowy

2. Ilustracja zaproponowanych metod

Badanie stanowi studium przypadku dla dwublokowego układu strefy kompletacji zamówień w magazynie, przypominającego swym układem literę L. W obliczeniach porównano czasy kompletacji zamówień dla wybranych metod wyznaczania trasy przejścia magazynierów przez magazyn. Zweryfikowana została również hipoteza mówiąca o tym, iż sposób wyznaczania trasy przejścia przez magazyn może w sposób znaczący skrócić średni czas kompletacji zamówień. Analiza dotyczy jednej ze stref kompletacji. Na potrzeby badania zostały zmodyfikowane heurystyki: *S-Shape*, *Midpoint*, *Return*, *Largest Gap*, dla których przeprowadzono obliczenia. Wyniki zostały porównane między sobą.

Podstawę obliczeń stanowił symulacyjny model komputerowy, w którym odzwierciedlono podstawowe czynniki wpływające na czas kompletacji występujące w omawianej strefie kompletacji, tj. dwublokowy układ magazynu, różna lokalizacja pola odkładczego, tj. typ 1, typ 2, typ 3, pięciopoziomowy układ składowania, kompletacja manualna typu „człowiek do towaru” bez wykorzystywania wózków widłowych. Do wyznaczenia charakterystyk losowych czasu trwania procesu kompletacji dla różnych sposobów określania trasy magazynierów wykorzystany zostanie program *Warehouse Real-Time Simulator*.

Dla każdej symulacji niezbędne jest wyznaczenie minimalnej liczebności próby, zapewniającej uzyskanie ustalonej z góry dokładności estymacji przedziałowej średniej w populacji [Sobczyk, 2006]:

$$n = \frac{z_{\alpha}^2 \sigma^2}{d^2} \quad (1)$$

gdzie:

d – maksymalny (dopuszczalny) błąd szacunku,

σ – odchylenie standardowe,

z_{α} – wartość krytyczna odczytywana z dystrybuanty rozkładu normalnego.

Dla przykładu R. de Koster w pracy [de Koster, van der Poort i Roodbergen, 1998] dowiódł, że w celu uzyskania maksymalnego błędu szacunku mniejszego niż 2%, z prawdopodobieństwem 95% dla rozpatrywanych wariantów, minimalna liczba symulacji wynosi 10 000.

W praktyce problem wyznaczania tras kompletacji w magazynie jest rozwiązywany głównie przy wykorzystaniu heurystyki *S-Shape* [Roodbergen i de Koster, 2001], gdzie sposób poruszania się magazyniera wzdłuż alejek przypomina swym kształtem literę S. Innym sposobem jest heurystyka *Midpoint*, która zakłada, że osoba kompletująca zamówienia może, wchodząc do danej alejki, do-

cierać jedynie do połowy jej długości, a następnie powracać do korytarza głównego. Heurystyka **Return** polega na odwiedzeniu każdej z alejek, w których występują towary wymagające pobrania, na docieraniu do ostatniego towaru w danej alejce oraz powrotu do korytarza głównego. Ostatnią z adaptowanych heurystyk jest heurystyka **Largest Gap**, która nie pozwala na pokonanie najdłuższego odcinka pomiędzy dwoma kolejnymi towarami wymagającymi pobrania lub też początkiem alejki a pierwszym towarem, czy ostatnim towarem a końcem alejki.

Wymienione heurystyki zostały zaadaptowane na potrzeby układu strefy *L-Shape*. Adaptacja polegała na dostosowaniu algorytmu poruszania się magazyniera w rozpatrywanym dwublokowym układzie magazynu.

Stosowanie heurystyk wynika przede wszystkim z faktu, że nie zawsze możliwe jest wykorzystanie algorytmu optymalnego dla każdego układu magazynu. Z drugiej zaś strony trasy optymalne dla osób kompletujących zamówienia mogą wydawać się nielogicznie zaplanowane. Dodatkowo, algorytmy optymalne nie pozwalają zapobiegać niepożądanym zdarzeniom, takim jak zatory w trakcie pobierania towarów czy kolizje, podczas gdy niektóre metody heurystyczne pozwalają uniknąć takich wypadków.

3. Założenia przyjęte do modelu

Rozważany jest niesymetryczny układ strefy kompletacji, przypominający swym kształtem literę L (ang. *L-Shape layout*); brana pod uwagę jest jedna strefa kompletacji, składająca się z dwóch prostokątnych bloków: bloku głównego A oraz bloku bocznego B. Pojedyncze przejście kompletacyjne realizowane jest przez jedną osobę w danym momencie. Zakłada się, że puste koszyki pobierane są z jednego miejsca, a pole odkładcze jest zarazem punktem startu (pobrania koszyka). Kompletowane towary odkładane są w jednej z 3 możliwych lokalizacji pola odkładczego:

1. Pod pierwszą alejką po lewej stronie.
2. Pomiędzy blokami („u góry”).
3. Pod ostatnią alejką po prawej stronie.

Warunkiem odłożenia koszyka jest skompletowanie całego zlecenia kompletacyjnego, przy czym pojemność koszyka jest wystarczająca dla skompletowania całego zlecenia kompletacyjnego (koszyk nie przepelnia się).

Układ alejek bocznych nie zawsze jest równoległy (wyróżnia się także ułożenie prostopadłe); możliwe układy alejek:

- Lvv – *vertical vertical* (Układ L, Blok A składa się z alejek ułożonych pionowo, Blok B składa się z alejek ułożonych pionowo);

- Lvh – *vertical horizontal* (Układ L, Blok A składa się z alejek ułożonych pionowo, Blok B składa się z alejek ułożonych poziomo);
- Lhh – *horizontal horizontal* (Układ L, Blok A składa się z alejek ułożonych poziomo, Blok B składa się z alejek ułożonych poziomo);
- Lhv – *horizontal vertical* (Układ L, Blok A składa się z alejek ułożonych poziomo, Blok B składa się z alejek ułożonych pionowo).

Czas pobrania 1 sztuki towaru jest taki sam, jak pobrania 10 sztuk, a szybkość poruszania się magazyniera wynosi 5 km/h. Przyjęto, że prawdopodobieństwo pobrania wszystkich towarów na różnych poziomach jest takie samo.

Towary zostały rozmieszczone w magazynie zgodnie z klasyfikacją XYZ, uwzględniającą podział według tempa zużycia lub sprzedaży:

X – duże tempo zużycia,

Y – średnie tempo zużycia,

Z – małe tempo zużycia.

Klasyfikacja XYZ często bywa łączona z klasyfikacją ABC. Prawdopodobieństwo pobrania towarów z różnych lokalizacji jest określone zgodnie z klasyfikacją X (50%), Y (30%), Z (20%), uwzględniającą współczynnik rotacji towarów. Zamówienia zostały wygenerowane losowo.

Średni czas zainicjowania realizacji zamówienia, czyli pobrania koszyka przez magazyniera wynosi 5 s, a średni czas pobrania 1 towaru wynosi średnio 10 s, przy czym na czynność pobrania pojedynczego towaru składają się następujące czynności:

- zeskanowanie kodu pola odkładczego za pomocą terminalu ręcznego,
- zeskanowanie kodu towaru za pomocą terminalu ręcznego,
- zeskanowanie kodu koszyka za pomocą terminalu ręcznego,
- umieszczenie towaru w koszyku.

W tab. 1 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące układu magazynu w każdym z bloków dla każdego układu (*vertical* oraz *horizontal*), tj. liczbę alejek, liczbę indeksów towarów, liczbę poziomów składowania, całkowitą liczbę indeksów.

Tabela 1. Układ magazynu – dane liczbowe

Blok magazynu	Układ	Liczba alejek	Liczba indeksów	Liczba poziomów składowania	Całkowita liczba indeksów
A	v	5	120	5	6000
A	h	4	150	5	6000
B	v	5	60	5	3000
B	h	4	75	5	3000

Tabela 2. Rozmieszczenie procentowe towarów zgodne z klasyfikacją XYZ w każdej ze stref

Pole odkładcze	Blok A			Blok B		
	X (%)	Y (%)	Z (%)	X (%)	Y (%)	Z (%)
typ 1	50,00%	10,00%	6,67%	0,00%	20,00%	13,33%
typ 2	33,33%	21,67%	11,67%	16,67%	8,33%	8,33%
typ 3	16,67%	30,00%	20,00%	33,33%	0,00%	0,00%

W tab. 2 zaprezentowano procentowe rozmieszczenie towarów w magazynie w blokach A i B dla każdego z trzech typów lokalizacji pola odkładczego. Najwięcej towarów znajdowało się w strefie X (50%), która jest zlokalizowana najbliżej pola odkładczego, a najmniej w strefie Z (20%), której produkty są najbardziej oddalone od miejsca, w którym odkładane są towary.

4. Wyniki

Badania empiryczne przeprowadzono z wykorzystaniem zmodyfikowanej wersji programu *Warehouse Real-Time Simulator* [Tarczyński, 2013a]. Średnie czasy kompletacji, uzyskane dla różnych heurystyk służących do wyznaczania trasy magazyniera, trzech sposobów ułożenia towarów (i umiejscowienia pola odkładczego) oraz czterech sposobów rozmieszczenia regałów, są przedstawione w tab. 3. Podczas analizy zbadano 48 wariantów decyzyjnych – w tabeli znajduje się 15 najlepszych i 5 najgorszych wyników. Najkrótszy średni czas kompletacji uzyskano dla heurystyki *S-shape*”, pierwszego typu pola odkładczego i układu *hh*. Warto zwrócić uwagę, że w pierwszej dziesiątce rankingu aż 9 razy pojawia się heurystyka *S-shape*”, a pozostałe miejsca z czołowej piętnastki zajmują warianty z heurystyką *Largest Gap*”. Wynik taki nie jest niespodzianką – jest on zgodny ze spostrzeżeniami Halla [1993]: jeżeli liczba pobrań (w analizowanych przykładach wynosiła 20) jest duża w stosunku do liczby alejek, w których przechowywane są towary, to heurystyka *S-shape*” daje wyniki zbliżone do czasu optymalnego. Należy przypuszczać, że dla zamówień zawierających mniejszą liczbę towarów lepsze wyniki można będzie uzyskać dla heurystyki *Midpoint*” i jej ulepszonej wersji *Largest Gap*”.

Na czołowych miejscach rankingu znajduje się typ 1 umiejscowienia pola odkładczego, natomiast sposób ułożenia regałów nie przekłada się bezpośrednio na czas kompletacji. Trzeba jednak pamiętać, że tylko łączna analiza wszystkich parametrów magazynu pozwala na optymalizację jego funkcjonowania.

W tab. 4 podano liczbę indeksów towarów (w procentach) pobieranych z części głównej magazynu i części bocznej. Dla najlepszego wariantu aż 86,65% towarów pobrano w części głównej magazynu, a 13,35% z części bocznej. Dla najgorszych wariantów wartości te rozkładały się mniej więcej po połowie na obie części magazynu. Widać więc, że lepsze rezultaty uzyskuje się wtedy, gdy większość towarów pobieranych jest tylko z jednej części magazynu (dla wielu zamówień magazynier w ogóle nie musiał wchodzić do części bocznej).

Tabela 3. Najlepsze i najgorsze wyniki

Miejsce w rankingu	Heurystyka	Sposób ułożenia towarów	Sposób ułożenia regałów	Czas kompletacji
1	s-shape ²⁷	typ 1	hh	17:44 (100,0%)
2	s-shape ²⁷	typ 1	hv	17:51 (100,6%)
3	s-shape ²⁷	typ 1	vh	17:54 (100,9%)
4	s-shape ²⁷	typ 1	vv	18:03 (101,8%)
5	s-shape ²⁷	typ 2	hv	18:16 (103,0%)
6	s-shape ²⁷	typ 3	hv	18:38 (105,1%)
7	s-shape ²⁷	typ 2	hh	18:48 (106,0%)
8	s-shape ²⁷	typ 3	hh	18:54 (106,5%)
9	largest gap ²⁷	typ 1	hh	18:56 (106,7%)
10	s-shape ²⁷	typ 2	vv	18:57 (106,8%)
11	largest gap ²⁷	typ 3	hh	19:06 (107,7%)
12	largest gap ²⁷	typ 1	hv	19:08 (107,8%)
13	largest gap ²⁷	typ 3	hv	19:09 (108,0%)
14	largest gap ²⁷	typ 2	hv	19:12 (108,2%)
15	largest gap ²⁷	typ 2	hh	19:13 (108,3%)
...
44	return ²⁷	typ 2	vv	22:02 (124,2%)
45	return ²⁷	typ 1	hv	22:04 (124,4%)
46	return ²⁷	typ 2	hv	22:12 (125,1%)
47	return ²⁷	typ 3	hh	22:26 (126,5%)
48	return ²⁷	typ 3	hv	22:33 (127,1%)

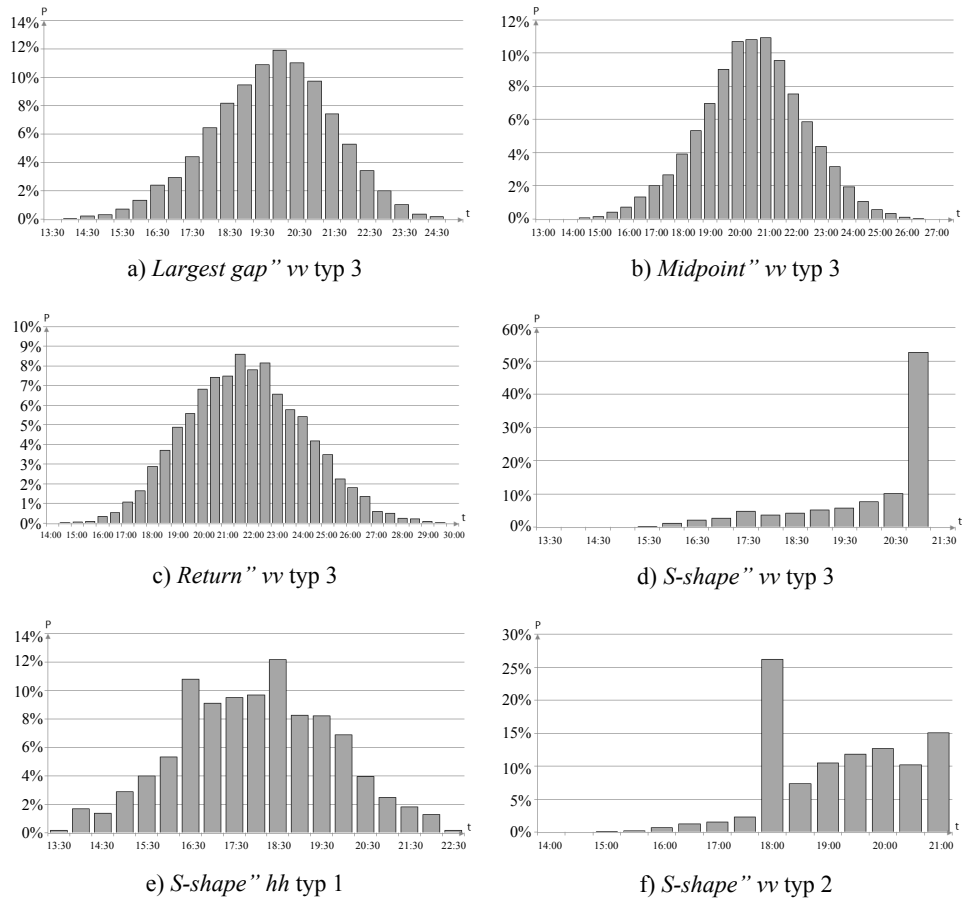
Tabela 4. Procent indeksów towarów pobieranych z części głównej magazynu (A) i części bocznej (B)

Układ magazynu		Część A	Część B
1	2	3	4
hv	typ 1	86,79%	13,21%
	typ 2	67,03%	32,97%
	typ 3	46,60%	53,40%

cd. tabeli 4

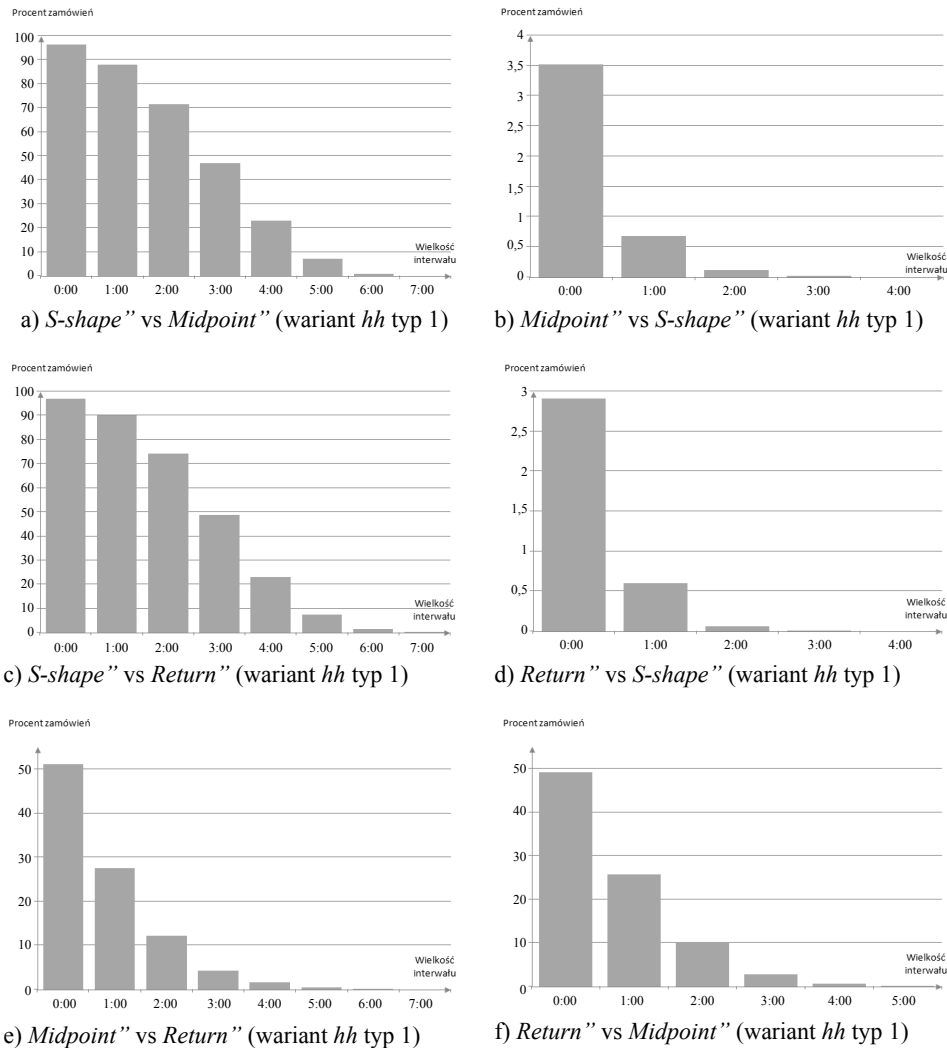
1	2	3	4
hh	typ 1	86,65%	13,35%
	typ 2	67,17%	32,83%
	typ 3	46,60%	53,40%
vh	typ 1	86,51%	13,49%
	typ 2	67,19%	32,81%
	typ 3	46,53%	53,47%
vv	typ 1	86,11%	13,89%
	typ 2	66,92%	33,08%
	typ 3	46,53%	53,47%

Rysunek 4 przedstawia wykresy rozkładów prawdopodobieństwa czasu kompletacji zamówień dla wybranych wariantów decyzyjnych. Rozkłady dla metod *Largest Gap*, *Midpoint* i *Return* są zbliżone do rozkładu normalnego. Dla heurystyki *S-shape* tak już być nie musi. O ile wykres sporządzony dla wariantu *S-shape* *hh* typ 1 (rys. 4e) jeszcze znacząco nie odbiega od wykresu rozkładu normalnego, to pozostałe prezentowane dwa rozkłady mają już zupełnie inną postać. Dla wariantu *S-shape* *vv* typ 3 (rys. 4d) w części bocznej magazynu znajdowały się wyłącznie towary o najwyższym współczynniku rotacji. Często więc magazynier w ogóle nie opuszczał tej części magazynu. Wyjście do części A powodowało konieczność pobrania tutaj niewielkiej liczby towarów i przejścia zazwyczaj tylko dwóch korytarzy, co obrazuje najwyższy słupek na wykresie. Wariant *S-shape* *vv* typ 2 (rys. 4f) zakładał w części A magazynu rozmieszczenie w każdej alejce zarówno towarów z klasy X, jak i Y oraz Z. W części B towary w każdej z alejek były jednorodne pod względem rotacji. Tutaj również w części A magazynier najczęściej pobierał towary z dwóch lub trzech alejek (najwyższy słupek), nierzadko jednak musiał pokonać znacznie dłuższy dystans.



Rys. 4. Rozkłady prawdopodobieństwa czasu kompletacji

Na rys. 5 przedstawiono porównanie parami czasów kompletacji dla wybranych heurystyk i wariantu *hh* typ 1. Z rys. 5a widać np. że dla około 97% zamówień heurystyka *S-shape*'' dała lepsze wyniki, niż *Midpoint*'', a dla 7,4% zamówień różnica wynosiła ponad 5 minut. Metoda *Midpoint*'' dała lepszy wynik od *S-shape*'' o ponad 3 minuty tylko dla 1 zamówienia, a o 2 minuty dla 6 zamówień. Co ciekawe, bardzo podobny rozkład czasów kompletacji uzyskano dla metod *Midpoint*'' i *Return*'' (rys. 5e i 5f). Po około 50% zamówień szybciej było realizowanych dla każdej z metod, z czego mniej więcej 25% szybciej o co najmniej minutę. Dla kilku zamówień metoda *Midpoint*'' dała lepsze wyniki od *Return*'' o ponad 7 minut, w drugą stronę ta różnica nie przekroczyła 5 minut.



Rys. 5. Liczba zamówień (w %) zrealizowanych szybciej dla heurystyki pierwszej niż dla heurystyki drugiej co najmniej o zadany interwał

Podsumowanie

Klasyczne modele decyzyjne dedykowane są symetrycznym prostokątnym układom strefy kompletacji zamówień w magazynie. W praktyce do wyznaczania trasy przejścia przez magazyn stosowane są heurystyki z uwagi na pewne niedogodności, które niosą za sobą metody dające rozwiązanie optymalne. Najczęściej wykorzystywaną heurystyką jest heurystyka *S-Shape*.

Przedmiotem badań były 4 heurystyki wyznaczania tras dla dwublokowego układu strefy kompletacji *L-Shape* (przyjęto odpowiednio oznaczenia *S-Shape*”, *Midpoint*”, *Return*”, *Largest Gap*”), zmodyfikowane i dostosowane na potrzeby badanego układu strefy kompletacji zamówień dla różnych lokalizacji pola odładczonego.

Zastosowanie technik symulacyjnych jest wprawdzie dość czasochłonne, umożliwia jednak precyzyjne określenie rozkładu prawdopodobieństwa czasu kompletacji zamówień dla różnych metod wyznaczania trasy magazyniera. W analizowanych 48 wariantach różnice w czasach kompletacji zamówień uzyskanych dla heurystyk były dość znaczne, a zdecydowana większość wyników potwierdziła, że najlepszą z proponowanych heurystyk jest heurystyka *S-Shape*”.

Dalsze badania powinny skupić się na rozmieszczeniu towarów w magazynie według klasyfikacji A, B, C, zgodnej z zasadą Pareto (20/80; 30/15; 50/5), na dwa sposoby, tj. według stałej ścieżki przejścia, czyli najbardziej rotujące najbliższej punktu startowego, oraz metodą „grzebienia”, tzn. najbardziej rotujące towary umieszczane na początku każdej alejki.

Dodatkowo słuszne wydaje się rozważenie większej liczby alejek bocznych w bloku głównym oraz bloku bocznym, a także zwiększenie liczby regałów w każdym z bloków, czy też zwiększenie liczby indeksów w każdej z alejek. Zasadna wydaje się także weryfikacja czasów kompletacji dla różnej liczby indeksów na zamówieniach 5, 10 i 15 oraz weryfikacja czasów kompletacji dla piątej heurystyki wyznaczania tras – heurystyki *Combined*.

Literatura

- Berg J.P. van den (1999), *A Literature Survey on Planning and Control of Warehousing Systems*, „IIE Transactions”, 31, s. 751-762.
- Gu J., Goetschalckx M., McGinnis L.F. (2010), *Research on Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review*, „European Journal of Operational Research”, 203, s. 539-549.
- Hall R. (1993), *Distance Approximations for Routing Manual Pickers in a Warehouse*, „IIE Transactions”, 25:4, s. 76-87.
- Kizyn M. (2006), *Problemy kompletacji w procesach magazynowych cz. 1*, „Logistyka”, nr 1.
- Kłodawski M., Jacyna M. (2011), *Czas procesu kompletacji jako kryterium kształtowania strefy komisjonowania*, „Logistyka”, nr 2, s. 307-317.
- Koster R. de, Le-Duc T., Roodbergen K.J. (2007), *Design and Control of Warehouse Order-picking: A Literature Review*, „European Journal of Operation Research”, 182, s. 481-501.

- Koster R. de, Poort E. van der, Roodbergen K.J. (1998), *When to Apply Optimal or Heuristic Routing of Orderpickers* [w:] B. Fleischmann i in. (eds.), *Advances in Distribution Logistics*, Springer, Berlin, s. 375-401.
- Krawczyk S., Jakubiak M. (2011), *Rola komisjonowania w sterowaniu przepływami produktów*, „Logistyka”, nr 4, s. 475-486.
- Muther R. (1973), *Systematic Layout Planning*, 2nd Ed., Cahners Books, Boston.
- Roodbergen K.J., Koster R. de (2001), *Routing Order Pickers in a Warehouse with a Middle Aisle*, „European Journal of Operational Research”, 133(1), s. 32-43.
- Sobczyk M. (2006), *Statystyka. Aspekty praktyczne i teoretyczne*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Tarczyński G. (2012), *Analysis of the Impact of Storage Parameters and the Size of Orders on the Choice of the Method for Routing Order Picking*, „Operations Research and Decisions”, nr 4, Wrocław, s. 105-120.
- Tarczyński G. (2013a), *Warehouse Real-Time Simulator – How to Optimize Order Picking Time*, Working Paper, dostępny na serwerze SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2354827>.
- Tarczyński G. (2013b), *Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie* [w:] T. Trzaskalik (red.), *Modelowanie preferencji a ryzyko*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice, s. 221-238.
- Wäscher G. (2004), *Order Picking: A Survey of Planning Problems and Methods* [w:] *Supply Chain Management and Reverse Logistics*, s. 323-347.

ROUTING HEURISTICS IN TWO BLOCK NOT RECTANGULAR WAREHOUSE FOR DIFFERENT TYPES OF DEPOT LOCATION

Summary: Classic order picking models are usually dedicated to symmetric rectangular warehouse layouts. In practice the problem is mainly solved by using routing heuristics, due to some inconveniences, that can generate optimal models. The most commonly heuristic, that is being used in practice is the so called *S-Shape* heuristic. Sometimes for storage purposes, there are existing buildings and facilities adapted, which do not have symmetrical shapes and therefore existing models do not apply for this types of layouts.

In this article the non standard warehouse layout will be taken into consideration – the two block *L-Shaped* layout with 3 different possibilities of depot location. In this research 4 well known routing heuristics (*S-Shape*”, *Midpoint*”, *Return*”, *Largest Gap*”) will be modified and adapted for the purposes of *L-Shape* warehouse layout. Finally results will be compared.

Keywords: order picking, routing heuristics, depot location.