



Krzysztof Dmytrów

Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Instytut Ekonometrii i Statystyki
Katedra Badań Operacyjnych i Zastosowań Matematyki w Ekonomii
krzysztof.dmytrow@usz.edu.pl

TAKSONOMICZNE WSPOMAGANIE WYBORU LOKALIZACJI W PROCESIE KOMPLETACJI PRODUKTÓW

Streszczenie: Można wyróżnić dwa rodzaje przechowywania produktów w magazynie – przechowywanie dedykowane i współdzielone. W przechowywaniu dedykowanym każdy produkt jest przydzielony do konkretnej lokalizacji i na odwrót – w danej lokalizacji jest przechowywany tylko jeden produkt. Bardziej efektywne, jeżeli chodzi o wykorzystanie powierzchni magazynowej, jest przechowywanie współdzielone, w którym teoretycznie każdy produkt może występować w dowolnej liczbie lokalizacji i w każdej lokalizacji może być przechowywana dowolna liczba produktów. W takim przypadku, w procesie kompletacji zamówienia dany produkt można pobrać z wielu różnych lokalizacji. Do wyboru lokalizacji, które musi odwiedzić magazynier w procesie kompletacji, zostaną wykorzystane metody taksonomiczne. Każda lokalizacja zostanie opisana za pomocą kilku cech, a następnie jej atrakcyjność z punktu widzenia danego zamówienia zostanie określona za pomocą *Taksonomicznej Miary Atrakcyjności Lokalizacji (TMAL)*.

Słowa kluczowe: gospodarka magazynowa, kompletacja, taksonomia, porządkowanie liniowe.

Wprowadzenie

Kompletacja produktów jest na ogół najważniejszym procesem, który zachodzi w gospodarce magazynowej, ponieważ jest ona najbardziej czasochłonna i kosztochłonna [Bartholdi, Hackman, 2014, s. 151]. Szacuje się, że koszty związane z kompletacją stanowią około 55% łącznych kosztów operacyjnych magazynu [De Koster i in., 2007, s. 482]. Dlatego niezwykle istotne jest, aby

starać się ten proces optymalizować. Jednym ze sposobów optymalizacji procesu kompletacji jest jego automatyzacja. Istnieją w pełni zautomatyzowane systemy, w których całe zamówienie jest kompletowane przez roboty. Innymi przykładami zautomatyzowanych systemów są układy, w których ludzie jedynie odbierają produkty (systemy *parts-to-picker*). Mimo istniejących możliwości technicznych, wciąż ponad trzy czwarte systemów stosowanych w Europie Zachodniej to klasyczne systemy typu *picker-to-parts* [De Koster, i in., 2007, s. 486]. W takich konfiguracjach w sposób naturalny optymalizacja procesu kompletacji związana jest z wyznaczeniem możliwie najkrótszej drogi, jaką musi pokonać magazynier, odwiedzając lokalizacje, w których znajdują się kompletowane produkty.

Przed wyborem drogi, którą musi pokonać pracownik magazynu, trzeba wybrać lokalizacje, które ma odwiedzić. Wbrew pozorom ich wybór nie zawsze jest oczywisty. Można wyróżnić dwa główne sposoby przechowywania produktów [Bartholdi, Hackman, 2014, s. 14-18]:

- przechowywanie dedykowane (w literaturze anglojęzycznej nazywane *dedicated storage*),
- przechowywanie współdzielone (w literaturze anglojęzycznej nazywane *shared storage*).

Przechowywanie dedykowane w swojej klasycznej postaci charakteryzuje się tym, że dany produkt jest przechowywany tylko w jednej lokalizacji i, z drugiej strony, dana lokalizacja jest zarezerwowana do przechowywania tylko jednego produktu.

Przechowywanie współdzielone to takie, gdzie dany produkt może być teoretycznie przechowywany w dowolnej liczbie lokalizacji i w danej lokalizacji może być przechowana dowolna liczba różnych produktów. Gdy produkty są przyjmowane do magazynu, muszą zostać rozmieszczone tam, gdzie jest odpowiednia ilość miejsca. Może być wiele lokalizacji, w których można umieścić przychodzący do magazynu towar. Istnieją trzy sposoby rozłożenia produktów w przypadku przechowywania współdzielonego [De Koster i in., 2007, s. 491]:

- przechowywanie chaotyczne (*chaotic storage*) – podczas przyjmowania produktów do magazynu, są one rozmieszczane w sposób przypadkowy [Gudehus, Kotzab, 2012, s. 478] (najbardziej znanym przedsiębiorstwem stosującym tzw. magazyn chaotyczny jest Amazon),
- składowanie w najbliższej wolnej lokalizacji (*closest open location storage*),
- składowanie według klasy (*class-based storage*) – blisko miejsca startowego rozmieszcza się produkty najczęściej zamawiane, a najdalej – najrzadziej zamawiane (można także stosować na przykład system ABC bądź XYZ).

Zaletą przechowywania dedykowanego jest to, że w każdym momencie wiadomo, w którym miejscu szukać danego produktu. Dzięki temu magazynierzy mogą zapamiętać rozmieszczenie produktów w magazynie, co powoduje, że kompletacja jest prosta i często nie wymaga stosowania żadnego systemu wspomagającego ten proces. Wadą przechowywania dedykowanego jest nieefektywne wykorzystanie przestrzeni magazynowej. Przy jednym produkcie przestrzeń magazynowa w danej lokalizacji jest wykorzystana przeciętnie w połowie. Przy dwóch produktach wykorzystanie przestrzeni wynosi już 66,7%, przy trzech – 75%. Można zapisać, że wykorzystanie przestrzeni magazynowej danej lokalizacji w zależności od liczby produktów w niej przechowywanych dana jest wzorem:

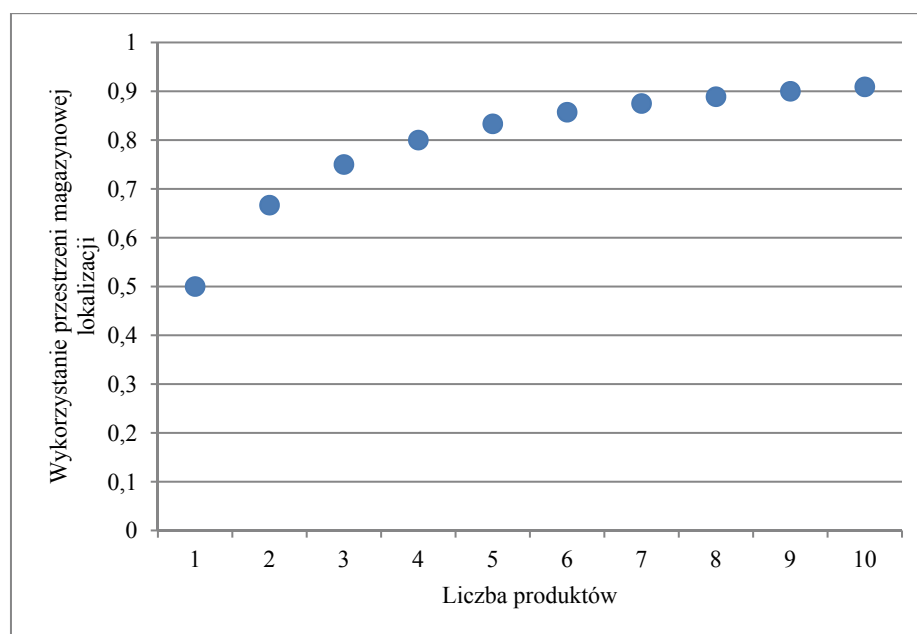
$$U = \frac{k}{k + 1},$$

gdzie:

U – stopień wykorzystania przestrzeni magazynowej danej lokalizacji,

k – liczba produktów przechowywanych w danej lokalizacji.

Zależność pomiędzy stopniem wykorzystania lokalizacji a liczbą przechowywanych w niej produktów przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Wykorzystanie przestrzeni magazynowej lokalizacji w zależności od liczby produktów

Źródło: Bartholdi, Hackman [2014, s. 18].

Rys. 1 pokazuje zasadniczą zaletę przechowywania współdzielonego – im więcej produktów przechowuje się w danej lokalizacji, tym pełniejsze jest jej wykorzystanie. Z kolei wadą takiego rozwiązania jest to, że (szczególnie przy dużej liczbie produktów i lokalizacji) magazynier nie jest w stanie zapamiętać tego, gdzie dane produkty się znajdują. Dlatego w przypadku przechowywania współdzielonego konieczne jest zastosowanie komputerowego systemu wspomagającego gospodarowanie magazynem. Na rynku istnieje wiele systemów umożliwiających zarządzanie przedsiębiorstwem typu ERP/SAP, w których są moduły kontrolujące gospodarkę magazynową, w tym także kompletację, jednak nie w każdym przypadku stosowanie tak dużego i kosztownego systemu jest uzasadnione.

W przypadku przechowywania współdzielonego często trzeba podjąć decyzję, z której lokalizacji zabrać dany produkt (jeżeli jest przechowywany w więcej niż jednej lokalizacji). Można tego dokonać na kilka sposobów.

Najprostszym rozwiązaniem (i często najbardziej odpowiednim) jest pobieranie produktów według kolejki FIFO (First In, First Out). Taki sposób jest najbardziej naturalny, gdy mamy do czynienia z produktami o ograniczonym okresie przydatności albo łatwo psującymi się. Wtedy najpierw pobierane są te produkty, które zostały przyjęte do magazynu najwcześniej (czyli leżą w nim najdłużej). Jednak nie zawsze trzeba postępować według tej zasady, gdyż wiele produktów zachowuje przydatność przez znacznie dłuższy okres, niż wynosi ich rotacja. Tak więc na pewno często zdarza się taka sytuacja, w której z punktu widzenia czasu kompletacji bardziej będzie się opłacało podejść później do lokalizacji, do której dany produkt został przydzielony niż do innej.

Inną metodą jest wybór lokalizacji według czasu wydania. Należy wybrać taką lokalizację, do której magazynier będzie miał najkrótszą drogę (od startu albo od innej, wcześniej odwiedzanej lokalizacji) oraz z której pobranie produktu będzie najkrótsze (czyli na przykład wybierzemy lokalizację położoną na niższej półce, do której nie będzie wymagane zastosowanie na przykład wózka widłowego).

Kolejną stosowaną metodą jest wybór lokalizacji według stopnia zaspokojenia zapotrzebowania na kompletowany produkt. Wybiera się lokalizację, w których stopień ten jest największy.

Wymienione powyżej sposoby wyboru lokalizacji można stosować oddzielnie lub łącznie. Wymienione cechy stanowią o atrakcyjności lokalizacji z punktu widzenia danego zlecenia. W artykule zostanie zaprezentowane łączne uwzględnienie wybranych cech. W tym celu zostanie zbudowana *Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji (TMAL)*, będąca zmienną syntetyczną, opartą na prostym *Syntetycznym Mierniku Rozwoju (SMR)* [Hellwig, 1968]. Przedstawiona metoda dedykowana jest małym lub średnim przedsiębiorstwom, których nie

stać albo nie mają potrzeby stosowania dużych, zintegrowanych systemów wspomagających zarządzanie firmą.

Celem artykułu jest zastosowanie *Taksonomicznej Miary Atrakcyjności Lokalizacji* do wybrania lokalizacji w procesie kompletacji produktów.

1. Oznaczenia i metodyka

1.1. Specyfikacja cech opisujących lokalizację

Pierwszym etapem budowy syntetycznego miernika rozwoju jest ustalenie cech opisujących każdą lokalizację. W niniejszej pracy będą to trzy zmienne:

- odległość od startu,
- stopień zaspokojenia zapotrzebowania,
- liczba innych kompletowanych produktów w okolicy danej lokalizacji.

Oczywiście nie są to wszystkie możliwe zmienne, ich liczba zależy od tego, co jest ważne dla decydenta.

Odległość od startu jest jedną z najważniejszych (jeśli nie najważniejszą) cech opisujących daną lokalizację, ponieważ w procesie kompletacji produktów przemieszczanie się magazyniera po magazynie stanowi ponad 50% całego procesu kompletacji. Będzie ona oznaczona przez x_1 ^{*1}. Należy jednak zauważyć, że nie chodzi o to, żeby mierzyć precyzyjnie odległość od każdej lokalizacji do innej, na przykład w metrach. Mogą to być jednostki umowne, na przykład kroki albo szerokość półek. W niniejszej pracy policzono odległości miejskie, a jednostką jest szerokość półki.

Na podstawie liczby jednostek danego produktu w danej lokalizacji powstanie druga cecha – stopień zaspokojenia zapotrzebowania na kompletowany produkt, oznaczona przez x_2 . Będzie ona liczona następująco:

$$x_2 = \begin{cases} \frac{l}{z}, & \text{gdy } z > l, \\ 1 & \text{gdy } l \geq z \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

l – liczba jednostek kompletowanego produktu, znajdująca się w danej lokalizacji,

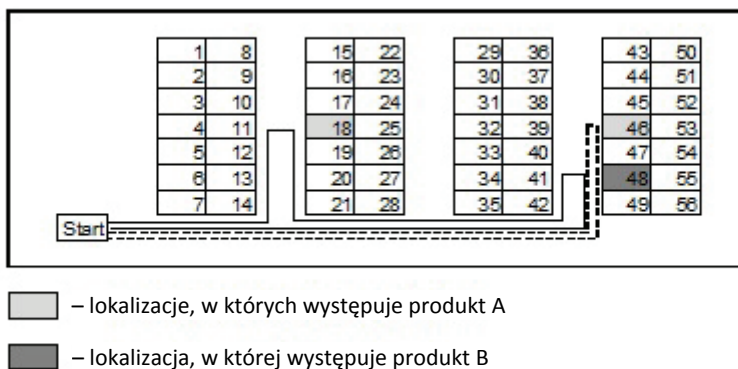
z – zapotrzebowanie na kompletowany produkt.

Takie obliczenie wartości zmiennej x_2 spowodowane jest tym, że z punktu widzenia kompletacji zamówienia największe znaczenie ma jak największy stopień zaspokojenia zapotrzebowania. Jeżeli na przykład trzeba zebrać 100 jedno-

¹ Oznakowanie tej zmiennej gwiazdką zostanie omówione w dalszej części.

stek jakiegoś produktu, więc jeśli w jednej lokalizacji jest 150, a w innej 200 jednostek, z punktu widzenia badanego zlecenia obie lokalizacje są jednakowo atrakcyjne, gdyż w obu zamówienie zostanie zrealizowane w całości, czyli stopień realizacji wyniesie 1.

Z punktu widzenia drogi, którą musiałby pokonać magazynier w procesie kompletacji, ważne jest też to, żeby odwiedzane lokalizacje były jak najbliższe sobie. Dlatego kolejną cechą, opisującą dane położenie, jest liczba innych produktów będących na liście kompletacyjnej, znajdujących się w tym miejscu lub w bezpośredniej jej okolicy. Oznaczono ją przez x_3 . Należy dokładnie sprecyzować, co rozumiemy przez bezpośrednią okolicę danej lokalizacji. Może to być usytuowanie będące maksymalnie w określonej odległości od badanej lokalizacji. Inną możliwością, zastosowaną w tym przypadku, będzie wybór miejsca w tej samej alejce. Taką sytuację uwzględniono w niniejszym przypadku. Prosty przykład grupowania odwiedzanych lokalizacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Grupowanie lokalizacji na przykładzie dwóch produktów

Jak widać z powyższego rysunku, produkt A występuje w dwóch lokalizacjach – o nr. 18 oraz 46. Produkt B występuje tylko w jednej, oznaczonej nr. 48. Dla uproszczenia założmy, że produkt A można skompletować w całości, odwiedzając jedną z dwóch, obojętnie którą, lokalizacji. Jeżeli bierzemy pod uwagę jedynie odległości pomiędzy startem a odwiedzaną pozycją, to powinniśmy wybrać lokalizację 18 (żeby skompletować produkt A) oraz 48 (żeby skompletować produkt B). Wówczas magazynier pokona drogę oznaczoną linią ciągłą. Jeżeli natomiast uwzględnimy grupowanie lokalizacji, wówczas lepiej jest wybrać miejsce nr 46, zamiast 18 (dla produktu A). Mimo że lokalizacja nr 46 jest położona dalej, to całkowita droga pokonana przez magazyniera (oznaczona linią przerywaną) będzie krótsza.

Oczywiście, wyspecyfikowane na potrzeby niniejszej pracy zmienne diagnostyczne nie muszą stanowić kompletnego ich zbioru. Jeżeli mamy do czynienia z produktami o ograniczonym okresie przydatności albo psującymi się, należy stosować regułę FIFO, czyli w tej sytuacji zmienną diagnostyczną będzie czas przechowywania produktu w magazynie w danej lokalizacji. Wybieramy te, które są przechowywane najdłużej. Innym przykładem może być grupowanie lokalizacji do odwiedzenia w sektorach wysokiego składowania. Wtedy pożądane jest pobieranie produktów z jednego pionu (o ile jest to możliwe), gdyż wtedy operator wózka będzie miał do pokonania najmniejszą trasę i znacząco skróci to czas jego pracy.

1.2. Konstrukcja *Taksonomicznej Miary Atrakcyjności Lokalizacji*

Z wybranych trzech zmiennych diagnostycznych odległość od startu x_1^* jest destymulantą, zaś stopień zaspokojenia zapotrzebowania oraz liczba innych kompletowanych w okolicy produktów są stymulantami. Dlatego należy odległość zamienić na stymulantę, poprzez obliczenie jej odwrotności:

$$x_1 = \frac{1}{x_1^*}$$

Jest to oczywiście jedna z wielu możliwości zamiany destymulanty na stymulantę. Inną metodą jest odjęcie wartości zmiennej od jej wartości maksymalnej. Dla danych standaryzowanych można wszystkie wartości przemnożyć przez -1, a w przypadku danych zunitaryzowanych odjąć od jedności. Zastosowana tutaj metoda jest zawsze możliwa do zastosowania, ponieważ odległość od startu nigdy nie będzie równa 0.

Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji (TMAL) jest w całości oparta o *Syntetyczny Miernik Rozwoju*. Wyznaczono go następująco [Nowak, 1990; Ostasiewicz (red.), 1998]:

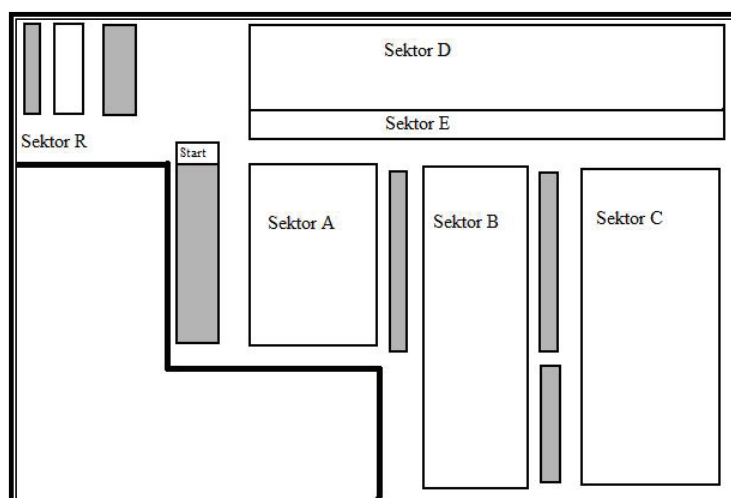
- po zamianie odległości na stymulantę dokonano standaryzacji zmiennych,
- wyznaczono maksymalne wartości zmiennych standaryzowanych, tworzące tzw. „obiekt idealny”,
- obliczono odległości euklidesowe pomiędzy wartościami zmiennych w danej lokalizacji a „obiektem idealnym”,

- nadano wagę zmiennym – odległość lokalizacji od startu miała wagę 0,4, stopień zaspokojenia zapotrzebowania – 0,3, a liczba innych kompletowanych produktów w okolicy – $0,3^2$,
- obliczono wzorzec rozwoju,
- obliczono wartości *TMAL*,
- wybrano lokalizacje o najwyższych pozycjach w rankingu, aż do zaspokojenia zapotrzebowania.

W taki sposób wybieramy lokalizacje do odwiedzenia, aby zebrać wszystkie kompletowane produkty. Należy zaznaczyć, że na etapie wybierania lokalizacji nie jest jeszcze wyznaczana trasa. Dopiero mając wybrane wszystkie lokalizacje, ustalamy trasę, którą ma pokonać magazynier.

2. Przykład

Zaprezentowany przykład przedstawia rzeczywiste zlecenie kompletacyjne w pewnym przedsiębiorstwie, które zajmuje się dystrybucją narzędzi i odzieży roboczej. W przedsiębiorstwie tym jest duży magazyn, podzielony na sześć sektorów. Jego układ jest dość nietypowy, nie wszystkie półki są do siebie równoległe, dodatkowo pomiędzy sektorami na podłodze stoją kartony. Plan magazynu przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Plan magazynu

² Wagi nadano w sposób subiektywny. Powodem przyjęcia takiego systemu wag było nienadanie konkretnej zmiennej dużo większego wpływu na wielkość *TMAL* niż w przypadku pozostałych zmiennych.

Sektory A, B, C, R są sektorami niskiego składowania, sektory D oraz E – wysokiego. W sektorach niskiego składowania magazynier stojąc, ma dostęp do każdej półki. W przypadku sektora D jest w nim pięć poziomów, oznaczonych cyframi 0, 1, 2, 3, 4 oraz 5. W przypadku sektora E są to trzy poziomy: 0, 1, 2. Magazynier stojąc, ma pełen dostęp do poziomów 0 i 1. Do poziomu 2 można się dostać za pomocą zwykłego wózka widłowego, a do najwyższych półek (poziomy 3, 4 oraz 5) – jedynie za pomocą wózka wysokiego składowania (typu *reach truck*). Oprócz sektorów, produkty pobiera się też z kartonów stojących na podłodze (kolor szary na rysunku), które w systemie też widnieją jako odrębne lokalizacje.

Każda lokalizacja zapisana jest w formacie XX-XX-XX-XX. Pierwsze dwa znaki oznaczają sektor, dwa kolejne numer regału, dwie kolejne numer półki, przedostatnia – poziom, ostatnia – numer miejsca paletowego na półce (1, 2 lub 3, tylko w sektorze wysokiego składowania, w pozostałych jest tam 0).

Wybierając lokalizacje, może się zdarzyć, że dany produkt będzie położony w dwóch miejscach. W pierwszym będzie bliżej startu, ale na wyższej półce w sektorze wysokiego składowania (większa wartość przedostatniej wartości w symbolu lokalizacji), a w drugiej – dalej od startu, ale na niższej półce (takiej, z której magazynier może pobrać towar, stojąc na podłodze). W takim przypadku należy preferować tę drugą lokalizację (mimo że fizycznie jest wyżej). Dlatego odległości do miejsc położonych na wyższych półkach w sektorze wysokiego składowania należy dodać odpowiednio dużą wartość, żeby były brane pod uwagę w dalszej kolejności, gdy nie będzie produktów dostępnych na niższych półkach. Procedura jest następująca:

- jeżeli dany towar znajduje się w lokalizacji „0D” i jest na poziomie „2”, wówczas do odległości dodajemy 300. Jeżeli wynosi on „3”, „4” lub „5” – dodajemy 500.
- jeżeli dany towar jest w lokalizacji „0E” i mieści się na poziomie „2”, wówczas do odległości dodajemy 250.

Prezentowane zlecenie dotyczyło zebrania ośmiu rozmiarów tych samych butów roboczych. Dane dotyczące liczby par każdego rozmiaru przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Liczba par butów do skompletowania

Rozmiar	Liczba par
R39	10
R40	10
R41	10
R42	80
R43	80
R44	80
R45	50
R46	10

Przedstawione powyżej buty znajdują się w różnych lokalizacjach. Tabela 2 przedstawia rozmieszczenie produktów w magazynie. Warto odnotowania jest to, że w pomieszczeniu występuje wystarczająca do skompletowania zamówienia liczba par butów w każdym rozmiarze.

Tabela 2. Rozmieszczenie produktów w magazynie

Rozmiar	Lokalizacje
R39	0D-08-09-03
R40	0E-01-02-21
	0D-08-03-22
	0D-08-12-11
	0C-23-08-40
R41	0E-01-03-22
	0D-08-12-01
R42	0P-05-01-00
	0D-04-14-21
	0D-08-05-22
	0P-05-05-00
R43	0P-05-01-00
R44	0P-05-05-00
R45	0P-05-05-00
	0D-04-13-22
	0D-04-13-23
R46	0E-01-10-22
	0D-02-06-43
	0D-07-12-11

Jak wynika z powyższej tabeli, zdecydowana większość lokalizacji występuje w sektorze wysokiego składowania. Wyjątkiem są lokalizacje: 0C-23-08-40, która znajduje się w sektorze „0C”, „0P-05-01-00”, będąca podłogą pomiędzy sektorami „0A” i „0B” oraz „0P-05-05-00”, będąca podłogą na skraju sektora „0D” (bliżej startu – por. rys. 1). Widać, że dla butów o rozmiarach 39, 43 i 44 nie ma potrzeby budować wskaźnika *TMAL*, ponieważ każda z tych par występuje tylko w jednej lokalizacji. Pierwsza występuje tylko w 0D-08-09-03, druga w 0P-05-01-00 i trzecia w 0P-05-05-00. Tak więc te trzy lokalizacje na pewno trzeba będzie odwiedzić, żeby pobrać z nich odpowiednią liczbę par butów.

Jeżeli chodzi o rozmiar 41, to z dwóch lokalizacji, w którym on występuje (0E-01-03-22 oraz 0D-08-12-01), pierwsza z nich jest położona wyżej niż druga (siódmy znak pierwszej pozycji to „2”, więc aby dostać się do tej lokalizacji potrzebny jest wózek widłowy, a siódmy znak w drugiej to „0”, czyli towar znajduje się w niej na podłodze, z której magazynier może zabrać produkt bezpośrednio). Z tego wynika, że na pewno zostanie odwiedzona lokalizacja 0D-08-12-01. Jeżeli chodzi o rozmiar 45, to odpowiednie buty znajdują się na podłodze w pozycji 0P-05-05-00 albo na poziomie „2” lokalizacji 0D-04-13-22 i 0D-04-13-23. W tym

przypadku także zostanie odwiedzona pierwsza z trzech wymienionych lokalizacji. Analogicznie, rozmiar 46 zostanie pobrany z miejsca 0D-07-12-11 (ponieważ dwa pozostałe, w których on występuje, są położone na poziomach „2” i „4”). Jedynymi produktami, dla których trzeba faktycznie wybrać umiejscowienie za pomocą wskaźnika *TMAL*, są buty w rozmiarach 40 i 42. Przykład zostanie zaprezentowany dla rozmiaru 40.

Najpierw należy określić odległości każdej lokalizacji od startu i ewentualnie zawyżyć je, jeżeli znajdują się na wyższych poziomach w sektorze wysokiego składowania. Razem z liczbą par w każdej lokalizacji przedstawia je tabela 3.

Tabela 3. Występowanie butów o rozmiarze 40 w każdej lokalizacji, odległości rzeczywiste i ewentualnie zawyżone od startu

Lokalizacja	Liczba par	Odległości rzeczywiste	Ewentualne odległości zawyżone
0E-01-02-21	150	199	449
0D-08-03-22	60	200	500
0D-08-12-11	60	175	175
0C-23-08-40	7	127	127

W każdej lokalizacji, oprócz ostatniej, zapotrzebowanie na produkt (10 par) jest zaspokojone w całości. W pozycji 0C-23-08-40 zapotrzebowanie zaspokojone będzie w 0,7.

Trzeba jeszcze określić trzecią zmienną, czyli liczbę innych produktów do skompletowania w danym zamówieniu w okolicy (w tej samej alejce). W przypadku konkretnego magazynu, lokalizacje leżące na regale 0E-01-XX-XX leżą w tej samej alejce, co te na regale 0D-09-XX-XX oraz podłoga 0P-05-05-00. Podobnie lokalizacje 0D-08-XX-XX, 0D-07-XX-XX wraz z 0P-05-05-00 tworzą kolejną okolicę. Patrząc na tabelę 2, jeżeli chcemy znaleźć liczbę innych produktów w okolicy pozycji 0E-01-02-21, będą to produkty: R41 (w lokalizacji 0E-01-03-22), R42, R44, R45 (w 0P-05-05-00) oraz R46 (w 0E-01-10-22). Tak więc w okolicy miejsca 0E-01-02-21 znajduje się 5 innych kompletowanych produktów. Analogicznie postępujemy w przypadku pozostałych lokalizacji. Wartości zmiennych opisujących każde umiejscowienie, w którym znajdują się buty o rozmiarze 40 przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Wartości zmiennych dla butów w rozmiarze 40 w każdej lokalizacji

Lokalizacja	x_1	x_2	x_3
0E-01-02-21	0,002227171	1	5
0D-08-03-22	0,002	1	6
0D-08-12-11	0,005714286	1	6
0C-23-08-40	0,007874016	0,7	0

Po standaryzacji zmiennych, wyznaczeniu wzorca rozwoju, obliczeniu średnich ważonych odległości od wzorca, wyznaczono wartości wskaźnika *TMAL* oraz uszeregowano lokalizacje według stopnia ich atrakcyjności z punktu widzenia skompletowania butów w rozmiarze 40. Przedstawia je tabela 5.

Tabela 5. Wartości *TMAL* dla każdej lokalizacji i ich pozycja w rankingu

Lokalizacja	<i>TMAL</i>	Pozycja
0E-01-02-21	0,19815138	2
0D-08-03-22	0,175347388	3
0D-08-12-11	0,696795669	1
0C-23-08-40	0	4

Z punktu widzenia *Taksonomicznej Miary Atrakcyjności Lokalizacji* najbardziej atrakcyjna jest lokalizacja 0D-08-12-11 i ją należy odwiedzić, ażeby skompletować 10 par butów w rozmiarze 40. Taką samą procedurę zastosowano dla butów w rozmiarze 42 i tam wybrano pozycję 0P-05-01-00.

Podsumowując, należy odwiedzić następujące lokalizacje: 0D-08-09-03; 0D-08-12-11; 0D-08-12-01; 0P-05-01-00; 0P-05-05-00; 0D-07-12-11.

Następnym etapem jest wyznaczenie drogi, którą pokona magazynier. Można ją wyznaczyć, poszukując rozwiązania optymalnego zagadnienia komiwożacza albo skorzystać z heurystycznych metod wyznaczenia trasy, takich jak metody *s-shape*, *midpoint*, *largest gap*, *return* czy *combined* [Tarczyński, 2012, s. 105-120]. Należy jednak zauważyć, że nie każda metoda może być zastosowana w każdym magazynie. W przypadku rozpatrywanego magazynu, z powodu nietypowego rozstawienia sektorów i regałów w sektorach (w sektorach wysokiego składowania regały można obejść wyłącznie z jednej strony, mniej więcej w dwóch trzecich długości regału, licząc od startu, zrobione jest przejście pod regałami, którym magazynier może przejść), można stosować tylko niektóre z nich. W sektorach niskiego składowania w zasadzie można wykorzystać wszystkie metody heurystyczne, a w sektorach wysokiego składowania jedynie metodę zbliżoną do *return* zmodyfikowaną możliwością przejścia pod regałami. Ponieważ w tym przykładzie poza lokalizacjami 0P-05-01-00 oraz 0P-05-05-00 wszystkie pozostałe leżą w jednej alejce, zastosowano metodę *return*. Kolejność odwiedzania poszczególnych lokalizacji i kompletowane produkty przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Kolejność odwiedzania poszczególnych lokalizacji i zbierane w nich produkty

Kolejność	Lokalizacja	Zbierane produkty
1	0P-05-01-00	R42 - 80 sztuk, R43 - 80 sztuk
2	0P-05-05-00	R44 - 80 sztuk; R45 - 50 sztuk
3	0D-07-12-11	R46 - 10 sztuk
4	0D-08-09-03	R39 - 10 sztuk
5	0D-08-12-01	R41 - 10 sztuk
6	0D-08-12-11	R40 - 10 sztuk

Podsumowanie

W artykule zastosowano proste metody taksonomiczne do wyznaczenia lokalizacji, które należy odwiedzić w celu skompletowania zamówienia. Wykorzystano metodę porządkowania liniowego – zbudowano *Syntetyczny Miernik Rozwoju*, nazwany tutaj *Taksonomiczną Miarą Atrakcyjności Lokalizacji*. Powodem zastosowania tej metody jest jej prostota obliczeniowa, duża elastyczność i łatwość implementacji. We wskaźniku tym wykorzystano takie zmienne jak: odległość, stopień zaspokojenia zapotrzebowania i liczbę innych, kompletowanych produktów w danej okolicy. Należy zauważyć, że wskaźnik ten jest na tyle elastyczny, że w jego konstrukcji można stosować inne zmienne diagnostyczne, można inaczej ustalić wagę przypisaną każdej z nich, zależnie od woli decydenta. Metodę tę można też modyfikować, żeby uzyskać inne kryterium wyboru lokalizacji. W zaproponowanej metodzie chodziło o wybór takiej kombinacji cech, aby wybrane miejsca były z jednej strony możliwie blisko siebie, żeby w jednej lokalizacji dało się zebrać możliwie całe zamówienie dotyczące danego produktu (i, o ile to możliwe, zebranie w niej też innych produktów) oraz żeby lokalizacje te były możliwie blisko od punktu startowego. Nie jest to jedyne kryterium, które można stosować przy wyborze lokalizacji. Innym kryterium (także pochodzącym z praktyki gospodarczej) jest wybór takich pozycji, w których są niewielkie ilości kompletowanych produktów w celu oczyszczenia z nich jak największej liczby lokalizacji kosztem czasu procesu kompletacji [Dmytrów, 2013, s. 23-36].

Celem dalszych badań w tym zakresie będzie próba wyboru optymalnych wag przypisanych każdej cesze z punktu widzenia łącznej drogi, którą pokona magazynier w procesie kompletacji. Autor podejmie także próbę zastosowania innych metod klasyfikacji, na przykład metody *GDM*, czy *TOPSIS*.

Literatura

- Bartholdi J.J., Hackman S.T. (2014), *WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE, Release 0.96*, The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, USA, Atlanta.
- De Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K.J. (2007), *Design and control of warehouse order picking: a literature review*, „European Journal of Operational Research”, No. 182(2), s. 481-501.
- Dmytrów K. (2013), *Procedura kompletacji zakładająca oczyszczenie lokalizacji*, „Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania”, nr 31, Tom 2, Szczecin, s. 23-36.
- Gudehus T., Kotzab H. (2012), *Comprehensive Logistics, Second Edition*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hellwig Z. (1968), *Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr*, „Przegląd Statystyczny”, nr 15.4.
- Nowak E. (1990), *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych*, PWE, Warszawa.
- Ostasiewicz W. (red.) (1998), *Statystyczne metody analizy danych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- 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”, No. 22, s. 105-120.

TAXONOMIC SUPPORT OF SELECTION OF LOCATIONS IN THE PROCESS OF ORDER-PICKING

Summary: There are two types of storage in warehouse – dedicated and shared. In dedicated storage each product is assigned to one location and *vice versa*. More effective in terms of space utilisation, more effective is shared storage. In such case each product can theoretically be assigned to any number of locations and *vice versa*. In the process of order-picking, one product can be picked from several different locations. Locations that must be visited by the warehouse worker in the process of order-picking will be selected by means of taxonomic methods. Every location will be described by means of several diagnostic variables, and its attractiveness will be determined by means of *Taxonomic Measure of Location's Attractiveness* (Polish abbreviation – *TMAL*).

Keywords: warehouse management, order-picking, taxonomy, linear ordering.