



Grzegorz Tarczyński

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów
Katedra Ekonometrii i Badań Operacyjnych
grzegorz.tarczyński@ue.wroc.pl

WPLYW LICZBY LOKALIZACJI Z TOWAREM NA PRZEBIEG PROCESU KOMPLETACJI ZAMÓWIEŃ

Streszczenie: W artykule sprawdzono, jaki wpływ na średnie czasy (odległości) kompletacji ma umieszczenie towarów tego samego typu w wielu lokalizacjach magazynowych. Model uwzględniający wiele lokalizacji z tym samym towarem, zaproponowany przez Danielsa, Rummela i Schantza [1998], pozwala na znalezienie najkrótszej trasy w magazynie. W artykule omówiono problemy związane z praktycznym jego wdrożeniem. Skomentowano również propozycje Dmytrowa [2013; 2015] oraz Dmytrowa i Doszynia [2015] opierające się na takim wyborze pobieranych towarów, aby zmaksymalizować sumy wag przypisywanych lokalizacjom.

W badaniach przyjęto, że wszystkie lokalizacje są równie atrakcyjne i skoncentrowano się na wyznaczeniu najkrótszej trasy przy założeniu, że magazynierzy poruszają się zgodnie z jedną z dwóch najczęściej wykorzystywanych w praktyce heurystyk: S-shape i return. Sprawdzono, jak na średni czas kompletacji zamówień wpływa zwiększenie liczby lokalizacji z tym samym towarem. Obliczenia wykonano za pomocą symulacji.

Słowa kluczowe: kompletacja zamówień, składowanie ABC, wybór lokalizacji.

JEL Classification: C15.

Wprowadzenie

Czynnikiem, który w największym stopniu wpływa na efektywność magazynowania towarów, jest kompletacja towarów, czyli proces pobierania towarów z lokalizacji, w których są przechowywane, w celu realizacji zamówień klientów. Proces ten może generować aż do 55% kosztów operacyjnych w magazynie [Tompkins i in., 2010], dlatego niezwykle istotna jest jego optymalizacja. W magazynach, w których kompletacja odbywa się zgodnie z zasadą „człowiek do

towaru”, na średnie czasy kompletacji zamówień największy wpływ mają (bez uwzględnienia rozwiązań czysto technicznych): układ magazynu (rozmieszczenie alejek z towarami i punktu I/O, z którego magazynierzy rozpoczynają i w którym kończą kompletację zamówień), polityka składowania towarów (towary mogą być składowane na całkowicie losowo przydzielanych lokalizacjach, losowo w ramach klas wydzielonych w oparciu o współczynniki rotacji towarów albo współczynnik COI [Heskett, 1963], lub w sposób dedykowany – każdemu towarowi z góry przydziela się określone lokalizacje magazynowe), metoda wyznaczania trasy magazyniera (choć znane są algorytmy służące do szybkiego wyznaczania najkrótszej trasy w magazynach prostokątnych jednoblokowych [Ratliff, Rosenthal, 1983] i dwublokowych [Roodbergen, De Koster, 2001], w praktyce korzysta się z heurystyk), podział na strefy magazynowe (w każdej strefie towary kompletowane są przez innego magazyniera), tworzenie zleceń łączonych (zamówienia łączy się i przekształca się w tzw. listy kompletacyjne tak, aby w jednym cyklu magazynier mógł pobrać towary z kilku zamówień; takie rozwiązanie zmniejsza dystans pokonywany przez magazynierów, ale często powoduje konieczność późniejszego posortowania towarów), ustalenie sekwencji realizacji zamówień (ma szczególne znaczenie w przypadku zdecentralizowanym, gdy magazynier może rozpocząć i kończyć kompletację w różnych częściach magazynu – przy przenośniku taśmowym, który zastępuje punkt I/O). W przypadku, gdy w magazynie równocześnie pracuje wielu magazynierów, niezwykle istotnym czynnikiem mogącym zakłócić przebieg procesu kompletacji (a więc wpłynąć na efektywność tego procesu) jest możliwość powstawania zatorów [Parikh, Meller, 2008; 2009].

W celu optymalizacji procesu kompletacji zamówień, w magazynach stosuje się kombinację różnych rozwiązań. Na przykład w firmie wysyłkowej Amazon na części powierzchni magazynowej zainstalowano system z ruchomymi regałami, w którym kompletacja odbywa się zgodnie z zasadą „towar do człowieka”. Większość towarów kompletowana jest jednak w tradycyjny sposób. Po magazynie poruszają się pracownicy, którzy potrzebne towary odkładają na przenośniku taśmowym (kompletacja zdecentralizowana). Tworzone są zlecenia łączone, które kompletowane są przez zespół pracowników, po czym towary systemem przenośników transportowane są do sortowni, gdzie są sortowane i pakowane. Dodatkowo w magazynie stosuje się składowanie rozproszone, tzn. towary w pojedynczych egzemplarzach składowane są w różnych lokalizacjach magazynowych.

Celem artykułu jest sprawdzenie, czy składowanie tych samych towarów w wielu lokalizacjach magazynowych w znaczący sposób wpływa na średnie

czasu kompletacji zamówień. Sprawdzone zostaną dwa warianty: taki, w którym w jednej lokalizacji magazynowej może być składowanych kilka różnych towarów oraz taki, gdzie w jednej lokalizacji znajdują się tylko towary jednego typu. W drugim przypadku zwiększanie liczby lokalizacji z tym samym towarem powoduje konieczność powiększenia całego magazynu. Badaniu poddany zostanie magazyn prostokątny jednoblokowy.

1. Przegląd literatury

W badaniach teoretycznych dotyczących magazynów prostokątnych jednoblokowych analizuje się 5 heurystyk służących do wyznaczania trasy magazyniera: S-shape, return, midpoint, largest gap i combined [np. Tarczyński, 2012]. Znany jest też algorytm oparty na programowaniu dynamicznym, który umożliwia znalezienie najkrótszej trasy [Ratliff, Rosenthal, 1983]. Dla każdej z przedstawionych metod zakłada się pojedyncze lokalizacje kompletowanych towarów. Daniels, Rummel i Schantz [1998] przedstawili model, który umożliwia znalezienie najkrótszej trasy również wtedy, gdy liczba lokalizacji z tym samym towarem jest wielokrotniona. O ile algorytm Ratliffa i Rosenthala dzieli magazyn na mniejsze części i krok po kroku – zwiększając liczbę alejek – umożliwia szybkie znalezienie trasy optymalnej, o tyle problem rozważany przez Daniela, Rummela i Schantza jest NP-trudny. Autorzy traktują zadanie kompletacji zamówień jako problem komiwojażera, z tą jednak różnicą, że komiwojażer dla każdego „miasta”, które musi odwiedzić, ma do wyboru po kilka lokalizacji. Daniels, Rummel i Schantz [1998] przedstawiają również heurystykę, która umożliwia znalezienie rozwiązań przybliżonych.

W nieco inny sposób podeszli do problemu Dmytrów [2013; 2015] oraz Dmytrów i Doszyń [2015]. Dmytrów [2013] podaje różne kryteria, które można optymalizować podczas selekcji lokalizacji magazynowej, z której magazynier ma pobrać towar: czas kompletacji (wybiera się lokalizacje bliskie punktowi I/O oraz z dostatecznie dużą liczbą jednostek określonego towaru), czas przechowywania towarów (towary pobiera się zgodnie z regułą „First In – First Out”), oczyszczenie lokalizacji (wybiera się lokalizacje z najmniejszym ilościanem, co może powodować konieczność odwiedzenia kilku lokalizacji z tym samym towarem). Do wyboru lokalizacji można również zastosować Taksonomiczną Miarę Atrakcyjności Lokalizacji (TMAL) [Dmytrów, 2015], będącą zmienną syntetyczną uwzględniającą wymienione trzy kryteria. Dmytrów i Doszyń [2015]

przedstawiają wyniki próby zastosowania algorytmu opartego na TMAL w magazynie o niestandardowym układzie alejek.

Najprostszym i najbardziej praktycznym sposobem wyboru lokalizacji do składowania towarów jest metoda losowa. Tak zwane składowanie w oparciu o klasyfikację ABC, czyli składowanie losowe, ale z wykorzystaniem podziału na klasy (zarówno magazynu, gdzie kryterium stanowi łatwość dostępności do lokalizacji, jak i towarów, które sortuje się i dzieli na grupy, wykorzystując współczynniki rotacji), swoje źródła ma w praktyce gospodarczej. Przed półwieczem firma Barrett-Company wdrożyła taką metodę składowania w swoim magazynie [Jarvis, McDowell, 1991]. Heskett [1963] zaproponował, aby towary sortować i składować nie w oparciu o współczynnik rotacji, ale na podstawie współczynnika cube-per-order, który stanowi iloraz zajmowanej przez towar powierzchni magazynowej i współczynnika rotacji. Metoda Hesketta jest szczególnie efektywna przy kompletacji całopaletowej, gdzie w jednym cyklu magazynier zarówno składa, jak i pobiera towary oraz odwiedza dwie lokalizacje [Malmborg, Bhaskaran, 1990]. Problemem przy składowaniu w oparciu o klasyfikację ABC wciąż pozostaje ustalenie liczby klas, na które należy dokonać podziału. Zwiększanie liczby klas w teorii prowadzi do zmniejszenia średnich dystansów pokonywanych przez magazynierów. W praktyce zmniejsza się wtedy jednak elastyczność składowania i mogą wystąpić problemy z dostępnością towarów. W skrajnym przypadku, gdy każdy towar i każda lokalizacja tworzą odrębne klasy, zanika losowanie doboru lokalizacji i mówi się o tzw. składowaniu dedykowanym.

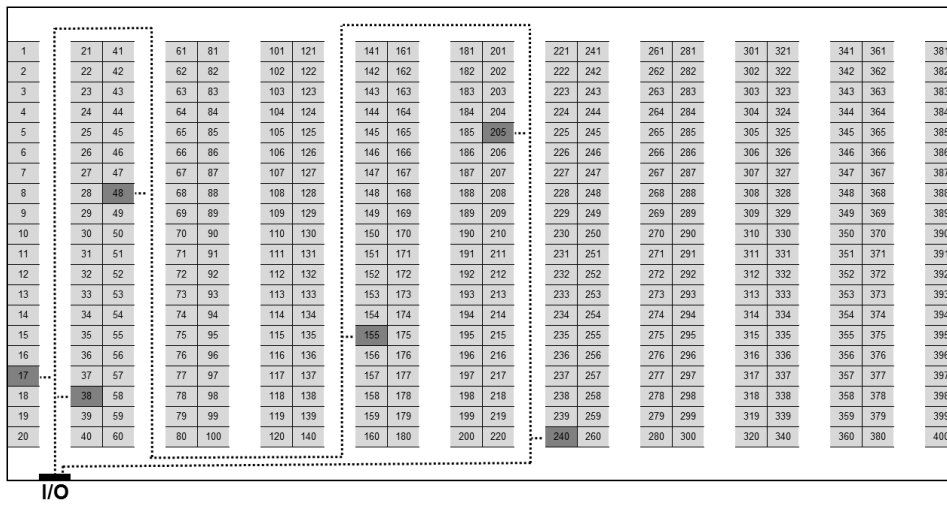
W badaniach teoretycznych średnie czasy kompletacji wyznaczane są za pomocą podejścia analitycznego (odpowiednie wzory dla heurystyk S-shape i return podane są np. w: Tarczyński 2015a; 2015b) lub modeli symulacyjnych. W artykule zdecydowano się na badania symulacyjne, które umożliwiają uzyskanie dokładniejszych wyników przy składowaniu opartym na klasyfikacji ABC.

2. Eksperyment badawczy – założenia

W przeprowadzonych badaniach przyjęto następujące założenia:

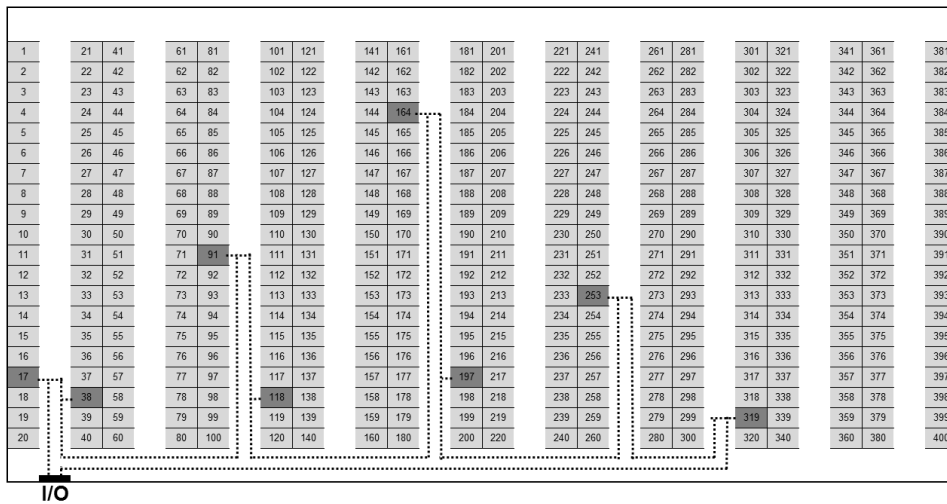
- Rozważany jest magazyn prostokątny jednoblokowy z punktem I/O zlokalizowanym w rogu;
- W magazynie składowanych jest 1000 różnych towarów;
- W magazynie znajduje się 20 alejek, w których składowane są towary. Po obu stronach alejki umieszczone są regały z 25 lokalizacjami;

- Badane są dwa przypadki: składowanie współdzielone (każdy towar znajduje się w dwóch lub trzech lokalizacjach) i składowanie w odrębnych lokalizacjach (analizowane są dwa warianty: towary z klasy A znajdują się w dwóch lokalizacjach oraz towary z klasy A znajdują się w 3 lokalizacjach, a towary z klasy B w dwóch lokalizacjach). Składowanie w odrębnych lokalizacjach powoduje konieczność wydłużenia alejek – liczba lokalizacji w alejkach ulega zwiększeniu odpowiednio do 30 i 43;
- Trasa magazyniera wyznaczana jest zgodnie z jedną z heurystyk, które są najczęściej wykorzystywane w praktyce: S-shape i return. Metoda return zakłada, że magazynier po wejściu do alejki i pobraniu potrzebnych towarów zawsze zawraca, natomiast w przypadku S-shape przechodzi on przez całą jej długość, za wyjątkiem ostatniej alejki, do której wchodzi – tylko w niej może zawrócić (rys. 1, 2);
- Towary składowane są losowo z wykorzystaniem klasyfikacji ABC uwzględniającej współczynniki rotacji. Wykorzystano dwie polityki składowania towarów: within-aisle w połączeniu z heurystyką S-shape oraz across-aisle w połączeniu z heurystyką return. W przypadku metody within-aisle, towary najszybciej rotujące umieszczane są w alejkach umieszczonych jak najbliżej punktu I/O (rys. 3), natomiast przy metodzie across-aisle składowane są one na pewnej liczbie lokalizacji umieszczonych jak najbliżej wejść do alejek z korytarza z punktem I/O (rys. 4);
- Do wygenerowania popytu na towary wykorzystano krzywą ABC zaproponowaną przez Carona, Marcheta i Perego [1998], która dla reguły Pareto (80% popytu generowane jest przez 20% towarów) przyjmuje postać (rys. 5): $F(x) = \frac{1,07x}{0,7+x^2}$, gdzie $F(x)$ – dystrybuenta pobrania towarów, x – liczba towarów najszybciej rotujących (wyrażona jako odsetek wszystkich przechowywanych w magazynie towarów);
- W jednym cyklu kompletacyjnym pobiera się od 1 do 10 różnych towarów;
- Metoda badawcza: symulacje. Liczba replikacji (analizowanych zamówień dla każdego eksperymentu) wynosi 10000;
- Badany jest średni dystans pokonany przez magazyniera. Jednostką pomiarową jest szerokość lokalizacji magazynowej (w przybliżeniu 1m).



Rys. 1. Heurystyka S-shape służąca do wyznaczania trasy magazyniera

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Heurystyka return służąca do wyznaczania trasy magazyniera

Źródło: Opracowanie własne.

1	21	41	61	81	101	121	141	161	181	201	221	241	261	281	301	321	341	361	381
2	22	42	62	82	102	122	142	162	182	202	222	242	262	282	302	322	342	362	382
3	23	43	63	83	103	123	143	163	183	203	223	243	263	283	303	323	343	363	383
4	24	44	64	84	104	124	144	164	184	204	224	244	264	284	304	324	344	364	384
5	25	45	65	85	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325	345	365	385
6	26	46	66	86	106	126	146	166	186	206	226	246	266	286	306	326	346	366	386
7	27	47	67	87	107	127	147	167	187	207	227	247	267	287	307	327	347	367	387
8	28	48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328	348	368	388
				89					189	209	229	249					349	369	389
				90					190	210	230	250					350	370	390
				91					191	211	231	251					351	371	391
				92					192	212	232	252					352	372	392
13	33	53	73	93	113	133	153	173	193	213	233	253	273	293	313	333	353	373	393
14	34	54	74	94	114	134	154	174	194	214	234	254	274	294	314	334	354	374	394
15	35	55	75	95	115	135	155	175	195	215	235	255	275	295	315	335	355	375	395
16	36	56	76	96	116	136	156	176	196	216	236	256	276	296	316	336	356	376	396
17	37	57	77	97	117	137	157	177	197	217	237	257	277	297	317	337	357	377	397
18	38	58	78	98	118	138	158	178	198	218	238	258	278	298	318	338	358	378	398
19	39	59	79	99	119	139	159	179	199	219	239	259	279	299	319	339	359	379	399
20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400

I/O

Rys. 3. Polityka within-aisle składowania towarów

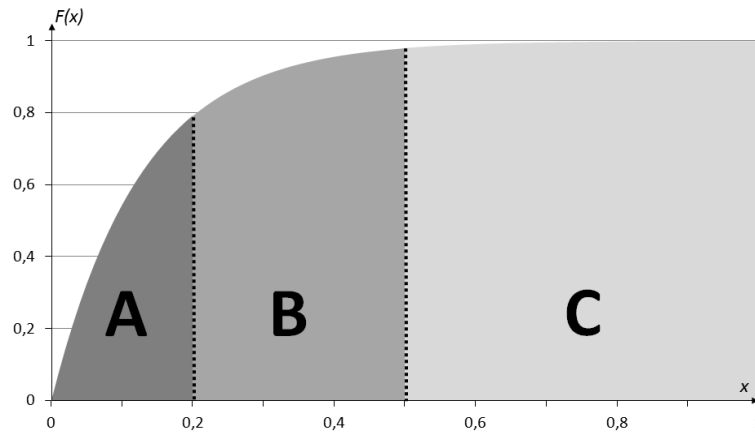
Źródło: Opracowanie własne.

1	21	41	61	81	101	121	141	161	181	201	221	241	261	281	301	321	341	361	381
2	22	42	62	82	102	122	142	162	182	202	222	242	262	282	302	322	342	362	382
3	23	43	63	83	103	123	143	163	183	203	223	243	263	283	303	323	343	363	383
4	24	44	64	84	104	124	144	164	184	204	224	244	264	284	304	324	344	364	384
5	25	45	65	85	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325	345	365	385
6	26	46	66	86	106	126	146	166	186	206	226	246	266	286	306	326	346	366	386
7	27	47	67	87	107	127	147	167	187	207	227	247	267	287	307	327	347	367	387
8	28	48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328	348	368	388
9	29	49	69	89	109	129	149	169	189	209	229	249	269	289	309	329	349	369	389
10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350	370	390
11	31	51	71	91	111	131	151	171	191	211	231	251	271	291	311	331	351	371	391
12	32	52	72	92	112	132	152	172	192	212	232	252	272	292	312	332	352	372	392
13	33	53	73	93	113	133	153	173	193	213	233	253	273	293	313	333	353	373	393
14	34	54	74	94	114	134	154	174	194	214	234	254	274	294	314	334	354	374	394
15	35	55	75	95	115	135	155	175	195	215	235	255	275	295	315	335	355	375	395
16	36	56	76	96	116	136	156	176	196	216	236	256	276	296	316	336	356	376	396
17	37	57	77	97	117	137	157	177	197	217	237	257	277	297	317	337	357	377	397
18	38	58	78	98	118	138	158	178	198	218	238	258	278	298	318	338	358	378	398
19	39	59	79	99	119	139	159	179	199	219	239	259	279	299	319	339	359	379	399
20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400

I/O

Rys. 4. Polityka across-aisle składowania towarów

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Krzywa ABC z podziałem na klasy (klasa A obejmuje 20% najszybciej rotujących towarów, klasa B 30% towarów o średnich wartościach współczynnika rotacji, a klasa C 50% najwolniej rotujących towarów)

Źródło: Opracowanie własne.

Podstawowym kryterium oceny badanych wariantów decyzyjnych jest średni czas kompletacji zamówień. Kryterium dodatkowym jest równomierne wykorzystanie powierzchni magazynowej (koncentracja pracy w określonych rejonach magazynu grozi możliwością powstawania zatorów i spowolnieniem realizacji procesu kompletacji zamówień). Przykłady kryteriów, które mogą być wykorzystane do oceny rozwiązań magazynowych, podane są w pracy Tarczyńskiego [2013].

W badaniach dla każdego zamówienia poszukiwana jest najkrótsza trasa poprzez sprawdzenie i porównanie wszystkich możliwych tras. Maksymalna liczba analizowanych tras dla jednego eksperymentu (przy trzech lokalizacjach wszystkich składowanych towarów) wynosi $(3^{10}) \cdot 10000 = 590.490.000$. Czas obliczeń dla takiego przypadku wynosił około 9 godzin. Przyjęta liczba 10000 replikacji wynikała więc głównie z ograniczenia czasowego. Okazało się jednak, że dla wszystkich eksperymentów dla poziomu ufności równego 0,99 błąd pomiaru nie przekroczył 2 jednostek pomiarowych, a dla zdecydowanej większości nie przekraczał 1 jednostki pomiarowej (czyli około 1 metra).

3. Wyniki eksperymentu

W tabelach 1-5 przedstawiono wyniki eksperymentu dla różnej liczby towarów pobieranych w jednym cyklu. Tabele podzielone są na dwie części. Część górna tabel dotyczy wersji, w której w jednej lokalizacji mogły być składowane

wyłącznie towary jednego rodzaju, dolna część poświęcona jest składowaniu współdzielonemu. W obu częściach przedstawiono wyniki dla 5 najlepszych wariantów. Szósty wariant wykorzystywany jest do porównań i dotyczy składowania całkowicie losowego towarów w pojedynczych lokalizacjach oraz heurystyki S-shape (przy składowaniu całkowicie losowym heurystyka return daje złe wyniki).

Jeśli w jednym cyklu magazynier pobierał tylko jeden towar (tabela 1), to najlepszym wariantem przy składowaniu jednego towaru w jednej lokalizacji jest składowanie towarów w pojedynczych lokalizacjach, ale z wykorzystaniem klasyfikacji ABC i heurystyki within-aisle. Wówczas redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera wyniosła blisko 48%. Zwiększenie liczby lokalizacji z towarami najszybciej rotującymi (klasa A) spowodowało konieczność wydłużenia alejek, co przełożyło się na trochę gorsze wyniki, ale lepsze od wariantu bazowego o 43%. Tylko w przypadku, gdy w magazynie wdrożona była heurystyka return, wydłużenie alejek prowadziło do redukcji odległości z poziomu 83,64 do 53,10 wtedy, gdy towary z klasy A umieszczone były w trzech lokalizacjach, a z klasy B w dwóch. Trasy wyznaczone zgodnie z regułami metody return są jednak dłuższe niż w przypadku S-shape. W przypadku składowania współdzielonego zwiększenie liczby lokalizacji z towarami do dwóch i wdrożenie składowania opartego na polityce ABC powodowało redukcję czasów kompletacji o 59%. Dołożenie trzecich lokalizacji powodowało dalszą redukcję o ponad 5 punktów procentowych.

Tabela 1. Redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera przy wielu lokalizacjach tego samego towaru i kompletacji 1 towaru podczas cyklu – 5 najlepszych wariantów

Kilka towarów w 1 lokalizacji	Lp.	Magazyn	Trasa	Składowanie	Multiplikacja składowania towarów	Długość trasy	Redukcja odległości (%)
nie	1	20x25	S-shape	within-aisle	pojedynczo	43,82	47,61
nie	2	20x30	S-shape	within-aisle	Ax2	47,69	42,98
nie	3	20x43	S-shape	within-aisle	Ax3, Bx2	51,33	38,63
nie	4	20x43	return	across-aisle	Ax3, Bx2	53,10	36,51
nie	5	20x30	return	across-aisle	Ax2	56,45	32,51
tak	1	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 3	29,56	64,66
tak	2	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 2	34,28	59,02
tak	3	20x25	return	across-aisle	wszystko x 3	36,64	56,19
tak	4	20x25	return	across-aisle	wszystko x 2	46,75	44,10
tak	5	20x25	S-shape	losowe	wszystko x 3	51,10	38,90
nie	6	20x25	S-shape	losowe	pojedynczo	83,64	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2 zawiera wyniki dla 3 towarów pobieranych w jednym cyklu. W przypadku składowania towarów w osobnych lokalizacjach wyniki są podobne do tych, które zostały uzyskane, gdy magazynier odwiedzał tylko jedną lokalizację. Również tutaj nie opłaca się wydłużać alejek, za wyjątkiem sytuacji, gdy w magazynie stosuje się heurystykę return (co może mieć uzasadnienie w przypadku zdecentralizowanego I/O, gdzie towary odkładane są na przenośnik taśmowy rozmieszczony wzdłuż głównego korytarza). Dla składowania współdzielonego wdrożenie heurystyki return w połączeniu ze składowaniem across-aisle prowadzi do krótszych odległości pokonywanych przez magazynierów niż w przypadku heurystyki S-shape i polityki across-aisle.

Tabela 2. Redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera przy wielu lokalizacjach tego samego towaru i kompletacji 3 towaru podczas cyklu – 5 najlepszych wariantów

Kilka towarów w 1 lokalizacji	Lp.	Magazyn	Trasa	Składowanie	Multiplikacja składowania towarów	Długość trasy	Redukcja odległości (%)
nie	1	20x25	S-shape	within-aisle	pojedynczo	100,60	37,80
nie	2	20x30	return	across-aisle	Ax2	109,19	32,48
nie	3	20x43	return	across-aisle	Ax3, Bx2	110,51	31,67
nie	4	20x30	S-shape	within-aisle	Ax2	112,92	30,18
nie	5	20x25	return	across-aisle	pojedynczo	114,93	28,93
tak	1	20x25	return	across-aisle	wszystko x 3	71,41	55,84
tak	2	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 3	74,25	54,09
tak	3	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 2	82,66	48,89
tak	4	20x25	return	across-aisle	wszystko x 2	87,47	45,91
tak	5	20x25	return	losowe	wszystko x 3	103,26	36,15
nie	6	20x25	S-shape	losowe	pojedynczo	161,72	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

Również przy 5 towarach pobieranych w 1 cyklu (tabela 3) zastosowanie heurystyki S-shape prowadzi do krótszych średnich odległości niż w przypadku heurystyki return. W przypadku heurystyki return wydłużanie alejek w celu zwiększenia liczby lokalizacji z towarami najszybciej rotującymi powoduje już wydłużenie drogi (rys. 6). Dla składowania współdzielonego najlepsza jest heurystyka S-shape i 3 lokalizacje z każdym towarem. Warto zwrócić jednak uwagę, że w przypadku tylko dwóch lokalizacji lepsze wyniki uzyskać można dla heurystyki return.

Tabela 3. Redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera przy wielu lokalizacjach tego samego towaru i kompletacji 5 towarów podczas cyklu – 5 najlepszych wariantów

Kilka towarów w 1 lokalizacji	Lp.	Magazyn	Trasa	Składowanie	Multiplikacja składowania towarów	Długość trasy	Redukcja odległości (%)
nie	1	20x25	S-shape	within-aisle	pojedynczo	140,17	34,84
nie	2	20x25	return	across-aisle	pojedynczo	141,99	34,00
nie	3	20x30	return	across-aisle	Ax2	143,11	33,48
nie	4	20x43	return	across-aisle	Ax3, Bx2	150,03	30,26
nie	5	20x30	S-shape	within-aisle	Ax2	152,83	28,96
tak	1	20x25	return	across-aisle	wszystko x 3	92,76	56,88
tak	2	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 3	96,57	55,11
tak	3	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 2	109,59	49,06
tak	4	20x25	return	across-aisle	wszystko x 2	111,52	48,16
tak	5	20x25	return	losowe	wszystko x 3	136,47	36,56
nie	6	20x25	S-shape	losowe	pojedynczo	215,12	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń dla 8 i 10 towarów pobieranych w 1 cyklu. Tutaj w każdym przypadku zastosowanie metody return prowadzi do krótszej drogi magazyniera niż w przypadku heurystyki S-shape (dla składowania współdzielonego zarówno dla dwóch, jak i trzech lokalizacji z tym samym towarem).

Tabela 4. Redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera przy wielu lokalizacjach tego samego towaru i kompletacji 8 towarów podczas cyklu – 5 najlepszych wariantów

Kilka towarów w 1 lokalizacji	Lp.	Magazyn	Trasa	Składowanie	Multiplikacja składowania towarów	Długość trasy	Redukcja odległości (%)
nie	1	20x25	return	across-aisle	pojedynczo	172,99	38,20
nie	2	20x25	S-shape	within-aisle	pojedynczo	180,59	35,49
nie	3	20x30	return	across-aisle	Ax2	182,22	34,91
nie	4	20x43	return	across-aisle	Ax3, Bx2	196,43	29,83
nie	5	20x30	S-shape	within-aisle	Ax2	199,58	28,70
tak	1	20x25	return	across-aisle	wszystko x 3	115,84	58,62
tak	2	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 3	122,93	56,08
tak	3	20x25	return	across-aisle	wszystko x 2	137,79	50,78
tak	4	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 2	140,84	49,69
tak	5	20x25	return	losowe	wszystko x 3	173,67	37,96
nie	6	20x25	S-shape	losowe	pojedynczo	279,92	0,00

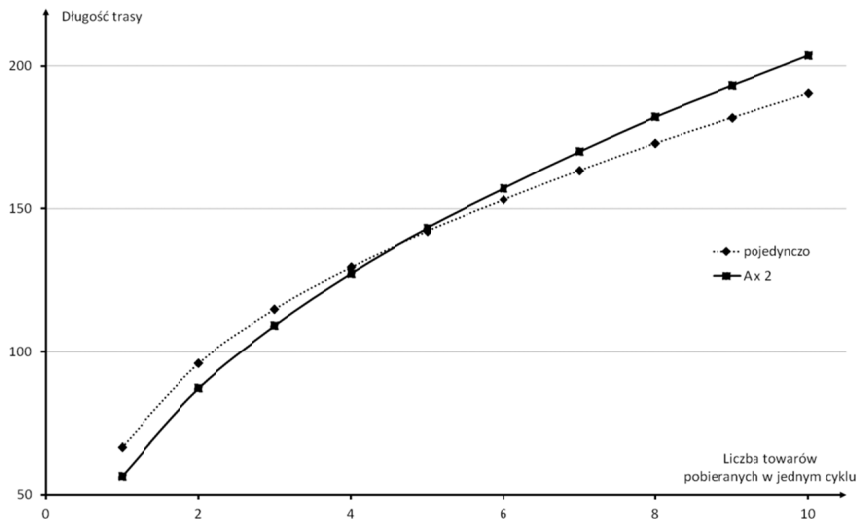
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5. Redukcja odległości pokonywanej przez magazyniera przy wielu lokalizacjach tego samego towaru i kompletacji 10 towarów podczas cyklu – 5 najlepszych wariantów

Kilka towarów w 1 lokalizacji	Lp.	Magazyn	Trasa	Składowanie	Multiplikacja składowania towarów	Długość trasy	Redukcja odległości (%)
nie	1	20x25	return	across-aisle	pojedynczo	190,46	39,82
nie	2	20x25	S-shape	within-aisle	pojedynczo	200,61	36,62
nie	3	20x30	return	across-aisle	Ax2	203,75	35,62
nie	4	20x43	return	across-aisle	Ax3, Bx2	221,98	29,86
nie	5	20x30	S-shape	within-aisle	Ax2	224,44	29,08
tak	1	20x25	return	across-aisle	wszystko x 3	128,05	59,54
tak	2	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 3	136,82	56,77
tak	3	20x25	return	across-aisle	wszystko x 2	151,75	52,05
tak	4	20x25	S-shape	within-aisle	wszystko x 2	158,07	50,06
tak	5	20x25	return	losowe	wszystko x 3	193,30	38,92
nie	6	20x25	S-shape	losowe	pojedynczo	316,49	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

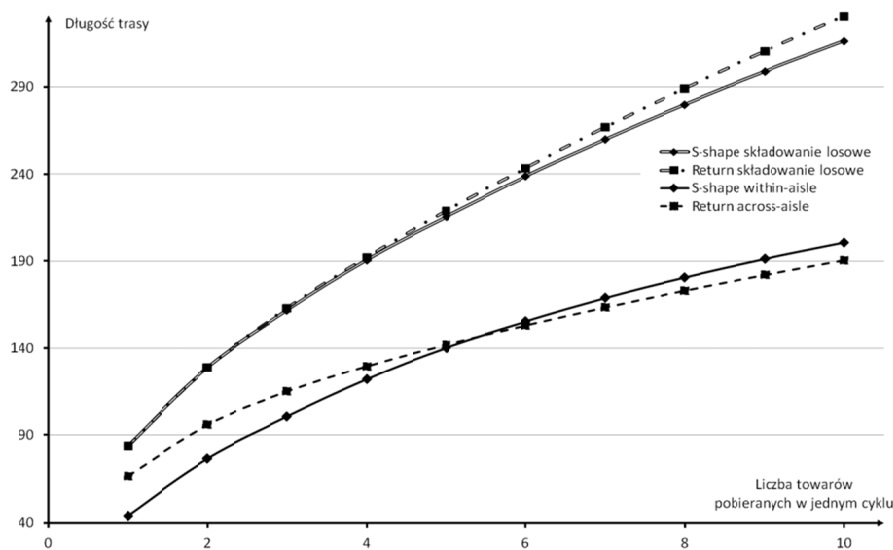
Dla heurystyki return, w przypadku gdy w jednej lokalizacji mogą być przechowywane tylko towary jednego rodzaju, zwiększenie liczby lokalizacji z towarami z klasy A jest opłacalne tylko wtedy, gdy magazynier w jednym cyklu pobiera stosunkowo niewielką liczbę różnych towarów. W przypadku, gdy ma on odwiedzić 5 lub więcej lokalizacji, zwiększenie liczby lokalizacji z towarami najszybciej rotującymi, a co za tym idzie, wydłużenie alejek prowadzi do zwiększenia pokonywanego przez niego dystansu (rys. 6).



Rys. 6. Średnie odległości pokonywane przez magazyniera dla heurystyki return i składowania każdego towaru w osobnej lokalizacji (w oparciu o klasyfikację ABC)

Źródło: Opracowanie własne.

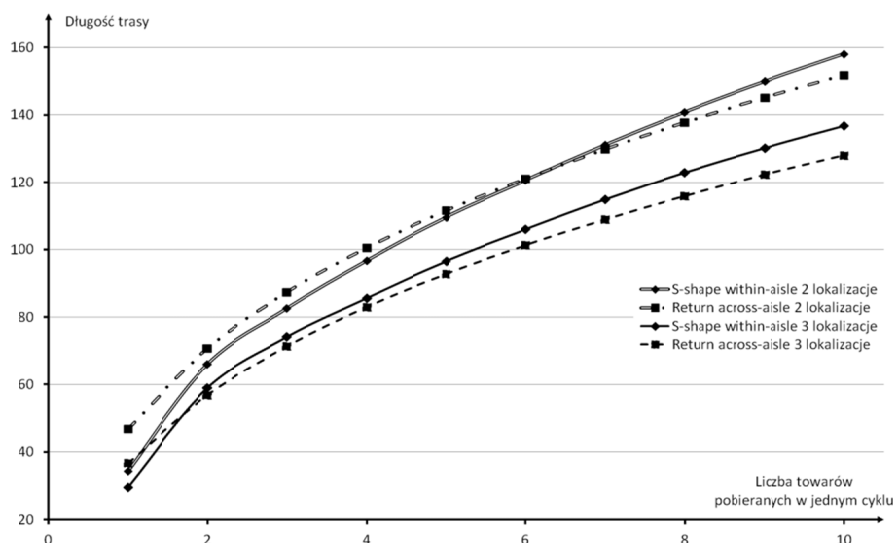
Porównując heurystyki S-shape i return przy składowaniu każdego towaru w tylko jednej lokalizacji (rys. 7), warto zauważyć, że w przypadku składowania losowego średnie długości tras wygenerowanych za pomocą metody return są trochę dłuższe od tras uzyskanych za pomocą heurystyki S-shape. W przypadku składowania opartego na klasyfikacji ABC, S-shape jest lepszy tylko wtedy, gdy liczba pobieranych towarów w jednym cyklu jest niewielka – w badanych wariantach mniejsza od 6.



Rys. 7. Średnie odległości pokonywane przez magazyniera dla heurystyk S-shape i polityki within-aisle oraz return i polityki across-aisle przy składowaniu każdego towaru tylko w jednej lokalizacji

Źródło: Opracowanie własne.

Również dla składowania współdzielonego metoda return przynosiła coraz lepsze rezultaty wraz ze wzrostem liczby odwiedzanych lokalizacji w jednym cyklu (rys. 8). W przypadku 3 lokalizacji z tym samym towarem już przy dwóch towarach pobieranych w jednym cyklu metoda return była lepsza od S-shape.

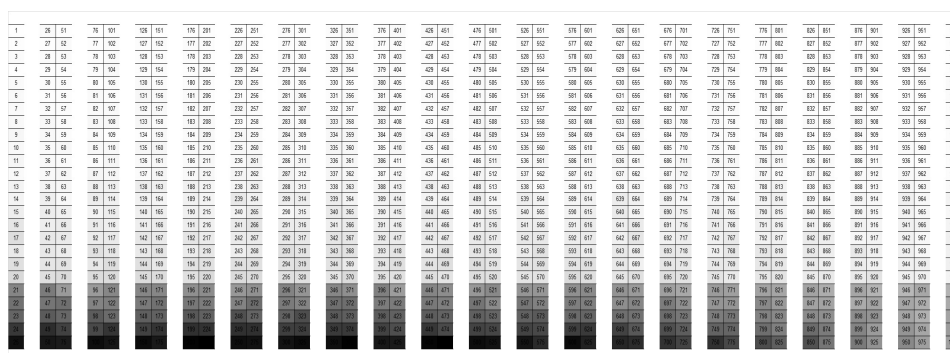


Rys. 8. Średnie odległości pokonywane przez magazyniera dla heurystyk S-shape i polityki within-aisle oraz return i polityki across-aisle przy składowaniu współdzielonym

Źródło: Opracowanie własne.

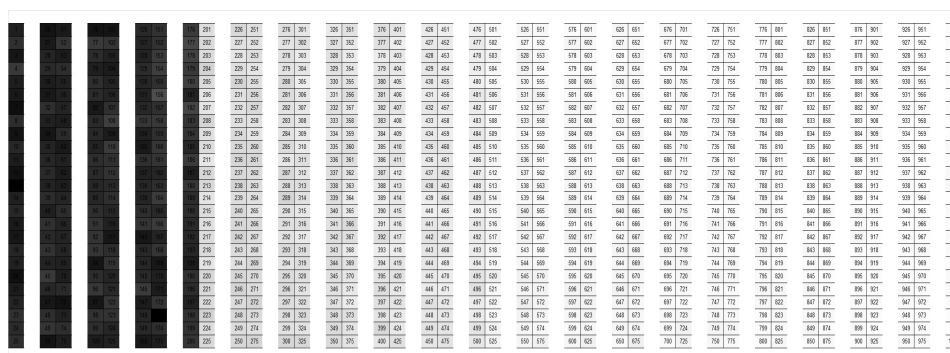
Podczas wdrażania rozwiązań związanych ze składowaniem i kompletacją towarów bardzo istotne jest dbanie o w miarę równomierne wykorzystanie powierzchni magazynowej. Na rysunku 9 zaprezentowano histogram odwiedzin poszczególnych lokalizacji dla wariantu S-shape i within-aisle ze składowaniem współdzielonym (3 lokalizacje z każdym towarem) i pobraniem tylko jednego towaru w cyklu. Dla tego wariantu większość lokalizacji magazynowych nie jest wcale odwiedzana albo odwiedzana jest niewielką liczbą razy. Ruch magazynowy koncentruje się na niewielkiej powierzchni, co może prowadzić do powstawania zatorów.

Już dla nieco większej liczby towarów pobieranych w cyklu powierzchnia magazynowa jest dużo lepiej wykorzystana (rys. 10-12). W badaniach rozpatrywano jedynie przypadek scentralizowany, w którym magazynier rozpoczynał i kończył pracę w lewym dolnym rogu magazynu. Nie jest więc niespodzianką większe wykorzystanie powierzchni magazynowej bliskiej punktowi I/O. W przypadku zdecentralizowanym, gdzie punkt I/O zastąpiony jest przenośnikiem taśmowym rozmieszczonym wzdłuż głównej alejki, powierzchnia magazynowa powinna być wykorzystywana bardziej równomiernie.



Rys. 11. Wykres częstości odwiedzin określonych lokalizacji dla wariantu return i across-aisle, ze składowaniem współdzielonym, z 3 lokalizacjami, tym samym towarem i z pobraniem 8 towarów w cyklu – ciemne kolory oznaczają lokalizacje, z których magazynier najczęściej pobierał towary

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 12. Wykres częstości odwiedzin określonych lokalizacji dla wariantu S-shape i within-aisle, ze składowaniem współdzielonym, z 3 lokalizacjami, tym samym towarem i z pobraniem 8 towarów w cyklu – ciemne kolory oznaczają lokalizacje, z których magazynier najczęściej pobierał towary

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że zwiększanie liczby lokalizacji z przedmiotami tego samego typu, w przypadku, gdy składowane są one w osobnych lokalizacjach dla heurystyki S-shape, nie przynosi efektu w postaci skrócenia średniej drogi pokonywanej przez magazyniera. Wydłużenie alejek i multiplikacja lokalizacji z towarami najszybciej rotującymi ma sens jedynie w przypadku

heurystyki return i przy niewielkiej liczbie towarów pobieranych w jednym cyklu. Z kolei wdrożenie heurystyki return może być szczególnie uzasadnione, gdy w magazynie zainstalowano przenośnik taśmowy, przy którym magazynierzy rozpoczynają i kończą cykle kompletacyjne.

Przy składowaniu współdzielonym zwiększanie liczby lokalizacji z towarem znacząco redukuje odległości pokonywane przez magazynierów. Przy dwóch lokalizacjach z tym samym towarem zastosowanie heurystyki S-shape prowadzi do krótszych odległości niż w przypadku metody return, ale tylko wtedy, gdy liczba pobieranych towarów jest niewielka. Dla trzech lokalizacji tego samego towaru metoda return jest lepsza od S-shape już przy dwóch towarach pobieranych w cyklu kompletacyjnym.

W badaniach przyjęto założenie, że magazynier zawsze wybiera takie lokalizacje z towarami, dzięki którym trasa, którą pokonuje, jest najkrótsza. Skutkuje to – zwłaszcza przy niewielkiej liczbie pobieranych towarów w jednym cyklu – nierównomiernym wykorzystaniem powierzchni magazynowej. Analizie poddano jednak tylko przypadek scentralizowany. Wydaje się, że dla przypadku zdecentralizowanego, gdzie punkt rozpoczęcia i zakończenia procesu byłby zmienny – poszczególne alejki byłyby wykorzystane w dużo bardziej równomierny sposób.

Problem optymalizacji składowania towarów w wielu lokalizacjach nie jest do końca zbadany. Celem dalszych badań powinno być wyznaczenie postaci analitycznej funkcji średniego czasu (lub dystansu) kompletacji zamówień w sytuacji, gdy do wyboru jest kilka lokalizacji z tym samym towarem. W literaturze brakuje również algorytmów pozwalających na szybkie wyznaczenie najkrótszej (lub bliskiej najkrótszej) trasy dla najprostszych heurystyk S-shape i return w przypadku, gdy ten sam towar składowany jest na różnych lokalizacjach magazynowych.

Literatura

- Caron F., Marchet G., Perego A. (1998), *Routing Policies and COI-based Storage Policies in Picker-to-part Systems*, "International Journal of Production Research", No. 36(3), s. 713-732.
- Daniels R., Rummel J., Schantz R. (1998), *A Model for Warehouse Order Picking*, "European Journal of Operational Research", No. 105(1), s. 1-17.
- Dmytrów K. (2013), *Procedura kompletacji zakładająca oczyszczanie lokalizacji*, „Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania”, nr 31, s. 23-36.

- Dmytrów K. (2015), *Taksonomiczne wspomaganie wyboru lokalizacji w procesie kompletacji produktów*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, nr 248, s. 17-30.
- Dmytrów K., Doszyń M. (2015), *Taksonomiczna procedura wspomaganie kompletacji produktów w magazynie*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 385, s. 71-80.
- Heskett J. (1963), *Cube-per-order Index-a Key to Warehouse Stock Location*, “Transportation and Distribution Management”, No. 3(1), s. 27-31.
- Jarvis J., McDowell E. (1991), *Optimal Product Layout in an Order Picking Warehouse*, “IIE Transactions”, No. 23(1), s. 93-102.
- Malmberg C., Bhaskaran K. (1990), *A Revised Proof of Optimality for the Cube-per-order Index Rule for Stored Item Location*, “Applied Mathematical Modelling”, No. 14(2), s. 87-95.
- Parikh P., Meller R. (2008), *Selecting Between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center*, “Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review”, No. 44(5), s. 696-719.
- Parikh P., Meller R. (2009), *Estimating Picker Blocking in Wide-aisle Order Picking Systems*, “IIE Transactions”, No. 41(3), s. 232-246.
- Ratliff H., Rosenthal A. (1983), *Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem*, “Operations Research”, No. 31(3), s. 507-521.
- Roodbergen K., De Koster R. (2001), *Routing Order Pickers in a Warehouse with a Middle Aisle*, “European Journal of Operational Research”, No. 133(1), s. 32-43.
- 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.
- Tarczyński G. (2013), *Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, nr 163, s. 221-238.
- Tarczyński G. (2015a), *Estimating Order-Picking Times for Return Heuristic – Equations and Simulations*, “LogForum”, No. 11(3), s. 295-303.
- Tarczyński G. (2015b), *Średnie czasy kompletacji zamówień dla heurystyki S-shape – wzory i symulacje*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, nr 237, s. 104-116.
- Tompkins J., White J., Bozer Y., Tanchoco J. (2010), *Facilities Planning*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF LOCATIONS WITH THE SAME ITEM ON THE PERFORMANCE OF THE ORDER-PICKING PROCESS

Summary: The paper examines how the number of locations with the same item affects the average distance covered by the picker. The model proposed by Daniels, Rummel and Schantz [1998] allows to search the shortest route. Unfortunately the problem is NP-hard. The problem of selection the location with items to be picked is treated by Dmytrów [2015] in a different way: here the three criteria are evaluated.

In the paper, the one-block rectangular warehouse with S-shape and return routing is analyzed. The average distance traveled in one picking tour is counted for different storage policies. The main finding is that increasing the number of locations not always leads to the improvement of the order-picking process. The calculations were performed using simulations.

Keywords: order-picking, ABC storage, location selection.