

Aleksander Niemczyk¹

WYBRANE PROBLEMY EFEKTYWNEGO ROZMIESZCZANIA TOWARÓW W MAGAZYNACH

Streszczenie

Sposób rozmieszczenia towarów w magazynach ma wpływ na przebieg i szybkość realizowanych procesów magazynowych, szczególnie w fazie składowania i kompletowania. Kryteriami uwzględnianymi przy rozmieszczaniu towarów w magazynie są: wymagane warunki przechowywania, typ jednostki ładunkowej w składowaniu, technologia składowania, metoda przypisywania miejsc składowania oraz parametry obrotu grup asortymentowych. Osoby odpowiedzialne za wybór i stosowanie kryteriów rozmieszczania towarów najczęściej pomijają ostatnie z wymienionych kryteriów. Jest kilka powodów takiej sytuacji. Większość użytkowanych w magazynach systemów informatycznych klasy WMS nie umożliwia wykonania analizy Pareto według kryterium liczby lub częstości pobrań. Osoby zarządzające magazynem nie mają dostępu do danych źródłowych pozwalających wykonać taką analizę lub dostęp do tych danych jest bardzo utrudniony. Mimo znacznego zróżnicowania istniejących magazynów podejście do zagadnienia rozmieszczania towarów może być w każdym magazynie podobne, a potrzebna wiedza osób zarządzających procesami powinna być taka sama.

Słowa kluczowe: zarządzanie magazynem, kompletacja, rozmieszczenie towaru, analiza Pareto, analiza ABC.

SELECTED PROBLEMS OF EFFECTIVE ARRANGEMENT OF THE GOODS IN WAREHOUSES

Abstract

The arrangement of the goods in warehouses has an impact on the routes and speed of the ongoing processes in the warehouse, especially during the storing and picking phases. During the process of arranging the goods in the warehouse the criteria like: the required storage conditions, type of the storage load unit, storage technology, the method of assigning storage locations and finally the turnover parameters of the assortment groups should be taken into consideration. Employees responsible for selecting and applying criteria of the placement of the goods mostly ignore the last the mentioned criterion. There are several reasons for such situation. Majority of IT systems used in storages (WMS class) do not enable Pareto analysis by number or frequency of a single pick. Warehouses' managers do not have access to sources of the data, which enable them to perform such an analysis, or access to such data is very difficult. Despite considerable diversity of the contemporary warehouses, the approach to this problem can be similar in every kind of the warehouse, and the required functionality of the storage IT system as well as necessary knowledge of the processes managers can be the same.

1. WPROWADZENIE

Magazyn jako ogniwo łańcucha dostaw spełnia szereg funkcji, wymagających realizacji podstawowych zadań, którymi są:

- przechowywanie towarów,
- działania manipulacyjne.

Ponieważ przechowywanie jest zbiorem czynności związanych z zapewnieniem zapasom, umieszczonym w budowli magazynowej, wymaganych warunków mikroklimatycznych w określonym czasie a działania manipulacyjne występują zawsze podczas przemieszczania towarów lub przy zmianie postaci ładunków, wymienione zadania się przenikają i wpływają na siebie.

Typowym tego przykładem jest rozmieszczanie towarów, szczególnie w strefie składowania lub w wydzielonej strefie kompletacji. Czas przechowywania w magazynie zależy od otoczenia i wymagań łańcucha dostaw. Jest odwrotnie proporcjonalny do natężenia działań

¹ Instytut Logistyki i Magazynowania; ul. E. Estkowskiego 6, 61-755 Poznań.

manipulacyjnych. Efektywne zarządzanie magazynem wymusza zapewnienie wymaganych warunków przechowalniczych oraz minimalizowanie czasu realizacji procesu przepływu towaru przez magazyn.

Proces magazynowania dzieli się na cztery podstawowe fazy:

- przyjmowanie,
- składowanie,
- kompletowanie,
- wydawanie.

Publikowane w literaturze zależności pozwalają stwierdzić, że czas operacji magazynowych jest między innymi proporcjonalny do drogi pokonywanej przez towar w magazynie oraz wysokości, na której jest umieszczany [2]. Operacje przemieszczania stanowią według różnych autorów od ponad 36 do 60% czasu kompletacji [4].

W większości magazynów czas przebywania towaru w strefach przyjęć i wydań jest znacząco mniejszy od czasu jego przechowywania w strefie składowania. Podobna zależność dotyczy długości tych stref. Dodatkowo przyjmowany lub wydawany towar nie podlega piętrzeniu. Z kolei przebieg fazy kompletowania ma bezpośredni i decydujący wpływ na czas realizacji zamówienia przez magazyn, a kompletowanie odbywa się w strefie składowania lub w wydzielonej strefie kompletacji. W związku z powyższym na przebieg i szybkość realizowanych procesów magazynowych ma wpływ sposób rozmieszczenia towarów szczególnie w strefie składowania i kompletacji.

2. KRYTERIA ROZMIESZCZANIA TOWARU

Kryteriami uwzględnianymi przy rozmieszczaniu towarów w magazynie są:

- wymagane warunki przechowywania,
- typ jednostki ładunkowej w składowaniu,
- technologia składowania,
- metody przypisywania miejsc składowania,
- parametry obrotu grup asortymentowych [5].

Pośród wymienionych kryteriów magazyn nie ma bezpośredniego wpływu na wymagane warunki przechowywania oraz na parametry obrotu grup asortymentowych.

Znacznie ograniczona jest możliwość ingerencji w przyjętą w istniejącym magazynie technologię składowania ustalaną na etapie projektowania.

Typ jednostki ładunkowej i sposób jej uformowania w składowaniu może podlegać zmianom. Dotyczy to zmiany postaci ze względu na konieczność dostosowania do technologii składowania i wykorzystywanych urządzeń, np. poprzez:

- tworzenie jednostek jednorodnych z jednostki niejednorodnej,
- zmniejszanie wysokości lub masy jednostek ładunkowych,
- przepakowanie na inny nośnik.

Kryterium, na które bezpośredni wpływ może mieć zarządzający magazynem, jest metoda przypisania miejsc składowania. W magazynach stosuje się metodę stałych miejsc składowania, metodę wolnych miejsc składowania lub równolegle obie metody.

Jeżeli w ramach każdego z opisanych powyżej kryteriów nie występuje konieczność podziału na grupy asortymentowe (szczególnie przechowalnicze), wówczas wystąpi szczególny i najprostszy przypadek, dla którego strefa składowania nie wymaga fizycznego lub wirtualnego podziału. Dotyczy to przechowywania jednostek ładunkowych tego samego typu, o zbliżonej postaci, zawierających towary o jednakowych wymaganiach przechowalniczych, z zastosowaniem jednej technologii i tej samej metody przypisania miejsc składowania.

Jeśli konieczne jest podzielenie towarów na grupy według jednego lub wielu z opisanych kryteriów, wówczas wymagany jest odpowiedni podział strefy składowania na obszary (przestrzenie) lub wydzielenie poszczególnych lokalizacji. Każdy z obszarów będzie od-

powiadał konkretnej kombinacji parametrów związanych z opisanymi kryteriami. Na etapie projektowania magazynu uwzględnia się jego fizyczny podział na obszary o różnych warunkach przechowalniczych i dobiera się technologię [1, 3, 5, 6].

Pozycje asortymentowe składowane w określonej, wydzielonej przestrzeni mogą być tam dowolnie rozmieszczone z uwzględnieniem wymagań tabeli wykluczeń.

Wieloletnie doświadczenia pracowników Instytutu Logistyki i Magazynowania związane z projektowaniem magazynów wskazuje na duże możliwości organizacyjnego usprawniania procesów magazynowych. Jednym z obszarów wpływających na efektywność procesów jest sposób rozmieszczania towarów, minimalizujący łączną długość drogi pokonywanej przez środki transportu wewnętrznego, zarówno podczas przemieszczania towarów, jak i poruszania się bez ładunku. Jednoczesne zachowanie wymienionych wcześniej kryteriów jest wymagane zarówno przy rozmieszczaniu poszczególnych przestrzeni (obszarów) podczas projektowania stref magazynu, jak i konkretnych pozycji asortymentowych w ramach wydzielonych obszarów.

3. CZAS PRZEMIESZCZANIA W CYKLU KOMPLETACJI

Rozważania wpływu rozmieszczenia towarów na efektywność prowadzonego procesu magazynowania i czas kompletacji przeprowadzono dla strefy kompletacji, odnosząc następnie uzyskane wyniki do przemieszczania w strefie składowania. Przyjęto następujące założenia dotyczące procesu kompletowania:

- przygotowanie do pobrania statyczne, metodą „człowiek do towaru”,
- pobieranie ręczne,
- przemieszczanie jednowymiarowe,
- wydawanie centralne.

Do obliczenia czasu kompletacji w ramach jednego cyklu transportowego przy powyższych założeniach stosuje się wzór [2]:

$$t_{ckom} = (w + 1) \times A + 2 \times L \times F + t_{01} + t_{02} + t_{pro} + w \times (t_{ro} + p \times t_{pl}) \text{ [min]} \quad (1)$$

gdzie:

w – liczba pozycji asortymentowych do pobrania,

A – średni czas ruszania (osiągania maksymalnej prędkości) lub zatrzymania,

L – długość drogi od początku cyklu transportowego do najdalszej lokalizacji pobrań,

F – średni czas pokonywania 1 metra drogi z prędkością maksymalną (odwrotność v_{max}),

t_{01} – czas podjęcia pustej palety,

t_{02} – czas odłożenia skompletowanej (niejednorodnej) palety,

t_{pro} – czas podjęcia i odczytania zlecenia,

t_{ro} – czas odczytania i potwierdzenia pozycji zlecenia,

p – średnia liczba pobieranych sztuk opakowań pozycji asortymentowej,

t_{pl} – średni czas pobierania jednego opakowania pozycji asortymentowej.

Rozmieszczenie pobieranych pozycji asortymentowych będzie miało wpływ tylko na czas pokonywania drogi:

$$t_{pd} = (w + 1) \times A + 2 \times L \times F \text{ [min]} \quad (2)$$

Powyższy wzór, który obejmuje łączny czas ruszania i zatrzymań t_1 oraz łączny czas jazdy do najdalszej lokalizacji pobrania i powrotu t_2 , powstał z dwóch zależności [1]:

$$t_1 = 2 \times A \times (w + 1) \text{ [min]} \quad (3)$$

$$t_2 = 2 \times L \times F - A \times (w + 1) \text{ [min]} \quad (4)$$

W dalszej części rozważany będzie szczególny przypadek:

używany w kompletacji wózek będzie między kolejnymi miejscami pobrań rozpędzany do prędkości maksymalnej i zatrzymywany.

Oznacza to, że wózek nie będzie pokonywał drogi ze stałą prędkością maksymalną.

Wówczas składowa t_2 będzie równa zero, a czas przemieszczania będzie równy t_1 .

Czyli dla takiego przypadku prawdziwa jest zależność:

$$t_2 = 2 \times L \times F - A \times (w + 1) = 0 \quad (5)$$

a stąd:

$$2 \times L \times F = A \times (w + 1) \quad (6)$$

Po przyjęciu dodatkowego założenia, że wózek nie zatrzymuje się wjeżdżając do korytarza, w którym odbywa się kompletacja oraz wyjeżdżając z niego, można zapisać:

$$\frac{w}{L} = \frac{2 \times F}{A} \quad (7)$$

gdzie:

wartości F i A zależą od środka transportu wewnętrznego,

w jest związane ze strukturą zamówień (poleceń kompletacji),

L jest połową drogi pokonywanej w trakcie jednego cyklu kompletacji.

Ponieważ F jest odwrotnością prędkości maksymalnej $v_{\max}$ [1], to:

$$\frac{w}{2 \times L} = \frac{1}{A \times v_{\max}} = a_N \text{ [1/m]} \quad (8)$$

Wprowadzony współczynnik a_N autor proponuje nazwać **koncentracją lokalizacji pobrań**.

W każdym przypadku określa on średnią liczbę lokalizacji pobrań przypadającą na metr drogi pokonywanej w cyklu kompletacji zlecenia:

$$a_N = \frac{w}{2 \times L} \text{ [1/m]} \quad (9)$$

Wskaźnik ten może być także wykorzystany do scharakteryzowania środka transportu wewnętrznego:

$$a_N = \frac{1}{A \times v_{\max}} \text{ [1/m]} \quad (10)$$

Wówczas, dla przyjętych założeń wskaźnik charakteryzuje wózek używany przy kompletowaniu i określa ile razy można go rozpędzić do prędkości maksymalnej i zatrzymać na odcinku jednego metra.

Odpowiednio odwrotność koncentracji lokalizacji pobrań:

$$\frac{1}{a_N} = \frac{(2 \times L)}{w} \text{ [m]} \quad (11)$$

jest średnią odległością między kolejnymi lokalizacjami pobieranych towarów, oraz:

$$\frac{1}{a_N} = A \times v_{\max} \text{ [m]} \quad (12)$$

określa odległość między kolejnymi zatrzymaniami wózka rozpędzanego do prędkości maksymalnej $v_{\max}$.

Dla wózka unoszącego prowadzonego stosowanego przy kompletowaniu można przyjąć:

$$A = 0,03 \text{ min}$$

$$v_{\max} = 4 \text{ km/h} = 67 \text{ m/min}$$

Wówczas:

$$a_N = \frac{1}{0,03 \times 67} = 0,50 \text{ 1/m}$$

$$\frac{1}{a_N} = 0,03 \times 67 = 2 \text{ m}$$

Rozszerzając rozważania poza przyjęty szczególny przypadek można wysnuć następujące wnioski:

- 1) jeżeli $a_N = \frac{w}{2 \times L} > \frac{1}{A \times v_{max}}$ to wózek będzie pokonywał część drogi z prędkością v_{max} ,
- 2) jeżeli $a_N = \frac{w}{2 \times L} < \frac{1}{A \times v_{max}}$ to wózek nie będzie osiągał prędkością v_{max} ,
- 3) jeżeli $\frac{1}{a_N} = \frac{2 \times L}{w} < 2$ m, należy rozważyć możliwość pobierania towarów z sąsiadujących lokalizacji bez przemieszczania wózka,
- 4) powinno się minimalizować odległość od miejsca początku cyklu kompletacji do najbardziej oddalonej lokalizacji pobrań,
- 5) należy unikać pokonywania odcinków drogi bez lokalizacji pobrań (powrót tą samą drogą bez pobierania),
- 6) większa koncentracja lokalizacji pobrań skraca czas kompletacji,
- 7) przy pobieraniu pełnej jednostki ładunkowej (jedno pobranie w cyklu transportowym), pozycje asortymentowe najczęściej pobierane powinny być rozmieszczane najbliżej strefy wydań.

4. BADANIA WYBRANYCH PARAMETRÓW MAGAZYNÓW

Osoby odpowiedzialne za wybór i stosowanie kryteriów rozmieszczania towarów najczęściej pomijają kryterium związane z parametrami obrotu grup asortymentowych lub nie opierają się na danych źródłowych. Jest kilka powodów takiej sytuacji. Większość używanych w magazynach systemów informatycznych klasy WMS nie umożliwia wykonania analizy Pareto według kryterium liczby lub częstości pobrań. Dotyczy to zarówno tworzenia bieżących, jak i jednorazowych analiz lub raportów.

Potwierdza to większość projektów realizowanych przez pracowników Instytutu Logistyki i Magazynowania, związanych z projektowaniem magazynów lub usprawnianiem procesów magazynowania. Prace te obejmują dwukryterialną analizę ABC według wielkości wydań oraz częstości pobrań pozycji asortymentowych. Potrzebne do tego dane źródłowe o pobraniach (dla osób zarządzających magazynem zazwyczaj niedostępne) są jednorazowo uzyskiwane z poziomu administratora systemu.

Na potrzeby niniejszego artykułu autor dokonał badania dziesięciu losowo wybranych prac, zrealizowanych w latach 2006 – 2010. W badaniu uwzględniono następujące parametry:

- liczbę grup przechowalniczych lub wydzielonych magazynów,
- liczbę pozycji asortymentowych,
- średnią dzienną liczbę dokumentów wydania,
- średnią liczbę pobrań (linii, pozycji asortymentowych) przypadającą na dokument wydania,
- wyniki dwukryterialnej analizy Pareto.

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Analizę Pareto wykonano według wielkości wydań (ABC) oraz częstości pobrań (1, 2, 3). Wyniki podano dla każdej z 9 grup jako liczbę pozycji asortymentowych w danej grupie oraz osobno jako udział procentowy liczby pozycji asortymentowych grupy w liczbie wszystkich pozycji w magazynie.

Z grupy C3 nie wydzielono pozycji asortymentowych, które nie były wydawane w badanym okresie 12 miesięcy.

Z analizy wyników wynika, że w badanych magazynach:

- 1) średnia liczba pobrań (linii, pozycji asortymentowych) przypadająca na dokument wydania wynosiła 8,3 (minimum 1,4; maksimum 23,5),
- 2) istnieje bardzo wyraźne zróżnicowanie 9 grup wydzielonych w dwuwymiarowej analizie Pareto,
- 3) grupę A1 tworzyło średnio 8,5% pozycji asortymentowych, (minimum 2,7%, maksimum 17,9%),
- 4) grupę C3 stanowiło średnio 53,7% pozycji asortymentowych, (minimum 17,2%, maksimum 82,4%),
- 5) wielkość grup A2, A3, B3 i C1 jest niewielki (średnio od 0,8% do 2,7% pozycji),
- 6) grupę 1, 2 i 3 tworzyło średnio odpowiednio 19,8%, 23,5% i 56,7% pozycji,
- 7) grupę A, B i C stanowiło średnio odpowiednio 10,9%, 16,3% i 72,8% pozycji.

Z rozważań dotyczących koncentracji lokalizacji pobrań oraz z analizy wyników przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

- 1) grupa 1, a szczególnie zawarta w niej grupa A1, obejmuje bardzo małą część magazynowanych pozycji asortymentowych,
- 2) rozmieszczenie obok siebie pozycji asortymentowych z grupy A1 pozwala na uzyskanie wysokiej koncentracji lokalizacji pobrań,
- 3) umieszczenie grupy A1 najbliżej a grupy C3 najdalej strefy wydań minimalizuje drogę pokonywaną podczas cyklu kompletowania,
- 4) między grupą A1 oraz C3 należy umieszczać od strony strefy wydań kolejno grupy A2 i A3 (z uwagi na wydawaną ilość i związaną z tym technologię składowania oraz małą liczbę pozycji asortymentowych), B1, C1, B2, C2 i B3 (jeżeli technologia składowania dla grup B i C jest podobna),
- 5) najkrótszy czas przemieszczania w fazie kompletacji można uzyskać dla zleceń zawierających wyłącznie pozycje asortymentowe z grupy A1,
- 6) opisany sposób rozmieszczania jest także istotny przy wydawaniu pełnych jednostek ładunkowych (bez zmiany ich postaci) ze strefy składowania,
- 7) w magazynie workowym uzyskuje się skrócenie czasu zarówno przy wydawaniu pełnych jednostek ładunkowych, jak i przy ich umieszczaniu w strefie składowania,
- 8) w magazynie przelotowym lub kątowym uzyskuje się przede wszystkim skrócenie czasu wydawania pełnych jednostek ładunkowych ze strefy składowania.

Mimo znacznego zróżnicowania badanych magazynów przytoczone wnioski dotyczą każdego z nich.

Przedstawione rozważania i wnioski nie uwzględniają między innymi wpływu struktury dokumentu wydań, postaci fizycznej jednostek ładunkowych i pobieranych opakowań na rozmieszczanie pozycji asortymentowych w strefie składowania i kompletacji.

Tabela 1. Parametry badanych magazynów

Parametr	Magazyn																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%
Liczba grup przechowalniczych	1	5	5	2	5	1	1	1	1	1										
Liczba pozycji asortymentowych	2834	11089	3320	1683	2097	191	7183	1597	1577	5299										
Liczba dokumentów wydania	149	1638	44	37	112	128	60	45	14	61										
Liczba pobrań (linii)	1054	38559	457	186	515	672	379	427	19	636										
Średnia liczba linii na dokumencie	7,1	23,5	10,4	5,0	4,6	5,3	6,3	9,5	1,4	10,4										
Analiza krzyżowa Pareto	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%	l.	%
A1	85	3,0	1098	9,9	494	14,9	62	3,7	57	2,7	13	6,8	347	4,8	72	4,5	283	17,9	609	11,5
A2	20	0,7	265	2,4	130	3,9	5	0,3	42	2,0	0	0,0	54	0,8	13	0,8	33	2,1	38	0,7
A3	7	0,2	202	1,8	8	0,2	0	0,0	30	1,4	0	0,0	12	0,2	0	0,0	7	0,4	20	0,4
B1	108	3,8	1181	10,7	222	6,7	84	5,0	57	2,7	14	7,3	554	7,7	89	5,6	215	13,6	675	12,7
B2	83	2,9	378	3,4	572	17,2	72	4,3	29	1,4	4	2,1	343	4,8	87	5,5	137	8,7	275	5,2
B3	33	1,2	297	2,7	192	5,8	4	0,2	85	4,1	2	1,1	104	1,4	11	0,7	59	3,7	44	0,8
C1	122	4,3	481	4,3	28	0,8	83	4,9	15	0,7	9	4,7	89	1,2	18	1,1	93	5,9	57	1,1
C2	419	14,8	1730	15,6	317	9,6	508	30,2	54	2,6	22	11,5	1343	18,7	273	17,1	479	30,4	921	17,4
C3	1957	69,1	5457	49,2	1357	40,9	865	51,4	1728	82,4	127	66,5	4337	60,4	1034	64,7	271	17,2	2660	50,2

gdzie:

l – liczba pozycji asortymentowych w danej grupie,

% – udział procentowy liczby pozycji asortymentowych grupy w liczbie wszystkich pozycji w magazynie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie projektów Instytutu Logistyki i Magazynowania.

PODSUMOWANIE

Przebieg i szybkość realizowanych procesów magazynowych zależy od sposobu rozmieszczenia towarów w magazynach. Czas operacji magazynowych jest proporcjonalny do drogi pokonywanej przez towar w magazynie oraz wysokości, na której jest on umieszczany. Większa koncentracja lokalizacji pobrań, definiowana jako iloraz liczby pobrań i drogi pokonywanej przy cyklu kompletacji, skraca czas tego cyklu. Ma to istotne znaczenie, ponieważ operacje przemieszczania stanowią od ponad 36% do 60% czasu cyklu kompletacji.

Badania wybranych losowo magazynów wykazały, że średnia liczba pobrań (linii, pozycji asortymentowych) przypadająca na dokument wydania waha się od ponad 1 do ponad 23. Przeprowadzone krzyżowe analizy Pareto, wykonane według wielkości wydań (ABC) oraz częstości pobrań (1, 2, 3) potwierdziły w praktyce bardzo wyraźne zróżnicowanie 9 wydzielonych grup. Grupę A1 stanowiło średnio 8,5%, a grupę C3 53,7% pozycji asortymentowych. Najmniejszy udział mają grupy A2, A3, B3 i C1 (średnio od 0,8 do 2,7% pozycji asortymentowych).

Najważniejsze wnioski, płynące z rozważań dotyczących koncentracji lokalizacji pobrań oraz z analizy wyników przeprowadzonych badań to:

- rozmieszczenie obok siebie pozycji asortymentowych z grupy A1 pozwala na uzyskanie wysokiej koncentracji lokalizacji pobrań,
- umieszczenie grupy A1 najbliżej, a C3 najdalej strefy wydań minimalizuje drogę pokonywaną podczas cyklu kompletowania.

Powyższe wnioski są prawdziwe dla wydawania pełnych jednostek ładunkowych (bez zmiany ich postaci) ze strefy składowania oraz dla znacznie zróżnicowanych magazynów.

LITERATURA

- [1] Fijałkowski J., *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1987.
- [2] Jacyna M., Kłodawski M., *Pracochłonność procesu komisjonowania dla wariantowego rozmieszczania asortymentu w strefie kompletacji*, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 70, Transport, Warszawa 2009.
- [3] Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, t. 2, *Projektowanie, modelowanie, zarządzanie*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1999.
- [4] Lünig R., *Beitrag zur optimierten Gestaltung des Durchsatzes in Kommissioniersystemen für Stückgüter*, Cuvillier Verlag, Göttingen 2005.
- [5] Niemczyk A., *Zarządzanie magazynem*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2010.
- [6] *Zarządzanie gospodarką magazynową*, praca zbiorowa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997.