

LORENC Augustyn Krzysztof¹

Planowanie rozmieszczania produktów w magazynie – najnowsze rozwiązania i trendy rozwojowe

WSTĘP

Na efektywność magazynu wpływają trzy elementy: sposób składowania i pomieszczenia produktów, sposób kompletacji produktów i wyznaczania drogi kompletacji oraz zarządzanie zamówieniami. Klasyczne metody klasyfikacji produktów, wykorzystywane do planowania ich rozmieszczenia we współczesnym magazynie, który musi dostosowywać się do częstych zmian gospodarki są mało efektywne. Jednak z uwagi na swoją prostotę i łatwość wdrożenia w przedsiębiorstwie są bardzo często stosowane. Słabości tradycyjnych metod wymusiły na naukowcach i logistykach opracowywanie nowych – bardziej dynamicznych metod klasyfikacji i rozmieszczenia produktów. Fazą przejściową pomiędzy tymi, a nowymi metodami było zastosowanie logiki rozmytej (Fuzzy Logic). Obecnie coraz częściej sięga się po zastosowanie algorytmów genetycznych lub sieci neuronowych. Nowoczesne metody z uwagi na swoją złożoność i trudność we wdrożeniu nie są bezpośrednio stosowane przez przedsiębiorstwa. Są jednak pośrednio używane jako elementy systemów WMS wspomagających pracę magazynów.

1. POWSZECHNIE STOSOWANE METODY KLASYFIKACJI I ROZMIESZCZANIA PRODUKTÓW

Tradycyjne metody klasyfikacji produktów takie jak analiza ABC oraz XYZ są metodami najczęściej wykorzystywanymi do planowania rozmieszczenia produktów przy projektowaniu nowych magazynów lub ich reorganizacji. Metody te są natomiast mało efektywne jeśli chodzi o relokację produktów w funkcjonującym magazynie z uwagi na dużą rotację towarów. Zestawienie powszechnie stosowanych metod przedstawiono w tabeli 1.

W przypadku częstych zmian w asortymencie magazynu, sezonowości oraz systemie wolnych miejsc składowania produktów spośród wymienionych metod sprawdza się jedynie rozmieszczenie produktów w oparciu o index COI. Dokonując klasyfikacji produktów w oparciu o pozostałe metody, po rozmieszczeniu produktów należy ciągle stosować ten sam układ towarów [7]. Jeśli natomiast występują silne wahania na rynku, należałoby często dokonywać ponownej klasyfikacji produktów i ich przemieszczeń wewnętrznych – co w dużych magazynach jest znacznym utrudnieniem powodującym zaburzenia w funkcjonowaniu. Duże firmy – zwłaszcza zagraniczne – starają się łączyć kilka metod lub wykonywać je wielokrotnie używając innego kryterium i zestawiać ze sobą.

Tab.1. Porównanie metod klasyfikacji produktów.

	Wielokryterialność	Najczęściej uwzględniane kryteria	Zależność od ilości elementów	Sposób klasyfikacji produktów	Najczęstsze zastosowanie
Index COI	Tak, 2 kryteria	objętość/waga, zapotrzebowanie	nie ma znaczenia	W oparciu o współczynnik COI, brak konieczności podziału na grupy	Metoda wolnych miejsca składowania

¹ Mgr inż. A. K. Lorenc, asystent naukowo-dydaktyczny, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Szynowych, Zakład Systemów Logistycznych

Analiza ABC	Nie	wartość sprzedaży, zysk ze sprzedaży, częstość pobrań, wielkość wydań, objętość/waga	mała	W odniesieniu do innych produktów - w oparciu o udział produktu w stosunku do całości	Metoda stałych miejsc składowania
Analiza XYZ	Nie	regularność zużycia	mała	W odniesieniu do innych produktów - w oparciu o udział produktu w stosunku do całości	W połączeniu z metodą ABC
Analiza ABC-FC	Tak	wartość sprzedaży, zysk ze sprzedaży, częstość pobrań, wielkość wydań, objętość/waga, regularność zużycia	mała	W oparciu o funkcję przynależności oraz podział na grupy według analizy ABC	W połączeniu z analizą ABC i XZY
Analiza EIQ	Tak	wielkość zamówienia klientów, ilość typów produktów zamówiona przez klientów, wielkość zamówienia dla każdego typu produktu, popularność produktu	mała	W oparciu o obliczone współczynniki dla każdego produktu	Metoda wolnych i stałych miejsc składowania
Metoda AHP	Tak	wartość sprzedaży, zysk ze sprzedaży, częstość pobrań, wielkość wydań, objętość/waga, regularność zużycia	duża	W oparciu o obliczone wskaźniki preferencji oraz przyjęte współczynniki wagowe	Mały asortyment

(opracowanie własne)

2. NOWOCZESNE METODY I NARZĘDZIA WYKORZYSTYWANE DO KLASYFIKACJI PRODUKTÓW

Omawiane metody mimo, że są metodami podstawowymi i nie zawsze wystarczająco efektywnymi to jednak są ciągle wykorzystywane w wielu informatycznych systemach wspomagania takich jak ERP, WMS [18]. Metody te są stosunkowo proste do wdrożenia, a ich wykonanie w oparciu o wcześniej przygotowane dane nie zajmuje dużo czasu. Zasadniczą wadą omówionych metod jest fakt, że służą one planowaniu rozmieszczenia produktów w fazie projektowania struktury magazynu. System stałych miejsc składowania produktów – dla którego dedykowane są metody klasyfikacji produktów – sam w sobie ma jedną zasadniczą wadę – dużą wrażliwość na wahania popytu. Jeżeli w magazynie składowany jest niezmienny asortyment produktów cechujący się stałym popytem dla każdego z nich to system stałych miejsc składowania jest rozwiązaniem najbardziej optymalnym. Oczywiście są też inne metody poprawy efektywności funkcjonowania magazynu niż planowanie rozmieszczenia produktów. Do pozostałych metod możemy zaliczyć odpowiednie zarządzanie zamówieniami, tj. łączenie ich ze sobą, multikompletacje wybranych pozycji z listy zamówień itd. oraz optymalizacja podczas planowania trasy kompletacji zamówień. W praktyce najczęściej wszystkie trzy metody są łączone ze sobą. Zarządzanie listami zamówień oraz wyznaczanie ścieżek kompletacji jest omawianych w wielu publikacjach [10], [9], [2], [13], [15], w których pojawiają się nowe koncepcje i metody optymalizacji. W planowaniu rozmieszczenia produktów najwięcej publikacji skupia się na powszechnie stosowanych klasycznych metodach oraz na reorganizacji struktury magazynu [5], [14], [12]. Natomiast zasadniczą wadą tych metod jest to, że nie są one skuteczne w przypadkach magazynów o zmiennym popycie na sprzedawane produkty. Jedynie analiza EIQ oraz indeks COI mogą być z powodzeniem stosowane zarówno w systemie stałych jak i wolnych miejsc składowania. Zasadniczym problemem dla magazynów korzystających z systemu stałych miejsc składowania jest zastosowanie metod rozmieszczania produktów, aby przypisać im odpowiednie miejsca oraz uwzględnić sezonowość – wahania popytu. Oczywiście

można wykorzystywać metody ABC/XYZ cyklicznie w ciągu roku w określonym odstępie czasu, jednak zawsze pozostaje spadek efektywności funkcjonowania magazynu poza tymi okresami. Z tego powodu zaczęły rozwijać się bardziej złożone metody planowania rozmieszczania produktów w magazynie pozwalające na otrzymywanie wyników w czasie rzeczywistym [1]. Metody te działają w oparciu o takie narzędzia jak zbiory rozmyte, sztuczne sieci neuronowe oraz algorytmy genetyczne [4], [13].

Klasyczne metody wykorzystywane do planowania rozmieszczenia produktów w magazynie opierają się na kilku systemach [7]:

- Dowolnych miejsc składowania (Random Storage, RS),
- Najbliższego wolnego miejsca składowania (Closest Open Location Storage, COLS),
- Stałych miejsc składowania (Dedicated Storage, DS),
- Składowania w oparciu o klasy (Class-based Storage, CS).

Systemy stałych miejsc składowania oraz składowania w oparciu o klasy są do siebie podobne, z tą różnicą, że w pierwszy z nich nie jest zdeterminowany przez metody klasyfikacji czyli produkty nie są porządkowane względem siebie nawzajem. Metoda składowania produktów w oparciu o klasy jest skuteczniejsza od metody stałych miejsc składowania [17]. W wyniku kontaktu z przedsiębiorstwami stwierdzono, że najczęściej stosowanymi i efektywnymi metodami jest składowanie w oparciu o system najbliższego wolnego miejsca składowania oraz składowania w oparciu o klasy. Metody klasyfikacji produktów pozwalają uzyskać informację o tym jak dany produkt jest istotny w odniesieniu do pozostałych pod kątem określonej cechy. Celem bezpośrednim klasycznych metod jest określenie klasy nie zaś minimalizacja czasu lub drogi kompletacji produktów – co jest celem pośrednim, który nie zawsze jest osiągnięty. Nowoczesne metody wykorzystywane do klasyfikacji produktów mają natomiast na celu osiągnięcie zmniejszenia drogi i czasu kompletacji produktów przez co są znacznie bardziej skuteczne.

Najczęściej przy planowaniu rozmieszczenia produktów w magazynie uwzględnia się [7]:

- Popularność produktu (Popularity) – ilość odwiedzeń danego regału,
- Obroty (Turnover) – całkowita ilość produktów przechodzących przez magazyn w określonym przedziale czasowym,
- Objętość produktu (Volume) – oczekiwany popyt danego produktu w określonym przedziale czasu przemnożony przez objętość produktu,
- Częstotliwość pobrań (Pick Density) – stosunek popularności produktu do jego objętości,
- Współczynnik kubatury na zamówienie (Cube per Order Index – COI) – stosunek objętości zajmowanej przez dany produkt w stosunku do jego popularności,
- Wagę produktów (Weight) – oczekiwany popyt danego produktu w określonym przedziale czasu przemnożony przez wagę produktu [11], [22].

Z uwagi na ilość składowanych produktów w magazynach, ilość regałów i wynikającą z tego ilość kombinacji wariantów rozmieszczenia produktów nie jest możliwe sprawdzenie wszystkich możliwych rozwiązań w celu odnalezienia najbardziej poprawnego. Jak już wspomniano klasyczne metody najpierw dokonują uporządkowania produktów, następnie przypisują im określone klasy, które służą do zaplanowania ich rozmieszczenia w magazynie. Współczesne powstające metody najczęściej nie dokonują klasyfikacji produktów, a od razu sprawdzają wybrane warianty rozmieszczenia produktów ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Do takich metod należą metody heurystyczne. W literaturze można odnaleźć rozwiązania działające w oparciu o metody heurystyczne. Do najczęściej spotykanych metod i narzędzi można zaliczyć:

- **Poszukiwanie minimum lokalnego** (Local Minimum Search). Często wykorzystuje się w nich liniowy model matematyczny odzwierciedlający rzeczywisty problem. Model tej wykorzystywany jest do utworzenia możliwych wariantów rozwiązań. Pożądany wynik odnajdywany jest w oparciu o poszukiwanie minimum lokalnego [7],
- **Algorytm symulowanego wyżarzania** (Simulated Annealing Algorithm, SAA) wykorzystany do rozwiązania całkowitoliczbowego modelu programowania (integer programming model) pozwalającego na klasyfikację i rozmieszczenie produktów uwzględniając wszystkie możliwe

kombinacje, koszty powierzchni składowania oraz koszty kompletacji zamówień, metoda wykorzystuje Index COI [19],

- **Algorytm optymalizacji rojem cząstek** (Particle Swarm Optimization Algorithm, PSO) został wykorzystany do podziału produktu na kategorie uwzględniając współczynnik obrotów oraz czas składowania produktów [16],
- **Metoda podziału i ograniczeń** (Branch and Bound, BBA) została wykorzystana z programowaniem nieliniowym, w którym zaprezentowany model uwzględniał przestrzeń składowania oraz koszty składowania. W artykule wykorzystano także Index COI [19],
- **Algorytmy genetyczne** (Genetic Algorithm, GA) pozwalające na tworzenie nowych rozwiązań będących kombinacją aktualnych rozwiązań lub ich mutacją. Algorytmy genetyczne nie dają możliwości weryfikacji całego zbioru rozwiązań, jednak pozwalają na uzyskanie rozwiązania lepszego z każdym krokiem poszukiwań – generacją [8].
- Zdarza się łączenie algorytmów genetycznych z innymi metodami np. łączenia ścieżek kompletacji produktów [21],
- **Logika rozmyta** (Fuzzy Logic, FL) wykorzystywana najczęściej przy podziale produktów na kategorie. Pozwala dostosować przynależność produktów do danej kategorii w przypadku, gdy wartość cechy dla danego produktu znajduje się blisko granicy rozdzielającej kategorii [3],
- **Sztuczne sieci neuronowe** (Artificial Neural Network, ANN) są wykorzystywane najczęściej tam gdzie trudno jest określić algorytm postępowania w celu osiągnięcia pożądanego wyniku. W takim przypadku najczęściej dostępne są tylko dane wejściowe oraz informacje na temat pożądanego efektu. Sztuczne sieci neuronowe pomagają znaleźć korelacje pomiędzy danymi wejściowymi a wynikiem. Działanie ANN można podzielić na fazę tworzenia struktury sieci, uczenia sieci – akwizycji wiedzy oraz fazę działania sieci. Sieci neuronowe są narzędziem coraz częściej wykorzystywanym z uwagi na szybkość ich działania, rosnącą jakością wyników w miarę przetwarzania nowych danych oraz bardzo duże możliwości adaptacyjne. Sztuczne sieci neuronowe są wykorzystywane najczęściej do przewidywania popytu [6], klasyfikacji produktów [20] oraz wyznaczania drogi kompletacji literatura [15].

Wymienione metody i narzędzia często są wykorzystywane w różny sposób. Powstają ich nowe odpowiedniki, często nieznacznie zmienione. Zdarza się też, że poszczególne narzędzia są łączone ze sobą lub z metodami klasycznymi w celu uzyskania jeszcze lepszych wyników [20], [3], [6], [21]. Dokonując przeglądu literatury stwierdzono, że wymienione metody i narzędzia pozwalają na poprawę jakości otrzymanego rozwiązania w stosunku do metod klasycznych. Natomiast wybór metody zależy od konkretnego przypadku, tj. stosowanego systemu składowania produktów, struktury magazynu, zastosowanych systemów wspomaganie, sposobu kompletacji itd.

W celu weryfikacji efektywności przedstawianych metod wykonano wstępne badania łącząc ABC oraz XYZ z zastosowaniem zbiorów rozmytych przy końcowym podziale na kategorie. Analizy wykonano pod kątem:

- pod kątem stabilności popytu,
- pod kątem wagi towarów,
- pod kątem stabilności popytu, wagi towarów oraz popularności produktów.

Przy czym stabilność popytu określono w oparciu o amplitudę dla ilości sprzedanych produktów danego typu. Im większa była wartość amplitudy tym popyt charakteryzował się większymi wahaniami. Do badań wykorzystano dane losowe dla 200 produktów i 10 907 zamówień. Łącznie dla wszystkich zamówień na listach kompletacyjnych znalazło się 114 026 pozycji produktowych. Posłużono się workową strukturą magazynu o powierzchni strefy składowania równej 2408 m², mieszczącą 20 rzędów trypoziomowych regałów po 40 regałów w każdym rzędzie. Struktura magazynu została zapisana w postaci macierzowej przy pola macierzy opisujące korytarze przyjmowały wartość 0. Na podstawie danych na temat średnich czasów jazdy dla wózka widłowego oraz pozostałych parametrów magazynu została obliczona macierz opisująca czas dotarcia z punktu startowego – strefy pakowania – do każdego regału w magazynie. W celu weryfikacji efektywności wykorzystanych metod klasyfikacji produktów wyznaczono wzór określający łączny czas trwania

kompletacji towarów zakładając jako czas zbiórki czas dotarcia do produktu oraz powrotu do strefy pakowania przez pracownika.

Całkowity czas pobrania wszystkich wydanych z magazynu produktów danego typu określono wzorem:

$$t_c(x,y) = Q_p \left[t_{lp} \left(D_{wr} \cdot y + D_{lr} \cdot x + \frac{d_{cr}}{2} \right) + t_a + t_{lp} (d_{cr} \cdot c_l(x) + d_{cr} \cdot c_w(y)) \right] \quad (1)$$

gdzie:

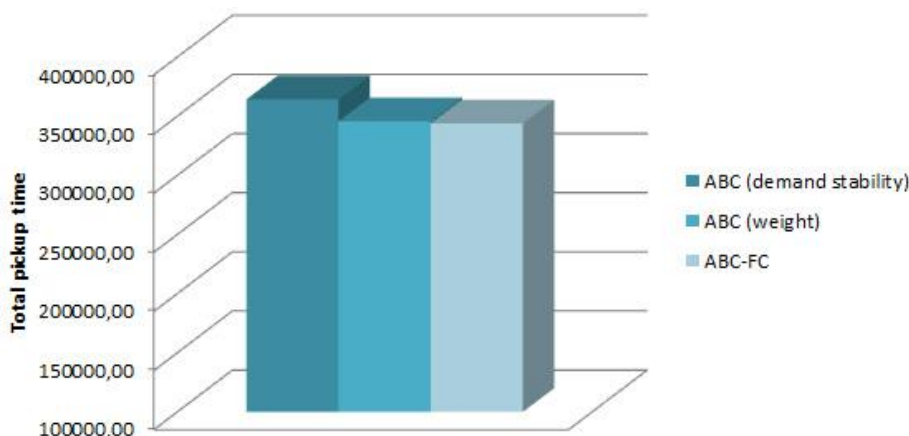
- $t_c(x,y)$ – całkowity czas pobrania produktów,
- x – współrzędna określająca kolumnę,
- y – współrzędna określająca rząd,
- Q_p – ilość pobrań,
- D_{wr} – szerokość regału,
- D_{lr} – długość regału,
- d_{cr} – szerokość korytarza,
- t_{lp} – czas pokonywania 1 metra drogi w linii prostej,
- t_a – czas pokonywania łuku,
- $c_l(x)$ – ilość korytarzy przebiegających w poprzek magazynu,
- $c_w(y)$ – ilość korytarzy przebiegających wzdłuż magazynu.

Dokonano obliczenia całkowitych czasów pobrań produktów dla ich rozmieszczenia w wyniku analizy ABC wykonanej z uwagi na stabilność popytu, analizy XYZ z uwagi na wagę produktów oraz analizy ABC-FC uwzględniającej obie analizy oraz częstotliwość pobrań produktów. Wyniki dla tych trzech wariantów przedstawiono w tabeli 2.

Tab.2. Czasy pobrań produktów dla całego okresu badawczego i różnego rozmieszczenia produktów

	Rozmieszczenie produktów na podstawie klasyfikacji metodą		
	ABC (stabilność popytu)	XYZ (waga)	ABC-FC
Czas do najbliższego produktu [min]	268769.38	257669.31	256114.56
Czas do najdalszego produktu [min]	270583.14	259544.20	257905.13

Wykorzystana metoda pozwoliła na zwiększenie efektywności procesu kompletacji o 4,68% – 5,61%. Co pozwana na zaoszczędzenie około 22 godzin i 50 minut w ciągu jednego miesiąca pracy dla 200 zamówień kompletowanych w ciągu doby. Porównanie czasów dostępu przedstawiona na rysunku 1.



Rys.1. Porównanie czasów dostępu dla prezentowanego zestawu danych

WNIOSKI

Współcześnie coraz częściej sięga się po nowoczesne narzędzia takie jak logika rozmyta, algorytmy genetyczne oraz sztuczne sieci neuronowe. Są to narzędzia, które doczekały się zastosowania również przy klasyfikacji produktów i planowaniu ich rozmieszczenia w magazynie. Wykonując wstępne badania z wykorzystaniem zbiorów rozmytych do łączenia wyników analiz ABC i XYZ stwierdzono, że nawet przy niewielkim udziale wspomnianych narzędzi możliwe jest zwiększenie efektywności funkcjonowania magazynu o około 5%. Również przegląd literatury zagranicznej potwierdził skuteczność omawianych metod. Można zatem prognozować rozwój dalszych badań z wykorzystaniem wspomnianych metod, który będzie skutkował zwiększeniem efektywności funkcjonowania magazynów.

Streszczenie

W niniejszym artykule zestawiono powszechnie stosowane metody klasyfikacji produktów wykorzystywane do planowania rozmieszczenia produktów w magazynie oraz przedstawiono nowoczesne metody i narzędzia, które sukcesywnie zastępują wspomniane metody. Narzędzia takie jak logika rozmyta, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne oraz metody heurystyczne pozwalają na uwzględnianie wielu kryteriów jednocześnie dając rozwiązanie suboptymalne w krótkim czasie. Ponadto posiadają duże możliwości adaptacyjne przez co mogą być stosowane w różnego typu magazynach uwzględniając sezonowość w popycie oraz częste zmiany w asortymencie. Wstępne badania z wykorzystaniem zbiorów rozmytych pozwoliły na zwiększenie efektywności procesu kompletacji o 4,68% – 5,61% dla 200 produktów i 10 907 zamówień. Łącznie dla wszystkich zamówień na listach kompletacyjnych znalazło się 114 026 pozycji produktowych. W związku z możliwościami jakie nowoczesne metody i narzędzia ze sobą niosą prognozuje się ich dalszy rozwój skutkujący wzrostem efektywności funkcjonowania magazynów.

Warehouse layout planning - the latest solutions and development trends

Abstract

In that paper summarizes the commonly used methods of products classification used for warehouse layout planning and shows the latest solutions and tools, which successively replace these methods. Tools like fuzzy logic, artificial neural networks, genetic algorithms and heuristic helps to take into account many criterion in at the same time giving the solution in short time. Moreover, they have great adaptability so that they can be used in different type of stock, which seasonality of demand and frequent changes in assortment. Initial research using fuzzy sets helps to increase effectiveness pickup process by 4,68% – 5,61% for 200 products and 10 907 orders. Total for all orders on pickup list contains 114 026 products. In connection with the modern methods and tools can bring, it is forecast to their further development that results in an increase in the efficiency of the warehouse.

PODZIĘKOWANIA



*Prezentowane wyniki badań zostały zrealizowane w ramach projektu
EUREKA E!6726 LOADFIX dofinansowanego
ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju*



BIBLIOGRAFIA

1. Balakrishnan J., Chun Hung Cheng, Dynamic Layout Algorithms: a State-of-the-art Survey, Omega. 1998, no. 4.
2. Barreto Sergio Ferreira C., Paixao J., Santos Beatriz S., Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. European Journal of Operational Research. 2007, no. 179.
3. Ching-Wu Chu, Gin-Shuh Liang, Chien-Tseng Liao, Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. Computers & Industrial Engineering. 2008, no. 55.
4. Christophe Bräysy Olli, Dullaert Wout, Raa Birger, Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. European Journal of Operational Research. 2010, no. 200.

5. Ek Peng Chew, Loon Ching Tang. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*. 1999, no. 122.
6. Fei-Long Chen, Yun-Chin Chen, Jun-Yuan Kuo, Applying Moving back-propagation neural network and Moving fuzzy-neuron network to predict the requirement of critical spare parts. *Expert Systems with Applications*. 2010, no. 37.
7. Gajewska T., Analiza porównawcza wybranych aspektów oceny jakości usług logistycznych w zakresie transportu chłodniczego. *Gospodarka Materiałowa & Logistyka*. 2013, nr 12.
8. Guerriero F., Musmanno R., Pisacane O., Rende F., A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling*. 2013, no. 37.
9. Guvenir H. A., Erel E., Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*. 1998, no. 105.
10. Henn S., Schmid V., Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers & Industrial Engineering*. 2013, no. 66.
11. Henn S., Algorithms for on-line order batching in an order picking warehouse. *Computers & Operations Research*. 2012, no. 39.
12. Kaczor G., Lorenc A., Zwiększenie efektywności procesu kompletacji zamówień w wyniku optymalizacji rozmieszczenia produktów w magazynie z uwzględnieniem ich częstotliwości pobrań oraz gramatury. *Logistyka*. 2012 nr 5.
13. Kees Jan Roodbergen, René de Koster, Routing order pickers in a warehouse with middle aisle. *European Journal of Operational Research*. 2001, no. 133.
14. Moeller K., Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2011, no. 20.
15. Petersen C. G., Aase G., A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*. 2004, no. 92.
16. René de Koster Tho Le-Duc, Kees Jan Roodbergen, Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 2007, no. 182.
17. Semih Onut Umut, Tuzkaya R., Bilgehan Dogac, A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem. *Computers & Industrial Engineering*. 2008, no. 58.
18. Szkoda M.: Realizacja procesów logistyki dystrybucji z zastosowaniem systemu SAP ERP. *Logistyka* 2013, nr 5.
19. Venkata Reddy Muppani (Muppant), Gajendra Kumar Adil, A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *European Journal of Operational Research*. 2008, no. 189.
20. Venkata Reddy Muppani (Muppant), Gajendra Kumar Adil, Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: A simulated annealing approach. *Omega*. 2008, no. 36.
21. Yu Min-Chun, Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques. *Expert Systems with Applications*. 2011, no. 38.
22. Zhang G.Q. , Lai K.K., Combining path relinking and genetic algorithms for the multiple-level warehouse layout problem. *European Journal of Operational Research*. 2006, no.169.
23. Ziqiang Li Zhuojun Tian, Yanfang Xie, Rong Huang, Jiyang Tan, A knowledge-based heuristic particle swarm optimization approach with the adjustment strategy for the weighted circle packing problem. *Computers and Mathematics with Applications*. 2013, no. 66.