

LORENC Augustyn Krzysztof¹

Zwiększenie efektywności funkcjonowania magazynu w wyniku zastosowania dynamicznego podziału produktów na grupy

WSTĘP

Zapewnienie pożądanej efektywności funkcjonowania dużego magazynu wymaga odpowiedniego zaplanowania rozmieszczenia całego asortymentu nawet wielu tysięcy produktów. Zwiększenia efektywności funkcjonowania magazynu może być osiągnięte za pomocą trzech sposobów, tj. poprzez zarządzanie zamówieniami (dzielenie ich na kilka kompletacji, multikompletacje, itd.), optymalizację ścieżki kompletacji oraz reorganizację rozmieszczenia produktów (np. poprzez klasyfikację i podział towarów na grupy). Klasyfikacji produktów dokonuje się w celu uzyskania podziału na grupy odpowiadające znaczeniu – istotności – przechowywanych produktów. Następnie planując rozmieszczenie towarów w magazynie uwzględnia się także ich rozplanowanie, aby zapewnić najkrótszą drogę od strefy kompletacji/wydań do najbardziej istotnych produktów.

Wśród metod i narzędzi wykorzystywanych do klasyfikacji i rozmieszczenia produktów w magazynie wyróżnić można, takie które uwzględniają tylko jedno kryterium oraz takie, które uwzględniają ich większą ilość [16, 18]. Ich dobór zależy w głównym stopniu od systemu składowania produktów oraz sposobu kompletacji zamówień.

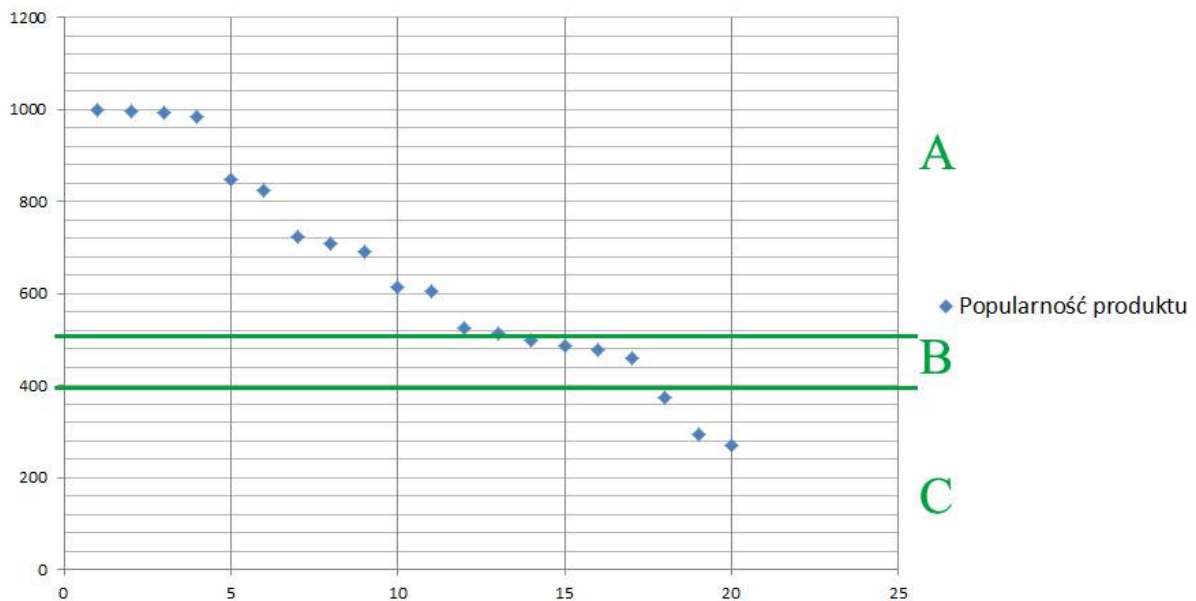
Przeprowadzone studia literatury polskiej związane z klasyfikacją produktów oraz ich rozmieszczeniem w magazynie wykazały dalekie braki w stosunku do badań zagranicznych. W krajowych publikacjach pojawiają się najczęściej zagadnienia związane z klasycznymi analizami ABC [1, 8, 14] oraz XYZ oraz samym układzie magazynu i metodach składowania [12, 13]. W literaturze zagranicznej można znaleźć natomiast więcej tego typu publikacji [4, 15, 17], a także wiele opracowań na temat klasycznych metod klasyfikacji produktów oraz ich rozwiniętych odpowiednikach [3, 5, 6, 19]. Studium literatury pozwoliło określić aktualnie wykorzystywane metody do planowania rozmieszczenia produktów oraz trendy rozwojowe, co było przedmiotem publikacji [10, 11].

Analiza ABC jest najczęściej stosowaną analizą pozwalającą sklasyfikować produkty na grupy o różnym znaczeniu (mniej lub bardziej priorytetowe). Klasyczna analiza ABC pozwala podzielić produkty na trzy grupy o procentowym udziale wynoszącym: A – 80%, B – 15%, C – 5%. Można spotkać odmiany tej analizy wyodrębniające więcej grup o odpowiednio skorygowanym udziale procentowym. Analiza ABC jest analizą jednokryterialną nie ma zatem możliwości wzięcia pod uwagę kilku cech jednocześnie. Możliwe jest jednak kilkukrotne wykonanie analizy - za każdym razem uznając jako kryterium inną cechę, a następnie dokonać „scalenia” wyników przyjmując stosowne wagi dla każdej cechy (wyniku analizy) [9]. Wspomniana analiza najczęściej jest wykonywana według kryteriów przedstawionych w [2, 7, 9, 14], czyli:

- wartości sprzedaży lub zysk ze sprzedaży,
- częstości pobrań,
- wielkości wydań,
- wagi i objętości.

Przykładowe wyniki klasyfikacji ABC w oparciu o popularność produktu (ilość odwiedzin regału) przedstawiono na rysunku 1.

¹Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie, Wydział Mechaniczny; 31-864 Kraków; al. Jana Pawła II 37.



Rys. 1. Podział produktów na kategorie ABC według udziału 80%, 15% i 5%

Przytoczony podział pokazuje, że w poszczególnych wartościach znalazły się produkty:

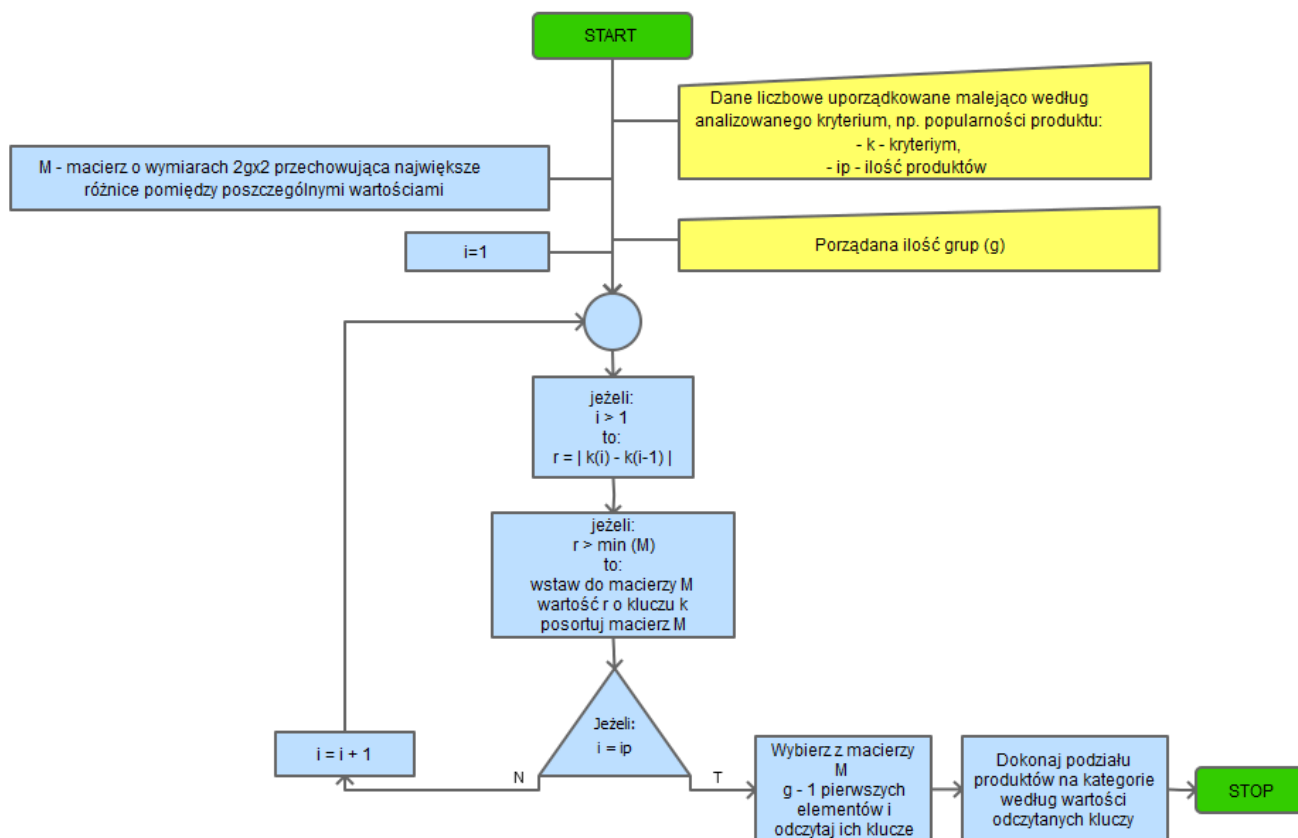
- Grupa A, 13 produktów z maksymalną różnicą wartości pomiędzy produktami 394,
- Grupa B, 4 produkty z maksymalną różnicą wartości pomiędzy produktami 38,
- Grupa C, 3 produkty z maksymalną różnicą wartości pomiędzy produktami 105.

Można zatem zauważyć, że dla takiego podziału grupę A mogą tworzyć produkty o właściwościach najmniej zbliżonych do siebie. Wyniki analizy ABC zależą od z góry ustalonych granic. W przedstawianym przykładzie można dopatrzeć się rozkładu liniowego wartości przez co grupa A jest mimo wszystko najsłabszą, ponieważ cechuje się najmniejszym podobieństwem pomiędzy produktami. Dla takiego podziału produktów na kategorie planowanie ich rozmieszczenia w magazynie nie może być zatem wystarczająco efektywne. Trafniejszym rozwiązaniem byłby podział według zbieżności wartości.

1 WYZNACZANIE GRANIC PODZIAŁU METODĄ DYNAMICZNĄ

Przedstawiona w niniejszym artykule metoda zwana dalej metodą dynamiczną jest zmodyfikowaną wersją klasycznej analizy ABC. W metodzie dynamicznej natomiast nie istnieje stała granica – taka jak w analizie ABC – podziału produktów na grupy. Granica ta jest wyznaczana niezależnie dla każdego analizowanego przypadku. Dzięki takiemu rozwiązaniu produkty przypisane do danej grupy są bardziej do siebie podobne – pod kątem ocenianej cechy.

Aby dokonać podziału według zbieżności wartości posłużono się dwoma algorytmami. Pierwszy z nich dokonuje podziału zawsze na dwukrotnie większą ilość grup niż początkowo założono, drugi natomiast dokonuje połączenia tych grup w taki sposób, aby ich wartości były jak najbardziej do siebie zbliżone. Sposób działania pierwszego algorytmu został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Sposób działania algorytmu dzielącego produkty na grupy według największych różnic wartości

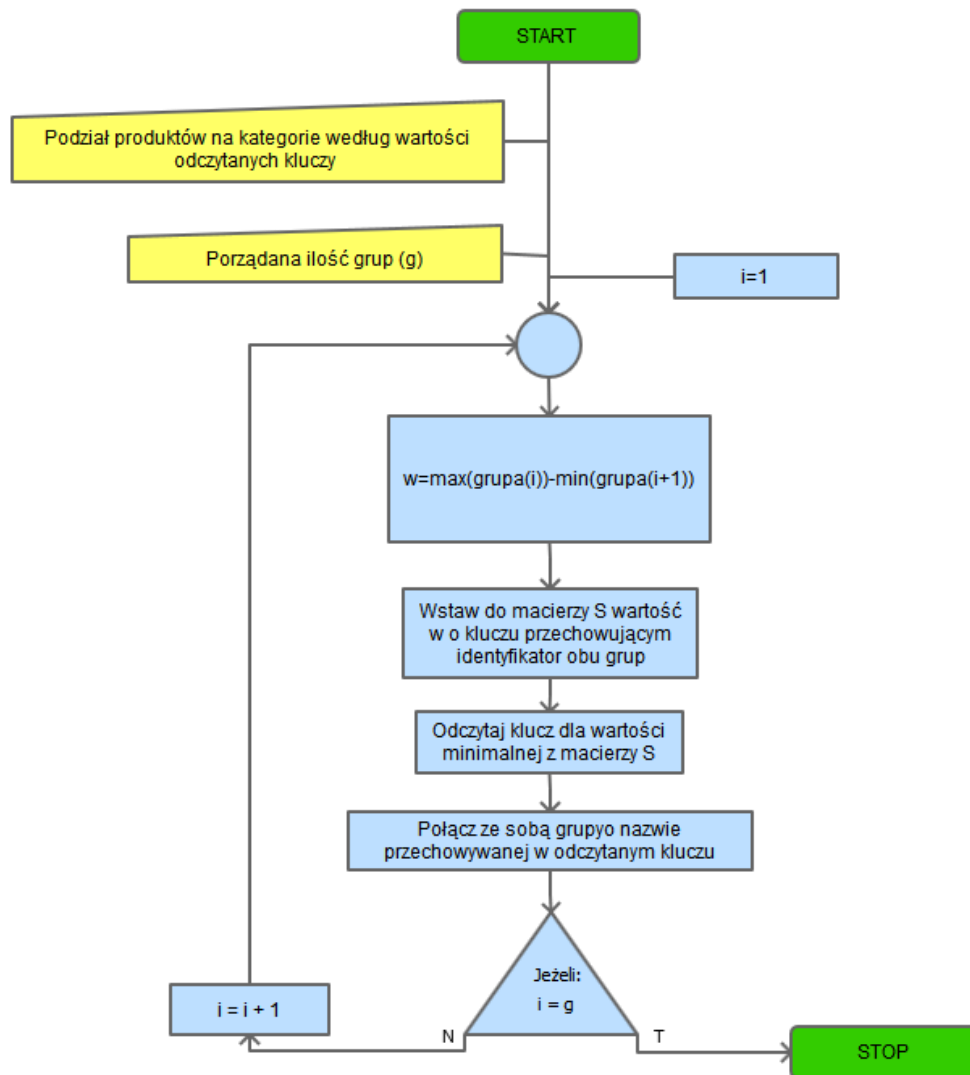
W wyniku działania algorytmu podziału produktów według największych różnic wartości (rysunek 2), dla zakładanej liczby trzech grup uzyskano wynik w postaci podziału na 6 grup. Kolejnym krokiem było połączenie tych grup w taki sposób, aby zachowane było możliwie największe podobieństwo wartości pomiędzy łączonymi grupami. Algorytm łączący grupy wykorzystuje iterację, w której za każdym razem łączone są ze sobą te grupy których wartości najmniej różnią się od siebie. W celu określenia rozbieżności wartości posłużono się równaniem:

$$w = \max(\text{grupa}(i)) - \min(\text{grupa}(i + 1)) \quad (1)$$

gdzie:

- w – współczynnik określający rozbieżność wartości w grupie,
- $grupa$ – będąca zbiorem wszystkich wartości w grupie
- i – zmienna iteracyjna określająca aktualną grupę.

Sposób działania algorytmu łączącego grupy przedstawiono na rysunku 3.



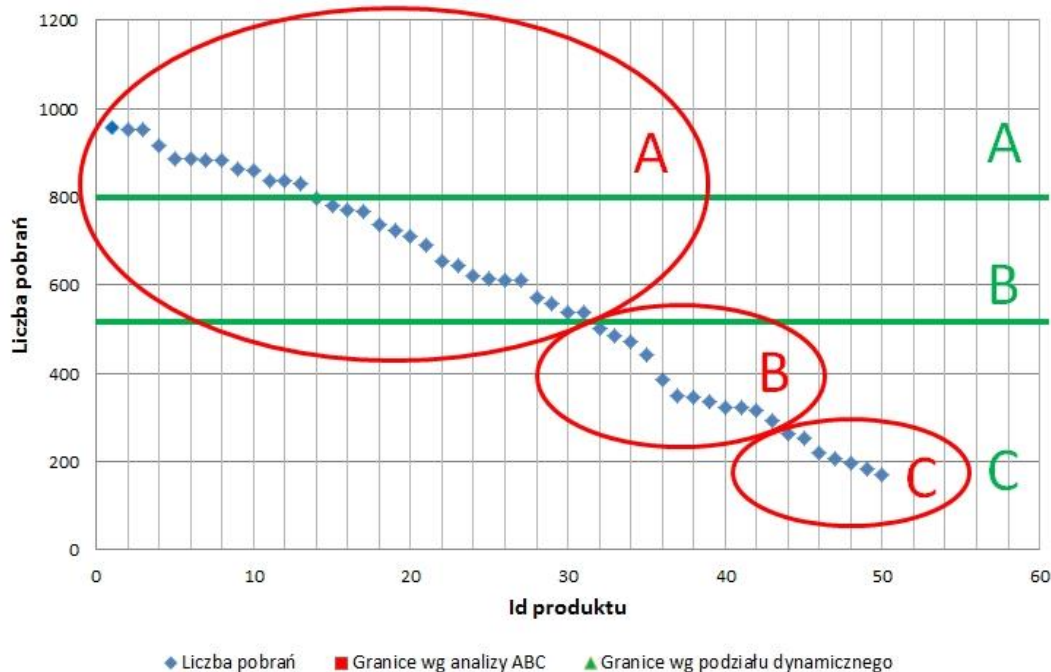
Rys. 3. Sposób działania algorytmu łączącego grupy produktów za pomocą iteracji

Efektom działania algorytmu przedstawionego na rysunku 3 jest połączenie grup do założonej początkowo liczby. Zastosowanie drugiego algorytmu pozwala uniknąć błędów podziału na grupy o bardzo dużej rozbieżności pomiędzy wynikami. W tabeli 1 przedstawiono wyniki symulacji podziału 50 produktów na kategorie i 100 symulacji rozmieszczenia produktów.

Tab. 1. Parametry wykonanej analizy ABC oraz podziału dynamicznego

Liczba produktów w grupie						Suma czasu kompletacji [s]			Wskaźnik V_e	
Analiza ABC			Podział dynamiczny			Magazyn idealny	ABC	Podział dynamiczny	ABC	Podział dynamiczny
A	B	C	A	B	C					
31	12	7	13	18	19	410981,16	43255376,52	42233723,28	0,94063	0,96338

Na rys. 4 zilustrowano wynik działania prezentowanej metody w połączeniu z klasycznym podziałem według analizy ABC.



Rys. 4. Podział na kategorie według analizy ABC oraz algorytmu dynamicznego podziału na grupy

Zastosowanie obu algorytmów gwarantuje podział na grupy z uwzględnieniem dwóch kryteriów podziału, tj. różnicy pomiędzy sąsiednimi punktami oraz zbieżności wartości kryterialnych wewnątrz grupy.

2 ROZMIESZCZENIE PRODUKTÓW W MAGAZYNIE

Planowanie rozmieszczenia produktów w oparciu o klasy polega na wydzieleniu w strefie składowania podstref przewidzianych do przechowywania produktów danej klasy. Strefy te są wydzielane w taki sposób, aby liczba regałów przeznaczonych do składowania produktów danej kategorii odpowiadała zapotrzebowaniu na składowane produkty danej klasy. Jest to warunek podstawowy. Ponadto istotne jest, aby strefa została tak wydzielona, aby czas dostępu do każdego regału w strefie A był krótszy bądź równy najkrótszemu czasowi dostępu do regału w strefie B, itd. Można to przedstawić za pomocą nierówności:

$$\bigwedge_{r \in n} t_d \leq \bigwedge_{r \in n+1} t_d \quad (2)$$

gdzie:

- r – regał,
- n – kategoria składowania towarów,
- t_d – czas dostępu do regału [s].

Działając w opisany sposób, w celu wyznaczenia podstrefy przeznaczonej do przechowywania produktów danej kategorii obliczono czas dostępu ze strefy pakowania do każdego regału osobno. Następnie utworzono macierz przechowującą współrzędne regału i czas dostępu do niego, kolejno uszeregowano współrzędne rosnąco według czasu dostępu. Następnym krokiem było wybranie tych najniższych wartości, które zapewnią odpowiednią liczbę regałów do przechowywania towarów klasy A, itd. W oparciu o tak przypisane regały do kategorii produktów możliwe jest umieszczenie towarów w odpowiednim miejscu.

Rozmieszczenie produktów na regałach wewnątrz grupy najczęściej opiera się o zasadę najbliższego wolnego miejsca względem strefy przyjęć – produkty nie mają zatem stałego miejsca przechowywania. Jest to podstawowa różnica pomiędzy systemem składowania w oparciu o grupy, a systemem stałych miejsc składowania. Produkty danego typu mogą zmieniać swoje położenie wraz z upływem czasu, co jest spowodowane naturalnymi procesami wydań i przyjęć towaru.



Rys. 5. Przykład rozmieszczenia produktów w magazynie w oparciu o dynamiczny podział na grupy

Na rysunku 5 przedstawiono strukturę magazynu z podziałem produktów na pięć kategorii. W zakolorowanych polach oznaczających regały podano dwie wartości. Pierwsza z nich oznacza identyfikator produktu, natomiast druga w nawiasach prostokątnych oznacza czas dostępu do regału ze strefy pakowania.

3 METODA WERYFIKACJI EFEKTYWNOŚCI

Przyjmując zasadę, że produkty danego typu mogą zmieniać swoje położenie w magazynie w obrębie jednej grupy to w celu weryfikacji efektywności metody podziału na kategorie konieczne jest sprawdzenie różnych wariantów rozmieszczenia produktów wewnątrz ustalonych grup.

Jedną z spośród metod weryfikacji efektywności rozmieszczenia produktów jest metoda obliczenia łącznego czasu pobrań produktów dla całego magazynu i podzielenia go przez najkrótszy możliwy czas kompletacji produktów (V_e).

Metoda ta bazuje na całkowitej ilości pobrań produktu (popularności) w zakładanym okresie czasu oraz na czasie dostępu do regałów. Zakłada się również, że każdy proces pobrania produktu rozpoczyna się i kończy w strefie pakowania. Uwzględnia to równanie:

$$t_{tp} = \sum_{i=1}^a (p(a) \cdot t_p(a)) \quad (3)$$

gdzie:

t_{tp} – najkrótszy łączny czas pobrania wszystkich produktów z magazynu,

a – liczba produktów w asortymencie,

$p(a)$ – popularność produktu,

$t_p(a)$ – czas przemieszczenia się po magazynie w celu pobrania produktu.

Jako najkrótszy możliwy czas kompletacji przyjmuje się sumę kolejnych iloczynów krótszego czasu dojścia do produktu i największej popularności produktu:

$$t_{min} = \sum_{i=1}^a (P[i] \cdot T[i]) \quad (4)$$

gdzie:

t_{min} – najkrótszy łączny czas pobrania wszystkich produktów z magazynu,

a – liczba produktów w asortymencie,

$P[i]$ – macierz popularności produktu uporządkowana malejąco,

$T[i]$ – uporządkowana rosnąco macierz czasów przemieszczenia się po magazynie w celu pobrania produktu.

Obliczone wartości t_t oraz t_{min} należy wstawić do wzoru:

$$V_e = \frac{t_{tp}}{t_{min}} \quad (5)$$

Obliczony wskaźnik V_e określa efektywność metody – im jego wartość jest większa tym metoda jest lepsza. Maksymalna wartość wskaźnika V_e wynosi 1 i w praktyce nie jest możliwa do osiągnięcia.

4 WERYFIKACJA EFEKTYWNOŚCI PREZENTOWANEJ METODY

Weryfikacja przedstawianej metody została wykonana w sposób wyżej opisany. Przeprowadzono dwie zasadnicze serie symulacji dla 200 i 500 produktów. W każdej z tych serii wykonano 10 symulacji podziału i 100 symulacji rozmieszczenia produktów w magazynie dla każdego z wyników podziału. Zestawienie wyników symulacji podziału na grupy oraz analizy efektywności przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki symulacji dla analizy ABC oraz podziału dynamicznego

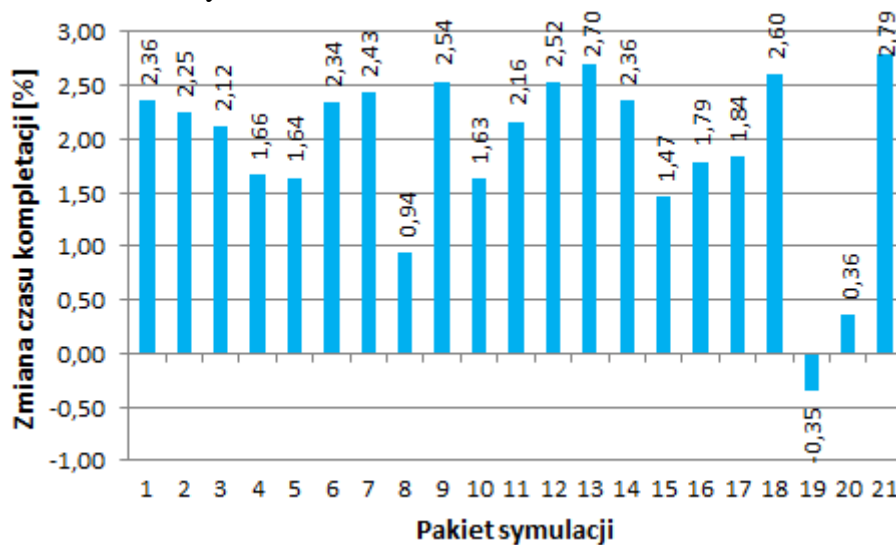
Liczba produktów	Liczba produktów w grupie						Suma czasu kompletacji [min]			Wskaźnik V_e		Zmiana [%]
	Analiza ABC			Podział dynamiczny			Magazyn idealny	Analiza ABC	Podział dynamiczny	Analiza ABC	Podział dynamiczny	
	A	B	C	A	B	C						
200	118	47	35	27	86	87	49590,4	5223363,8	5105698,7	0,94940	0,97128	2,25
200	119	47	34	76	79	45	47801,4	5043519,8	4936841,9	0,94778	0,96826	2,12
200	121	47	32	99	57	44	46121,0	4888500,9	4807174,2	0,94346	0,95942	1,66
200	119	49	32	67	28	105	45975,2	4912073,9	4831608,5	0,93596	0,95155	1,64
200	120	49	31	32	63	105	45213,8	4830128,0	4717025,6	0,93608	0,95852	2,34
200	119	46	35	81	73	46	46575,1	4950014,1	4829756,8	0,94091	0,96434	2,43
200	119	48	33	44	28	128	43868,8	4716614,3	4672223,8	0,93009	0,93893	0,94
200	119	47	34	55	70	75	48547,8	5141317,6	5010896,3	0,94427	0,96884	2,54
200	122	46	32	99	45	56	48728,1	5150442,3	5066407,1	0,94610	0,96179	1,63
200	121	46	33	77	48	75	47356,1	5018141,0	4909655,3	0,94370	0,96455	2,16
500	307	117	76	173	204	123	194863,1	20586596,4	20067360,3	0,94655	0,97105	2,52
500	302	120	78	191	152	157	186163,5	19711885,6	19180609,1	0,94442	0,97058	2,70
500	301	118	81	122	164	214	187460,9	19846986,6	19378594,5	0,94453	0,96736	2,36
500	300	115	85	156	125	219	187831,1	19787967,4	19497970,1	0,94922	0,96334	1,47
500	303	115	82	243	148	109	183252,3	19436785,5	19089041,5	0,94281	0,95999	1,79
500	299	121	80	110	127	263	176615,7	18787765,7	18442813,8	0,94006	0,95764	1,84
500	305	116	79	96	231	173	183294,1	19461743,9	18955781,3	0,94182	0,96696	2,60
500	300	123	77	129	49	322	177203,4	18856417,2	18921925,1	0,93975	0,93650	-0,35
500	302	118	80	112	86	302	180941,0	19215686,5	19147388,3	0,94163	0,94499	0,36
500	298	122	80	193	134	173	174227,3	18570928,6	18052458,0	0,93817	0,96512	2,79

W symulacji rozmieszczenia produktów zastosowano następujący układ:

- w 10 rzędach po 20 regałów w każdym z nich, dla 200 produktów,
- w 20 rzędach po 25 regałów w każdym z nich, dla 500 produktów.

Kolorem zielonym w tabeli wyróżniono te wartości współczynnika V_e dla którego metoda dynamicznego podziału dawała lepsze wyniki niż dla rozmieszczenia produktów w oparciu o klasyczną analizę ABC.

Porównanie wyników weryfikacji efektywności dla podziału dynamicznego względem klasycznej analizy ABC przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wyniki weryfikacji efektywności dynamicznego podziału na grupy

Dokonując analizy otrzymanych wyników, stwierdzono, że przedstawiona metoda daje lepszy wynik od klasycznej analizy ABC średnio o 1,91% co przekłada się bezpośrednio na skrócenie czasu kompletacji produktów.

WNIOSKI

W niniejszym artykule przedstawiono modyfikację klasycznej analizy ABC pozwalającą na dynamiczne – indywidualne wyznaczanie granic podziału na grupy uwzględniające podobieństwo analizowanej cechy. W badaniach wykonano 1000 symulacji podziału na trzy grupy docelowe dla 200 i 500 produktów. Analiza wykazała, że przedstawiony algorytm pozwala na poprawę efektywności średnio o 1,91 % przy czym z pośród przeanalizowanych wariantów wartości te mieszczą się w zakresie od -0,35 % do 2,79%. Metoda ta daje zatem także niekorzystne wyniki, jednak jest to rzadkość w stosunku do pozostałych rozwiązań. Tego rodzaju wyniki mogą być więc zaakceptowane. Można więc uznać, że zaproponowany algorytm podziału produktów na grupy pozwala zreorganizować pracę magazynu i uczynić go bardziej efektywnym, niż w przypadku rozmieszczenia produktów w oparciu o wyniki analizy ABC.

Streszczenie

Celem badań wykonanych w ramach niniejszej publikacji było opracowanie nowej metody podziału produktów na klasy w oparciu o dynamicznie wyznaczane granice. W badaniach wykorzystano metody generowania losowych danych określających parametry produktów oraz metody symulacyjne do podziału produktów na klasy, rozmieszczenia ich w magazynie oraz określenia efektywności względem klasycznej analizy ABC. Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że zaproponowana metoda pozwala uzyskać wyniki średnio o 1,91% lepsze, co przekłada się na większą efektywność funkcjonowania całego magazynu.

Increasing the efficiency of the warehouse as a result of the dynamic division of products to group

Abstract

Celem badań wykonanych w ramach niniejszej publikacji było opracowanie nowej metody podziału produktów na klasy w oparciu o dynamicznie wyznaczane granice. In the research was used method of generating random data defining the products' parameters and simulation methods used to divide into a groups, products layout planning in stock and to determine the relative effectiveness of proposed method compared with classical ABC analysis. Results of this study show that the proposed method can achieve results

by 1.91% better, which affects the efficiency of the entire warehouse.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrzejczyk P., Zając J., *Zapasy i magazynowanie – przykłady i ćwiczenia, wyd. II*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2012
2. Chan F. T., Chan H., *Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage*. Expert Systems with Applications no. 38, 2011.
3. Ching-Wu Chu, Gin-Shuh Liang, Chien-Tseng Liao, *Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification*. Computers & Industrial Engineering no 55, 2008
4. Guvenir, H. A., Erel, E., *Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm*. European Journal of Operational Research, 105 (1), 1998
5. Hadi-Vencheh A., Mohamadghasemi A., *A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification*. Expert Systems with Applications no. 38, 2011
6. Ibrahim Al Kattan, Ahmed Bin Adi, *Multi-criteria decision making on total inventory cost and technical readiness*. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2008
7. Krawczyk, S., *Logistyka, teoria i praktyka*. Difin, Warszawa 2011
8. Krzyżaniak S., Cyplik P., *Zapasy i magazynowanie Tom I*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2007
9. Lorenc A., Kaczor G., *Zwiększenie efektywności procesu kompletacji zamówień w wyniku optymalizacji rozmieszczenia produktów w magazynie z uwzględnieniem ich częstotliwości pobrań oraz gramatury*. Logistyka nr 5/2012.
10. Lorenc, A., *Metody klasyfikacji i rozmieszczania produktów w magazynie – przegląd praktycznych rozwiązań*. Logistyka 3/2014.
11. Lorenc, A., *Planowanie rozmieszczania produktów w magazynie – najnowsze rozwiązania i trendy rozwojowe*. Logistyka 3/2014.
12. Markusik, S., *Infrastruktura logistyczna w transporcie Tom II: Infrastruktura punktowa – magazyny, centra logistyczne i dystrybucji, terminale kontenerowe*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010
13. Murphy jr P. R., F. Wood D., *Nowoczesna logistyka – wydanie X*. Helion, Gliwice 2011
14. Niemczyk, A., *Zapasy i magazynowanie Tom II: Magazynowanie*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2007
15. Partovi F. Y., Anandarajan M., *Classifying inventory using artificial neural network approach*. Computers and Industrial Engineering no. 41, 2002
16. Szkoda M., *Realizacja procesów logistyki dystrybucji z zastosowaniem systemu SAP ERP*. Logistyka 5/2013
17. Quansheng Lei, Jian Chen, Qing Zhou, *Multiple Criteria Inventory Classification Based on Principal Components Analysis and Neural Network*. Lecture Notes in Computer Science, 2005
18. Więcek, P., Grzesica D., *Wykorzystanie modeli autoregresji i średniej ruchomej w prognozowaniu wielkości popytu niezależnego*. Logistyka 4/2014
19. Yu, M.-C., *Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques*. Expert Systems with Applications no. 38, 2011



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

