

**Augustyn LORENC, Maciej SZKODA**

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

E-mail: alorenc@pk.edu.pl, maciej.szroda@mech.pk.edu.pl

**Elżbieta WYRAZ**

Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

E-mail: elzbieta.wyraz@mech.pk.edu.pl

## **Metody klasyfikacji produktów w magazynie**

### **1 Wstęp**

Magazyn jako element łańcucha dostaw jest ważnym elementem działalności w dystrybucji towarów, surowców i ich produkcji. Najważniejszymi czynnikami warunkującymi konkurencyjność magazynu są czas i pieniądze [1, 2, 3]. Przypadkowo bądź źle dobrany proces składowania wpływa na trzy rodzaje kosztów: ruchu, oczekiwania i transportu. Przykładowo, gdy produkty o większym popycie będą znajdowały się w najodleglejszej części magazynu, a te najrzadziej potrzebne najbliżej strefy kompletacji i pakowania [4, 5], spowoduje to wydłużenie czasu, drogi i kosztów transportu wewnętrznego, a także zwiększenie liczby potrzebnych pracowników i urządzeń transportowych [6, 7].

Z przeprowadzonych analiz wynika, że przemieszczanie towarów obejmuje połowę całkowitego czasu kompletacji zamówienia [8, 9]. Jego ostateczna długość zależy między innymi od stopnia zautomatyzowania magazynu, zastosowanego systemu składowania oraz sposobu kompletacji zamówienia.

### **2 Metody klasyfikacji produktów**

Obecnie w celu zaplanowania rozmieszczenia produktów w magazynie wykorzystywane są metody klasyfikacji produktów. Polegają one na przypisaniu produktów do grup o różnej randze, a następnie rozlokowaniu ich w magazynie w taki sposób, aby zapewnić jak najkrótszy czas dostępu do pozycji, które mają największe znaczenie [10, 11]. Do klasycznych metod klasyfikacji produktów można zaliczyć analizy: ABC, XYZ, EIQ oraz Index COI [12].

Index COI (Cube-per-Order Index) pozwala w najprostszy sposób dokonać klasyfikacji produktów [13]. Metoda ta bazuje na analizie dwukryterialnej, w której jako kryteria przyjmuje się wielkość produktu i popyt.

Analiza ABC jest najczęściej stosowaną analizą pozwalającą dokonać klasyfikacji produktów. Klasyczna analiza ABC pozwala dokonać podziału na trzy grupy o procentowym udziale wynoszącym: A – 80%, B – 15%, C – 5%.

Analiza XYZ jest analizą pozwalającą uzupełnić analizę ABC o dodatkowe kryterium, dokonując klasyfikacji wewnątrz już wydzielonych grup.

### 3 Podstawy analizy wariantowej

W celu oceny efektywności metod klasyfikacji produktów wykonano symulacje komputerowe dla analizy: ABC, ABC w połączeniu z Indexem COI, ABC w połączeniu z analizą XYZ, samego Indexu COI oraz metody wolnych miejsc składowania produktów. Pozwoliło to na określenie, które z kryteriów przyjmowanych do klasyfikacji produktów w magazynie ma największy wpływ na skrócenie czasu kompletacji.

Symulację przeprowadzono dla wariantu zakładającego, że nie ma konieczności przekładania produktów na wózek kompletacyjny w trakcie całego procesu kompletacji.

Symulacje przeprowadzono w oparciu o wygenerowanie 1000 list kompletacji produktów o następujących parametrach:

- Waga: od 0.1 do 6 kg,
- Objętość: od 0.1 do 0.4 m<sup>3</sup>,
- Liczba typów produktów na liście kompletacji: od 3 do 20 szt.,
- Liczba sztuk danego produktu: od 1 do 60 szt.

W celu oceny efektywności procesu kompletacji wynikającego z zastosowanej metody rozmieszczenia produktów w magazynie należy posłużyć się modelem pozwalającym z dużą dokładnością odzwierciedlić procesy zachodzące w rzeczywistym magazynie. W związku z tym posłużono się metodą odzwierciedlającą zamówienia klientów podlegające procesowi kompletacji w magazynach, tj. wykorzystującą losowe listy kompletacji produktów. W oparciu o wygenerowane listy kompletacji dokonano wyznaczenia trasy kompletacji produktów, przyjmując metodę wykorzystywaną przez większość średniej wielkości przedsiębiorstw posiadających własne magazyny, tj. wyznaczanie trasy kompletacji w oparciu o najbliższy punkt względem bieżącej lokalizacji magazyniera.

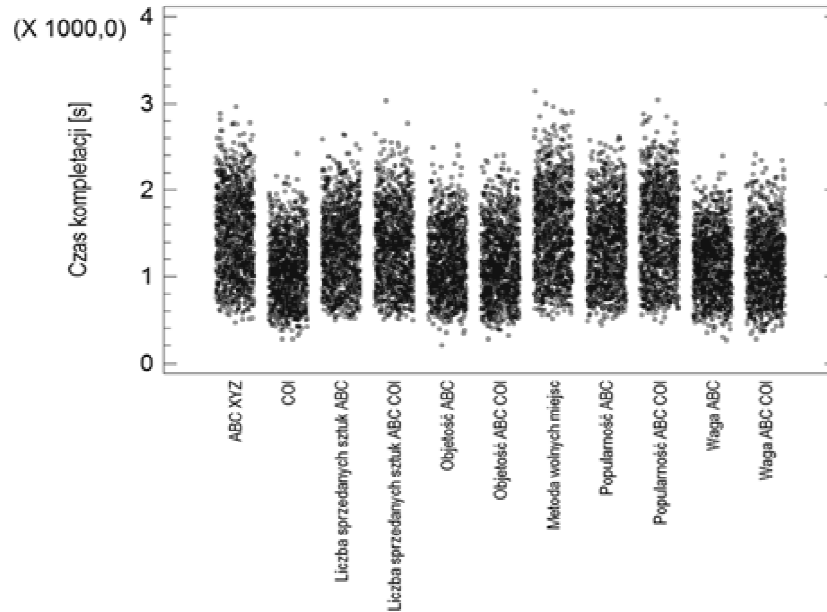
Do przeprowadzenia symulacji zaimplementowano autorskie algorytmy, stanowiące podstawowe oprogramowanie napisane w języku PHP oraz wykorzystujące relacyjne bazy danych MySQL [13]. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest wykorzystanie dużych zbiorów danych, czytelne prezentowanie wyników oraz łatwość modyfikacji parametrów wejściowych. Ponadto umożliwia ono integrację z oprogramowaniem Matlab.

### 4 Analiza wariantowa

Wariant I został wykonany dla dużego magazynu, tj. posiadającego 200 miejsc na jednostki paletowe w każdym z 14 rzędów składowania produktów i 8 poziomach składowania produktów. W przeprowadzonej symulacji wykorzystano 1000 różnych produktów, dla których przygotowano listy kompletacji zgodnie z ustalonymi założeniami. Wynik symulacji czasu kompletacji produktów w formie graficznej przedstawiono na rysunku 1.

Rysunek 1 pozwala zauważyć, że metody, takie jak analiza ABC i XYZ, metoda wolnych miejsc składowania produktów, analiza ABC według kryterium popularności i liczby sprzedanych sztuk oraz analizy ABC w połączeniu z Indexem COI według kryteriów popularności i wagi, dają wyniki o największym zakresie i odchyleniu

standardowym. Jest to także zauważalne na podstawie statystyki opisowej przedstawionej w tabeli 1. Kolorem szarym zaznaczono te wartości, które przewyższają średnią.



Rys. 1. Czas kompletacji produktów w zależności od zastosowanej metody klasyfikacji produktów

Fig. 1. Product completion time depending on the applied method of product classification

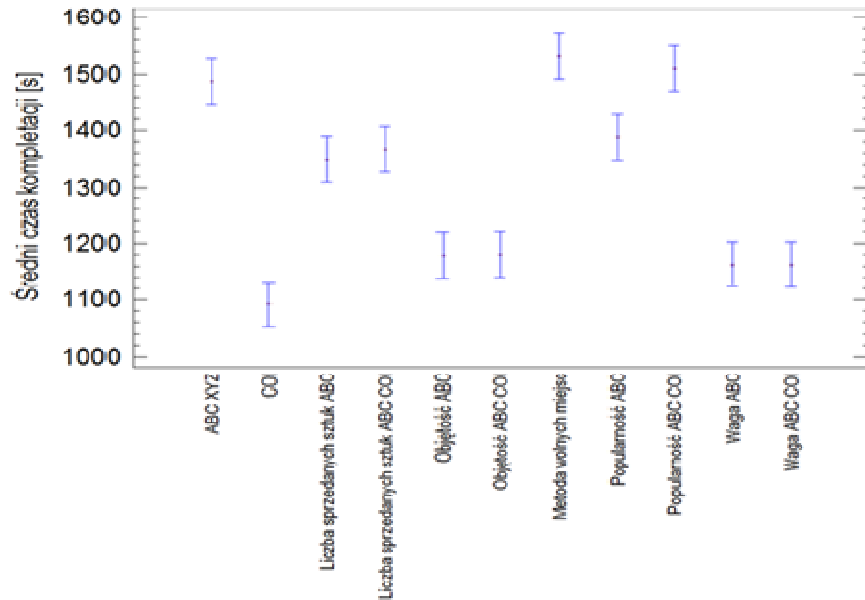
Dla przeprowadzonych analiz wykonano analizę wariancji (ANOVA) w celu przetestowania istotności różnic pomiędzy wartościami średnimi. Analiza ANOVA dokonuje rozkładu wariancji danych na dwa składniki: składnik pomiędzy grupami i w obrębie grupy. Wskaźnik testu F, który w tym przypadku wynosi 148.23, jest stosunkiem oszacowania pomiędzy grupami dla oszacowania wewnątrz grupy. Ponieważ wartość współczynnika p dla testu F jest niższa niż 0.05, to z 95% poziomem ufności istnieje statystycznie znacząca różnica między średnimi z przeprowadzonych analiz.

W celu określenia, które grupy statystycznie różnią się od siebie, wykonano porównania wielokrotne, tzw. test *post-hoc*. Do wykonania porównań wielokrotnych stosowane są testy Scheffego, T Tukeya (HSD), Fishera (LSD), Bonferroniego, Newman-Keulsa oraz test Duncana. W analizowanym przypadku wykorzystano test Scheffego, który jest uważany za jeden z najbardziej konserwatywnych - "ostrożnych" - testów *post-hoc* [5]. Wynik testu przedstawiono na rysunku 2.

Tab. 1. Statystyka opisowa dla przeprowadzonych analiz

Tab. 1. Descriptive statistics of the analyses

	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana	Minimum	Maximum	Zakres
Analiza ABC oraz XYZ	1488,30	490,83	1479,60	470,20	2961,80	2491,60
Index COI	1092,06	367,62	1072,20	269,80	2422,80	2153,00
Analiza ABC wg liczby sprzedanych sztuk	1348,97	432,03	1344,00	491,20	2646,20	2155,00
Analiza ABC wg liczby sprzedanych sztuk oraz Index COI	1367,12	449,19	1357,40	499,00	3028,60	2529,60
Analiza ABC wg objętości	1179,28	390,51	1141,60	205,20	2512,00	2306,80
Analiza ABC wg objętości oraz Index COI	1180,41	412,38	1139,00	268,00	2401,20	2133,20
Metoda wolnych miejsc składowania	1532,15	510,02	1518,20	508,40	3141,80	2633,40
Analiza ABC wg popularności	1387,24	453,13	1392,80	444,20	2610,60	2166,40
Analiza ABC wg popularności oraz Index COI	1509,66	507,12	1508,00	473,40	3042,60	2569,20
Analiza ABC wg wagi	1162,95	367,17	1155,00	262,00	2399,20	2137,20
Analiza ABC wg wagi oraz Index COI	1162,29	394,50	1154,60	275,20	2409,80	2134,60
Średnia	1310,04	462,70	1271,80	205,20	3141,80	2936,60



Rys. 2. Wynik porównania średnich z interwałem Scheffego przy 95% przedziale ufności  
 Fig. 2. The result of comparison of averages with the Scheffe's interval with 95% of confidence level

Ostatnią częścią analizy było wykonanie porównania median za pomocą testu Friedmana. Hipoteza zerowa zakładała, że wszystkie próby pochodzą z populacji o tej samej medianie [14]. Wynik testu wynosił 3727.91, przy parametrze  $p$  równym 0.0, co pozwala stwierdzić, że grupy znacząco różnią się od siebie.

Dokonując porównania wartości średnich i median, stwierdzono, że najlepszy rezultat uzyskano po zastosowaniu rozmieszczenia produktów w magazynie na podstawie Indexu COI (średnia: 1092.0, mediana: 1072.2). Pozostałe metody pozwalają na osiągnięcie następujących wyników: analiza ABC według kryterium wagi (średnia: 1162.9; mediana: 1155.0), analiza ABC według kryterium wagi połączona z Indexem COI (średnia: 1162.3; mediana: 1154.6), analiza ABC według kryterium objętości (średnia: 1179.3; mediana: 1141.6), analiza ABC według kryterium objętości połączona z Indexem COI (średnia: 1180.4; mediana: 1139.0). Wykazują one statystyczne podobieństwo dając wyniki nieznacznie gorsze.

Analiza ABC w połączeniu z XYZ, analiza ABC w połączeniu z Indexem COI według kryterium popularności oraz metoda wolnych miejsc składowania dają najgorsze wyniki, cechujące się ich dużą rozbieżnością oraz wysoką średnią i medianą. Zatem dla dużych magazynów istotne jest rozmieszczenie produktów na podstawie analizy ABC według kryterium wagi, objętości i Indexu COI. Metoda ta pozwala na uzyskanie lepszych wyników niż w przypadku wolnych miejsc składowania średnio o 28.72%.

## 5 Wnioski

Na podstawie symulacji stwierdzono, że analizy przeprowadzone w oparciu o właściwości produktu, takie jak waga i objętość, wykazują wyższą efektywność niż metody wolnych miejsc składowania lub klasycznych analiz działających w oparciu o kryterium liczby sprzedanych sztuk lub popularności produktów. Potwierdzono także, że rozmieszczenie produktów w magazynie z uwzględnieniem ich objętości i wagi pozwala usprawnić kompletację wielu zamówień jednocześnie.

### Literatura

1. Rushton A., Croucher P., Baker P.: *The handbook of logistics and distribution management, Understanding the supply chain*, London, Kogan Page, 2014
2. Group Aberdeen: *Warehouse operations: Increase responsiveness through automation*, Boston, Aberdeen Group, 2009
3. Stuart E.: *Excellence in warehouse management - how to minimise costs and maximise value*, Chichester. John Wiley & Sons Ltd, 2005
4. Coyle J.J., Bardi E.J., Langley Jr. C.J.: *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010
5. Iris F.A., Roodbergen Vis Kees Jan: Layout and control policies for cross docking operations, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 61, 2011
6. Mason R., Evans B.: *The Lean Supply Chain. Managing the Challenge at Tesco*, London, Kogan Page, 2015
7. Richards G.: *Warehouse management - 2nd edition, a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*, London, Kogan Page, 2014
8. Petersen G., Aase G.: A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking, *International Journal of Production Economics*, vol. 92, 2004
9. Roodbergen K.J., de Koster R.: Routing order pickers in a warehouse with middle aisle. *European Journal of Operational Research*, vol. 133, 2001
10. Chan F.T.S., Chan H.K.: 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*, 2011
11. de Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K. Jan: Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research*, vol. 182, 2007
12. Li M.L.: Goods classification based on distribution center environmental Factors, *International Journal of Production Economics*, vol. 119, 2009
13. Lorenc A.: Konceptcja wykorzystania sieci neuronowych do klasyfikacji produktów i ich rozmieszczenia w magazynie, *Wybrane zagadnienia logistyki*, Tom II, red. J. Feliksa, M. Karkula, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013
14. StatSoft: Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL, strona: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>, Krakow 2006

## Streszczenie

Najważniejszymi czynnikami warunkującymi konkurencyjność magazynu są czas i pieniądze. W celu zwiększenia skuteczności rozmieszczenia produktów w magazynie stosuje się metody klasyfikacji produktów, takie jak analizy ABC, XYZ czy Index COI. W niniejszej pracy przeprowadzone zostały symulacje pozwalające oszacować efektywność wymienionych metod. Do obliczeń założono, że nie ma konieczności przekładania produktów na wózek kompletacyjnym w trakcie całego procesu kompletacji. W celu odzwierciedlenia procesów zachodzących w rzeczywistym magazynie posłużono się losowymi listami kompletacji.

**Słowa kluczowe:** analiza wariantowa, klasyfikacja produktów, kompletacja zlecenia

## **Classification methods of products used in storage management**

### Streszczenie

The most important factors determining the competitiveness of the warehouse are time and costs. Product classification methods such as ABC, XYZ, and CPI are used to increase the efficiency of product placement in a warehouse. In this work, simulations were carried out to evaluate the effectiveness of these methods. The calculations assume that it is not necessary to change products on the pick-up truck during the entire picking process. Random pick lists were used to reflect the actual process in the warehouse.

**Keywords:** variant analysis, product classification, order completion

