



## Grzegorz Tarczyński

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

# WYBÓR SPOSOBU SKŁADOWANIA TOWARÓW W AUTOMATYCZNYM MAGAZYNIE NIEWIELKICH JEDNOSTEK ŁADUNKOWYCH

**Streszczenie:** W artykule opisano zasady działania magazynów automatycznych typu *miniload* i porównano kilka koncepcji składowania towarów. Analizie poddany został wariant magazynu, w którym w jednej lokalizacji składowane mogą być dwie kuwety z towarami. Opisane w literaturze składowanie oparte na podziale na grupy towarów w oparciu o współczynnik rotacji (zgodnie z klasyfikacją ABC) może dla analizowanego wariantu powodować pewne trudności i w efekcie nie zawsze prowadzić do redukcji średniego czasu pobrania towaru. W pracy podano pewne modyfikacje tego rozwiązania. Wyniki opracowano z wykorzystaniem autorskiego narzędzia symulacyjnego.

**Słowa kluczowe:** kompletacja zamówień, symulacje, magazynowanie.

## Wprowadzenie

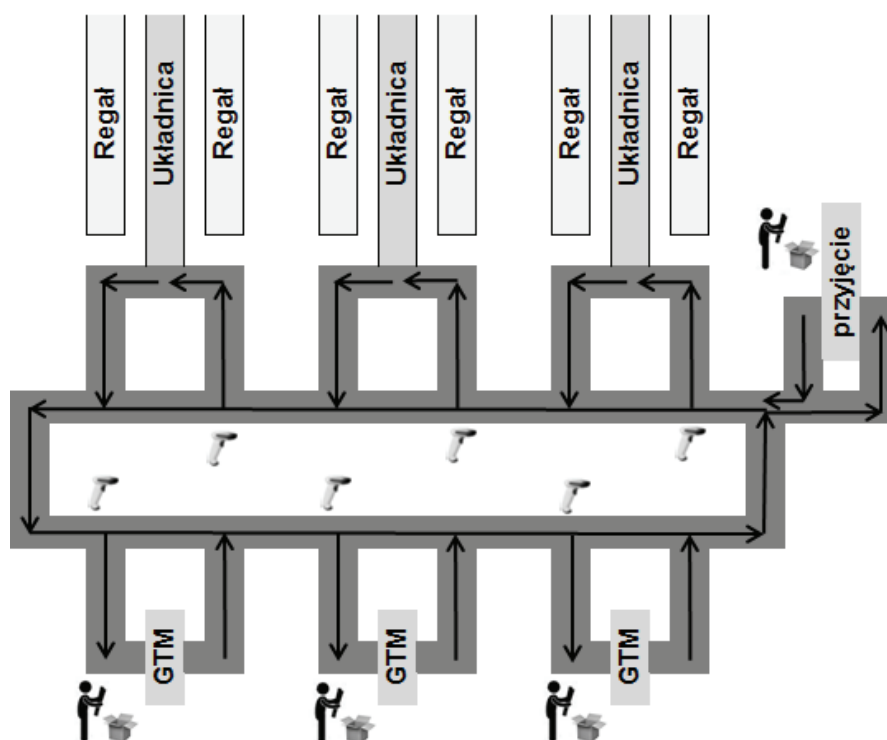
Magazynowanie towarów obejmuje procesy pobrania wyrobów, odłożenia ich na miejsca przechowywania, kompletację oraz ich zapakowanie i wysyłkę do klienta. Każda operacja generuje koszty, istnieje więc potrzeba ich optymalizacji. Według różnych badań naukowych najdroższy, bo powodujący aż 55% kosztów operacyjnych magazynu, jest proces kompletacji towarów [Bartholdi i Hackman, 2011]. Z tego powodu wiele firm koncentruje swoje wysiłki na optymalizacji tego właśnie procesu i (przynajmniej częściowo) zastępuje tradycyjne rozwiązania kompletacji ręcznej typu „człowiek do towaru” systemami automatycznymi, które pozwalają na znaczącą redukcję czasów, a więc i kosztów kompletacji. Do efektywnego przechowywania i szybkiej kompletacji towarów o małych gabary-

tach wykorzystać można automatyczne magazyny niewielkich jednostek ładunkowych (ang. *Miniload Automated Storage/Retrieval Systems (AS/RS)*). Celem artykułu jest porównanie czasów kompletacji zamówień dla różnych sposobów składowania towarów w magazynach AS/RS. Zbadany zostanie słabo opisany w literaturze przypadek, w którym w jednej lokalizacji przechowywane są dwie kuwety z towarami.

## 1. Automatyczne magazyny niewielkich jednostek ładunkowych

Magazyny automatyczne typu *miniload* składają się z kilku stanowisk GTM (ang. *Goods-To-Man*), strefy składowania towarów, stanowiska przyjęcia towarów i przenośnika taśmowego w kształcie pętli, zwanego z języka angielskiego *loop* (rys. 1). Towary na stanowisku przyjęcia wkładane są przez pracowników magazynowych do pojemników (kuwet), które opatrzone są kodami kreskowymi. Następnie kuwety umieszcza się na przenośniku taśmowym, który dzięki systemowi skanerów kodów kreskowych przemieszcza kuwetę do odpowiedniej alejki, w której składowane są towary, a następnie za pośrednictwem urządzenia służącego do automatycznego składowania i pobierania towarów (zwanego układnicą) na odpowiednie miejsce składowania w regale. Z kolei podczas odwrotnego procesu kompletacji kuwety transportowane są najpierw z regałów poprzez układnicę na przenośnik taśmowy, a następnie na właściwe stanowisko GTM, gdzie pracownik pobiera odpowiednią liczbę towarów, po czym za pośrednictwem przenośnika taśmowego i układnicy kuweta wraca na miejsce przechowywania (niekoniecznie to samo, z którego została pobrana).

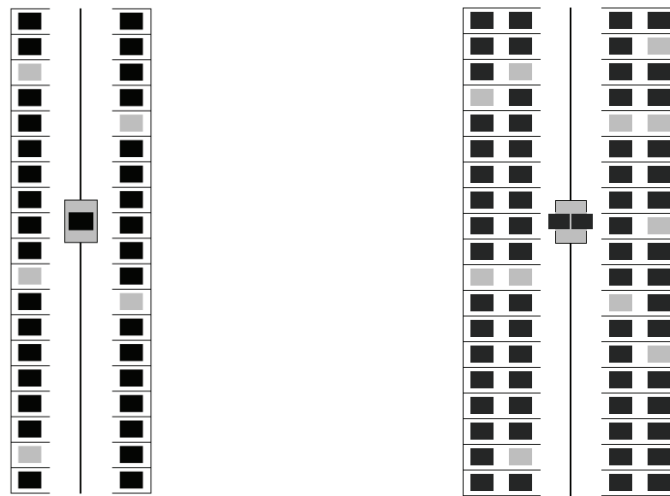
W literaturze analiza automatycznych magazynów niewielkich jednostek ładunkowych ograniczona jest do jednej układnicy i skupia się zazwyczaj na problemie optymalizacji czasu pobrania towarów przez układnicę. Zagadnienie to rozwiązać można poprzez optymalizację składowania towarów o różnych współczynnikach rotacji. Możliwe są dwie metody badania czasu pobrania towarów: analityczna, gdzie autorzy opracowują odpowiednie wzory matematyczne, np. [Bozer i White, 1984], [Bozer i White, 1990], [Bozer i White, 1996], [Hu i in., 2005], [Park, Foley, Frazelle, 2006], [Lerher i in., 2010]) i symulacyjna (np. [Güller i Hegmanns, 2014], [Andriansyah i in., 2008], [Andriansyah i in., 2011]). W innych pracach badania koncentrują się na optymalizacji samego procesu składowania towarów, dzięki czemu możliwa jest szybsza kompletacja [Atmaca i Ozturk, 2013].



**Rys. 1.** Automatyczny magazyn niewielkich jednostek ładunkowych

Źródło: Opracowanie własne.

W cytowanych pracach autorzy przyjęli najprostszy wariant organizacji pracy magazynu typu *miniload*: w regale na jednym polu przechowywana jest tylko jedna kuweta, którą jako jedyną w jednym cyklu może przewieźć układnica (rys. 2a). W praktyce powstają jednak systemy umożliwiające przechowywanie w jednej lokalizacji kilku kuwet, które mogą być jednocześnie transportowane. W artykule badania skoncentrują się na przypadku, w którym w jednej lokalizacji są miejsca na dwie kuwety, które mogą być przetransportowane za pośrednictwem układnicy w jednym cyklu (rys. 2b). Wariant taki jest trudniejszy do analizy, umożliwia jednak bardziej efektywne wykorzystanie powierzchni magazynowej, jak również szybszą realizację procesu kompletacji zamówień.



a) w jednej lokalizacji znajduje się jedna kuweta

b) w jednej lokalizacji znajdują się dwie kuwety

**Rys. 2.** Układnica i regały z kuwetami (rysunki przedstawiają jeden poziom składowania)

Źródło: Opracowanie własne.

## 2. Algorytm składowania i kompletacji towarów

W badaniach rozważania ograniczono do tylko jednej układnicy i przeanalizowano wpływ różnych sposobów ułożenia na regałach towarów szybko rotujących na średni czas pobrania kuwety przez układnicę i dostarczenia jej na przenośnik taśmowy. Podział na klasy przeprowadzony został zgodnie z regułą Pareto: przyjęto założenie, że 20% towarów przechowywanych w magazynie generuje 80% popytu (klasa A), 30% towarów generuje 15% popytu, a pozostałe 50% towarów należy do klasy C – łącznie stanowią zaledwie 5% całkowitego popytu na towary. Rozpatrzono cztery sposoby ułożenia towarów:

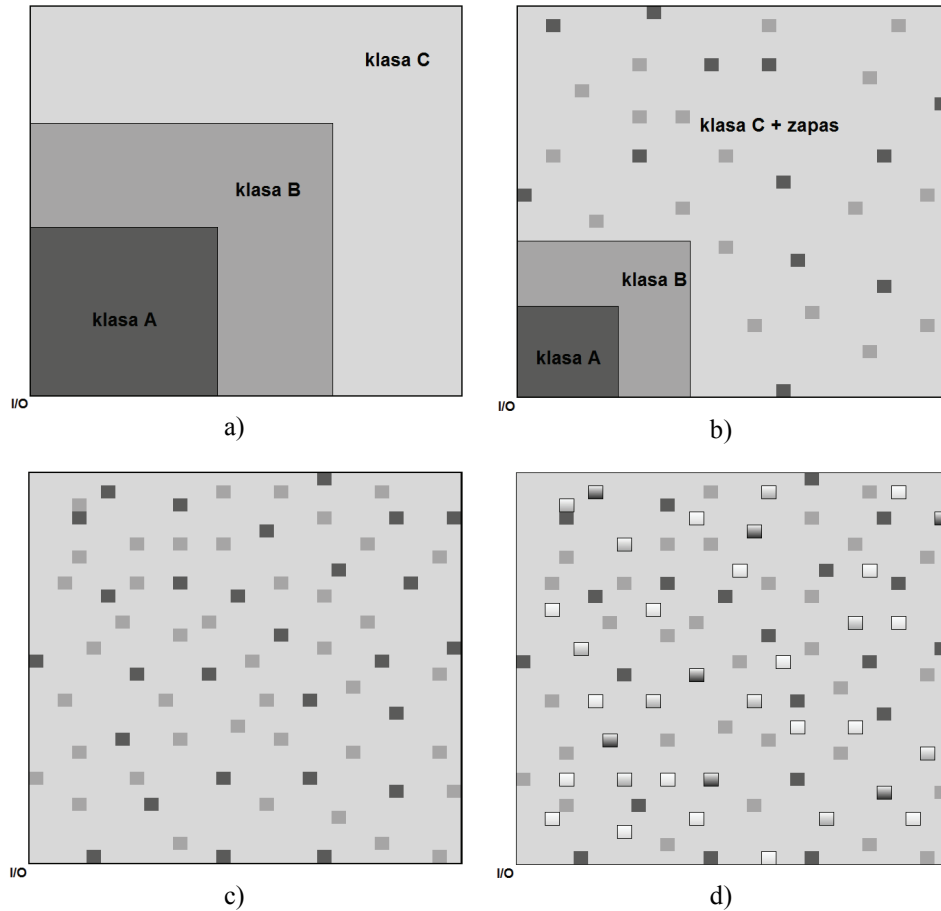
a) kuwety z towarami z klasy A znajdują się najbliżej punktu I/O (przenośnika taśmowego, na który są odstawiane przez układnicę). Część magazynu z towarami z klasy A nosi nazwę strefy A i ma kształt kwadratu (układnica równocześnie porusza się w dwóch kierunkach – w pionie i w poziomie, dlatego przy wyznaczaniu odległości lokalizacji od punktu I/O można skorzystać z metryki Czebyszewa, stąd też kwadratowy kształt strefy). Jeśli ten sam towar przechowywany jest w wielu kuwetach, to wszystkie znajdują się w strefie A magazynu, a układnica może pobrać dowolną kuwetę. Towary z klasy B składowane są w strefie B magazynu, która znajduje się z większej odległości od

- punktu I/O, a pozostałe towary (klasa C) umieszczane są na końcu regału. Układnica może pobrać dowolną kuwetę z potrzebnym towarem (rys. 3a),
- b) w strefie A i B, które znajdują się najbliżej punktu I/O przechowywane są tylko kuwety z towarami z klas A i B z minimalnym ilostanem (z tego powodu strefy te są mniejsze niż w poprzednim wariantcie). Podczas procesu kompletacji pobierane są tylko kuwety z minimalnym ilostanem. Jeśli zamówienie opiewa na większą ilość towaru, to pracownik najpierw opróżnia kuwetę z minimalnym ilostanem, a następnie dostarczana jest inna kuweta z tym towarem (ze strefy C), z której pobiera się brakujący towar. Po pobraniu towaru kuweta ta umieszczona zostaje w strefie odpowiadającej klasie towaru, który zawiera (rys. 3b),
  - c) regał nie jest podzielony na strefy – przydział kuwet do lokalizacji odbywa się w sposób losowy – niezależnie od tego, jak szybko przechowywane towary rotują. Układnica może pobrać dowolną kuwetę z potrzebnym towarem (rys. 3c),
  - d) regał nie jest podzielony na strefy – przydział kuwet do lokalizacji odbywa się w sposób losowy – niezależnie od tego, jak szybko przechowywane towary rotują. Układnica może pobrać tylko kuwety z minimalnym ilostanem (rys. 3d).

W przypadku gdy w jednej lokalizacji przechowywana jest jedna kuweta, a układnica może jednocześnie transportować też tylko jedną kuwetę, ustalenie algorytmu wyznaczania trasy układnicy i wyznaczenie dystansu pokonywanego przez układnicę i czasu kompletacji jest banalne. Dla rozpatrywanego wariantu (możliwość przechowywania dwóch kuwet w jednej lokalizacji i jednoczesnego transportu dwóch kuwet) sprawa nieco się komplikuje. Możliwe są następujące sytuacje:

- a) układnica pobiera dwie kuwety z jednej lokalizacji (towary z obu znajdują się na zamówieniu) – sytuacja idealna,
- b) układnica pobiera jedną kuwetę z pewnej lokalizacji (kuweta musi znajdować się po wewnętrznej stronie korytarza lub być jedyną kuwetą aktualnie przechowywaną w danej lokalizacji), a następnie pobiera drugą kuwetę z innej lokalizacji (ta kuweta również musi znajdować się po wewnętrznej stronie korytarza lub być jedyną kuwetą aktualnie przechowywaną w danej lokalizacji). Układnica z dwoma kuwetami przemieszcza się do punktu I/O,
- c) układnica pobiera jedną kuwetę z pewnej lokalizacji (kuweta musi znajdować się po wewnętrznej stronie korytarza lub być jedyną kuwetą aktualnie przechowywaną w danej lokalizacji) i tylko z tą kuwetą przemieszcza się do punktu I/O,

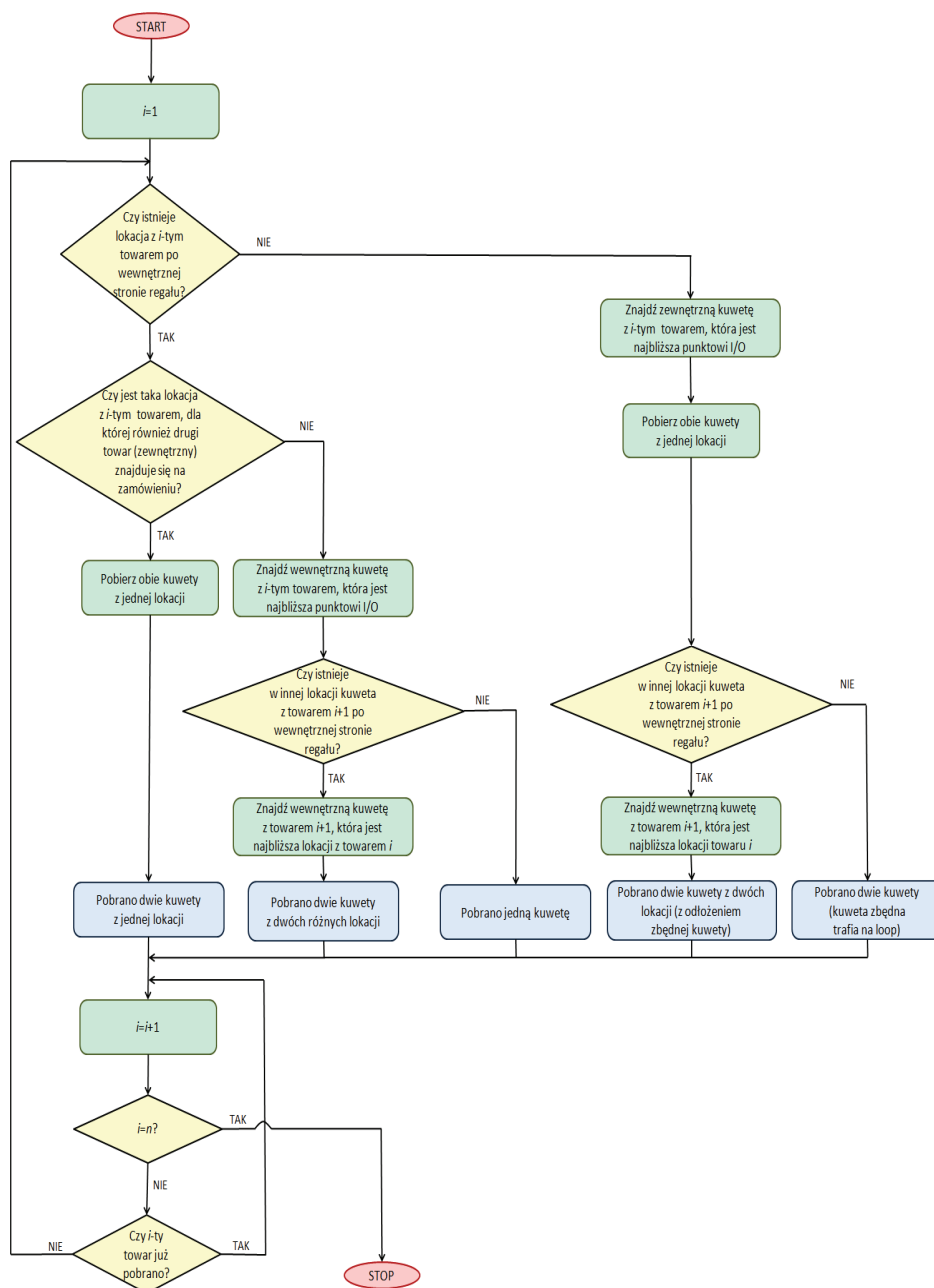
d) układnica pobiera dwie kuwety z pewnej lokalizacji (kuweta po wewnętrznej stronie korytarza jest zbędna, potrzebna kuweta znajduje się po zewnętrznej stronie), następnie odkłada niepotrzebną kuwetę na najbliższej pustej lokalizacji i pobiera kolejną kuwetę z innej lokalizacji (ta kuweta musi znajdować się po wewnętrznej stronie korytarza lub być jedyną kuwetą aktualnie przechowywaną w danej lokalizacji). Układnica z dwoma kuwetami przemieszcza się do punktu I/O,



**Rys. 3.** Sposoby rozmieszczenia i kompletacji towarów:

- a) składowanie zgodnie z klasyfikacją ABC, pobieranie dowolnej kuwety,
- b) składowanie losowe, pobieranie dowolnej kuwety,
- c) składowanie zgodnie z klasyfikacją ABC, pobieranie kuwety z minimalnym ilościanem,
- d) składowanie losowe, pobieranie kuwety z minimalnym ilościanem.

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. Schemat blokowy algorytmu kompletacji

Źródło: Opracowanie własne.

e) układnica pobiera dwie kuwety z pewnej lokalizacji (kuweta po wewnętrznej stronie korytarza jest zbędna, potrzebna kuweta znajduje się po zewnętrznej stronie) i z dwiema kuwetami przemieszcza się do punktu I/O. Kuweta z towarem, który nie będzie kompletowany nie trafia na stanowisko GTM, tylko pozostaje na przenośniku taśmowym, po czym zostaje odłożona na regał.

Propozycja algorytmu uwzględniającego opisane przypadki przedstawiona jest na rys. 4. Zaprezentowany schemat blokowy nie będzie generował rozwiązań minimalizujących czas pobrania towarów z jednego zamówienia, jednak rozwiązania będą lepsze niż w przypadku, gdy układnica jednocześnie transportuje tylko jedną kuwetę.

### 3. Wyniki obliczeń

Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano stworzone przez autora narzędzie symulacyjne **Miniload Real-Time Simulator** (autor w niedalekiej przyszłości planuje opublikować program wraz z dokumentacją w Internecie). Dla każdego z czterech wariantów decyzyjnych składowania towarów opisanych w poprzednim podrozdziale (rys. 3) wygenerowano 10 tys. zamówień. De Koster, Van Der Poort i Roodbergen [1998] pokazali, że dla tradycyjnej kompletacji typu „człowiek do towaru”, czasy kompletacji mają rozkład zbliżony do normalnego, a liczba replikacji wynosząca około 10 tys. jest w pełni wystarczająca (dla 95% poziomu ufności i błędu szacunku nieprzekraczającego 2%). Hipotezy te w dalszej części podrozdziału zweryfikowane zostaną dla czasów kompletacji towarów w magazynie automatycznym.

W magazynie automatycznym niezwykle istotna jest kolejność pobieranych przez układnicę kuwet. Nie jest możliwe pobranie towaru z nowego zamówienia, dopóki nie dostarczy się na stanowisko GTM wszystkich niezbędnych kuwet do realizacji poprzedniego zamówienia. Wielkość zamówienia (liczba różnych indeksów towarów na zamówieniu) może więc w pewien sposób wpływać na czas pobrania kuwet – możliwa jest bowiem sytuacja, w której układnica – aby zakończyć jedno zamówienie – musi pobrać tylko jedną (ostatnią z listy na zamówieniu) kuwetę. Autor w badaniach nie koncentrował się na wpływie wielkości zamówienia na czas kompletacji, dlatego we wszystkich doświadczeniach przyjęto stałą liczbę indeksów towarów na zamówieniu równą 20.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki symulacji. Zdecydowanie najkrótszy średni dystans podczas realizacji jednego zamówienia układnica pokonała dla drugiego wariantu (ułożenie towarów zgodnie z klasyfikacją ABC, pobieranie



tylko kuwety z minimalnym ilostanem, rys. 3b). Wariant ten zajmuje jednak dopiero trzecie miejsce w rankingu szybkości pobierania towarów. Najkrótszy czas kompletacji uzyskano dla wariantu 1 – rozmieszczenie zgodne z klasyfikacją ABC, ale pobieranie dowolnej kuwety. Podczas kompletacji towarów przy drugim wariancie znacznie rzadziej pobierane były dwie kuwety z jednej lokalizacji oraz dwie kuwety z dwóch lokalizacji bez konieczności odłożenia zbędnej kuwety. Dla pierwszego wariantu – jeżeli układnica przewoziła dwie kuwety, to zazwyczaj pobranie drugiej poprzedzała konieczność odłożenia kuwety zbędnej pobranej wraz z pierwszą kuwetą, co powodowało wydłużenie czasu pracy układnicy.

Zdecydowanie najgorszy – zarówno pod względem dystansu pokonanego przez suwnicę, jak i czasu jej pracy, jest wariant czwarty – losowe ułożenie kuwet i pobieranie kuwety z minimalnym ilostanem.

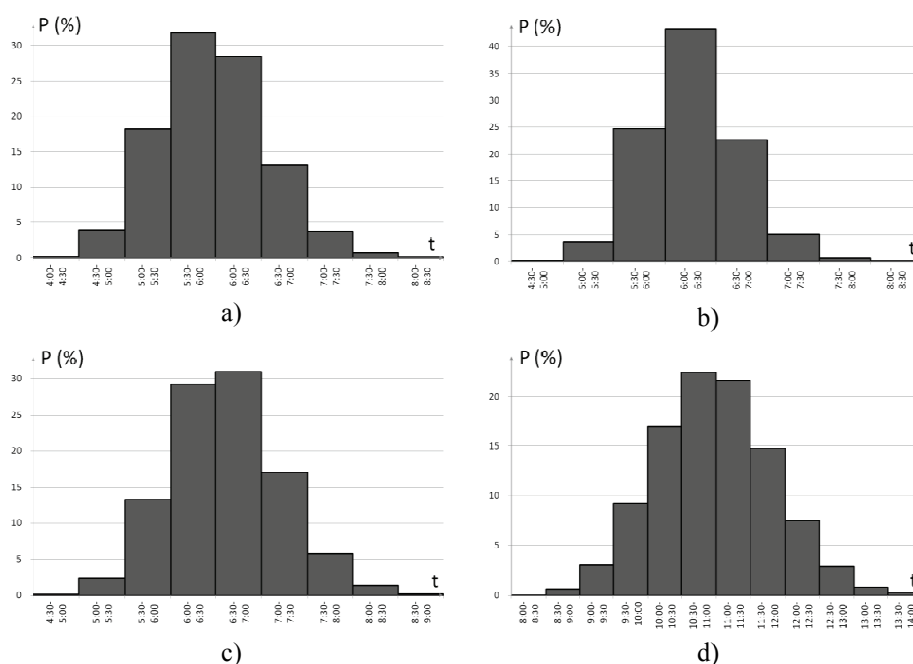
**Tabela 1.** Wyniki symulacji

	ABC, dowolna kuweta	ABC, kuweta z minimalnym stanem	Losowe ułożenie, dowolna kuweta	Losowe ułożenie, kuweta z minimalnym stanem
Średni dystans [m]	602,53	379,89	649,09	1150,18
Dwie kuwety z jednej lokalizacji [średnia liczba pobrań na 1 zamówienie]	0,88	0,14	0,51	0,01
Dwie kuwety z dwóch lokalizacji (bez odkładania) [średnia liczba pobrań na 1 zamówienie]	8,77	2,76	9,18	2,58
Jedna kuweta [średnia liczba pobrań na 1 zamówienie]	0,24	5,31	0,21	5,63
Dwie kuwety z dwóch lokalizacji (z odłożeniem) [średnia liczba pobrań na 1 zamówienie]	0,24	4,45	0,20	4,59
Średni czas [m:s]	5:58	6:36	6:16	10:58

Źródło: Opracowanie własne.

Na rys. 5 przedstawiono wykresy rozkładu prawdopodobieństwa czasu kompletacji zamówień dla każdego z czterech rozpatrywanych wariantów. Wizualna ocena pozwala stwierdzić, że w każdym przypadku są one zbliżone do rozkładu normalnego. Można więc sprawdzić, czy wielkość próby (liczba repli-

kacji) była wystarczająca. W tabeli 2 przedstawiono minimalne wartości liczby replikacji dla poziomów ufności równych 95%, 97% i 99,5% oraz błędu szacunku równemu 1s i 2s. Dla pierwszego i trzeciego wariantu liczba 10000 replikacji była wystarczająca nawet przy najostrożniejszych kryteriach. Dla drugiego wariantu i bardzo wyśrubowanych parametrów  $d_{\bar{x}} = 1s$  i  $1 - \alpha = 99,5\%$  zabrakło tylko 184 replikacji. Przy trzecim wariantcie minimalna liczba replikacji może wynieść aż 20 356. Dla błędu szacunku równemu 2s i 99,5% poziomu ufności dla każdego wariantu liczba replikacji była wystarczająca, podobnie dla błędu szacunku równemu 1s i 95% poziomu ufności. Autor nie widział więc konieczności zwiększenia liczby replikacji.



**Rys. 5.** Rozkład prawdopodobieństwa czasu kompletacji zamówień dla wariantów:  
 a) składowanie zgodnie z klasyfikacją ABC, pobieranie dowolnej kuwety,  
 b) składowanie losowe, pobieranie dowolnej kuwety,  
 c) składowanie zgodnie z klasyfikacją ABC, pobieranie kuwety z minimalnym ilostanem,  
 d) składowanie losowe, pobieranie kuwety z minimalnym ilostanem.

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2. Minimalna liczba replikacji

Sposób rozmieszczenia i kompletacji towarów	Poziom ufności	Min. liczba replikacji	
		$d_{\bar{x}} = 1 s.$	$d_{\bar{x}} = 2 s.$
ABC, dowolna kuweta	1- $\alpha$ =95%	4685	1171
Losowe ułożenie, dowolna kuweta		2808	702
ABC, kuweta z minimalnym stanem		4965	1241
Losowe ułożenie, kuweta z minimalnym stanem		9924	2481
ABC, dowolna kuweta	1- $\alpha$ =97%	5744	1436
Losowe ułożenie, dowolna kuweta		3442	861
ABC, kuweta z minimalnym stanem		6087	1522
Losowe ułożenie, kuweta z minimalnym stanem		12166	3041
ABC, dowolna kuweta	1- $\alpha$ =99,5%	9610	2403
Losowe ułożenie, dowolna kuweta		5759	1440
ABC, kuweta z minimalnym stanem		10184	2546
Losowe ułożenie, kuweta z minimalnym stanem		20356	5089

Źródło: Opracowanie własne.

## Podsumowanie

Automatyczne magazyny niewielkich jednostek ładunkowych umożliwiają redukcję czasu kompletacji zamówień w porównaniu z tradycyjnymi magazynami, gdzie towary pobierane są wg zasady „człowiek do towaru”. Samo wdrożenie systemu typu *miniload* nie jest jednak wystarczające – optymalizacja składowania towarów może spowodować dalsze znaczące skrócenie czasu pobrania towaru. Z przeprowadzonych badań wynika, że spośród czterech analizowanych wariantów najkrótszy czas kompletacji jednego zamówienia można uzyskać przy ułożeniu towarów zgodnie z klasyfikacją ABC i pobieraniu dowolnej kuwety z potrzebnym towarem. Rozwiązanie takie nie jest jednak pozbawione wad. Możliwość pobierania dowolnej kuwety powoduje, że kuwety wolniej się opróżniają, a stopień zapełnienia magazynu jest wyższy. Dlatego wybór rozwiązania powinien zależeć od preferencji decydenta: chęci minimalizacji czasu kompletacji zamówień lub lepszego wykorzystania powierzchni magazynowej. W obu przypadkach podział towarów na klasy ze względu na współczynnik rotacji i wydzielenie w magazynie stref składowania towarów z określonej klasy daje jednak lepsze wyniki niż składowanie losowe.

## Literatura

Andriansyah R., de Koning W.W.H., Jordan R.M.E., Etman L.F.P., Rooda J.E. (2008), *Simulation study of miniload-workstation order picking system*, Systems Engineering Report 7.

- Andriansyah R., De Koning W.W.H., Jordan R.M.E., Etman L.F.P., Rooda J.E. (2011), *A process algebra based simulation model of a miniload-workstation order picking system*, Computers in Industry, 62(3), s. 292-300.
- Atmaca E., Ozturk A. (2013), *Defining order picking policy: A storage assignment model and a simulated annealing solution in AS/RS systems*, Applied Mathematical Modelling, 37(7), s. 5069-5079.
- Bartholdi III J.J., Hackman S.T. (2011), *Warehouse and Distribution Science*, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Bozer Y.A., White J.A. (1984), *Travel-time models for automated storage/retrieval systems*, IIE transactions, 16(4), s. 329-338.
- Bozer Y.A., White J.A. (1990), *Design and performance models for end-of-aisle order picking systems*, Management Science, 36(7), s. 852-866.
- Bozer Y.A., White J.A. (1996), *A generalized design and performance analysis model for end-of-aisle order-picking systems*, IIE transactions, 28(4), s. 271-280.
- De Koster R., Van Der Poort E., Roodbergen K.J. (1998), *When to apply optimal or heuristic routing of orderpickers*, Springer Berlin Heidelberg, s. 375-401.
- Güller M., Hegmanns T. (2014), *Simulation-Based Performance Analysis of a Miniload Multishuttle Order Picking System*, Procedia CIRP, 17, s. 475-480.
- Hu Y.H., Huang S.Y., Chen C., Hsu W.J., Toh A.C., Loh C.K., Song T. (2005), *Travel time analysis of a new automated storage and retrieval system*, Computers & Operations Research, 32(6), s. 1515-1544.
- Lerher T., Potrč I., Šraml M., Tollazzi T. (2010), *Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine*, European Journal of Operational Research, 205(3), s. 571-583.
- Park B.C., Foley R.D., Frazelle, E.H. (2006), *Performance of miniload systems with two-class storage*, European Journal of Operational Research, 170(1), s. 144-155.

#### SELECTION OF METHOD OF STORAGE LOCATION ASSIGNMENT IN MINILOAD WAREHOUSES

**Summary:** In the paper the operating principles of the Miniload Automated Storage/Retrieval Systems were described and a few storage location assignment methods were developed and compared. The analysis included the variant in which in one slot two bins can be stored and the miniload crane transports one or two bins at the same time. Using the simple ABC classification in that case may cause some problems and not lead directly to the reduction of order-picking time. In the paper the other solutions were developed. The results were processed by the simulation tool made by the author of this paper.

**Keywords:** order-picking, simulations, warehousing.