

**PRACE NAUKOWE**

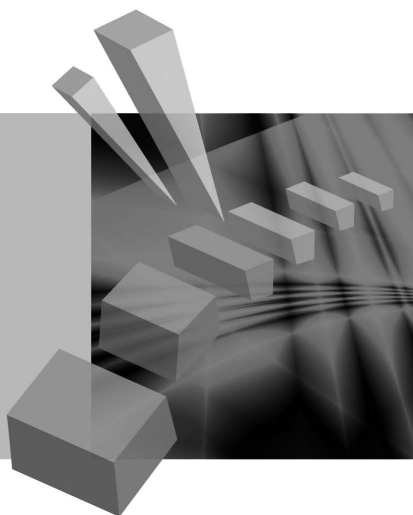
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

**RESEARCH PAPERS**

of Wrocław University of Economics

**238**

# Zastosowania badań operacyjnych Zarządzanie projektami, decyzje finansowe, logistyka



Redaktor naukowy

**Ewa Konarzewska-Gubała**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
Wrocław 2011

Recenzenci: Stefan Grzesiak, Donata Kopańska-Bródka, Wojciech Sikora,  
Józef Stawicki, Tomasz Szapiro, Tadeusz Trzaskalik

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

[www.ibuk.pl](http://www.ibuk.pl), [www.ebscohost.com](http://www.ebscohost.com),

The Central and Eastern European Online Library [www.ceeol.com](http://www.ceeol.com),

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

[http://kangur.uek.krakow.pl/bazy\\_ae/bazekon/nowy/index.php](http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php)

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się

na stronie internetowej Wydawnictwa

[www.wydawnictwo.ue.wroc.pl](http://www.wydawnictwo.ue.wroc.pl)

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie

wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
Wrocław 2011

**ISSN 1899-3192**

**ISBN 978-83-7695-195-9**

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

# Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

---

## Część 1. Zarządzanie projektami i innowacjami

---

<b>Tomasz Błaszczyk:</b> Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów .....	13
<b>Barbara Gładysz:</b> Metoda wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięć z rozmytymi czasami realizacji zadań .....	25
<b>Marek Janczura, Dorota Kuchta:</b> Proactive and reactive scheduling in practice.....	34
<b>Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta:</b> A new method of project schedule levelling .....	52
<b>Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak:</b> Harmonogramowanie projektów na podstawie charakterystyk kompetencji – wrażliwość modelu na różne aspekty liczb rozmytych .....	66
<b>Jerzy Michnik:</b> Zależności między kryteriami w wielokryterialnych modelach zarządzania innowacjami .....	80

---

## Część 2. Podejmowanie decyzji finansowych

---

<b>Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro:</b> Wielokryterialna symulacyjna ocena decyzji o finansowaniu edukacji wyższej .....	95
<b>Marek Kośny:</b> Koncepcja dominacji pierwszego i drugiego rzędu w analizie wzorca zmian w rozkładzie dochodu.....	111
<b>Agnieszka Przybylska-Mazur:</b> Podejmowanie decyzji monetarnych w kontekście realizacji celu inflacyjnego .....	120
<b>Agata Gluzicka:</b> Analiza ryzyka rynków finansowych w okresach gwałtownych zmian ekonomicznych .....	131
<b>Ewa Michalska:</b> Zastosowanie prawie dominacji stochastycznych w konstrukcji portfela akcji .....	144
<b>Grzegorz Tarczyński:</b> Analiza wpływu ogólnej koniunktury giełdowej i wzrostu PKB na stopy zwrotu z portfela akcji przy wykorzystaniu rozmytych modeli Markowitza.....	153

---

**Część 3. Problemy logistyki, lokalizacji i rekrutacji**


---

<b>Paweł Hanczar, Michał Jakubiak:</b> Wpływ różnych koncepcji komisjonowania na czas realizacji zamówienia w węzle logistycznym .....	173
<b>Mateusz Grzesiak:</b> Zastosowanie modelu transportowego do racjonalizacji dostaw wody w regionie .....	186
<b>Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza:</b> Model odejść klientów na rynku telekomunikacyjnym z uwzględnieniem efektów sieciowych .....	197
<b>Piotr Miszczyński:</b> Problem preselekcji kandydatów w rekrutacji masowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa .....	211

---

**Część 4. Pomiar dokonań, konkurencja firm, negocjacje**


---

<b>Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała:</b> Podejście ilościowe do odwzorowania celów strategicznych w systemie pomiaru dokonań organizacji na przykładzie strategii miasta Wrocławia .....	231
<b>Michał Purczyński, Paulina Dolata:</b> Zastosowanie metody DEA do pomiaru efektywności nakładów na reklamę w przemyśle piwowarskim .....	246
<b>Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski:</b> Konkurencja firm o różnym horyzoncie planowania w modelu Bertrand z kosztem decyzji i ograniczoną świadomością cenową klientów .....	263
<b>Jakub Brzostowski:</b> Poprawa rozwiązania negocjacyjnego w systemie <i>Nego-Manage</i> poprzez zastosowanie rozwiązania przetargowego .....	296

---

**Część 5. Problemy metodologiczne**


---

<b>Helena Gaspars-Wieloch:</b> Metakryterium w ciągłej wersji optymalizacji wielocelowej – analiza mankamentów metody i próba jej udoskonalenia.	313
<b>Dorota Górecka:</b> Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych .....	333
<b>Maria M. Kaźmierska-Zatoń:</b> Wybrane aspekty optymalizacji prognoz kombinowanych .....	351
<b>Artur Prędko:</b> Spojrzenie na metody estymacji w modelach regresyjnych przez pryzmat programowania matematycznego .....	365
<b>Jan Schneider, Dorota Kuchta:</b> A new ranking method for fuzzy numbers and its application to the fuzzy knapsack problem .....	379

---

## Summaries

---

### Part 1. Project and innovation management

---

<b>Tomasz Błaszczuk:</b> Awareness and the need for operations research methods in the work of Polish project managers .....	24
<b>Barbara Gładysz:</b> A method for finding critical path in a project with fuzzy tasks durations .....	33
<b>Marek Janczura, Dorota Kuchta:</b> Proaktywne i reaktywne harmonogramowanie w praktyce .....	51
<b>Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta:</b> Nowa metoda niwelacji harmonogramu projektu .....	64
<b>Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak:</b> Project scheduling using fuzzy characteristics of competence – sensitivity of the model to the use of different aspects of fuzzy numbers .....	79
<b>Jerzy Michnik:</b> Dependence among criteria in multiple criteria models of innovation management .....	92

---

### Part 2. Financial decision-making

---

<b>Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro:</b> Simulation approach in multicriteria decision analysis of higher education financing policy .....	110
<b>Marek Kośny:</b> First and second-order stochastic dominance in analyses of income growth pattern .....	119
<b>Agnieszka Przybylska-Mazur:</b> Monetary policy making in context of execution of the strategy of direct inflation targeting .....	130
<b>Agata Gluzicka:</b> Analysis of risk of financial markets in periods of violent economic changes .....	143
<b>Ewa Michalska:</b> Application of almost stochastic dominance in construction of portfolio of shares .....	152
<b>Grzegorz Tarczyński:</b> Analysis of the impact of economic trends and GDP growth in the return of shares using fuzzy Markowitz models .....	169

---

### Part 3. Logistics, localization and recruitment problems

---

<b>Paweł Hanczar, Michał Jakubiak:</b> Influence of different order picking concepts on the time of execution order in logistics node .....	185
<b>Mateusz Grzesiak:</b> Application of transportation model for rationalization of water supply in the region .....	196
<b>Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza:</b> Model of churn in the telecommunications market with network effects .....	210

<b>Piotr Miszczyński:</b> The problem of pre-selection of candidates in mass recruitment on the example of the chosen company.....	227
--	-----

---

#### **Part 4. Performance measurement, companies competition, negotiations**

---

<b>Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała:</b> Quantitative approach to the organization strategy mapping into the performance measurement system: case of strategy for Wrocław city .....	245
<b>Michał Purczyński, Paulina Dolata:</b> Application of Data Envelopment Analysis to measure effectiveness of advertising spendings in the brewing industry .....	262
<b>Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski:</b> Bertrand competition with switching cost.....	295
<b>Jakub Brzostowski:</b> Improving negotiation outcome in the NegoManage system by the use of bargaining solution.....	309

---

#### **Part 5. Methodological problems**

---

<b>Helena Gaspars-Wieloch:</b> The aggregate objective function in the continuous version of the multicriteria optimization – analysis of the shortcomings of the method and attempt at improving it.....	332
<b>Dorota Górecka:</b> Comparison of chosen methods for determining the weights of criteria for evaluating decision variants .....	350
<b>Maria M. Kaźmierska-Zatoń:</b> Some aspects of optimizing combined forecasts.....	363
<b>Artur Prędko:</b> Mathematical programming perspective on estimation methods for regression models .....	378
<b>Jan Schneider, Dorota Kuchta:</b> Nowa metoda rankingowa dla liczb rozmytych i jej zastosowanie dla problemu rozmytego plecaka .....	389

**Paweł Hanczar, Michał Jakubiak**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

---

## WPLYW RÓŻNYCH KONCEPCJI KOMISJONOWANIA NA CZAS REALIZACJI ZAMÓWIENIA W WĘZLE LOGISTYCZNYM

---

**Streszczenie:** Presja związana z obniżką kosztów przy jednoczesnym wzroście jakości obsługi klienta oraz przyspieszeniu przepływu towarów są wynikiem ogólnoświatowego trendu gospodarczego związanego z ogromną konkurencją na rynku. Stąd też w dzisiejszej dynamicznej gospodarce bardzo ważną rolę zaczynają odgrywać nawet drobne przesunięcia dóbr na krótkie odległości. Komisjonowanie jest najbardziej pracochłonnym procesem wykonywanym w magazynie, który wg różnych badań stanowi ok. 55–65% wszystkich kosztów operacji magazynowych. Na podstawie modelu rzeczywistego magazynu operatora logistycznego stworzony został program komputerowy, który bada wpływ alokacji towarów w magazynie oraz trzech heurystycznych koncepcji wyznaczania tras kompletacji towarów na ogólny czas realizacji procesu komisjonowania. Za pomocą zastosowanych metod symulacyjnych możliwe jest dobranie właściwej koncepcji komisjonowania do warunków występujących w danym przedsiębiorstwie.

**Słowa kluczowe:** komisjonowanie, magazynowanie, metody doboru drogi, polityki składowania.

### 1. Wstęp

W nowoczesnym systemie logistycznym każda manipulacja materiałami podlega dokładnej weryfikacji już na etapie projektowania. Bardzo ważną rolę zaczynają odgrywać nawet drobne przesunięcia dóbr na krótkie odległości, które zazwyczaj odbywają się w obrębie budynku (zakładu produkcyjnego, magazynu), oraz między obiektem i pośrednikiem transportowym.

Problemy komisjonowania zamówień klientów stają się szczególnie widoczne w centrach logistycznych, które to odgrywają coraz ważniejszą rolę w nowoczesnym zarządzaniu łańcuchem dostaw. Skupiają się one na jak najlepszym ulokowaniu towaru na danej przestrzeni i na pełniejszym wykorzystaniu ograniczonej pojemności obiektu oraz zmniejszeniu liczby manipulacji danym produktem. Menedżerowie logistyki zarządzają centrami logistycznymi w taki sposób, aby wykorzystać dostępną przestrzeń jak najpełniej i jak najefektywniej, zapewniając jednocześnie odpowied-

nią dostępność i ochronę składowanych dóbr wynikającą z ich specyfikacji. Powoduje to traktowanie przestrzeni przeznaczonej do składowania nie tylko jako obszaru o pewnych wymiarach, lecz przede wszystkim jako miejsca zapewniającego odpowiednie warunki potrzebne do okresowego przechowania towaru.

Raport przygotowany przez A.T. Kearney dla National Council of Physical Distribution Management (NCPDM) [Mentzer, Ponsford 1999] wykazał, że koszty związane z logistyką stanowią około 21% amerykańskiego PKB, natomiast około 28% tych kosztów generują procesy związane ze składowaniem i kompletowaniem zamówień w magazynie. Badania te, wykonane w 1984 roku, rozpoczęły wielką dyskusję oraz próbę obniżenia kosztów logistycznych, która nieustannie rosną wraz z rozwojem rynku [Mentzer, Ponsford 1999].

Obserwując wiele polskich przedsiębiorstw oraz biorąc udział w licznych projektach badawczych, autorzy mieli okazję przyjrzeć się dokładnie, jak funkcjonuje rynek usług logistycznych w Polsce, i porównać go z jego odpowiednikami za granicą. Nasze zainteresowanie skupiło się głównie na strefie magazynowania, w której głównym procesem kosztochłonnym jest komisjonowanie (wg różnych badań stanowi ok. 55–65% wszystkich kosztów operacji magazynowych).

Pojęcie komisjonowania pojawia się w literaturze głównie anglo- i niemieckojęzycznej już na początku lat 80. i niezmiennie cieszy się bardzo dużym zainteresowaniem naukowców i menedżerów logistyki. Proces komisjonowania (*order picking*) to jedna z podstawowych operacji wykonywanych w centrach dystrybucyjnych oraz w zwykłych magazynach [Koster i in. 2007]. Definiowana jest jako zespół logistycznych czynności operacyjnych i organizacyjnych, polegających na zestawieniu określonych podzbiorów (artykułów) z przygotowanego zbioru całkowitego (asortymentu), na podstawie informacji o zapotrzebowaniu w postaci zlecenia. Następuje przy tym zmiana stanu specyficznego dla składowania materiałów w stan charakterystyczny dla wydania materiałów [Bartholdi, Hackman 2008; Fijałkowski 2003; Frazelle, Apple 1994]. Innymi słowy, komisjonowanie to wyszukiwanie i kompletowanie, z miejsc odkładczych w magazynie, odpowiednich towarów widniejących na zamówieniu złożonym przez klienta [Petersen i in. 2004].

Problemy kompletacji towaru w magazynie (*picking polices*) skupiają się głównie na trzech zagadnieniach. Pierwsze z nich dotyczy podziału pracy pomiędzy pracownikami, tak aby proces pobierania towarów według listy kompletacyjnej był jak najkrótszy. Szczegółowy opis tego zagadnienia zawiera praca „Simulation as a method of choosing the order picking concept”, opublikowana przez autorów w czasopiśmie „Transport and Logistics” 2/2010.

Drugim problemem rozważanym w ramach komisjonowania jest sposób przechowywania towaru w magazynie (*storage polices*). Pod pojęciem tym rozumiana jest strategia właściwego dla danego przedsiębiorstwa przyporządkowywania produktów do miejsc składowania w przestrzeni magazynowej. Pojawiają się tu dwa podstawowe pytania techniczne i zarządcze. Pierwsze z nich szuka odpowiedzi, jakich narzędzi i technik użyć, aby dany towar miał jak najlepsze warunki przechowywania



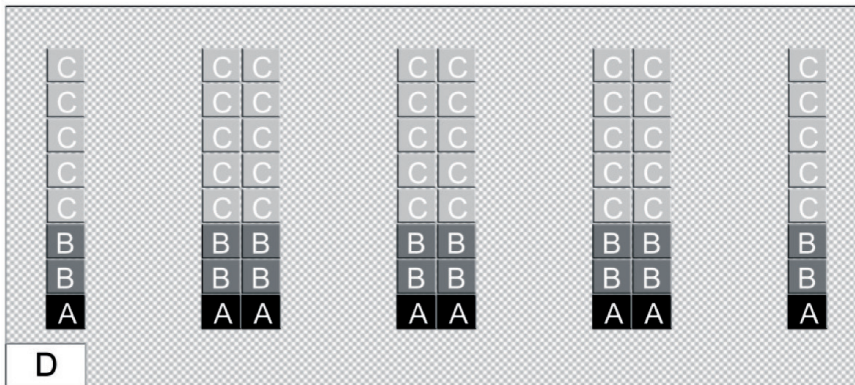
przy jednoczesnym maksymalnym wykorzystaniu miejsca magazynowego. Drugie natomiast skupia się na przyjęciu właściwej strategii organizacyjnej, która pozwoli dany produkt składować w taki sposób, aby znalezienie go przez magazyniera odbyło się jak najszybciej i jak najtaniej, przy jednoczesnym poprawieniu jakości realizacji zamówień. W ramach strategii zarządczych wykorzystywanych przy ustalaniu sposobów składowania towarów na szczególną uwagę zasługują dwa podejścia. Pierwsze (*randomly storage policie*) minimalizuje czas potrzebny na odłożenie towaru, jednak powoduje często znaczne wydłużenie go przy procesie kompletacji. Polega na przechowywaniu produktów w przestrzeni magazynowej, w której akurat jest wolne miejsce. Pracownik przyjmujący towar do magazynu odkłada go na dowolne, losowo wybrane miejsce magazynowe, kierując się przy tym zazwyczaj zasadą – im bliżej od miejsca przyjęcia, tym lepiej (*closest open location*) [Koster i in. 2007]. Druga polityka składowania towarów przypisuje produktom w magazynie konkretne miejsca (*assign storage policie*), które mogą być wyodrębnione ze względu na kilka czynników, a najbardziej istotnym z nich jest czynnik wprowadzający prostą zasadę, według której towary o najszybszej rotacji muszą być ulokowane jak najbliżej punktów wyjścia magazynu, tak aby minimalizować pracę potrzebną do ich kompletacji [Kłodawski, Jacyna 2009; Frazelle, Apple 1994].

Trzecim punktem prac poświęconych komisjonowaniu są zasady wyznaczania tras (*routing policie*). Celem tych badań są sposoby minimalizacji tras, jakie muszą przebyć magazynierzy podczas procesu kompletacji zamówienia. Spośród licznych algorytmów próbujących rozwiązać problem minimalizacji trasy kompletacyjnej największą popularnością cieszą się algorytmy heurystyczne. Ich powszechność bierze się głównie z prostoty ich zastosowania oraz zbliżonych wyników do algorytmów o rozwiązaniach dokładnych [Ratliff, Rosenthal 1987]. Ograniczenia przy stosowaniu algorytmów dokładnych polegają głównie na zbyt dużej liczbie zmiennych oraz trudności przy ciągłym budowaniu nowych modeli dla tak dużej różnorodności list kompletacyjnych.

## 2. Strategie rozmieszczania palet

W literaturze są rozpatrywane cztery podstawowe strategie rozmieszczania produktów, które w języku angielskim określane są mianem strategii *Volume – based storage* [Koster i in. 2007]. Idea ta przedstawiona została na rysunkach, odwołując się do wykorzystywanej w naszych badaniach klasyfikacji ABC. Przyjmując określoną strategię, w pierwszej kolejności dokonujemy składowania produktów klasy A, potem składowujemy produkty klasy B i na końcu produkty klasy C. Produkty klasy A to te, które występują najczęściej na zleceniach kompletacyjnych. Produkty klasy C to indeksy materiałowe kompletowane najrzadziej, natomiast klasa B stanowi stadium pośrednie, w którym znajdują się towary o „średniej” częstotliwości pobrań.

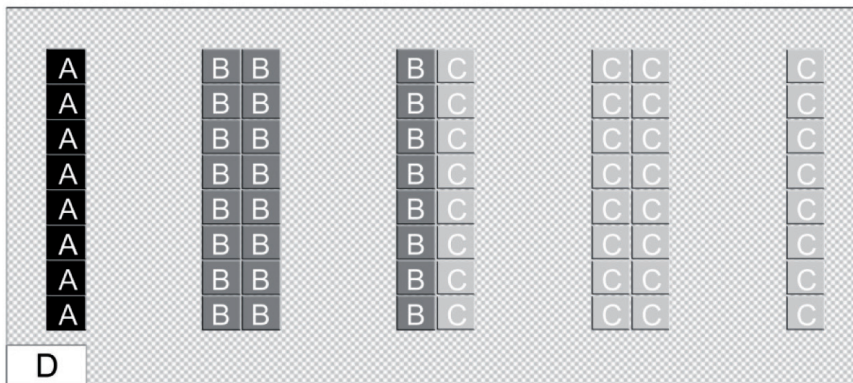
1. Strategia *Across – Aisle storage*, przedstawiona na rys. 1, zakłada rozpoczęcie składowania od półek najbliższej korytarza głównego i przechodzenie do półek w głąb korytarza bocznych.



Rys. 1. Strategia *Across – Aisle storage*

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

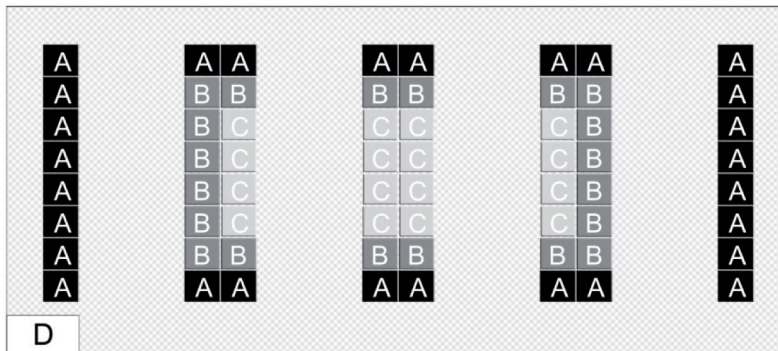
2. Strategia *Within – Aisle storage*, przedstawiona na rys. 2, zakłada rozpoczęcie składowania od regału położonego najbliżej miejsca składowania (punkt D). Po wypełnieniu tego regału następuje lokowanie w następnym i kolejnych rzędach.



Rys. 2. Strategia *Within – Aisle storage*

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

3. W strategii *Perimeter storage* lokalizacja produktów jest dokonywana zgodnie z zasadą wglębienia się we wnętrze przestrzeni składowania. W przypadkach, gdy rozmieszczenie regałów zapewnia dostęp do półek z każdej strony, najpierw dokonuje się składowania na regałach zewnętrznych oraz na półkach znajdujących się z przodu i z tyłu magazynu. Po ich wypełnieniu następuje składowanie zgodnie z tą samą regułą na wolnych półkach wnętrza przestrzeni magazynu.



Rys. 3. Strategia *Perimeter storage*

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

4. Strategia *Diagonal storage* różni się istotnie od poprzednich. Najpierw dla każdej lokalizacji dokonuje się obliczeń sumy czasów, jakie byłyby potrzebne do dokonania pobrania oraz przemieszczenia z tej lokalizacji do punktu składowania. Wyniki tworzą macierz trójwymiarową, gdyż odnoszą się do lokalizacji wskazującej numer regału, numer półki i miejsce na półce. Rozmieszczanie następuje w kolejności od lokalizacji o najkrótszym czasie pobrania i przemieszczenia do punktu składowania. Na płaszczyźnie rozmieszczanie nawiązuje do przesuwania po przekątnej. W przypadku trójwymiarowym jest to składowanie tworzące piramidę.



Rys. 4. Strategia *Diagonal storage*

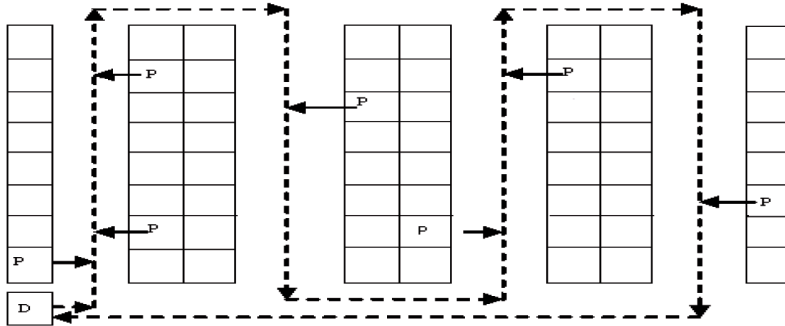
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

### 3. Strategie wyznaczania tras przemieszczania

Rozpatrując procesy komisjonowania zamówień w magazynie, nie można pominąć zagadnień związanych z wyborem drogi podczas kompletacji zamówień. Do głów-

nych podejść heurystycznych wyznaczania tras należą strategie: *S-shape (traversal strategy)*, *Midpoint strategy* oraz *Return strategy*.

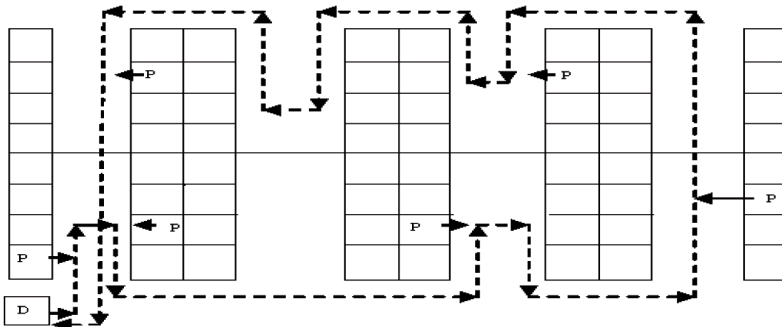
Metoda *S-shape* jest jednym z najprostszych podejść wyznaczania trasy osoby kompletującej zamówienia. Magazynier przemieszcza się pomiędzy regałami, przy których umieszczone są towary przeznaczone do kompletacji, w taki sposób, że zaczynając swoją trasę na początku korytarza, idzie do następnego dopiero po zebraniu wszystkich towarów znajdujących się przy korytarzu poprzednim. Ideę przemieszczania przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Strategia przemieszczania *S-shape (traversal strategy)* operatora wózka widłowego podczas kompletacji towaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

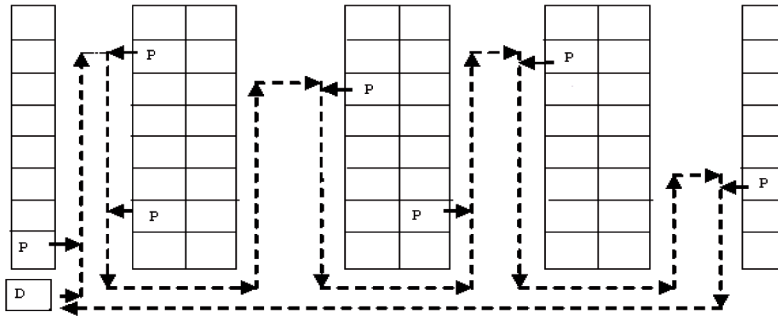
W strategii *Midpoint* magazyn jest dzielony na dwie części. Osoba kompletująca towar porusza się po korytarzu jedynie do jego środka, będącego punktem granicznym pierwszej części. Pozostałe towary, znajdujące się w drugiej części magazynu, są kompletowane podczas drogi powrotnej magazyniera. Schemat przemieszczania zgodnie ze strategią *Midpoint* przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Strategia *Midpoint* operatora wózka widłowego podczas kompletacji towaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

Strategia *Return* zakłada przemieszczanie magazyniera wzdłuż korytarza aż do miejsca, w którym jest pobierany ostatni produkt z danego rzędu, po czym powraca do korytarza głównego i pobiera produkty z kolejnego rzędu. Przemieszczanie zgodne z tą strategią ilustruje rys. 7.



Rys. 7. Strategia *Return* operatora wózka widłowego podczas kompletacji towaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Koster i in. 2007].

W praktyce przy wyznaczaniu tras wykorzystuje się algorytmy heurystyczne, które pozwalają szybko uzyskać wyniki zbliżone do dokładnych. Wyznaczanie tras optymalnych ma znaczenie w magazynach, w których komisjonowanie jest dokonywane z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń sterowanych komputerowo.

W symulacjach analizowano kombinacje strategii umieszczania palet i przemieszczania magazyniera, czyli 12 wariantów komisjonowania.

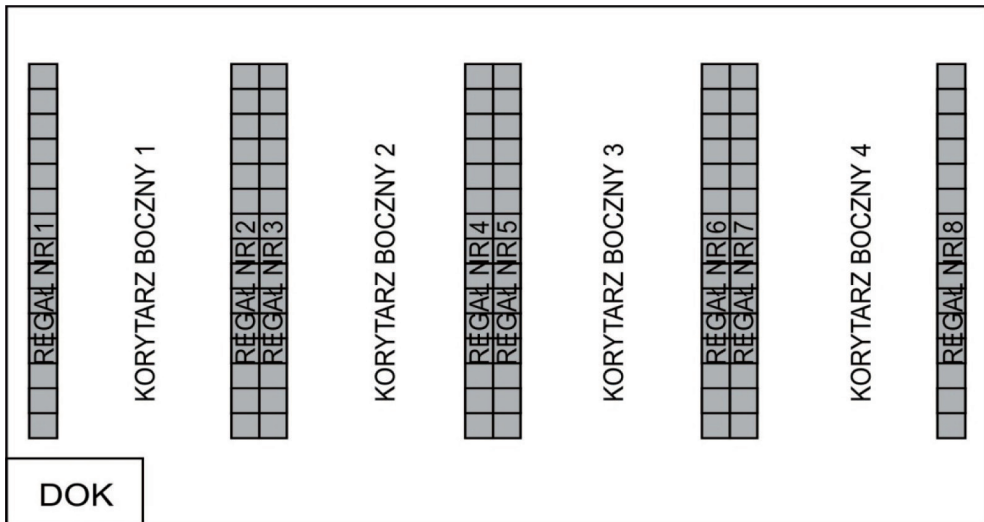
#### 4. Opis problemu badawczego

Opisywany problem dotyczy magazynu operatora logistycznego zajmującego się obsługą logistyczną produktów pochodzących z różnych firm produkcyjnych i handlowych, które wykonywanie podstawowych procesów magazynowych zlecają firmie zewnętrznej. Jest to obiekt, którego główne funkcje ograniczają się do przyjęcia, składowania, komisjonowania oraz wydania towarów. Pomieszczenie przeznaczone na magazyn wynajmowane jest przez operatora logistycznego od dewelopera i mieści się na terenie Górnego Śląska. Magazyn składa się z kilku stref. Wspólna dla wszystkich dostaw jest przestrzeń przeznaczona na przyjmowanie i wydawanie towarów. Największy obszar magazynu – strefa składowania – podzielony jest na kilka mniejszych podstref, w których w każdej z osobna magazynuje się towar od konkretnego dostawcy. Zachowana jest reguła – jedna podstrefa równa się jedna firma. Towary pochodzące od różnych dostawców są przechowywane na regałach paletowych cztero- oraz pięciorzędowych. Pomiędzy regałami występują korytarze boczne o szerokości czterech metrów. Magazyn prócz miejsc przeznaczonych do składowania towa-

rów posiada obszar, w którym następuje złożenie produktów skompletowanych do wysyłki. W wyodrębnionych dokach mających jednakowe wymiary: szerokość 6 m i długość 15 m, są odkładane palety przeznaczone do wysyłki, które po oznakowaniu są ładowane do podstawianych pod bramę wjazdową pojazdów.

Przeprowadzone badania i symulacje komisjonowania zostały przeprowadzone na produktach producenta wytwarzającego odżywkę dla dzieci. U producenta są tworzone jednostki transportowe na europaletach i w tej postaci są transportowane do magazynu operatora logistycznego, skąd bez zmiany postaci ładunku są dostarczane do różnych hurtowni na terenie całej Polski. Dopiero w hurtowniach następuje przepakowanie produktów na mniejsze jednostki opakowaniowe.

W interesującej nas strefie składowania ładunków producenta odżywek możliwe jest równoczesne składowanie 1200 europalet. Są one składowane na 15 regałach mających po cztery półki, każdy po 38 metrów długości. Komisjonowane są ładunki złożone z całych palet. Jest to zatem najprostszy przypadek komisjonowania. Na rysunku 8 zamieszczony jest rzut poziomy przedstawiający uproszczony widok na strefy składowania palet z odżywkami.



Rys. 8. Rzut poziomy na strefę magazynu przeznaczoną dla producenta odżywek dla dzieci

Źródło: opracowanie własne.

W okresie prowadzenia badań dostarczane palety były lokowane według zasady najbliższego wolnego miejsca. Przyjmowano, że dzięki systemowi Qguar wykorzystywanemu jako składowa systemu WMS, który rejestruje miejsca składowania każdej palety, można bez trudu szybko odnajdować i komisjonować palety przeznaczone dla klientów. Magazynier dokonujący komisjonowania miał pełną swobodę przemieszczania w trakcie komisjonowania.

Proces komisjonowania rozpoczyna się w momencie otrzymania przez magazyniera zlecenia kompletnego i kończy odłożeniem wszystkich palet wymienionych w zleceniu na polu odkładczym. Zakres zlecenia kompletnego jest określony przez ładowność standardowej naczepy samochodowej i wynosi 33 palety. Każda paleta jest pobierana pojedynczo z miejsca składowania i przewożona do doku, z którego prowadzone są wysyłki. Wózek widłowy porusza się po zamówiony towar zgodnie ze schematami wymienionymi na rys. 5–7.

W modelu symulacyjnym komisjonowania przyjęto:

1. Na podstawie danych historycznych z ponad 200 zleceń kompletnych sporządzono klasyfikację ABC produktów, biorąc pod uwagę częstość występowania indeksów produktowych na zleceniach. Klasę A tworzyły produkty występujące jako pozycje w co najmniej 75% zleceń, klasę B – występujące w około 15%, a klasę C – pozostałe produkty. Po sprawdzeniu wielkości zamówień okazało się, że produkty klasy A stanowią około 18%, klasy B – 22%, a klasy C – około 60% ogólnej liczby składowanych produktów.

2. Każdy cykl kompletacji rozpoczyna się i kończy w miejscu składowania (punkt D na rysunkach).

3. Na czas dokonania kompletacji składają się czasy: bazowy, drogi, podjęcia palety z półki, przestojów i innych czynności dodatkowych.

4. Podstawą porównań jest odniesienie do sytuacji, gdy komisjonowanie jest dokonywane przy założeniu, że palety są już ulokowane zgodnie z zasadą najbliższego wolnego miejsca składowania (składowanie losowe).

5. W zadaniu rozmieszczania palet uwzględniamy trzy wymiary. Określenie lokalizacji oznacza podanie numeru regału, numeru półki i wskazania miejsca na półce.

6. Dane techniczne, m.in. normy czasu pracy, operatora wózka widłowego, prędkość wózka widłowego (7 km/h) oraz czas uchwytu palety, podniesienia i opuszczenia widel itp., zostały zaczerpnięte z opracowania [Fijałkowski 2003].

Celem symulacji było sprawdzenie, jaki wpływ na czas pełnego kompletowania zamówienia mają:

- a) strategię rozmieszczania palet przy ich wprowadzaniu do składowania,
- b) zasady lokalizacji palet na półkach zgodnie z opracowanymi klasyfikacjami ABC,
- c) strategię przemieszczania w trakcie kompletowania.

## 5. Wyniki badań

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano specjalnie opracowany program napisany w języku Java. Główna funkcja *main* programu pobiera dane znajdujące się w pliku wejściowym i oblicza czasy potrzebne na kompletacje zamówień według trzech, zaimplementowanych w oddzielnych klasach, algorytmów heurystycznych wyznaczania tras: *Traversal*, *Return*, *Midpoint*.

W programie istnieje możliwość tworzenia zamówień losowo oraz symulacji wielu wariantów alokacji towarów w magazynie. Informacje, zapisywane i generowane w programie, mają postać tablicy czterowymiarowej, przedstawiającej odzwierciedlenie różnych sytuacji w magazynie. Do celów symulacji zostało wygenerowanych 1000 zamówień.

Pierwszym punktem badania była analiza czasów komisjonowania przy założeniu, że towary są składowane zgodnie z zasadami przyjętymi jako obowiązujące.

Symulacja na podstawie 1000 losowo wygenerowanych zamówień obejmowała czasy potrzebne do przebycia drogi pomiędzy dokiem a miejscem składowania towaru znajdującego się na liście kompletacyjnej oraz powrót do miejsca wysyłki. Symulacji poddany również został czas przeznaczony na podjęcie palety z miejsca składowania, aż do momentu ruchu wózka widłowego. Pozostałe składowe czasów, które tworzą łączny czas komisjonowania, zostały uzyskane w trakcie obserwacji 102 przypadków realizacji zamówień w magazynie. Tabela 1 zawiera szczegółowy zapis uzyskanych wyników.

**Tabela 1.** Średni czas (w min) komisjonowania przy różnym sposobie rozłożenia towarów w magazynie

Metody składowania towarów	Heurystyczne strategie wyznaczania tras		
	Traversal	Return	Midpoint
	min	min	min
Składowanie losowe	<b>44,19</b>	46,73	66,63
Within-aisle storage	<b>43,98</b>	46,19	68,42
Across-aisle storage	44,61	<b>41,97</b>	65,45
Perimeter-aisle storage	<b>43,478</b>	46,32	64,70
Diagonal storage	32,96	<b>31,86</b>	55,95

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań w firmie.

Uzyskane wyniki wskazują, że bezwzględnie najkorzystniejsze wyniki uzyskuje się, przyjmując strategię rozmieszczania produktów *Diagonal storage* połączoną ze strategią *Return* przemieszczania do miejsc pobierania i składowania produktów. Uzyskana oszczędność czasu ok. 10 minut, a więc ok. 25%, względem drugiego w kolejności czasu komisjonowania, jest bardzo wyraźna. Uzyskany wynik nie powinien specjalnie zaskakiwać, gdyż w strategii *Diagonal* decyzje o rozmieszczeniu są podejmowane na podstawie obliczeń czasów przewidywanych operacji komisjonowania. Jest to ważny argument za rozpatrywaniem komisjonowania jako elementu przepływu produktów przez magazyn, a nie tylko jako niezależnej operacji kompletowania.

Aby zobrazować, jak duży wpływ na proces przepływu towarów przez magazyn i efektywność realizacji zamówień ma decyzja o przyjęciu koncepcji komisjonowania w przedsiębiorstwie, wykonano badanie przy wykorzystaniu programu do symu-



lacji Arena. Wyniki eksperymentu dotyczą średniego czasu oczekiwania na realizację zamówienia w przeciągu tygodnia oraz liczby zamówień obsłużonych w ciągu tygodnia przez jednego pracownika.

**Tabela 2.** Liczba zamówień obsłużonych w ciągu tygodnia przez jednego pracownika (60 zamówień w tygodniu)

Metody składowania towarów	Heurystyczne strategie wyznaczania tras		
	Traversal	Return	Midpoint
Składowanie losowe	<b>54</b>	51	36
Within-aisle storage	<b>54</b>	51	35
Across-aisle storage	53	<b>57</b>	36
Perimeter-aisle storage	<b>55</b>	51	37
Diagonal storage	60	<b>60</b>	42

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań w firmie (symulacja wykonana w programie Arena Rockwell).

**Tabela 3.** Średni czas oczekiwania na realizację zamówienia w przeciągu tygodnia (w godzinach)

Metody składowania towarów	Heurystyczne strategie wyznaczania tras		
	Traversal	Return	Midpoint
Składowanie losowe	<b>1,8835</b>	2,8616	7,9886
Within-aisle storage	<b>1,7888</b>	2,6298	8,29
Across-aisle storage	2,0351	<b>0,9347</b>	7,6362
Perimeter-aisle storage	<b>1,594</b>	2,6846	7,6173
Diagonal storage	<b>0</b>	<b>0</b>	5,5853

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań w firmie (symulacja wykonana w programie Arena Rockwell).

Badanie wykonane zostało przy poziomie 1000 replikacji (jedna replikacja obejmuje jeden tydzień), a jako czasy komisjonowania zamówień przy poszczególnych strategiach przyjęte zostały wyniki z eksperymentu pierwszego (tab. 1). Łącząc przytoczone spostrzeżenia, można sformułować ogólny wniosek. W sytuacjach, gdy sterujemy przepływami produktów w łańcuchach transportowych, w których przewiduje się dokonywanie manipulacji typu komisjonowanie, należy sterować komplectacją już na etapie przygotowania wysyłek u dostawców i następnie przez odpowiednie przyjmowanie dostaw i kierowanie ich na miejsca składowania ułatwiać dokonywanie komplectacji.

## 6. Podsumowanie

Autorzy w swoich dotychczasowych badaniach rozpatrywali zadania w jednym typie węzła logistycznego, jakim jest magazyn, oraz przy uproszczonych warunkach – jedno zamówienie, jeden wykonawca. Z podglądu zasady funkcjonowania innych typów węzłów logistycznych, np. terminali portowych, punktów cross-dockingowych, można dostrzec wiele podobieństw z rozpatrzonym przypadkiem, co pozwala liczyć na stworzenie ogólnej klasy modeli komisjonowania. Ze zmianą typu węzła wiąże się problem dostosowania koncepcji komisjonowania, co będzie tematem dalszych badań.

Zastosowanie programów symulacyjnych umożliwi sprawdzenie wielu wariantów komisjonowania i wybranie tych, które w danym przypadku są najlepsze. Metody symulacyjne pomagają w podjęciu decyzji dotyczących projektowania, zarządzania i wykonywaniu wielu czynności magazynowych [Petersen i in. 2004].

## Literatura

- A.T. Kearney, *Measuring and Improving Productivity in Physical Distribution*, National Council of Physical Distribution Management (NCPDM), Oak Brook, Illinois, 1984.
- Bartholdi J.J., Hackman S.T. [2008], *Warehouse & Distribution Science*, Georgia Institute of Technology, Draft.
- Fijałkowski J. [1987], *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Fijałkowski J. [2003], *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Frazelle E.H. [1996], *World-Class Warehousing*, Logistics Resources International, Atlanta, GA.
- Frazelle E.H., Apple J.M. [1994], *Warehouse Operations in The Distribution Management Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- Gałązka M., Jakubiak M. [2010], *Simulation as a method of choosing the order picking concept*, "Transport and Logistics" no. 2, s. 81–88.
- Ghiani G. [2004], *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester
- Kłodawski M., Jacyna M. [2009], *Wybrane aspekty problematyki komisjonowania w funkcji pracochłonności procesu*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa, z. 70, s. 73–84.
- Koster R. de, Le-Duc T., Roodberger K. [2007], *Design and control of warehouse order picking: A literature review*, "European Journal of Operational Research" 182, s. 481–501.
- Mentzer J.T., Ponsford B., [1999], *An efficiency/effectiveness approach logistics performance analysis*, "Journal of Business Logistics", vol. 12, no. 1, s. 33–62.
- Petersen C., Aase R., Heiser D. [2004], *Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage*, "International Journal of Physical Distribution & Logistics Management", vol. 34, issue 7, s. 534–544.
- Ratliff H.D., Rosenthal A.S. [1983], *Order picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem*, "Operations Research" 31, s. 507–521.

## **INFLUENCE OF DIFFERENT ORDER PICKING CONCEPTS ON THE TIME OF EXECUTION ORDER IN LOGISTICS NODE**

**Summary:** The pressure connected with cost cutting parallel to increase in consumer service quality, as well as speeding up the flow of goods are the result of worldwide economy trend connected with a big competition in the market. That's why in modern economy even small movements of goods on short distances are becoming more and more important. Order picking is the most laborious process in a warehouse, and according to different research, it equals to 55-65% of costs of all warehousing operations. On the basis of the existing model of a warehouse, which belongs to a logistic operator, a computer program has been created which examines the influence, of goods allocation in a warehouse and three heuristic concepts of planning the picking route, on the overall order picking time. By means of implemented simulation methods it is possible to match the appropriate order picking process to the needs of a given enterprise.

**Keywords:** order picking, warehousing, storage system, picking route.