

**Marek Karkula**

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

## **MODELOWANIE SYMULACYJNE JAKO NARZĘDZIE DOSKONALENIA PROCESÓW LOGISTYCZNYCH NA PRZYKŁADZIE CENTRUM LOGISTYCZNEGO**

### **1. Wstęp**

Współczesne przedsiębiorstwa zmuszone są do działania w wysoce złożonym, zmiennym i konkurencyjnym otoczeniu. Chcąc przetrwać w takim środowisku, muszą obserwować otoczenie, planować działania w sposób nie tylko elastyczny, ale i kreatywny. Presja ze strony międzynarodowych organizacji, wzrost globalnej komunikacji oraz obserwowany ostatnio skok technologiczny powodują zwiększanie się poziomu międzynarodowej konkurencji. Przedsiębiorstwa zmuszone są do ciągłego podnoszenia poziomu zadowolenia klienta oraz stałego poszukiwania nowych możliwości obniżania kosztów własnej działalności.

Kluczową rolę w racjonalizacji działań i procesów zachodzących w przedsiębiorstwach odgrywa w ostatnich latach logistyka, która proponuje systemowe rozwiązania organizacyjne i techniczne procesów od dostawcy przez produkcję do klienta. Gdy wyczerpują się możliwości wzrostu efektywności ekonomicznej i utrzymania pozycji rynkowej przedsiębiorstw na drodze obniżki kosztów wytwórczości, wówczas o konkurencyjności może decydować sprawność łańcuchów i sieci oraz procesów logistycznych. Skuteczne i efektywne zarządzanie oraz doskonalenie procesów logistycznych zachodzących w przedsiębiorstwie wymaga wcześniejszego zrozumienia tych procesów. Wśród metod wykorzystywanych w analizie procesów logistycznych szczególne miejsce zajmują metody modelowania i symulacji wykorzystujące mechanizmy zdarzeń dyskretnych. Ich przydatność można zauważyć przede wszystkim wówczas, gdy rozpatrywane procesy cechuje złożoność i dynamika.

W artykule zaprezentowano wyniki analiz wykonanych za pomocą narzędzi symulacyjnych wybranych procesów logistycznych zachodzących w badanym centrum logistycznym.

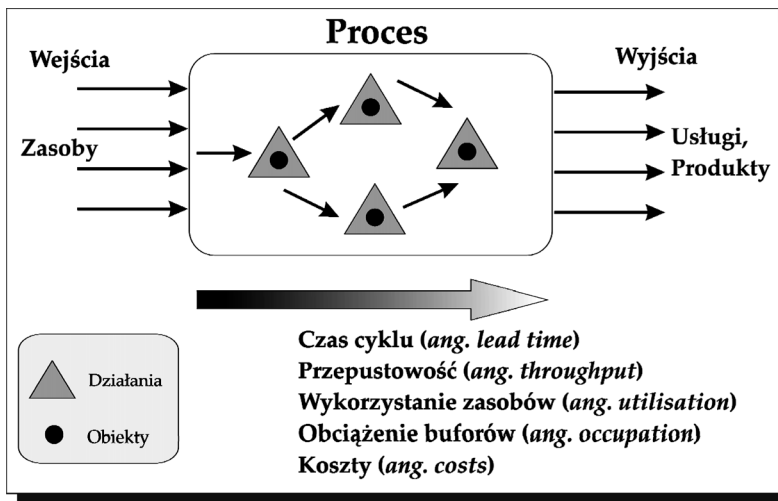
## 2. Podejście procesowe w logistyce

Obecnie rozpatrywanie podstawowej działalności przedsiębiorstwa wiąże się często z koniecznością wydzielenia i zarządzania procesami, które są realizowane w ramach działalności przedsiębiorstwa oraz w jego otoczeniu. Choć pojęcie procesu należy do terminów znanych i często używanych, to nie zawsze jest prawidłowo rozumiane i interpretowane. Według normy PN-EN ISO 9000:2001 proces jest „zbiorem działań wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących, które dokonują przekształcenia wejścia w wyjścia”.

Z kolei S. Krawczyk w pracy [Krawczyk 2001] pisze, że proces może być zdefiniowany jako sekwencja lub częściowo uporządkowany zbiór powiązanych ze sobą działań zintegrowanych przez:

- czas,
- koszty,
- łączną ocenę wykonania i realizowanych działań, aby osiągnąć określony cel organizacji.

Można zatem stwierdzić, że proces jest świadomie kreowaną transformacją, w wyniku której – dzięki określonym działaniom intelektualnym i fizycznym – następuje osiągnięcie pewnego celu o charakterze materialnym lub niematerialnym. Każdemu procesowi zachodzącemu w przedsiębiorstwie należy zapewnić zasoby odpowiednie do jego realizacji; mogą być nimi m.in.: materiały, wyposażenie, personel, energia, technologia, a także wiedza i czas.



Rys. 1. Podstawowe mierniki oceny procesów logistycznych

Źródło: opracowanie własne.

Przyjęcie orientacji procesowej w zakresie logistyki sprawia, że w istocie chodzi o wzajemne dostosowanie procesów logistycznych przez ich właściwą koordynację, przy jednoczesnym integrowaniu funkcji i komórek realizujących określone działania w przedsiębiorstwie.

Procesy logistyczne polegają na fizycznym przemieszczaniu produktów przez poszczególne fazy działalności gospodarczej: zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji. Jeśli chodzi o czynności logistyczne, to dotyczą one planowania, organizowania, sterowania oraz kontroli wszystkich procesów logistycznych, a także innych działań związanych z logistyką. Miarami efektywności procesów logistycznych mogą być: czas cyklu, przepustowość, wykorzystanie zasobów (rys. 1).

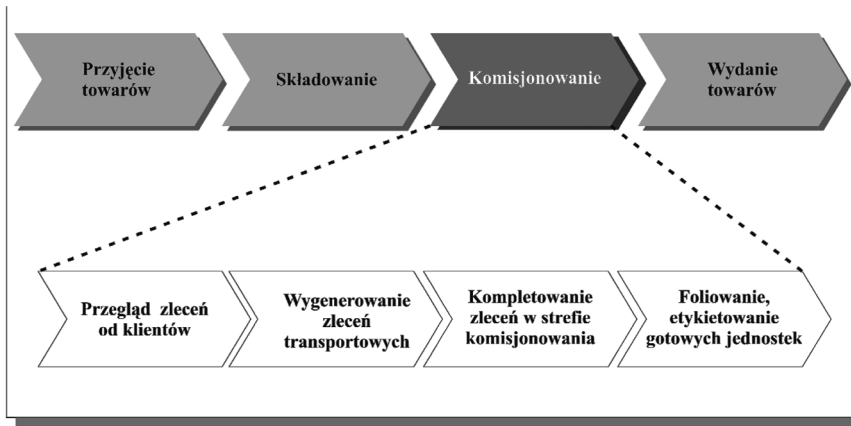
Procesy i czynności logistyczne występują, chociaż w różnym zakresie i z różną intensywnością, we wszystkich przedsiębiorstwach produkcyjnych, handlowych, a także usługowych (np. transport, magazynowanie, pakowanie, manipulacje materiałami, sterowanie zapasami, realizacja zamówień, planowanie produkcji, zakup, obsługa klienta na odpowiednim poziomie, załatwianie zwrotów, gromadzenie i usuwanie odpadów itp.). Rodzaj i istota tych procesów i czynności zależą przede wszystkim od charakteru działalności, gdyż to głównie dzięki nim może być realizowana podstawowa działalność wielu firm. Faktem jest, że działania logistyczne wspierają podstawową działalność przedsiębiorstw produkcyjnych, handlowych i usługowych.

### 3. Procesy logistyczne w centrach dystrybucyjnych

Ostatnio można zauważyć, iż na świecie i w Polsce zdecydowanie wzrosło zapotrzebowanie na centra logistyczne i magazyny wysokiego składowania o znacznym stopniu automatyzacji. Jest to z ekonomicznego punktu widzenia rozwiązanie bardzo racjonalne, gdyż daje możliwość efektywnego wykorzystania przestrzeni oraz przeprowadzania operacji magazynowych bez udziału człowieka.

Centra logistyczne to obiekty, w których realizowane są usługi logistyczne związane z przyjmowaniem, magazynowaniem, rozdzieleniem i wydawaniem towarów, a także usługi towarzyszące. Do typowych procesów zachodzących w większości centrów logistycznych można zaliczyć [Majewski 2002]:

- **przyjęcie towarów** – w ramach tego procesu zachodzą operacje i czynności związane z przyjęciem towarów do magazynu i rozładunkiem środków transportu zewnętrznego,
- **składowanie** – zachodzą tutaj czynności związane ze składowaniem i z przechowywaniem towarów w określonym czasie w wydzielonym obszarze centrum,
- **komisjonowanie** – podczas realizacji tego procesu dokonywane są operacje i czynności związane z kompletacją i opracowaniem zleceń klientów – w wydzielonych strefach dochodzi do rozformowania jednorodnych jednostek ładunkowych paletowych składowanych w magazynie na zbiory opakowań jednost-



Rys. 2. Typowe procesy zachodzące w centrach logistycznych

Źródło: opracowanie własne.

kowych lub zbiorczych oraz zestawienie ich na jednostkę ładunkową zgodnie z zamówieniami klientów,

- **wydanie towarów** – podczas którego dokonywane są operacje i czynności związane z wydaniem towarów z magazynu.

Komisjonowanie to jeden z najbardziej kosztotwórczych procesów magazynowych. Przypada na nie 60-65% całkowitych kosztów magazynu i 50-60% pracy personelu, zatem podczas analizy należy zwrócić szczególną uwagę na ten proces.

#### 4. Modelowanie i symulacja procesów logistycznych na przykładzie badanego centrum logistycznego

Jedną z metod badania właściwości procesu lub systemu jest przeprowadzenie eksperymentu bezpośrednio na nim, przy czym najważniejszym warunkiem stosowania tej metody jest istnienie badanego systemu. W wielu działaniach poznawczych system rzeczywisty zastępuje się jednak jego modelem. Jest tak wówczas, gdy badanie obiektu rzeczywistego jest niepraktyczne, skomplikowane, zbyt kosztowne czy wręcz niemożliwe ze względu na niebezpieczeństwo wykonania eksperymentu. Stosunkowo łatwo można wskazać takie sytuacje, w których obiekt rzeczywisty jest niedostępny dla badającego, przedmiotem eksperymentów są procesy zachodzące zbyt wolno lub zbyt szybko czy też badania mogą spowodować zniszczenie obiektu, są zbyt kosztowne itp. W takich wypadkach tworzy się model obiektu rzeczywistego, na którym dokonywane są eksperymenty, a uzyskane wyniki odnosi się do systemu rzeczywistego. Postępowanie takie jest uzasadnione, gdy zachodzi duże prawdopodobieństwo, że rezultaty badania modelu i zachowanie się realnego obiektu są porównywalne. Celem tworzenia modeli jest dążenie do zrozumienia otaczającej nas

rzeczywistości, która w swej naturze jest bardzo złożona. Model może być zatem efektywnym narzędziem badawczym.

Wiele współczesnych narzędzi do modelowania i symulacji procesów oraz systemów logistycznych bazuje na tzw. systemach dyskretnych sterowanych zdarzeniami, zwanych także systemami zdarzeń dyskretnych. Jak to wynika z studiów literaturowych [Bukowski, Karkula 2003; Noche 1999], symulacja dyskretna sterowana zdarzeniami jest bardzo przydatnym i często jedynym narzędziem umożliwiającym analizę złożonych systemów logistycznych z uwzględnieniem ich dynamiki. Do charakterystycznych cech układów zdarzeń dyskretnych można zaliczyć fakt, iż zmienne opisujące działanie układu, a w szczególności zmienne stanu, ulegają zmianie tylko w dyskretnych, zazwyczaj losowych momentach czasu.















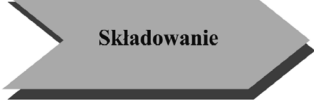

Jako podstawowe narzędzie modelowania zastosowano pakiet symulacyjny DOSIMIS-3<sup>®</sup> wykorzystujący mechanizmy modelowania dyskretnego sterowanego zdarzeniami [DOSIMIS-3... 2007]. Pakiet ten jest modułowo zorientowanym narzędziem symulacji, które dostosowano głównie do planowania i tworzenia modeli procesów logistycznych. Dzięki modułowemu podejściu do problemu modelowania DOSIMIS-3<sup>®</sup> dostarcza szybko i w niezawodny sposób wyniki eksperymentów symulacyjnych i nawet dla niewielkich przedsięwzięć może być skutecznym narzędziem do wspomagania decyzji. Pakiet ten jest interaktywnym symulatorem graficznym, a zasada działania i organizacja obliczeń tego symulatora opiera się na procesach dyskretnych sterowanych zdarzeniami i umożliwia symulację m.in. złożonych procesów logistycznych. Składa się on z symulatora, edytora modeli i programu umożliwiającego przeglądanie danych statystycznych.

Procesy logistyczne mogą zostać poddane analizie za pomocą odpowiednich mechanizmów opisu rzeczywistości, którymi w symulatorach modułowych (przykładem symulatora takiego typu jest pakiet DOSIMIS-3<sup>®</sup>) są:

- elementy statyczne (moduły, elementy),
- elementy dynamiczne (obiekty poruszające się w systemie),
- węzły.

Podejście modułowe zastosowane w tego typu symulatorach pozwala na odtworzenie elementów statycznych (zasobów) systemów logistycznych, takich jak m.in.: bufory, taśmy rolkowe i przenośniki taśmowe, miejsca pracy, obróbki czy obsługi, zwrotnice (rozjazdy, skrzyżowania). Obiekty (elementy dynamiczne) opisują ruchome przedmioty, takie jak np.: półprodukty przeznaczone do obróbki, wózki, pojazdy (w danym przypadku także informacje). Zarówno elementom statycznym modelu, jak i obiektom dynamicznym można przypisać pewne atrybuty. Atrybuty to inaczej cechy lub właściwości, którymi mogą się charakteryzować poszczególne składniki modelowanego systemu. Przykładowo atrybutem obiektu paleta może być informacja o jej pojemności.

Na rysunku 3 przedstawiono możliwość odwzorowania wybranych procesów logistycznych zachodzących w centrach logistycznych za pomocą standardowych elementów biblioteki symulatora.

Proces	Odwzorowanie w pakiecie DOSIMIS-3
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Źródło</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Spływ</p>  </div> </div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Obsługa, Obróbka</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Montaż</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Demontaż</p>  </div> </div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p>Element rozdzielający</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Element skupiający</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Rozładunek</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Skrzyżowanie</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Przeñośnik piętrzenia</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Przeñośnik</p>  </div> </div>
	<p>Magazyn</p> 

Rys. 3. Odwzorowanie wybranych procesów logistycznych zachodzących w centrach logistycznych w pakiecie DOSIMIS-3<sup>®</sup>

Źródło: opracowanie własne.

Budowa modelu symulacyjnego wybranego procesu w omawianym pakiecie składa się z kilku kroków; są nimi:

- wprowadzenie i umiejscowienie elementów do okna obszaru roboczego,
- wprowadzenie parametrów elementów (danych),
- połączenie elementów – wprowadzenie węzłów,
- ustalenie parametrów symulacji (czas symulacji, parametry procesów stochastycznych),
- przeprowadzenie symulacji,
- obserwacja wyników symulacji, walidacja modeli za pomocą animacji i narzędzi statystycznych.

**Charakterystyka obiektu badań.** Badany system to zautomatyzowane centrum logistyczne pewnych wyrobów chemicznych. Asortyment wyrobów obejmuje ponad 1500 różnego rodzaju artykułów. Artykuły te dostarczane są do centrum logistycznego od producenta i przez wydzieloną strefę przyjęć towarów są automatycznie

sortowane. Jednym z kryterium sortowania towarów są gabaryty opakowań, w których znajdują się produkty (wyróżniono cztery typy gabarytów i klas produktów). Posortowane produkty układane są na paletach, później są odpowiednio etykietowane, a w następnym kroku, za pośrednictwem zespołu przenośników, są wysyłane do magazynu wysokiego składowania. Kolejnym zadaniem centrum jest przyjmowanie zleceń i ich realizowanie (kompletowanie) w jednej z kilku stref komisjonowania.

Każda strefa komisjonowania składa się z regału pomocniczego o ograniczonej pojemności, układnic regałowych, robotów portalowych służących do kompletacji, miejsc kompletacji i przenośników paletowych. Po przybyciu do strefy komisjonowania paleta jest identyfikowana, następnie, jeżeli jest wolne miejsce, trafia do punktu dekompletacji (w przeciwnym przypadku jest odkładana na regał pomocniczy, gdzie oczekuje na wolne miejsce w strefie dekompletacji), tam robot pobiera z niej odpowiednią liczbę artykułów wynikającą ze zlecenia. Pobrane artykuły trafiają na przenośnik wolnobieżny, z którego w końcowej jego części kolejny robot ustawia artykuł na odpowiedniej palecie przeznaczonej do wysyłki do klienta.

Po skompletowaniu paleta trafia do strefy wysyłkowej. Przyjęto zasadę, aby na palecie wysyłkowej znajdowało się możliwie maksymalnie dużo artykułów o tych samych gabarytach, czyli jeżeli paleta może pomieścić cztery opakowania z artykułami, a klient zamówił po dwa opakowania różnych towarów, to powinny się one znaleźć na jednej palecie. W ten sposób zostanie zminimalizowana liczba jednostek paletowych wysyłanych do klienta (a co za tym idzie – zmniejszy się koszt realizacji zlecenia związany z transportem).

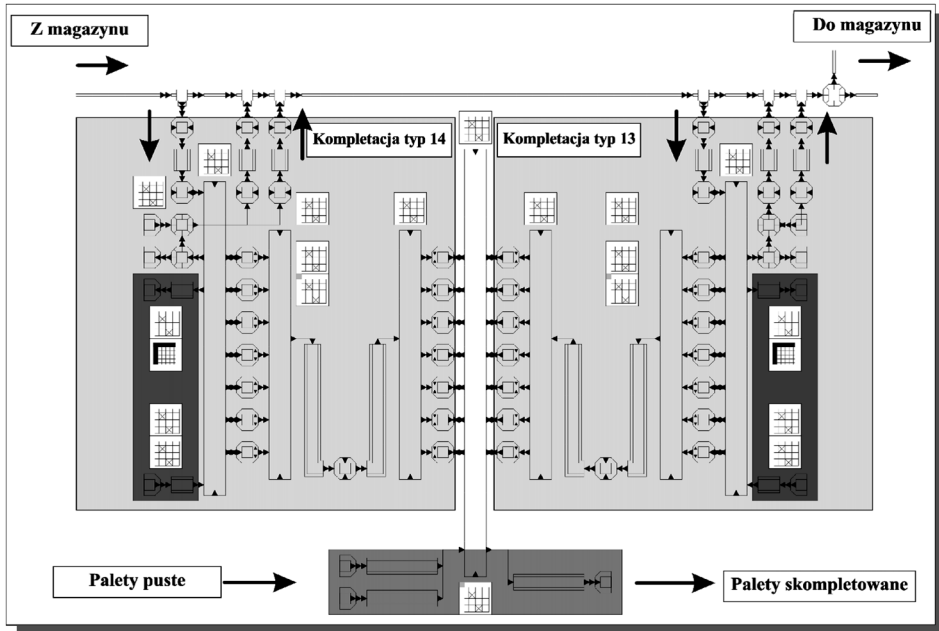
System transportowo-magazynowy rozpatrywanego centrum jest w pełni zautomatyzowany, a odpowiedni przepływ materiałów w systemie zapewniony jest przez transportowe urządzenia techniczne (m.in. wózki, podwieszane przenośniki paletowe, układnice regałowe, roboty portalowe, transportery typu AGV (*Automatic Guided Vehicle*)) oraz infrastrukturę informatyczną i specjalistyczne sterowniki przemysłowe, w których zaimplementowano algorytmy sterowania poszczególnymi częściami systemu.

**Model symulacyjny centrum logistycznego.** Głównym celem symulacji badanych procesów logistycznych było znalezienie odpowiedzi na pytania, czy zastosowane środki organizacyjno-techniczne nie spowodują nieoczekiwanych blokad czy zakleszczeń poruszających się w systemie palet oraz umożliwią osiągnięcia założonych wcześniej parametrów systemu związanych m.in. z wydajnością, czasami realizacji zleceń itp.

W celu zbadania zachowania systemu przy zróżnicowanych warunkach zbudowano model symulacyjny w środowisku DOSIMIS-3®. Dane techniczne wykorzystane do budowy modeli obejmowały parametry techniczne poszczególnych części systemu, a w tym m.in. czasy cykli pracy urządzeń transportowych (np. układnic regałowych, robotów portalowych), prędkości załadunku i rozładunku artykułów i palet. Dodatkowo wprowadzono informacje związane z organizacją pracy – szczególnie te dotyczące godzin pracy systemu. W stworzonym modelu centrum logi-

styczne pracuje od poniedziałku do piątku w godzinach od 6:00 do 22:00, w systemie dwuzmianowym. Każda zmiana ma jedną dłuższą przerwę (1/2 godz.) oraz dwie krótsze przerwy w pracy.

Na rysunku 4 przedstawiono fragment systemu obejmujący dwie strefy automatycznego komisjonowania, w których następuje kompletacja zleceń.



Rys. 4. Fragment modelu symulacyjnego zbudowanego w pakiecie DOSIMIS-3<sup>®</sup> odwzorowujący strefy komisjonowania w badanym centrum logistycznym

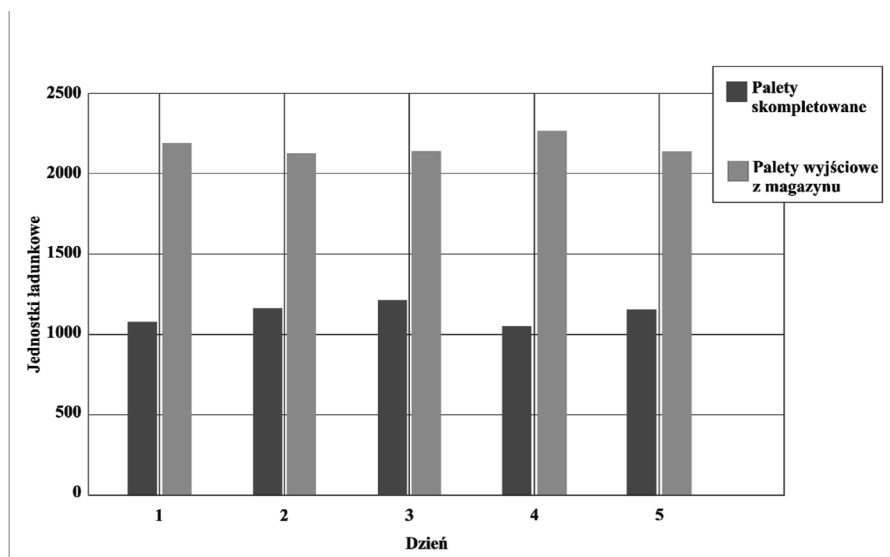
Źródło: opracowanie własne.

Elementy systemu technicznego modelowanego centrum zostały zbudowane za pomocą dostępnych w programie bibliotek standardowych komponentów systemów przepływu materiałów: przenośników, transporterów wahadłowych, stacji obróbkowych itp.

Założono, że system powinien realizować dziennie około 300-350 zleceń klientów, co wiąże się ze skompletowaniem około 1200-1500 palet do wysyłki. Czas trwania symulacji ustalono na pięć dni roboczych, tzn. od poniedziałku do piątku.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki symulacji – rozkład natężenia przepływu jednostek ładunkowych skompletowanych oraz palet pobranych z magazynu wysokiego składowania i wysłanych do poszczególnych stref komisjonowania.





Rys. 5. Rozkład natężenia przepływu jednostek ładunkowych skompletowanych (gotowych do wysyłki) oraz palet pobranych z magazynu wysokiego składowania i wysłanych do poszczególnych stref komisjonowania

Źródło: opracowanie własne.

Jako wyniki symulacji analizie poddano m.in. następujące charakterystyki:

- procentowe wykorzystanie pojazdów transportujących palety między strefami przyjęcia, komisjonowania oraz magazynem wysokiego składowania,
- charakterystyki wydajności stref kompletacji dla jednostek paletowych w zależności od liczby pojazdów transportowych,
- statystyki czasów realizacji zleceń, czasów komisjonowania i transportu,
- zmiany zajętości buforów w czasie.

## 5. Podsumowanie

Konkurencja wśród przedsiębiorstw branży logistycznej oraz rosnące wymagania klientów wymuszają konieczność poszukiwania nowych rozwiązań oraz obniżania kosztów swojej działalności. Jednym ze sposobów osiągnięcia tych celów jest wdrożenie w przedsiębiorstwie koncepcji i zasad zarządzania logistycznego oraz wypracowanych według nich strategii, które staną się determinantą wzrostu konkurencyjności i zwiększenia efektywności procesów. Jednak strategie te muszą być stale weryfikowane i modyfikowane i nadążać za nieustannie i dynamicznie zmieniającymi się uwarunkowaniami funkcjonowania firmy, i to zarówno tymi wewnętrznymi, jak i zewnętrznymi.

Do najczęściej wykorzystywanych i najbardziej skutecznych narzędzi umożliwiających weryfikację tych strategii oraz wspomagających decyzje z pewnością można zaliczyć metody bazujące na modelowaniu symulacyjnym. Z obserwacji praktycznych, badań literaturowych oraz analiz przeprowadzonych przez autora pracy wynika, iż procesy logistyczne są miejscem, w którym wciąż tkwią rezerwy. Racjonalizacja tych procesów, a w szczególności ich optymalizacja, mogłaby wpłynąć na znaczne obniżenie kosztów w przedsiębiorstwie.

## Literatura

- Bukowski L., Karkula M., *The simulation of logistic processes using DOSIMIS-3 simulator*, [w:] *Finanční a logistické řízení v kontextu vstupu České republiky do Evropské unie: sborník referátů z mezinárodní konference: Srdce Beskyd*, 25-26.06.2003. 2. díl / VŠB, Technická Univerzita, Ostrava, s. 296-300.
- Don Taylor G. (red.), *Logistics engineering handbook*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.
- DOSIMIS-3 Benutzerhandbuch* Version 4.3, SDZ GmbH, Dortmund 2007.
- Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych – wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- Krawczyk S., *Zarządzanie procesami logistycznymi*, PWE, Warszawa 2001.
- Majewski J., *Informatyka dla logistyki*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2002.
- Noche B., *Modelle von Distributionssystemen*, SDZ GmbH, Dortmund 1999.

## SIMULATION MODELLING AS A TOOL FOR LOGISTIC PROCESSES IMPROVEMENT ON THE EXAMPLE OF LOGISTIC CENTER

### Summary

The requirements of competitiveness and development of business orientation in management based on the process approach are extorting the constant development of instruments and improving the management functions. In the scope of this stream, a number of concepts and methods came into existence to increase the economic effectiveness of business processes. Among them, methods of modeling and simulation take the special place. In the article, selected aspects of simulation of logistic processes in logistic centers were presented.