

SYMULACJA KOMPUTEROWA PROCESÓW MAGAZYNOWYCH Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU ENTERPRISE DYNAMICS

Dynamiczny rozwój przemysłu i handlu w ostatnich latach wymusił konieczność wprowadzania nowych rozwiązań w dziedzinie gospodarki magazynowej. Głównym powodem wprowadzanych zmian jest optymalizacja czasu realizacji operacji magazynowych przy jednoczesnym obniżaniu kosztów. Wymusza to reorganizację magazynów, operacji magazynowych oraz wprowadzanie nowoczesnego wyposażenia i urządzeń wykorzystywanych w trakcie procesu magazynowania. Aby zapewnić dużą skuteczność, wysoką efektywność i obniżenie kosztów realizowanych procesów magazynowych stosowane są odpowiednie programy i narzędzia symulacyjne. W artykule przedstawiono możliwości oraz korzyści jakie wnosi zastosowanie oprogramowania do modelowania i symulacji procesów zachodzących w magazynach.

WSTĘP

Każde przedsiębiorstwo dąży do osiągnięcia sukcesu rynkowego. Jedną z determinant decydujących o jego osiągnięciu jest uzyskanie odpowiedniej pozycji konkurencyjnej. Aby osiągnąć przewagę konkurencyjną nad innymi przedsiębiorstwami należy m. in. sprostać rosnącym wymaganiom klientów dotyczącym niskich cen oraz jakości i krótkiego czasu dostarczenia na rynek produktów lub usług. Jednym ze sposobów osiągnięcia przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa jest usprawnienie funkcjonowania zachodzących w nim procesów. Ważną grupę procesów stanowią procesy magazynowe. Gospodarka magazynowa jest niezwykle istotną działalnością na którą składa się zespół środków, czynności technicznych i organizacyjnych oraz zadań ekonomicznych, które związane są z właściwym przechowywaniem zapasów magazynowych.

Zmieniające się trendy w zaspokajaniu potrzeb klientów wymuszają znacznie bardziej elastyczne podejście w kontekście kształtowania gospodarki magazynowej. Analiza gospodarki magazynowej może wpływać na wprowadzenie odpowiedniej strategii wewnątrz przedsiębiorstwa, związanej z dobraniem odpowiednich metod i sposobów sterowania procesami magazynowymi. Przedsiębiorstwa muszą dążyć do minimalizacji czasu realizacji zamówień ze względu na wymagania odbiorców. Bardzo ważną rolę odgrywa w tym przypadku czas realizacji procesów magazynowych. W związku z tym przedsiębiorstwa zmuszone są do podjęcia decyzji o wprowadzaniu nowych urządzeń oraz reorganizacji magazynów. Następuje stały rozwój systemów informatycznych, automatycznej identyfikacji oraz technologii magazynowania.

Sprostanie tym wymaganiom wymusza stosowanie narzędzi informatycznych oraz komputerowych metod modelowania i symulacji procesów produkcyjnych, logistycznych czy też magazynowych [5]. Badania z wykorzystaniem modeli symulacyjnych charakteryzują się przede wszystkim niższymi kosztami i krótszym czasem badań w porównaniu do badań prowadzonych w świecie rzeczywistym. Wymienione zalety modeli symulacyjnych mają bardzo duże znaczenie i przyczyniają się do uzyskania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa.

W literaturze jak i w rozwiązaniach praktycznych stosowanych jest wiele rozwiązań wykorzystywanych do modelowania procesów logistycznych. W dobie informatyzacji coraz powszechniej stosowa-

ne są metody modelowania i symulacji komputerowej wykorzystujące przeznaczone do tych celów oprogramowanie. Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie możliwości oraz korzyści jakie wnosi zastosowanie oprogramowania do modelowania i symulacji procesów magazynowych.

1. ZNACZENIE GOSPODARKI MAGAZYNOWEJ

Właściwa organizacja i ocena gospodarki magazynowej wpływa na sprawność funkcjonowania i realizowania zadań magazynu danego przedsiębiorstwa. Nadrzędne funkcje, które są spełniane przez magazyn w systemie logistycznym to [5]: koordynacja wielkości popytu i podaży, redukcja kosztów transportu, wspomaganie procesów produkcyjnych, wspomaganie procesów marketingowych. Natomiast podstawowy zakres zadań realizowanych w magazynie to [7, 8]: przyjmowanie i ewidencja dóbr materialnych, czynności manipulacyjne (przeładunek, przemieszczanie), składowanie w określonym miejscu, ochrona m.in. przed warunkami atmosferycznymi, kradzieżami, bieżąca konserwacja zapasów m.in. szybko ulegającym zepsuciu lub zniszczeniu, kontrolowanie stanów zapasów i ich wydawanie.

Sprawność funkcjonowania i realizowania zadań magazynu jest zapewniona przez właściwy dobór następujących elementów: sposobu składowania i rozmieszczenia produktów, sposobu kompletacji produktów i wyznaczania drogi kompletacji oraz zarządzania zamówieniami [4].

Do metod stosowanych do klasyfikacji i rozmieszczenia produktów w magazynie zalicza się metody jednokryterialne ABC i XYZ oraz metody wielokryterialne takie jak: Indeks COI, analiza ABC-FC analiza EIQ, metoda AHP, logika rozmyta, algorytmy genetyczne oraz sieci neuronowe. Wybór odpowiedniej metody zależy w głównej mierze od systemu składowania produktów oraz sposobu kompletacji zamówień.

Wśród stosowanych sposobów składowania należy wymienić przede wszystkim takie techniki jak: wolnych miejsc składowania, stałych miejsc składowania, według rotacji, według poziomów składowania, według rodzaju jednostek ładunkowych.

Kolejnymi elementami mającymi znaczący wpływ na sprawność funkcjonowania i realizowania zadań magazynu są sposoby kompletacji produktów i wyznaczania drogi kompletacji. Kompletacja może być realizowana w strefie składowania lub w wydzielonej

strefie kompletacji. Miejsce jej realizacji zależy przede wszystkim od rotacji towaru i poziomu zapasów magazynowych. Dobór towaru może być realizowany według zamówień lub według asortymentów. Pierwszy ze sposobów polega na zebraniu towaru pokrywającego jedno zamówienie. Drugi sposób pozwala na zbiór towaru z wszystkich realizowanych przez danego pracownika zleceń, a następnie rozdzieleniu ich na poszczególne zamówienia. Obydwa sposoby mogą być realizowane według zasady człowiek do towaru, lub towar do człowieka.

Najczęściej stosowanymi metodami wyznaczania drogi kompletacji są: S-Shape, Midpoint, Return, Largest gap.

Na sprawność funkcjonowania i realizowania zadań magazynu oddziałuje również sposób zarządzania zamówieniami np. dzielenie na kilka kompletacji lub multikompletacja [4].

Za punkt krytyczny całego procesu magazynowania bez wątpienia uznawana jest faza kompletacji. Dlatego też uznaje się ją za fazę w której znajdują się największe możliwości optymalizacji wydajności pracy całego magazynu. Kluczowym czynnikiem jest tutaj czas realizacji tej operacji. Na czas trwania tego procesu w dużej mierze wpływają wymienione powyżej czynniki takie jak sposób wyznaczenia drogi kompletacji czy też sposób rozłożenia towarów w magazynie.

2. NARZĘDZIA INFORMATYCZNE WSPOMAGAJĄCE MODELOWANIE I SYMULACJĘ PROCESÓW

W dobie informatyzacji powszechnie stosowane są metody modelowania i symulacji komputerowej wykorzystujące przeznaczone do tych celów narzędzia informatyczne. Metody modelowania i symulacji komputerowej stosuje się w sytuacji gdy osiągnięcie rozwiązania metodami analitycznymi jest zbyt skomplikowane, a bezpośrednie przeprowadzenie eksperymentu na systemie rzeczywistym jest zbyt pracochłonne, kosztowne lub niemożliwe do przeprowadzenia. Modelowanie i symulacja procesów umożliwia przeprowadzenie ich analizy oraz prześledzenie sposobu funkcjonowania, trwającego niekiedy wiele lat, w o wiele krótszym czasie, nawet w ciągu kilku sekund. Zastosowanie modeli symulacyjnych umożliwia zbadanie przyjętych założeń jeszcze przed ich zastosowaniem oraz wykrycie ewentualnych nieprawidłowości, które mogłyby wystąpić w czasie trwania rzeczywistego procesu. Dostępne na rynku oprogramowanie w większości przypadków pozwala na tworzenie modeli z gotowych obiektów, dla których należy zdefiniować parametry wejściowe, związki z innymi obiektami oraz prawidłowość przebiegu procesu. Na utworzonym modelu symulacyjnym przeprowadza się badania symulacyjne. Proces zachodzący w trakcie eksperymentu jest odzwierciedleniem procesu rzeczywistego. Badanie procesu za pomocą modeli symulacyjnych umożliwia analizowanie charakterystyk procesu zachodzącego podczas trwania eksperymentu symulacyjnego oraz umożliwia określenie wpływu parametrów wejściowych na zachowanie modelowanego procesu. Podczas symulacji procesu można przeprowadzić większą liczbę eksperymentów wykorzystując do tego różne wartości parametrów wejściowych. Otrzymane wyniki, które najczęściej przedstawiane są w formie raportów i wykresów poddawane są dalszej analizie i pozwalają na wybranie optymalnego rozwiązania. Opracowany model symulacyjny może być również poddawany ciągłym modyfikacjom, a dla powstałych nowych wersji modelu można przeprowadzić kolejne eksperymenty symulacyjne. Wykorzystanie narzędzi komputerowych do modelowania i symulacji znacznie skraca czas

analizy modelowanego procesu, a tym samym pozwala na szybkie podjęcie decyzji [1, 6].

Narzędzia do modelowania symulacyjnego są zróżnicowane pod względem dostępnych opcji i możliwości, a w związku z tym również i ceny. Przy wyborze oprogramowania należy kierować się celem symulacji oraz rodzajem procesu poddawanego analizie. W przypadku procesów logistycznych najbardziej rozpowszechnione są narzędzia: Enterprise Dynamics, Flexsim, Dosimis, Arena, Visual Simulation.

3. MODELOWANIE WYBRANYCH PROCESÓW MAGAZYNOWYCH PRZY ZASTOSOWANIU OPROGRAMOWANIA ENTERPRISE DYNAMICS

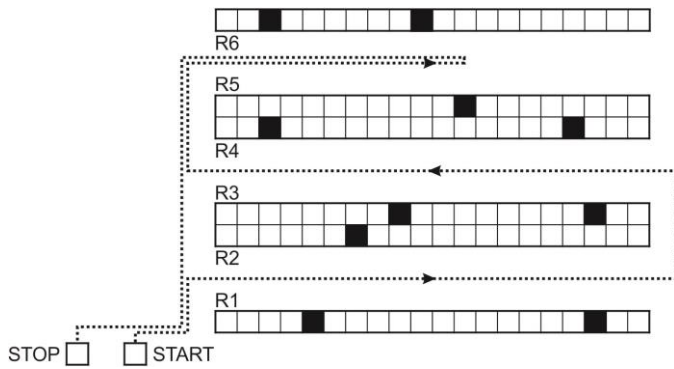
Enterprise Dynamics jest programem umożliwiającym tworzenie modeli do symulacji procesów m.in. z obszaru logistyki takich jak: procesy składowania i dystrybucji, procesy produkcyjne czy też procesy transportowe. Budowa modelu symulacyjnego przy wykorzystaniu tego narzędzia polega na wybraniu i rozmieszczeniu obiektów w przestrzeni roboczej programu, określeniu powiązań pomiędzy obiektami oraz wprowadzeniu parametrów wejściowych dla poszczególnych obiektów. Definiowane dla poszczególnych obiektów parametry wejściowe mogą być opisane za pomocą wartości stałej, rozkładu prawdopodobieństwa lub wyrażenia zapisanego w języku programowania 4DScript. Język ten dostępny w pakiecie programu Enterprise Dynamics pozwala także na tworzenie własnego interfejsu użytkownika oraz realizację własnych obiektów i tworzenie własnych funkcji [9, 10].

Oprócz budowy modeli symulacyjnych Enterprise Dynamics daje również możliwość prowadzenia badań symulacyjnych opracowanych modeli. Otrzymane z przeprowadzonych eksperymentów wyniki mogą być prezentowane za pomocą raportów oraz wykresów.

Jednym z krytycznych procesów zachodzących w magazynie jest proces kompletacji. To od jego sprawnego działania zależy przede wszystkim efektywność obsługi klienta oraz funkcjonowania samego magazynu. Na czas realizacji procesu kompletacji ma wpływ wiele czynników jednym z nich jest przebieg trasy kompletacji realizowanej przez magazyniera podczas zbierania zamówienia.

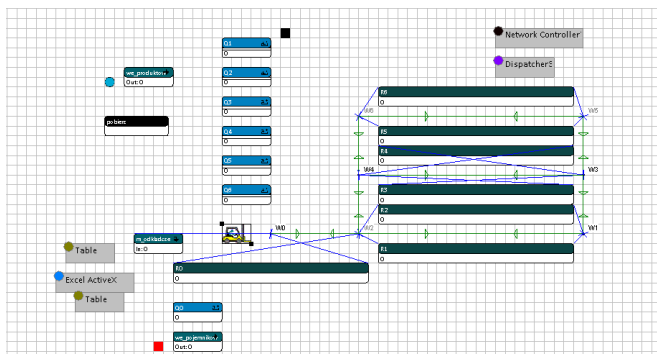
W niniejszym artykule program Enterprise Dynamics został wykorzystany do przedstawienia symulacji przemieszczania pracownika magazynu podczas realizacji zamówienia po trasie wyznaczonej przy wykorzystaniu metody S-Shape [2]. Jest to jedna z najprostszych i najbardziej popularnych metod wyznaczania trasy kompletacji. Zgodnie z tą metodą pracownik magazynu realizując proces kompletacji przemieszcza się między regałami po trasie, której kształt jest zbliżony do litery S. Zgodnie z algorytmem tej metody pracownik skręca w najbliższy punktowi początkowemu korytarz, w którym występuje produkt do pobrania. Po pobraniu wszystkich produktów z danego korytarza pracownik przemieszcza się na jego koniec i następnie skręca w korytarz boczny, aby wejść do następnego korytarza. Pracownik znajdując się w danym korytarzu nie ma możliwości powrotu i kieruje się tylko do tych korytarzy, w których znajdują się elementy do pobrania z listy zamówień.

Schemat realizacji przykładowego zamówienia po trasie wyznaczonej przy wykorzystaniu metody S-Shape został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat realizacji zamówienia po trasie wyznaczonej przy wykorzystaniu metody S-Shape

W ramach opracowanego modelu założono, że pracownik magazynu realizując proces kompletacji porusza się po magazynie wózkiem widłowym. Na widłach wózka znajduje się pojemnik, który jest pobierany przez magazyniera w punkcie początkowym przyjętym za początek procesu kompletacji. Od tego momentu rozpoczyna się pomiar czasu realizacji procesu kompletacji. Pracownik ma do zrealizowania listę zamówień liczącą 10 produktów. Punktem końcowym jest odstawienie pojemnika z wszystkimi produktami z listy zamówień na miejsce odkładcze. Miejsce to zostało przyjęte jako koniec realizacji procesu kompletacji i w nim kończy się pomiar czasu realizacji zamówienia. Przy opisie czasów pobrania pojemnika i poszczególnych produktów przyjęto wartości średnie. W związku z tym zastosowano odpowiednie rozkłady prawdopodobieństwa przy opisie tych parametrów. Produkty z listy zamówień znajdują się w odpowiednich gniazdach regałów na różnych poziomach. Wykorzystany w modelu obiekt symulujący pracę wózka widłowego uwzględnił to założenie. Model symulujący zastosowanie metody S-Shape w przykładowym magazynie został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Model procesu kompletacji

Wykorzystanie metody S-Shape w programie Enterprise Dynamics wymagało zaimplementowania jej przy użyciu języka programowania 4DScript. Przeprowadzone dla opracowanego modelu symulacje pozwoliły zweryfikować poprawność działania zaimplementowanej metody. Umożliwiły one również wyznaczenie szeregu parametrów charakteryzujących proces kompletacji. Analiza tych parametrów może przyczynić się do wprowadzenia działań mających na celu poprawę funkcjonowania magazynu. Podstawowym parametrem wyznaczanym podczas symulacji był czas trwania realizacji procesu kompletacji. Podczas badań symulacyjnych przeprowadzono 100 obserwacji. Czas realizacji procesu kompletacji dla stałej listy zamówień liczącej 10 produktów zawierał się w przedziale od 7 minut i 52 sekund do 8 minut i 32 sekund. Przeprowadzone symulacje pozwoliły również na określenie stanów pracy wózka widłowego. W czasie trwania procesu kompletacji pojedynczego

zamówienia wózek widłowy przez 46% czasu poruszał się z ładunkiem, przez 11% czasu jechał pusty. Operacja pobrania produktów stanowiła łącznie 35% czasu trwania procesu kompletacji, natomiast operacja odłożenia 8% czasu.

PODSUMOWANIE

Bardzo ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu przedsiębiorstwa odgrywają procesy magazynowe. Jedną z faz procesu magazynowego jest kompletacja, uznawana za najbardziej newralgiczny punkt tego procesu. Sprawność działania procesu kompletacji jest jednym z głównych czynników wpływających na poprawność funkcjonowania magazynu.

W artykule opracowano model przykładowego procesu kompletacji. Przeprowadzono wstępne analizy funkcjonowania modelowanego procesu oraz stopnia wykorzystania zaangażowanych w jego realizację środków. Opracowany model oraz uzyskane dane mogą być wykorzystane przy dalszych pracach mających na celu reorganizację magazynów, operacji magazynowych oraz wprowadzanie nowoczesnego wyposażenia i urządzeń wykorzystywanych w trakcie procesu magazynowania. Przedstawione i zastosowane w artykule oprogramowanie do modelowania i symulacji jakim jest narzędzie Enterprise Dynamics wspiera podejmowanie decyzji oraz daje możliwość wprowadzania zmian w projektowanym systemie logistycznym bez ponoszenia dodatkowych kosztów. Daje możliwość szybkiego zbadania wielu wariantów związanych z konfiguracją modelowanego systemu i przeprowadzenie odpowiednich analiz.

Obecnie coraz powszechniejsze jest stosowanie programów umożliwiających modelowanie i symulację procesów. W obszarze logistyki wykorzystywane są one m.in. do modelowania procesów magazynowych, produkcyjnych czy też transportowych. Wprowadzenie zmian w którymś z rzeczywistych wymienionych procesów wymaga dużych nakładów finansowych, dlatego też dużo tańsze i przede wszystkim łatwiejsze jest przeprowadzanie eksperymentów na modelach symulacyjnych opisujących dane procesy.

BIBLIOGRAFIA

1. Burduk A., *Modelowanie systemów narzędziem oceny stabilności procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2013.
2. De Koster R., Le-Duc T., Roodebergen K. J., *Design and Control of Warehouse Order Picking: a literature review*, European Research Institute of Management, 2006.
3. Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*. Wybrane zagadnienia, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
4. Lorenc A., *Planowanie rozmieszczenia produktów w magazynie – najnowsze rozwiązania i trendy rozwojowe*, Logistyka 3/2014
5. Łunarski J., *Projektowanie procesów technicznych, produkcyjnych i gospodarczych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2014.
6. Krzyżaniak S., Niemczyk A., Majewski J., Andrzejczyk A., *Organizacja i monitorowanie procesów magazynowych*, ILiM, Poznań 2013.
7. Niemczyk A., *Zapasy i magazynowanie Tom II Magazynowanie*, ILiM, Poznań 2008.
8. Skowronek Cz., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2008.
9. Zdanowicz R., Świder J., *Komputerowe modelowanie procesów wytwórczych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
10. <https://www.incontrols.com>

Computer simulation of warehouse processes using the Enterprise Dynamics software

The dynamic development of industry and trade in recent years has forced the need to use new solutions in the field of warehouse management. The main reason for the changes being introduced is the optimization of the time of completing warehouse operations while reducing costs. This forces the reorganization of warehouses, warehouse operations and the introduction of modern equipment and devices used during the storage process. To ensure high efficiency and reduction of costs of warehouse processes, appropriate programs and simulation tools are used. The article presents the possibili-

ties and benefits of software for modeling and simulation of processes taking place in warehouses.

Autorzy:

dr inż. Paweł Dobrzański – Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Zakład Informatyki w Zarządzaniu, pd@prz.edu.pl

dr inż. Magdalena Dobrzańska – Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Metod Ilościowych, md@prz.edu.pl

JEL: L63 **DOI:** 10.24136/atest.2018.222

Data zgłoszenia: 2018.05.28 **Data akceptacji:** 2018.06.15