

Jakub Borucki
Politechnika Poznańska



Przemysław Cichuta
Politechnika Poznańska



Paweł Pawlewski
Politechnika Poznańska



Wykorzystanie eksperymentu symulacyjnego do optymalizacji przepływu materiału i kapitału¹

Zgodnie z typową klasyfikacją wyróżnia się trzy typy symulacji [1]:

- symulację procesów dyskretnych, najczęściej używaną, z najlepiej opisaną metodologią i z dużym wsparciem narzędzi informatycznych oferowanych na rynku
- symulację procesów ciągłych – także z dobrze opracowaną metodologią, ale w praktyce rzadziej stosowaną; liczba aplikacji wspomagających symulację procesów ciągłych oferowanych na rynku jest mniejsza, niż w przypadku procesów dyskretnych
- symulację MRP, znaną także jako symulacja „what-if” – może być implementowana praktycznie w każdym systemie ERP; idea tej symulacji polega na analizie wielu wariantów możliwych scenariuszy z wykorzystaniem procedur implementowanych w systemie i z wykorzystaniem danych wprowadzonych do systemu [5].

Charakterystykę wszystkich typów symulacji zawiera praca autorstwa Ricky G. Ingalls [2]. Rozwój technologii informatycznych oraz metodologii symulacji [3], umożliwia aktualnie realizację typu „what-if” poza środowiskiem systemów ERP. Możliwość budowy wielu scenariuszy symulacji i automatyczna ich realizacja staje się cechą wielu programów symulacyjnych dostępnych na rynku. Stwarza to podstawy do poszukiwania rozwiązań optymalnych.

Prezentowana praca omawia możliwość wykorzystania eksperymentu symulacyjno – optymalizacyjnego do budowy strategii dostaw materiałów w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Artykuł jest zorganizowany następująco: w sekcji 2 został sformułowany problem; budowa

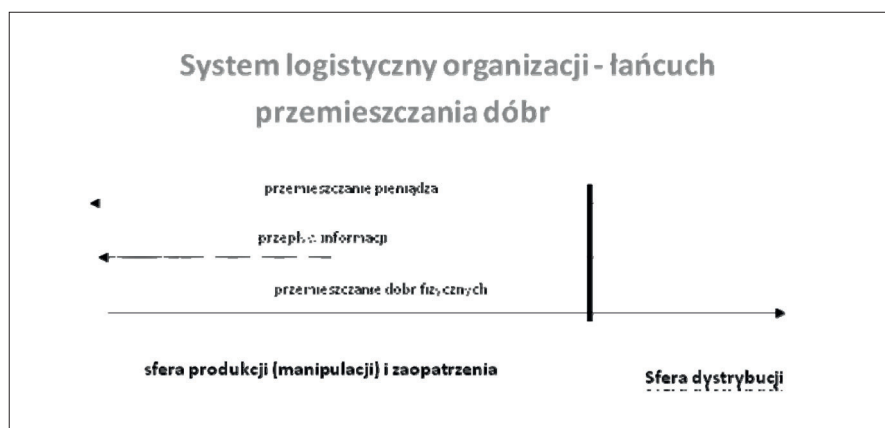
modelu przepływu materiału i kapitału jest przedstawiona w sekcji 3. Sekcja 4 zawiera opis eksperymentu symulacyjno – optymalizacyjnego i jego rezultaty, a końcowe wnioski i plany dalszych prac zostały umieszczone w sekcji 5.

Sformułowanie problemu

Zadaniem zespołu projektowego było usprawnienie procesu dostarczania wyrobów hutniczych do produkcji w dużym przedsiębiorstwie z branży kolejowej.

je zamrożenie dużego kapitału na znaczny okres. Cel analizy był następujący – zdefiniować strategię dostaw tak, aby uzyskać redukcję kosztów magazynowania i nie doprowadzić do zamrożenia kapitału.

Na analizowany proces składają się dwa zasadnicze przepływy – przepływ materiału oraz kapitału. Materiał przepływa od dostawcy, przez magazyn i wydział produkcji, aż do magazynu wyrobów gotowych. Kierunek przepływu kapitału jest

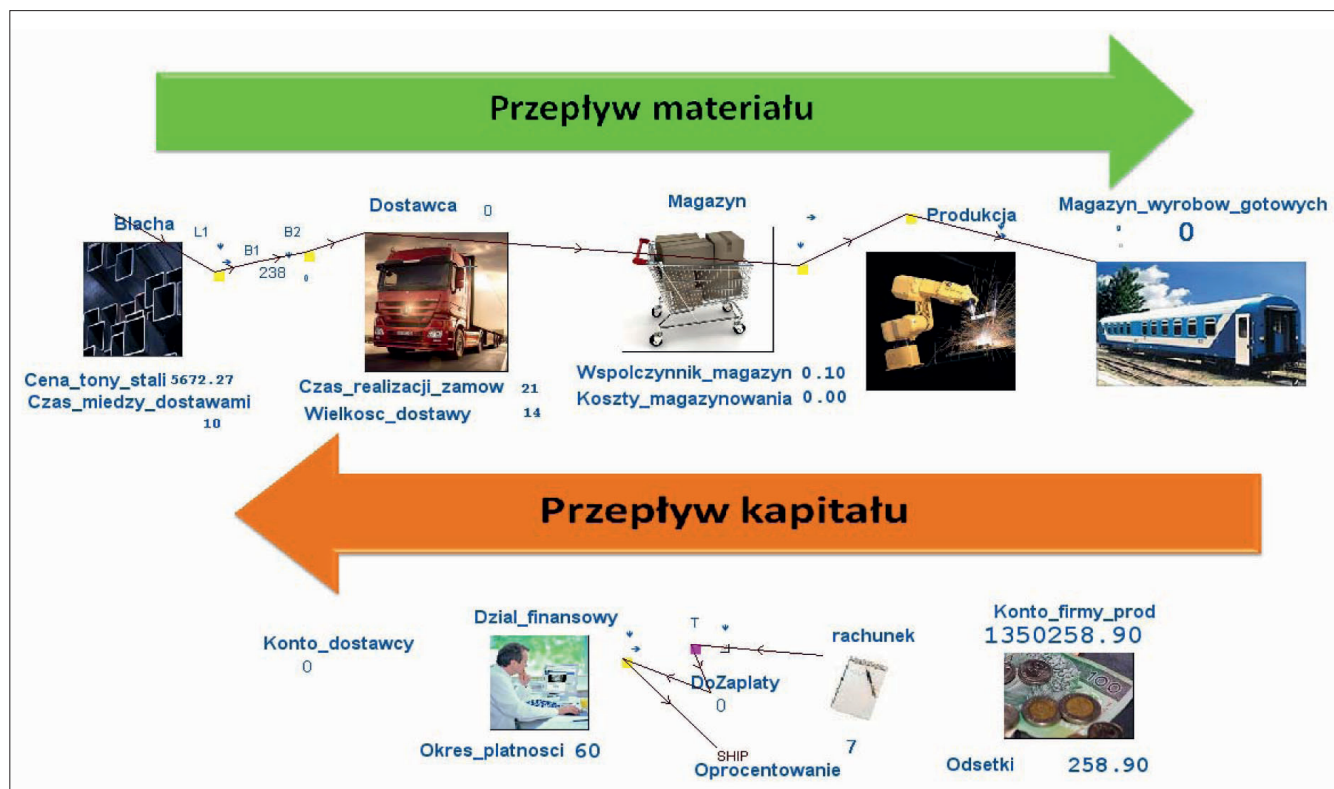


Rys. 1. System logistyczny organizacji – łańcuch przemieszczania dóbr. Źródło [4]

Specyfika tego rynku implikuje wyłącznie produkcję na zamówienie (make to order). Jak dotąd, proces zaopatrzenia przebiegał w bardzo prosty sposób. Zaraz po podpisaniu kontraktu z klientem składano jedno zamówienie na materiały potrzebne do realizacji całego kontraktu. W tym konkretnym przypadku, kontrakt opiewał na 17 produktów, do których wyprodukowania potrzeba łącznie 238 ton blachy. Czas realizacji kontraktu był określony na około 2 lata. Takie rozwiązanie generuje ogromne koszty magazynowania, a dodatkowo powodu-

odwrotny. W momencie wpłynięcia blach do magazynu, generowany jest rachunek, który po czasie równym terminowi płatności jest regulowany i pieniądze przelewane są na konto dostawcy. Taka architektura modelu pozwala w jasny sposób zilustrować zależności między wspomnianymi przepływami. Należało również wziąć pod uwagę cele, o które zabiega przedsiębiorstwo produkcyjne, pierwszy to, aby surowiec był zawsze dostępny na początku procesu produkcyjnego, drugi to redukcja zaangażowanych środków finansowych. Założono również aby

¹ Artykuł jest efektem projektu realizowanego przez zespół studentów III roku Logistyki Politechniki Poznańskiej w roku akademickim 2009/10. Projekt został wyróżniony przez redakcję „Logistyki” i przedstawicieli przedsiębiorstw uczestniczących w projekcie z przedmiotu „Projektowanie Procesów Logistycznych”. Dr inż. P. Pawlewski jest pracownikiem Instytutu Inżynierii Zarządzania na Wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, a J. Borucki i P. Cichuta studentami tej uczelni. Artykuł recenzowany (przyp. red.).



Rys. 2. Model symulacyjny systemu logistycznego badanego przedsiębiorstwa.
Źródło: opracowanie własne.

przedmiotem badań był tylko jeden rodzaj materiału. Pozwoliło to na uproszczenie modelu, jednak z drugiej strony zapewniło pełną realizację projektu, co było istotne ze względu na ograniczenia czasowe. Założono, że opracowane rozwiązanie będzie można rozszerzyć o inne rodzaje materiału.

Model przepływu materiałów i środków finansowych

Klasyczny schemat logistyczny organizacji – łańcuch przemieszczania dóbr – jest przedstawiony na rysunku 1. Schemat ten posłużył jako kanwa do budowy modelu symulacyjnego. Został on zbudowany z następujących elementów:

- obiektów aktywnych
- obiektów pasywnych
- zmiennych.

W obiektach aktywnych można zaprogramować określone czynności, takie jak: przetwarzanie elementów pojedynczo lub w partiach, montaż, a także możliwość pobierania (logika pull) lub wysyłania (logika push) części. Do programowalnych parametrów należą między innymi: wielkość przetwarzanej partii, czas operacji, czas i rozkład awarii. Obiekta-

Tab. 1. Wielkości stałe wykorzystane w eksperymencie.

Nazwa	Wielkość
Cena tony stali	5672,27 PLN
Czas realizacji zamówienia	21 dni
Współczynnik magazynowania	10% wartości składowanego materiału (rocznie)
Okres płatności	60 dni
Oprocentowanie	7% w skali roku (kapitalizacja dzienna)
Zapotrzebowanie na blachę (wynikające z programu produkcji)	238 ton
Czas produkcji karoserii wagonu	10 dni

Tab. 2. Zakresy parametrów wykorzystanych w eksperymencie.

Nazwa	Zakres
Czas między dostawami	10 – 170 dni
Wielkość dostawy	14 – 238 ton (odpowiednio do produkcji) 1 – 17 szt. karoserii wagonu

mi aktywnymi w prezentowanym modelu są: Dostawca, Magazyn, Produkcja oraz Dział finansowy. Obiekty pasywne to części oraz bufor. W tym przypadku częściami są: Blacha oraz Rachunek. Natomiast buforami są: Magazyn wyrobów gotowych oraz DoZapłaty (bufor, w którym przechowywane są rachunki, na okres czasu płatności).

Zmienność i dynamikę modelu obrazują zmienne. Ich wartości zmieniają się pod wpływem poleceń zapisanych jako zdarzenie na wejściu lub na wyjściu elemen-

tów aktywnych i pasywnych. Zmienne mogą także przybierać stałe wartości, definiowane na starcie symulacji.

Rysunek 2 przedstawia graficzną reprezentację modelu symulacyjnego.

Eksperyment symulacyjny – optymalizacyjny

Eksperyment symulacyjny – optymalizacyjny został wykonany w środowisku programu Witness [7]. Funkcjami celu

w przeprowadzonym eksperymencie były (rysunek 2) funkcje obliczające Odsetki (maksymalizacja) oraz Koszty magazynowania (minimalizacja). Wielkość odsetek obrazuje stopień wykorzystania wolnego kapitału. Im ta wartość jest więk-

udało się zredukować o 99%, natomiast zyski płynące z uwolnionego kapitału wzrosły o 94%. Należy mieć świadomość, że przeprowadzone badania dotyczyły stosunkowo wąskiego wycinku działalności przedsiębiorstwa. Przygotowany model

– optymalizacyjnego do budowy strategii dostaw materiałów w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Specyfika rynku implikuje wyłącznie produkcję na zamówienie. Celem analizy było takie zdefiniowanie strategii dostaw, aby można było uzyskać redukcję kosztów magazynowania i nie doprowadzić do zamrożenia kapitału.

Tab. 3. Wielkości optymalizowane.

Nazwa	Wartość przed optymalizacją
Odsetki	22 400 PLN
Koszty magazynowania	30 000 PLN

Tab. 4. Wyniki optymalizacji.

Nazwa	Wartość po optymalizacji	Zmiana
Odsetki	43 500 PLN	Wzrost o 94 %
Koszty magazynowania	370 PLN	Redukcja o 99%

sza, tym mniejszy jest czas zamrożenia kapitału związanego z tworzeniem zapasu. Koszty magazynowania związane są z czasem i ilością składowanego materiału. Tabela 1 zawiera listę wielkości stałych wykorzystanych w eksperymencie.

Parametrami, które wpływają na funkcje celu, których odpowiedni dobór stanowi faktycznie istotę eksperymentów, są: wielkości dostaw oraz czas między dostawami. Są one ze sobą skorelowane, ponieważ dotyczą jednego kontraktu, a produkcja odbywa się w sposób ciągły. Czyli im więcej dostaw, tym krótszy czas między dostawami. Zakresy wartości tych parametrów zawarte są w tabeli 2. Zgodnie z tabelą 2, dla każdego parametru mamy po 17 możliwości (krok: czas między dostawami – 10 dni, wielkość dostawy – 14 ton). W tym przypadku ilość kombinacji wynosi $17^2 = 289$ kombinacji.

Tabela 3 zawiera wartości przed optymalizacją, natomiast w tabeli 4 zawarto wyniki optymalizacji. Efektem przeprowadzonych eksperymentów jest propozycja przyjęcia strategii dostaw na poziomie 14 ton, realizowanej co 10 dni. Rozwiązanie to zapewnia największą wartość odsetek oraz najmniejsze koszty magazynowania.

Wnioski

Wyniki optymalizacji potwierdziły przypuszczenia, które w tym modelu można było przyjąć. Jednak wielkość możliwych oszczędności jest pewnym zaskoczeniem. W ciągu 250 dni (taki był założony czas symulacji) koszty magazynowania

jest jednak na tyle uniwersalny, że można go rozszerzyć o inne, następane rodzaje materiału. Wzrosnie wtedy liczba zmiennych i ich zakresów. Prowadzi to do eksplozji liczby możliwych kombinacji do przeanalizowania. Klasyczne metody analityczne mogą się wtedy okazać niewystarczające. Dla 15 parametrów, z których każdy może przyjąć na przykład 5 wartości, uzyskujemy 5^{15} lub 30,517,578,125 kombinacji. Metody oferowane w programach optymalizacyjnych, wykorzystujących symulację, potrzebują do wykonania w takim przypadku 25 000 eksperymentów [6].

Autorzy planują w najbliższym czasie rozbudowę modelu o inne rodzaje materiału, tak, aby pokryć cały asortyment dostaw badanego przedsiębiorstwa. Jednocześnie prace będą zmierzały w kierunku zbudowania modelu ogólnego, umożliwiającego zastosowanie proponowanego rozwiązania w różnego typu przedsiębiorstwach.

Podziękowania

Autorzy artykułu dziękują Panu Pawłowi Nowakowskiemu z AMC Polska, przedstawicielowi Lanner Group, za udostępnienie oprogramowania Witness do realizacji projektu i za wsparcie merytoryczne oraz przedstawicielom badanego przedsiębiorstwa za umożliwienie przeprowadzenia projektu.

Streszczenie

Artykuł przedstawia przypadek wykorzystania eksperymentu symulacyjno

W artykule przedstawiono sposób budowy modelu symulacyjnego przepływu materiału i kapitału. Zawarty jest również opis eksperymentu symulacyjnego – optymalizacyjnego oraz jego rezultaty. Artykuł kończy się wnioskami i planami dalszych prac.

Summary

The paper presents the case of using simulation-optimization experiment in order to build material supply strategy in a factory. The market determines only „make to order” production. Therefore, material supply strategy with storage costs reduction without capital look-up is the goal of analysis. The paper presents the simulation model of material and the capital flow. It contains the description of simulation-optimization experiment as well as its results. Finally, the conclusions and prospects for future works are shown.

LITERATURA

1. Fertsch M., Pawlewski P. Changes simulation in the organization of production – case study, [w:] Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds.
2. Ingalls, R. G. 2008. Introduction to simulation. In Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, ed. S. J. Mason, R. R. Hill, L. Monch, O. Rose, T. Jefferson and J. W. Fowler, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3. Pawlewski P. Technologie informatyczne w symulacji procesów logistycznych, „Logistyka” nr 1/2010.
4. Podstawy Logistyki, Praca Zbiorowa, ILiM Poznań 2001.
5. Wight O. W. 1984. Manufacturing Resource Planning: MRP II, revised edition, Oliver Wight Limited Publications, Inc., Essex, Junction, VT.
6. WITNESS Optimizer Training Course Notes, Lanner Group 2010.
7. www.lanner.com (data dostępu: 10.03.2010).