

Marcin Kowalik ¹⁾, Joanna Baran ²⁾

¹⁾ DSV

²⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Zastosowanie symulacji Monte Carlo do zarządzania zapasami

Wprowadzenie

Podstawową przyczyną utrzymywania zapasów w przedsiębiorstwie jest chęć zapewnienia założonego poziomu obsługi klientów zewnętrznych (dostępności produktów) w kontekście zmian popytu oraz klientów wewnętrznych (zapewnienie ciągłości procesu produkcji) przy uwzględnieniu zmiennego zapotrzebowania na materiały/surowce [1]. Właściwe gospodarowanie zapasami jest bardzo istotne dla przedsiębiorstwa, ponieważ zapasy z jednej strony są źródłem kosztów, a z drugiej warunkują zapewnienie wysokiego poziomu obsługi klienta [2]. Ważną kwestią staje się, zatem racjonalne sterowanie zapasami przez zarządzających i podejmowanie właściwych decyzji dotyczących określenia poziomu zapasów bezpieczeństwa, wielkości zamawianych partii, momentu składania zamówień, systemów kontroli zapasów, czyli ogólnie biorąc doboru właściwych metod starowania zapasami.

W literaturze dotyczącej zarządzania zapasami często omawiane są dwa klasyczne modele sterowania zapasami. Pierwszy z nich to **model stałego poziomu (punktu) zamawiania**, który polega na wyznaczeniu stałego punktu składania zamówień i stałej wielkości dostaw (zakupu). Jednym z podstawowych założeń tego modelu jest konieczność ciągłego kontrolowania stanu zapasów i składania zamówień, kiedy zapasy spadną poniżej określonego poziomu. Ten poziom nazywany jest punktem informacyjnym (*PI*) i jest on wyliczany, jako suma średniego popytu obserwowanego w cyklu uzupełnienia zapasu oraz zapasu bezpieczeństwa [3]:

$$PI = P_{sr} \cdot T_{sr} + ZB \quad (1)$$

gdzie:

P_{sr} – średni popyt w badanym okresie,

T_{sr} – średni czas cyklu uzupełniania zapasu,

ZB – zapas bezpieczeństwa.

W modelu stałego punktu zamawiania – zamówienia na towary składane są w stałej wielkości, która może być określona, jako ekonomiczna wielkość zamówienia (*EWZ*). Poprawne wyznaczenie ekonomicznej wielkości zamówienia gwarantuje utrzymanie łącznych kosztów uzupełnienia i utrzymania zapasów na możliwie najniższym poziomie. Ekonomiczną wielkość zamówienia obliczamy zgodnie z wzorem [4]:

$$EWZ = \sqrt{\frac{2 \cdot P_o \cdot K_{uj}}{K_{uj}}} \quad (2)$$

gdzie:

K_{uj} - koszt zamówienia i przyjęcia jednej dostawy,

K_{uj} - roczny koszt utrzymania jednego produktu w zapasie,

P_o – prognozowany roczny popyt.

Kolejną klasyczną metodą uzupełniania zapasów to **model stałego cyklu zamawiania**. Model ten zakłada okresowe przeglądy zapasów i uzupełnienie ich do maksymalnego poziomu. Stosowany jest głównie w sytuacji braku możliwości składania zamówień w dowolnej chwili lub w przypadku trudności z określaniem dokładnej ilości zapasu w czasie rzeczywistym. Do ustalenia optymalnej liczby dostaw (O_{LD}) wykorzystywana jest ekonomiczna wielkość zamówienia:

$$O_{LD} = \frac{P_o}{EWZ} \quad (3)$$

Zamówienia składane są w dniu przeglądu zapasu. Wielkość zamówienia wyznaczana jest, jako różnica zapasu maksymalnego (Z_{max}) i zapasu dostępnego na magazynie. Przy ustalaniu wielkości zapasu dostępnego uwzględnia się również wielkość wcześniej złożonych zamówień do dostawcy oraz towar zarezerwowany przez klientów [4].

$$Z_{max} = P_{sr} \cdot (T_{sr} + T_p) + ZB \quad (4)$$

gdzie:

P_{sr} – średni popyt w badanym okresie,

T_{sr} – średni czas cyklu uzupełniania zapasu,

T_p – czas przeglądu okresowego,

ZB – zapas bezpieczeństwa.

Istnieje kilka metod sterowania zapasami będących syntezą lub kombinacją dwóch wyżej opisanych modeli. Jednym z takich modeli jest **model s,S** (inaczej minimum-maksimum). Charakteryzuje się on sprawdzaniem poziomu zapasów po każdym wydaniu towaru i w przypadku osiągnięcia stanu poniżej punktu informacyjnego uzupełnianiem go do poziomu maksymalnego. Zapas maksymalny w miarę możliwości powinien być ustalony na takim poziomie, aby zamawiane partie towarów były ilościowo zbliżone do EWZ [6]. Zastosowanie tego modelu możliwe jest w sytuacjach, kiedy zapewniony jest stały dostęp do informacji o stanach magazynowych oraz możliwe jest składanie zamówień z różną częstotliwością i zmienną wielkością partii dostawy [5].

Każda z metod zaopatrzenia ma swoje wady i zalety (tabela 1), dlatego trudno jednoznacznie stwierdzić, który model najlepiej sprawdzi się w danym przedsiębiorstwie. Warto, zatem aby osoby decydujące o polityce zakupów, systemach zaopatrzenia, wielkości i częstotliwości dostaw korzystały z takich narzędzi, które pozwolą przewidzieć, jakie skutki wywoła adaptacja konkretnego rozwiązania w przedsiębiorstwie. Pomocne w tym względzie są symulacje, które umożliwiają eksperymentowanie na modelu, co pozwala uniknąć kosztownych doświadczeń bezpośrednio w przedsiębiorstwie [6].

Celem niniejszego artykułu jest zastosowanie symulacji metodą Monte Carlo do określenia rezultatów różnych modeli zarządzania zapasami na przykładzie przedsiębiorstwa działającego w branży armatury łazienkowej.

Tabela 1. Wady i zalety wybranych modeli zarządzania zapasami

System sterowania zapasami	Zalety systemu sterowania zapasami	Wady systemu sterowania zapasami
Metoda stałego punktu zamawiania	<ul style="list-style-type: none"> • Umożliwia utrzymanie wysokiej rotacji zapasu • Pozwala na obniżenie poziomu zapasu bezpieczeństwa • Stwarza możliwość indywidualnego podejścia do różnych zapasów • Wykorzystuje Ekonomiczną Wielkość Zamówienia 	<ul style="list-style-type: none"> • Trudna do zastosowania przypadku zarządzania zapasami grup asortymentowych • Niemożliwa do zastosowania w przypadku cyklicznych dostaw • Konieczne jest ciągłe śledzenie poziomu zapasów (pracochłonna, czasochłonna)
Metoda stałego cyklu zamawiania	<ul style="list-style-type: none"> • Brak konieczności ciągłego śledzenia stanów magazynowych i łatwość stosowania • Możliwość łączenia zamówień na różne artykuły od jednego dostawcy 	<ul style="list-style-type: none"> • Wymaga utrzymywania wysokiego poziomu zapasu bezpieczeństwa • Wysokie ryzyko braku zapasu, jeśli wystąpi ponadnormatywne zużycie/popyt • Brak możliwości wykorzystania Ekonomicznej Wielkości Zamówienia
Metoda s, S (minimum-maksimum)	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zastosowania zmiennej wielkości zamówień pozwala na lepszą reakcję na bieżący stan zapasu i zapewnia większą równomierność dostaw 	<ul style="list-style-type: none"> • Niemożliwa do zastosowania przy stałych wielkościach dostaw

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

Metoda badań

Wybierając obiekt do badań zastosowano metodę doboru celowego. Materiałem źródłowym do badań były dane z systemu SAP przedsiębiorstwa prowadzącego działalność w branży armatury łazienkowej i ceramiki sanitarnej.

Do określenia efektów sterowania zapasami w badanym przedsiębiorstwie wykorzystano symulację, czyli naśladowanie procesu rzeczywistego za pomocą modelu. Zastosowana symulacja metodą Monte Carlo bazuje na wykorzystaniu liczb losowych [7]. Pierwszym etapem symulacji jest opisanie systemu zaopatrzenia oraz wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych wartości popytu lub sprzedaży produktów. Opisanie systemu polega na określeniu wszystkich parametrów danego modelu sterowania zapasami tj. poziom informacyjny lub zapas maksymalny, ekonomiczna wielkość zamówienia, długość cyklu realizacji dostaw itp.

Kolejny etap polega na obliczeniu skumulowanego rozkładu prawdopodobieństwa popytu (sprzedaży) oraz przypisaniu przedziałów liczb losowych odpowiadających poszczególnym wielkościom zbytu (tabela 2).

Etap trzeci polega na wygenerowaniu liczb losowych (z zakresu 0-100) pozwalających na wyznaczenie wielkości popytu (sprzedaży) w poszczególnych przyszłych okresach. Liczby losowe mogą zostać odczytane z tablic lub wygenerowane komputerowo, na przykład przy użyciu funkcji programu Microsoft Excel. Następnie zależnie od wartości wylosowanej liczby zostaje jej przypisana wartość popytu lub sprzedaży wyznaczona według przedziałów liczbowych określonych w poprzednim etapie. Na podstawie określonych w ten sposób wartości zbytu dla poszczególnych okresów przeprowadzana jest symulacja procesów zaopatrzeniowych.

W ostatni etapie wybiera się kryterium, które będzie postawą do porównania różnych metod zarządzania zapasami. Takim kryterium może być np. funkcja zysku $F(z)$, na którą składają się przychody ze sprzedaży pomniejszone o koszty uzupełniania, utrzymania i braku w zapasie [7].

$$F(z) = P_{sr} \cdot (m - K_{uj}) - S_{sr} \cdot c - Lbo \cdot K_{bj} \quad (5)$$

gdzie:

P_{sr} – średni popyt w badanym okresie,

m – marża uzyskana ze sprzedaży jednego produktu,

K_{uj} – jednostkowy koszt uzupełnienia pozycji asortymentowej,

S_{sr} – przeciętny stan zapasów,

c - koszt utrzymania jednostki magazynowej,

Lbo – całkowita liczba braków w danym okresie,

K_{bj} – koszt wystąpienia braku w jednym cyklu uzupełnienia.

Oprócz funkcji zysku można przeanalizować inne mierniki takie jak np. uzyskany poziom obsługi klienta, prawdopodobieństwo wystąpienia zapasu nadmiernego lub wskaźnik rotacji zapasów. Zaleca się wybranie od trzech do sześciu kryteriów. Powinny one być kombinacją wskaźników finansowych oraz niefinansowych oraz nie być ze sobą skorelowane [3]. Ostatnim etapem analizy jest ocena stabilności procesu. Wykonuje się ją w oparciu o obserwację procesu symulacji i wahań mierników oceny modelu [7].

Wyniki badań

Bazując na danych przedsiębiorstwa X przeprowadzono symulację zarządzania zapasami dla jednego wybranego produktu - baterii łazienkowej (BŁ) a okres symulacji obejmował sto kolejnych miesięcy. Zarządzanie zapasami wyżej wymienionego produktu zostało poddane pogłębionej analizie ze względu na wyniki analizy ABC i XYZ. Bateria łazienkowa (BŁ) znalazła się w grupie AX, co oznacza, że charakteryzowała się wysokim udziałem w sprzedaży ogółem oraz niskim współczynnikiem zmienności.

Symulację zarządzania zapasami przeprowadzono według wcześniej omówionych etapów dla 3 różnych modeli: stałego punktu zamawiania, stałego cyklu zamawiania oraz modelu s,S (min-max). Wspólnym elementem dla wszystkich analizowanych modeli był rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia popytu oraz wyznaczone na jego podstawie skumulowane wartości dla poszczególnych wielkości popytu. Na tej podstawie utworzono przedziały liczb losowych, do których przypisane zostały poszczególne wielkości sprzedaży (tabela 2).

Tabela 2. Przedziały liczbowe i przypisane do nich wielkości popytu wykorzystane w metodzie Monte Carlo

Wielkość sprzedaży	Liczba wystąpień danej sprzedaży w badanym okresie	Prawdopodobieństwo wystąpienia sprzedaży	Skumulowane prawdopodobieństwo	Przedziały liczb losowych
0	3	0,13	0,13	0-12
1	5	0,21	0,34	13-33
2	4	0,17	0,50	34-49
3	7	0,29	0,79	50-78
4	3	0,13	0,92	79-91
6	2	0,08	1,00	92-99

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7, 8]

W kolejnym etapie badań wygenerowano liczby losowe dla modeli oraz przypisano im odpowiednie wielkości popytu według przedziałów liczbowych z tabeli 2 [8]. Następnie przeprowadzono symulacje wszystkich modeli zarządzania zapasami. Symulacje przeprowadzono na tym samym zestawie liczb, co pozwoliło na późniejsze porównanie rezultatów.

Po przeprowadzeniu symulacji zestawiono efekty związane z zastosowaniem poszczególnych modeli sterowania zapasami (tabela 3). Porównania modeli dokonano w oparciu o następujące kryteria:

- poziom obsługi klienta wyrażony, jako stopień ilościowej realizacji popytu SIR według wzoru:

$$SIR = \frac{Po - Lbo}{Po} \quad (6)$$

gdzie:

Po – całkowity popyt w danym okresie

Lbo – całkowita liczba braków w danym okresie

- zysk wyznaczony poprzez wartość funkcji $F(z)$ (wzór 5),
- współczynnik rotacji zapasu Wr obliczony, jako: $Wr = \frac{P}{S_{sr}}$ (7)

gdzie:

P – roczny ilościowy obrót przedsiębiorstwa

S_{sr} – przeciętny stan zapasów

- koszty zapasów (utrzymania, uzupełnienia, braku).

Dzięki zastosowaniu metody Monte Carlo osoby zarządzające zapasami w przedsiębiorstwie X na podstawie uzyskanych wyników (tabela 3) mogą przypuszczać, że zastosowanie metody stałego punktu zamawiania dla wybranego produktu (baterii łazienkowej BŁ) będzie skutkowało najniższymi kosztami utrzymania zapasów i najwyższym poziomem rotacji zapasów. Z kolei zastosowanie modelu s,S pozwoli na utrzymanie niskich kosztów uzupełniania zapasu, najniższych kosztów braku zapasów a z drugiej strony pozwoli zapewnić najwyższe zyski i poziom obsługi klienta. Model stałego cyklu zamawiania nie uzyskał przewagi w zakresie żadnego z analizowanych kryteriów. W zależności od preferencji decydenta i przyjętej w przedsiębiorstwie strategii można podjąć decyzję, który z modeli zarządzania zapasami najlepiej spełnia oczekiwania interesariuszy i warto wdrożyć go w praktyce.

Tabela 3. Rezultaty uzyskane w wyniku symulacji metodą Monte Carlo modelu stałego punktu zamawiania, stałego cyklu zamawiania i modelu s,S.

Wyszczególnienie	Stały punkt zamawiania	Stały cykl zamawiania	Model s,S
Przychody ze sprzedaży	51084,00 zł	51084,00 zł	51084,00 zł
Koszt uzupełniania zapasu	462,36 zł	493,88 zł	336,26 zł
Koszt utrzymania zapasu	866,09 zł	1643,74 zł	1141,44 zł
Koszt braku zapasu	866,25 zł	371,25 zł	247,50 zł
Zysk	48889,30 zł	48575,13 zł	49358,80 zł
Poziom obsługi popytu (klienta)	94,57%	97,67%	98,45%
Współczynnik rotacji zapasu	6	3,1	4,5

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

W warunkach gospodarki rynkowej niewłaściwe zarządzanie zapasami w przedsiębiorstwie może stać się źródłem wielu problemów a nawet prowadzić do bankructwa, z kolei skuteczna logistyka zakupów może stać się źródłem przewagi konkurencyjnej. Dlatego coraz częściej pojawiają się strategie i koncepcje takie jak Material Requirement Planning, Just in Time, Quick Response, które w istotny sposób pozwalają zredukować poziom utrzymywanych zapasów. Mimo wdrażania tych nowych koncepcji nie wydaje się, aby możliwym było całkowite zlikwidowanie zapasów. Większość przedsiębiorstw ze względu na specyfikę branży (sezonowość produktów, zasięg rynków zaopatrzenia i zbytu itp.) i chęć zaspokojenia wymagań klientów musi utrzymywać zapasy i właściwie nimi sterować. Zarządzający zapasami powinni, zatem wyposażyć się w takie narzędzia, które pozwolą im lepiej przewidywać rzeczywiste zapotrzebowanie na zapasy jak również wnioskować o skuteczności i efektywności stosowanych metod zarządzania zapasami. Narzędziem spełniającym powyższe wymagania może być model symulacji Monte Carlo.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano zastosowanie symulacji metodą Monte Carlo do wyboru metody sterowania zapasami w przedsiębiorstwie działającym w branży armatury łazienkowej i ceramiki sanitarnej. Porównanie wyników symulacji różnych metod zaopatrzenia w zapasy pozwoliło na wskazanie optymalnego sposobu zarządzania zapasami pod względem poziomu obsługi klienta, rotacji zapasów i kosztów zapasów.

Application of Monte Carlo simulation for inventory management

Summary

The main goal of this article was to select the best inventory management model for a company acting in the field of bathroom fittings and sanitary ware based on the Monte Carlo method. Comparison of simulation results of various methods of inventory management allowed indicating the optimal inventory management method in terms of customer service level, stock rotation and inventory costs.

Literatura

- [1] Baran J., Maciejczak M., Pietrzak M., Rokicki T., Wicki L.: *Logistyka - wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2008.
- [2] Kisperska-Moroń D., Krzyżaniak S., *Logistyka*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2009.
- [3] Lewis C., *Inventory Control*, Palgrave, New York 2001.
- [4] Krzyżaniak S., *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2005.
- [5] Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
- [6] Krzyżaniak S., Cyplik P., *Zapasy i magazynowanie*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2007.
- [7] Sarjusz-Wolski Z., *Zakupy z Excelem bez tajemnic*, Wydawnictwo Studio Emka, Warszawa 2009.
- [8] Sarjusz-Wolski Z., *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.