

MODELOWANIE PROCESU ZARZĄDZANIA ZAPASAMI W WARUNKACH NIECIĄGŁOŚCI POPYTU

MODELLING OF INVENTORY MANAGEMENT PROCESS IN THE CONDITIONS OF DEMAND DISCONTINUITY

Paweł ŚLASKI

pawel.slaski@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Logistyki
Instytut Logistyki

Streszczenie: Artykuł przedstawia modelowanie procesu zarządzania zapasami w warunkach nieciągłości popytu. Metoda optymalizacji Silvera - Meala została wykorzystana do opracowania modelu procesu. W rezultacie optymalne ilości dostaw zostały określone z punktu widzenia minimalizacji kosztów tworzenia i utrzymywania zapasów.

Abstract: The article presents modelling of inventory management process in the conditions of demand discontinuity. The optimization method of Silver - Meal was used to develop the process model. As a result, optimal delivery quantities were determined from the point of view of minimizing the costs of creating and maintaining inventories.

Słowa kluczowe: zarządzanie zapasami, nieciągłość popytu

Key words: inventory management, demand discontinuity

1. WPROWADZENIE

Zarządzanie zapasami wg optymalnych wielkości zamówień jest charakterystyczne dla popytu o charakterze ciągłym, tzn. powtarzalnego w kolejnych cyklach uzupełniania oraz stacjonarnego, czyli niewykazującego zbyt dużych odchyłeń od wielkości średniej. W przypadku, gdy popyt waha się w sposób istotny, osiągając w skrajnych przypadkach poziom zerowy, tzw. nieciągłość popytu, dostawy wg reguły ekonomicznej powodują powstanie zapasów nadmiernych i z tym związanych wysokich kosztów utrzymania.

Modelowanie procesu zarządzania zapasami w warunkach nieciągłości popytu związane jest z analizą kosztów zapasów i wyborem optymalnej decyzji z nimi związanej. Kluczowa jest przy tym odpowiedź na pytanie:

Czy korzystniej zamawiać towar w krótszych okresach na pokrycie popytu czy też zamawiać z góry na kilka okresów utrzymując zapasy magazynowe i ponosząc tym samym koszty związane z gospodarką magazynową?

W opracowanym modelu analizie poddane zostały następujące rodzaje kosztów zapasów (Waściński, Zieliński, 2014):

1. Koszty zamówienia (tworzenia) zapasów.
2. Koszty utrzymania zapasów.

Koszty zamówienia (tworzenia) k_{zam} dzielą się na stałe i zmienne:

Stale to:

- koszty działu zaopatrzenia (wynagrodzenia, użytkowanie pomieszczeń, zużycie prądu, materiałów biurowych).

Zmienne to:

- koszty składania zamówień,
- koszty specjalne (np. jakościowego przyjęcia towaru do magazynu, badań laboratoryjnych).

Praktycznie jednostkowy koszt zamówienia oblicza się jako iloraz sumy kosztów działu zaopatrzenia przez liczbę zamówień wygenerowanych w ciągu roku, natomiast roczny koszt zamówienia, jako iloczyn ilości dostaw w ciągu roku i jednostkowego kosztu zamówienia (1) (Krzyżaniak, 2002; Andrzejczak, Zając, 2010):

$$Rk_{zam} = n \cdot k_{zam} = \frac{P}{Q} \cdot k_{zam} \quad (1)$$

Gdzie:

P – popyt roczny,

K_{zam} – jednostkowy koszt zamówienia,

K_u – jednostkowy koszt utrzymania zapasu,

n – liczba dostaw w skali roku.

Koszty utrzymania zapasów dzielą się również na stałe i zmienne:

Stale to:

- amortyzacja budowli magazynowych, jego wyposażenia,
- koszt personelu magazynowego.

Zmienne to:

- kapitałowe,
- obsługi,
- magazynowe,
- ryzyka.

Praktycznie jednostkowy koszt utrzymania zapasów oblicza się ze wzoru (2):

$$k_u = c \cdot u_r \quad (2)$$

Natomiast roczny koszt utrzymania zapasu określa się wzorem (3):

$$Rk_u = \frac{Q}{2} \cdot k_u \quad (3)$$

Gdzie:

c – cena zakupu jednostki towaru,

u_r – współczynnik rocznego kosztu utrzymania zapasu,

$\frac{Q}{2}$ – średnia wielkość zapasu.

W przypadku dużych wahań i nieciągłości popytu stosuje się dwie metody związane z optymalizacją wielostadialną:

- Wagnera – Withina,
- Silvera – Meala.

Cechy obu metod zestawione są w tabeli 1.

Rozwiązanie problemu Wagnera – Withina opiera się o podstawową zasadę:

Jeżeli potrzeby w okresie t są tak duże, że zachodzi nierówność (4):

$$y_t \cdot k_{u,m} > k_{zam} \quad (4)$$

Czyli:

$$y_t > \frac{k_{zam}}{k_{u,m}} = WG \text{ (wielkość graniczna)} \quad (4')$$

Wówczas rozwiązaniem optymalnym będzie zakup tej ilości y_t na początku danego okresu planowanego t .

Za kryterium optymalności metody Silvera – Meala jej twórcy przyjęli łączne koszty zapasów na ustaloną jednostkę czasu (np. miesiąc) dla rozpatrywanego horyzontu (T). Gdyby np. jednorazowa dostawa nadeszła na początku $t=1$, pokrywając popyt do okresu T włącznie, to funkcja kryterium przyjęłaby postać (5):

$$\text{ŁKZT}(T) = \frac{K_{zam} + \text{ŁK}_U(T)}{T} \quad (5)$$

Podobnie jak w metodzie Wagnera – Withina przyjmuje się, że koszty utrzymania zapasów są liczone dla tego zapasu, który przejdzie na następny okres. Według metody Silvera – Meala obliczenia $\text{ŁKZT}(T)$ prowadzi się do momentu, gdy zostanie znalezione takie $\text{ŁKZT}(T)$ dla którego po raz pierwszy wystąpi nierówność (6):

$$\text{ŁKZT}(T + 1) > \text{ŁKZT}(T) \quad (6)$$

oznaczająca, że łączne koszty zapasów na jednostkę czasu zaczynają rosnać. Wówczas zamówienia dokonuje się wg formuły (Sarjusz – Wolski, 2000; Lang, 2010) (7):

$$WZ = \sum_{t=1}^T y_t \quad (7)$$

Gdzie:

y_t – wielkość dostawy w okresie t

$k_{u,m}$ – koszty utrzymania zapasów w miesiącu
 k_{zam} – koszty zamawiania (tworzenia) zapasów
 $\text{ŁKZT}(T)$ – łączne koszty zapasów na jednostkę czasu T
WZ – wielkość zamówienia

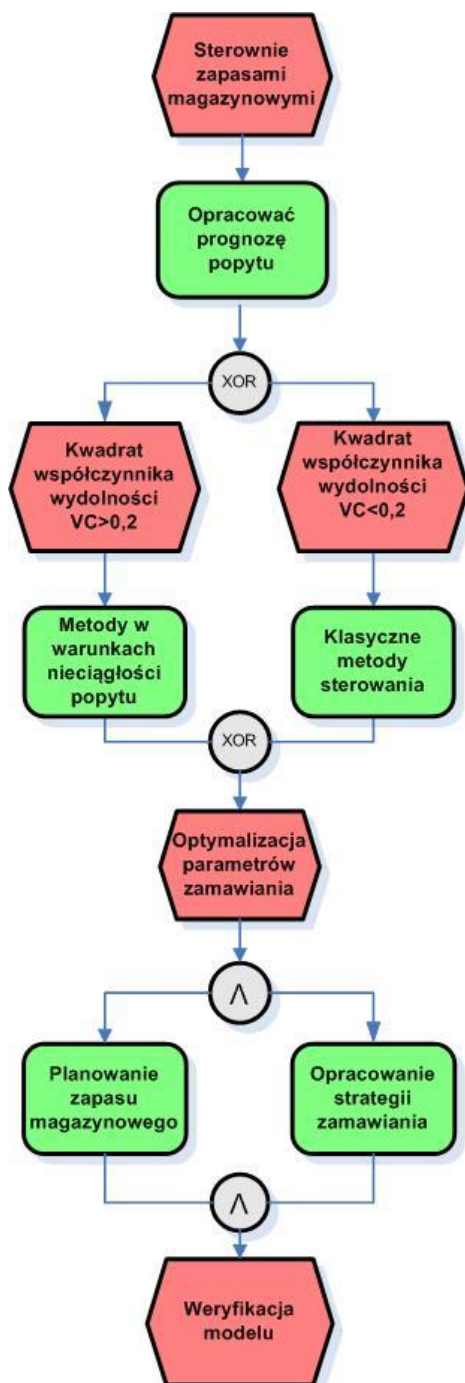
Tabela 1. Cechy metod zamawiania w warunkach nieciągłości popytu

Lp.	Cecha	Wagnera–Withina	Silvera–Meala
1.	Założenie empiryczne	<p>Jeżeli zachodzi nierówność:</p> $y_t > \frac{k_{zam}}{k_{u,m}} = WG \text{ (wielkość graniczna)}$ <p>wówczas optymalną dostawą będzie wielkość y_t dostarczona na początku planowanego okresu t.</p>	<p>Jeżeli łączne koszty zapasu ŁKZ zaczynają rosnąć:</p> $\text{ŁKZT}(T + 1) > \text{ŁKZT}(T)$ <p>wówczas zamówienia dokonuje się w wielkości:</p> $WZ = \sum_{t=1}^T y_t$
2.	Ograniczenia	<p>Koszty zamawiania i utrzymania zapasów są stałe w roku budżetowym; Koszt utrzymania zapasu dotyczy wyłącznie tej ilości zapasów, która pozostanie na koniec okresu t (tzn. będzie stanowił zapas początkowy w okresie $t+1$); Zamówienie jest wystawiane wówczas, gdy poziom zapasu na koniec danego okresu osiągnie poziom zerowy.</p>	<p>Koszty zamawiania i utrzymania zapasów są stałe w roku budżetowym; Koszt utrzymania zapasu dotyczy wyłącznie tej ilości zapasów, która pozostanie na koniec okresu t (tzn. będzie stanowił zapas początkowy w okresie $t+1$); Zamówienie jest wystawiane wówczas, gdy poziom zapasu na koniec danego okresu osiągnie poziom zerowy.</p>
3.	Cel	<p>Minimalizacja łącznych kosztów zapasów:</p> $\text{ŁKZ} \rightarrow \min$	<p>Minimalizacja łącznych kosztów zapasów:</p> $\text{ŁKZ} \rightarrow \min$

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Zdzisław Sarjusz – Wolski, Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie, PWE, Warszawa 2000. S. 194-198; J. Ch. Lang, *Production and Inventory Management with Substitutions*, Springer, Verlag, Heidelberg, Berlin, 2010, s.33-36.

2. ZAŁOŻENIA I OGRANICZENIA MODELU

Założenia i ograniczenia modelu wynikają głównie z analizy profilu popytu danych historycznych, a także od wielkości kwadratu współczynnika zmienności, $VC = \left(\frac{\delta}{\bar{s}}\right)^2$. Jeśli VC jest większy od 0,2 wówczas popyt charakteryzuje się nieciągłością. W przypadku, gdy VC jest mniejszy od 0,2, stosuje się klasyczne teoretyczne metody zamawiania dla tzw. popytu stacjonarnego, charakteryzującego się nieznacznymi wahaniami (rys.1).



Rys. 1. Diagram EPC stosowania metod sterowania zapasami
Opracowanie własne na podstawie (Aris 6, 2003).

3. STRUKTURA MODELU

Model zarządzania zapasami w warunkach nieciągłości popytu wymaga postawienia następującego problemu badawczego:

Jak określić optymalne wielkości dostaw, aby zabezpieczyć potrzeby klienta oraz minimalizować koszty zapasów ?

Struktura modelu obejmuje cztery etapy:

- Analizę danych wejściowych,
- Obliczenie skumulowanych kosztów zapasów,
- Obliczenie kosztów zapasów na jednostkę czasu,
- Wyznaczenie optymalnych dostaw (Ślaski, 2017).

Tabela 2 przedstawia pierwszy etap aplikacji, tzn. dane początkowe do przeprowadzenia analizy.

Tabela 2. Dane do analizy w warunkach nieciągłości popytu

Miesiące	Kolejny nr miesiąca	Potrzeby w kolejnych miesiącach	Koszty zapasów na jednostkę czasu	Skumulowane koszty zapasów	Koszt zamówienia k zam	koszt utrzymania ku,m
styczeń	1	80			500	2,5
luty	2	300				
marzec	3	70				
kwiecień	4	0				
maj	5	100				
czerwiec	6	0				
lipiec	7	0				
sierpień	8	0				
wrzesień	9	0				
październik	10	0				
listopad	11	120				
grudzień	12	280				

Źródło: opracowanie własne.

Kolejny etap związany jest z obliczeniem skumulowanych kosztów zapasów dla wszystkich horyzontów zamawiania (tab. 3).

Tabela 3. Dane do analizy w warunkach nieciągłości popytu

Miesiące	Kolejny nr miesiąca	Potrzeby w kolejnych miesiącach	Koszty zapasów na jednostkę czasu	Skumulowane koszty zapasów	Koszt zamówienia k zam	koszt utrzymania ku,m
styczeń	1	80		500,00	500	2,5
luty	2	300		1250,00		
marzec	3	70		1600,00		
kwiecień	4	0		1600,00		
maj	5	100		2600,00		
czerwiec	6	0		2600,00		
lipiec	7	0		2600,00		
sierpień	8	0		2600,00		
wrzesień	9	0		2600,00		
październik	10	0		2600,00		
listopad	11	120		5600,00		
grudzień	12	280		13300,00		

Źródło: opracowanie własne.

Średnie miesięczne koszty zapasów (etap 3) wyliczone zostają automatycznie w etapie dotyczącym obliczenia kosztów zapasów na jednostkę czasu (tab. 4).

Tabela 4. Dane do analizy w warunkach nieciągłości popytu

Miesiące	Kolejny nr miesiąca	Potrzeby w kolejnych miesiącach	Koszty zapasów na jednostkę czasu	Skumulowane koszty zapasów	Koszt zamówienia k zam	koszt utrzymania ku,m
styczeń	1	80	500,00	500,00	500	2,5
luty	2	300	625,00	1250,00		
marzec	3	70	533,33	1600,00		
kwiecień	4	0	400,00	1600,00		
maj	5	100	520,00	2600,00		
czerwiec	6	0	433,33	2600,00		
lipiec	7	0	371,43	2600,00		
sierpień	8	0	325,00	2600,00		
wrzesień	9	0	288,89	2600,00		
październik	10	0	260,00	2600,00		
listopad	11	120	509,09	5600,00		
grudzień	12	280	1108,33	13300,00		

Źródło: opracowanie własne.

Przeprowadzona w taki sposób analiza umożliwia wyznaczenie wielkości dostaw, które uwzględniają potrzeby w rozpatrywanym okresie czasu. Pola wyboru przedstawione na

rysunku 2 automatycznie określają optymalne wielkości dostaw, rozwiązując jednocześnie problem badawczy (etap 4).

Dostawy	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostawa 1 80
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostawa 2 370
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostawa 3 100
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostawa 4 120
<input checked="" type="checkbox"/>	Dostawa 5 280

poła wyboru i wielkości optymalnych dostaw

Rys. 2. Optymalne dostawy w warunkach nieciągłości popytu
Źródło: opracowanie własne.

WNIOSKI

Określony profil popytu oraz wyznaczony współczynnik VC wskazują na charakter nieciągły zapasów. W takim przypadku stosowanie klasycznych teoretycznych metod zamawiania może spowodować gromadzenie nadmiernych zapasów lub w przypadku wystąpienia braków w dostawach - obniżenie poziomu obsługi klienta.

Opracowany model wykorzystuje istotę zamawiania towarów w warunkach nieciągłości tzw. metodę Silvera – Meala. W wyniku weryfikacji modelu otrzymano optymalne wielkości dostaw, dla których koszty (zamawiania) tworzenia i utrzymania zapasów są minimalne.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrzejczyk P., Zając J. (2010). *Zapasy i magazynowanie*. Poznań: ILIM.
2. Aris 6. (2003). *Easy Design, Podręcznik użytkownika*. IDS Scheer.
3. Krzyżaniak S. (2002). *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*. Poznań: Biblioteka Logistyka.
4. Lang J. Ch. (2010). *Production and Inventory Management with Substitutions*. Berlin: Springer, Verlag, Heidelberg.
5. Sarjusz – Wolski Z. (2000). *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*. Warszawa: PWE.
6. Ślaski P. (2017). *Zarządzanie zapasami w systemach logistycznych*. Warszawa: WAT.
7. Ślaski, P., Waśniewski, T.R. (2016). Zastosowanie dronów do inwentaryzacji magazynów otwartych wielkopowierzchniowych. *Logistyka w XXI wieku*, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk.
8. Świdorski A., Józwiak A., Jachimowski R.: Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artificial intelligence methods. *Maintenance and reliability* (w trakcie recenzji). ISSN 1507-2711.
9. Świdorski A., Dębicka E., Mitkow Sz., Józwiak A.: Neural modeling applied to the risk assessment in the motor vehicles operation. *Maintenance and reliability* (w trakcie recenzji). ISSN 1507-2711.
10. Rudnik D., Świdorski A., Dębicka E., Ślęzak M.: The quality issue of spare parts for the road transport means. *Manufacturing Technology*. Czech Republic (w druku). The Journal is indexed in the Scopus database by Elsevier. ISSN 1213-2489.
11. Dudkiewicz-Fierek D., Marchlewicz M., Świdorski A. Logistics processes as a factor improving activities of the enterprise. *Systemy Logistyczne Wojsk nr 41*, Warszawa 2014.
12. Świdorski A., Eksploatacyjne aspekty oceny jakości technicznych środków transportu. *Gospodarka materiałowa & logistyka nr 5/2014*, Warszawa 2014.
13. Świdorski A.: Modelowanie oceny jakości usług transportowych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Prace naukowe – transport*, z. 81, Warszawa 2011.
14. Świdorski A., Wybrane zagadnienia oceny jakości środków transportu samochodowego. *Problemy Jakości nr 11/2016*, Warszawa 2016.
15. Waściński T., Zieliński P. (2014), *Struktury całkowitych kosztów logistyki*. Warszawa: Systemy logistyczne wojsk nr 40.

16. Waśniewski, T. R., Ślaski, P., Modelowanie procesu automatycznego rozpoznawania i identyfikowania pojazdów w oparciu o technologię RFID, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, 2018, PWE.
17. Waśniewski, T. R., Ślaski, P., Modelowanie procesu identyfikowalności wyrobów za pomocą technologii RFID, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, 2018, PWE.