

Sławomir Juszczyk

Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstw
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Maria Tymińska

Zakład Zarządzania
UJK w Kielcach, Filia w Piotrkowie Trybunalskim

Sterowanie zapasami materiałowymi firmy – aspekty ekonomiczne i organizacyjne

Wstęp

Procesy globalizacyjne oraz utrzymująca się nadprodukcja nasilają występowanie zakłóceń w przepływie strumieni zasilających procesy gospodarcze w przedsiębiorstwie. Wynika to ze zróżnicowania produktów i coraz krótszego cyklu ich życia, systematycznego wzrostu kosztów dystrybucji, wzrostu kosztów obsługi zapasów, dynamicznego postępu technologicznego itp. Zjawiska te oznaczają dla przedsiębiorstwa nasilającą się zmienność warunków działania, a wraz z nią wzrost niepewności co do szans pomyślnego rozwoju. Wśród kadry menedżerskiej wzrasta świadomość utrzymywania sprawności finansowej przedsiębiorstwa, jako warunku systematycznego rozwoju. Jednym z kluczowych aspektów sprawności finansowej jest skuteczne gospodarowanie zapasami materiałowo-surowcowymi. Skuteczność w tym obszarze oznacza rozwiązywanie zagadnień związanych z utrzymywaniem „rozsądnej” wielkości zapasów [Wolski 2000]. Warto postawić w związku z tym pytanie – jaką wielkość zapasu należy uznać za „rozsadną”?, jaką miarę należy zastosować, aby zmierzyć i ocenić tę „rozsadną” wielkość?

Należy zwrócić także uwagę na wielkość dostaw oraz terminy ich realizacji. Szczególnie jest to istotne w warunkach zmienności rynku, który stwarza ryzyko dla właściwego gospodarowania zapasami, w tym również w sferze finansowania tego odcinka działalności gospodarczej. Problemy natury finansowej w tym zakresie to między innymi obniżenie płynności, zamrożenie kapitału (często znacznego), obciążenie finansowe oraz wpływ tego obciążenia na wynik finansowy firmy. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na niektóre aspekty sterowania zapasami oraz zaprezentowanie metody badań uwzględniającej związek między niepewnością a poziomem zapasów materiałowych.

Przyczyną chęci głębszego rozeznania tej problematyki są zainicjowane badania dotyczące skutków finansowych optymalizacji gospodarki zapasami surowcowymi w przedsiębiorstwach przemysłu dziewiarskiego w województwie łódzkim. Materiałem źródłowym niniejszego artykułu jest literatura zagadnienia w dorobku polskim i międzynarodowym, a także obserwacje własne autorów. Oprócz obserwacji gospodarczych wykorzystano metody matematyczne, elementy działań o charakterze dedukcyjnym i indukcyjnym, przytaczane zaś dane zaprezentowano w formie rysunków i tabel.

Czynnik niepewności a sterowanie zapasami materiałowo-surowcowymi

Sytuacje losowe wynikają z naturalnych uwarunkowań firm, gdzie dostawy materiałowo-surowcowe realizowane są przez różnych dostawców i w różnych cyklach dostaw. Stąd też zapasy kształtują się samorzutnie, co stwarza z jednej strony niepewność w rytmiczności i tym samym w ciągłości procesu produkcji, z drugiej natomiast nadmiernie zgromadzone zapasy są źródłem dodatkowych nieuzasadnionych kosztów wynikających z zamrożenia kapitału, negatywnych skutków jakościowych związanych z utratą właściwości fizyko-chemicznych materiałów na skutek zbyt długiego ich przechowywania, wystąpienia sytuacji losowych powodujących uszkodzenia, nadmierne ubytki, pogorszenie cech jakościowych itp. Z kolei właściwe zsynchronizowanie zapasów materiałowych z wielkością zapotrzebowania produkcyjnego prowadzi do redukcji kosztów, usprawnienia przepływu i tym samym do zwiększenia rentowności przedsiębiorstwa. Dalej – przekłada się na zmniejszenie zapotrzebowania na kapitał zaangażowany w działalność gospodarczej firmy przez obniżkę kosztów, w szczególności w obszarze finansowania [Nowak 1994]. Skutki nieoptymalnej gospodarki zapasami związane są w prostym odniesieniu z utratą korzyści kapitałowych. Zobrazować to można posługując się przykładem typowego podejścia do zagadnienia utrzymywania zapasów w przedsiębiorstwie. Realia dnia codziennego pokazują, iż z powodu braku pełnych informacji (takich jak: wielkość popytu, chłonność rynku, cykl życia produktu, oczekiwania klientów itp.) w magazynach występuje „przetowarowanie” zapasów materiałowo-surowcowych [Duckworth 1960, Gattorna 1994, Goldberg 1990]. Skala tego zjawiska to około 10% całkowitej wartości zapasów. Przedsiębiorca utrzymując zapasy powinien liczyć się z tym, że część jego kapitału – często zbyt duża – jest zamrożona w zapasach. Powoduje to wymierne konsekwencje w aspekcie finansowym.

- Przyjmując, że w firmie OMEGA*:
- średnioroczny poziom zapasów ma wartość 55 mln zł;
 - permanentny poziom „przetowarowania” szacuje się na 10%; daje to kwotę 5,5 mln zł;
 - zakładając alternatywny koszt kapitału równy 14% rocznie;
 - wielkość utraconej korzyści z „przetowarowania” ($5,5 \text{ mln zł} \times 14\%$) = 0,77 mln zł;
 - przy współczynniku prawdopodobieństwa wystąpienia analizowanej sytuacji równym 80% można wyznaczyć ważoną wartość utraconych korzyści: $0,77 \text{ mln zł} \times 80\% = 0,62 \text{ mln zł}$.

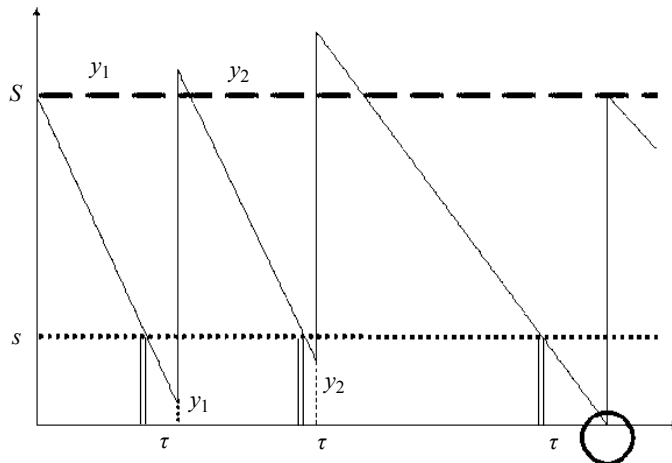
Z przytoczonego przykładu wynika, że zmniejszenie zapasów i uwolnienie tym samym części kapitału w celu zrealizowania innego projektu gospodarczego może być bardzo pożądane.

Potrzeba utrzymywania zapasów materiałowo-surowcowych jest spowodowana nierytmicznością zaopatrzenia w porównaniu z zapotrzebowaniem, tj. popytem produkcyjnym. Nie wnikając w przyczyny tego stanu, mamy do czynienia z ryzykiem niedotrzymania planowanych terminów realizacji zadań produkcyjnych z powodu niedostatecznego zapasu. Oznacza to konieczność uwzględnienia w procesie decyzyjnym związku między niepewnością dostaw na czas a poziomem zapasu. Należy tu zauważyć typowy konflikt celów: czy utrzymywać większy zapas – tym samym wyższy poziom obsługi klienta, ale równocześnie wyższe koszty utrzymania zapasu? Czy też niższe koszty zapasów, ale z kolei obawa przed utratą ciągłości produkcji i kosztami przestoju, utratą klientów itp. Tak sformułowane zagadnienie „dotyka” problemu sterowania zapasami w przedsiębiorstwie oraz ich optymalizacji. Efektywnym narzędziem w procedurze optymalizacyjnej jest model optymalizacyjny, w którym zastosowano dwukryterialną funkcję celu [Tymińska 2007, s. 153]. Zaproponowana koncepcja sprowadza się do:

- wyznaczenia optymalnego poziomu zapasu zabezpieczającego,
- określenia optymalnego cyklu dostaw.

Kryterium celu jest funkcja minimalizująca koszty magazynowania oraz koszty wyczerpania zapasu. Atrybutem optymalności jest nie tylko wielkość kolejnych dostaw, ale też optymalny cykl dostaw, pełne i rytmiczne wykorzystanie zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa, a następnie minimalizacja kosztów zapasów i przestojów. Sterowaniu podlega τ – cykl realizacji zamówienia oraz równocześnie s – zapas zabezpieczający (rys. 1).

*wielkości umowne



Rysunek 1

Kształtowanie się zapasów materiałowych jako funkcji czasu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Tymińska 2007, s. 156 oraz Goddard 1966, s. 226]

W analizie formalnej zagadnienia uwzględnia się:

- S – zapas początkowy materiałów (który jest znany),
- r – jednostajne zużywanie zapasu (w danym cyklu produkcyjnym),
- s – zapas zabezpieczający (który należy wyznaczyć); jest „sygnałem” do odnowienia zapasu początkowego S ,
- τ – czas realizacji zamówienia (jest zmienną losową),
- y_1, y_2, \dots, y_i ($y_i \leq s$) – poziom zapasu materiałów w chwili nadejścia kolejnej dostawy,
- – stan całkowitego wyczerpania zapasu zabezpieczającego (s), przed „nadejściem” kolejnej dostawy ($s/r \geq \tau$); w tym punkcie $y_i = 0$.

W kolejnych cyklach uzupełniających poziom zapasu będzie równo odpowiednio: $s, s + y_1, s + y_2 \dots$ itd. Zmienna s jest parametrem, który wyznacza czas natychmiastowego uzupełnienia zapasu. Poziom s będzie zapasem optymalnym w punkcie, dla którego prawdopodobieństwo wyczerpania zapasu s w czasie cyklu realizacji zamówienia przyjmie zadaną z góry wartość ε .

$$\text{Prawdopodobieństwo to jest równe } P(\tau \geq s/r). \quad (1)$$

$$\text{Z własności dystrybuanty wynika, że } \varepsilon = 1 - F(\tau \leq s/r). \quad (2)$$

Implikuje to następujące pytania:

- jakie będą koszty przestojów w wyniku wyczerpania zapasów materiałowych, dla ustalonego poziomu prawdopodobieństwa ε , oraz
- jaka jest optymalna wielkość „ s^* ”, przy której konieczne jest uzupełnienie zapasów $y(s^*)$,

- jaki powinien być optymalny cykl (τ^*) kolejnych dostaw,
- jakie są całkowite koszty magazynowania (C_i) ponoszone w ciągu i -tego przedziału czasu między kolejnymi dostawami,
- jaki będzie względny dodatkowy koszt wynikający z zabezpieczenia przed wyczerpaniem się zapasu, uwzględniając prawdopodobieństwo (ε)?

Całkowity koszt magazynowania w ciągu i -tego przedziału wyrazić można formułą:

$$\begin{aligned} C_i &= \frac{c}{2r} (S + y(s)_{i-1} + y_i) (S + y(s)_{i-1} - y(s)_i) = \\ &= \frac{c}{2r} (S^2 + 2Sy(s)_{i-1} + y_{i-1}^2 - y_i^2) \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie: c – koszt magazynowania jednostki zapasu w jednostce czasu, pozostałe symbole – jak wcześniej wyjaśniono.

Po nieskończonej liczbie przedziałów czasu $\left(\lim_{i \rightarrow \infty} \frac{S + y(s)_{i-1} - y(s)_i}{r} \right)$ (4)

średni koszt magazynowania jest wartością oczekiwaną $E(C_1)$,

$$\text{tj. } E(C_1) = \frac{c}{2r} [S^2 + 2SE(y)] \quad (5)$$

gdzie:

$E(y)$ – oznacza oczekiwaną wielkość zapasu bezpośrednio przed dostawą partii uzupełniającej, przy czym y może przyjmować wartości:

$$y = \begin{cases} s - r\tau & \text{dla } \tau \leq s/r \\ 0 & \text{dla } \tau > s/r \end{cases}$$

Wobec tego, że $F(s/r) = 1 - \varepsilon$ oraz $\int_0^{s/r} \tau dF(\tau) = E(\tau) - \int_{s/r}^{\infty} \tau dF(\tau)$

$$\text{Ostatecznie będzie}^1: E(y) = s - rE(\tau) + \left(r \int_{s/r}^{\infty} \tau dF(s) - s\varepsilon \right) \quad (6)$$

Dla $\varepsilon < 1$ będzie $s/r \geq 1$.

Wyrażenie w nawiasie przyjmuje bardzo małe wartości, stąd:

$$E(y) \approx s - rE(\tau)$$

¹ $E(y) = \int_0^{s/r} y dF(\tau) = \int_0^{s/r} (s - r\tau) dF(\tau) = sF(s/r) - r \int_0^{s/r} \tau dF(\tau)$

Rzeczywistość gospodarcza wymusza na firmie uwzględnianie wahań cyklu dostaw uzupełniających. W procesach sterowania zapasami materiałowymi decyzje menedżerskie powinny iść w kierunku zabezpieczenia ciągłości produkcji. W praktyce gospodarczej nie jest problemem uzasadnienie utrzymywania większej rezerwy zapasu zabezpieczającego przed poniesieniem kosztów braku zapasów. Problemem natomiast jest odpowiedź na pytanie: jakich dodatkowych kosztów należy się spodziewać, utrzymując podwyższony, bezpieczniejszy poziom zapasów materiałowych przy założonym poziomie prawdopodobieństwa braku zapasu (ε)?

Ustalona wartość ε kształtuje dodatkowe (względne) koszty wyczerpania zapasu. Zależność ta jest zrozumiała – większe prawdopodobieństwo wyczerpania zapasu to mniejsze skutki w zakresie kosztów magazynowania, ale większe prawdopodobieństwo zakłóceń ciągłości produkcji.

W celu określenia przyrostu kosztów proponuje się porównanie kosztów [Wolski 1998] magazynowania w sytuacji, gdy czas τ jest wielkością stałą, z szacunkowym kosztem magazynowania, gdy τ jest zmienną losową. Sprowadza się to do formuły [Goddard 1966, s. 228]:

$$R = \frac{S^2 + 2SE(y)}{S^2} = 1 + \frac{2}{S} E(y) \approx 1 + \frac{2}{S} [s - rE(\tau)] \quad (7)$$

gdzie: R – wartość względna – wyraża sumę względnych wartości kosztów magazynowania ponoszonych w warunkach deterministycznych i wartości względnego przyrostu kosztów z tytułu zabezpieczenia się przed wyczerpaniem zapasu materiałowego.

Oznacza to, że z prawdopodobieństwem wyczerpania zapasu równym ε powiązany jest względny dodatkowy (d) koszt $K_s(d)$:

$$K_s(d) = 2[s - rE(\tau)]/S \quad (8)$$

Zgodnie z istotą analizowanego zagadnienia należy uwzględnić model kosztów przestoju produkcji spowodowanego wyczerpaniem zapasu ($E(C_2)$). Podstawą konstrukcji tego modelu jest jednostkowy koszt braku zapasu (cp):

$$cp = Kbr / \left\{ \left(\frac{1}{\lambda} \cdot r \cdot p \right) / \varepsilon / (R-1) / S / 12 \cdot Q \right\} \quad (9)$$

gdzie:

cp – jednostkowy koszt braku zapasu,

Kbr – całoroczny koszt braku zapasu,

Q – wielkość produkcji rocznej wyrażona w jednostkach naturalnych.

Przyjmując jako typowy – dla prawdopodobieństwa wystąpienia braku zapasów – rozkład wykładniczy [Wolski 1998] postaci $e^{-\lambda t}$, obliczenia wyjściowe parametrów sterowania są następujące:

$$\lambda t = p$$

(wynika to z równości $e^{-\lambda t} = e^{-p}$), stąd też

$$\varepsilon = e^{-p}$$

Model całkowitych kosztów przestoju produkcji ma postać:

$$E(C_2) = \frac{cp}{2r} \left[S^2 + 2S(s - rE(\tau)) \right] \quad (10)$$

gdzie: $E(C_2)$ – całkowite koszty przestoju produkcji z tytułu wyczerpania zapasów materiałowych.

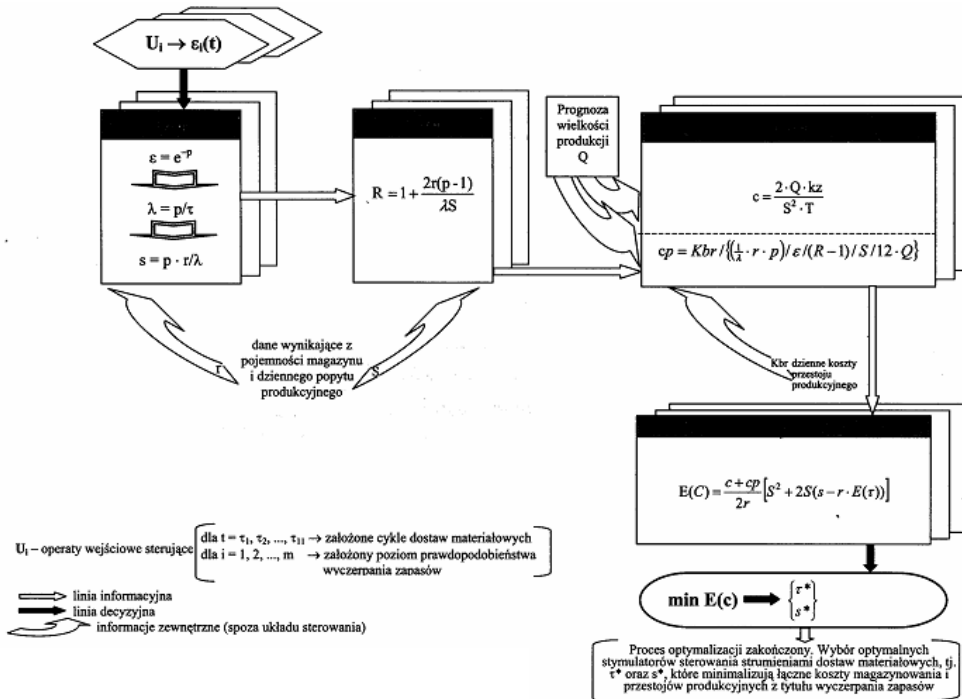
Ostatecznie dylemat: większe koszty magazynowania ponoszone w związku z większym zapasem magazynowym bądź koszty przestoju produkcji wywołane brakiem zapasów materiałowych – można rozstrzygnąć, stosując „sprzężone” kryterium minimalizacji łącznych kosztów $E(C)$. A zatem model optymalizacyjny całkowitych kosztów zapasów materiałowych sprowadza się do sumy:

$$\left. \begin{aligned} E(C_1) &= \frac{c}{2r} \left[S^2 + 2S(s - rE(\tau)) \right] \\ E(C_2) &= \frac{cp}{2r} \left[S^2 + 2S(s - rE(\tau)) \right] \end{aligned} \right\} E(C) = \frac{c + cp}{2r} \cdot \left[S^2 + 2S(s - rE(\tau)) \right] \quad (11)$$

Zaprezentowany model optymalizacyjny pozwala znaleźć sensowne rozwiązanie zgodne z przyjętą funkcją kryterialną. Konieczne są w tym celu działania sterujące. Efektywnym narzędziem sterującym jest cybernetyczny model pozwalający na dynamiczne regulowanie strumieniami dostaw materiałowo-surowcowych.

Model regulacji i sterowania strumieniami dostaw

Model sterowania dostawami jest instrumentem optymalnego wyboru zapasu rezerwowego (s^*) oraz cyklu dostaw (τ^*). Budowany na podstawie zasady sprzężenia zwrotnego model ten sprowadza się do ciągu relacji odwzorowujących matematyczne sekwencje rozważanego problemu. Można go przedstawić graficznie (rys. 2).



Rysunek 2

Układ sterowania zapasami materiałowymi

Źródło: Tymińska 2007, s. 162.

Przedstawiony na rysunku 2 model sterowania zapasami materiałowymi działa na zasadzie sprzężenia zwrotnego sekwencyjnie, tj. metodą kolejnych przybliżeń. Kryterium optymalizacyjnym jest minimalizacja łącznych kosztów magazynowania i przestoju spowodowanych wyczerpaniem zapasów. Sterowanie prowadzi się dla kolejnych wartości prawdopodobieństwa wyczerpania zapasu (ε) od 0,01 do 0,37; proces optymalizacji zostaje zakończony w momencie przyjęcia wartości najmniejszej przez funkcję celu, tj. $\min E(C)$. Zakończenie optymalizacji oznacza wybór optymalnych stymulatorów sterowania strumieniami dostaw, tj. τ^* oraz s^* . Minimalizują one łączne koszty magazynowania i koszty braku zapasów.

Wnioski

Przeprowadzone rozważania, jak i dotychczasowy dorobek naukowy zagadnienia umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

1. Utrzymywanie zapasów materiałowych jest podyktowane koniecznością utrzymania ciągłości i rytmiczności produkcji oraz zachowania przyjętych standardów obsługi klienta. Równocześnie może być rozpatrywane pod kątem wpływu na sprawność finansową przedsiębiorstwa. Jest to problem decyzyjny, którego rozwiązanie może wspomagać zastosowanie aparatu matematycznego – modeli stochastycznych.
2. W procesie sterowania przepływem strumieni w przedsiębiorstwie chodzi o zsynchronizowanie fizycznego przepływu materiałów w obszarze zaopatrzenia materiałowe – produkcja. Brak synchronizacji w tym zakresie powoduje negatywne skutki ekonomiczne ze względu na koszty braku zapasów oraz magazynowania.
3. Systemowe podejście do synchronizacji procesów na odcinku zaopatrzenie – produkcja jest możliwe przy zastosowaniu efektywnych narzędzi, jak np. model optymalizacyjny z kryterium minimalizacji kosztów.

Literatura

- DUCKWORTH E.: *Stock control problems; some fallacies in their current treatment*. Appl. Statist. IX(1960).
- GATTORNA J.L.: *Effective Logistics Management*. MBC University Press 1994.
- GODDARD L.S.: *Metody matematyczne w badaniach operacyjnych*. PWN, Warszawa 1966.
- GOLDBERG D.: *JIT's Next Step Moves Cargo and Data*, „Transportation&Distribution” 1990, December.
- NOWAK E.: *Decyzyjne rachunki kosztów*. PWN, Warszawa 1994.
- TYMIŃSKA M.: *Sterowanie zapasami w aspekcie popytu produkcyjnego w logistycznym łańcuchu dostaw*. [w:] Systemy wspomaganie organizacji SWO 2007; praca zbiorowa pod red. T. Porębskiej-Miąc i H. Sroki. Akademia Ekonomiczna im. K. Adamieckiego, Katowice 2007.
- WOLSKI-SARJUSZ Z.: *Strategia zarządzania zaopatrzeniem*. Wyd. PLACET, Warszawa 1998.
- WOLSKI-SARJUSZ Z.: *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*. PWE, Warszawa 2000.

Controlling of the material entities' reserves – economical and organizational aspects

Abstract

The paper presents issues connected with the optimal streams of input delivery in situation which should be rational, cyclical and regular. They have to be synchronized with the production needs. It is also analyzed the level of store

costs and the costs of stoppage in production processes in result of reserves running low.

The presented considerations have a modeling character in optimal controlling and it conducted to achieve the basic parameters linked with the size of guaranteed reserves and frequency of material delivery. The criterion in optimized process is function of minimizing total costs i.e.: a) storing and b) stoppages in production which are caused by running low of reserves.