A N N A L E S
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA
VOL. XXXVII SECTIO H 2003

ZDZISŁAW SARJUSZ-WOLSKI

Sterowanie zapasami – ewolucja systemów i metod

Inventory Control – evolution of systems and methods

Już starożytni Egipcjanie budując piramidy, jak mamy prawo przypuszczać, musieli „praktykować zarządzanie logistyką", a więc stosować odpowiednie metody podejmowania – wynikających z tego – decyzji. Zwłaszcza te, które dotyczyły sterowania zapasami, prowadzącego do zgromadzenia odpowiednich materiałów w potrzebnych ilościach, żądanym terminie i właściwym miejscu. Ponieważ jednak, jak wiadomo, nie istnieją żadne opisy organizacji i zarządzania tymi budowami, nic o tych metodach nie potrafimy powiedzieć.

Sporadyczne – i to dość ogólne – wzmianki o logistyce spotyka się później w dziedzinie militarnej. Odnoszą się one, na przykład, do czasów cesarza bizantyjskiego, Leontosa (887-911) oraz generała A. H. Jominiego (wiek XIX). Jednak w dalszym ciągu nie wynikają z nich opisy stosowanych metod i technik podejmowania decyzji. Właściwie można przyjąć, że pierwsze informacje na ten temat, a w szczególności – sterowania zapasami, zaczęły się pojawiać dopiero w wieku dwudziestym, zapoczątkowane przez F. W. Harrisa. Jego, pochodzący z 1915 r., wzór na optymalną partię zakupu (EOQ – *Economic Order Quantity*) został później rozpowszechniony przez R. H. Wilsona i dzisiaj jest łączony z nazwiskiem tego ostatniego.

W artykule skoncentruję się na sterowaniu zapasami tworzonymi dla zaspokojenia tzw. popytu niezależnego (*independent demand*), tj. powstającego na rynku ze strony końcowego klienta. Popyt ten jest więc wynikiem chęci zaspokojenia potrzeb w sytuacji swobody wyboru dokonywanego przez konsumenta. Nie można go zatem dość precyzyjnie określić, jak ma to miejsce w przypadku popytu zależnego[1] (*dependent demand*) i do jego określenia wykorzystuje się różne metody prognozowania.

Na wstępie należy dodać, iż generalną prakseologiczną zasadą, leżącą u podstaw racjonalnego działania w dziedzinie kształtowania zapasów, jest stosowanie metody ABC, różnicowania gromadzonych towarów. Pozwala to na zmniejszenie wielowymiarowości zagadnienia[2] i koncentrację na pozycjach najwartościowszych, bądź – z jakichś innych względów – uznanych za newralgiczne.

Krótkoterminowe prognozowanie popytu

Podstawową, a zarazem wyjściową funkcją zarządzania jakąkolwiek dziedziną jest, jak wiadomo, planowanie. Z kolei pierwszym etapem planowania jest prognozowanie. Wynika to z tego prostego faktu, że nasze decyzje planistyczne zawsze odnoszą się do przyszłości. Zarazem są one uwarunkowane m.in. ukształtowaniem się w niej pewnych czynników zewnętrznych, na które nie mamy bezpośredniego wpływu. Wobec oczywistej nieznajomości tych przyszłych zmiennych (np. popytu), nie pozostaje nam nic innego, jak posłużyć się ich prognozami; jest to tzw. preparacyjna funkcja prognoz.

Sterowanie zapasami jest procesem powtarzalnym, dokonującym się na ogół w skali operacyjnej. Pozwala to na stosowanie metod prognostycznych nie sięgających do związków przyczynowo-skutkowych, lecz wykorzystujących szeregi czasowe kształtowania się interesującej nas zmiennej (analiza trendu). Oznacza to, iż jedyną zmienną niezależną będzie zmienna czasowa. Jak zauważa Z. Czerwiński: „Oczywiście ekonomista zdaje sobie sprawę z tego, że sam upływ czasu nie może być przyczyną zmiany badanej wielkości. Jeżeli pewna wielkość y ulegała zmianom w czasie, to z pewnością dlatego, że wraz z upływem czasu zmianie ulegały również pewne inne wielkości, od których y zależy [...]. Trend nie wyjaśnia więc, dlaczego badana wielkość ulegała zmianom. Niemniej posługiwanie się w różnych sytuacjach trendami jest rozpowszechnione i celowe [...]."[3]

Sterowanie zapasami to w gruncie rzeczy planowanie zakupów, prowadzące do odpowiedzi na pytania: *które dobro, kiedy i ile zamówić?*

W krótkoterminowym prognozowaniu popytu na użytek sterowania zapasami niezbędne są oceny przede wszystkim następujących czynników:

* wartość średnia popytu na przyjętą jednostkę czasu,
* błąd standardowy prognozy popytu (dla tej samej jednostki czasu).

---

[1] Popyt zależny, częściej nazywany w naszej literaturze potrzebami materiałowymi, występuje w kolejnych fazach procesu produkcyjnego i w znacznie mniejszym stopniu podlega działaniu czynnika losowego. Zaspokajanie tego popytu jest dokonywane na drodze obliczeń bezpośrednich (np. system *Material Requirements Planning* – MRP). Stosuje się tutaj także japońskie rozwiązanie KANBAN.

[2] Jak bowiem głosi popularne porzekadło: gdy wszystko jest jednakowo ważne, w gruncie rzeczy nic nie jest ważne.

[3] Z. Czerwiński, *Matematyka na usługach ekonomii*, PWN, Warszawa 1969, s. 349-350.

O ile od czasów upowszechnienia wzoru na optymalną partię zakupu klasyczne modele sterowania zapasami pojedynczego towaru nie uległy zmianom (jest to w końcu fizyka), o tyle niesłychanie dynamicznie rozwinęły się metody prognostyczne. Stało się tak na skutek powszechności mikrokomputerów, przybliżających praktyce niekiedy bardzo wyrafinowane metody statystyczne i ekonometryczne (np. zintegrowane modele autoregresji i średnich ruchomych ARIMA – *Autoregressive Moving Average*).

Wobec ograniczonych ram artykułu ograniczę się do przedstawienia wybranych modeli prognostycznych, a w szczególności na modelach stosunkowo nowych, bazujących na tzw. wykładniczym wyrównywaniu szeregów czasowych, początek którym dał R. G. Brown[4]. W literaturze ekonometrycznej są one zwane modelami adaptacyjnymi, bowiem ich parametry – w odróżnieniu od klasycznych modeli trendu – nie stanowią wielkości stałych, lecz są wyznaczane sekwencyjnie, w miarę dopływu nowych informacji o kształtowaniu się zmiennej prognozowanej (tj. po zakończeniu kolejnego okresu planistycznego). Innymi słowy mechanizm tych modeli zapewnia im adaptację zachodzących – nieprzewidzianych i nawet burzących dotychczas obserwowaną regularność – zmian w prognozowanej zmiennej.

Do pozytywnych cech wyrównywania wykładniczego należy zaliczyć przede wszystkim:

* minimalne „zapotrzebowanie informacyjne; do kolejnego oszacowania parametrów wystarczy „pamiętanie" tylko poprzednich ich ocen,
* w trakcie budowy prognozy wykorzystuje się wszystkie dane z przeszłości, przypisując im (w miarę oddalania się od okresu bieżącego) coraz mniejsze wartości wag; jest to swoisty wyraz uwzględniania faktu „starzenia się" informacji.

Podstawowy model zaproponowany przez Browna ma postać[5]:

$$a_t = \alpha y_t + (1-\alpha) a_{t-1},$$

$$\hat{y}_{t+T} = a_t,$$

gdzie:

* a_t, a_{t-1} – średnie wyrównane wykładniczo odpowiednio po okresach „t" i „t–1",
* y_t – ostatnio zaobserwowana wielkość zmiennej prognozowanej,
* α – parametr wyrównywania wykładniczego, mogący przymować wartości z przedziału $<0; 1>$,
* $\hat{y}_{t+T}$ – prognoza na okres $t+T$ (dla $T=1$, 2, ...; budując prognozy tylko z okresu na okres przyjmujemy $T=1$).

[4] Zob. R. G. Brown, *Statistical Forecasting for Inventory Control*, McGraw-Hill, New York 1959.

[5] Przykłady ilustrujące omówione w artykule metody można znaleźć w pracach: C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie*, wydanie III, PWE, Warszawa 2003; Z. Sarjusz-Wolski, *Ilościowe metody zarządzania logistycznego w przedsiębiorstwie*, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1997; Z. Sarjusz-Wolski, *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2000.

Łatwo zauważyć, że średnia a_t, a w konsekwencji prognoza $\hat{y}_{t+T}$, jest „mieszanką" ostatnio zaobserwowanej realizacji prognozowanej zmiennej (y_t) i poprzedniej średniej (a_{t-1}). O proporcjach tych dwóch składników decyduje wartość parametru α. Jeżeli, na przykład, ostatnio obliczona średnia a_{t-1} była równa 110, zaś w dopiero co zakończonym okresie t prognozowana zmienna przyjęła wartość $y_t = 120$, to przy $\alpha = 0{,}3$, nowa średnia będzie równa:

$$a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)\, a_{t-1} = 0{,}3 \cdot 120 + 0{,}7 \cdot 110 = 36 + 77 = 113,$$

co zarazem stanowi prognozę ($\hat{y}_{t+1}$) na najbliższy okres, jeśli stosujemy zasadę prognozowania tylko na nadchodzący okres.

Doboru najlepszej wartości parametru α, czyli takiej, przy której obserwujemy najmniejsze błędy prognoz dokonujemy na ogół metodą prób i błędów w tzw. okresie empirycznej weryfikacji prognoz. Dla tego okresu znane są już realizacje zmiennej prognozowanej, jednak traktowane jako nieznane. Dobierając kolejno różne wartości tego parametru (tj. 0,1; 0,2; ...; 0,9) odnotowujemy zachodzące błędy prognoz (tzw. *ex post*) i do faktycznego prognozowania (*ex ante*) stosujemy tę wartość przy której były one najmniejsze. Należy dodać, że gdy prognozowana zmienna Y_t kształtuje się w miarę regularnie, wartości α są bliskie zera, jeśli natomiast cechują ją częste załamania i zmiany trendu – α będzie bliskie jedności (większą wagę należy przywiązywać do najnowszej informacji). Słowo komentarza należy poświęcić warunkom wyjściowym (np. pierwszej średniej) w procedurze doboru najlepszych wartości parametrów modeli adaptacyjnych. Jedną z metod jest przyjęcie: $a_1 = y_1$, co nie grozi trwałym wypaczeniem wyników, gdyż wraz z upływem czasu efekt takiego warunku szybko maleje, a więc rzutuje tylko na pierwsze prognozy.

Do oceny modelu prognostycznego i jego parametrów stosowane są różne mierniki. Wśród nich szczególne znaczenie mają dwa: średnia arytmetyczna błędów prognozy oraz błąd standardowy (odchylenie standardowe) prognozy. Pierwszy z nich informuje o stopniu nieobciążoności prognoz, zaś drugi – o przeciętnym „odchylaniu się" realizacji zmiennej prognozowanej od stawianych prognoz. Istotne znaczenie w sterowaniu zapasami ma ten ostatni miernik, nieodzowny do budowy zapasu bezpieczeństwa. Mierniki te są wyrażane następującymi wzorami (błąd prognozy: $e_t = y_t - \hat{y}_t$, liczba prognoz: n):

$$* \ \bar{e} = \frac{\Sigma e}{n}, \qquad * \ s = \sqrt{\frac{\Sigma e^2}{n-1}}\ ^{6}.$$

[6] Gdyby miernik ten miał spełniać tylko rolę opisową, w mianowniku pojawiłoby się *n*. Skoro jednak ma on służyć wnioskowaniu (prognoza błędu prognozy) należy stosować *n*-1, bowiem wówczas, zgodnie ze wskazaniami statystyki matematycznej, jest on nieobciążonym estymatorem odchylania się prognoz w populacji (nieznanej); przy dużym *n* nie ma to co prawda większego wpływu.

Jeżeli błędy prognoz niemal niezmiennie charakteryzują się tymi samymi znakami (tj. są większe lub mniejsze od zera), co znajduje odbicie w znacznym, coraz większym, odchylaniu się średniej arytmetycznej ($\bar{e}$) *in plus* bądź *in minus* od zera, oznacza to, że zmienną prognozowaną cechuje istotny przyrost bądź spadek trendu[7], a w takim przypadku właściwym modelem prognostycznym będzie model Holta. Jest on ujęty następującym układem równań:

$$a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$$

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + 1 - \beta) b_{t-1},$$

$$\hat{y}_{t+T} = a_t + b_t \cdot T.$$

Składnik a_t wyraża średni popyt (wyrównany wykładniczo) do okresu t włącznie, natomiast składnik b_t – różnicę między dwiema kolejnymi średnimi (tj. $a_t - a_{t-1}$), stanowiącą ocenę przyrostu trendu (może być ujemny). Uśrednieniu (również wykładniczemu, a więc parametr wyrównywania β przyjmuje wartości z przedziału (0, 1)) tego przyrostu służy drugie równanie. Do budowy prognozy na okres $t+T$ ($T=1, 2, ...$) służy trzecie równanie modelu.

Jeżeli w szeregu czasowym obserwuje się ponadto wahania cykliczne (np. sezonowe), właściwym modelem prognostycznym jest model Wintera, wyrażony następującym układem równań (tzw. wersja multiplikatywna, w której zmienność wielkości amplitudy wahań występuje w przybliżeniu w tym samym stosunku):

$$a_t = \frac{\alpha y_t}{c_{t-K}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$$

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1-\beta) b_{t-1},$$

$$c_t = \frac{\gamma y_t}{a_t} + (1-\gamma) c_{t-K},$$

$$\hat{y}_{t+T} = (a_t + b_t \cdot T) c_{t-K+T}.$$

Łatwo zauważyć, iż jest to rozbudowany model Holta, tak więc objaśnienia wymagają tylko niektóre symbole (dotyczące sezonowości).

I tak: c_t – wskaźnik sezonowości dla okresu t, K – cykl sezonowości (w przypadku danych miesięcznych $K=12$, zaś dla danych kwartalnych $K=4$), γ – parametr wyrównywania wykładniczego wskaźników sezonowości.

Istotną sprawą przy prognozowaniu jest – o czym już była mowa – badanie stabilności rozkładu czynnika losowego, którego realizacje (tzw. reszty modelu) są utożsamiane z błędami prognoz (e). Obok znanych testów statystycznych (np. testu kolejnych znaków), praktycznym narzędziem służącym monitorowaniu

[7] Wynika to także z wykresu.

i ocenie obserwowanych błędów jest tzw. śledzący sygnał (*tracking signal*) Trigga, określony wzorem:

$$Tr_t = \frac{\bar{e}_t}{\bar{d}_t} = \frac{\delta e_t + (1-\delta)\bar{e}_{t-1}}{\delta d_t + (1-\delta)\bar{d}_{t-1}},$$

w którym objaśnienia wymagają: δ – parametr wyrównywania wykładniczego, d_t – ostatni bezwzględny błąd prognozy, $\bar{d}_t$ – średni bezwzględny błąd prognozy.

Sygnał Trigga stanowi pożyteczny test dla stwierdzenia adekwatności modelu do danego szeregu czasowego. Wartości krytyczne tego testu (przy poziomie istotności równym $\alpha = 0{,}05$) wynoszą[8]: 0,51 dla $\delta = 0{,}1$ i 0,74 dla $\delta = 0{,}2$. Tak więc, na przykład, gdy wartość sygnału Trigga, wyznaczona dla $\delta = 0{,}2$, przyjmie wartość mniejszą od $-0{,}74$ lub większą od $+0{,}74$, możemy z 5-procentowym prawdopodobieństwem pomyłki orzec, iż model daje prognozy obciążone. Innymi słowy błędy prognozy zachodzące przy dotychczasowym prognozowaniu w sposób istotny różnią się od zera.

Warto dodać, iż wartość bezwzględną sygnału Trigga można stosować jako wartość parametru α w omówionym powyżej prostym modelu Browna. Wzmacnia się przez to jego cechy adaptacyjne.

Innym sygnałem śledzącym (SL_t) jest następująca relacja:

$$SL_t = \frac{\Sigma e_t}{d_t}.$$

Jeśli wartości tego sygnału nie wykraczają poza granice ± 4 można przyjąć[9], iż obserwowane błędy prognozy są wynikiem działania wyłącznie czynnika losowego, a zatem nie zachodzi konieczność weryfikacji i ew. korekty stosowanego modelu.

Przedstawione sygnały pozwalają na wyznaczenie odpowiednich linii kontrolnych, tj. obszaru bezpieczeństwa oraz obszaru krytycznego, co umożliwia wizualną ocenę modelu prognostycznego. Jeśli kolejne faktyczne wartości zmiennej prognozowanej mieszczą się w obszarach dopuszczalnego błędu (obszar bezpieczeństwa), wówczas uznajemy, iż model jest w dalszym ciągu adekwatny.

Wartościowy wkład do teorii prognozowania ekonometrycznego wniósł, niestety już nieżyjący, prof. Z. Pawłowski. Zaproponował on modele tzw. wyrównywania wykładniczo-regresyjnego[10]. Najprostszym takim modelem (zwanym przez autora *nieskrępowanym wyrównywaniem wykładniczo-autoregresyjnym*) jest:

---

[8] Podaję za C. D. Lewisem, *op. cit.*, s.30.

[9] W. J. Stevenson, *Introduction to Management Science*, IRWIN, Boston 1989, s. 459.

[10] Zostały one przedstawione w pracy: Z. Pawłowski, *Zasady predykcji ekonometrycznej*, PWN, Warszawa 1982, s. 186 i n.

$$a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \Delta a_{t-1}),$$

$$\hat{y}_{t+T} = a_t + (a_t - a_{t-1})T,$$

gdzie: Δa_{t-1} – ocena przyrostu trendu w okresie t-1, tj. $\Delta a_{t-1} = a_{t-1} - a_{t-2}$.

Tak więc prognoza jest równa najnowszej średniej skorygowanej o porawkę równą iloczynowi najnowszej oceny przyrostu trendu $(a_t - a_{t-1})$ i okresu prognozowanego (T).

Klasyczne modele sterowania zapasami

Wyróżnia się dwa klasyczne modele sterowania zapasami:

* model poziomu zamawiania (*Re-order Point* – ROP),
* model cyklu zamawiania (*Re-order Cycle* – ROC).

Normami sterowania w pierwszym są: optymalna partia zakupu (Q_{opt}) i poziom alarmowy (A) zapasu. Poziom ten ma na celu zasygnalizowanie konieczności niezwłocznego złożenia zamówienia uzupełniającego. Tak więc w momencie, gdy zapas faktyczny w magazynie (powiększony o ewentualną, wcześniej zamówioną, dostawę w drodze) obniży się do tego poziomu – należy niezwłocznie wystawić zamówienie uzupełniające. Zamawianą stałą wielkością jest w tym modelu właśnie Q_{opt}, zaś zmienne – momenty zamawiania.

Podstawą ustalenia wielkości optymalnej partii zakupu są: koszty tworzenia zapasu K_z i roczne jednostkowe koszty jego utrzymania K_u, szacowane na ogół jako pewna część wartości, wynikająca z przyjętej rocznej stopy (r) utrzymania zapasu. Tak więc: $K_u = r \cdot C_z$ (gdzie C_z – jednostkowa cena zakupu danego towaru). Optymalna partia zakupu zapewnia minimalizację sumy tych kosztów, czyli:

$$ŁKZ = ŁK_z + ŁK_u = \frac{P}{Q}K_z + \frac{Q}{2}r \cdot C_z$$

gdzie:

* P – prognoza rocznego popytu na dany towaru,
* Q – wielkość partii dostawy.

Optymalną partię zakupu (wzór Wilsona) wyznacza się z powyższego równania za pomocą rachunku różniczkowego (znajdowanie ekstremum funkcji). Możliwy jest również prostszy sposób, u podstaw którego leży założenie, że minimalne łączne koszty zapasów występują w sytuacji, gdy koszty tworzenia zapasów są równe kosztom ich utrzymania, a zatem, gdy:

$$\frac{P}{Q}K_z = \frac{Q}{2}r \cdot C_z$$

Wyznaczając z powyższego równania Q (optymalne) otrzymujemy:

$$Q_{opt}=\sqrt{\frac{2PK_z}{r\cdot C_z}}.$$

Z kolei do ustalenia poziomu zamawiania A służy wzór:

$$A=\hat{y}\cdot\overline{L}+k\cdot\hat{s}\sqrt{\overline{L}},$$

w którym:
* $\hat{y}$ – prognoza średniego popytu w przyjętym okresie jednostkowym (np. tygodniu),
* $\overline{L}$ – średni zaobserwowany okres realizacji zamówień, wyrażony w przyjętych okresach jednostkowych,
* $\hat{s}$ – prognoza standardowego błędu prognozy,
* k – współczynnik bezpieczeństwa, tj. wielkość wynikająca z przyjętego poziomu obsługi klienta.

Kilka słów należy poświęcić współczynnikowi bezpieczeństwa „k". Otóż przy założeniu, iż popyt ma, jak to najczęściej bywa, rozkład normalny[11], współczynnik ten wyznacza prawdopodobieństwo wyczerpania zapasu. Innymi słowy, określa on poziom obsługi klienta.

I tak, na przykład, przyjmując:

* $k=1$, mamy 84,1-procentowe prawdopodobieństwo zaspokojenia popytu, tj. 84-procentowy poziom obsługi klienta,

* $k=2$, mamy 97,7-procentowe prawdopodobieństwo zaspokojenia popytu (blisko 98-procentowy poziom obsługi klienta),

* $k=3$, mamy 99,9-procentowe prawdopodobieństwo zaspokojenia popytu, czyli praktycznie 100-procentowy poziom obsługi klienta.

Odmienne zasady sterowania zapasami obowiązują w drugim klasycznym modelu, tj. cyklu zamawiania. Uzupełniające zamówienia zakupu są bowiem wystawiane w stałych (na ogół optymalnych, zwłaszcza – przy stosowaniu metody ABC różnicowania pozycji – w odniesieniu do grupy A) cyklach, natomiast wielkości zakupów są zmienne.

W ustalonych punktach czasowych, wynikających z cyklów, dokonuje się wystawienia zamówienia na ilość będącą różnicą pomiędzy maksymalnym poziomem zapasu (S), a faktycznym zapasem w magazynie (powiększonym o ewentualną dostawę w drodze). Wielkość zamawiana bywa więc z zasady zmienna, zależna od zapasu, posiadanego w chwili zamawiania.

Chcąc stosować model stałego cyklu zamawiania, musimy obliczyć dwie następujące normy sterowania: optymalny cykl zamawiania (R_{opt}) oraz maksymalny poziom zapasu (S). Do wyznaczenia wielkości wspomnianych norm służą następujące wzory:

[11] Warto przy tej okazji zauważyć, iż na mocy centralnego twierdzenia granicznego, rozkład średniej (tj. prognozy) z próby zmierza do rozkładu normalnego, niezależnie od rozkładu w populacji, z której została pobrana.

$$S = \hat{y}(\bar{L} + R_{opt}) + k \cdot \hat{s}\sqrt{\bar{L} + R_{opt}}.$$

Jak widać, zapas maksymalny ustalany jest na poziomie zakładającym zaspokojenie popytu w okresie obejmującym optymalny cykl zamawiania (R_{opt}) i średni czas realizacji zamówień ($\bar{L}$). Ponadto, zapas S powinien uwzględniać zapas bezpieczeństwa, w tym przypadku także odnoszony do okresu $\bar{L} + R_{opt}$.

Ustalenie optymalnego cyklu zamawiania[12] R_{opt} wymaga wcześniejszego wyznaczenia optymalnej partii dostawy (Q_{opt}). Zachodzą tutaj bowiem następujące oczywiste relacje (n_{opt} – optymalna liczba zakupów w ciągu roku):

$$n_{opt} = \frac{P}{Q_{opt}},$$

$$R_{opt} = \frac{12 \text{ miesięcy}}{n_{opt}}.$$

Należy dodać, że spotyka się jeszcze inne modele (np. model s, S), będące kombinacją lub połączeniem omówionych powyżej[13].

Doskonalenie sterowania zapasami w przedsiębiorstwie

Przedstawione modele sterowania zapasami, jak również wszelkie ich modyfikacje dotyczyły jednej pozycji. Były więc wyrazem autonomicznego ich traktowania, co mogło się spotkać z uzasadnioną krytyką. Indywidualne sterowanie zapasami dóbr, zwłaszcza pochodzących od tego samego dostawcy, mogłoby powodować, na przykład, nabywanie w krótkich odstępach czasu coraz to innej pozycji; irracjonalności takiego postępowania nie trzeba dowodzić.

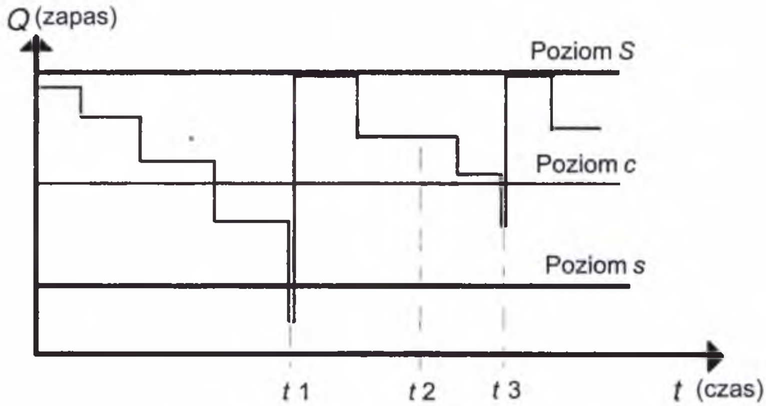
I znowu, podobnie jak w przypadku prac prognostycznych, dzięki powszechnemu dostępowi do komputerów, rozwinęła się – i znalazła praktyczne możliwości wykorzystania – teoria optymalnego grupowego zamawiania (komasacja zamówień). Ponieważ ramy artykułu nie pozwalają na przedstawienie odpowiedniej precyzyjnej metody, zainteresowanych nią odsyłam do cytowanej pracy: C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski: *Logistyka w przedsiębiorstwie* (s. 197 i dalsze). Natomiast poniżej przedstawię pewien uproszczony sposób podejścia do tego zagadnienia (tzw. model S, c, s), autorstwa J. L. Balintfy[14]. Model ten zakłada zakup (zamówienie) dobra i w chwili, gdy jego zapas obniży do pozio-

[12] W tym przypadku liczonego w miesiącach.

[13] Zostały one omówione w mojej pracy *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2000.

[14] J. L. Balintfy, *On a Basic Class of Multi-Item Inventory Problems*, Management Science z 1964r., Vol.10, No. 2. (podaję za E. A. Silver, R. Peterson, *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, John Wiley & Sons, New York 1985, s.444).

mu s (odpowiednik poziomu alarmowego A w modelu poziomu zamawiania). Nabywaną ilością będzie dopełnienie do poziomu S (maksymalny poziom zapasu, występujący w przedstawionym powyżej modelu cyklu zamawiania). W momencie, gdy zapas którejś pozycji, zaliczonej do jednej grupy, zrówna się z poziomem s należy dokonać przeglądu pozostałych jej pozycji i dołączyć do zamówienia te, dla których stwierdzono obniżenie się zapasu do (lub oczywiście poniżej) poziomu c. Poziom ten może być ustalony w wysokości połowy różnicy $S-s$ (tzn. $c=\frac{S-s}{2}$). Ideę tego modelu wyjaśnia rycina 1.



Ryc. 1. Model (S, c, s)

Ponieważ w punkcie t1 zapas rozpatrywanego materiału ukształtował się poniżej poziomu s, wystawiane jest zamówienie[15] na ilość stanowiącą różnicę pomiędzy poziomem S a stanem faktycznym. Jednocześnie, w tym samym momencie dokonuje się przeglądu pozostałych pozycji danej grupy i do zamówienia dołącza się te pozycje, dla których stwierdzono: $s \leqslant \text{zapas} \leqslant c$.

W punkcie $t2$ dokonano zamówienia na skutek obniżenia się zapasu innej pozycji z danej grupy do odpowiedniej dla niego granicy s. Do zamówienia tego nie włączono jednak asortymentu przedstawionego na rysunku, bowiem jego zapas ukształtował się w tym momencie powyżej poziomu c. Natomiast w punkcie $t3$ miało to już miejsce, gdyż zapas okazał się mniejszy od tego poziomu.

[15] Na rycinie pominięto okresy realizacji zamówień, bowiem chodzi w nim przede wszystkim o ilustrację idei omawianego modelu łączenia zakupów.

Ponadto, w sterowaniu zapasami zachodzi niekiedy konieczność uwzględniania pewnych przypadków szczególnych. Można do nich zaliczyć m.in. włączenie do obliczeń czynnika inflacji, opusty cenowe udzielane przez dostawcę, ograniczoność kapitału obrotowego, konieczność uwzględnienia kosztu braku zapasu w łącznych ich kosztach, sukcesywne zasilanie zapasów. Wyczerpujące omówienie tych sytuacji można znaleźć w cytowanych pracach *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie* i *Logistyka w przedsiębiorstwie*.

Doskonalenie sterowania zapasami na bazie filozofii logistycznej

Dalszym kierunkiem rozwoju procesów sterowania zapasami stała się ich integracja w łańcuchach przepływu dóbr przez różne ogniwa produkcji i obrotu. Jest to, jak wiadomo, istota podejścia logistycznego (*Supply Chain Management* – SCM). O rezerwach w dziedzinie produkcji i obrotu, wynikających z autonomicznego traktowania poszczególnych jej uczestników (ogniw) już na początku lat 60. pisał J. Forrester[16].

Obok technicznych możliwości ścisłej współpracy w łańcuchach logistycznych, stwarzanych przez teleinformatykę (sieci komputerowe, zwłaszcza Internet, poczta elektroniczna itp. umożliwiające praktykowanie tzw. *logistyki on-line*) musi w nich istnieć chęć działania wg wskazań tzw. marketingu partnerskiego. U jego podstaw leży zastępowanie starej handlowej zasady: *mój zysk osiągam dzięki czyjejś stracie (win-lose)*, nową: *mój zysk to także i twój zysk (win-win)*. Przejawem takiego postępowania może być łączenie wysiłków przy tworzeniu zapasów bezpieczeństwa i to zarówno w układach równoległych (np. współpracujące ze sobą sklepy detaliczne), jak i szeregowych (np. hurtownia – detaliści). Pozwala to na osiągnięcie korzyści wynikających z tzw. ekonomii skali.

Jeżeli dla pewnego towaru wariancja błędu prognozy popytu wynosiła:

* sklep A : $s_A^2 = 9$, czyli błąd standardowy prognozy $s_A = \sqrt{9} = 3$ jednostki miary,

* sklep B : $s_B^2 = 16$, czyli błąd standardowy prognozy $s_B = \sqrt{16} = 4$ j.m.,
to chcąc utworzyć w tym towarze zapas bezpieczeństwa na poziomie 2. standardowych błędów prognozy (tj. przyjmując $k = 2$), a tym samym zapewnić blisko 98-procentowe prawdopodobieństwo zaspokojenia popytu większego od średniego) właściciel sklepu A powinien zgromadzić 6, a właściciel sklepu B – 8 jednostek. Suma zapasów bezpieczeństwa wyniosłaby zatem 14.

Gdyby właściciele tych sklepów zdecydowali się utrzymywać wspólne zapasy bezpieczeństwa (precyzyjnie ustaliwszy podział asortymentów towarowych), pozwoliłoby to na ich obniżenie, bez pomniejszania prawdopodobieństwa

[16] Por. J. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, 1961.

zapokojenia popytu. Wynika to z tzw. addytywności wariancji, głoszącej, iż wariancja dwóch niezależnych zmiennych losowych jest równa sumie ich wariancji[17], czyli:

$$s^2_{A+B} = s^2_A + s^2_B,$$

co daje wynik: $s^2_{A+B} = 9 + 16 = 25$ j.m., z czego wynika, iż skomasowany standardowy błąd prognozy: $s_{A+B} = \sqrt{25} = 5$. Zatem współdziałając, właściciele sklepów A i B mogliby zapewnić **ten sam stopień** zaspokojenia popytu przy zapasie bezpieczeństwa równym 10 j.m. Tak więc w jednej tylko pozycji towarowej zmniejszenie zapasu wyniosłoby 4 jednostek.

Oczywiście korzystne, prowadzące do zmniejszenia łącznych zapasów, jest również łączenie zapasów bezpieczeństwa w układach szeregowych: dostawca-odbiorcy. Takie rozwiązania spotykało się od dawna np. w przedsiębiorstwach budowlanych lub remontowych, utrzymujących dwuszczeblowy system magazynów (magazyn centralny i magazyny rejonowe).

Od pewnego czasu można zaobserwować takie racjonalne podejście również w firmach powiązanych jedynie ideą usprawniania i obniżania kosztów logistyki, a przyświecającą wspomnianemu marketingowi partnerskiemu. Prowadzi to najczęściej do przejmowania zadań zasilania odbiorców przez dostawców, czyli – w gruncie rzeczy – zarządzania zapasami przez tych ostatnich. Systemy takie są w literaturze zachodniej określane akronimem VMI (*Vendor Managed Inventory*)[18] lub CMI (*Co-Managed Inventory*).

W takich rozwiązaniach, dostawca na ogół codziennie otrzymuje od odbiorcy m.in. informacje o wielkości zrealizowanej sprzedaży w ustalonych asortymentach, co jest podstawą do opracowywania przez tego pierwszego odpowiednich prognoz. Następnie określa on normy sterowania zapasami i we właściwym czasie zasila poszczególnych odbiorców niezbędnymi, w zaistniałej sytuacji, dostawami.

Oczywiście przejęcie takich funkcji przez dostawcę kosztuje (wyższa cena zakupu płacona przez odbiorcę), ale per saldo jest to umowa opłacalna. Korzyści z niej płynące wynikają przede wszystkim ze skrócenia czasu realizacji dostawy zamówień i możliwości wykorzystania wspomnianej zasady addytywności wariancji.

[17] Por. np. T. Czechowski, *Elementarny wykład rachunku prawdopodobieństwa*, PWN, Warszawa 1968, s. 113.

[18] Przykład takiego rozwiązania wdrażanego w szwedzkim koncernie łożyskowym SKF został przedstawiony w GM&L 1998 r, nr 9.

Zakończenie

Wzmiankowany rozwój teleinformatyki i rozpowszechniająca się świadomość opłacalności stosowania marketingu partnerskiego, sprzyjają powstawaniu wielu nowych rozwiązań organizacyjno-technicznych w łańcuchach dostaw. Obok sygnalizowanych systemów VMI i CMI, można tu jeszcze, na przykład, wymienić (bardziej lub mniej bezpośrednio związane z kształtowaniem zapasów) następujące rozwiązania:

* planowanie potrzeb dystrybucji (*Distribution Requirements Planning* – DRP), wykorzystujące ideę i zasady systemu MRP,

* wspólne planowanie, prognozowanie i uzupełnianie zapasów (*Collaborated Planning, Forecasting & Replenishment* – CPFR),

* efektywna obsługa klienta (*Efficient Consumer Response* – ECR),

* zarządzanie relacjami z klientem (*Customer Relationship Management* – CRM, bądź prostsza wersja, zalecana firmom średniej wielkości – *Personal Information Systems* – PIM).

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na bardzo istotny moment. Otóż decyzja o wdrożeniu nowoczesnego systemu (zwłaszcza CRM) powinna być głęboko i wszechstronnie przeanalizowana. Są to bowiem inwestycje kosztowne, wcale nie gwarantujące szybkiego wzrostu rentowności firmy. Sukces w zastosowaniu nowego systemu informatycznego, służącego doskonaleniu sterowania zapasami (i ogólniej: procesów logistycznych), jest uwarunkowany wieloma różnymi czynnikami organizacyjnymi, społecznymi, kadrowymi itp. Istnieje zatem obawa, że wyniki działalności nawet ulegną pogorszeniu. Nie można zatem bezkrytycznie poddawać się elokwentnym oferentom tych systemów, lecz drobiazgowo zbadać zagadnienie. Pewnym przykładem może tu być pochopne, wręcz mechaniczne, zastosowanie japońskiego systemu JIT (powstałego w warunkach innej kultury, odmiennych nawyków, stosowanego od lat „ostrego" reżimu organizacyjnego itp.) w koncernie General Electric. Jak bowiem podaje J. Witkowski[19], wprowadzenie systemu JIT w branży urządzeń domowych tego koncernu znacznie opóźniło jego reakcję na zamówienia klientów, bowiem została ona wydłużona do 18 tygodni! Powrót do tradycyjnych metod sterowania zapasami części i podzespołów pozwolił na skrócenie tej reakcji do 4 tygodni.

Tak więc roztropność i myślenie powinny mieć wśród logistyków nie tylko przyszłość, ale i ... teraźniejszość.

[19] J. Witkowski, *Źródła rozwoju i sukcesów zarządzania logistycznego w Japonii*, „Gospodarka Materiałowa & Logistyka" 1996, nr 7-8.