Marta Kapusta*

WYBRANE METODY USTALANIA WIELKOŚCI PARTII DOSTAWY W PLANOWANIU ZASOBÓW PRODUKCYJNYCH

W artykule omówiono wybrane metody ustalania wielkości partii dostawy stosowane obecnie w systemach planowania zasobów. W drugiej części pracy przedstawiono zastosowanie trzech omówionych uprzednio metod, tj. metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego, metody najniższego kosztu łącznego oraz algorytmu Silvera–Meala, i ich efektywności w warunkach kształtowania się potrzeb netto na konkretnym przykładzie.

Słowa kluczowe: *metody ustalania wielkości partii dostawy, dynamiczne wielkości zamówień, najniższy łączny koszt jednostkowy, najniższy koszt łączny, algorytm Silvera–Meala.*

SOME DELIVERY LOT SIZING TECHNIQUES USED IN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING
This paper discusses some delivery lot sizing techniques used in material requirement planning. In the second part of the paper on a select example the author presents each metod (Least Unit Cost Heuristic, Least Total Cost Heuristic, Silver–Meal Heuristic), directions of use and its efectiveness, in accepted conditions of net needs formations.

Keywords: *delivery lot sizing techniques, dynamic lot sizing, Least Unit Cost Heuristic, Least Total Cost Heuristic, Silver–Meal Heuristic*

1. WPROWADZENIE

Problem ustalania wielkości partii dostawy jest bardzo istotny. Opublikowane są pewne metody, których przydatność zależy od warunków, w jakich działa przedsiębiorstwo, oraz koncepcji zarządzania. Możliwość analizy wzorów określających wielkość partii dostawy dla poszczególnych metod pozwala wybrać metodę najefektywniejszą.

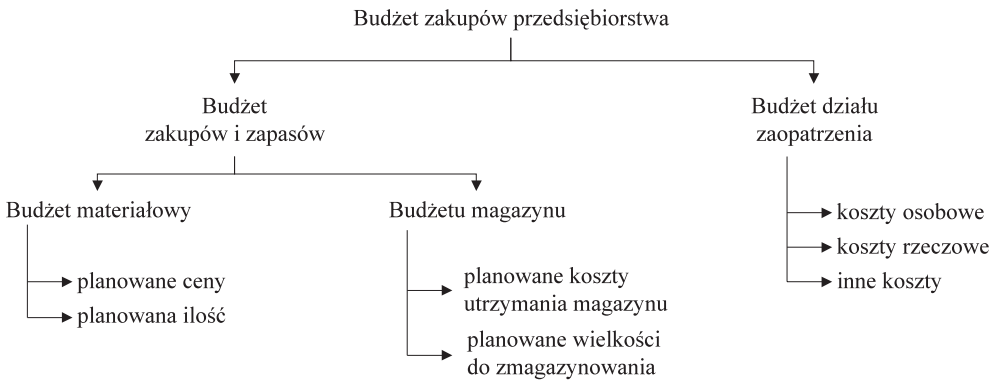
Celem artykułu jest dokonanie przeglądu opublikowanych metod ustalania wielkości partii dostawy oraz opracowanie, na podstawie algorytmów, analitycznych wzorów dla poszczególnych metod. W analizowanych przez autorkę publikacjach metody ustalania wielkości partii dostawy prezentowane są za pomocą algorytmów. Taki sposób prezentacji jest trudny do analizy. Celowe jest zatem scharakteryzowanie tych metod (przynajmniej częściowo) za pomocą wzorów analitycznych. W artykule wyszczególniono siedem metod

* Katedra Automatyki, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

ustalania wielkości partii dostawy, a następnie dokonano omówienia i podania wzorów matematycznych dla trzech z nich, a mianowicie dla metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego, metody najniższego kosztu łącznego oraz algorytmu Silvera–Meala. Metody te zilustrowano na wybranym przykładzie liczbowym oraz dokonano oceny ich efektywności.

W każdej firmie gospodarka zapasami jest bardzo ważnym elementem wpływającym na rentowność przedsiębiorstwa. Zarówno planowanie, organizacja, jak i realizacja przepływu dóbr, od ich zakupu poprzez produkcję i dystrybucję do ostatecznego klienta, powinna być realizowana przy minimalnych kosztach i minimalnym zaangażowaniu kapitału. W związku z tym, w obecnej chwili istnieje potrzeba ciągłego poszukiwania metod zarządzania zapasami odpowiadających na zmienne potrzeby rynku w dokładnie określonych ilościach, czyli metod, które będą generowały wielkości zamówienia równe potrzebom netto w scalonej liczbie okresów planistycznych. W ten sposób możliwe stanie się zapobieganie powstawaniu zapasów materiałowych, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów realizacji partii produkcyjnej.

Powszechnie wiadomo, że zapotrzebowanie na materiały i półprodukty prognozuje się na podstawie planowanej wielkości produkcji wyrobów, struktury wsadu materiałowego, wielkości braków, czasu dostawy lub statystycznego zużycia poszczególnych materiałów w przeszłości [1]. Prognozy te dotyczą ilości, jakości i rodzaju oraz momentu przekazania do produkcji poszczególnych materiałów.



Rys. 1. Struktura budżetu zakupów przedsiębiorstwa [2]

Celem zarządzania zapasami jest zapewnienie ich wielkości niezbędnej do prowadzenia działalności przy najmniejszych możliwych kosztach. Konieczna zatem staje się identyfikacja wszelkich kosztów związanych z nabywaniem i utrzymaniem zapasów (rys. 1). Przez koszty związane z utrzymaniem zapasów rozumie się koszty ich magazynowania, przeładunku i przemieszczania, ubezpieczenia, koszty zużycia i starzenia się zasobów, jak również koszty kapitałowe, czyli tzw. koszty utraconych możliwości lub utraconych korzyści z kapitału, ponieważ gdyby nie był on zamrożony w zapasach, mógłby posłużyć do sfinansowania szeregu innych opłacalnych przedsięwzięć [3]. Z kolei do kosztów zamawiania

zaliczamy koszty utraty rabatu od wielkości zamówienia oraz koszty wyczerpania zapasów generowane przez braki zapasów odpowiednich produktów w ilości, jaka w danej chwili jest w przedsiębiorstwie potrzebna. W związku z powyższym, całkowite koszty zapasów TIC (*Total Inventory Cost*) ponoszone przez przedsiębiorstwo są sumą łącznych kosztów utrzymania zapasów oraz całkowitych kosztów zamawiania surowców i materiałów.

W dalszej części artykułu dokonano krótkiego omówienia kilku najpopularniejszych metod określania wielkości partii dostawy, a następnie na wybranym przykładzie dokonano porównania zastosowania przedstawionych uprzednio metod i ich efektywności w przyjętych warunkach kształtowania się potrzeb netto.

W analizie wartości poszczególnych metod zastosowano następujące oznaczenia:

t – okres, w którym ma być zaspokojony popyt,
T – okres zamówieniowy,
D_t – zapotrzebowanie w okresie t [jedn.],
A_t – koszt zaopatrzenia [zł] (*setup cost*),
h_t – koszt utrzymania jednostki zapasu w okresie t [zł/jedn.],
Q_t – wielkość zamówienia w okresie t [jedn./okres].

2. WYBRANE METODY USTALANIA WIELKOŚCI PARTII DOSTAWY

W literaturze spotyka się pojęcia statycznych i dynamicznych wielkości zamówień. Przez statyczne wielkości zamówień (*static lot sizing*) rozumie się takie wielkości, które po jednorazowym wyliczeniu pozostają niezmienne w całym planie zamówień, co oznacza, że nie dokonuje się żadnych przeliczeń mimo zachodzenia zmian dotyczących potrzeb netto. Natomiast dynamiczne wielkości zamówień (*dynamic lot sizing*) są przedmiotem ciągłego przeliczania w miarę zachodzenia zmian dotyczących potrzeb netto. W zależności od sposobu wykorzystania konkretnej metody ustalania wielkości partii dostawy może ona posłużyć do ustalenia statycznych bądź dynamicznych wielkości zamówień. Wyboru metody ustalania wielkości partii dostawy dokonuje się najczęściej, biorąc pod uwagę koszty zastosowania rozpatrywanej metody.

Wśród najbardziej znanych metod ustalania wielkości partii dostawy wyróżnia się następujące metody [4–7]:

– partii na partię (*Lot For Lot)*,
– stałej wielkości zamówienia (*Fixed Order Quantity*),
– ekonomicznej wielkości zamówienia (*Economic Order Quantity*),
– algorytmu Wagnera–Whitina (*Wagner–Whitin Algorithm*),
– najniższego łącznego kosztu jednostkowego (*Least Unit Cost Heuristic*),
– najniższego kosztu łącznego (*Least Total Cost Heuristic*),
– algorytmu Silvera–Meala (*Silver–Meal Heuristic*).

W niniejszym artykule zajęto się omówieniem trzech ostatnich z wymienionych metod ustalania wielkości partii dostawy ze względu na ich szczególne zastosowanie do dynamicznej weryfikacji planu zapotrzebowania materiałowego.

2.1. NAJNIŻSZY ŁĄCZNY KOSZT JEDNOSTKOWY

Metoda najniższego łącznego kosztu jednostkowego *LUC*, dopuszczająca zmienność zarówno wielkości zamówienia, jak i cyklu zamawiania, opiera się na założeniu zminimalizowanego kosztu łącznego przypadającego na jednostkę zamawianego materiału.

Celem metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego jest znalezienie takich okresów zamówieniowych *T*, dla których zostanie osiągnięta wartość minimalna najniższego kosztu jednostkowego LUC_t w okresach, w których ma być zaspokojony popyt.

Metoda ta wymaga przyjęcia następujących założeń [5]:

– koszt zakupu materiału A_t dla wszystkich okresów jest stały;
– jednostkowy koszt utrzymania zapasu h_t jest jednakowy we wszystkich okresach;
– w pierwszym rozpatrywanym okresie nie występują koszty utrzymania zapasów, tj. $h_1 = 0$, ponieważ zaopatrzenie pokrywa potrzeby netto z tego okresu.

Aby obliczyć wartości LUC_t, stosuje się następujący wzór:

$$LUC_t = \frac{A_t + h_t \cdot \sum_{k=T}^{t} (k-T) \cdot D_k}{\sum_{k=T}^{t} D_k} \tag{1}$$

Następnie, w celu określenia okresu zamówieniowego *T*, wykorzystuje się następujący algorytm:

1. Obliczamy kolejne LUC_t (zgodnie ze wzorem (1)) dla okresu zamówieniowego $T = 1$, rozpoczynając od pierwszego okresu *t*, w którym ma być zaspokojony popyt.
2. Warunek stopu: jeśli uzyskamy takie LUC_t, że:

$$LUC_1 > LUC_{t-1} \tag{2}$$

to znalezienie takiej wartości LUC_t pozwala stwierdzić, że w okresie $T = 1$ należy zamówić materiały na okresy produkcyjne $T = <1, ..., t - 1>$. Kolejnym okresem zamówieniowym jest $T = t$, dla którego dokonujemy obliczeń w analogiczny sposób jak dla pierwszego okresu zamówieniowego.

Ograniczenie przydatności metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego *LUC* związane jest z rozpatrywaniem za każdym razem tylko jednej partii. Łączny koszt jednostkowy zmienia się czasem w bardzo szerokim zakresie z partii na partię, co wymusza konieczność łączenia partii zamówieniowych bądź też przenoszenia ich części, aby w ten sposób obniżyć sumaryczny koszt jednostkowy dla wszystkich partii zamówieniowych.

2.2. NAJNIŻSZY KOSZT ŁĄCZNY

Metoda najniższego kosztu łącznego *LTC* opiera się na założeniu, że suma kosztów zaopatrzenia i utrzymania zapasu wszystkich partii jest zmniejszona do minimum. Warunek taki będzie spełniony tylko w sytuacji, gdy zamawiane będą takie ilości, przy których zarówno jednostkowy koszt zaopatrzenia, jak i jednostkowy koszt utrzymania zapasu są prawie równe. Takie podejście umożliwia uniknięcie stosunkowo pracochłonnej procedury obliczeniowej, jaka miała miejsce w metodzie najniższego łącznego kosztu jednostkowego. Czynnikiem ułatwiającym przeprowadzanie obliczeń w metodzie *LTC* jest tzw. wskaźnik ekonomicznego pozycjookresu *EPO* [5] definiowany jako wielkość pozycji zapasu, której utrzymanie w postaci zapasu przez jeden okres może wpływać na powstanie z tego tytułu kosztu równego kosztowi zaopatrzenia.

Wskaźnik *EPO* określa się zgodnie ze wzorem:

$$EPO = \frac{A_t}{h_t} \tag{3}$$

przez podzielenie kosztu zaopatrzenia A_t przez jednostkowy koszt utrzymania zapasu w jednym okresie h_t [7].

Metoda *LTC* prowadzi do ustalenia takiej wielkości zamówienia, przy której koszt wyrażony w pozycjookresach PO_t jest najbardziej zbliżony do wartości współczynnika *EPO*. Podobnie, jak poprzednia metoda, wymaga ona jednak przyjęcia pewnych założeń:

– koszt zakupu materiału A_t dla wszystkich okresów jest stały;
– jednostkowy koszt utrzymania zapasu h_t jest jednakowy we wszystkich okresach;
– w pierwszym rozpatrywanym okresie nie występują koszty utrzymania zapasów, tj. $h_1 = 0$, ponieważ zaopatrzenie pokrywa potrzeby netto z tego okresu – stąd dla pierwszego rozpatrywanego okresu t wartość PO_t jest po prostu równa zero.

Pozycjookres definiujemy jako jednostkę pozycji utrzymywanej w postaci zapasu przez jeden okres [7], a jego wartość wyliczamy według następującego wzoru:

$$PO_t = \sum_{k=T}^{t} (k-T) \cdot D_k \tag{4}$$

Następnie, w celu określenia okresu zamówieniowego *T*, stosuje się następujący algorytm:

1. Obliczamy kolejne PO_t (zgodnie ze wzorem (4)) dla okresu zamówieniowego $T = 1$ rozpoczynając od pierwszego okresu t, w którym ma być zaspokojony popyt.
2. Warunek stopu: jeśli uzyskamy takie PO_t, że:

$$|EPO - PO_t| \rightarrow \min \tag{5}$$

to znalezienie takiej wartości PO_t pozwala stwierdzić, że w okresie $T = 1$ należy zamówić materiały na okresy produkcyjne $T = <1, ..., t>$. Kolejnym okresem zamówieniowym jest $T = t + 1$, dla którego dokonujemy obliczeń w analogiczny sposób jak dla pierwszego okresu zamówieniowego.

2.3. ALGORYTM SILVERA–MEALA

Podstawowym celem algorytmu Silvera–Meala jest określenie optymalnej strategii zamawiania dla całego planu potrzeb netto poprzez zminimalizowanie łącznych kosztów zaopatrzenia i utrzymania zapasu SM_t w okresie t. Sama procedura obliczeniowa, jak również sposób wyznaczania okresu zamówieniowego T, jest w pewnym stopniu zbliżona do omówionych uprzednio metod wyznaczania wielkości partii dostawy.

Podobnie jak w przypadku dwóch poprzednich algorytmów, również i tutaj przyjmuje się pewne założenia dotyczące niezmienności kosztu zakupu materiałów A_t oraz jednostkowego kosztu utrzymania zapasu h_t dla wszystkich okresów. Wartości SM_t oblicza się za pomocą poniższego wzoru:

$$SM_t = \frac{A_t + h_t \cdot \sum_{k=T}^{t} (k-T) \cdot D_k}{t-T+1} \tag{6}$$

Następnie, w celu określenia okresu zamówieniowego T, stosuje się następującą procedurę obliczeniową, a mianowicie:

1. Obliczamy kolejne SM_t (zgodnie ze wzorem (6)) dla okresu zamówieniowego $T = 1$ rozpoczynając od pierwszego okresu t, w którym zaspakajamy popyt.
2. Warunek stopu: uzyskanie takiego SM_t, że:

$$SM_t > SM_{t-1} \tag{7}$$

to znaleziona wartość SM_t pozwala stwierdzić, że w okresie $T = 1$ należy zamówić materiały, podobnie jak to miało miejsce w przypadku metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego, na okresy produkcyjne $T = <1, ..., t - 1>$. Kolejnym okresem zamówieniowym będzie zatem $T = t$, dla którego przeprowadza się obliczenia w analogiczny sposób jak dla pierwszego okresu zamówieniowego.

3. DYNAMICZNA WIELKOŚĆ ZAMÓWIEŃ – PRZYKŁAD LICZBOWY

Zanim przejdziemy do konkretnego przykładu liczbowego, rozpatrzmy następującą właściwość. Zakładamy, że produkcja elementów odbywa się w skończonej i całkowitej liczbie przyszłych okresów produkcyjnych, co z kolei oznacza, że jeżeli na końcu danego okresu produkcyjnego pojawi się zapas danego elementu, to niemożliwa jest jego produkcja w kolejnym okresie [6, 8].

Ponadto do obliczeń przyjmuje się następujące założenia:
- stan zapasów w okresie poprzedzającym pierwszy z rozpatrywanych okresów jest równy 0;
- stan zapasów w ostatnim z rozpatrywanych okresów jest również równy 0;
- pokrycie potrzeb przez planowane zamówienie następuje w okresie, którego potrzeby należy pokryć;
- produkcja jest realizowana natychmiast po otrzymaniu dostawy.

W analizowanym przykładzie (tab. 1) mamy do czynienia z produkcją ciągłą (tj. występującą w każdym z rozpatrywanych okresów w wybranym przedziale czasowym) i niejednolitą, co oznacza, że wielkość zapotrzebowania jest zmienna w poszczególnych okresach.

Tabela 1

Dane do analizy metod ustalania wielkości partii dostawy

t	1	2	3	4	5	6	7
D_t [jedn.]	10	40	80	60	30	20	50
A_t [zł]	50	50	50	50	50	50	50
h_t [zł/jedn.]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

3.1. NAJNIŻSZY ŁĄCZNY KOSZT JEDNOSTKOWY

Zgodnie z omówioną procedurą obliczeniową (podrozdz. 2.1), znalezienie optymalnej wielkości partii dostawy metodą najmniejszego łącznego kosztu jednostkowego będzie przebiegać w następujący sposób:

$T = t = 1$ $\quad LUC_{t=1} = (50 + 0 \cdot 10)/10 = 5$

$t = 2$ $\quad LUC_{t=2} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 40))/(10 + 40) = 1.4$
(<5, więc kontynuujemy obliczenia)

$t = 3$ $\quad LUC_{t=3} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 80))/(10 + 40 + 80) = 1{,}15$
(<1,4, więc kontynuujemy obliczenia)

$t = 4$ $\quad LUC_{t=4} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 80 + 3 \cdot 60))/(10 + 40 + 80 + 60) = 1{,}26$
(>1,15 więc STOP)

W rezultacie: $\boldsymbol{T = 1, Q_1 = 130, Q_2 = Q_3 = 0}$

$T = t = 4$ $\quad LUC_{t=4} = (50 + 0 \cdot 60)/60 = 0{,}833$

$t = 5$ $\quad LUC_{t=5} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 30))/(60 + 30) = 0{,}72$
(<0,833, więc kontynuujemy obliczenia)

$t = 6$ $\quad LUC_{t=6} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 30 + 2 \cdot 20))/(60 + 30 + 20) = 0{,}77$
(>0,72, więc STOP)

W rezultacie: $\boldsymbol{T = 4, Q_4 = 90, Q_5 = 0}$

$T = t = 6$ $\quad LUC_{t=6} = (50 + 0 \cdot 20)/20 = 2{,}5$

$t = 7$ $\quad LUC_{t=7} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 50))/(20 + 50) = 1{,}07$

(<2,5, więc kontynuujemy obliczenia)

Ale osiągnęliśmy ostatni zaplanowany okres produkcyjny, więc STOP.

W rezultacie: $\boldsymbol{T = 6, Q_6 = 70, Q_7 = 0}$

Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami, w przedstawionym przykładzie występują trzy okresy zamówieniowe obejmujące w przypadku pierwszego okresu zamówieniowego T – okresy $t = 1, 2, 3$, w przypadku drugiego okresu zamówieniowego T – okresy $t = 4, 5$ oraz w przypadku trzeciego okresu zamówieniowego T – okresy $t = 6, 7$. Wyniki obliczeń wskazują, że w $t = 1$ zostanie zamówiona i dostarczona partia dostawy $Q_1 = 130$ elementów, druga partia dostawy zostanie zamówionai dostarczona w okresie $t = 4$ i wyniesie $Q_4 = 90$ elementów, natomiast trzecia partia dostawy o wielkości $Q_6 = 70$ elementów zostanie zamówiona i dostarczona w $t = 6$. W pozostałych okresach t nie będą miały miejsca żadne dostawy elementów.

Ile zatem wyniosą całkowite koszty zapasów $TIC(LUC)$?

$$TIC(LUC) = 3 \cdot 50 + 0{,}5 \cdot (40+80) + 0{,}5 \cdot 80 + 0{,}5 \cdot 30 + 0{,}5 \cdot 50 = 290 \text{ zł},$$

przy czym pierwszy człon obliczeń (tj. $3 \cdot 50$) to koszty zamawiania materiałów, natomiast pozostałe koszty są kosztami utrzymania zapasów w planowanych okresach produkcyjnych.

3.2. NAJNIŻSZY KOSZT ŁĄCZNY

Zgodnie z przedstawionym algorytmem (podrozdz. 2.2), znalezienie optymalnej wielkości partii dostawy przy wykorzystaniu metody najniższego kosztu łącznego wygląda następująco:

$EPO = 50/0{,}5 = 100$

$T = t = 1$ $\quad PO_{t=1} = 1 = 0$ $\quad |EPO - PO_{t=1}| = 100$

$t = 2$ $\quad PO_{t=2} = 2 = 0 + 1 \cdot 40 = 40$ $\quad |EPO - \mathrm{PO}_{t=2}| = 60$

(<100, więc kontynuujemy obliczenia)

$t = 3$ $\quad PO_{t=3} = 3 = 0 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 80 = 200$ $\quad |EPO - PO_{t=3}| = 100$

(>60, więc STOP)

W rezultacie: $\boldsymbol{T = 1, Q_1 = 50, Q_2 = 0}$

$T = t = 3$ $\quad PO_{t=3} = 3 = 0 \cdot 80 = 0$ $\quad |EPO - PO_{t=3}| = 100$

$t = 4$	$PO_{t=4} = 4 = 0 + 1 \cdot 60 = 60$	$\lvert EPO - PO_{t=4} \rvert = 40$
	(<100, więc kontynuujemy obliczenia)	
$t = 5$	$PO_{t=5} = 5 = 0 + 1 \cdot 60 + 2 \cdot 30 = 120$	$\lvert EPO - PO_{t=5} \rvert = 20$
	(<40, więc kontynuujemy obliczenia)	
$t = 6$	$PO_{t=6} = 6 = 0 + 1 \cdot 60 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 20 = 180$	
		$\lvert EPO - PO_{t=6} \rvert = 80$
	(>20, więc STOP)	
W rezultacie:	$\boldsymbol{T = 3, Q_3 = 170, Q_4 = Q_5 = 0}$	
$T = t = 6$	$PO_{t=6} = 6 = 0 \cdot 20 = 0$	$\lvert EPO - PO_{t=6} \rvert = 100$
$t = 7$	$PO_{t=7} = 7 = 0 + 1 \cdot 50 = 50$	$\lvert EPO - PO_{t=7} \rvert = 50$
	(<100, więc kontynuujemy obliczenia)	
	Ale osiągnęliśmy ostatni zaplanowany okres produkcyjny, więc STOP.	
W rezultacie:	$\boldsymbol{T = 6, Q_6 = 70, Q_7 = 0}$	

Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami metodą najniższego kosztu łącznego dla omawianego przykładu otrzymano inne wyniki niż przy zastosowaniu metody najniższego łącznego kosztu jednostkowego. Jednak również i tutaj występują trzy okresy zamówieniowe, ale w innych okresach produkcyjnych, a mianowicie: pierwszy okres zamówieniowy T obejmie okresy $t = 1, 2$, kolejny – okresy $t = 3, 4, 5$, natomiast trzeci okres zamówieniowy T będzie obejmował $t = 6, 7$. Konsekwentnie, dostarczane partie będą wynosić odpowiednio: $Q_1 = 50$, $Q_3 = 170$ oraz $Q_6 = 70$ elementów.

Ile wyniosą zatem całkowite koszty zapasów $TIC(LTC)$? Oblicza się je analogicznie jak w przypadku metody LUC:

$$TIC(LUC) = 3 \cdot 50 + 0{,}5 \cdot 40 + 0{,}5 \cdot (60 + 30) + 0{,}5 \cdot 30 + 0{,}5 \cdot 50 = 255 \text{ zł.}$$

Porównując zatem koszty zastosowania metody LUC oraz LTC, można stwierdzić, że zastosowanie metody najniższego kosztu łącznego jest w omawianym przykładzie rozwiązaniem efektywniejszym, bowiem całkowite koszty zapasów $TIC(LTC)$ zmniejszają się o ponad 12% w porównaniu z $TIC(LUC)$. Poza tym metoda najniższego kosztu łącznego wydaje się lepsza ze względu na stosunkowo prostszą procedurę obliczeniową w porównaniu z metodą najniższego łącznego kosztu jednostkowego. Nie mniej jednak również i ta metoda nie jest pozbawiona wad. Okazuje się bowiem, że założenie, iż „najniższy koszt łączny występuje przy zrównaniu kosztu utrzymania zapasów i kosztu zaopatrzenia", jest prawdziwe dla ekonomicznej wartości zamówienia, ale nie w odniesieniu do metody ustalania partii dostawy w warunkach potrzeb dyskretnych przy założeniu zmniejszania zapasów na początku każdego z okresów planistycznych [5].

3.3. ALGORYTM SILVERA–MEALA

Przy wykorzystaniu algorytmu Silvera–Meala (podrozdz. 2.3) znaleziono optymalną wielkość partii dostawy, przeprowadzając następujące obliczenia:

$T = t = 1$	$SM_{t=1} = (50 + 0 \cdot 10)/1 = 50$
$t = 2$	$SM_{t=2} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 40))/2 = 35$
	(<50, więc kontynuujemy obliczenia)
$t = 3$	$SM_{t=3} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 80))/3 = 50$
	(>35, więc STOP)
W rezultacie:	$\boldsymbol{T = 1, Q_1 = 50, Q_2 = 0}$
$T = t = 3$	$SM_{t=3} = (50 + 0 \cdot 80)/1 = 50$
$t = 4$	$SM_{t=4} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 60))/2 = 40$
	(<50, więc kontynuujemy obliczenia)
$t = 5$	$SM_t = 5 = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 60 + 2 \cdot 30))/3 = 36{,}67$
	(<40, więc kontynuujemy obliczenia)
$t = 6$	$SM_{t=6} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 60 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 20))/4 = 35$
	(<36,67, więc kontynuujemy obliczenia)
$t = 7$	$SM_{t=7} = (50 + 0{,}5 \cdot (0 + 1 \cdot 60 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 20 + 4 \cdot 50))/5 = 48$
	(>35, więc STOP)
W rezultacie:	$\boldsymbol{T = 3, Q_3 = 190, Q_4 = 0, Q_5 = 0, Q_6 = 0}$
$T = t = 7$	$SM_{t=7} = (50 + 0 \cdot 50)/1 = 50$
	Osiągnęliśmy ostatni zaplanowany okres produkcyjny, więc STOP.
W rezultacie:	$\boldsymbol{T = 7, Q_7 = 50}$

Jak wynika z obliczeń, w przypadku zastosowania algorytmu Silvera–Meala w omawianym przykładzie występują trzy okresy zamówieniowe. Pierwszy z nich T obejmuje okresy $t = 1, 2$, kolejny – okresy $t = 3, 4, 5, 6$, natomiast trzeci okres zamówieniowy T obejmuje tylko $t = 7$. Dostarczane partie będą miały następujące wielkości: $Q_1 = 50$, $Q_3 = 190$ oraz $Q_7 = 50$ elementów.

Całkowite koszty zapasów $TIC(SM)$ będą równe:

$$TIC(SM) = 3 \cdot 50 + 0{,}5 \cdot 40 + 0{,}5 \cdot (60 + 30 + 20) + 0{,}5 \cdot (30 + 20) + 0{,}5 \cdot 20 = 260 \text{ zł.}$$

4. OCENA METOD USTALANIA WIELKOŚCI PARTII DOSTAWY

Omówione w niniejszym artykule metody ustalania wielkości partii dostawy znajdują szczególne zastosowanie do dynamicznej weryfikacji planu zapotrzebowania materiałowego. Każda z opisanych metod dopuszcza zmienność zarówno wielkości partii, jak i czasu za-

mawiania. Wszystkie zakładają minimalizację kosztu zaopatrzenia i kosztu utrzymania zapasów, ale każda z nich stosuje nieco odmienne rozwiązanie. Zdaniem autorki, argumentem decydującym o wyborze jednej z tych metod powinny być koszty jej zastosowania w porównaniu z kosztami generowanymi przez pozostałe metody.

Oczywiście warto mieć na uwadze, iż żadna z przedstawionych w niniejszej pracy metod ustalania wielkości partii dostawy nie jest doskonała. Trudność oceny samej skuteczności omówionych metod wynika m.in. z tego, iż trafność algorytmów różni się w zależności od danych dotyczących potrzeb netto, stosunku kosztów zaopatrzenia do jednostkowego kosztu utrzymania zapasów w przedsiębiorstwie, horyzontu planowania czy też długości samego okresu planistycznego *t*. Przez zmienność potrzeb netto rozumie się niejednolitość, a więc zmienność wielkości potrzeb w poszczególnych okresach, ale również nieciągłość, czyli istnienie okresów, w których nie wystąpi zapotrzebowanie na materiały. Z kolei wynikiem skrócenia okresów planowania będą mniejsze potrzeby okresowe, dzięki czemu zastosowana metoda może doprowadzić do sytuacji, w której zaistnieje równowaga pomiędzy kosztem zamówienia materiałów a kosztem ich utrzymania w postaci zapasów w przedsiębiorstwie.

Całkowite koszty zapasów *TIC* przy zastosowaniu wybranych metod ustalania wielkości partii dostawy w omówionym przykładzie liczbowym przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Porównanie *TIC* przy zastosowaniu wybranych metod ustalania wielkości partii dostawy

Metoda	Całkowite koszty zapasów *TIC* [zł]
Najniższy łączny koszt jednostkowy *TIC*(*LUC*)	290
Najniższy koszt łączny *TIC*(*LTC*)	255
Algorytm Silvera–Meala *TIC*(*SM*)	260

Przedstawione w tabeli 2 wyniki odnoszą się jedynie do omówionego w niniejszym artykule przykładu. W tym konkretnym przypadku, najlepszym rozwiązaniem okazałoby się zastosowanie metody najniższego kosztu łącznego lub metody Silvera–Meala, których efektywność kształtuje się na porównywalnym poziomie. Jakakolwiek zmiana danych może jednak spowodować zmianę efektywności zastosowania poszczególnych metod ustalania wielkości partii dostawy. W związku z powyższym, mimo uzyskanych wyników, nie można jednoznacznie określić, która z zastosowanych metod jest najbardziej efektywną. Zdaniem autorki, nie można jednoznacznie przyjąć jednej metody obliczania partii dostawy dla wszystkich materiałów zamawianych w danym przedsiębiorstwie. Konieczne wydaje się zatem – w zależności od kształtowania się potrzeb netto na dane materiały oraz kosztów ich zamawiania i magazynowania – rozważenie każdej z wymieniowych metod i wybranie najefektywniejszej, co będzie niepodważalnie posunięciem korzystnym dla przedsiębiorstwa.

Literatura

[1] Günther H.O., Tempelmeier H.: *Produktion und Logistik*. Berlin-Heidelberg, Springer Verlag 1997

[2] Peemöller V.H.: *Controlling. Grundlagen und Einsatzgebiete*. Herne–Berlin, Verlag Neue Wirtschaft – Briefe 1990

[3] Sierpińska M., Wędzki D.: *Zarządzanie płynnością finansową w przedsiębiorstwie*. Warszawa, PWN 2002

[4] Sánchez S.N., Triantaphyllou E., Webster D.B., Liao T.W.: *A study of the total inventory cost as a function of the reorder interval of some lot-sizing techniques used in material requirements planning systems*. Warszawa, Computers & Industrial Engineering 2002, 40, 101

[5] Czerska J.: *Metody ustalania wielkości partii dostawy.* http://www.zie.pg.gda.pl/~jcz/, Politechnika Gdańska

[6] Rajgopal J.: *Dynamic Demand Models*. http://www.pitt.edu/~jrclass/prod/notes.htm, University of Pittsburgh

[7] DeMatteis J.J.: *An economic lot-sizing technique, Part I: The part-period algorithm*. IBM Systems Journal, 1, 1968, 30

[8] Richter H., Sombrutzki M.: *Remanufacturing planning for the reverse Wagner/Whitin model*. Frankfurt, European Journal of Operational Research, 121, 2000, 304