

Jolanta KRYSTEK\*

## ZAPASY MAGAZYNOWE W STEROWANIU PRODUKCJĄ POWTARZALNĄ

### Streszczenie

W artykule przedstawiono dwie metody międzykomórkowego sterowania produkcją według stanów zapasów magazynowych: maksimum-minimum oraz stanu zamówieniowego. Metody te różnią się sposobem kontroli stanu zapasów magazynowych i sposobem wystawiania zamówień na dostawę nowych elementów. W obu metodach dodatkowo zaimplementowano możliwość generowania zapotrzebowania zgodnie z metodą MRP. Celem było wskazanie sposobu sterowania zapasami produkcji cechującego się niższymi kosztami magazynowania.

**Słowa kluczowe:** sterowanie produkcją, kontrola zapasów, przepływ produkcji, zapasy produkcji w toku, koszty magazynowania.

### 1. WPROWADZENIE

Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie posiada dwa, niejednokrotnie sprzeczne, aspekty: ekonomiczny i logistyczny. Aspekt ekonomiczny wymusza minimalizację kosztów magazynowania poprzez utrzymywanie zapasów magazynowych na najniższym poziomie, co może stanowić logistyczny problem zapewnienia ciągłości i odpowiedniej intensywności produkcji. Sterowanie zapasami dopuszczające gromadzenie zapasów oraz nieciągłość produkcji skutkuje wzrostem kosztów magazynowania i kosztów straconych lub odłożonych w czasie zamówień klientów.

Zapasami nazywamy materiały, detale oraz wyroby gotowe, które znajdują się w kolejnych stadiach procesu produkcyjnego. Proces produkcji wygodnie jest rozpatrywać jako przepływ materiałów przez system produkcyjny, w trakcie którego materiały z zaopatrzenia są stopniowo przetwarzane na produkty finalne. Wyróżnia się zapasy w następujących strefach produkcji [2]:

- strefa przedprodukcyjna (zaopatrzenie) – wszystkie pozycje zakupowe (surowce, detale, wyroby i półwyroby),
- strefa produkcji – zapasy technologiczne oraz zapasy produkcji w toku,
- strefa poprodukcyjna (zbytu) – zapasy wyrobów gotowych.

Zapasy produkcji w toku służą wyrównywaniu dysproporcji, jaka występuje w zapotrzebowaniu materiałowym poszczególnych stanowisk pracy w określonym ciągu technologicznym. Należy dążyć do posiadania w przedsiębiorstwie minimalnego, ale uzasadnionego ze względów organizacyjnych, stanu zapasów produkcji w toku co umożliwi minimalizację poziomu zamrożonego kapitału i redukcję kosztów utrzymywania tych zapasów. Zapasy produkcji w toku dzielą się na dwie kategorie:

- zapasy wewnątrzkomórkowe – znajdujące się w podstawowych komórkach produkcyjnych i obejmujące zapasy cykliczne (technologiczne) i zapasy pozacykliczne,
- zapasy międzykomórkowe – wynikające z nierównomiernej pracy poszczególnych stanowisk podczas procesu produkcji, obejmujące zapasy bieżące i zapasy rezerwowe.

Wyróżnia się dwie metody sterowania produkcją według stanów zapasów magazynowych: maksimum-minimum oraz stanu zamówionego. Metody te różnią się

\* Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Zakład Inżynierii Systemów

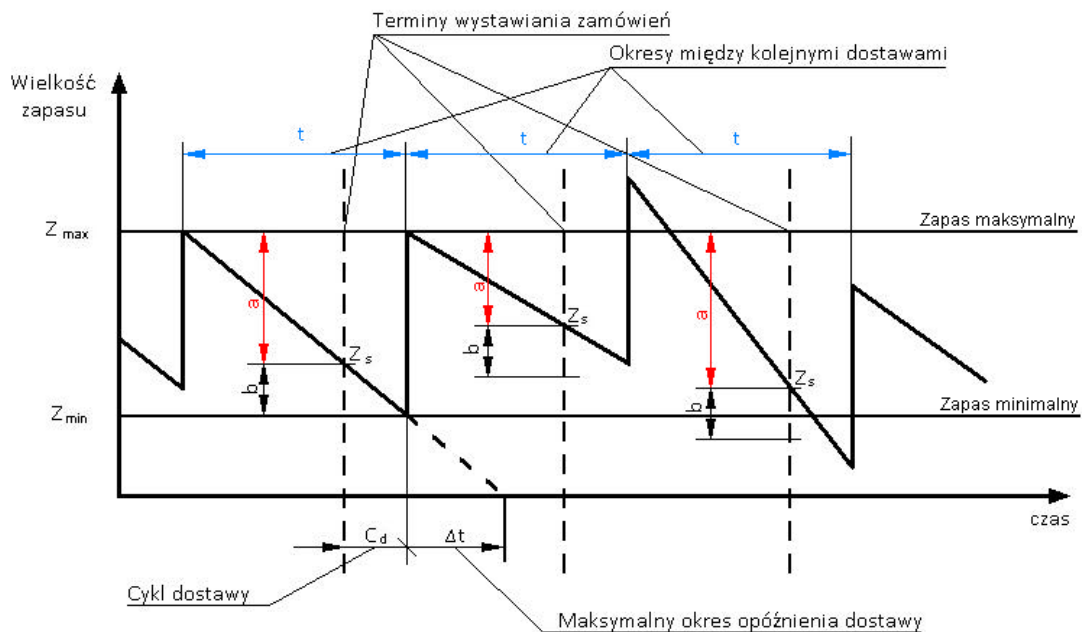
sposobem kontroli stanu zapasów magazynowych i sposobem wystawiania zamówień na dostawę nowych elementów.

## 2. MIĘDZYKOMÓRKOWE STEROWANIE PRZEPLYWEM PRODUKCJI

Międzykomórkowe sterowanie przepływem produkcji polega na: wyznaczeniu wynikających z planu produkcji przedsiębiorstwa zadań dla komórek, ustaleniu planów spływu i uruchomienia produkcji dla tych komórek, (uwzględniając aktualne i wymagane stany zapasów produkcji w toku oraz występującą wielkość braków) a także na kontroli realizacji przebiegu produkcji i podejmowaniu decyzji w przypadku zaistnienia odchyłeń od planu produkcji. Sposób sterowania zapasami międzykomórkowymi oparty jest na relacji klient – odbiorca i zależy od organizacji produkcji w komórce poprzedniej (harmonogramu produkcji i wielkości partii produkcyjnej) oraz zapotrzebowania na elementy w komórce następczej. Dla takiej relacji wyróżnia się dwie metody sterowania przepływem produkcji:

- według stanów maksimum – minimum zapasów magazynowych,
- według stanu zamówieniowego zapasów magazynowych.

W metodzie sterowania według stanów maksimum – minimum charakterystyczne jest stosowanie stałych okresów kontroli stanów magazynowych przedmiotów (rys. 1). Zakłada się, że zapotrzebowanie na elementy niezbędne do dalszej produkcji jest wymuszone i stałe w kolejnych okresach planistycznych.

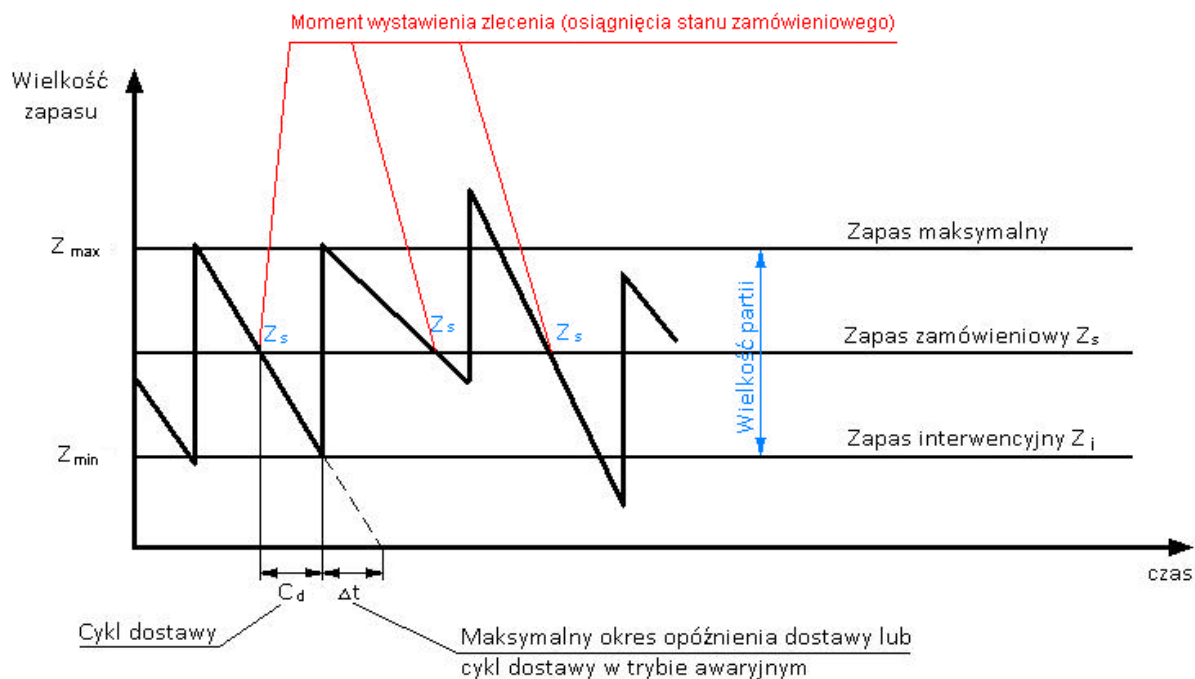


Rys. 1. Metoda sterowania zapasami według stanów maksimum-minimum [2]

Zakłada się dwa stany normatywne, maksymalny  $Z_{max}$  i minimalny  $Z_{min}$ , które są stałe. Uruchomienie produkcji nowej partii detali zależne jest wyłącznie od stanu elementów w magazynie pod koniec okresu planistycznego. System wykorzystywany jest w przedsiębiorstwach o różnorodnym charakterze produkcji. Może być stosowany zarówno dla przedsiębiorstw charakteryzujących się wielkoseryjną produkcją, jak również do średnio, małoseryjnej jak i jednostkowej, co czyni tą metodę uniwersalną.

Metoda sterowania według stanu zamówieniowego zapasów magazynowych oparta jest na metodzie sterowania okresem pobytu i wymaga bieżącej kontroli stanu magazynowego. W metodzie tej, w odróżnieniu od metody sterowania według stanów

maksimum-minimum zapasów magazynowych, występuje trzeci stan normatywny, tzw. stan zamówieniowy (rys.2). Wystawienie zlecenia następuje na podstawie przekazanego przez magazyn zamówienia o osiągnięciu stanu zamówieniowego.



Rys. 2. Metoda sterowania zapasami według stanu zamówieniowego [2]

W tej metodzie wielkość partii produkcyjnej zlecającej do produkcji jest stała i nie zależy od bieżącego planu produkcji wyrobów finalnych lecz od osiągnięcia stanu zamówieniowego elementów w magazynie (punktu zamówieniowego). Stan zamówieniowy jest to ilość potrzebna na zaspokojenie zapotrzebowania produkcji od chwili zamówienia do momentu splotu do magazynu, powiększona o wielkość stanu minimalnego (interwencyjnego). Wystawienie zlecenia na wyliczoną partię dostawy następuje w wyniku kontroli stanu zapasu przy każdorazowym wydaniu elementów. W metodzie tej występuje stała wielkość zamawianej partii oraz zmienne terminy wystawiania zamówień oraz dostawy elementów. Metoda ta jest dogodna w przypadku nieregularnego zapotrzebowania na elementy.

W celach porównawczych, na potrzeby tej pracy, proponuje się dodatkowo do określania zapotrzebowania na elementy, wykorzystanie metody planowania potrzeb materiałowych (MRP) w wersji ogólnej w której struktura produktu nie jest zdefiniowana natomiast niezbędna jest informacja o bieżących stanach zapasów. Uproszczenie to zostało przyjęte ze względu na cel: zastosowanie metody MRP dla obu metod sterowania zapasami. Kompletna metoda MRP jest stosowana w zintegrowanych systemach informatycznych wspomagających zarządzanie produkcją takich jak IFS Applications [4], SAP czy Baan.

Sterowanie międzykomórkowe nie ogranicza się tylko do przedstawionych metod. W metodzie sterowania według taktu produkcji normatywem jest takt produkcji i wydajność czasowa. System ten stosowany jest wtedy gdy występuje synchronizacja pracy komórki dostawczej i komórki odbiorczej czego przykładem jest linia montażowa której takt pracy zsynchronizowany jest z dostawami części. Dostawy powinny odbywać się zgodnie z metodą organizacji produkcji Just In Time (JIT) [dokładnie na czas] czyli dostarczanie każdemu procesowi produkcyjnemu wszystkich potrzebnych elementów w wymaganym momencie i wymaganej ilości, co przynosi istotne oszczędności związane z redukcją zapasów.

Kolejną metodą międzykomórkowego sterowania produkcją jest metoda sterowania według okresu powtarzalności produkcji (rytmu produkcji). Metoda ta wymaga ścisłego

przebiegu harmonogramu produkcji, który określa kolejność wykonywania operacji, czas wykonania tych operacji oraz wskazuje jakie operacje mają być wykonane na poszczególnych stanowiskach. System stosuje się w odniesieniu do przedmiotów produkowanych z podziałem na partie produkcyjne w komórkach o produkcji powtarzalnej. Do harmonogramowania procesów produkcji powtarzalnej można wykorzystać metodę nadeżnego sterowania produkcją (NSP), w tym algorytm nadeżnego harmonogramowania produkcji (NHP) [5]. Inną metodą jest szeroko znana metoda Kanban [1,6,7], będąca częścią operacyjną metody Just in Time. Zaletą metody Kanban jest możliwość utrzymywania stosunkowo małych zapasów produkcji w toku. Metoda Just in Time bazuje na efekcie ssania (ciągnięcia) surowców i półproduktów z wcześniejszych etapów procesu, co umożliwia minimalizację zapasów. Przepływ wyrobów kontrolowany jest przez system kart kanban, który może być wspomagany przez zintegrowany system informatyczny klasy ERP [3].

### 3. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

#### Przykład 1 – metoda maksimum – minimum

- okres między dostawami:  $t = 10$  dni;
- cykl dostawy:  $C_d = 3$  dni;
- horyzont planowania:  $T = 30$  dni;
- maksymalne opóźnienie dostawy:  $\Delta t = 2$  dni;
- koszt magazynowania:  $k = 1$  u.j.;
- dzienne zapotrzebowanie na elementy:  $p = 10$  sztuk.

Tablica 1 przedstawia stan zapasów, koszt produkcji oraz liczbę wyprodukowanych detali dla każdego dnia produkcji. Występują trzy okresy między dostawami. Założono, że w dniu zerowym poziom zapasów jest równy stanowi maksymalnemu. Zamówienia wystawiane są w 7 i 17 dniu a w 10 i 20 dniu następuje ich realizacja. W dniu 27 nie wystawiono zamówienia ponieważ dzień 30 jest ostatnim dniem produkcji.

Obliczone parametry:

stan normatywny minimalny:  $Z_{min} = p \cdot \Delta t = 10 \cdot 2 = 20$  sztuk.

stan normatywny maksymalny:  $Z_{max} = p \cdot \Delta t + p \cdot t = 20 + 10 \cdot 10 = 20 + 100 = 120$  sztuk.

*Pierwszy okres między dostawami:*

termin wystawienia zamówienia:  $t - C_d = 10 - 3 = 7$  dzień,

wielkość zamówienia:  $Z_z = a + b$ ,

gdzie:  $a = Z_{max} - Z_s(7) = 120 - 50 = 70$  sztuk,

$b = Z_s(7) - Z_{min} = 50 - 20 = 30$  sztuk,

$Z_z = a + b = 70 + 30 = 100$  sztuk.

stan zapasów w 10 dniu:  $Z_s(10) = (Z_s(9) - p \cdot k) + Z_z = 120$  sztuk.

koszt produkcji w dniu 0:  $P(0) = Z_s(0) \cdot k = 120 \cdot 1 = 120$  u.j.

koszt produkcji w dniu 1:  $P(1) = P(0) + p \cdot k = 120 + 10 = 130$  u.j.

*Drugi okres między dostawami:*

termin wystawienia zamówienia:  $(t + t) - C_d = 17$  dzień,

$a = Z_{max} - Z_s(17) = 120 - 50 = 70$  sztuk,  $b = 30$  sztuk,

wielkość zamówienia  $Z_z = a + b = 100$  sztuk,

stan zapasów w 20 dniu:  $Z_s(20) = (Z_s(19) - p \cdot k) + Z_z = 120$  sztuk,

koszt produkcji w dniu 11:  $P(11) = P(10) + p \cdot k = 340 + 10 = 350$  u.j.,

koszt produkcji w dniu 20:  $P(20) = P(19) + p \cdot k + Z_s(20) \cdot k = 440 + 120 = 560$  u.j.

Tablica 1. Zestawienie stanu zapasów, kosztów produkcji oraz liczby wyprodukowanych detali dla metody maksimum – minimum

dzień produkcji	stan zapasów $Z_s$ [szt]	zamówienia $Z_z$ [szt]	koszt produkcji $Z_s$ [szt]	produkcja detali [szt]
0	120	0	120	0
1	110	0	130	10
2	100	0	140	20
3	90	0	150	30
4	80	0	160	40
5	70	0	170	50
6	60	0	180	60
7	50	100	190	70
8	40	0	200	80
9	30	0	210	90
10	20+100=120	0	220+120=340	100
11	110	0	350	110
12	100	0	360	120
13	90	0	370	130
14	80	0	380	140
15	70	0	390	150
16	60	0	400	160
17	50	100	410	170
18	40	0	420	180
19	30	0	430	190
20	20+100=120	0	440+120=560	200
21	110	0	570	210
22	100	0	580	220
23	90	0	590	230
24	80	0	600	240
25	70	0	610	250
26	60	0	620	260
27	50	0	630	270
28	40	0	640	280
29	30	0	650	290
30	20	0	660	300

Źródło własne

**Przykład 2 – metoda stanu zamówieniowego**

- cykl dostawy:  $C_d = 5$  dni;
- horyzont planowania:  $T = 20$  dni;
- maksymalne opóźnienie dostawy:  $\Delta t = 3$  dni;
- koszt magazynowania:  $k = 1$  u.j.;
- dzienne zapotrzebowanie na elementy:  $p = 5$  sztuk .

Tablica 2 przedstawia stan zapasów, koszt produkcji oraz liczbę wyprodukowanych detali dla każdego dnia produkcji. Dzień 5 jest dniem w którym poziom zapasów osiągnął stan zamówieniowy. Wyróżniono dzień realizacji zamówienia (dzień 10). Stan zapasów oraz koszt produkcji liczony jest analogicznie jak w przykładzie dla metody maksimum-minimum.

Tablica 2. Zestawienie stanu zapasów, kosztu produkcji oraz liczby wyprodukowanych detali dla metody stanu zamówieniowego

dzień produkcji	stan zapasów $Z_s$ [szt]	zamówienia $Z_z$ [szt]	koszt produkcji $Z_s$ [szt]	produkcja detali [szt]
0	65	0	65	0
1	60	0	70	5
2	55	0	75	10
3	50	0	80	15
4	45	0	85	20
5	40	40	90	25
6	35	0	95	30
7	30	0	100	35
8	25	0	105	40
9	20	0	110	45
10	15+40=65	0	115+65=180	50
11	60	0	185	55
12	55	0	190	50
13	50	0	195	65
14	45	0	200	70
15	40	0	205	75
16	35	0	210	80
17	30	0	215	85
18	25	0	220	90
19	20	0	225	95
20	15	0	230	100

Źródło własne

Obliczone parametry:

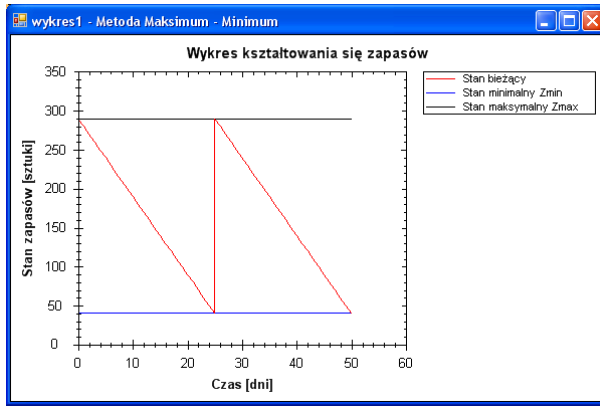
stan normatywny minimalny:  $Z_{\min} = p \cdot \Delta t = 5 \cdot 3 = 15$  sztuk.stan normatywny zamówieniowy  $Z_s = p \cdot C_d + Z_{\min} = 25 + 15 = 40$  sztukstan normatywny maksymalny:  $Z_{\max} = 65$  sztuk.Wielkość partii:  $Z_{\max} - Z_{\min} = 40$  sztuk.

#### 4. PORÓWNANIE METOD

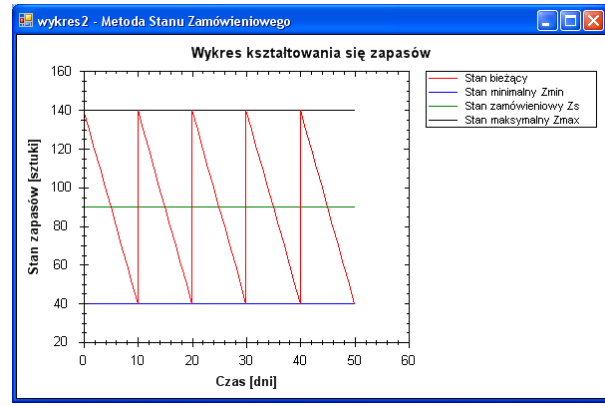
Przykład 1 – stałe zapotrzebowanie na elementy

- cykl dostawy:  $C_d = 5$  dni
- horyzont planowania:  $T = 50$  dni
- maksymalne opóźnienie dostawy:  $\Delta t = 4$  dni
- koszt magazynowania detalu:  $k = 1$  u.j.
- dzienne zapotrzebowanie na elementy: 10 sztuk
- okres między dostawami: 25 dni – parametr tylko dla metody maksimum-minimum

W tym przykładzie zapasy i koszty magazynowania kształtują się różnie dla obu metod. Końcowy bilans kosztowy jest lepszy dla metody maksimum-minimum, co jest spowodowane mniejszą liczbą zamówień.

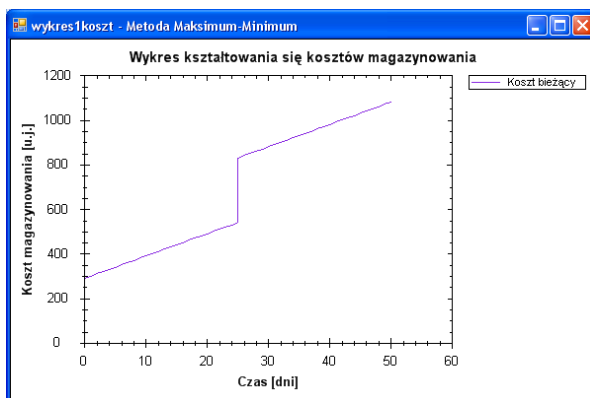


a)

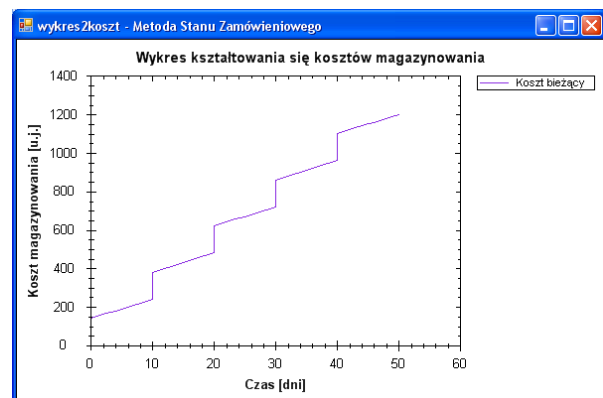


b)

Rys. 3. Wykresy kształtowania się zapasów a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]



a)

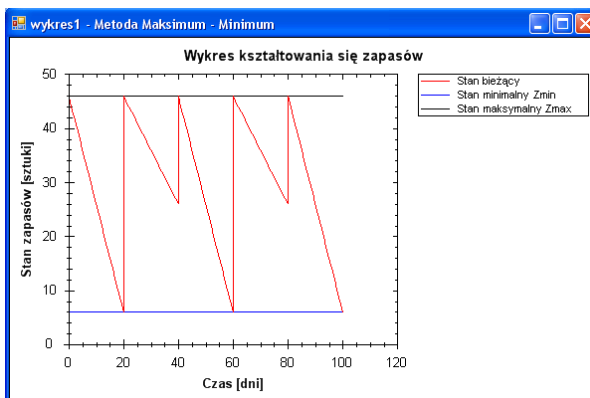


b)

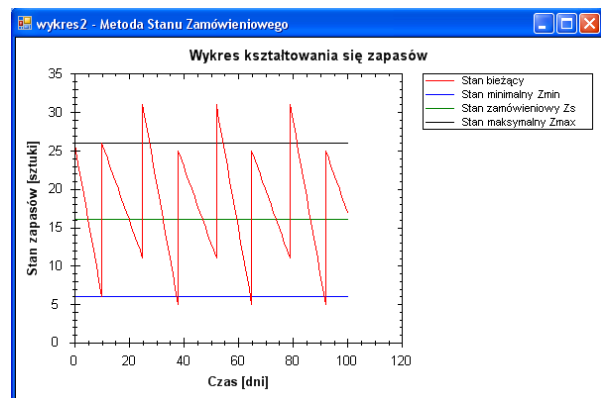
Rys. 4. Wykresy kształtowania się kosztów magazynowania a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]

Przykład 2 – zapotrzebowanie na elementy według metody MRP

- cykl dostawy:  $C_d = 5$  dni
- horyzont planowania:  $T = 100$  dni
- maksymalne opóźnienie dostawy:  $\Delta t = 3$  dni
- dzienny koszt magazynowania partii produkcyjnej: 1 u.j.
- liczba detali do wyprodukowania: 150sztuk
- okres między dostawami: a) 20 dni (rys. 5a, 6a), b) 10 dni (rys. 7a, 8a)

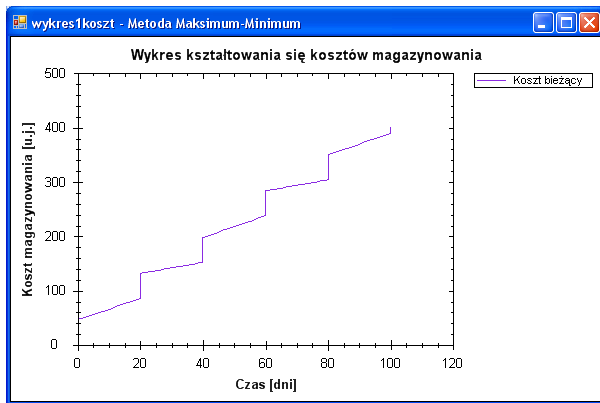


a)

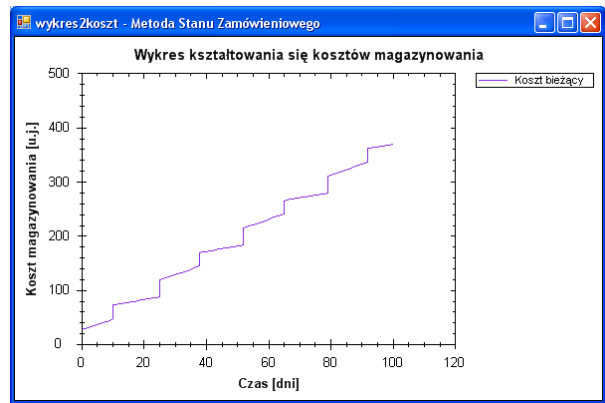


b)

Rys. 5. Wykresy kształtowania się zapasów - okres między dostawami: 20 dni a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]

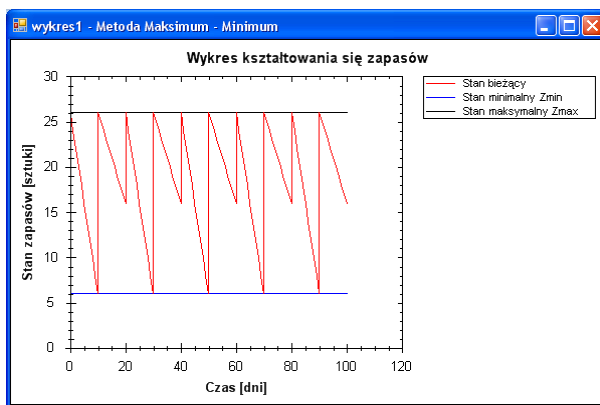


a)

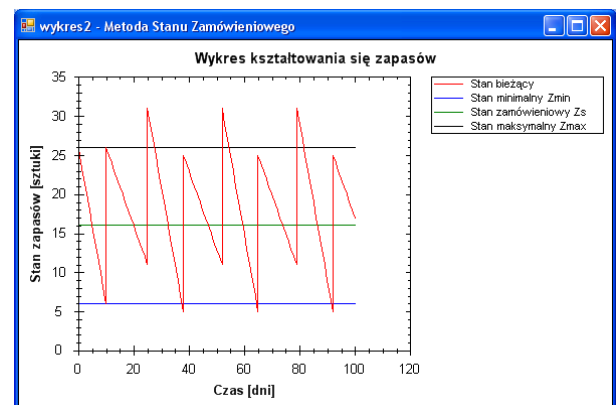


b)

Rys. 6. Wykresy kształtowania się kosztów magazynowania - okres między dostawami: 20 dni  
a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]

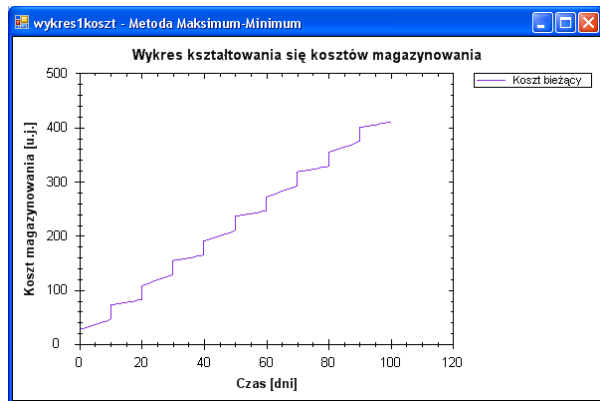


a)

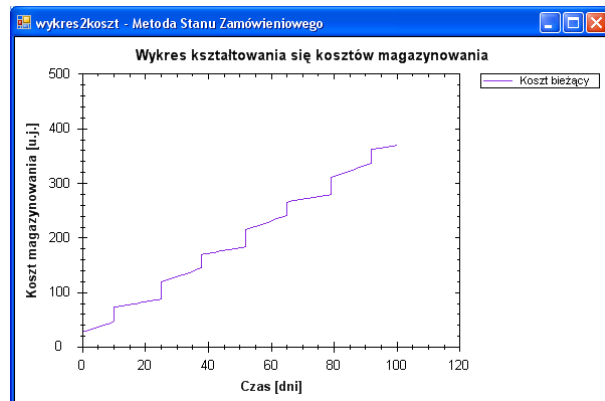


b)

Rys. 7. Wykresy kształtowania się zapasów – okres między dostawami: 10 dni  
a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]



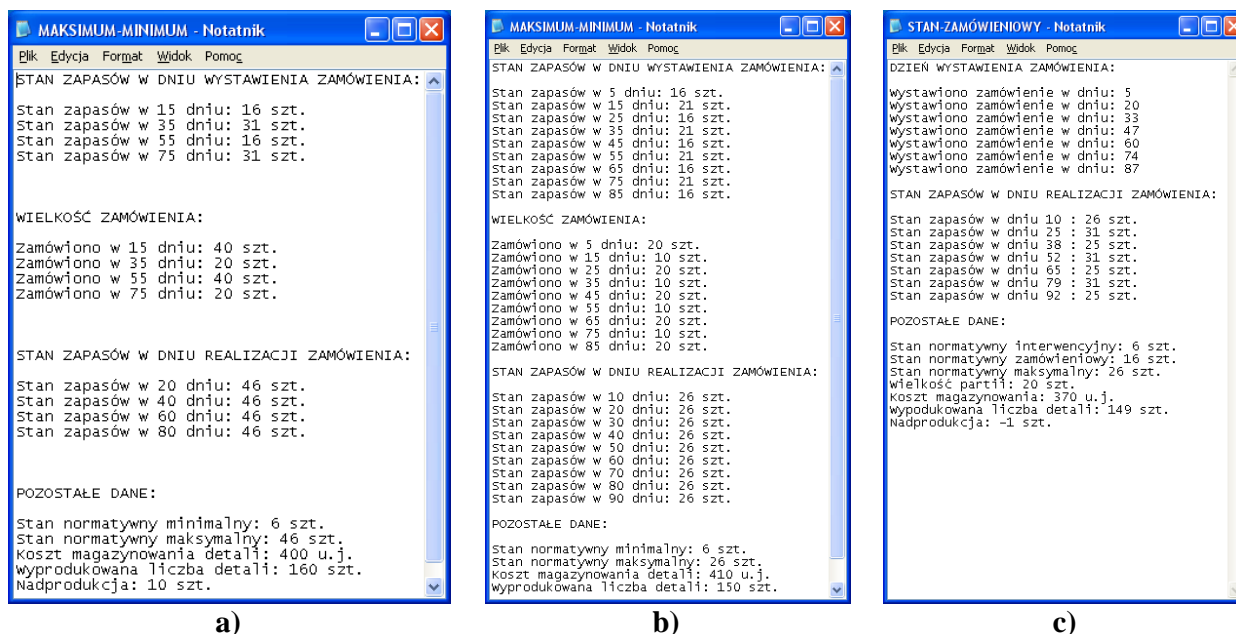
a)



b)

Rys. 8. Wykresy kształtowania się kosztów magazynowania okres między dostawami: 10 dni  
a) metoda maksimum-minimum, b) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]





Rys. 9. Wyniki tekstowe a), b) metoda maksimum-minimum, c) metoda stanu zamówionego [Źródło własne]

W przypadku gdy okres między dostawami dla metody maksimum-minimum wyniósł 20 dni wyprodukowano 160 elementów, zatem nadprodukcja wynosiła 10 sztuk. Koszt magazynowania wyniósł 400 u.j (rys. 9a). Gdy okres między dostawami zmniejszono do 10 dni wyprodukowano dokładnie 150 elementów a koszt magazynowania wyniósł 410 u.j. (rys. 9b).

W przypadku metody stanu zamówieniowego metoda MRP pozwoliła zarządzać zapasami w taki sposób, że wyprodukowano 149 elementów a koszt magazynowania wyniósł 370 u.j (rys.9c).

## 5. PODSUMOWANIE

Omówione w metody sterowania według stanów zapasów magazynowych pozwalają sprawnie zarządzać zapasami magazynowymi. Omawiane metody posiadają szereg cech wspólnych, ale występują również rozbieżności. W obydwóch metodach cechą wspólną są maksymalne oraz minimalne stany normalywne. Definicja tych stanów jest identyczna dla obu metod. Stany te określają zakres poziomu zapasów pomiędzy którymi powinny kształtować się przebiegi wielkości zapasów. W metodzie stanu zamówieniowego stan minimalny nazywany jest interwencyjnym, ponadto występuje trzeci normatyw, tzw. stan zamówieniowy.

Główna różnica pomiędzy tymi metodami polega na sposobie doboru wartości parametrów czasu i ilości. W metodzie maksimum-minimum występują stałe okresy między kolejnymi dostawami, także terminy wystawiania zamówień na dostawę elementów powtarzają się cyklicznie, zmienna jest natomiast ilość zamawianych elementów do produkcji. Metoda stanu zamówieniowego charakteryzuje się zmiennymi terminami wystawiania zamówień na dostawę stałej wielkości partii elementów do produkcji. Moment wystawienia zlecenia określa moment osiągnięcia stanu zamówieniowego. Metoda maksimum-minimum jest stosowana gdy zapotrzebowanie na elementy w kolejnych okresach planistycznych jest w miarę równomierne (brak drastycznych zmian zapotrzebowania na elementy). Niedotrzymanie tego warunku może powodować utrzymywanie znacznych stanów magazynowych, co skutkuje wzrostem kosztów produkcji. Metoda stanu zamówieniowego

znajduje zastosowanie w przypadku nawet dużych wahań zapotrzebowania na elementy w kolejnych okresach między dostawami. Znajduje zastosowanie w przypadku nieregularnego zapotrzebowania na elementy. Terminy zamówień są zmienne, co powoduje elastyczność metody na dynamiczne zmiany w zapotrzebowaniu.

\*\*\*

*Praca finansowana ze środków przewidzianych na BK-214/RAu1/2011/t.5.*

## LITERATURA

- [1] Browne J., Harhen J., Shirnan J.: *Production Mangement System An Integrated Perspective*. Addison Wesley, 1996.
- [2] Brzeziński M.: *Organizacja i sterowanie produkcją: projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa, 2002.
- [3] Krystek J., Jagodziński M.: *Algorytm Kanban w zintegrowanym systemie zarządzania produkcją w Rozwój i zastosowania metod ilościowych i technik informatycznych wspomagających procesy decyzyjne*, Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, Bydgoszcz 2007, s. 56-67.
- [4] Krystek J., Jagodziński M.: *Realizacja algorytmów planowania potrzeb materiałowych i zdolności produkcyjnych w zintegrowanym systemie informatycznym*. X K.K. „Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie”, Zakopane 2007, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2007, Tom 1, s.500-506.
- [5] Krystek J., Zaborowski M.: *Nadżne sterowanie produkcją jako metoda harmonogramowania produkcji powtarzalnej*, *Pomiary Automatyka Kontrola* Vol 53, 8-2007, s. 33-37.
- [6] Monden Y.: *Toyota Production Systems: Practical Approach to Production Management*, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, GA, 1983.
- [7] Ptak C.: *ERP Tools, Techniques and Applications for Integrating the Supply Chain*, CRC Press LLC, Boca Raton FA, 2004.
- [8] Wróblewski K.J.: *Podstawy sterowania przepływem produkcji*, WNT, Warszawa 1993.

## STOCK STORAGE QUANTITY IN PRODUCTION CONTROL

### Abstract

The article presents two methods of intracellular production stocks' controlling: a maximum-minimum and the state ordering. These methods differ from each other in inventory control and the issue of procurement of new items. In both methods, the possibility of generating additional demand in accordance with MRP method is implemented. The aim was to show the production inventory control method which is characterized by a lower cost storage.

**Keywords:** production control, inventory control, production flow, work in process, cost storage