

Mieczysław JAGODZIŃSKI
Politechnika Śląska

PRZYKŁAD OPTYMALIZACJI ZLECEŃ WYKONAWCZYCH W SYSTEMIE LINII PRODUKCYJNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono model optymalizacyjny podziału zleceń roboczych z systemu MRP II na zlecenia wykonawcze dla systemu linii produkcyjnych. Minimalizowany jest łączny koszt przezbrojeń i magazynowania. Szczegółowo przedstawiono przykład podziału jednego zlecenia roboczego w tłoczni blach fabryki samochodów. Przedyskutowano dane wejściowe oraz wyniki przykładowej optymalizacji.

AN EXAMPLE OF EXECUTION ORDERS OPTIMIZATION IN PRODUCTION LINES SYSTEM

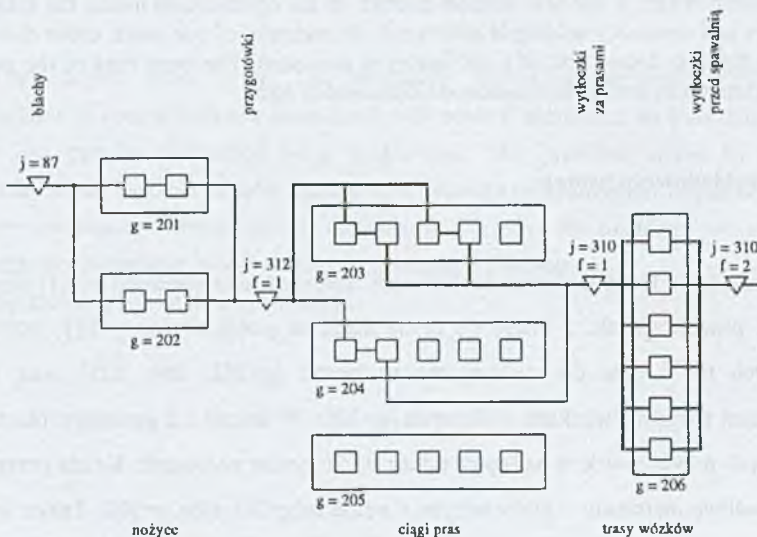
Summary. The paper shows how to divide work orders from an MRP II system into execution orders in the best possible manner. In the optimization model the total cost of setups and inventory holding is minimized. An example of one work order division in a press forming department of a car factory is presented. The input data of the exemplary optimization as well as its solution are discussed in detail.

1. Opis przykładowego procesu

Przykładowa tłocznia elementów karoserii samochodów osobowych (rys.1) składa się z 6 komórek produkcyjnych: 2 nożyce do cięcia blach na przygotówki ($g=201, 202$), 3 linii zawierających po 5 pras do wytwarzania wytłoczek ($g=203, 204, 205$) oraz komórki reprezentującej transport wózkami widłowymi ($g=206$). W tłoczni z 2 gatunków blach wycina się 13 różnych przygotówek, a następnie tłoczy się 26 typów wytłoczek. Każda przygotówka ma dwie możliwe marszruty – przez nożyce o numerze $g=201$ albo $g=202$. Także wytłoczki mają po dwie marszruty technologiczne. Każda z nich przechodzi przez jeden z ciągów pras ($g=203, 204$ albo 205) i przez tę samą komórkę $g=206$ reprezentującą trasy wózków. Spośród $2 \cdot 13 + 2 \cdot 26 = 78$ różnych marszrut na rys.1 pokazano tylko pary marszrut technologicznych przygotówki o indeksie materiałowym $j=312$ i wytłoczki o indeksie $j=310$. Marszruty technologiczne przygotówek przechodzą przez jedno stadium – nożyce ($f=1$), natomiast

technologiczne przygotówek przechodzą przez jedno stadium – nożyce ($f=1$), natomiast marszruty wytłoczek przechodzą przez dwa stadia – stadium tłoczenia (ciągi pras, $f=1$) i stadium transportu (zbiór tras wózków, $f=2$). Każde zlecenie robocze jest realizowane jako ciąg zleceń komórkowych w komórkach produkcyjnych, przez które przechodzi jego marszruta technologiczna. Przykładowo, zleceniu roboczemu na wytworzenie określonej liczby wytłoczek $j=310$, którego marszrutę przedstawiono na rys.1 linią pogrubioną, odpowiadają zlecenia komórkowe tłoczenia i przewozu tej samej liczby wytłoczek. Każde zlecenie komórkowe może być dzielone na zlecenia wykonawcze różniące się marszrutami wykonawczymi wewnątrz komórki lub chwilami początku i zakończenia. Na rys.1 pokazano dla przykładu dwie marszruty wykonawcze należące w komórce $g=203$ do tej samej marszruty technologicznej.

Problem podziału zleceń roboczych na zlecenia wykonawcze może posiadać wiele rozwiązań. Od sposobu podziału zleceń roboczych na zlecenia wykonawcze zależy przede wszystkim liczba przebrojeń stanowisk oraz wielkość partii w zleceniach wykonawczych. Dlatego do optymalizacji planowania wykonawczego można zaproponować funkcję celu, będącą sumą kosztów przebrojeń i kosztów utrzymania zapasów.



Rys.1. Poglądowy schemat przepływu materiałów przez tłocznię w przykładowej fabryce samochodów

Fig.1. Material flow diagram for a press forming department of a car factory

2. Sformułowanie problemu optymalizacji harmonogramowania zleceń wykonawczych

Zestawienie funkcji celu i ograniczeń rozpatrywanego problemu optymalizacji zleceń wykonawczych przytoczono niżej za [6][7]. Komentarze objaśniające szczegóły przyjętego modelu zamieszczono w rozdziałach 1 i 3 opisujących przykład, którego przedstawienie jest głównym celem niniejszej pracy.

Funkcja celu:

$$F = \sum_{n \in N} \sum_{g \in I_n^c} \sum_{m=1}^{m_{ng}^m} A_{ng} y_{ngm} + \sum_{c=1}^{c^m} \sum_{j \in J^c} \sum_{f=1}^{f_j^{m-1}} h_{jf} V_{jfc} + \sum_{c=1}^{c^m} \sum_{j \in J} h_j V_{jc} \quad (1)$$

ograniczenia:

$$c_{ngm}^p \geq c_n^o, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (2)$$

$$c_{ngm}^k \leq c_n^z, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (3)$$

$$c_{ngm}^k = c_{ngm}^p + \tau_{ngm} + z_{ngm}, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^{m_{ng}^m} z_{ngm} = w_{ng}, \text{ dla } g \in I_n^c, n \in N \quad (5)$$

$$z_{ngm} \leq y_{ngm} c^m, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (6)$$

$$\tau_{ngm} = \tau_{ng} y_{ngm}, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (7)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{m=1}^{m_{ng}^m} (k_{ng}^2 - k_{ng}^1 + 1) x_{ngmc} \leq L_g, \text{ dla } g \in I^{kp}, c=1 \dots c^m \quad (8)$$

$$r_{ngmc} + x_{ngmc} \leq y_{ngm}, \text{ dla } c=1 \dots c^m, m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (9)$$

$$\sum_{c=1}^{c^m} x_{ngmc} = z_{ngm}, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (10)$$

$$\sum_{c=1}^{c^m} r_{ngmc} = \tau_{ngm}, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (11)$$

$$\sum_{c=1}^{c^m} p_{ngmc} = c_{ngm}^p, \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (12)$$

$$\sum_{c=1}^{c^m} q_{ngmc} = c^m - (c_{ngm}^p + \tau_{ngm} + z_{ngm}), \text{ dla } m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (13)$$

$$p_{ngmc} + r_{ngmc} + x_{ngmc} + q_{ngmc} = 1, \text{ dla } c=1 \dots c^m, m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (14)$$

$$p_{ngm,c-1} + r_{ngmc} + x_{ngmc} + q_{ngmc} \geq 1, \text{ dla } c=1 \dots c^m, m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (15)$$

$$p_{ngmc} + r_{ngmc} + x_{ngmc} + q_{ngm,c+1} \geq 1, \text{ dla } c=1 \dots c^m, m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (16)$$

$$p_{ngm,c-1} + r_{ngm,c-1} + x_{ngmc} + q_{ngmc} \geq 1, \text{ dla } c=1 \dots c^m, m=1 \dots m_{ng}^m, g \in I_n^c, n \in N \quad (17)$$

$$V_{jfc} = V_{jfc-1} + \sum_{n \in N_j^f} \left(\sum_{\substack{g=1 \\ g \in I_n^c}}^{m_{ng}^m} P_{ng} x_{ngmc} - \sum_{\substack{m=1 \\ g \in I_n^c(r+1)}}^{m_{ng}^m} P_{ng} x_{ngmc} \right), \text{ dla } f = 1 \dots f_j^m - 1, \quad (18)$$

$$V_{jc} = V_{j,c-1} + \Delta V_{jc} + \sum_{n \in N_j^f} \sum_{\substack{m=1 \\ g \in I_n^c}}^{m_{ng}^m} P_{ng} x_{ngmc} - \sum_{n \in N_j^f} \sum_{\substack{m=1 \\ g \in I_n^c}}^{m_{ng}^m} a_{nj} P_{ng} x_{ngmc}, \text{ dla } j \in J, c = 1 \dots c^m \quad (19)$$

$$\Delta V_{jc} = U_{jc} - D_{jc}, \text{ dla } j \in J, c = 1 \dots c^m \quad (20)$$

$$V_{jfc-1} - \sum_{n \in N_j^f} \sum_{\substack{m=1 \\ g \in I_n^c(r+1)}}^{m_{ng}^m} P_{ng} x_{ngmc} \geq 0, \text{ dla } f = 1 \dots f_j^m - 1, j \in J^p \mid f_j^m > 1, c = 1 \dots c^m \quad (21)$$

$$V_{j,c-1} + \Delta V_{jc} - \sum_{n \in N_j^f} \sum_{\substack{m=1 \\ g \in I_n^c}}^{m_{ng}^m} a_{nj} P_{ng} x_{ngmc} \geq 0, \text{ dla } j \in J, c = 1 \dots c^m \quad (22)$$

Zmiennymi decyzyjnymi w problemie (1) ... (22) są c_{ngm}^p , z_{ngm} , y_{ngm} , x_{ngmc} , r_{ngmc} , p_{ngmc} ,

q_{ngmc} , przy czym:

$c_{ngm}^p \geq 0$ i całkowite, $z_{ngm} \geq 0$ i całkowite, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$

$y_{ngm} \in \{0, 1\}$, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$

$x_{ngmc} \in \{0, 1\}$, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$, $c = 1 \dots c^m$,

$r_{ngmc} \in \{0, 1\}$, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$, $c = 1 \dots c^m$,

$p_{ngmc} \in \{0, 1\}$, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$, $c = 1 \dots c^m$,

$q_{ngmc} \in \{0, 1\}$, dla $m = 1 \dots m_{ng}^m$, $g \in I_n^c$, $n \in N$, $c = 1 \dots c^m$,

Oznaczenia poszczególnych symboli występujących w modelu (1)...(22) są następujące:

n - numer zlecenia roboczego, $n \in N$,

g - numer komórki produkcyjnej, $g \in I_n^{KP}$,

I_n^c - zbiór komórek produkcyjnych, w których jest wykonywane zlecenie robocze n , $I_n^c \subset I_n^{KP}$,

m - numer zlecenia wykonawczego, $m \in \{1 \dots m_{ng}^m\}$,

m_{ng}^m - największy numer zleceń wykonawczych należących do zlecenia komórkowego (n, g) ,

A_{ng} - koszt jednego przebrojenia marszruty wykonawczej należącej w komórce g do marszruty technologicznej zlecenia roboczego n ,

$$y_{ngm} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli w podziale zlecenia komórkowego } (n, g) \\ & \text{istnieje niezerowe zlecenie wykonawcze o numerze } m, \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym.} \end{cases}$$

c - numer okresu planowania wykonawczego, $c \in \{1 \dots c^m\}$,

j - numer materiału, $j \in J$, w szczególności numer produktu, $j \in J^p \subset J$,

f - numer stadium technologii, $f \in \{1 \dots f_j^m\}$, $j \in J^p$,

h_{jfc} - koszt magazynowania jednostki produktu j w stadium f przez jeden okres planowania wykonawczego,

V_{jfc} - zapas międzystadialny po stadiach wcześniejszych od ostatniego; ograniczenie (21) gwarantuje właściwą kolejność operacji w różnych liniach produkcyjnych wykonujących to samo zlecenie robocze,

h_j - koszt magazynowania jednostki materiału j przez jeden okres planowania wykonawczego,

V_{jc} - zapas materiału j lub produktu j po ostatnim stadium technologicznym; ograniczenie (22) zapewnia właściwą kolejność realizacji zleceń wykonawczych należących do różnych zleceń roboczych,

c_{ngm}^p - chwila startu zlecenia wykonawczego,

c_n^o - czas otwarcia zlecenia roboczego,

c_{ngm}^k - chwila zakończenia zlecenia wykonawczego,

c_n^z - termin zamknięcia zlecenia roboczego,

τ_{ngm} - czas przygotowawczy zlecenia wykonawczego (n, g, m) mierzony liczbą okresów planowania wykonawczego,

z_{ngm} - czas roboczy zlecenia wykonawczego (n, g, m) mierzony liczbą okresów planowania wykonawczego, a zarazem liczba partii elementarnych zlecenia wykonawczego,

w_{ng} - liczba partii elementarnych zlecenia komórkowego (n, g) ,

τ_{ng} - czas przygotowawczy w zleceniach wykonawczych zlecenia roboczego n w komórce g (jest jednakowy w każdym z tych zleceń wykonawczych, ponieważ technologia wybrana dla zlecenia roboczego obowiązuje na każdej z jego marszrut wykonawczych i w całym okresie jego realizacji),

k_{ng}^1, k_{ng}^2 - numery pierwszej i ostatniej operacji wykonywanej w komórce g , w ramach zlecenia roboczego n ; $1 \leq k_{ng}^1 \leq k_{ng}^2 \leq k_n^m$, dla $g \in I_n^c, n \in N$, przy czym k_n^m - liczba

· operacji zlecenia roboczego n ,

$$x_{ngmc} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli w okresie } c \text{ w komórce } g \text{ jest produkowana partia elementarna} \\ & \text{zlecenia wykonawczego } (n, g, m), \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym,} \end{cases}$$

$$\Gamma_{ngmc} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli okres } c \text{ należy do okresu przebrożenia dla potrzeb} \\ & \text{zlecenia wykonawczego } (n, g, m), \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym,} \end{cases}$$

L_g - liczba stanowisk roboczych w komórce,

p_{ngmc}, q_{ngmc} - zero-jedynkowe zmienne pomocnicze, które są równe 1 odpowiednio przed i po realizacji zlecenia wykonawczego (n, g, m) ,

P_{ng} - partia elementarna w zleceniach wykonawczych zlecenia komórkowego (n, g) ,

N_j^P - zbiór numerów zleceń roboczych, w których wytwarzany jest produkt j , $N_j^P \subset N$,

N_j^R - zbiór numerów zleceń roboczych zużywających materiał j , $N_j^R \subset N$,

g_{nf}^e - numer komórki produkcyjnej w stadium f zlecenia roboczego n ,

g_n^P - numer komórki produkcyjnej w ostatnim stadium zlecenia roboczego n ,

g_{nj}^R - numer komórki produkcyjnej, w której dla zlecenia roboczego n zużywany jest materiał j ,

a_{nj} - współczynnik zużycia materiału j w zleceniu roboczym n ,

ΔV_{jc} - przyrost zapasu niezależny od produkcyjnych zleceń wykonawczych, wynikający ze zleceń odbioru dostaw zaopatrzeniowych i ze zleceń ekspedycji wyrobów gotowych (w rozpatrywanym problemie jest to wielkość dana),

U_{jc} - dopływ produktu j z zaopatrzenia w okresie planowania wykonawczego c ,

D_{jc} - odpływ gotowego produktu j na ekspedycję w okresie planowania wykonawczego c .

3. Dane liczbowe

Dla ułatwienia analizy modelu (1) ... (22) skonstruowano prosty przykład, w którym występuje jedno zlecenie robocze. Jest to zlecenie o nieistotnym w tym przypadku numerze n na wytworzenie i przewóz 180 sztuk wtyłoczek o numerze 310. Materiałem zużywanym w tym zleceniu są przygotówki o numerze $j = 312$, a komórkami, przez które przechodzi zlecenie są ciąg pras $g=203$, i komórka transportu $g=206$. Stąd $N=\{n\}$; $I^{KP} = I_N^e = \{203, 206\}$;

$J=\{310,312\}$; $J^P=\{310\}$; $f_{310}^m=2$. Ponadto, dla ograniczeń (18) ... (22) można wskazać następujące dane strukturalne (rys.1): $N_{310}^P=N_{312}^R=N=\{n\}$; $g_{n1}^c=203$, $g_{n2}^c=206$; $g_n^p=206$; $g_{n,312}^R=203$. Wartości początkowe zapasów wynoszą odpowiednio: $V_{312,0}=180$, $V_{310,1,0}=0$; $V_{310,0}=0$.

Liczba zleceń wykonawczych m_{ng}^m , na które dzieli się dane zlecenie komórkowe (n,g) , jest w istocie zmienną decyzyjną. Jednak wprowadzenie do modelu zmiennej zero-jedynkowej y_{ngm} umożliwia formalne zastąpienie tej liczby przez odpowiednio dobraną stałą, będącą jej górnym oszacowaniem. Należy wziąć pod uwagę, że niezerowe zlecenie wykonawcze musi być równe co najmniej jednej partii elementarnej, czyli liczbie sztuk produktu przetwarzanych w jednym okresie planowania wykonawczego. Przyjęto, że partie elementarne są równe $P_{n,203}=P_{n,206}=30$, co zresztą jest bezpośrednio wykorzystywane w (18)(19)(21)(22). Ponieważ wielkość zlecenia wynosi 180, odpowiednio liczby partii w zleceniach komórkowych wynoszą $w_{n,203}=6$, $w_{n,206}=6$. Wielkości te, bezpośrednio występujące w ograniczeniu (5), są przyjęte jako liczby zleceń wykonawczych $m_{n,203}=m_{n,206}=6$, lecz trzeba jeszcze sprawdzić, czy można wskazać lepsze oszacowania.

Przyjęto, że doba robocza obejmuje 16 godzin, czyli 64 15-minutowe okresy planowania wykonawczego. Założono, że czas otwarcia i termin zamknięcia zlecenia roboczego to początek i koniec doby, które wyrażone numerami okresów planowania wykonawczego są odpowiednio $c_n^o=0$ i $c_n^z=64$. Także horyzont optymalizacji $c^m=64$, ponieważ w problemie nie ma innych zleceń roboczych. Czasy przygotowawcze zleceń wykonawczych należących do zlecenia komórkowego $(n,203)$ są $\tau_{n,203}=2$, czyli $2 \cdot 15=30$ minut. Dla zlecenia $(n,206)$ są $\tau_{n,206}=0$. Dla niezerowych zleceń wykonawczych czasy robocze nie mogą być krótsze niż 1 okres planowania wykonawczego, a zatem czasy realizacji zleceń wykonawczych $\tau_{ngm} + z_{ngm}$ nie mogą być krótsze niż 3 okresy planowania wykonawczego dla $g=203$ i niż 1 okres dla $g=206$. Biorąc pod uwagę $c_n^z - c_n^o = 64$ wnioskujemy, że na jednej marszrucie wykonawczej w komórce $g=203$ nie można zrealizować więcej niż 21 zleceń wykonawczych, a dla komórki $g=206$ odpowiednie oszacowanie wynosi 64.

Dopuszczalna liczba równocześnie aktywnych różnych marszrut wykonawczych zależy od liczby stanowisk roboczych w komórce, która w przykładzie (rys.1) wynosi odpowiednio $L_{203} = 5$, $L_{206} = 6$, oraz od liczby operacji zlecenia komórkowego:

$$k_{n,203}^2 - k_{n,203}^1 + 1 = 2 - 1 + 1 = 2, \text{ dla } g=203,$$

$$k_{n,206}^2 - k_{n,206}^1 + 1 = 3 - 3 + 1 = 1, \text{ dla } g=206.$$

W komórce $g=203$ z 5 stanowisk można ułożyć tylko 2 różne marszruty angażujące równocześnie po 2 stanowiska, natomiast w komórce $g=206$ może istnieć równocześnie 6 różnych marszrut jednostanowiskowych. Stąd wynikają oszacowania liczb zleceń wykonawczych równe $2*21=42$ dla $g=203$ oraz $6*64=384$ dla $g=206$. Porównując je z obliczonymi wcześniej liczbami partii elementarnych w zleceniach komórkowych widać, że są to znacznie gorsze oszacowania.

Należy podkreślić, że ewentualne zawyżenie łącznej liczby zerowych i niezerowych zleceń wykonawczych danego zlecenia komórkowego może wydłużyć czas trwania obliczeń optymalizacyjnych, lecz nie ma wpływu na uzyskiwaną wartość funkcji celu.

Ograniczenia (9) ... (17) nie wymagają żadnych nowych danych liczbowych. Zostały one wprowadzone do modelu (1) ... (22) po to, by zastąpić definicje zmiennych x_{ngmc} , r_{ngmc} z rozdz.1 odpowiednim układem równań i nierówności liniowych. Formalny dowód poprawności tej zamiany przedstawiono w uproszczonej wersji w [6].

Pierwszy człon funkcji celu (1) reprezentuje koszty przebrojeń, a dwa pozostałe są kosztami magazynowania. Występujące w (1) koszty jednostkowe w praktyce wynikają z analizy ekonomicznej. W rozpatrywanym przykładzie wprowadzono je wzorując się na przykładach zamieszczonych w [2]. Jednostkowy koszt magazynowania jest proporcjonalny do ceny produktu, a współczynnik proporcjonalności, w przypadku gdy jednostką czasu jest rok, nie powinien być mniejszy od stopy oprocentowania kapitału. W jednym z przykładów w [2] założono, że jest on równy 0,1. W niniejszym przykładzie, biorąc pod uwagę inflację, przyjęto wartość 0,4. Liczba 15-minutowych okresów planowania wykonawczego w roku wynosi $365*24*4=35040$. Przyjmując, że ceny rozliczeniowe 1 sztuki przykładowej przygotówki, wytłoczki za prasami i wytłoczki przed spawalnią wynoszą odpowiednio 131,40 zł, 187,20 zł, 183,96 zł otrzymujemy:

$$h_{312} = (0,4 * 131,40) / 35040 = 0,0015$$

$$h_{310,1} = (0,4 * 175,20) / 35040 = 0,0020$$

$$h_{310} = (0,4 * 183,96) / 35040 = 0,0021$$

Przewóz wózkami nie wymaga przebrojeń, a stąd $A_{n,206} = 0$. Ponieważ brak było danych źródłowych o kosztach przebrojeń w liniach pras, dobrano je tak, by były zbliżone do kosztów magazynowania w okresie powtarzalności, co zachodzi, jak wiadomo, w przypadku optymalnej wielkości partii [2]. Przyjęto, że okres powtarzalności w przypadku rytmicznej pracy komórki $g=203$ jest równy jednej dobie (i dla tego okresu są formułowane także zlecenia robocze na wykonanie innych wytłoczek), a średni zapas za linią pras równa się połowie średniego dobowego przepływu czyli $180:2=90$. Stąd dobowy koszt magazynowania za linią pras wynosi $0,002 * 90 * 24 * 4 = 17,28$. Do obliczeń przyjęto $A_{n,203} = 20$.

4. Dyskusja wyników obliczeń

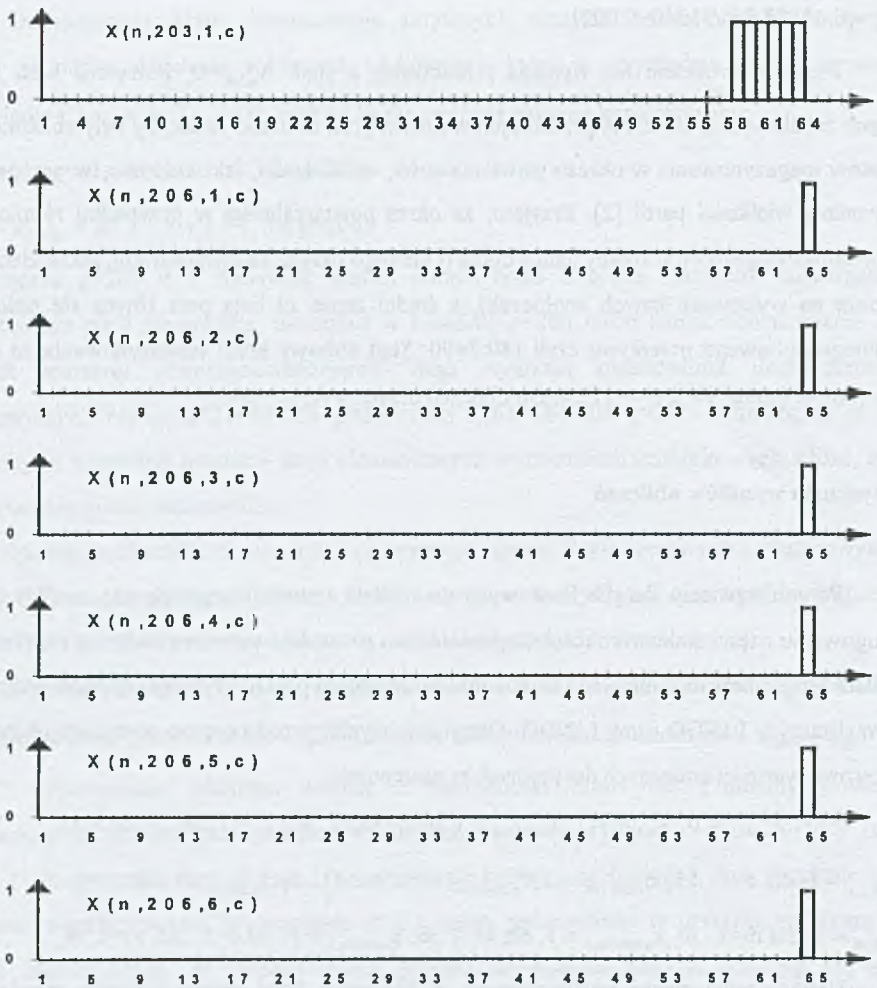
Po podstawieniu danych liczbowych do modelu optymalizacyjnego (1) ... (22) i po wyrugowaniu części zmiennych dzięki ograniczeniom równościowym sprowadzono otrzymany problem programowania liniowego całkowitoliczbowego do postaci wymaganej przez program optymalizacyjny LINGO firmy LINDO. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na rys.2. Niezerowe wartości zmiennych decyzyjnych są następujące:

$$c_{n,203,1}^p = 55; z_{n,203,1} = 6; y_{n,203,1} = 1; r_{n,203,1,c} = 1 \text{ dla } c=56,57; x_{n,203,1} = 1, \text{ dla } c=58 \dots 63;$$

$$p_{n,203,1,c} = 1, \text{ dla } c=1 \dots 55; q_{n,203,1,64} = 1; c_{n,206,m}^p = 63, \text{ dla } m=1 \dots 6; z_{n,206,m} = 1, \text{ dla } m=1 \dots 6;$$

$$y_{n,206,m} = 1, \text{ dla } m=1 \dots 6; x_{n,206,m,64} = 1, \text{ dla } m=1 \dots 6; p_{n,206,m,c} = 1, \text{ dla } c=1 \dots 63, m=1 \dots 6;$$

Umieszczenie zleceń wykonawczych w końcowej fazie dopuszczalnego przedziału czasowego można wytłumaczyć wynikającymi stąd mniejszymi kosztami magazynowania, bowiem dzięki temu przez większą część horyzontu optymalizacji utrzymywane są zapasy przygotówek o małych kosztach magazynowania, a tylko pod koniec horyzontu istnieją niezerowe zapasy wytłoczek o większych kosztach magazynowania. Jeszcze większe oszczędności z tego powodu można byłoby osiągnąć dzieląc zlecenie wykonawcze na 2, po 90 sztuk każde (patrz rys.1). Jednak wtedy koszty przebrojeń byłyby dwukrotnie wyższe, co znacznie przerósłoby spadek kosztów magazynowania, więc optymalne jest rozwiązanie z rys.2.



Rys.2. Okresy realizacji zleceń wykonawczych przykładowego zlecenia roboczego
 Fig.2. Realization periods of execution orders of the sample work order

5. Uwagi końcowe

Szczegółowa analiza danych i wyników prostego przykładu optymalizacji zleceń wykonawczych w systemie linii produkcyjnych potwierdziła poprawność przyjętego modelu. Celem dalszych prac będzie jego weryfikacja w przypadku wielu zleceń roboczych.

LITERATURA

1. Evans J.R. , Anderson D.R., Sweeney D.J.,Williams T.A. : Applied Production and Operations Management , West Publishing Co, New York 1987.
2. Johnson L.A. , Montgomery D.C. : Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control, John Wiley and Sons, New York 1974.
3. Landvater D.V., Gray C.D. : MRP II Standard System, Oliver Wight Publications, 1989
4. Orlicky J. : Material Requirements Planning, Mc Graw-Hill, New York 1975.
5. Zaborowski M. : Material flow models for production control in discrete manufacturing plants, Proceedings of the Fourth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR '97, Międzyzdroje 1997, vol. 3, pp. 961-965.
6. Zaborowski M., Jagodziński M. :An execution planning model for complex manufacturing systems composed of production lines, Dynamic Control and Management Systems in Manufacturing Processes, DYCOMANS NETWORK, WORKSHOP IV, Zakopane 1997, preprints, pp. 71-76.
7. Zaborowski M., Jagodziński M. : Optymalizacja harmonogramowania w pewnym systemie linii produkcyjnych. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 12-14.01.1998r. str. 335-364.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Andrzej Świerniak

Abstract

Work orders from an MRP II system may be divided into parts designated to execution on different routes and in various time intervals between their release dates and due dates. This execution planning problem has many feasible solutions. The paper shows an optimization model of the problem for a repetitive production process in a complex manufacturing system which is composed of production lines. The total cost of setups and inventory holding is minimized. The software package LINGO was applied to solve the exemplary optimization problem. The example deals with division of one work order in a press forming department of a car factory into execution orders for sections in the press lines.