

Andrzej Bogucki, Waldemar Janiak, Rafał Zbiegieni
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP

PROJEKTOWANIE ZAUTOMATYZOWANEGO MAGAZYNU ROZDZIELNI
PRZEDMONTAŻOWEJ STEROWANEJ KOMPUTEROWO

Streszczenie. W referacie rozpatrzono czynniki mające wpływ na wybór konfiguracji magazynu zautomatyzowanego i dokonano analizy czasowej operacji magazynowych z punktu widzenia minimalizacji kosztów.

1. Wstęp

W procesie produkcyjnym zakładów przemysłu maszynowego wytwarzającym wyroby o dużym stopniu złożoności istotną rolę w zapewnieniu ciągłości i rytmiczności produkcji odgrywają rozdzielnie wydziałów produkcyjnych i montażowych wyposażone w magazyny materiałów i asortymentów, spełniające rolę buforów.

W przypadku zastosowania w tym celu magazynów zautomatyzowanych, zadania związane z ich obsługą mogą być powierzane mikrokomputerom sterującym pracą podajników w drodze sprzężenia bezpośredniego.

Nasuwa to istotne problemy w zakresie:

- minimalizacji czasu trwania transakcji magazynowych,
- maksymalizacji wykorzystania podajników magazynowych,
- minimalizacji kosztów,
- wzajemnego rezerwowania podajników magazynowych,

które winny być uwzględnione przy wyborze konfiguracji i koncepcji pracy magazynu.

Problemy te rozpatrzymy na przykładzie magazynu rozdzielni przedmontażowej, dokąd spływają detale i części wykonywane na wydziałach produkcyjnych pochodzące z zakupu i skąd są one pobierane w ilościach potrzebnych do zmontowania odpowiedniej

liczby wyrobów i podzespołów.

2. Zadania podsystemu magazynowania

Kompletacja asortymentów dla potrzeb montażu wymaga dokonywania rozwinięć objętych planem wyrobów i podzespołów na podzespoły niższego stopnia i detale. Zadanie to wykonuje system komputerowy, w oparciu o dane dostarczane przez podsystem przygotowania produkcji.

Zadaniem podsystemu magazynowania jest przeprowadzenie, według dokonanych uprzednio rozwinięć, analizy stanu zapasów i utworzenie na tej podstawie w pamięci minikomputera kolejek adresów pojemników, które mają być dostarczone na stanowiska obsługi.

Dalszym zadaniem podsystemu jest bezpośrednio sterowanie sekwencjami operacji magazynowych przez minikomputer, w drodze sprzężenia go z urządzeniami sterującymi działaniem podajników.

3. Opis magazynu zautomatyzowanego

Magazyn zautomatyzowany wysokiego składowania konstrukcji MERA-PIAP składa się z następujących zespołów:

- zautomatyzowane podajniki magazynowe,
- pulpity sterownicze,
- automaty sterujące,
- regały z pojemnikami.

Zautomatyzowany podajnik magazynowy jest urządzeniem wykonawczym, poruszającym się po szynie między dwoma rzędami regałów, którego zadaniem jest zdejmowanie z półek regałów pojemników z żądanym asortymentem i dostarczanie ich na stanowisko obsługi a następnie odstawianie ich z powrotem na miejsce.

Jeden podajnik obsługuje jeden ciąg (korytarz) magazynowy utworzony przez dwa rzędy regałów ustawionych po obu stronach podajnika. Sterowanie podajnika odbywa się z pulpitu sterowniczego (po jednym na każdy podajnik) przez wybranie na klawia-

turze adresu odpowiedniego pojemnika i wydanie rozkazu "przywieź" lub "odwieź".

4. Sprzężenie z minikomputerem

Sprzężenie z minikomputerem ma na celu odciążenie operatora magazynu od czynności manipulacyjnych związanych ze sterowaniem pracą podajnika (-ów), a w szczególności od czynności adresowania pojemników.

Dzięki sprzężeniu uprzednio przygotowane i oczekujące w kclejce adresy pojemników są przez minikomputer wprowadzane do rejestru automatu sterującego ruchem podajnika bez udziału operatora. Czas trwania transakcji ulega wówczas skróceniu o czas adresowania.

Do realizacji sprzężenia przewiduje się wykorzystanie kanału automatyki komputera oraz zestawu INTEL DIGI PI.

5. Metodyka projektowania magazynu zautomatyzowanego

Wybór właściwej konfiguracji magazynu zautomatyzowanego wymaga przeprowadzenia analizy czasowej transakcji magazynowej, z uwzględnieniem wzajemnego uwarunkowania operacji dokonywanych przez różne podajniki w przypadku obsługi ich przez jednego operatora.

5.1. Analiza czasowa transakcji magazynowej

Podstawową wielkością charakteryzującą działanie magazynu jest czas trwania transakcji, który wynosi w ogólnym przypadku

$$t_{tr} = t_a + t_o + t_j, \quad (1)$$

gdzie

t_a - czas adresowania

t_o - " obsługi

t_j - " jazdy podajnika w cyklu "przywieź-odwieź"

a w przypadku powierzenia czynności adresowania komputerowi

$$t_{tr} = t_o + t_j \quad (1a)$$

Działanie magazynu charakteryzuje ponadto współczynnik wykorzystania podajników

$$\eta = \frac{t_{tr}}{t_{tr} + t_c} \quad (2)$$

gdzie

t_c - czas czekania

W przypadku gdy na 1 operatora przypada jeden podajnik (por. rys. 1a) transakcje mogą następować bezpośrednio po sobie tzn. minimalny (obowiązkowy) czas czekania wynosi

$$t_{c \min} = 0$$

Odnosi się to również do przypadku obsługiwanego przez jednego operatora większej liczby podajników, o ile tylko spełniony jest warunek $t_o \leq \frac{t_{tr}}{j}$ (por. rys. 1b), przy czym

j - liczba podajników obsługiwana przez jednego operatora.

Oznacza to, że czas czekania, o ile występuje, nie jest w powyższym przypadku uwarunkowany strukturą magazynu.

Przypadkowi temu odpowiada wartość maksymalnego współczynnika wykorzystania podajnika

$$\eta_{\max} = 1 \quad (3a)$$

Natomiast w przypadku $t_o > \frac{t_{tr}}{j}$ /por. rys. 1c/ między transakcjami realizowanymi przez ten sam podajnik występuje z reguły minimalny /obowiązkowy/ czas czekania

$$t_{c \min} = jt_o - t_{tr}$$

Minimalnemu czasowi czekania odpowiada tu maksymalny współczynnik wykorzystania podajnika

$$\eta_{\max} = \frac{t_{tr}}{jt_0} \quad (3b)$$

Oczywiście w każdym przypadku rzeczywisty współczynnik wykorzystania podajnika może być mniejszy lub równy maksymalnemu

$$\eta \leq \eta_{\max}$$

5.2. Dobór liczby podajników

Liczbę podajników określamy wstępnie na podstawie wzoru

$$P = \frac{N}{\eta} \frac{t_{tr}}{t_{zm}} \quad (4)$$

gdzie

t_{zm} - czas trwania zmiany roboczej,

N - liczba transakcji w ciągu 1 zmiany roboczej,

z zaokrągleniem do najbliższej liczby całkowitej w górę.

5.3. Minimalizacja kosztów

Koszty magazynu zautomatyzowanego /sprzętu i personelu obsługi/ można wyrazić jako

$$K = k_p P + k_l L + C, \quad (5)$$

gdzie

k_p - koszty amortyzacji i eksploatacji 1. podajnika,

P - liczba podajników,

k_l - koszty utrzymania 1 operatora,

L - liczba operatorów,

C - koszty niezależne od liczby podajników i operatorów.

Uwzględniając zależność (4) otrzymujemy

$$K = \frac{k_p N}{\eta} \frac{t_{tr}}{t_{zm}} \left(1 + \frac{a}{j} \right) + C, \quad (6)$$

gdzie

$$a = \frac{k_1}{k_p}$$

Jak widać z wzoru, minimalizacja kosztów magazynu wymaga:

- minimalizacji czasu trwania transakcji t_{tr} ,

- maksymalizacji współczynnika wykorzystania podajników η , przy czym należy uwzględnić fakt, iż maksymalna wartość współczynnika wykorzystania podajników η_{max} jest funkcją liczby podajników j obsługiwanych przez jednego operatora oraz stosunku czasu obsługi do czasu transakcji

$$\eta_{max} = \begin{cases} 1 & \text{dla } t_o \leq \frac{t_{tr}}{j} \\ \frac{t_{tr}}{jt_o} & \text{dla } t_o > \frac{t_{tr}}{j} \end{cases} \quad (7)$$

Podstawiając do wzoru (6) kolejno oba wyrażenia, otrzymujemy w 1 przypadku

$$K = k_p N \frac{t_{tr}}{t_{zm}} \left(1 + \frac{a}{j} \right) + C, \quad (8a)$$

a w 2 przypadku

$$K = k_p N \frac{t_o}{t_{zm}} (j + a) + C, \quad (8b)$$

Łatwo zauważyć, że rozpatrując powyższe zależności w funkcji liczby podajników j przypadającej na jednego operatora, otrzymujemy w 1 przypadku krzywą monotonicznie malejącą (hiperbolę), a w drugim przypadku - prostą rosnącą. W związku z tym punkt przecięcia obu krzywych wyznacza na osi odciętych wartość j , przy której występuje minimum kosztów. Wartość tę można łatwo wyznaczyć jako

$$j = \frac{t_{tr}}{t_o} \quad (9)$$

Optymalną liczbę podajników obsługiwanych przez jednego operatora znajdujemy porównując koszty magazynu przy wartościach j równych najbliższym położonym liczbom całkowitym po obu stronach punktu przecięcia i wybierając tę, przy której koszty są mniejsze

Przedstawioną powyżej metodykę doboru optymalnej liczby podajników j obsługiwanych przez jednego operatora ilustruje rys. 2.

5.4. Rezerwowanie podajników

Wzajemne skuteczne rezerwowanie się podajników, na wypadek awarii jednego z nich, wymaga rozmieszczenia każdego z asortymentów w co najmniej 2 pojemnikach obsługiwanych przez różne podajniki, tzn. znajdujących się w różnych ciągach magazynowych. Ze względu na ewentualność starzenia się elementów, zawartość żadnego z pojemników nie może mieć przy tym charakteru "żelaznej porcji", lecz musi podlegać ciągłemu odnawianiu, co winno być uwzględnione w strategii obsługi transakcji magazynowych.

5.5. Strategia obsługi transakcji magazynowych

Rozpatrując w p. 5.3. zagadnienie optymalnej liczby podajników obsługiwanych przez jednego operatora założyliśmy milcząco, że transakcje rozkładają się na te podajniki w sposób równomierny. W związku z tym strategia obsługi transakcji magazynowych winna uwzględniać jako kryterium o najwyższym priorytecie

1/ równomierność rozkładu transakcji magazynowych między podajniki obsługiwane przez jednego operatora.

Następnymi w kolejności priorytetów są następujące kryteria:

- 2/ wykorzystywanie w pierwszej kolejności pojemnika, który został wcześniej załadowany,
- 3/ w przypadku kilku pojemników zawierających ten sam asortyment, korzystanie z pojemnika znajdującego się najbliżej.

Aby pogodzić kryteria 2 i 3 zaleca się wykorzystanie wolnego czasu magazynu do takiego przemieszczenia pojemników na regałach, aby pojemniki najwcześniej załadowane znajdowały się najbliżej.

Innym przedsięwzięciem z zakresu optymalizacji rozmieszczenia pojemników, prowadzącym również do skrócenia średniego czasu transakcji, jest grupowanie możliwie najbliżej pojemników zawierających asortymenty wykazujące największy obrót.

5.6. Wybór konfiguracji magazynu

Przy spotykanych obecnie prędkościach jazdy, optymalizacja liczby podajników obsługiwanych przez jednego operatora prowadzi w znacznej większości przypadków do wyniku

$$j_{opt} = 2$$

Wynik $j_{opt} = 1$ odpowiada bowiem bardzo dużym i praktycznie rzadko osiągalnym prędkościom podajników, natomiast wynik $j_{opt} = 3$ świadczy na ogół o zastosowaniu zbyt powolnych mechanizmów napędowych.

W przypadku zgrupowania w jednym stanowisku magazynowym detali wchodzących w skład jednego wyrobu, zastosowanie stanowisk magazynowych wyposażonych w 2 podajniki umożliwi zarazem realizację postulatów wymienionych w p.p. 5.4 i 5.5.

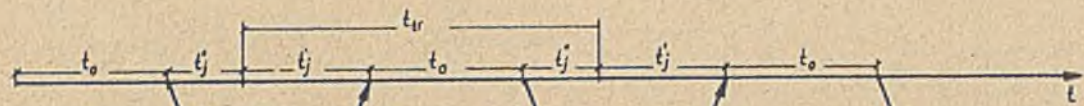
Rozwiązanie czoła stanowiska magazynowego obsługiwanego przez 2 podajniki pokazano na rys. 3.

a) $j=1$



b) $j=2$

podajnik 1

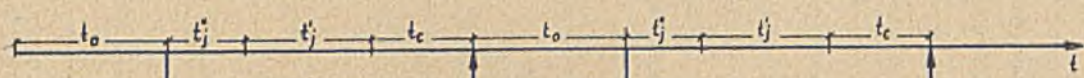


podajnik 2

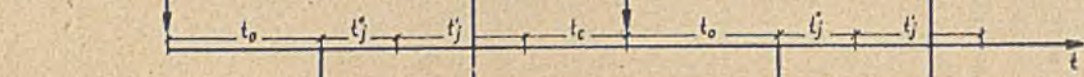


c) $j=3$

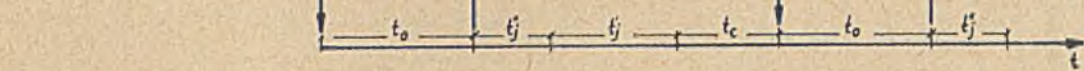
podajnik 1



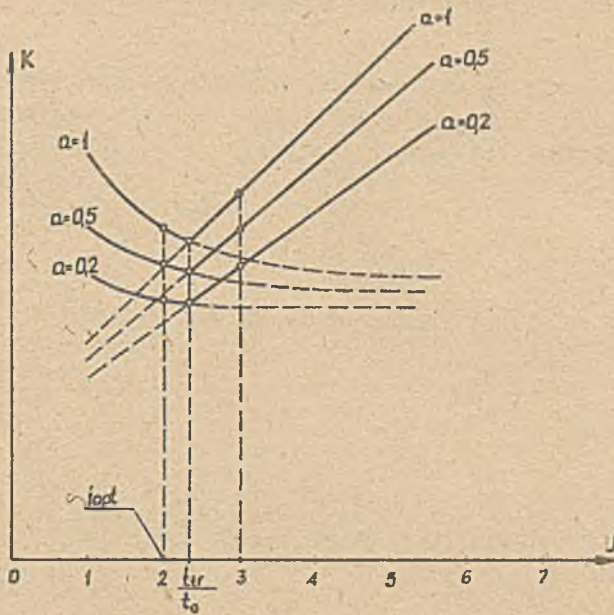
podajnik 2



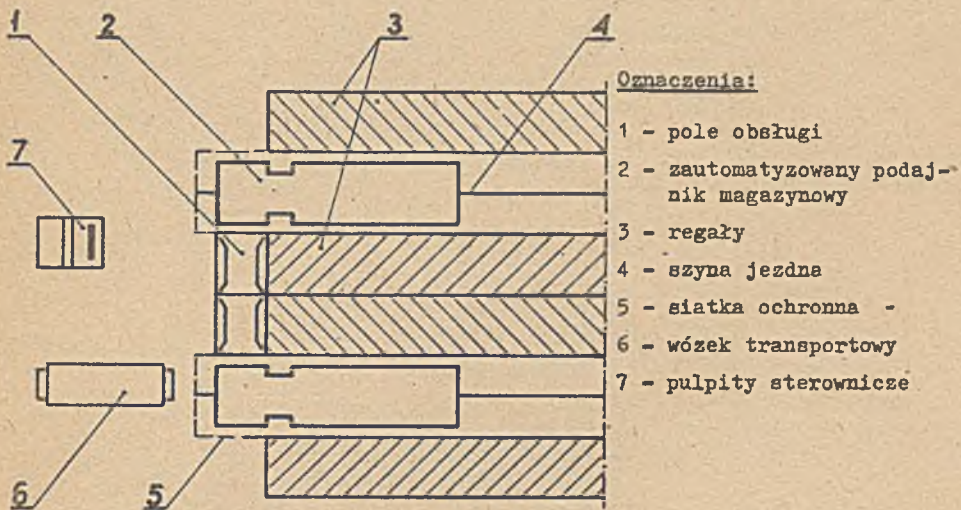
podajnik 3



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОБОРОЧНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО СКЛАДА, УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ

Р е з ю м е

В работе рассматриваются факторы, влияющие на конфигурацию автоматизированного склада и дан временный анализ складских операций с точки зрения минимализации стоимости.

DESIGNING OF AN AUTOMATIC STORE-ROOM OF THE PRE-ASSEMBLY SWITCH-BOARD CONTROLLED BY COMPUTER

S u m m a r y

In the paper the factors that influence the choice of configuration of an automatic store-room are examined and an analysis from the viewpoint of costs minimization is performed.