ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: AUTOMATYKA z.119 Nr kol. 1339

Tadeusz SAWIK
Akademia Górniczo-Hutnicza

PROBLEMY PLANOWANIA I STEROWANIA PRODUKCJI W ELASTYCZNYCH SYSTEMACH MONTAŻOWYCH

Streszczenie. W pracy dokonano przeglądu aktualnej problematyki planowania i sterowania produkcją w elastycznych systemach montażowych. W szczególności omówiono problemy wielokryterialnego równoważenia obciążeń maszyn, szeregowania operacji w elastycznych liniach montażowych oraz jednoczesnego szeregowania operacji montażowych i transportowych w elastycznych systemach montażowych ogólnej konfiguracji.

PRODUCTION PLANNING AND CONTROL ISSUES IN FLEXIBLE ASSEMBLY SYSTEMS

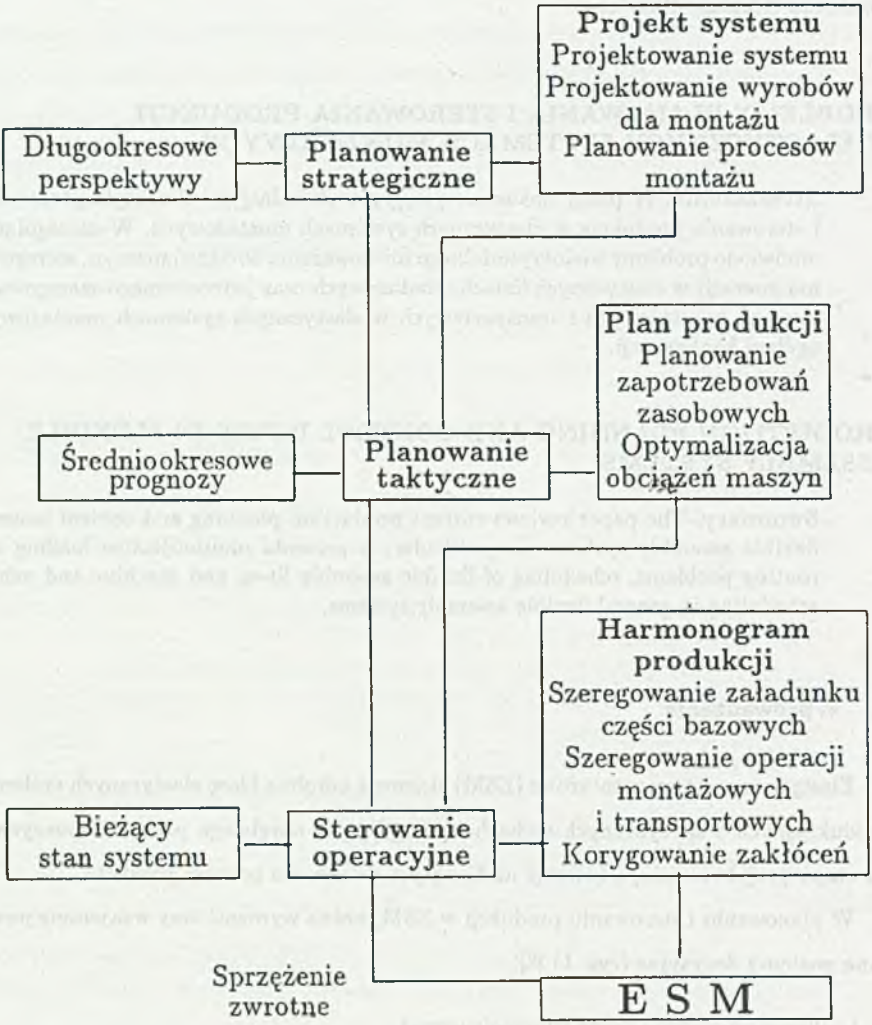
Summary. The paper reviews current production planning and control issues in flexible assembly systems. In particular, it presents multiobjective loading and routing problems, scheduling of flexible assembly lines, and machine and vehicle scheduling in general flexible assembly systems.

1. Wprowadzenie

Elastyczne systemy montażowe (ESM) stanowią odrębną klasę elastycznych systemów produkcyjnych o specyficznych cechach wymagających odrębnego podejścia poczynając od etapu projektowania, a kończąc na bieżącym sterowaniu procesu montażu.

W planowaniu i sterowaniu produkcji w ESM można wyróżnić trzy wzajemnie powiązane poziomy decyzyjne (rys. 1) [8]:

1. Planowanie strategiczne (długookresowe).
2. Planowanie taktyczne (średnio/krótkookresowe).
3. Sterowanie operacyjne (krótkookresowe/bieżące).



Rys. 1. Planowanie i sterowanie produkcji w ESM
Fig. 1. Production planning and control in a FAS

Planowanie strategiczne w ESM związane jest z funkcjonowaniem systemu w długich horyzontach czasowych i dotyczy projektowania systemu, konstrukcji wyrobów dla zrobotyzowanego montażu i planowania procesów montażu.

Planowanie taktyczne w ESM związane jest z przygotowaniem systemu do wykonywania konkretnych zadań produkcyjnych w krótkich horyzontach czasowych od jednej do kilkunastu zmian roboczych, a sterowanie operacyjne dotyczy bieżącego funkcjonowania systemu i sterowania przepływem wyrobów przez system w procesie realizacji tych zadań.

Chociaż problemy planowania taktycznego i sterowania operacyjnego na ogół dotyczą różnych horyzontów czasowych, to dla jak najlepszego wykorzystania zasobów systemu problemy te należałoby rozwiązywać jednocześnie. Obserwowana w ostatnich latach postępująca integracja procedur rozdziału zadań i zasobów w ESM coraz częściej umożliwia stosowanie takiego podejścia w praktyce (por. podejście jednopoziomowe w harmonogramowaniu maszyn i wózków w ESM, punkt 4).

Podstawowym zadaniem planowania taktycznego jest optymalizacja rozdziału zadań i zasobów w ESM dla wykonania najbliższych zleceń produkcyjnych, zwane także problemem obciążenia maszyn. Natomiast wśród zadań sterowania operacyjnego najważniejsze są problemy harmonogramowania związane z ustalaniem i realizacją szczegółowych harmonogramów pracy wszystkich urządzeń systemu podczas wykonywania wybranego zlecenia produkcyjnego (por. rys. 2). Procedury harmonogramowania winny umożliwiać podejmowanie decyzji w układzie zamkniętym (w trybie on-line) i w czasie rzeczywistym.

Wybrane problemy planowania i sterowania produkcji w ESM omówiono w dalszych punktach.

2. Optymalizacja obciążeń maszyn i marszrut montażu w ESM

Jedną z istotnych różnic pomiędzy elastycznymi systemami obróbki mechanicznej a elastycznymi systemami montażowymi jest duże obciążenie podsystemu transportu i manipulacji przedmiotów montażu w systemach montażowych, co może prowadzić do pojawiania się wąskich gardeł w procesie wytwarzania. Aby wyeliminować taką ewentualność, konieczne jest wielokryterialne wyznaczanie przydziałów operacji do maszyn już na etapie projektowania systemu (ustalania jego konfiguracji) tak, aby jednocześnie równoważyć obciążenia stacji montażowych i podsystemu transportu.

Problem równoważenia obciążeń maszyn w elastycznym systemie montażowym polega na wyznaczeniu takiego rozdziału części składowych pomiędzy stacje montażowe dysponujące ograniczonymi liczbami podajników części i przydziału do nich operacji montażowych, dla którego obciążenia wszystkich stacji będą zbliżone. Zróżnicowanie obciążeń maszyn, tzn. różne długości łącznych czasów wykonywania przydzielonych operacji, może prowadzić do powstawania kolejek i wąskich gardeł w systemie.

Innym często stosowanym kryterium jest minimum przemieszczeń montowanych wyrobów pomiędzy stacjami, np. [1]. Jednak kryterium to może z kolei prowadzić do nierównomiernego obciążenia maszyn, tzn. różnych łącznych czasów wykonywania przydzielonych operacji i większych zapasów międzyoperacyjnych, a w rezultacie powstawania wąskich gardeł w systemie. Ponadto, im mniej koniecznych przemieszczeń montowanych wyrobów pomiędzy stacjami, tym mniejsze obciążenie podsystemu transportu wyrobów.

W praktyce problem obciążenia maszyn w ESM łączy się często z problemem wyboru optymalnej konfiguracji systemu, polegającym na wyznaczeniu liczby i typów stacji montażowych wchodzących w skład systemu wraz z jednoczesnym przydziałem operacji. Taki problem rozwiązywany jest głównie w przypadku ustalonego asortymentu montowanych wyrobów, por. [1].

Dla formułowania i rozwiązywania powyższych zagadnień szeroko stosowane jest programowanie całkowitoliczbowe (np. [1]). Modele programowania całkowitoliczbowego dla problemów projektowania i równoważenia obciążeń elastycznego systemu montażowego o różnej konfiguracji można podzielić na następujące trzy kategorie [5]:

A. Modele bez alternatywnych marszrut montażu, w których każda operacja jest przydzielana do tylko jednej maszyny

   1. Modele dla elastycznych linii montażowych: jednokierunkowy przepływ wyrobów bez powrotów do odwiedzanych stacji;

   2. Modele dla ogólnych elastycznych systemów montażowych: przepływ wyrobów z możliwością wielokrotnego odwiedzania stacji;

B. Modele z alternatywnymi marszrutami montażu, w których dopuszcza się alternatywne przydziały operacji do maszyn

1. Modele dla elastycznych linii montażowych z maszynami równoległymi: jednokierunkowy przepływ wyrobów bez powrotów do odwiedzanych stacji;
2. Modele dla ogólnych elastycznych systemów montażowych: przepływ wyrobów z możliwością wielokrotnego odwiedzania stacji;

C. Modele optymalizacji konfiguracji systemu z jednoczesnym równoważeniem obciążeń stacji dla ustalonego asortymentu montowanych wyrobów.

Problem równoważenia obciążeń w ESM można również sformułować jako dwukryterialne zadanie programowania całkowitoliczbowego. Jako kryteria optymalności przyjmuje się zrównoważenie obciążeń stacji montażowych oraz minimalizację czasów przemieszczeń wyrobów pomiędzy stacjami. Rozwiązanie tak postawionego problemu obejmuje optymalny przydział operacji do stacji montażowych i związane z nim marszruty montażu dla wszystkich wyrobów, np. [5].

Do rozwiązania zadania dwukryterialnego równoważenia obciążeń maszyn w [8] zaproponowano dialogową procedurę poszukiwania rozwiązań Pareto-optymalnych, najbardziej preferowanych przez decydenta. Metoda ta polega na wprowadzeniu wag dla poszczególnych kryteriów i zastąpieniu problemu wielokryterialnego przez równoważny problem jednokryterialny, a następnie wyznaczeniu za pomocą interaktywnej heurystyki takiego zbioru wag, któremu odpowiada rozwiązanie preferowane przez decydenta.

W praktyce ESM, pierwsze kryterium równoważenia obciążeń stacji montażowych zwykle jest ważniejsze niż drugie minimalizacji czasu transportu wyrobów pomiędzy stacjami. Do wyznaczenia rozwiązań efektywnych dwukryterialnego równoważenia obciążeń systemu można więc zastosować algorytm oparty na metodzie optymalizacji sekwencyjnej [8]. W pierwszym etapie wyznacza się rozwiązanie problemu równoważenia obciążeń maszyn, a w drugim ustala optymalne marszruty montażu. Ten ostatni problem w [8] sformułowano jako zadanie przepływu w sieci, dla którego znanych jest wiele efektywnych algorytmów wyznaczania rozwiązań optymalnych. Natomiast dla NP-trudnego problemu równoważenia obciążeń maszyn opracowano heurystykę, która znajduje rozwiązanie zadania programowania całkowitoliczbowego startując z rozwiązania optymalnego liniowej relaksacji tego zadania. Heurystyka relaksacyjna wykazuje korzystne własności obliczeniowe, tj. krótkie czasy obliczeń i stosunkowe niewielkie odchyłki od optimum [8].

3. Szeregowania operacji w elastycznych liniach montażowych

Elastyczna linia montażowa jest systemem produkcyjnym typu przepływowego z jednokierunkowym transportem przedmiotów montażu. Linia jest zbudowana z szeregowo połączonych stadiów montażu zawierających zbiory jednakowych maszyn pracujących równolegle. Pomiędzy stadiami mogą znajdować się bufory międzystadialne o ograniczonych pojemnościach, w których czasowo składowane są wyroby oczekujące na kolejne operacje, albo też brak jest jakichkolwiek buforów. W pierwszym przypadku mówimy o elastycznej linii montażowej z ograniczonymi buforami międzystadialnymi, zaś w drugim o linii bez buforów. W linii z buforami pomiędzy stadiami mogą pojawiać się kolejki o ograniczonych długościach utworzone z wyrobów oczekujących na kolejne operacje, zaś w linii bez buforów występowanie takich kolejek jest niedopuszczalne.
W elastycznej linii montażowej wytwarza się jednocześnie wiele różnych typów wyrobów. Każdy wyrób jest poddawany procesowi montażu na co najwyżej jednej maszynie w każdym stadium, chociaż pewne typy wyrobów mogą zupełnie omijać niektóre stadia.

W [3] przedstawiono algorytm szeregowania operacji dla ogólnego przypadku elastycznej linii montażowej z buforami międzystadialnymi o ograniczonych pojemnościach, zaś w [6] dla przypadku szczególnego elastycznej linii montażowej bez buforów. Zaproponowane algorytmy są heurystykami konstrukcyjnymi typu wyrób-po-wyrobie, które w każdej iteracji wyznaczają kompletny harmonogram dla tylko jednego wyrobu wybranego w tej iteracji do wprowadzenia do systemu. Wybór tego wyrobu oraz harmonogram jego montażu ustalane są na podstawie częściowego uszeregowania wyznaczonego już dla wyrobów wybranych we wcześniejszych iteracjach. Decyzje te podejmowane są na podstawie procedury lokalnej optymalizacji, której celem jest minimalizacja przestojów maszyn tworzących marszrutę dla wybieranego wyrobu. Powyższe algorytmy w skrócie nazwano *RITM* (ang. Route Idle Time Minimization) [3] oraz *RITM_NS* (ang. Route Idle Time Minimization - No Store) [6], odpowiednio dla szeregowania operacji w linii z ograniczonymi buforami międzystadialnymi oraz dla linii bez buforów. Pośród znanych algorytmów konstrukcyjnych dla szeregowania operacji w elastycznych liniach montażowych algorytmy te wyróżniają się bardzo dobrymi wynikami (najkrótsze czasy obliczeń i długości generowanych uszeregowań) [3, 6].

4. Szeregowanie operacji montażowych i transportowych w ESM

Elastyczny system montażowy można traktować jako zespół dwóch ściśle powiązanych wzajemnie podsystemów: podsystemu montażu i podsystemu transportu. Wykonanie operacji montażowej w podsystemie montażu generuje zadanie transportowe do wykonania przez wózek z podsystemu transportu. Z drugiej strony, ukończenie operacji transportowej przez wózek z podsystemu transportu oznacza pojawienie się kolejnego zadania montażowego do wykonania przez pewną stację montażową w podsystemie montażu.

W ESM stan całego systemu zmienia się tak często, że zasoby podsystemów montażu i transportu na przemian stają się zasobami krytycznymi, dominującymi w harmonogramie produkcji. Takie wzajemne, dwukierunkowe oddziaływania obu systemów muszą być jednocześnie uwzględniane w procedurach harmonogramowania. W ESM przeważnie mamy więc do czynienia z harmonogramowaniem dynamicznym w czasie rzeczywistym, które ma charakter sterowania dyspozytorskiego i może być realizowane zarówno w trybie off-line, jak i on-line. Harmonogramowanie w czasie rzeczywistym w trybie off-line oznacza proces wielokrotnego wyznaczania na bieżąco pełnego harmonogramu dla wszystkich operacji i całego horyzontu czasowego. Natomiast harmonogramowanie w czasie rzeczywistym w trybie on-line oznacza podejście, w którym decyzje dotyczą pojedynczych operacji i są podejmowane na bieżąco jedynie wówczas, gdy następuje zmiana stanu systemu, np. wykonanie operacji, przywiezienie wyrobu itp. Każde z tych podejść ma określone wady i zalety. Zastosowanie trybu off-line wymaga znacznych nakładów obliczeniowych spowodowanych złożonością problemu generowania i częstego aktualizowania harmonogramów w dynamicznym otoczeniu systemowym. Z drugiej strony, decyzje podejmowane na bieżąco w trybie on-line mogą prowadzić do słabszych wyników spowodowanych brakiem szerokiej systemowej perspektywy.

Jednym z istotnych aspektów harmonogramowania w elastycznych systemach montażowych jest konieczność uwzględnienia ograniczonych pojemności wejściowych i wyjściowych buforów stacji montażowych. Wiąże się z tym zjawisko blokowania maszyn albo też blokady całego systemu spowodowane powstawaniem kolejek wyrobów w miejscach o ograniczonej przestrzeni. Blokowanie maszyny występuje wtedy, gdy wykonany przedmiot montażu nie może być przemieszczony do bufora, który został wcześniej zapełniony. Natomiast blokada całego systemu ma miejsce wtedy, gdy system nie może w ogóle funk-

cjonować, tzn. nie jest możliwe przemieszczenie żadnego przedmiotu montażu. Procedury harmonogramowania w ESM muszą więc uwzględniać dodatkowe ograniczenia zasobowe dotyczące nie tylko maszyn i wózków, ale również buforów międzyoperacyjnych, w których tworzą się kolejki wyrobów oczekujących na kolejne operacje.

Celem szczegółowego harmonogramowania operacji montażowych i transportowych jest wyznaczenie przydziałów operacji montażowych do maszyn dla każdej pojedynczej sztuki każdego typu wyrobu oraz harmonogramów jazdy wózków z wyrobami lub bez nich, dla każdego momentu czasu całego okresu harmonogramowania. Jako kryterium optymalności wyznaczanego harmonogramu montażu zwykle przyjmuje się najkrótszy czas montażu zadanej partii wyrobów, średni czas przepływu wyrobu przez system lub najmniejsze odchyłki od zadanych terminów wykonania (por. [9]).

Rys. 2. Wielopoziomowe harmonogramowanie montażu w ESM
Fig. 2. Multi-level scheduling in a FAS

W celu wyznaczania szczegółowych harmonogramów montażu w [4] zaproponowano następujące dwa podejścia:

1. Podejście wielopoziomowe (rys. 2)

   Podejście wielopoziomowe polega na ustaleniu najpierw obciążeń wszystkich maszyn (przydziałów operacji do maszyn i wybraniu marszrut montażu), a następnie dla

Rys. 3. Jednopoziomowe harmonogramowanie montażu w ESM
Fig. 3. Single-level scheduling in a FAS

zadanych obciążeń, wyznaczeniu szczegółowych harmonogramów montażu każdej pojedynczej sztuki każdego typu wyrobu i odpowiadających im harmonogramów pracy maszyn i wózków w procesie realizacji całego zlecenia produkcyjnego.

2. Podejście jednopoziomowe (rys. 3)

   Podejście jednopoziomowe polega na bezpośrednim szeregowaniu operacji montażu dla każdej pojedynczej sztuki każdego typu wyrobu i wymaganych operacji transportu pomiędzy maszynami poprzez bieżący przydział operacji do maszyn i jednoczesny wybór kolejnych odcinków jazdy każdego wózka pomiędzy kolejnymi maszynami, bez wstępnego ustalania obciążeń maszyn systemu.

Algorytm szeregowania zadań dla maszyn i wózków dla podejścia wielopoziomowego, w skrócie nazwany "*HAMiW*" (*H*Armonogramowania *M*aszyn *i* *W*ózków), przedstawiono w [7, 8]. Jest to hierarchiczna heurystyka konstrukcyjna typu "okres-za-okresem", w której każdy okres przydziału jest rozważany tylko raz. Wartości zmiennych decyzyjnych dla każdego okresu są ustalane w następującej kolejności:

1. Przydział operacji do maszyn dla wyrobów oczekujących w buforach wejściowych stacji montażowych.

2. Wybór wyrobu do załadunku do systemu.

3. Przydział wyrobów do wózków dla wyrobów oczekujących w buforach wyjściowych stacji dostawczych, a następnie wózków z wyrobami do stacji odbiorczych.

4. Przydział pozostałych pustych wózków do stacji dostawczych.

5. Wyznaczenie długości okresu, w którym przydziały maszyn i wózków pozostają stałe.

W każdym okresie zmienne decyzyjne wyznaczane są na podstawie wybranych reguł dyspozytorskich. Reguły te ułatwiają wybór następnej operacji do wykonania na danej maszynie spośród wyrobów oczekujących w buforze tej maszyny. Reguły dyspozytorskie stosowane są także dla wybrania wyrobu do przewozu pomiędzy maszynami oraz wybrania następnej maszyny docelowej dla każdego wózka z ładunkiem lub bez ładunku.

W [8] przedstawiono algorytm wyznaczania harmonogramów montażu i transportu wyrobów dla podejścia jednopoziomowego. Algorytm ten, w skrócie nazwany "*HAMiW*1" (*H*Armonogramowanie *M*aszyn *i* *W*ózków 1-poziomowe), podobnie jak *HAMiW*, również jest algorytmem szeregowania dyspozytorskiego. Przed podjęciem decyzji dotyczącej przydziału operacji do maszyn i wózków przeprowadza się uporządkowanie oczekujących operacji według wartości przyjętych wskaźników zależnych od czasów wykonywania operacji montażu i transportu wyrobów pomiędzy maszynami.

Algorytm wykorzystuje pojęcie zdarzenia oznaczające dowolną zmianę stanu systemu. Następujące zdarzenia są uwzględniane w algorytmie:

- Zakończenie operacji montażu, załadunku lub wyładunku wyrobu.
- Zakończenie operacji transportu wyrobu pomiędzy maszynami.
- Zakończenie operacji przejazdu pustego wózka pomiędzy maszynami.

Każdorazowo, z chwilą rozpoczęcia wykonywania operacji, zdarzenie oznaczające jej zakończenie wraz z terminem zakończenia zostają wpisane do tzw. *kolejki zdarzeń*. Algorytm *HAMiW*1 w każdej iteracji przechodzi do najwcześniejszego zdarzenia w kolejce zdarzeń. Jeżeli zdarzenie to doprowadzi do zwolnienia maszyny lub wózka, to można rozpocząć wykonywanie operacji o najwyższym priorytecie oczekującej w odpowiedniej kolejce operacji.

Zastosowanie podejścia jednopoziomowego oraz szeregowania dyspozytorskiego umożliwia wykorzystanie algorytmu $HAMiW1$ do bieżącego sterowania przepływem wyrobów przez system montażowy.

5. Uwagi końcowe

W planowaniu i sterowaniu produkcji w ESM obok szeroko stosowanego podejścia wielopoziomowego (hierarchicznego) wraz z postępami w dziedzinie technologii komputerowej i metod optymalizacji coraz szerzej zaczyna być stosowane podejście jednopoziomowe zwane monolitycznym. Polega ono na jednoczesnym wyznaczaniu wielu wariantów procesu montażu dla każdego z wytwarzanych wyrobów, alternatywnym przydziale operacji do maszyn i ustalaniu szczegółowych harmonogramów ich wykonywania. Podejście to wymaga nowych modeli matematycznych i algorytmów rozwiązywania problemów optymalizacji dyskretnej o znacznych rozmiarach. Modele te winny umożliwiać podejmowanie ogólnych decyzji dotyczących przydziału operacji i rozdziału zasobów jednocześnie ze szczegółowymi decyzjami dotyczącymi harmonogramu montażu. Na początek obserwuje się konstruowanie takich modeli dla jednoczesnego planowania i harmonogramowania produkcji w zrobotyzowanych gniazdach montażu [8].

Planowanie procesów montażu w ESM połączone z wyborem sekwencji montażowych przeważnie jest dokonywane na podstawie informacji o samym przedmiocie montażu, z pominięciem wielu danych o systemie montażowym, chociaż istotnie wpływają one na wybór odpowiedniego planu spośród wielu dopuszczalnych wariantów montażu. Optymalna sekwencja montażowa powinna zapewnić niskie koszty jednostkowe procesu montażu, co m. in. wymaga jak najlepszego zrównoważenia obciążeń maszyn. Uzyskanie niskich kosztów jednostkowych i jednocześnie wysokiej jakości wyrobów wymaga z kolei prostej i elastycznej konfiguracji systemu oraz krótkich czasów koniecznych dla rozwiązywania odpowiednich problemów planowania i sterowania produkcji. Wymogi te wiążą się z lansowaną od kilku lat koncepcją tzw. *montażu szybkozmiennego* (ang. agile assembly) [8]. Warunki montażu szybkozmiennego, tj. wysoką jakość i niskie koszty jednostkowe, można osiągnąć projektując wyrób i proces technologiczny odpowiednio do systemu montażowego, zaś system montażowy odpowiednio do produkowanego wyrobu, co znacznie upraszcza późniejsze rozwiązywanie zadań planowania i sterowania produkcji. Do osiągnięcia takich

celów konieczne jest opracowanie nowych modeli i algorytmów projektowania wielowersyjnych procesów elastycznego montażu z jednoczesnym równoważeniem obciążeń maszyn.

Na zakończenie należy podkreślić coraz powszechniejsze stosowanie komputerowo wspomaganych systemów podejmowania bieżących decyzji dyspozytorskich. Systemy takie wykorzystują rodziny inteligentnych heurystyk umożliwiających szybkie generowanie zbioru suboptymalnych rozwiązań dla różnych kryteriów optymalności, spośród których wybierane są rozwiązania najbardziej preferowane.

LITERATURA

1. Ghosh S., Gagnon R.J.: A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. International Journal of Production Research, vol. 27, 1989, pp. 637-670.
2. Korcyl A., Łebkowski P., Sawik T.: Selection of assembly sequences and balancing workloads in a flexible assembly line. Proceedings of the INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, Paris Oct. 10-13, 1995, vol. 3, pp. 349-359.
3. Sawik T.: A scheduling algorithm for flexible flow lines with limited intermediate buffers. Applied Stochastic Models and Data Analysis, special issue on Manufacturing Systems, vol. 9, 1993, pp. 127-138.
4. Sawik T.: Scheduling of machines and vehicles in a FMS: single-level versus multi-level approach. Zeszyty Naukowe AGH, Automatyka, z. 64, no.4, 1993, pp. 541-568.
5. Sawik T.: Modele zadań równoważenia obciążeń maszyn w elastycznych systemach montażowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, z. 115, 1994, pp. 113-123.
6. Sawik T.: Scheduling flexible flow lines with no in-process buffers. International Journal of Production Research, vol. 33, 1995, pp. 1359-1370.
7. Sawik T.: Dispatching scheduling of machines and vehicles in a flexible manufacturing system. Proceedings of the INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, Paris Oct. 10-13, 1995, vol. 2, pp. 3-13.
8. Sawik T.: Planowanie i sterowanie produkcji w elastycznych systemach montażowych. WNT, Warszawa 1996.
9. Ulusoy G., Bilge U.: Simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. International Journal of Production Research, vol. 31, 1993, pp. 2857-2873.

Recenzent: Dr hab. inż. Mirosław Zaborowski, prof. Pol.Śl.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

The paper reviews various production planning and control issues in flexible assembly systems. Some of the topic highlights presented are:

- Integrated system for production planning and control of flexible assembly systems, including long-term strategic planning, medium-term tactical planning, and short-term operational control.
- Design and balancing of flexible assembly systems.
- Multiobjective loading and routing in flexible assembly systems.
- Scheduling flexible assembly lines with limited in-process buffers or with no in-process buffers.
- Simultaneous scheduling of assembly stations and automated guided vehicles in flexible assembly systems: single-level versus multi-level approach.