

NIEOCZYM Aleksander<sup>1</sup>

## PROJEKTOWANIE PLANU PRZEPIYU ŁADUNKÓW W SYSTEMIE AGV

*Artykuł zawiera podsumowanie podstawowych problemów projektowania systemu AGV oraz stosowanego aparatu matematycznego. Ze względu na złożoność systemów AGV, generują one wiele trudnych do rozwiązania problemów, gdzie często zakłada się rozwiązanie co najmniej dwóch problemów decyzyjnych jednocześnie. Elementem dodatkowym jest opracowanie metodyki projektowania systemów analitycznych i symulacyjnych jednocześnie uwzględniających kwestie związane z projektowaniem i sterowaniem w systemach AGV oraz optymalizacją oraz systemów obsługi transportu materiałów.*

## DESIGNING THE PLAN OF THE FLOW OF CHARGES IN THE AGV SYSTEM

*The article contains summing basic problems of designing the system up of AGV and applied apparatus mathematical. On account of the complexity of AGV systems, they are generating a lot difficult to solve problems, where solving at least two decision-making problems simultaneously often bets. Drawing the methodology of the systems design up is an additional element analytical and simulation simultaneously considering issues associated with the design and the guidance in AGV systems, optimization of AGV systems and systems of the operation of the transport of materials.*

### 1.WSTĘP

Jednym z głównych obszarów zastosowań automatycznie kierowanych pojazdów AGV, realizacja transportu części pomiędzy stanowiskami. Może być to współpraca pojazdu z systemem produkcyjnym jak i magazynowym. Do przewozu palet w hurtowniach stosowane są pojazdy podnośnikowe AGV zwane ALV (automated lifting vehicles), które oprócz poruszania się w poziomie mogą także podnosić towary na określoną wysokość. Bez względu na obszar zastosowań, środki transportu klasy AGV tworzą systemy kierowanych pojazdów transportowych (AGV system). Pojedynczy system AGV może być częścią innego, większego systemu, np. elastycznego systemu produkcyjnego. Przykładem może być złożony system produkcyjny składający się z systemu AGV, automatycznego

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny; 20-618 Lublin; ul. Nadbystrzycka 36.  
Tel: 081 524-77-07, e-mail: a.nieoczym@pollub.pl

magazynowania, systemu sortowania i wyszukiwania części oraz systemu technologicznych maszyn produkcyjnych [10].

W systemie AGV można wyodrębnić następujące elementy: pojazdy, sieć transportową, fizyczny interfejs pomiędzy systemem produkcyjnym i magazynowym a systemem sterowania transportem wewnątrzzakładowym.

Sieć transportowa to sieć połączeń (dróg transportowych) pomiędzy poszczególnymi punktami dostaw/odbioru PDO (P&D, Pick and Deliver). W pełni zautomatyzowane systemy AGV wyposaża się w tzw. stanowiska dostaw /odbioru (P&D Points), które pełnią rolę interfejsów (łączników) między systemem produkcyjnym a systemem transportowym. W takich stanowiskach części są przekazywane np. za pomocą przenośnika taśmowego z maszyny technologicznej do pojazdu AGV lub w przeciwnym kierunku. Pojazdy AGV mogą się poruszać się po trasach z góry ustalonych (stałych) lub w sposób swobodny. Swobodny wybór trasy odbywa się dynamicznie podczas jazdy pojazdu.

Przy projektowaniu systemów AVG należy wziąć pod uwagę wiele czynników. Można podzielić je na taktyczne i operacyjne. Czynniki taktyczne związane są przede wszystkim z planowaniem fizycznych elementów systemu (ilości i rozmieszczenia PDO, środków transportu). Przykładem czynników operacyjnych są drogi transportowe i harmonogram zadań transportowych. Dodatkowe elementy, to: sterowanie ruchem, przewidywanie i unikanie kolizji oraz zatorów w obrębie dróg transportowych, lokalizowanie wolnych środków transportowych, zarządzanie awariami i sytuacjami krytycznymi w systemie transportowym.

## 2. METODY PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW AGV

Całość problematyki projektowania może być sklasyfikowana jako [10]:

- ogólne wyznaczenie trasy,
- optymalizacja trasy,
- wyznaczenie trasy standardowej według:
  - a – metody statycznej, w których raz przydzielona na wstępie trasa pozostaje niezmienna dopóki pojazd nie zakończy trasy,
  - b- metody okien czasowych, w których segment trasy może być wykorzystywany przez różne pojazdy w określonych oknach czasu,
  - c – metody dynamiczne, w których wykorzystanie jakiegokolwiek segmentu trasy jest przydzielone dynamicznie do poruszającego się pojazdu.

Proces projektowania jest procesem wieloaspektowym, w którym należy uwzględnić następujące aspekty [10, 11];

- topografię dróg transportowych,
- zarządzanie ruchem pojazdów: przewidywanie i unikanie kolizji i zatorów,
- liczbę i rozmieszczenie PDO,
- zapotrzebowanie na pojazdy transportowe,
- wydawanie dyspozycji do pojazdów transportowych,
- harmonizowanie pracy pojazdów,
- lokalizowanie wolnych pojazdów,
- obsługę uszkodzonych pojazdów.

Aby jednocześnie odnieść się do tak dużej liczby zmiennych decyzyjnych podczas projektowania systemów AVG stosuje się metody symulacyjne lub ich kombinacje w

połączeniu z metodami analitycznymi [7,8]. Dzięki modelom symulacyjnym można uzyskać odpowiedzi na pytania o wielkość zapotrzebowania na pojazdy transportowe, rozplanowanie terminali oraz metody dostarczenia energii do systemu AGV i sterowania pojazdami.

Znane są próby mające na celu zaprojektowanie systemu AVG planując rozmieszczenie poszczególnych komórek organizacyjnych z jednoczesnym projektowaniem systemu dystrybucji towarów [1]. Sformułowano tu funkcję celu, którą minimalizowano w kierunku redukcji kosztów obsługi materiałów. Argumentami funkcji celu były: rozmieszczenie komórek organizacyjnych, rozmieszczenia PDO oraz kierunki poruszania się AGV. Empirycznie udowodniono, że tego typu metoda przewyższa swoją skutecznością tradycyjne podejście projektowe, w którym najpierw planuje się rozmieszczenie stanowisk a dopiero potem dostosowuje się system przepływu materiałów.

Aby dokonać oceny jakości systemu AGV należy przyjąć pewne mierzalne wartości, które będą podlegały analizie. Przykładem jest analityczny model szacowania przewidywanych czasów oczekiwania na załadunek/wyładunek [2] a także stochastyczny model szacowania czasów przejazdu załadowanych i pustych pojazdów [3]. Oba modele działają prawidłowo w różnych konfiguracjach systemów AGV składającym się z 50 miejsc załadunku/wyładunku i 10 pojazdów typu AGV.

Inną metodą jest wykorzystanie algorytmu dekompozycji [9]. Został on sprawdzony w warunkach średniego obciążenia maszyn w systemie produkcyjnym. Dzięki zastosowaniu powyższego algorytmu można osiągnąć następujące cele:

- maksymalizacja przepustowości systemu tj. zwiększenie liczby przewiezionych ładunków w jednostce czasu,
- minimalizacja czasu potrzebnego do zrealizowania wszystkich zadań transportowych,
- minimalizacja czasów przejazdu pojedynczych AGV,
- równomierne obciążenie zadaniami wszystkich dostępnych pojazdów
- minimalizacja kosztów transportu wewnętrznego,
- minimalizacja czasów opóźnień,
- minimalizacja czasów oczekiwania na załadunek/wyładunek.

### 2.1. Projektowanie planu przepływu ładunków

W planach przepływu ładunków, problemem jest ustalenie kierunków ruchu pojazdów w ten sposób aby minimalizować czasy realizacji zadań transportowych przy jednoczesnym zapewnieniu terminowej obsługi wszystkim PDO. W literaturze można znaleźć kilka podejść do projektowania sieci transportowych [161], dzielimy je na dwie grupy:

- a-ustalenie kierunku ruchu pojazdów transportowych (trasy jedno i dwukierunkowe) oraz ilości towarów na trasach przejazdu (trasy jednotorowe i wielotorowe).
- b-rozwoj planów przepływu ładunków.

W problemie jednokierunkowych tras przejazdu [3,4], reguły sterowania zostały sformułowane w postaci algorytmu całkowitoliczbowego. Celem była minimalizacja długości tras pokonywanych przez pojazdy, co w rzeczywistości wiązało się z redukcją kosztów zmiennych transportu. Rozwiązanie nie znalazło większego zastosowania ze względu na długi czas obliczeń. Znacznie lepsze rozwiązanie zostało zaprezentowane w [6] gdzie zastosowano algorytm działający według metody podziału i ograniczeń tzw. B&B. Algorytm pierwotny został udoskonalony przez włączenie do modelu: kosztów stałych

budowy, sterowania i utrzymania systemu AGV. Wyniki badań potwierdziły, że model ten najlepiej sprawdza się w przypadku sieci liczącej od 10 do 16 skrzyżowań dróg transportowych. Kolejnym udoskonaleniem była metoda w której zamiast optymalizacji długości trasy przejazdu zastosowano optymalizację czasu przejazdu [4, 8]. Podczas projektowania sieci transportowej jednokierunkowej oprócz metody B&B, wykorzystuje się także:

- metody heurystyczne, do projektowania sieci jednokierunkowej przy założeniu minimalizacji długości tras przejazdu pojazdów AGV,
- metody oparte na idei sieci Petriego.

Znane są próby porównania metody programowania dynamicznego i metody opartej na algorytmie podziału i ograniczeń (B&B) w układach z pętlą jednokierunkową [9]. Okazało się, że metoda B&B lepiej sprawdza się w przypadku większych systemów AGV (testowano model z 50 punktami dostaw/odbioru), natomiast algorytmy oparte na programowaniu dynamicznym są bardziej odpowiednie dla małych systemów (do 20 punktów).

Wymienione wyżej metody uwzględniają jedynie przejazdy załadowanych pojazdów transportowych, pomijając sytuacje kiedy środki transportu poruszają się bez ładunku.

Odrębnym nurtem pośród metod i algorytmów projektowania sieci transportowych jest podejście zakładające jednoczesne ustalenie kierunku ruchu pojazdów AGV w sieci jednokierunkowej oraz rozmieszczenie punktów dostawy/odbioru. Problem ten można modelować przy pomocy całkowitoliczbowego programowania liniowego [5]. W modelu tym minimalizowaną funkcją celu była funkcja odległości. Model ten był stosowany do systemów o dużym natężeniu ruchu i dużej liczbie punktów dostawy/odbioru.

W sieciach transportowych dwukierunkowych ruch pomiędzy parą węzłów odbywa się w obu kierunkach. Jednak, jeśli drogi są jednotorowe (a tak jest najczęściej) to ruch odbywa się pojedynczo. Oznacza to, że pojazdy transportowe nie mogą się mijać ani wyprzedzać. Istnieje więc konieczność tworzenia stref parkowania pojazdów AGV. Pojawiają się więc pytania:

- Jak wiele węzłów oznaczających strefy parkowania powinna zawierać sieć transportowa?
- Jak przydzielać strefy parkowania do pojazdów transportowych?
- Gdzie zlokalizować strefy parkowania na planie zakładu produkcyjnego?

Istnieją trzy metody projektowania rozmieszczenia stref parkowania pojazdów: projektowanie pętli (loop design), projektowanie bocznic (siding design) i projektowanie bocznych dróg (spur design).

Podczas projektowaniu pętli planuje się rozmieszczenie dodatkowych jednokierunkowych pętli na obu końcach każdej trasy przejazdu. Metoda projektowania bocznic polega na umieszczeniu po jednej, jednokierunkowej bocznicy na obu końcach każdej drogi transportowej. Bocznicą jest rodzajem parkingu obsługującego pojazdy AGV poruszające się w tym samym kierunku. Z kolei metoda bocznych dróg polega na umieszczeniu dwukierunkowych ślepych uliczek na obu końcach każdej z dróg transportowych. W odróżnieniu od dwóch pierwszych metod, metoda trzecia udostępnia pojazdy AGV według reguły LIFO.

W sieciach wielotorowych zwykle istnieje dwa lub więcej jednokierunkowych torów na jednej ścieżce. Problemem jest zaplanowanie odpowiedniej ilości i kierunków torów w obrębie wszystkich dróg transportowych. Jednym ze sposobów projektowania ww. sieci jest sposób polegający na sformułowaniu problemu jako przepływu wielkotowarowego z

zastosowaniem liniowego algorytmu całkowitoliczbowego. W modelu wykorzystuje się dane dotyczące zarówno załadowanych jak i pustych pojazdów transportowych. Wadą tej metody są trudności natury obliczeniowej oraz nieuwzględnianie wzajemnych interakcji pomiędzy pojazdami transportowymi.

Kolejną metodą stosowaną do projektowania wielotorowych systemów transportowych jest zastosowanie mieszanych rodzajów dróg transportowych (jedno i dwukierunkowych) w obrębie jednej sieci transportowej. Punktem wyjścia w procesie projektowania jest sieć transportowa jednokierunkowa. Następnie za pomocą metod heurystycznych konfiguruje się część dróg transportowych jako dwukierunkowe. Priorytet zmiany z jednokierunkowej na dwukierunkowe mają te drogi, dla których wolumen - waga ładunków z węzła  $i$  do węzła  $j$  oraz w przeciwnym kierunku - jest największy. Celem tej metody jest minimalizacja odległości do przebycia w systemie transportowym oraz redukcja floty pojazdów.

Inne metody projektowania przepływu ładunków to:

- 1- Pojedyncze pętle przejazdów środków transportowych (single loops)
- 2- Konfiguracje tandemowe czyli konfiguracje z kilkoma równoległymi niekolizyjnymi pojazdami
- 3- Podział powierzchni systemu AGV na osobne strefy zawierające określone segmenty trasy (segmented flow configurations)

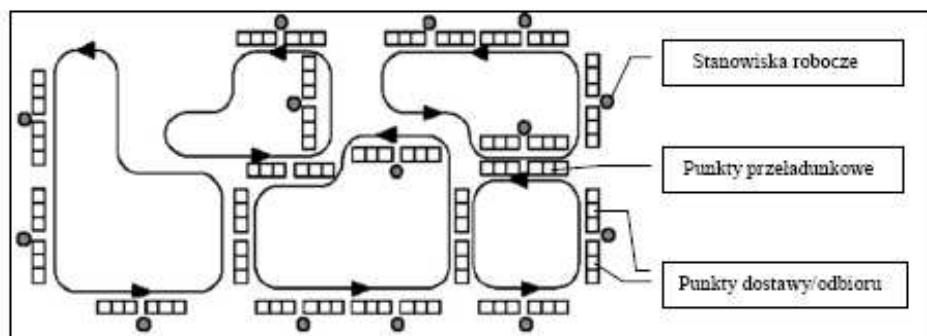
W przypadku pojedynczych pętli jednokierunkowych pojazdy poruszają się po stałych, zamkniętych jednokierunkowym pierścieniu. Po drodze obsługiwane są kolejne punkty dostawy/odbioru. Zalety takiego projektu:

- Wszystkie pojazdy AGV poruszają się w jednym kierunku co praktycznie wyklucza kolizje. Jedyny przypadek zatoru może wystąpić, gdy dany pojazd musi się zatrzymać na czas obsługi transportowej.

- Sterowanie systemem AGV jest stosunkowo proste ze względu na brak alternatywnych tras przejazdu.

Wadą takiego rozwiązania jest mała odporność systemu na awarie. W przypadku awarii jednego pojazdu, wszystkie pozostałe nie mogą go ominąć. Poza tym gdy pojazd AGV minie dany PDO, musi on przejechać całą pętlę by dotrzeć do niego ponownie, wpływa to negatywnie na przepustowość systemu transportowego [13].

Konfiguracje tandemowe z kilkoma równoległymi pojazdami AGV, zawierają po jednej pojedynczej pętli przejazdu przypisanej do jednego pojazdu AGV oraz po jednym wspólnym punkcie przeładunkowym leżącym na styku każdej pary pętli. Rys. 1 przedstawia tandemowy system z osobno wyodrębnionymi miejscami załadunku i wyładunku (osobne prostokąty), rozlokowanymi obok stanowisk roboczych a także z miejscami przeładunku położonymi na styku każdej pary pętli. W rozważaniach dotyczących alokacji PDO zazwyczaj pomija się fakt, że w rzeczywistości dostawa i odbiór części może odbywać się w różnych miejscach. Ponieważ jednak odległości rzeczywiste między tymi punktami są zazwyczaj małe ok. 1- 2 metry, można je pominąć bez szkody dla prowadzonych obliczeń. W przypadku pętli tandemowej, poszczególne sekcje (odcinki pojedynczych pętli) łączą się ze sobą tworząc tzw. pętlę ekspresową [12]. Jest to konieczne aby umożliwić transport ładunku w dowolne miejsce systemu produkcyjnego w sytuacji gdy trasa pętli prowadzi przez więcej niż jedną strefę. W obrębie pętli ekspresowej mają miejsce operacje przeładunkowe.



Rys. 1. Tandemowy system AGV

### 3. WYSYŁANIE POJAZDÓW DO ZADAŃ TRANSPORTOWYCH

Problem wysyłania pojazdów do wykonania określonych zadań transportowych można rozważyć na dwa sposoby. W pierwszym przypadku, ładunek przeznaczony do transportu można przypisywać do wolnego pojazdu AGV. W drugim przypadku, wolny w danym momencie środek transportu może być skierowany do określonego punktu dostawy/odbioru, wymagającego w danej chwili obsługi transportowej. Tak więc problem rozdzielania zadań transportowych może być podzielony na dwie kategorie [43]:

- zadania inicjowane przez punkty dostawy /odbioru (poszukiwanie wolnych pojazdów)
- zadania inicjowane przez pojazdy (poszukiwanie wolnych ładunków)

W statycznych (off-line) systemach sterowania wszystkie informacje o zadaniach transportowych są dostępne w chwili rozpoczęcia zadania transportowego. W rezultacie pojazdy mogą być przypisywane do ładunków w sposób optymalny, dzięki sformułowaniu problemu wysyłek jako problemu przypisania. Zbiór zleceń transportowych oraz zbiór pojazdów można przedstawić jako kompletny wykres dwuczęściowy.

W dynamicznych układach sterowania (on-line) stosuje się proste heurystyki, funkcjonujące według reguły *firsty come - first server* (pierwsze przyszło - pierwsze zostało obsłużone). W myśl tej zasady pierwszy wolny pojazd AGV zostaje wysłany do ładunku, który pierwszy zażądał obsługi transportowej. Proces sterowania można realizować także według zasady „pierwszy napotkany – pierwszy obsłużony (*first encountered - first-served*). Reguła ta znajduje zastosowanie w rozproszonych dynamicznych systemach sterowania, w których pojazdy AGV poruszają się w pojedynczej pętli. Pojazdy transportowe zdolne przewozić wiele ładunków jednocześnie, zabierają wszystkie napotkane wolne ładunki, jeśli mają na nie miejsce. Następnie moduły transportowe są wyładowywane w miejscach ich przeznaczenia. Badania symulacyjne wykazały, że dla przypadków pojedynczej pętli tego typu heurystyki są skuteczniejsze od tych, które wykorzystują regułę „pierwsze przyszło-pierwsze zostało obsłużone”.

Zdefiniowano zbiór heurystycznych reguł, które mogą być stosowane w rozproszonych systemach sterowania do wysyłek inicjowanych przez punkty dostawy/odbioru:

- reguła dowolnego pojazdu: zadanie transportowe jest przypisywane losowo do wolnego pojazdu, niezależnie od jego położenia względem ładunku,

-reguła najbliższego pojazdu: zadanie transportowe przypisywane jest do najbliższego wolnego pojazdu,

-reguła najdalszego pojazdu: zadanie transportowe przypisywane jest do pojazdu znajdującego się w największej odległości od ładunku wymagającego zabrania,

- reguła najdłuższego oczekiwania: zadanie transportowe przypisywane jest do pojazdu wyróżniającego się najdłuższym czasem postoju spośród wszystkich pojazdów obecnie nie posiadających przydzielonych zadań transportowych.

- reguła najmniejszego wykorzystania pojazdu: zadanie transportowe przypisywane jest do pojazdu charakteryzującego się minimalnym średnim wykorzystaniem (np. stosunek ilości przepracowanych godzin do sumy godzin przepracowanych i postoju).

Zastosowanie ostatnich dwóch reguł ma na celu zrównoważenie obciążenia pojazdów.

Reguły uwzględniające wysiłki inicjowane przez pojazdy (poszukiwanie wolnych ładunków) definiowane są w następujący sposób [7,11]:

-reguła dowolnego ładunku: pojazd transportowy wysyłany jest do punktu dostawy/odbioru, wybranego losowo spośród wszystkich tego typu punktów wymagających obsługi transportowej w danej chwili,

- reguła najkrótszego czasu przejazdu lub dystansu: pojazd jest wysyłany do najbliższego punktu dostawy/odbioru; celem reguły jest minimalizacja czasów pustych przejazdów.

- reguła najdłuższej kolejki: pojazd wysyłany jest do punktu dostawy/odbioru o największej liczbie ładunków oczekujących na transport,

-zmodyfikowana reguła „pierwszy napotkany – pierwszy obsłużony”: pojazdy są wysyłane do punktów dostawy/odbioru w kolejności zgłaszania zleceń transportowych. W danej chwili punkt dostawy/odbioru może mieć zgłoszone tylko jedno zlecenie. Zanim kolejne zlecenie transportowe zostanie przez dany punkt zgłoszone, poprzednie musi zostać zrealizowane.

Kolejną modyfikacją reguły „pierwsze przyszło- pierwsze zostało obsłużone” był model, w którym pusty pojazd AGV wstępnie sprawdzał czy istnieją ładunki do zabrania w miejscu, do którego właśnie przywiózł ładunek. Jeżeli jeden lub więcej ładunków oczekiwało na transport, wtedy pojazd zabierał pierwszy w kolejności ładunek. Jeżeli w danym miejscu nie było wolnych ładunków, pojazd był kierowany do najdłużej oczekującego całym systemie transportowym ładunku. Dzięki zastosowaniu tej reguły zredukowano czasy zbędnych, pustych przejazdów. W przypadku, gdy było to możliwe, wyładunek poprzedniego i załadunek kolejnego modułu transportowego dokonywał się w jednym miejscu. Badania empiryczne wykazały, że wydajność osiągnięta dzięki tej regule dorównuje innej regule preferującej najkrótsze czasy przejazdu

#### 4. WNIOSKI

Obecnie pojazdy AGV są stosowane nie tylko w systemach produkcyjnych, lecz także do obsługi powtarzających się zadań transportowych w systemach dystrybucji towarów, systemach przeładunkowych a także w terminalach kontenerowych. Największe różnice pomiędzy zastosowaniem systemów AGV w sferze produkcyjnej a nowymi dziedzinami zastosowań dotyczą parametrów takich jak: liczba pojazdów, odległości do pokonania w trakcie wykonywania zadań transportowych, liczba punktów dostawy/odbioru, natężenie ruchu, topologia systemu oraz warunki eksploatacyjne. Ze względu na złożoność systemów AGV, generują one wiele trudnych do rozwiązania problemów, gdzie często zakłada się

rozwiązanie co najmniej dwóch problemów decyzyjnych jednocześnie. Powyższy artykuł zawiera podsumowanie podstawowych problemów projektowania systemu AGV oraz stosowany aparat matematyczny. Nie są to kwestie do końca ostateczne, wiele z nich podlega ciągłym analizom i badaniom. Należą do nich:

- czy modele dedykowane dla systemów produkcyjnych mogą być adoptowane do systemów AGV w terminalach kontenerowych i hurtowniach,
- opracowanie metodyki projektowania systemów analitycznych i symulacyjnych jednocześnie uwzględniających kwestie związane z projektowaniem i sterowaniem w systemach AGV,
- badania w kierunku opracowania metodyki projektowania systemów analitycznych i symulacyjnych, uwzględniających kwestie związane z optymalizacją systemów AGV oraz optymalizacją innych systemów obsługi transportu materiałów,
- opracowanie modeli analitycznych do zarządzania ruchem wielu pojazdów AGV, z uwzględnieniem limitów wynikających z ograniczonej pojemności stref buforowych,
- badania na temat rozmieszczenia punktów dostaw/odbioru w dużych systemach AGV, z dużą liczbą pojazdów transportowych w celu uniknięcia kolizji i zatorów oraz skrócenia czasu trwania zadań transportowych.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Aiello G., Enea M.: *An integrated approach to the facilities and material handling system design*. International Journal of Production research, vol 40, 2002.
- [2] Bozer Y., Cho M.: *Expected waiting times in single-device trip-based material handling system*. European Journal of Operational Research, n 75, 1994.
- [3] Fanti M.; *Event-based controller to avoid deadlock and collision in zone control AGV*. International Journal of Production Research, n 48, 2002.
- [4] Ghasemzadeh H., Behrangi E.: *Conflict-free scheduling and routing of automated guided vehicles in mesh topologies*. Robotics and Autonomous Systems, n 57, 2009.
- [5] Goetz J., Egbelu P.: *Guide path design and location of load pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system*. International Journal of Production Research, vol 28, 1990.
- [6] Kapsi M., Tanchoco J.: *Optimal flow path design of unidirectional AGV system*. International Journal of Production research, vol 28, 2007.
- [7] Kim K., Jae M.: *An object-oriented simulation and extension for tandem AGV system*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, n 22, 2003.
- [8] Lim J., Yoshimoto K.: *A construction algorithm for designing guide paths of automated guided vehicle system*. International Journal of Production Research, n 40, 2002.
- [9] Nakano M., Ohno K.: *Decomposition algorithm for performance evaluation of AGV system*. Production and Operations Management, n8 2007.
- [10] Nieoczym A.: *Zagadnienia projektowania hierarchicznie zorganizowanych systemów montażowych*; Lublin, Wydawnictwo LTN 2002.
- [11] Nieoczym A. *The modelling of the assembly line with a technological automated guided vehicle (AGV)*; LogForum, vol 7, n 5, 2011.
- [12] Ross E., Mahmoodi F.: *Tandem configuration Automated Vehicle System: a Corporative Study*. Decision Sciences, n 27, 2004
- [13] Tanchoco J., Egbelu P.: *Determination of the total number of vehicles in an AGV based material transport system*. Material Flow, n4, 2004