

Lucjan Kurzak, Robert Sałek

## PROBLEMY WYKORZYSTYWANIA ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW AGV W WEWNĄTRZZAKŁADOWEJ DYSTRYBUCJI MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

### Wprowadzenie

Ciągłe dążenie przedsiębiorstw do zwiększania swoich sprawności produkcyjnych oraz systematyzowania przepływów materiałowych powoduje wzrost zainteresowania zautomatyzowanymi systemami zarówno produkcyjnymi, jak i transportowymi. Pojazdy sterowane automatycznie coraz częściej wykorzystywane są w nowoczesnych przedsiębiorstwach do transferowania dóbr materiałowych na liniach produkcyjnych. Efektem tego jest wzrost produktywności poprzez usprawnienie transportu wewnątrzzakładowego. Wyposażenie dla systemów AGV stale się rozwija i ewoluuje, natomiast oprogramowanie do kontroli i monitorowania grupy pojazdów podczas dystrybucji wewnątrzzakładowej wciąż odbiega od oczekiwań w wielu aspektach [1]. Głównym powodem tego ograniczenia jest złożoność problemu wykorzystywania i programowania wielu pojazdów AGV. Z jednej strony widoczna jest potrzeba optymalizowania dróg transportowych pomiędzy punktami załadunku i rozładunku [2], z drugiej natomiast pojawia się trudne zadanie przydzielania wielkości transferu do określonych pojazdów w odpowiednim czasie dla uniknięcia ewentualnych konfliktów i zastoju na tych samych trasach [3]. Te dwa od siebie niezależne problemy, czyli optymalizacja dróg oraz harmonogramowanie prac, sprawiają, że zadanie programowania „multi-AGV” staje się wyjątkowo trudnym zagadnieniem do rozwiązania.

Głównym zadaniem zautomatyzowanego systemu AGV jest transportowanie materiałów z grupy punktów źródłowych ( $I_i$ ) do grupy punktów przeznaczenia ( $O_j$ ). Wielkości obu grup mogą być zrównoważone ( $I_i = O_j$ ), co oznacza transportowanie elementów w sposób sekwencyjny, jak również zróżnicowane ( $I_i > O_j$ ,  $I_i < O_j$ ), można sklasyfikować tę sytuację jako problem dystrybucji materiałów, w którym zapotrzebowanie na jeden zasób źródłowy może być wymagane w wielu punktach przeznaczenia. Problem, który został podjęty, zawiera się właśnie w tej kategorii. W rzeczywistości jest on jeszcze bardziej uproszczony poprzez fakt, że wszystkie jednostki źródłowe zasilane są z jednej stacji, nazwanej punktem załadunku (PZ).

Zadaniem tego punktu jest ciągle zasilanie systemu w materiały, które przekazywane są do kilkudziesięciu punktów przeznaczenia w magazynie, nazwanych punktami rozładunkowymi (PR).

W sytuacji złożonej, gdy wymagane są bardziej skomplikowane przepływy materiałów, punkty PR w rozpatrywanym układzie mogą pełnić funkcje punktów PZ dla innego odrębnego systemu AGV, którego obszar działania jest fizycznie odseparowany. Innymi słowy, podjęty problem bierze pod uwagę tylko dystrybucję materiałów z PZ do wielu różnych PR, prowadząc do optymalnego wykorzystania jednostek AGV oraz racjonalnego obciążenia PR.

W rozpatrywanym przypadku sieci dystrybucji wewnętrznej układ ścieżek transportowych przybiera kształt drzewa, gdzie punkt PZ znajduje się u nasady pnia, natomiast ułożenie punktów PR symbolizuje układ gałęzi lub liści drzewa. Ponieważ nie zaistniały trasy w formie zamkniętych pętli, nie ma problemu z wyborem przejścia od jednego PZ do PR i od dowolnego PR do PZ, co sprawia, iż problem optymalizacji tras w tym przypadku jest znacznie uproszczony. Znane są informacje dotyczące średniego zapotrzebowania oraz dane przekazywane z umieszczonych na regałach czujników o ilości materiału znajdującego się w poszczególnych PR w danym czasie. Zakładamy pewną ładowność wózków AGV, które są w stanie transportować materiały w formie spaletyzowanych jednostek ładunkowych. W analizie systemu AGV bazującej na dystrybucji materiałów dostosowanej do rozpatrywanej sytuacji sformułować można następujące cele [4]:

- ocena minimalnej ilości pojazdów niezbędnej do spełnienia wymagań transportowych;
- zaproponowanie i oszacowanie zróżnicowanych zasad dystrybucji przydzielanych zadań do konkretnego pojazdu AGV. Wprowadzone zostaną parametry umożliwiające porównanie wydajności dla różnych zasad przydzielania w zakresie przepustowości oraz systematyczności dystrybucji materiału dla wszystkich PR;
- propozycja podziału obszaru roboczego na mniejsze strefy operacyjne (jedna strefa dla jednego AGV) w celu redukcji użytkowania wspólnych tras i idących za tym konsekwencji;
- wykonanie dyskretnej symulacji bazującej na przypadku dotyczącym oceny wpływu zmiany każdego z powyższych parametrów.

W dalszej części artykułu opisane zostanie środowisko, w którym operować będą roboty mobilne, a następnie poddana zostanie analizie ilość wymaganych pojazdów dla poprawnego funkcjonowania systemu. Ponadto określone zostaną zasady dystrybucji oraz wprowadzone zostaną parametry charakteryzujące ich efektywność.

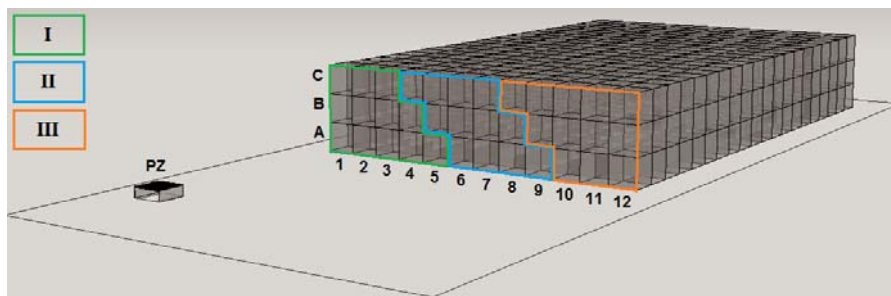
## 1. Specyfikacja zagadnienia transportowego

W przyjętym systemie wykorzystującym technologię AGV materiały dostarczane są do punktu załadunkowego w formie spaletyzowanych jednostek, które muszą zostać rozdysponowane do odpowiednich lokalizacji w strefie składowania. Różnorodność dostarczanych materiałów oraz zapotrzebowania sprawia, że konieczne jest wyposażenie magazynu w regały przepływowe. Umożliwia to sprecy-

zowanie lokalizacji PR oraz podział poszczególnych regałów na grupy towarowe w zależności od częstotliwości przepływów i czasu składowania. Jednostki wymagające dłuższego czasu zlokalizowane są w dalszej odległości od PZ, natomiast te, które charakteryzuje krótki czas oraz duże częstotliwości transferu, znajdują się bliżej. Każda jednostka transportowa przypisana jest do danego punktu rozładunku, lecz zaistnieć mogą sytuacje, gdy może wystąpić zapotrzebowanie w kilku innych punktach w celu transferu do odrębnej części magazynu. Proponowany proces transportowy to kompletna automatyczna dystrybucja jednostek transportowych w formie palet (EUR 800 x 1200) z punktu załadunkowego (PZ) do wielu punktów rozładunku (PR) w obszarze strefy przyjęć magazynu wyrobów gotowych z użyciem jednego lub wielu zautomatyzowanych robotów mobilnych AGV. Materiały dostarczane są do strefy przyjęć przez przenośnik rolkowy, który zasilany jest w jednostki transportowe za pomocą wózków podnośnikowych. Wszystkie inne operacje, takie jak: pobranie ładunku z PZ przez AGV, transport do odpowiedniego PR oraz rozładunek z AGV na regały muszą być wykonywane niezależnie [5].

### Ukształtowanie obiektu

W strefie przyjęć znajduje się jeden punkt załadunku PZ oraz 36 punktów docelowych PR ( $k = 36$ ), których lokalizacje przedstawione są na rysunku 1. Punkty rozładunku rozmieszczone są w trzech rzędach poziomych (A, B, C) oraz dwunastu kolumnach, pozwala to na określenie współrzędnych każdego PR w celu późniejszej identyfikacji. Jak wspomniano wcześniej, materiały dostarczane są za pomocą wózków podnośnikowych na przenośnik rolkowy (PZ), następnie za pomocą systemu AGV palety z materiałem mogą być dostarczone do punktów rozładunku o sprecyzowanych współrzędnych.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów rozładunku z podziałem na strefy  
Źródło: Opracowanie własne

Znane są wielkości jednostek paletowych w zależności od rodzaju materiału transportowanego, każdy punkt PR posiada stałą pojemność składowania oraz inną odległość od PZ, a strefy grup regałów posiadają określoną częstotliwość przepływów towarowych (tab. 1), natomiast każdy z PR jest w stanie pomieścić 20 jednostek paletowych.

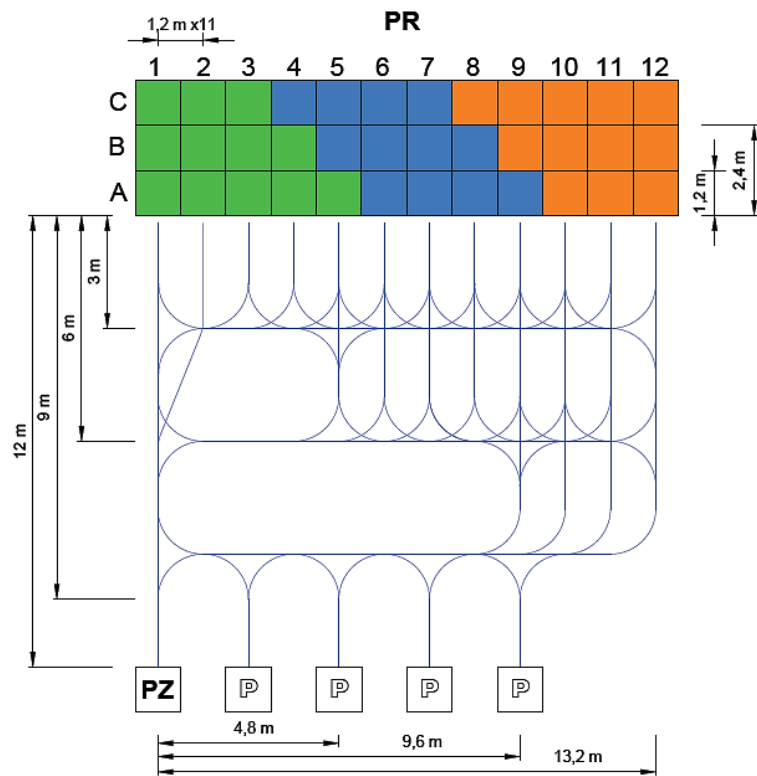
TABELA 1

**Rozmieszczenie stref składowania oraz odległości punktów rozładunku od punktu załadunku wyrażone w metrach**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I → 25 jp/h			II - 25 ÷ 15 jp/h				III - <15 jp/h				
<b>C</b>	14,4	15,6	16,8	18	19,2	20,4	21,6	22,8	24	25,2	26,4	27,6
<b>B</b>	13,2	14,4	15,6	16,8	18	19,2	20,4	21,6	22,8	24	25,2	26,4
<b>A</b>	12	13,2	14,4	15,6	16,8	18	19,2	20,4	21,6	22,8	24	25,2
Pojemność składowania = 20 jp												

Źródło: Opracowanie własne

Należy sprecyzować ilości węzłów oraz segmenty ścieżek na podłodze przy założonych wcześniej ilościach PZ i PR. Węzły są podstawowymi wyznacznikami, według których wytycza się ścieżki transportowe. Rozmieszczenie dróg, po których przemieszczać się mają wózki AGV, przedstawia rysunek 2. Rozróżnić można dwa rodzaje kształtów odcinków ścieżek wyznaczonych dla pojazdów tego typu: linie proste oraz łuki.



Rys. 2. Ścieżki transportowe dla rozpatrywanego systemu transportowego AGV

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku krzywych odcinków wózki mogą poruszać się stycznie lub w stylu „kraba”, w którym przemieszczający się pojazd śledzi odcinek trasy, utrzymując swoją dotychczasową orientację. Ścieżki najkrótsze i najkorzystniejsze pomiędzy PZ i PR są obliczane i zapamiętywane [4].

### *Charakterystyka AGV*

Automatyczne pojazdy transportowe przystosowano do operowania i manipulowania jednostkami paletowymi, wyposażone są w standardowe widły wykonane z jednolitego kawałka stali, maszt oraz karetkę, umożliwiającą przemieszczanie ładunków w pionie. W rozpatrywanym przypadku wózki sterowane są elektromagnetycznie, polega to na odczytywaniu przez czujniki wózka natężenia pola elektromagnetycznego emitowanego przez przewody umieszczone wzdłuż drogi transportowej. Dzięki specjalnym czujnikom pojazd AGV podąża za odczytem do celu, zatrzymując się tylko w wyznaczonych miejscach. Śledzenie elektromagnetyczne w odróżnieniu od innych cieszy się dużym uznaniem wśród użytkowników systemów AGV, mimo dużych kosztów i małej elastyczności. Cechuje je w zamian za to wysoka niezawodność w przeciwieństwie np. do śledzenia optycznego [6]. Proponowany pojazd spełniający wymagania w rozpatrywanych warunkach to *Fork Style AGV Side Loading-FLA-SR* firmy Amerden INC. z USA, którego podstawowe parametry przedstawia tabela 2.

TABELA 2

**Podstawowe parametry wózka AGV**

Udźwig	4000 lbs	1,8 T
Maksymalna wysokość podnoszenia	16,00 ft	4,88 m
Maksymalna prędkość przemieszczania	200 ft/min	61 m/min (1,016 m/s)
Typ	Forklift AGV	Wózek podnośnikowy AGV
Rodzaj prowadzenia	Laser Guided; Wire Guided	Elektromagnetyczne
Manipulowanie ładunkiem	Automatic	
Funkcje	Remote Control	

Źródło: <http://www.globalspec.com>

Monitorowanie pozycji oraz kontrola pracy wózków AGV wykonywane są przez centralny system komputerowy, który zbiera dane przesyłane z pojazdów, analizuje je, a następnie odsyła, korygując stan położenia i trasy wózka [4].

### *Sterowanie i kontrola przepływu materiałów*

Centralny system komputerowy monitoruje stany zasobów każdego z regałów PR, gdy stan zapasów spada poniżej wcześniej określonej wartości, staje się on uprawniony do przyjęcia jednostki paletowej. W systemie sporządzana jest także lista kwalifikowanych punktów rozładunku wraz z poziomem ich zapasów, więc

jak tylko AGV stanie się dostępny, komputer decyduje, który PR powinien być obsłużony na podstawie zasad dystrybucji. Generuje on zlecenie transferu do wykonania dla AGV, określając również kolejność, w której punkty docelowe mają być odwiedzane w celu zminimalizowania czasu transportu. Tak zaprogramowany pojazd przemieszcza się do punktu PZ, z którego pobiera określony ładunek przeznaczony dla odpowiedniego punktu docelowego PR, gdzie jest rozładowywany, a następnie, jeżeli zostało wygenerowane nowe zlecenie, kieruje się z powrotem do punktu PZ.

## 2. Problem dystrybucji oraz strategia rozwiązania

Działania standardowe zmierzające do optymalnego zaplanowania i kontroli nad zadaniem dystrybucyjnym w rozpatrywanym przypadku systemu AGV zdefiniowane są następująco [7]:

- określenie położenia węzłów i odcinków tras na powierzchni roboczej z uwzględnieniem rozmieszczenia punktów PZ i PR oraz możliwości mobilnych wózków;
- ocena ilości pojazdów niezbędnych do zaspokojenia specyficznych potrzeb materiałowych w poszczególnych PR;
- zdefiniowanie parametrów koniecznych do oceny i porównania wydajności systemu przy zróżnicowanych zasadach dystrybuowania;
- sprecyzowanie zasad dystrybucji dla AGV. Opisują one procedurę decyzyjności, które punkty PR mają zostać obsłużone na podstawie informacji o stanie zapasu w PZ;
- wytyczenie optymalnych dróg dla wózków tak, aby zapewnić im najwyższą skuteczność pracy;
- ustalenie protokołów użytkowania wspólnych tras dla wielu pojazdów. Konieczne jest przestrzeganie określonych protokołów przez AGV w celu uniknięcia kolizji oraz zastoju.

W dalszej części artykułu przedstawiona zostanie analiza najistotniejszych zadań dystrybucji.

### *Określenie niezbędnej ilości pojazdów AGV*

Można założyć, że pojedynczy wózek jest w stanie przetransportować  $p$  jednostek w określonym czasie. Jeżeli całkowity czas transportu do  $i$ -tego punktu PR oraz powrót do PZ przyjmujemy jako  $t_i$ , to jeden pojazd transportowy będzie w stanie dostarczać materiał do  $i$ -tego PR w jednostce wyrażonej jako ilość ładunków przetransportowanych w czasie ( $p/t_i$ ). Jeżeli natomiast punkt PR wyraża zapotrzebowanie na  $x_i$  jednostek transportowych w określonym czasie, to współczynnik określający zapotrzebowanie na ilość AGV dla  $i$ -tego PR sformułować można jako:

$$z_i = \frac{x_i}{p} = \frac{x_i \cdot t_i}{p} \quad (1)$$

Obciążenie ładunkowe  $i$ -tego PR wyrażone może zostać jako:

$$l_i = x_i \cdot t_i \quad (2)$$

Jest to także sformułowanie opisujące stopień natężenia pracy pojazdu transportowego, jaką musi włożyć, aby zaspokoić żądanie materiałowe punktu PR. Współczynnik zapotrzebowania na AGV  $z_i$  dla  $i$ -tego PR zmienia swoją postać i można zapisać go jako współczynnik obciążenia ładunkowego podzielonego przez ładowność AGV:

$$z_i = \frac{x_i \cdot t_i}{p} = \frac{l_i}{p} \quad (3)$$

Wynika z tego, że współczynnik zapotrzebowania na AGV można zmniejszyć poprzez ograniczenie obciążenia ładunkowego  $l_i$  lub zwiększenie możliwości transportowych wózka  $p$ . Zmniejszenie wartości współczynnika  $l_i$  wiąże się z obniżeniem zapotrzebowania na jednostki ładunkowe  $x_i$  w punkcie PR lub skróceniem czasu jazdy AGV  $t_i$  do tego PR, co wymaga zwiększenia prędkości poruszania się wózków.

W odniesieniu do układu rozpatrywanego sumę wszystkich współczynników zapotrzebowania na AGV wyrażaną przez wszystkie punkty PR zapisać można jako współczynnik zapotrzebowania całkowitego:

$$Z_c = \sum_i z_i \quad (4)$$

W przypadku gdy  $Z_c < 1$ , oznacza to, że jeden pojazd będzie w stanie całkowicie zaspokoić zapotrzebowanie na transport materiałów. Natomiast w sytuacji kiedy  $Z_c > 1$ , świadczyć to będzie o zwiększeniu wymagań transportowych przekraczających możliwości jednego pojazdu, przy czym wartość wyrażającą ilość niezbędnych wózków należy przyjąć jako liczbę całkowitą większą od wartości otrzymanej. Na przykład, jeżeli  $3 < Z_c < 4$ , sugeruje to nam, że będą wymagane co najmniej cztery wózki AGV, aby zaspokoić całkowite zapotrzebowanie transportowe.

Przedstawiona wyżej uproszczona analiza oceny ilości AGV była możliwa, ponieważ rozpatrywany przypadek dystrybucji materiałów jest specjalnym przypadkiem ogólnego problemu transferowania materiałów wewnątrz przedsiębiorstwa. Ponadto analiza ta znaleźć może zastosowanie tylko wtedy, gdy jeden wózek AGV zaopatruje jeden punkt PR i nie dochodzi do konfliktów podczas dzielenia wspólnych tras z innymi pojazdami AGV, co daje możliwość jedynie wstępnej kalkulacji ilości wymaganych pojazdów [8].

### Określenie warunków dystrybucji

**Czas składowania** w punkcie PR określa czas, w którym materiał jest przechowywany do momentu jego wyprowadzenia przy braku dostaw w międzyczasie. Jeżeli bieżący poziom zasobów dla  $i$ -tego PR wynosił będzie  $r_i$ , to ich czas składowania wyrazić można jako:

$$t_s = \frac{r_i}{x_i} \quad (5)$$

Wartość współczynnika  $t_s$  może być określana jako pozytywna oraz negatywna, przy czym negatywny czas składowania wskazuje na czas, który upłynął od momentu, gdy stan zasobów osiągnął wartość zerową.

**Priorytet**, jaki przypisać można punktom PR, zależy od negatywnego czasu składowania. Ustalona została specyficzna wartość dla czasu składowania  $t_s$ , poniżej której PR stają się uprawnione do otrzymywania materiałów. W takim przypadku zostaje podjęta decyzja, który z PR może zostać obsłużony przez AGV przy następnym cyklu transportowym.

**Transfer jednokrotny (TJ)** dla punktu PR jest to dystans, jaki musi pokonać AGV, aby ukończyć cykl transportowy  $PZ \rightarrow PR \rightarrow PZ$ . W kontekście zasad transferu wielokrotnego (TW) cykl transportowy zmienia postać na bardziej złożony, np.:  $PZ \rightarrow PR_1 \rightarrow PR_4 \rightarrow PR_3 \rightarrow PZ$ , gdzie kolejność obsługi PR wynika z zachowania zasad dystrybucji.

Rozpatrywany przypadek wewnątrzzakładowej dystrybucji materiałów budowlanych jest szczególny, biorąc pod uwagę formę jednostek transportowych. Specyfika materiałów wymusza na producentach i dystrybutorach zachowania spaletyzowanych jednostek, aby umożliwić ich transport oraz załadunek i wyładunek tak wewnątrz przedsiębiorstwa, jak również u nabywcy. Biorąc pod uwagę formę ładunku oraz możliwości transportowe pojazdów AGV, oczywisty staje się fakt, że są one w stanie przetransportować jeden ładunek w trakcie jednego cyklu transportowego. Pozwala to na wyeliminowanie spośród rozpatrywanych przypadków transferu wielokrotnego, który jest niemożliwy do zrealizowania przy dystrybucji materiałów w jednostkach spaletyzowanych.

Transfer jednokrotny określić można jako zaangażowanie jednego wózka AGV z maksymalnym wykorzystaniem jego zdolności ładunkowych do zaopatrzenia PR o najwyższym priorytecie obsługi. Warunki dystrybucji, takie jak: czas, priorytet oraz rodzaj transferu mają kluczowy wpływ na decyzje w kwestii przydzielania AGV do obsługi PR podczas cyklu transportowego, jak również silnie oddziałują na wydajność i zrównoważony poziom dystrybucji materiałów [9].

### 3. Określenie parametrów do oceny wydajności

Ocena oraz porównanie efektywności systemu przy zróżnicowanych zasadach dystrybucji materiałów są możliwe dzięki sprecyzowaniu konkretnych parametrów.



**Nasylenie PR** określa spełnienie wymagań zapotrzebowania materiałowego i wyrazić je można jako ułamek czasu, w którym PR utrzymuje pozytywny czas składowania  $t_s$ . Jeżeli po upływie czasu symulacji  $t$  w  $i$ -tym PR zaobserwuje się zerowy stan dla czasu  $t_0$ , to pozytywny czas stanu zapasów określić można jako:

$$t_s = t - t_0 \quad (6)$$

a jego nasylenie wyraża sformułowanie:

$$n_i = \frac{t - t_0}{t} \quad (7)$$

Przy czym nasylenie wszystkich PR określić można jako średnie nasylenie  $N_{sr}$ .

**Średnie odchylenie nasylenia** wyrażane jest przez:

$$N_{odch} = \sum \frac{|n_i - N_{sr}|}{k} \quad (8)$$

$$1 \leq i \leq k \quad (9)$$

gdzie  $k$  oznacza liczbę wszystkich punktów rozładunku PR.

Pozwala to na określenie równomierności rozkładu materiału z zachowaniem obowiązujących zasad dystrybucji. Niska wartość średniego odchylenia nasylenia informować będzie o jednostajności dystrybuowania materiałów.

**Wykorzystanie AGV** zdefiniować można jako ułamek czasu podczas symulacji, w którym pojazd zajęty jest obsługiwaniem żądań transferu. Jeżeli parametr ten równy jest jedności, oznacza to, że wózek jest wykorzystywany w pełni, jak również to, że może on nie spełniać wszystkich powierzonych zadań transportowych. Przeszłość AGV określa się jako ułamek czasu, w którym pojazd jest dostępny dla usługi, lecz nie występują żądania transferu. Zrozumiałe jest, że zarówno wartość liczbowa wykorzystania, jak i przeszłość AGV dążą do jedności, w odróżnieniu od sytuacji, w której pojazd jest zmuszony do oczekiwania. Oczekiwanie AGV jest wyrażane jako ułamek czasu, w którym pojazd czeka w miejscu postojowym, do czasu aż inny wózek zwolni mu drogę do wykonania transferu. Im mniejsza jest wartość czasu oczekiwania, tym wyższa jest efektywność wykorzystania AGV. Niestety, oczekiwanie AGV jest złem koniecznym i efektem ubocznym przestrzegania protokołów unikania zastoju w rozwiązaniach „multi-AGV”.

**Czas przebiegu** rozumiany jest jako czas od rozpoczęcia symulacji do momentu, w którym jeden z PR osiągnie zerowy stan zapasów, przy czym symulacja rozpoczynać się będzie z pewnymi losowymi stanami zapasów dla każdego PR. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku, gdy system AGV nie jest w stanie zaspokoić potrzeb materiałowych PR. Dla tych samych lub identycznych warunków początkowych czas przebiegu jest wskaźnikiem reakcji operacyjnych zasad dystrybucji względem żądań materiałowych PR.

**Przepustowość** to parametr określany jako tempo, w jakim materiały transportowane są przez pojazdy AGV. Transfer materiałów wyrazić można za pomocą sformułowania:

$$M = \sum_i m_i \cdot c_i \quad (10)$$

gdzie:  $m_i$  - liczba jednostek ładunkowych dostarczonych przez AGV do  $i$ -tego PR, natomiast  $c_i$  - ilość transferów jednokrotnych do tego samego PR.

Ponieważ specyfika pojazdów oraz jednostek ładunkowych umożliwia transport jednego ładunku podczas jednego transferu, dla konkretnego przypadku zawsze będzie spełnione wyrażenie:

$$m_i = c_i \quad (11)$$

zatem wyrażenie opisujące transfer materiałowy zapisać można jako:

$$M = \sum_i m_i \quad (12)$$

Jeżeli  $M$  realizowane jest w czasie  $t$ , to przepustowość określić można jako  $M/t$ . Przyjmując, że wymagana przepustowość będzie wyrażona wzorem:

$$X = \sum_i x_i \quad (13)$$

to znormalizowana przepustowość może wynosić co najwyżej 1 i być wyrażona jako  $M/(X \cdot t)$ .

Ponieważ **nasycenie PR** oraz **przepustowość** jednakowo oddziałują na wydajność transportową systemu AGV, łatwo zauważyć też różnice pomiędzy nimi. Za pomocą przepustowości możliwa jest identyfikacja różnorodności potrzeb węzłów bliższych i dalszych (im dalszy węzeł, tym większy wysiłek i czas), nasycenie PR natomiast tylko przechwytyje informacje z każdego PR. Jeżeli wymagane byłoby zwiększenie średniego nasycenia, można wykonać to poprzez zwiększenie częstotliwości dostaw do najbliższych PR, co wymaga mniej czasu, jednak to przepustowość jest wiarygodnym wskaźnikiem, ile jednostek materiałowych system AGV był w stanie dostarczyć [4].

#### 4. Modelowanie i symulacja

Symulacja zakładanego przypadku wymagana jest w celu zaobserwowania dynamicznych zachowań systemu dystrybucji materiałów. Możliwa będzie dzięki temu analiza sytuacji przy określonych powyżej parametrach w odniesieniu do „single- lub multi-AGV” oraz różnych zasadach dystrybucji. Typowy przykład systemu zdarzeń dyskretnych stanowi zautomatyzowany system transferu materia-

łowego (AMTS - Automated Material Transfer System), w którym żądanie o obsługę AGV, uzupełnianie stanów zapasów w poszczególnych PR, początek i koniec cykli transportowych AGV czy dostarczanie materiałów do PR są zdarzeniami dyskretnymi w czasie. Realizowane Dyskretne Metody Symulacji Zdarzeń [10] wykorzystane do przeprowadzenia symulacji w czasie dystrybucji materiałów w AMTS przyczyniły się do wprowadzenia dodatkowych założeń:

- ponieważ AGV jest przystosowany do transportu pojedynczego ładunku (1 AGV = 1 jp), może on wykorzystywać tylko i wyłącznie transfer jednokrotny do i-tego PR;
- każdy punkt PR po otrzymaniu ładunku przemieszcza go za pomocą rolek do najbardziej oddalonego wolnego miejsca składowania;
- roboty AGV przemieszczają się ze średnią prędkością 0,5 m/s podczas jednego kursu po uwzględnieniu większych prędkości na prostych (około 1 m/s) i mniejszych na łukach, natomiast założony czas pozycjonowania AGV względem PZ lub PR w celu podjęcia lub odłożenia ładunku wynosi każdorazowo 20 sekund;
- AGV podczas przestojów mogą przebywać tylko i wyłącznie w wyznaczonych stacjach parkingowych;
- rodzaj ładunku przekazanego do PR oraz jego stany zapasów są dostosowane i znane;
- wszystkie pojazdy AGV mają możliwość poruszania się z taką samą prędkością w dwóch kierunkach oraz wszystkie odcinki dróg są dwukierunkowe;
- wymagany ładunek jest zawsze dostępny w PZ.

Proces symulacji rozważany jest jako przemieszczanie się przez kolejne punkty zdarzeń w systemie wzorowanym na metodzie „wielkości kroków zdarzeń”, która uwzględnia przyrost czasu do kolejnego zdarzenia i odpowiednio aktualizuje dane stanów w systemie. Kolejność zdarzeń może być porządkowana przez system w formie tabeli, w której każdy wpis zawiera informacje o rodzaju zdarzenia i czasie jego występowania. Sam proces symulacji jest bardzo złożony i trudny do przeprowadzenia, wymaga on dobrej znajomości programowania w języku C++. Opracowanie programu symulacyjnego umożliwi przeprowadzenie analiz dla danych parametrów, takich jak: nasycenie PR oraz przepustowość dla dowolnej ilości cykli transportowych.

## Podsumowanie

Podjęty w artykule problem planowania zautomatyzowanego systemu transportowego dedykowany jest dla zwiększenia wydajności oraz zrównoważenia rozmieszczenia materiałów wewnątrz rozpatrywanego obiektu. Zaprezentowane zagadnienia z zakresu automatyzacji transportu, a w szczególności zastosowania mobilnych robotów AGV, umożliwiają odniesienie ich do dowolnego wewnątrzskładowego systemu transportowego. Sprecyzowanie warunków dystrybucji oraz wyszczególnienie parametrów dają możliwości rozwoju zarówno dla indywidualnych systemów AGV, jak również złożonych sieci transportowych. Zamiarem autorów było przybliżenie pojęć automatyzacji oraz innowacyjnych rozwiązań

z dziedziny transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwach zajmujących się zaopatrywaniem w materiały budowlane. Scharakteryzowanie parametrów umożliwiających późniejszą ocenę wydajności systemu pozwoliło wskazać najistotniejsze czynniki decydujące o prawidłowym jego funkcjonowaniu. Efektywność każdego systemu transportowego czy produkcyjnego podlega bezwzględnie kryteriom czasowym. Jest to jeden z najistotniejszych czynników, który decyduje o sukcesie lub porażce przedsiębiorstwa funkcjonującego zarówno na rynkach lokalnych, jak i światowych. Zastosowanie zautomatyzowanych systemów transportowych pozwala na uszeregowanie zadań oraz systematyzację procesów przy jednoczesnej minimalizacji czasów i zapewnieniu pełnej kontroli nad strumieniem przepływu materiałów w przedsiębiorstwie. Problem ten może stanowić istotne usprawnienie procesów magazynowania i dystrybucji w przedsiębiorstwach zajmujących się produkcją i zaopatrywaniem w materiały budowlane.

## Literatura

- [1] Qiu L., Hsu W., Huang S., Wang H., Scheduling and routing algorithms for AGVs: A survey, *International Journal of Production Research* 2002, 40(3), 745-760.
- [2] De Guzman M.C., Prabhu N., Tanchoco J.M.A., Complexity of the AGV shortest path and single loop guide path layout problems, *International Journal of Production Research* 1997, 35, 2083-2092.
- [3] Langevin A., Lauzon D., Riopel D., Dispatching, routing and scheduling of two automated guided vehicles in a flexible manufacturing system, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 1996, 8, 246-262.
- [4] Namita Singh P.V., Sarngadharan Prabir K. P., AGV scheduling for automated material distribution: a case study, *Journal of Intelligent Manufacturing* 2011, 22, 219-228.
- [5] Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, Tom 2, Biblioteka Logistyka, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1999.
- [6] Shell R.L., Hall E.L., *Handbook of industrial automation*, chapter 7.1, Material handling and storage system, Marcell Dekker 2000, 631.
- [7] Rajotia S., Shanker K., Batra L.J., A semi-dynamic time window constrained routing strategy in an AGV System, *International Journal of Production Research* 1998, 36, 35-50.
- [8] Tanchoco J.M.A., Egbelu P.J., Taghaboni F., Determination of the total number of vehicles in an AGV based material transport system, *Material Flow* 1987, 4, 33-51.
- [9] Kurzak L., *Lean Management in Building Construction Enterprise*, [w:] *Recent Trends of Advanced Logistics Solutions*, ed.: Vladimír Modrák, Wydawnictwo Technická Univerzita Kosice, Presov 2008, 83-89.
- [10] Law A.M., Kelton W.D., *Simulation, modeling and analysis*, McGraw Hill, New York 2000.

## Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę harmonogramowania pracy zautomatyzowanych wózków AGV (Automated Guided Vehicles) w celu równomiernego i efektywnego rozkładu materiału transportowanego. Analiza problemu dystrybucji wydaje się łatwiejsza, kiedy traktować ją można jako szczególny przypadek ogólnego problemu transferowania materiałów. Propozycja innowacyjnych rozwiązań dla transportu wewnętrznego przedsiębiorstwa pozwala ocenić sprawność tego systemu poprzez monitorowanie parametrów wydajnościowych oraz regularność dystrybuowania materiałów.

---

Podjęto rozważania nad problemem dystrybucji materiałów w przedsiębiorstwie zaopatrującym w materiały budowlane na etapie transportu z punktów przyjęć do strefy składowania w magazynie.

### **Exploit problems of automated AGV systems at in-housing distribution of building materials**

#### **Abstract**

This paper presents the issues of work scheduling automated forklift AGV (Automated Guided Vehicles) in order to balance and effective distribution of the transported material. Analysis of the distribution problem is easier when can be treat it as a special case of the general problem of materials transfer. Proposed innovative solutions for internal transport in companies can evaluate their efficiency through the monitoring of performance parameters and the regularity of materials distribution. It elaborates the problem in the company supplying the construction materials, on the stage of transport from admission points to the storage area in the warehouse.