

WYBRANE ASPEKTY MODELOWANIA SYMULACYJNEGO ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

Streszczenie

W artykule opisano wybrane aspekty modelowania symulacyjnego systemów transportu wewnętrznego z szczególnym uwzględnieniem zautomatyzowanych systemów transportowych. Zaprezentowano przykłady modelowania wybranych elementów systemu transportowego zrealizowane w środowisku symulacyjnym DOSIMIS-3.

Słowa kluczowe: modelowanie, symulacja, transport wewnętrzny, system przepływu materiałów

1. WPROWADZENIE

Transport jest jednym z głównych składników wszystkich systemów logistycznych i wymaga przeprowadzenia szeregu czynności takich jak planowanie, kontrolowanie, zarządzanie zarówno w jego obszarze zewnętrznym jak i wewnętrznym. Transport jako system stanowi swojego rodzaju połączenie między obszarami np. produkcji a strefami magazynowania czy konsumpcji oraz scala odseparowane od siebie podsystemy i zapewnia wymianę towarową. Działania systemu transportowego powinny stanowić jedną całość z innymi działaniami i procesami przedsiębiorstwa takimi jak produkcja, magazynowanie, składowanie, czy realizacja zamówień.

W każdym systemie produkcyjnym, oprócz podstawowego procesu technologicznego realizowane są jeszcze inne, niezwykle ważne procesy – procesy transportu wewnętrznego. Dzięki stale zwiększającym się wymaganiom rynku, przedsiębiorstwa zmuszane są do nieustającego podnoszenia konkurencyjności swojej produkcji. Krótkie terminy realizacji jak i duża różnorodność zleceń wymagają stosowania coraz bardziej elastycznych systemów produkcji. Elastyczność ta, prócz właściwego zaprojektowania stanowisk pracy, zapewniana jest przez odpowiedni transport wewnętrzny, odpowiedzialny za przemieszczanie się obrabianych produktów w przedsiębiorstwie.

Zatem zadaniem poprawnie zorganizowanego transportu wewnętrznego jest dostarczenie określonych rodzajów i ilości materiałów, półwyrobów lub wyrobów gotowych we właściwym czasie, w odpowiednie miejsca systemu produkcji. Natomiast źle zorganizowany transport wewnętrzny przyczynia się do niskiego stopnia wykorzystania czasu pracy środków transportowych i wysokich kosztów transportu, do nieefektywnego wykorzystania stanowisk technologicznych, a także do powstawania niepotrzebnie wysokich zapasów w każdym z miejsc magazynowania, jak również do wydłużenia czasu realizacji zlecenia i niepełnego wykorzystania zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa.

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania

Z uwagi na to istotnym zagadnieniem dla każdego przedsiębiorstwa jest nieustanna modernizacja, doskonalenie istniejącego systemu transportu wewnątrzzakładowego. Dodatkowo ze względu na rosnącą złożoność i zapotrzebowanie na większą elastyczność współczesnych systemów przepływu materiałów i systemów logistycznych można zauważyć rosnące wykorzystanie *zautomatyzowanych środków transportu i magazynowania*.

Przedsiębiorstwa, a w szczególności te, w których dużą rolę odgrywa przepływ materiałów oraz transport dóbr i ładunków muszą się liczyć z coraz wyższymi kosztami operacyjnymi związanymi z tymi procesami. Coraz większy udział w tych kosztach mają koszty osobowe związane z personelem obsługującym. Powstaje zatem pytanie czy i w jakich warunkach istnieją przesłanki, aby czynności wykonywane przez pracowników zautomatyzować. Faktami, które przemawiają za stosowaniem takich rozwiązań mogą być m.in. [3, 4, 5]:

- automatyzacja przepływu materiałów, lepsze wskaźniki czasowe wykonywanych operacji,
- łatwość implementacji i adaptacji w istniejących obiektach,
- pojazdy lub wózki mogą być skonfigurowane do różnych zastosowań,
- bezpieczeństwo eksploatacji,
- elastyczność i prostota modyfikacji tras wózków,
- programowalność – pojazdy mogą być zaprogramowane do obsługi wielu obszarów.

2. ZAUTOMATYZOWANE SYSTEMY TRANSPORTOWE I MAGAZYNOWE

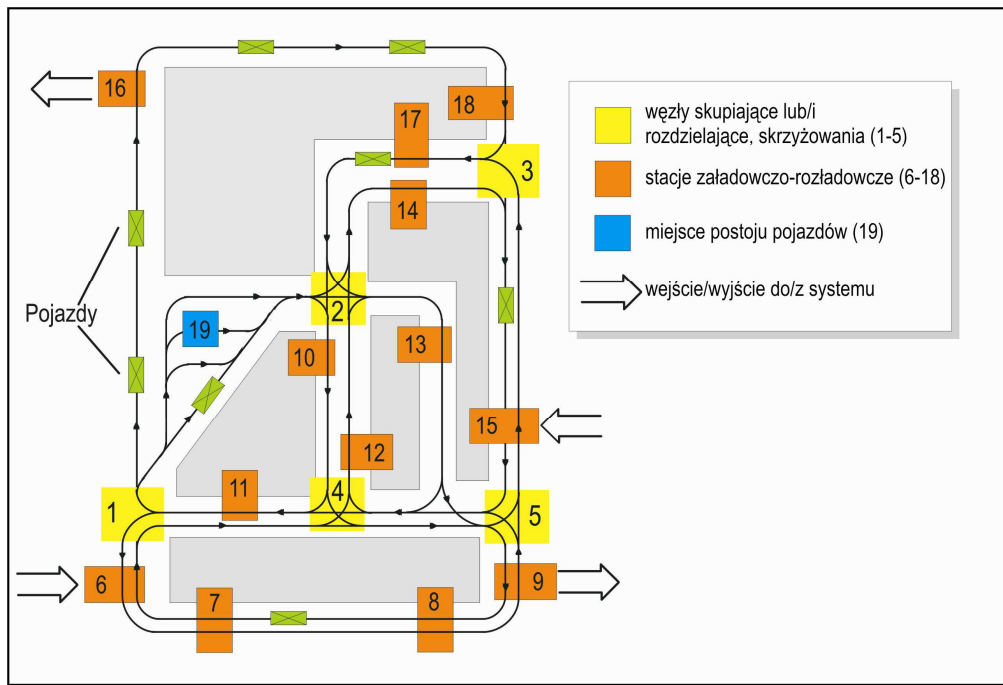
Jak wspomniano wyżej zautomatyzowane systemy transportowe są coraz częściej wykorzystywane. Zadania transportowe w takich systemach mogą być realizowane na przykład przy użyciu pojazdów AGV (ang. *automated guided vehicle*). Rozwiązania takie znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach: np. systemach magazynowych, elastycznych systemach produkcyjnych i transporcie kontenerów w terminalach kontenerowych. W wielu dzisiejszych, nowoczesnych systemach, gdzie mamy do czynienia z przepływem materiałów, rozwiązania bazujące na transporterach typu AGV wybierane są ze względu na przekonanie, że zwiększona zostanie wydajność i elastyczność systemu, a tym samym pozwoli to obniżyć koszty działalności.

Ważnym aspektem na etapie projektowania zautomatyzowanych systemów transportu wewnętrznego jest wybór układu tras. Układ taki określa odległości między poszczególnymi stacjami załadowniczymi i rozładowniczymi, a jego wybór ma w konsekwencji wpływ na wydajność systemu. Układy, w których wykorzystuje się pojazdy typu AGV można podzielić ze względu na rozmieszczenie tras pojazdów między poszczególnymi węzłami transportowymi. W zasadzie można wyróżnić trzy podstawowe klasy takich systemów [3, 9]:

- systemy typu linia (ang. *single line*),
- systemy typu pętla (ang. *single loop*),
- systemy typu siatka (ang. *complex network*).

Systemy typu linia cechuje prostota, jednak niemożliwe jest pełne wykorzystanie potencjału pojazdów AGV. W złożonych systemach typu siatka istnieje problem związany z potencjalnymi konfliktami transportowymi powstającymi w węzłach skupiających, rozdzielających czy skrzyżowaniach. Aby temu zapobiec wymagane jest odpowiednie

sterowanie takim systemem. Stosuje się również podział układów tras ze względu na kierunek przepływu pojazdów na jedno- oraz dwukierunkowy. Aby nie dopuścić do powstawania konfliktów transportowych, często na system narzuca się jednokierunkowy przepływ pojazdów. Przykład złożonego systemu typu siatka wykorzystującego rozwiązania AGV przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Przykład złożonego, zautomatyzowanego systemu transportowego
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1]

Jak widać na powyższym rysunku w złożonych, zautomatyzowanych systemach transportowych można wyróżnić *stacje załadunkowe* i *wyładowcze*, jeden lub więcej *pojazdów AGV*, *ścieżki transportowe* i określoną liczbę miejsc różnego rodzaju *stanowisk obsługi*. Bardzo ważnym elementem jest także system zarządzania transportem umożliwiający sterowanie pojazdami. Zadaniem takiego systemu jest podjęcie decyzji kiedy, gdzie i w jaki sposób pojazdy powinny być rozdysponowane i działać w celu realizacji zadań, w tym także decyzje dotyczące tras, po których będą poruszały.

W przypadku gdy wszystkie zadania są znane przed rozpoczęciem okresu planowania, problem planowania ma charakter statyczny i może być rozwiązany bez znajomości aktualnych stanów systemu. Jednak w praktyce, dokładne informacje na temat miejsc pracy (zadań) pojazdu nie są zwykle znane na etapie projektowania. Zatem, opracowanie harmonogramu w takim trybie jest praktycznie niemożliwe. Plany takie aktualizowane są w sposób dynamiczny i zależą od aktualnej sytuacji w systemie.

Dane wejściowe wykorzystywane w problemach planowania obejmują odległości pomiędzy wierzchołkami sieci, dane dotyczące transportowanych ładunków (ilości i miejsca wydania i dostarczenia, dane czasowe), dane pojazdów (typ, pojemność, prędkość itp.) oraz danych dodatkowych (np. polityka parkowania dostępnych pojazdów, czy zasady zarządzania energią lub zasady remontowania).

Planowanie i analiza zautomatyzowanych systemów transportowych związana jest z całym szeregiem problemów, wśród których można wyróżnić m.in.: problem podziału powierzchni (ang. *facility layout problem*), problem doboru odpowiedniej liczby pojazdów (ang. *fleet sizing problem*) czy problem projektowania ścieżki przepływu (ang. *flow-path design problem*) [7]. Skala i złożoność omawianych wyżej systemów wzrasta ogromnie.

Badanie wpływu układów transportu na inne elementy i składowe systemów z uwzględnieniem ich dynamiki jest praktycznie niemożliwe z wykorzystaniem metod analitycznych. Nakłady inwestycyjne i modernizacja istniejących obiektów często uzależnione są od wydajności systemu transportowego, a oszacowanie ryzyk związanych z jego implementacją bez odpowiednich badań byłoby praktycznie niemożliwe.

3. ŚRODOWISKO SYMULACJI

Skuteczna analiza i planowanie pracy systemów transportu wewnętrznego, wymaga zastosowania odpowiednich rozwiązań i narzędzi. W zależności od skali problemu, jak również od złożoności badanego systemu transportu, badacze zajmujący się powyższą problematyką mają do dyspozycji różne klasy metod: metody analityczne, metody identyfikacji i optymalizacji bazujące na algorytmach badań operacyjnych, a także metody symulacji dyskretnej sterowanej zdarzeniami, która umożliwia analizę dynamicznego zachowania się systemów.

























Metody tej ostatniej klasy wykorzystywane są w nowoczesnych pakietach symulacyjnych, do których należy pakiet DOSIMIS-3[®]. Jest to graficzny, interaktywny pakiet służący do modelowania między innymi systemów transportu wewnętrznego. Dzięki zastosowaniu standardowych modułów jak źródła, spływy, stacje obróbcze, pojazdy, bufory, czy przenośniki użytkownik w stosunkowo prosty sposób może odwzorować elementy systemu transportowego. Dostępne moduły (odwzorowujące stany awaryjne i przerwy w pracy) umożliwiają analizę powstających podczas pracy zatorów, zakłóceń i przerw w przepływie materiałów, analizę ich przyczyn i miejsc. Modelowaniu w DOSIMIS-3[®] mogą podlegać też procesy załadunku i wyładunku materiałów na i z pojazdów transportowych, jak też procesy przeładunkowe i przepakowywania [1, 6].

Systemy i procesy logistyczne mogą zostać poddane analizie za pomocą odpowiednich mechanizmów opisu rzeczywistości, którymi w symulatorach modułowych (przykładem symulatora takiego typu jest pakiet DOSIMIS-3[®]) są:

- elementy statyczne (moduły),
- elementy dynamiczne (obiekty poruszające się w systemie),
- węzły.

Jak wspomniano wyżej podejście modułowe zastosowane w tego typu symulatorach pozwala na odtworzenie elementów statycznych (zasobów) systemów logistycznych takich jak m.in.: bufory, przenośniki rolkowe i przenośniki taśmowe, miejsca pracy, obróbki czy obsługi, zwrotnice (rozjazdy, skrzyżowania).

Obiekty (elementy mogące być w ruchu) opisują ruchome przedmioty takie jak m.in.: półprodukty przeznaczone do obróbki, wózki, pojazdy (w danym przypadku także informacje). Zarówno elementom statycznym modelu jak i obiektom ruchomym można przypisać pewne *atrybuty*. Atrybuty to inaczej cechy lub właściwości, którymi mogą charakteryzować się poszczególne składniki modelowanego systemu. Na rysunku 2 przedstawiono wybrane procesy logistyczne i transportowe i ich odwzorowanie za pomocą standardowych elementów biblioteki wykorzystanego symulatora.

Proces	Odwzorowanie w pakiecie DOSIMIS-3
Przyjęcie, Wydanie	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <small>Zródło</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Splyw</small>   </div> </div>
Komisjonowanie, Kompletacja, Konfekcjonowanie	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <small>Obsługa, Obróbka</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Montaż</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Demontaż</small>   </div> </div>
Transport	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <small>Element rozdzielający</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Element skupiający</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Rozładunek Załadunek</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Skrzyżowanie</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Przeñośnik piętrzenia</small>   </div> <div style="text-align: center;"> <small>Przeñośnik</small>   </div> </div>
Składowanie	<small>Magazyn</small>  

Rys. 2. Odwzorowanie wybranych procesów logistycznych w pakiecie DOSIMIS-3[®]
Źródło: Opracowanie własne

Funkcjonalność budowanych modeli może zostać rozszerzona za pomocą tzw. *tabel decyzyjnych* [6]. W tabelach tych definiuje się warunki oraz opisuje w jakich przypadkach zostaną one wykonane. Tabela zawiera także instrukcje dotyczące tego jak ma się zachować dany element modelu, gdy warunek zostanie spełniony lub nie.

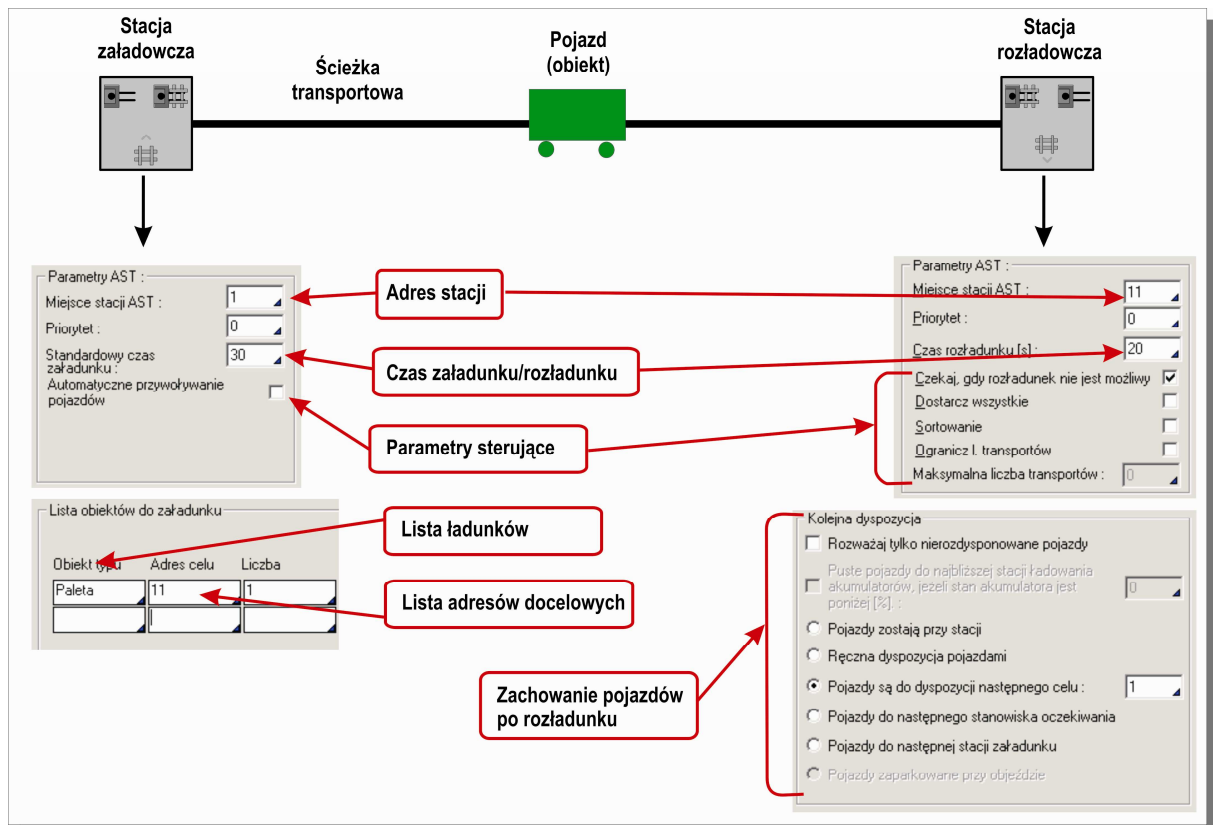
Tabele decyzyjne są bardzo pomocne przy testowaniu złożonych algorytmów sterowania przebiegiem obiektów dynamicznych i przepływów informacji. Tabela są wykorzystywane wtedy gdy nie można zrealizować założonego przepływu obiektów czy zachowania się modelu za pomocą standardowej parametryzacji. W pakiecie dostępna jest także grupa elementów umożliwiających odwzorowanie zautomatyzowanych systemów transportowych. Modułami wykorzystywanymi do odwzorowania systemów transportowych są:

- ścieżka transportowa (ang. *track*),
- stacja załadowcza (ang. *loading station*),
- stacja rozładowcza (ang. *unloading station*),
- stacja obsługi z funkcją transportową (ang. *workstation with transport*),
- moduł sterowania akumulatorem (ang. *battery control module*),
- skrzyżowanie (ang. *crossing*).

Z punktu widzenia logiki symulatora pojazd jest obiektem przepływającym pomiędzy poszczególnymi elementami systemu. Obiekty generowane w ścieżkach transportowych są automatycznie pojazdami mogącymi transportować ładunki. W celu rozróżnienia typów pojazdów należy przypisać odpowiednim obiektom typ – polega to na przypisaniu liczby całkowitej. *Przewożonym ładunkiem* jest obiekt pobierany w stacji załadowczej. *Zlecenie transportowe* opisane jest przez dwa parametry:

- pierwszy określa miejsce, z którego ładunek ma być pobrany – w symulatorze określany także jako cel podstawowy lub pierwszorzędny,
- drugi parametr wskazuje na miejsce dostarczenia ładunku – określany także jako cel drugorzędny.

Wszystkie elementy (czyli wierzchołki sieci transportowej, np. stacje załadowcze, rozładowcze), przez które mogą być kierowane pojazdy, posiadają swój adres, tzw. *adres (miejsce) stacji AST*. Dla tych elementów wprowadza się parametry dotyczące m.in.: czasów załadunku i rozładunku, ilości i typów ładunków (rys. 3).



Rys. 3. Wybrane parametry systemu transportowego
Źródło: Opracowanie własne

W przypadku kiedy jednorazowo należy przewieźć za pomocą wózka więcej niż jeden ładunek można wskazać regułę układania ładunków bazującą na następujących zasadach:

- **FIFO:** kolejność ładowania jest taka sama jak kolejność przybycia ładunku do stacji. Ładunku, który przybędzie do stacji załadowczej jako pierwszy jest ładowany na pojazd w pierwszej kolejności.
- **LIFO:** ładowanie odbywa się w odwrotnej kolejności przybycia ładunku – najpierw załadowany zostanie ostatni ładunek.
- **Najkrótsza droga:** kolejność załadunku odbywa się według odległości od miejsca przeznaczenia ładunków. Zatem ładunek, dla którego cel jest najbliższy do stacji załadunku zostanie załadowany najpierw.

Rozładunek następuje w zdefiniowanej wcześniej dla danego ładunku *stacji rozładowczej*. Operacja ta następuje w określonym przez budującego model czasie (ustalonym bądź losowym). Po zakończeniu rozładunku należy podjąć decyzję w jaki sposób ma być rozdysponowany pusty pojazd. W tej sytuacji pojazd może pozostać w miejscu rozładunku,

może zostać wysłany do węzła z określonym adresem lub konkretnej stacji obsługi bądź miejsca postoju tak aby nie blokować pozostałych pojazdów.

Z punktu widzenia sterowania ruchem pojazdów ważne jest aby mieć możliwość definiowania różnych zasad i polityk dla pojawiających się zleceń transportowych i wykorzystywanych środków transportowych. Głównym zadaniem przy definiowaniu tych zasad jest określenie tras dla pojazdów, przypisanie węzłów początkowych i docelowych, a także możliwość zarządzania zleceniami. Dostępne są następujące zasady sterowania transportem:

- **sterowanie zleceniami transportowymi:**

- First Come First Served – obsługa zleceń zgodnie z ich pojawieniem się na liście,
- najkrótsza ścieżka,
- priorytet węzłów załadunkowych/ rozładunkowych,
- zdefiniowane w tabelach decyzyjnych.

- **sterowanie przypisywaniem pojazdów:**

- First Come First Served – przypisanie pierwszego pojazdu będącego na liście pojazdów wolnych,
- najbliższy pojazd,
- zdefiniowane w tabelach decyzyjnych.

- **strategie zarządzania energią pojazdów.**

Standardowe strategie zarządzania mogą być zastąpione lub uzupełnione regułami zdefiniowanymi (zaprogramowanymi przez użytkownika). Dodatkowo transportem można sterować globalnie lub oddziałując na lokalne trasy i środki transportowe dostępnego systemu.

4. PRZYKŁAD ILUSTRUJĄCY

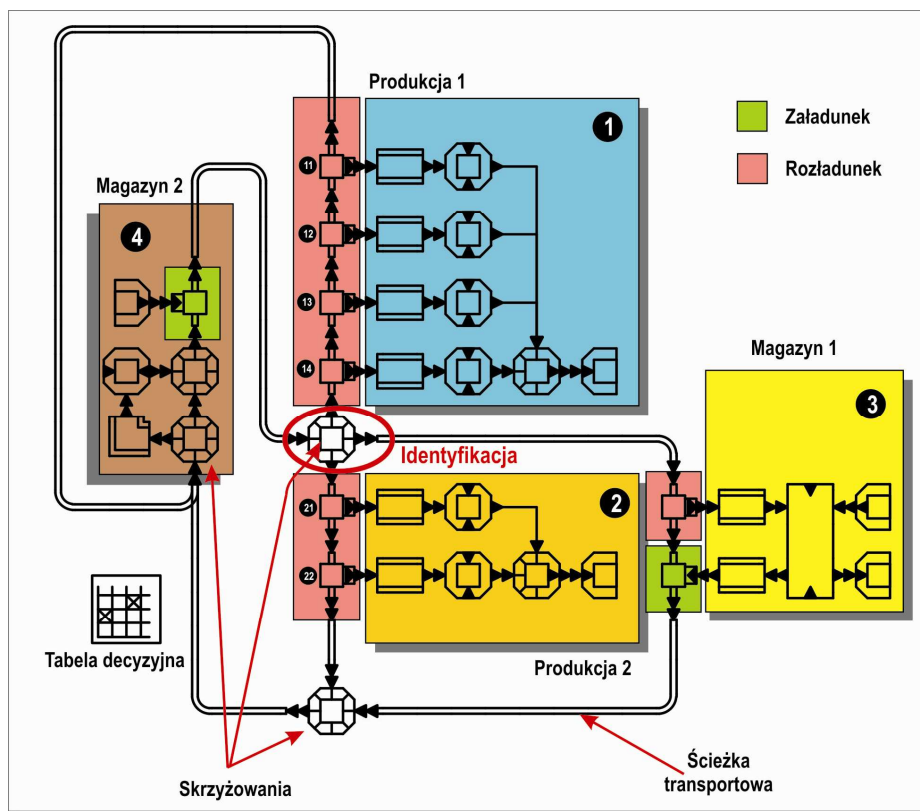
Jako przykład zaprezentowany zostanie model przepływu materiałów złożony z dwóch odrębnych obszarów, w których następują pewne zadania produkcyjno-montażowe (1 i 2) tego samego typu oraz magazynów (3, 4), z których pobierane są komponenty potrzebne do realizacji procesów produkcyjnych.

Obszary produkcyjne różnią się między sobą ilością stanowisk, na których realizowane są zadania produkcyjno-montażowe. Dwa typy komponentów (oznaczone jako 1 oraz 2) wykorzystywanych do przeprowadzanych operacji dostarczane są do analizowanego systemu w losowych momentach czasu (jest to realizowane w elementach typu źródło, w których zdefiniowane są parametry generowania komponentów do produkcji). Transport pomiędzy poszczególnymi strefami odbywa się za pomocą wózków samojezdnych AGV.

Po pobraniu ładunku w stacji załadunkowej pojazd AGV powinien dotrzeć do punktu identyfikacyjnego. W tym momencie podejmowane są dwie ważne decyzje dotyczące dalszej trasy pojazdu:

- wybór strefy produkcyjno-montażowej (w zależności od rodzaju ładunku będzie to strefa 1 lub 2),
- wybór stanowiska z najmniejszym obciążeniem.

Schemat modelu został pokazany na rys. 4.



Rys. 4 Model AGV zrealizowany w pakiecie DOSIMIS-3[®]
 Źródło: Opracowanie własne

Wybór konkretnej strefy zależy od rodzaju przewożonego ładunku natomiast na wybór stanowiska wpływa aktualne obciążenie poszczególnych stanowisk produkcyjnych i buforów przed tymi stanowiskami. Aby zrealizować powyższe zasady sterowania przepływem transportu należy wykorzystać dostępny mechanizm tabel decyzyjnych. Mechanizm ten pełni rolę procedur lub funkcji wykorzystywanych w tradycyjnych językach programowania.

Po dotarciu przez załadowany pojazd do punktu identyfikacyjnego generowane jest zdarzenie aktywujące tabelę decyzyjną przedstawioną na rys. 5.

Warunki					
1	<code>opuszcza(akt_el) = 1</code> // pojazd dociera do skrzyżowania // identyfikacja	T	T	T	N
2	<code>akt_el.e_lad.typ = 1</code> // ładunek typu 1	T	N	N	-
3	<code>akt_el.e_lad.typ = 2</code> // ładunek typu 2	-	T	N	-
Akcje					
1	<code>zm_el(elem) := element(67).el przy wy(1)</code>	X			
2	<code>zm_el(elem) := element(67).el przy wy(2)</code>		X		
3	<code>globalna_td(rozładunek_id).uruchom</code>	X	X		
4	<code>akt_el.e_obj.typ := zm sieciowa(rozładunek_id)</code>	X	X		
5					

Rys. 5 Tabela decyzyjna aktywowana zdarzeniem przybycia do skrzyżowania „identyfikacja”
 Źródło: Opracowanie własne

Warunek `opuszcza(akt_el)=1` sprawdza, czy zaszło zdarzenie przybycia do węzła identyfikacyjnego. Zmienna `akt_el` odnosi się do elementu aktywującego, którym jest ścieżka transportowa przed skrzyżowaniem. Kolejne warunki wprowadzono w celu identyfikacji rodzaju ładunków. Wyrażenie `akt_el.e_lad.typ = 1` sprawdza, czy ładunek przewożony przez aktualny pojazd jest typu 1. Podobne znaczenie ma warunek 3.

Informacja dotycząca wyboru strefy produkcji jest przechowywana w zmiennej elementu *elem*. W zmiennych tego typu mogą być przekazywane referencje do składowych modelu. W rozpatrywanym przypadku wybór następuje pomiędzy elementami przy wyjściach skrzyżowania identyfikacyjnego (w modelu jest to element o numerze 67).

Kolejnym krokiem jest ustalenie, które stanowisko ma być dla pojazdu docelowym. W przypadku wyboru strefy 1 mogą to być stanowiska 11, 12, 13, 14, natomiast dla strefy 2 stanowiska 21 oraz 22. Wykorzystana do tego może być tzw. globalna tabela decyzyjna – w omawianym przykładzie nazwana *rozładunek_id*. Zadaniem tej tabeli jest odnalezienie stanowiska z minimalnym obłożeniem i przekazanie informacji o adresie stacji rozładawczej do punktu identyfikacji, gdzie pojazd otrzyma nowy adres stacji rozładawczej (rys. 6).

Warunki początkowe		
1	i:=0	1
2		
Warunki		
1	l = 1	T
2		
Akcje		
1	zm_sieciowa(min_akt_zaj) := 99999999	X
2	for(i:=0; zm_el(elem).liczba_wy>1; zm_el(elem):=zm_el(elem).el_przy_wy[1]) subtabela(ustaw_min).uruchom	X
3	zm_sieciowa(rozładunek_id) := zm_el(elem_min).adr_celu	X
4		

Rys. 6 Tabela decyzyjna aktywowana zdarzeniem przybycia do skrzyżowania „identyfikacja”

Źródło: Opracowanie własne

Warunek $l=1$ będzie zawsze spełniony, natomiast zmienna globalna *min_akt_zaj* przechowuje informacje o wartości zajętości aktualnie sprawdzanej stacji. Kontrola zajętości odbywa się w subtabeli (będącej odpowiednikiem podprogramów) *ustaw_min*. Jeśli aktualna zajętość testowanego stanowiska (bufora) jest mniejsza niż dotychczas odnaleziona (wartość przechowywana w zmiennej *min_akt_zaj*), aktualizowana jest wartość zmiennej *min_akt_zaj* (akcja 1) i ustawiana jest zmienna elementu o minimalnej zajętości (akcja 2). Kod tabeli decyzyjnej zwracającej element o najmniejszej zajętości jest następujący:

Warunki początkowe		
1		1
Warunki		
1	zm_sieciowa(min_akt_zaj) > zm_el(elem).el_przy_wy[2].akt_zaj	T
2		
Akcje		
1	zm_sieciowa(min_akt_zaj) := zm_el(elem).el_przy_wy[2].akt_zaj	X
2	zm_el(elem_min) := zm_el(elem)	X
3		

Rys. 7 Tabela decyzyjna wyszukująca element o najmniejszej zajętości

Źródło: Opracowanie własne

Powyższy przykład pokazuje, jak efektywnie wykorzystać mechanizm tabel decyzyjnych w modelowaniu niestandardowych reguł przepływu obiektów w systemie. Dla tak zbudowanego modelu przeprowadzono eksperyment symulacyjny uwzględniający wykorzystanie trzech pojazdów typu wózek AGV.

Do przeglądu wyników symulacji można wykorzystać szereg statystyk generowanych i kolekcjonowanych podczas symulacji, a umożliwiających ocenę badanego systemu transportowego. Oprócz danych dotyczących obciążenia ścieżek transportowych (wykresy zajętości bezwzględnej i procentowej) istnieje możliwość indywidualnej oceny pracy poszczególnych pojazdów. Dla każdego wózka zapisywane są statystyki dotyczące realizacji

zleceń transportowych oraz czasów transportów. Istnieje zasadnicza różnica między czasami realizacji zlecenia transportowego oraz czasem transportu. Pierwszy z parametrów jest liczony od momentu pojawienia się zlecenia na liście zleceń (co nie jest jednoznaczne z automatycznym przydzieleniem pojazdu) do momentu kiedy z tej listy zostanie zwolnione (a następuje to w momencie zakończenia transportu). Czas transportu rejestrowany jest od momentu przypisania zlecenia transportowego do pojazdu i kończy się w momencie kiedy pojazd zgłasza swój stan jako *wolny* (czyli po zdaniu ładunku w stacji rozładowczej).

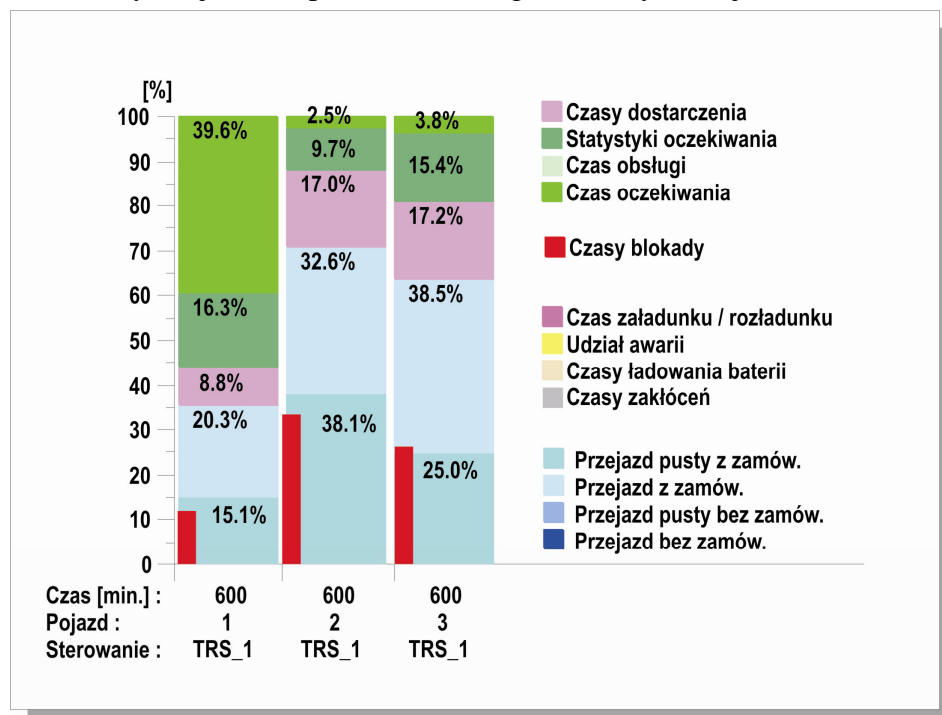
W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wymienionych wyżej parametrów dla przeprowadzonej symulacji.

Tab. 1 Wyniki symulacji – dane statystyczne dotyczące zrealizowanych zleceń transportowych

Nr pojazdu	Liczba zleceń transportowych	Liczba przewiezionych ładunków	Śr. czas realizacji zlecenia [min.]	Min. czas realizacji zlecenia [min.]	Maks. czas realizacji zlecenia [min.]	Śr. czas transportu [min.]	Min. czas transportu [min.]	Maks. czas transportu [min.]
1	47	47	10,17	3,77	45,69	8,86	3,77	37,41
2	153	153	5,10	1,67	39,93	3,80	1,63	38,06
3	156	156	4,74	1,37	40,5	3,74	1,37	40,12

Źródło: Opracowanie własne

W ocenie badanego systemu bardzo przydatne są także zestawienia graficzne umożliwiające szczegółowe zbadanie wykorzystania poszczególnych środków transportu. Na rys. 8 przedstawiono diagram przedstawiający wykorzystanie poszczególnych pojazdów z uwzględnieniem sytuacji, która panowała w 10 godzinie symulacji.



Rys. 8 Analiza wykorzystania pojazdów dla badanego systemu transportowego

Źródło: Opracowanie własne

Jak widać dostępne są informacje dotyczące udziału czasów poszczególnych stanów, w których mogą znajdować się rozpatrywane pojazdy.

5. PODSUMOWANIE

Omawiane w artykule systemy transportowe zyskują coraz bardziej na znaczeniu, a biorąc pod uwagę ich złożoność i wpływ na jakość pracy pozostałych systemów (np. produkcyjnych, dystrybucyjnych) do ich analizy należy wykorzystywać odpowiednie instrumenty. Wśród nich, z pewnością jedną z wiodących ról odgrywają metody symulacji sterowanej zdarzeniami dyskretnymi.

Za pomocą opisanych powyżej narzędzi symulacyjnych i technik tabel decyzyjnych istnieje możliwość wykonania praktycznie dowolnej analizy zachowania zautomatyzowanych systemów transportowych, czy modelowania algorytmów sterowania pojazdami w takich systemach. Dalsze analizy rozszerzone zostaną o badania wpływu sposobu zarządzania zasilaniem wózków transportowych oraz sytuacji awaryjnych (deterministycznych i losowych) na wydajność zarówno procesów transportowych jak i całego systemu.

LITERATURA

- [1] Arnold D., Furmans K.: *Materialfluss in Logistiksystemen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- [2] Fijałkowski J.: *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [3] Groover M. P.: *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 2nd edition, Prentice-Hall, New Jersey 2001.
- [4] Gudehus T., Kotzab H.: *Comprehensive Logistics*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
- [5] Heinrich M.: *Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*, 6., vollst. überarb. Aufl. 2006.
- [6] Karkula M.: *Application of decision tables in discrete event simulation models* in Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej (5), Oficyna Wydawnicza TEXT, Kraków 2008, pp. 252–260.
- [7] Qiu L., Hsu W.-J., Huang S.-Y., Wang H.: *Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey* in International Journal of Production Research, vol. 40, Issue 3 February 2002, pp. 745–760.
- [8] Schmidt F.: *Komplexe Fahrerlose Transportsysteme*, Verlag TUV Rheinland, 1989.
- [9] Tyński A.: *Zagadnienia szeregowania zadań z uwzględnieniem transportu: Modele, własności i algorytmy*, Raporty Inst. Inform. Autom. Robot. Pol. Wroc. 2007, Ser. PRE, nr 32 – Rozprawa doktorska, 2006, DN I06/2006/P-032.

SELECTED ASPECTS OF SIMULATION MODELING OF INTERNAL AUTOMATED TRANSPORT SYSTEMS

Abstract

The article describes some aspects of simulation modeling of internal transport systems with particular emphasis on automated transport systems. Examples of modeling of selected elements of the transport system implemented in a simulation environment DOSIMIS-3 are presented.

Keywords: modeling, simulation, internal transport system, material flow