

Mirosław ŚMIESZEK  
Politechnika Rzeszowska  
Wydział Zarządzania  
Katedra Metod Ilościowych  
msmieszek@prz.edu.pl

## WYKORZYSTANIE ŚRODKÓW AUTOMATYCZNEGO TRANSPORTU W LOGISTYCE

**Streszczenie.** Czynniki ekonomiczne, jak i ludzkie wymusiły zmiany w transporcie wewnętrznym. Zaczęto wykorzystywać w nim automatyczne pojazdy transportowe. Obszar zastosowania tych pojazdów ciągle się powiększa i w chwili obecnej wykracza poza ich pierwotne przemysłowe zastosowania. Do tej ekspansji przyczynia się wzrost kosztów pracy ludzkiej i postęp w technice. W artykule opisano przykłady zastosowań tych pojazdów oraz zaprezentowano symulację kosztów, mającą za zadanie ukazanie opłacalności ekonomicznej płynącej z wdrożenia tego typu rozwiązań.

**Słowa kluczowe:** logistyka, automatyczne pojazdy transportowe, zwrot z inwestycji, przepływ produktów

## THE APPLICATION OF AUTOMATED GUIDED VEHICLES IN LOGISTICS

**Abstract.** Both economic and human factors enhanced the need for the application of automated guided vehicles (AGV). The scope of their use is growing each year and it is expanding their original industrial applications. Progress in technology and a growth in the cost of human labor contributed to this expansion. In this paper the main areas of applications of this kind of vehicles were presented and the simplified calculations for the economic efficiency of this type of transport were discussed.

**Keywords:** logistics, automated guided vehicles (AGV), return of investment, product flow

## 1. Wprowadzenie

Rozwój gospodarki i wzrost konkurencyjności wymusiły zastosowanie bardziej efektywnych metod zarządzania produkcją i logistyką<sup>1</sup>. Istotnym obszarem działań związanych z logistyką jest kształtowanie strumieni przepływu materiałów oraz ich fizyczna realizacja, w ramach której wykorzystuje się odpowiednie środki transportu. Znaczącym elementem związanym z produkcją i dystrybucją są koszty wynikające z realizacji procesów transportowych. Na ich wielkość ma wpływ wiele czynników, do których zaliczyć można sposób organizacji systemu transportowego, rodzaj wykorzystywanych środków transportu i stopień ich automatyzacji. Pierwsze próby automatyzacji procesów transportowych z użyciem automatycznych pojazdów miały miejsce w USA w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Celem wprowadzenia tych działań była potrzeba obniżenia kosztów funkcjonowania systemu transportowego oraz zapewnienie większej elastyczności systemu transportowego. W roku 1954 w fabryce Mercury Motor Freight w mieście Columbia w stanie Południowa Karolina<sup>2</sup> uruchomiono automatyczny system transportowy zapewniający znaczną elastyczność i opierający się w głównej mierze na nowych środkach transportu, jakimi były automatycznie kierowane pojazdy transportowe AGV (Automated Guided Vehicle). Przełom lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku to pewien regres w rozwoju i przemysłowych aplikacjach tego systemu transportowego w USA. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku, za sprawą firm europejskich wykorzystujących najnowsze osiągnięcia techniki komputerowej, nastąpił dalszy rozwój tych systemów. Wiodącym, modelowym rozwiązaniem był nowy zakład montażowy pojazdów firmy Volvo w miejscowości Kalmar w Szwecji<sup>3</sup>. Zakład ten uruchomiono w 1973 roku. Zrezygnowano w nim ze sztywnej linii montażowej, a do transportu nadwozi samochodów w montażu końcowym wykorzystano samojezdne platformy. Wprowadzono również nową organizację pracy zespołowej. Sukces tego rozwiązania był impulsem do dalszych prac rozwojowych w tym kierunku. Nowatorskie osiągnięcia firm europejskich zostały dostrzeżone również w USA. W latach osiemdziesiątych XX wieku w zakładach John Deere w Waterloo w stanie Iowa zastosowano automatyczny system transportowy pomiędzy magazynami a wydziałami produkcyjnymi. Kolejnym znaczącym krokiem w rozwoju tego typu środków transportu było zastosowanie ich przez firmę General Motors i Chrysler<sup>4</sup>. W chwili obecnej korzystanie z tego typu pojazdów jest dość powszechne i wykracza<sup>5</sup> w znacznym stopniu poza sferę produkcyjną. Mieści się jednak

---

<sup>1</sup> Bendkowski J., Matusek M.: *Logistyka Produkcji, Praktyczne Aspekty, Część I Planowanie i sterowanie produkcją*. Politechnika Śląska, Gliwice 2013.

<sup>2</sup> Hammond G.C.: *Evolutionary AGVS – from concept to present reality*. Proceeding of 6<sup>th</sup> Int. Conf. Automated Guided System, Holier R. (ed.), Brussels, Belgium, 25-26 October 1987, IFS Publications Ltd, Kempston, UK.

<sup>3</sup> <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.

<sup>4</sup> [http://www.putmanmedia.com/assets/PS1304\\_MaterialsHandling.pdf](http://www.putmanmedia.com/assets/PS1304_MaterialsHandling.pdf), 20.08.2016.

<sup>5</sup> Dobrzański P., Śmieszek M., Dobrzańska M.: *Nowoczesne systemy transportowe w logistyce szpitalnej*. Instytut Logistyki i Magazynowania w Poznaniu, „Logistyka”, z. 6, 2014, s. 3148-3156.

w szeroko pojętym obszarze logistyki. W artykule przedstawiono rodzaje pojazdów AGV, przykłady ich zastosowania w różnych gałęziach gospodarki oraz uproszczoną analizę ekonomiczną mającą na celu wykazanie opłacalności korzystania z tego typu pojazdów. Skupiono się na pojazdach używanych w zakładach produkcyjnych i wielkich magazynach dystrybucyjnych.

## 2. Rodzaje pojazdów wykorzystywanych w transporcie automatycznym

Dynamiczny rozwój automatycznych pojazdów transportowych w ostatnich latach pozwolił poszerzyć ich zastosowanie. Obecnie są one wykorzystywane w wielu dziedzinach związanych z działalnością człowieka. Wśród całego zbioru autonomicznych pojazdów transportowych wyróżnić można następujące typy pojazdów:

- holownicze (*tow type*) – do holowania wózków oraz przyczep o masie od 4 do 25 ton. Wymiary AGV zależą od dozwolonej pojemności i przestrzeni pracy oraz od przeznaczenia;
- nośniki ładunków (*unit load type*) – do transportu w poziomie na platformie różnych elementów, np.: palet, zwojów, skrzyń;
- widłowe (*fork type*) – wykorzystywane do transportu ładunków w poziomie, jak i w pionie;
- biurowe (*office type*) – do przenoszenia małych elementów o masie poniżej 250 kg i małych wymiarach. Pracują w jasnych i czystych pomieszczeniach i są używane np.: do rozwożenia poczty w biurach;
- ciężkiego przeznaczenia (*heavy carrier type*) – do transportu elementów o bardzo dużych wymiarach i dużej masie, np.: sztab metalu, kręgów oraz matryc o masie powyżej 100 ton.

Prócz wyżej wymienionych pojazdów istnieje szereg specjalistycznych konstrukcji jak np. nośniki kontenerów w portach morskich i wielkich składach magazynowych.

Innym kryterium podziału pojazdów AGV jest sposób nawigacji. Każdy z pojazdów wykorzystuje do nawigacji co najmniej dwa systemy. Pierwszy system bazuje na odometrii – nawigacji zliczeniowej. Nawigacja ta jest prosta i nie wymaga specjalnego oprzyrządowania. Ma jednak pewną niedoskonałość w postaci sumowania się błędów przy wyznaczaniu kolejnych pozycji pojazdu. Błędy te wymagają ciągłej korekcji. Do tego celu wykorzystuje się dodatkowe systemy nawigacji<sup>6</sup>. Ze względu na rodzaj dodatkowego systemu nawigacji stosuje się również podział pojazdów na pojazdy AGV wykorzystujące:

---

<sup>6</sup> Śmieszek M., Dobrzańska M.: Nawigacja automatycznych pojazdów transportu wewnętrznego. Zeszyty Naukowe, Wydanie Specjalne. Podkarpacka Szkoła Wyższa, Jasło 2009, s. 137-147; Śmieszek M., Dobrzańska M., Dobrzański P.: Laser navigation applications for automated guided vehicles. „Measurement Automation Monitoring”, Vol. 61, No. 11, 2015, p. 503-506.

- metodę pętli indukcyjnej,
- metodę linii optycznej,
- metodę pętli magnetycznej,
- metodę nawigacji laserowej,
- metodę żyroskopową,
- metodę ultradźwiękową
- metodę GPS.

Pojazdy AGV wykorzystujące metodę pętli indukcyjnej stosowane są od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku w zakładach przemysłowych o powtarzalnych, niezmiennych w czasie trasach przewozowych. Trasę pojazdu wyznacza przewód elektryczny umieszczony w wyżłobionym w posadzce rowku. Kabel zasilany jest prądem zmiennym o wysokiej częstotliwości. W pojeździe znajduje się antena odbiorcza z dwoma cewkami, w których indukują się prądy na skutek oddziaływania zmiennego pola magnetycznego. Każde odchylenie kabla od pozycji środkowej będzie powodować powstawanie różnicy napięć prądów indukowanych w cewkach, co z kolei wywoływać będzie odpowiednią reakcję układu kierującego, zmierzającą do wyrównania napięć. Wśród zalet tego typów pojazdów należy wymienić dużą dokładność, niskie koszty systemu oraz możliwość stosowania na otwartej oraz zamkniętej przestrzeni. Natomiast wadą jest sztywna konfiguracja układu transportowego ograniczająca elastyczność systemu transportowego.

Zasada działania AGV wykorzystujących optyczny system nawigacji jest podobna do zasady działania AGV z systemem indukcyjnym. Do podłogi przyklejona jest samoprzylepna taśma odblaskowa o dużej odporności na ścieranie i dużej wytrzymałości. Pojazd wyposażony został w dwa czujniki optyczne – fotokomórki mierzące natężenie odbitego światła. Różnica w oświetleniu poszczególnych fotokomórek powoduje powstanie sygnału sterującego układem kierującym. W niektórych rozwiązaniach zamiast dwóch fotokomórek może być użyta kamera telewizyjna lub kamera CCD. Przy sterowaniu optycznym możliwe jest umieszczanie na linii prowadzącej lub obok niej dodatkowych znaków nakazujących zmniejszenie prędkości lub wskazujących miejsce zatrzymania. Do zalet tego typu AGV należy zaliczyć przede wszystkim łatwość modyfikowania trasy. Natomiast wśród wad należy wymienić dużą czułość na zabrudzenia oraz brak możliwości wykorzystania tego typu AGV na zewnątrz budynków.

Kolejnym typem AGV są pojazdy wykorzystujące metodę pętli magnetycznej. Zasada działania tego typu pojazdów jest podobna, jak w dwóch wcześniej omówionych przypadkach. W tym systemie trasę pojazdu wyznacza taśma magnetyczna przyklejona do posadzki. Pojazd wyposażony jest w czujniki pola magnetycznego i podąża wzdłuż taśmy do zadanego punktu docelowego. Z boku taśmy, tak jak w przypadku metody optycznej, wzdłuż pokonywanej trasy mogą być umieszczone dodatkowe znaczniki pozwalające na wyznaczenie przez pokładowy komputer bieżącej pozycji wzdłuż pokonywanej trasy. Zaletami tego typu AGV są przede

wszystkim prosta i tania instalacja oraz możliwość szybkiej modyfikacji trasy. Natomiast do wad należy zaliczyć ograniczenie ich zastosowania tylko do wnętrza budynków, małą wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne oraz dużą czułość na obecność innych ferromagnetyków.

AGV wykorzystujące system nawigacji ultradźwiękowej wyposażone są w zespół czujników ultradźwiękowych. Działają one na zasadzie pomiaru echa sygnału ultradźwiękowego i zapewniają pomiar odległości oraz sygnalizację zbliżeniową. Odległość od obiektu będącego obiektem pomiaru jest ustalana na zasadzie pomiaru czasu powrotu sygnału ultradźwiękowego, odbitego od powierzchni obiektu. Jednym z podstawowych ograniczeń zastosowania czujników ultradźwiękowych są zakłócenia, wielokrotne odbicia i długi czas ustalania odpowiedzi. Wynik pomiaru odległości dodatkowo uzależniony jest w znacznym stopniu od prędkości rozchodzenia się fali dźwiękowej. Na jej wartość wpływ mają ciśnienie, wilgotność i temperatura. Wymienione ograniczenia powodują coraz rzadsze stosowanie w nawigacji przemysłowych automatycznie kierowanych pojazdów transportowych dalmierzy ultradźwiękowych. Ich miejsce zastępują coraz powszechniejsze i tańsze dalmierze laserowe.

W najczęściej spotykanych przemysłowych aplikacjach system nawigacji laserowej bazuje na metodzie triangulacyjnej<sup>7</sup>. Pojazd ma odpowiednią głowicę obracającą się wokół swojej pionowej osi. W celu zapewnienia maksymalnej „widoczności” głowica ta umieszczana jest bardzo często na specjalnym maszcie zamocowanym do pojazdu. Wewnątrz głowicy znajduje się laser, który swoją wiązką światła, poprzez obracające się lustro z głowicą, omiata dookoła otaczającą go przestrzeń. Gdy promień pada na odbłyśnik, wiązka ulega odbiciu i wraca do głowicy. W głowicy znajduje się sensor reagujący na odbitą wiązkę. Pozycja katowa głowicy, przy której promień odbity wraca do głowicy, jest zapamiętywana i służy do dalszych obliczeń, mających na celu wyznaczenie pozycji. Aby pozycja wyznaczona była w miarę dokładnie, laser musi oświetlać co najmniej trzy punkty odbłaskowe. W normalnych warunkach należy dążyć do tego, aby w polu widzenia lasera znajdowało się 5 odbłyśników. Pozycje wszystkich odbłyśników znajdujących się w danym obszarze roboczym zapisane są w pamięci komputera. W trakcie ruchu pojazdu w każdym taktie obliczeniowym parametry ruchu i wstępna pozycja wyznaczana jest za pomocą nawigacji zliczeniowej. Aktualizacja tej pozycji przeprowadzana jest od 10 do 20 razy na sekundę. Przy maksymalnej prędkości ruchu wynoszącej około 1 m/s pozycja pojazdu jest aktualizowana, co 0,05-0,1 m przebytej drogi. Ponieważ wszystkie obliczenia muszą być przeprowadzane w czasie rzeczywistym, pokładowy komputer musi z kolei charakteryzować się odpowiednio dużą mocą obliczeniową. W innych rozwiązaniach wykorzystuje się namiary względem charakterystycznych punktów lub powierzchni. Przykładem może być jazda wzdłuż ściany z otworami drzwiowymi lub innymi krawędziami pionowymi. W płaskim dwuwymiarowym układzie współrzędnych podążanie wzdłuż ściany

<sup>7</sup> Śmieszek M., Dobrzańska M., Dobrzański P.: Laser...

w zadanej odległości umożliwia korektę jednej współrzędnej, natomiast namiary na charakterystyczne krawędzie (otwory drzwiowe, uskoki ściany) pozwalają na korektę drugiej współrzędnej. W bardziej zaawansowanych systemach laser wykorzystywany jest do skanowania otoczenia zarówno w płaszczyźnie, jak i przestrzeni. Na podstawie tych pomiarów buduje się lokalne mapy pomiarowe. W odpowiednich odstępach czasu, związanych z procesem obliczeniowym i pomiarowym, określa się przesunięcie i obrót mapy lokalnej względem mapy zapisanej w pamięci komputera, która odwzorowuje przestrzeń roboczą. Na podstawie tak określonego przesunięcia i obrotu określa się nową pozycję pojazdu i porównuje z pozycją uzyskaną za pomocą nawigacji zliczeniowej. Do podstawowych zalet pojazdów wykorzystujących nawigację laserową zaliczyć można odporność na warunki atmosferyczne, możliwość pracy w środowisku wewnętrznym i zewnętrznym, dużą dokładność, łatwość modyfikacji trasy. Natomiast do wad należy konieczność montowania odbłyśników w miejscach widocznych dla pojazdu.

System nawigacji giroskopowej wykorzystywany jest do pomiaru kąta obrotu oraz prędkości kątowej automatycznie kierowanego pojazdu względem przyjętej osi obrotu. Pomiar kąta obrotu pojazdu zrealizowany zostaje przy wykorzystaniu giroskopów mechanicznych oraz elektronicznych kompasów. Natomiast pomiar prędkości kątowej obrotu pojazdu może być realizowany za pomocą giroskopów mechanicznych lub optycznych. Giroskopy optyczne w odróżnieniu od mechanicznych charakteryzuje mała wrażliwość na przyspieszenia, stałość parametrów po kolejnych włączeniach oraz brak czasu rozruchu. Z tego względu w zastosowaniach nawigacyjnych stopniowo wypierają one giroskopy mechaniczne. Do zalet AGV wykorzystujących tę metodę należy zaliczyć dobre pozycjonowanie. Natomiast wadą są wysokie koszty tego typu rozwiązań.

Pojazdy AGV wykorzystujące system nawigacji satelitarnej mają zastosowanie przede wszystkim na terenach otwartych, bez wysokiej zabudowy. Najczęściej spotkać można je w bazach przeładunkowych kontenerów i na nabrzeżach portów morskich. Wdrożenie systemu nawigacji satelitarnej jest stosunkowo proste. W celu zwiększenia dokładności wykorzystuje się dodatkowe stacje referencyjne.

### **3. Przykłady zastosowań pojazdów**

Systemy automatycznego transportu wykorzystywane są powszechnie w krajach o wysokich kosztach pracy. Głównym celem ich stosowania jest redukcja kosztów działalności gospodarczej. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wykorzystanie tych systemów jest konieczność eliminowania niebezpiecznej, ciężkiej i monotonnej pracy ludzkiej. W chwili obecnej zdecydowana większość tego typu pojazdów używana jest do prac transportowych

wewnątrz fabryk, magazynów, budynków biurowych i na zamkniętych obszarach. Niektóre automatyczne pojazdy transportowe wyposażone w dodatkowy osprzęt mogą wykonywać szereg nieraz bardzo skomplikowanych czynności, takich jak: rozpoznawanie terenu, rozbijanie ładunków wybuchowych lub manipulowanie przewożonym ładunkiem. W zależności od warunków pracy i obszaru zastosowań mogą to być: w zastosowaniach przemysłowych – pojazdy holownicze, automatyczne wózki widłowe, automatyczne platformy do przewozu ładunków, automatyczne platformy montażowe; w medycynie i ochronie zdrowia – automatyczne pielęgniarki, samojezdne wózki inwalidzkie, pojazdy transportowe; w obronności – pojazdy patrolowe, pojazdy do rozbijania ładunków wybuchowych, pojazdy bojowe wyposażone w odpowiednie uzbrojenie.

Dla pełniejszego zobrazowania możliwości i korzyści wynikających z używania tych pojazdów omówiono trzy różne przykłady ich zastosowania. Obejmują one takie obszary zastosowań, jak: ochrona zdrowia, gospodarka magazynowa, przemysł.

Przykładem wykorzystania pojazdów AGV w ochronie zdrowia jest szpital St. Olavs w norweskim Trondheim<sup>8</sup>. Szpital ma ponad 200 000 m<sup>2</sup> powierzchni i składa się z 9 budynków połączonych ze sobą za pomocą tuneli. Podczas projektowania szpitala określono warunki wstępne, które obejmowały m.in. wprowadzenie efektywnych systemów logistycznych. Jednym z takich systemów jest system zautomatyzowanego transportu, wykorzystujący pojazdy AGV i przeznaczony do przemieszczania żywności i dóbr konsumpcyjnych. System funkcjonuje w szpitalu od 2005 roku. Pojazdy poruszają się po trasach o łącznej długości 4500 m. Liczba stacji wysyłających wynosi 49, natomiast odbierających 46. Stacji kombinowanych jest 114. W skład systemu wchodzi 21 pojazdów. System ten odgrywa znaczącą rolę w logistyce szpitala. Większość towarów konsumpcyjnych, pościel i ubrania pochodzi z magazynów zewnętrznych i dostarczana jest na rampę szpitala St. Olavs w specjalnych kontenerach przystosowanych do transportu za pomocą AGV. Pojazdy AGV są w stanie przewozić kontenery z ładunkiem o całkowitej masie 500 kg wzdłuż zaprogramowanych tras, według określonego harmonogramu. AGV poruszają się pomiędzy kondygnacjami budynku za pomocą wind. Komunikacja pomiędzy windą a AGV odbywa się za pomocą łączności bezprzewodowej. Pojazdy AGV wyposażone są w system nawigacji laserowej umożliwiający zidentyfikowanie przeszkód i skanowanie konturów trasy.

Pojazdy AGV są również bardzo szeroko stosowane w gospodarce magazynowej. Przykładem jest firma Bring Logistics<sup>9</sup> posiadająca centrum magazynowe na obrzeżach Oslo. Pojazdy AGV zostały użyte w magazynie z tego względu, że doskonale nadają się do szybkiego przemieszczania palet w ciasnych przestrzeniach. Tak więc głównym kryterium wyboru systemu AGV była jego zdolność do bezpiecznego, precyzyjnego i wydajnego przepływu palet

<sup>8</sup> <http://www.swisslog.com>, 20.08.2016.

<sup>9</sup> <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.

w bardzo wąskich korytarzach. Centrum magazynowe firmy Bring Logistics pracuje 5 dni w tygodniu na dwie zmiany. Ma 81 200 miejsc paletowych, a wysokość składowania wynosi 10,65 m. W centrum zastosowano siedem pojazdów AGV, które podnoszą i odkładają ładunki na przenośnik taśmowy przenoszący je poza obszar regałów. AGV pracują w korytarzach o szerokości 1,8 m i mogą przyjmować obciążenia do 1000 kg (750 kg na wysokości 10,65 m). Pojazdy wyposażone są w systemy nawigacji laserowej i indukcyjnej. Nawigacja laserowa wykorzystywana jest w głównych korytarzach, natomiast indukcyjna w wąskich. Zastosowanie AGV pozwoliło na zredukowanie oświetlenia korytarzy, a tym samym zmniejszenie zużycia energii. Obniżone zostało również ryzyko uszkodzenia palet, towarów, stojaków i pojazdów samochodowych. Ponadto podniesiono bezpieczeństwo pracy personelu poprzez ograniczenie ryzyka zaistnienia wypadków.

Kolejny obszar zastosowania AGV to przemysł. Przykładem wykorzystania pojazdów AGV jest fabryka opon<sup>10</sup> w miejscowości Morrison (USA). Pracuje ona 24 godziny na dobę przez 7 dni w tygodniu. W fabryce pracuje 9 pojazdów. Działają ona na drugim piętrze zakładu, a ich zadaniem jest transport pustych stosów palet, palet z gumowymi płytami i kontenerów z surowcami pomiędzy trzema windami transportowymi, pięcioma liniami produkcyjnymi, magazynem wysokiego składowania oraz miejscem składowania naziemnego. Prace pojazdów nadzoruje nadrzędny system rozdzielający zadania pomiędzy pojazdy i kontrolujący zapasy. Zamiast akumulatorów elektrochemicznych pojazdy są wyposażone w wodorowe ogniwa paliwowe, zapewniające im dłuższe bezobsługowe okresy pracy, a tym samym większą produktywność.

#### **4. Analiza opłacalności zastosowania AGV**

Wprowadzenie systemu transportowego bazującego na automatycznych środkach transportu wymaga znacznych nakładów finansowych. Oszacowanie całkowitych kosztów wprowadzanego systemu można określić na podstawie liczby pojazdów pracujących w systemie transportowym oraz poziomu funkcjonalności systemu i jego złożoności. Opłacalność inwestycji uzależniona jest od wielu czynników. Decydujące są tu koszty eliminowanej pracy ludzkiej i liczba zmian produkcyjnych. Istnieje wiele elementów, które powinny zostać poddane analizie przy podejmowaniu decyzji o zakupie systemu zautomatyzowanych AGV. Jednym z nich jest przewidywany okres zwrotu z inwestycji (ROI). Przy obliczaniu zwrotu z inwestycji należy uwzględnić koszty bezpośrednie i pośrednie. Do kosztów bezpośrednich zalicza się płace godzinowe, nadgodziny, ubezpieczenia, urlopy,

---

<sup>10</sup> <http://www.jbtc-agv.com>, 20.08.2016.



chorobowe, koszt urządzeń itp. Natomiast do kosztów pośrednich: koszty użytkowania, koszty wydziałowe i koszty uszkodzenia produktów.

Przedstawiony poniżej algorytm obliczeniowy uwzględnia tylko koszty bezpośrednie. Ze względu na brak ogólnie dostępnych materiałów dotyczących kosztów inwestycji i pracy w warunkach polskich, w procesie symulacji wykorzystano dane dotyczące przypadków Europy Zachodniej i USA<sup>11</sup>. Stąd kwoty wykorzystywane w obliczeniach podawane są w dolarach USA. W symulacji założono trzy warianty: przedsiębiorstwo pracuje na jedną, dwie i trzy zmiany. Przedsiębiorstwo ma 5 wózków widłowych i zatrudnia 5 operatorów na jedną zmianę. Stawka godzinowa dla jednego operatora wynosi 15 dolarów. Do kwoty tej doliczone są świadczenia pracownicze, które stanowią 30% stawki godzinowej pracownika. Nadgodziny płacone są w wysokości 1,5 stawki godzinowej. Każdy operator ma średnio 5 godzin nadliczbowych tygodniowo. Koszt wózka widłowego wynosi 25 000 dolarów. Wózki widłowe mają cykl życia wynoszący 4 lata. W wyniku inwestycji 5 wózków widłowych wraz z operatorami zastąpionych zostanie pięcioma pojazdami AGV. W przeprowadzonych analizach przyjęto koszt pojedynczego pojazdu AGV wynoszący 150 tys. dolarów. W cenie tej znajduje się także centralny układ sterowania oraz oprogramowanie. W tabeli 1 przedstawione zostały dane i wyniki symulacji kosztów przeprowadzone dla systemu produkcyjnego jedno-, dwu- i trzymianowego.

Tabela 1

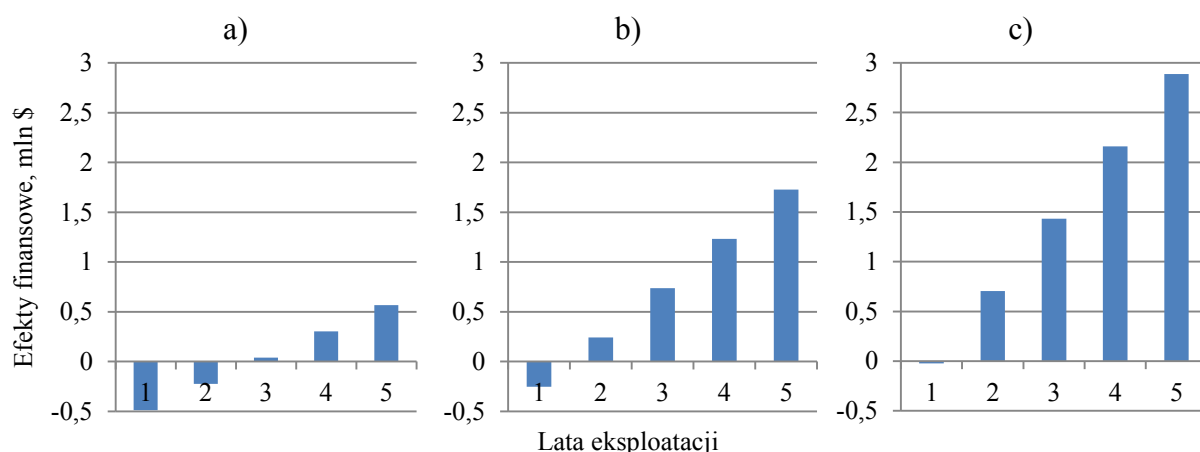
## Zestawienie danych do symulacji

1	liczba zmian	1 zmiana	2 zmiany	3 zmiany
2	liczba operatorów wózków widłowych	5	10	15
3	normatywny czas pracy pracownika, h	2080	2080	2080
4	roczny koszt pracownika, USD	40560	40560	40560
5	przyjęty koszt godzin nadliczbowych pracownika, USD	5850	5850	5850
6	całkowity koszt pracowników (2*(4+5)), USD	232050	464100	696150
7	koszt zakupu wózków widłowych, USD	125000	125000	125000
8	roczny koszt wózków widłowych (7/4,0), USD	31250	31250	31250
9	łączny koszt operatorzy+ wózki (6+8), USD	263300	495350	727400
10	koszt systemu AGV, USD	750000	750000	750000
11	okres zwrotu z inwestycji (10/9)	2,84	1,51	1,03

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: <http://www.egeminusa.com>, 20.08.2016; <http://www.mhi.org/agvs/cost-estimating>, 20.08.2016; <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.

Wykorzystując wyniki obliczeń zawarte w tabeli 1, sporządzono i przedstawiono na rysunku 1 wykresy pokazujące przewidywane efekty finansowe uzyskane po wprowadzeniu automatycznego systemu transportowego. Na wykresach uwzględniono pięcioletni okres eksploatacji i pracę w systemie jedno-, dwu- i trzymianowym.

<sup>11</sup> <http://www.egeminusa.com>, 20.08.2016; <http://www.mhi.org/agvs/cost-estimating>, 20.08.2016; <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.



Rys. 1. Efekty finansowe uzyskane z inwestycji w AGV dla systemu produkcyjnego: a) jednozmianowego; b) dwuzmianowego; c) trzymianowego  
 Źródło: Opracowanie własne.

Jak można zauważyć, najkorzystniejsze rozwiązanie ma miejsce w systemie trzymianowym. Przedsiębiorstwo już na początku drugiego roku po wprowadzeniu systemu AGV odnotowuje dodatnie efekty finansowe z inwestycji. Dla porównania, w systemie jednozmianowym jest to dopiero trzeci rok. System dwuzmianowy charakteryzuje się zwrotem nakładów z inwestycji dopiero po półtora roku eksploatacji. Przeprowadzone obliczenia nie uwzględniały szeregu trudnych do określenia kosztów. Uzyskane wyniki są zbieżne z danymi prezentowanymi w materiałach firmowych<sup>12</sup>.

## 5. Podsumowanie

Działalność gospodarcza musi być stale dostosowywana do zmieniających się warunków otoczenia. Rozwój oraz utrzymanie swojej pozycji na rynku wymagają w wielu wypadkach zastosowania nowych rozwiązań technicznych i nowego podejścia w zarządzaniu procesami gospodarczymi. Tym wyzwaniom odpowiada nowoczesna logistyka wykorzystująca zdobycze oraz najnowsze osiągnięcia techniczne. Na świecie od co najmniej 30 lat stosuje się automatyczne pojazdy transportowe, w wielu przypadkach stanowiące elementy składowe zautomatyzowanych systemów transportowych. Pierwsze udane aplikacje miały miejsce w przemyśle maszynowym związanym z produkcją pojazdów samochodowych. Wraz z postępem technicznym obszar stosowania tych środków ciągle się powiększał. O ich ekspansji decydują dwie grupy czynników. Pierwsza grupa to czynniki o charakterze ekonomicznym, mające na celu redukcję kosztów. Druga grupa czynników uwzględnia takie wymogi, jak: zdolność do łatwego i szybkiego wprowadzania zmian w systemie transportowym,

<sup>12</sup> <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.

wysoka dyspozycyjność i elastyczność, niskie koszty rozwoju i modernizacji, zajmowanie niewielkiej przestrzeni, możliwość korzystania z transportu bezzałogowego w warunkach szkodliwych dla zdrowia, wyeliminowanie lub znaczne zmniejszenie strat związanych z transportem towarów, uwolnienie personelu od monotony i wymagających dużej uwagi zajęć. W gospodarce światowej można znaleźć wiele przykładów zastosowania tych środków. Gospodarka polska również i w tej dziedzinie zaczyna nadrabiać zaległości. Staje się to najczęściej w wyniku decyzji zagranicznych właścicieli mających swoje przedsiębiorstwa w Polsce. Przykładem może być Fabryka Fiat Chrysler Automobiles w Tychach, gdzie automatyczne pojazdy transportowe wykorzystywane są do rozwożenia części przeznaczonych do montażu samochodów, oraz Huta Szkła Jarosław należąca do Koncernu Owen Illinois, w której pojedynczy automatyczny wózek widłowy zabezpiecza prawidłowy przepływ palet w systemie produkcyjnym. Ponieważ koszty pracy w Polsce z roku na rok ciągle rosną, należy spodziewać się w najbliższych latach dużej ekspansji tych środków transportu.

## Bibliografia

1. Bendkowski J., Matusek M.: Logistyka Produkcji, Praktyczne Aspekty, Część I. Planowanie i sterowanie produkcją. Politechnika Śląska, Gliwice 2013.
2. Hammond G.C.: Evolutionary AGVS – from concept to present reality. Proceeding of 6<sup>th</sup> Int. Conf. Automated Guided System, Holier R. (ed.), Brussels, Belgium, 25-26 October 1987, IFS Publications Ltd, Kempston, UK.
3. Dobrzański P., Śmieszek M., Dobrzańska M.: Nowoczesne systemy transportowe w logistyce szpitalnej. Instytut Logistyki i Magazynowania w Poznaniu, „Logistyka”, z. 6, 2014.
4. Śmieszek M., Dobrzańska M.: Nawigacja automatycznych pojazdów transportu wewnętrznego. Zeszyty Naukowe, Wydanie Specjalne. Podkarpacka Szkoła Wyższa, Jasło 2009.
5. Śmieszek M., Dobrzańska M., Dobrzański P.: Laser navigation applications for automated guided vehicles. „Measurement Automation Monitoring”, Vol. 61, No. 11, 2015.
6. <http://www.egeminusa.com>, 20.08.2016.
7. <http://www.jbtc-agv.com>, 20.08.2016.
8. <http://www.mhi.org/agvs/cost-estimating>, 20.08.2016.
9. <http://ndcsolutions.com>, 20.08.2016.
10. [http://www.putmanmedia.com/assets/PS1304\\_MaterialsHandling.pdf](http://www.putmanmedia.com/assets/PS1304_MaterialsHandling.pdf), 20.08.2016.
11. <http://www.swisslog.com>, 20.08.2016.