

---

# Systemy robotów autonomicznych

Wykład nr 11

Systemy kontroli i zarządzania transportem

Automated Guided Vehicles

Akademia Górniczo-Hutnicza  
12.06.2013, Kraków

mgr inż. Andrzej Opaliński  
[opal@tempus.metal.agh.edu.pl](mailto:opal@tempus.metal.agh.edu.pl)

- Systemy kontroli i sterowania transportem
- AGV – wprowadzenie, przedstawienie problemu, definicja
- Elastyczne systemy produkcyjne
- Historia
- Rodzaje wózków AGV
- Metody nawigacji
- Układy sterowania i monitorowania pojazdów
- Zasilanie pojazdów
- Bezpieczeństwo
- Przykłady zastosowania

# Systemy sterowania i kontroli transportu

- Cechy
  - dedykowane do konkretnych unikatowych zastosowań
  - niewielka zdolność adaptacji gotowych produktów
  - wysokie koszty projektowania, realizacji i wdrożenia
  - wysoce zależne od warunków środowiska i wymagań sprzętowych
- Rodzaje systemów:
  - systemy koordynacji transportu i logistyki
    - lokalny (TAXI)
    - globalny (TIR, statki, samoloty)
  - sterowanie sygnalizacją świetlną w aglomeracjach miejskich
  - wewnętrzny transport towarów (AGV)



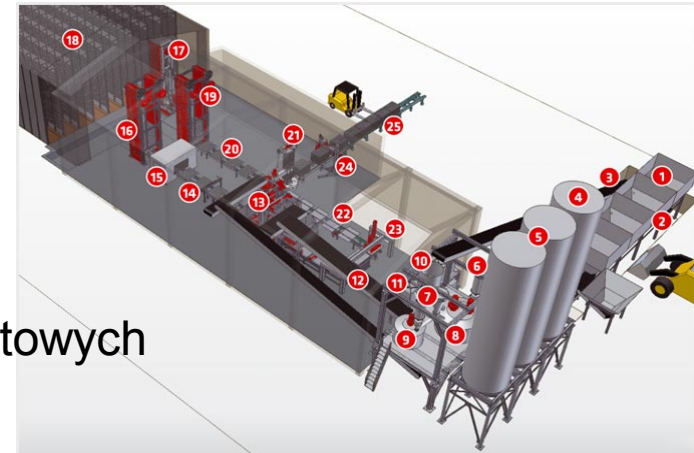
# AGV - wprowadzenie

- Problem organizacji transportu i wewnętrznego przepływu materiałów
  - Przenośniki – niewielkie ładunki, krótkie odległości, proste linie
  - Wózki widłowe – duże ładunki, problemy kolizji ścieżek i zakleszczeń
- AGV – Automated Guided Vehicles – pojazdy sterowane automatycznie. Inteligentne pojazdy wyposażone w elektroniczne środki do kontroli oraz zarządzania ruchem
- Zastosowanie do transportu materiałów wewnątrz fabryki lub magazynu
  - Elementów składowych, półproduktów
  - Narzędzi
  - Kontenerów
  - Odpadów
- pojęcie autonomiczności – stopień niezależności, zewnętrznej ingerencji w kontrolę jednostki

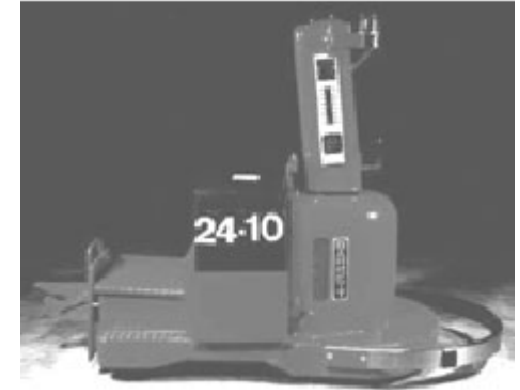


# Elastyczne systemy produkcyjne

- Flexible Manufacturing System (FMS)
  - Systemy produkcyjne
  - Sterowane komputerowo
  - Zintegrowane kompleksy
    - Automatycznych urządzeń transportowych
    - Manipulatorów
    - Obrabiarek numerycznych
  - Realizujące produkcję szerokiego asortymentu detali
  - Często zmieniające się wielkości serii
- Cechy systemów
  - Łatwość przystosowania do zmian asortymentu
  - Wysoka jakość i wydajność procesu wytwarzania
  - Niskie koszty magazynowania
  - Terminowość realizacji zamówienia

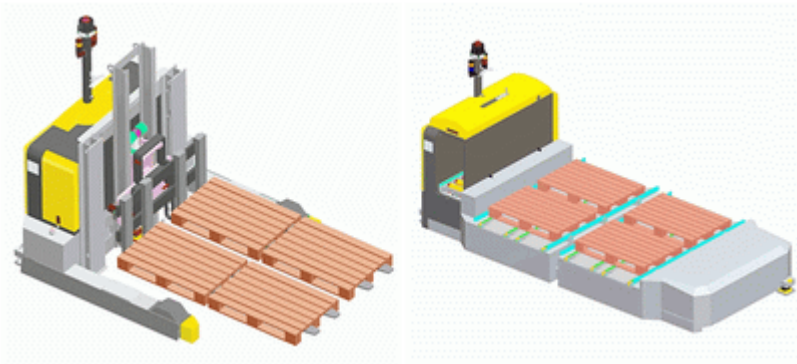


- Pierwsze mobilne roboty przemysłowe – 1954 rok, wózek elektryczny bez kierowcy przenoszący ładunki w magazynie sklepu spożywczego (Barrett Electronics Corporation)
- Nawigacja poprzez systemy kabli umieszczonych w betonowej podłodze
- 1974r – fabryka Volvo w Kalmar (Szwecja) pierwszy system AGV dużej skali
- Lata 80 XX wieku – technika mikroprocesorowa - zastosowanie AGV do bardziej skomplikowanych zadań
- Pod koniec lat 80tych, około 3300 fabryk używało ponad 15 000 robotów AGV
- Lata 90 XX wieku – nawigacja laserowa robotów AGV
- Przełom wieków
  - Rozwój komponentów komunikacyjnych, sterujących,
  - Wzrost mocy obliczeniowej procesorów,
  - Usprawnienie systemów zasilania
  - Automatyzacja załadunku i sprzęgania



# Rodzaje wózków AGV

- Wózki holownicze (Towing Vehicles)
- Wózki pojedynczego załadunku (Unit Load Vehicles)
- Wózki widłowe (Fork Vehicles)
- Proste wózki transportowe (Cart Vehicles)



# Wózki holownicze (Towing Vehicles)

- Najczęściej produkowane pojazdy typu AGV
- Możliwość transportu największej ilości ładunku (łączenie)
- Maksymalna ładowność od 3 do 27 ton
- Przeznaczone do ciągnięcia innych wózków kołowych ładowanych ręcznie - „tugger” - ciągnik
- Nie mają możliwości poruszania się w odwrotnym kierunku
- Poruszają się na zasadzie pętli wzdłuż ustalonej trasy (punkty pośrednie i końcowe)
- Różne rodzaje zaczepów (kołowy, pin, automatyczne)
- Mogą posiadać stację kontroli dla operatora (załadunek, obsługa)





# Wózki pojedynczego załadunku (Unit Load Vehicles)

- Najbardziej tradycyjne mobilne roboty AGV
- nazywane „top carrier” - obciążenie spoczywa na większości pojazdu
- Przystosowane do transportu ładunków o różnych rozmiarach i kształtach
  - Standardowe palety
  - Bębny
  - Wózki
  - Stojaki
  - Niestandardowe pojemniki
- Ładowność od 1 do 27 ton
- Korzystają z przenośników lub są ładowane przez inne urządzenia (konieczność zapewnienia interfejsu komunikacyjnego z urządzeniem ładującym)
- Posiadają duże możliwości manewru – mogą dostarczać ładunek poruszając się po wąskich i skomplikowanych ścieżkach



# Wózki widłowe (Fork Vehicles)

- Najpopularniejsze roboty ze względu na ich wszechstronność i elastyczność
- Mogą obsługiwać wiele rodzajów ładunków
  - Palety
  - Stojaki
  - Rolki
- Wysoce konfigurowalne (nowe, dodatkowe zadania)
- Wyposażone w hydrauliczne lub elektryczne napędy maksymalizują szybkość i dokładność przy minimalnej powierzchni manewrowej
- Wyposażone w czujniki i czytniki
  - Automatycznie identyfikujące produkt
  - Śledzące obciążenie w czasie rzeczywistym
  - Zarządzające inwentaryzacją i wyszukiwaniem produktów w magazynie



# Proste wózki transportowe (Cart Vehicles)

- Elastyczne i stosunkowo niedrogie pojazdy
- Mogące pracować jako Unit Load Vehicles lub Towing Vehicles
- Ładowność do 1400kg, siła uciągu do 1600kg
- Małe rozmiary i niskie ceny – stosowane na lotniskach, w hotelach, szpitalach
- Poruszają się wzdłuż pasa taśmy magnetycznej zamontowanej w podłożu
- Stosunkowo łatwa zmiana ścieżki robota



# Planowanie ruchu pojazdów AGV

Typowe zadania robotyki mobilnej realizowane przez pojazdy AGV

## Planowanie misji

generowanie ciągu następujących po sobie czynności, które platforma musi wykonać aby zrealizować wyznaczony cel

## Planowanie trajektorii

generowanie ciągu kolejnych punktów docelowych w przestrzeni pracy platformy, uwzględniające ograniczenia (np. przeszkody) oraz minimalizujące wybrane kryterium (np. długość trasy)

## Bezkolizyjne realizowanie zaplanowanej trajektorii

śledzenie ścieżki, wykrywanie przeszkód oraz wyznaczanie aktualnego położenia robota

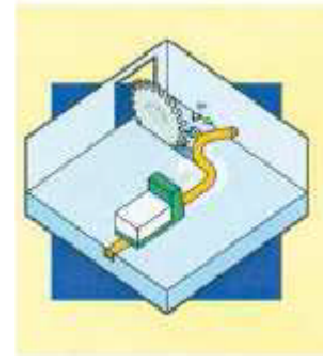
# Metody nawigacji pojazdów AGV

- Metoda pętli indukcyjnej
- Metoda pętli magnetycznej (metalicznej)
- Metoda nawigacji laserowej
- Metoda linii refleksyjnej
- Metoda żyroskopowa
- Metoda układu współrzędnych
- Metoda ultradźwiękowa
- Metoda GPS



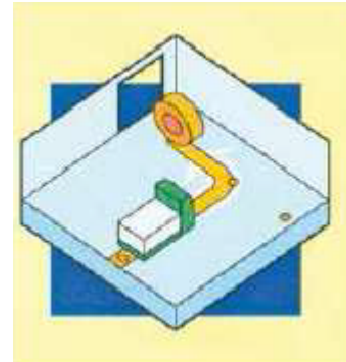
# Metoda pętli indukcyjnej

- Pojedynczy przewód w specjalnie przygotowanym w podłodze kanale
- Przepływ prądu o stałej, określonej częstotliwości generujący pole magnetyczne
- Wychwytywanie natężenia pola przez antenę wózka poruszającego się zgodnie ze ścieżką sygnału
- Jedna z najstarszych i najbardziej skutecznych metod
- Zalety
  - Duża skuteczność
  - Możliwość stosowania na otwartej oraz zamkniętej przestrzeni
- Wady
  - Problem ze zmianą trasy pojazdów



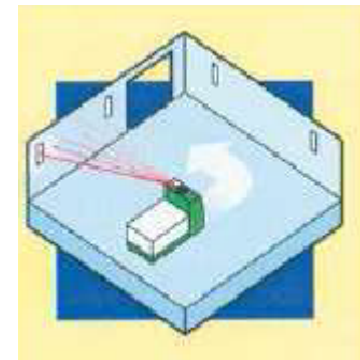
# Metoda pętli magnetycznej (metalicznej)

- Podobne rozwiązanie jak w wypadku pętli indukcyjnej
- Inne źródło pola magnetycznego – taśma z materiału ferromagnetycznego generująca pole magnetyczne
- Detekcja za pomocą anteny wózka
- Zalety
  - Prosta i tania instalacja
  - Szybka modyfikacja trasy
- Wady
  - Ograniczenie do stosowania we wnętrzu budynków
  - Mała wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne
  - Duża czułość na obecność innych ferromagnetyków



# Metoda nawigacji laserowej

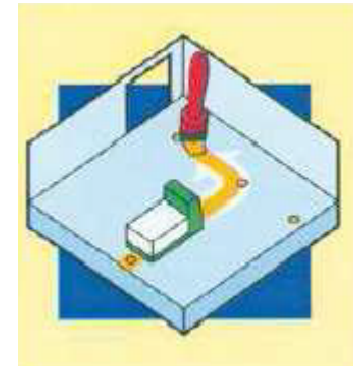
- Nawigacja poprzez ustalenie współrzędnych za pomocą emisji wiązki laserowej
- Wiązka emitowana przez skaner umiejscowiony w górnej części wózka
- Omiatająca otoczenie wózka od kilku do kilkunastu razy na sekundę
- W strategicznych miejscach otoczenia (np. ścianach lub kolumnach) umieszcza się odbłyśniki (reflektory) odbijające wiązkę
- Wiązka po odbiciu wraca do układu nawigacji i w ten sposób następuje zorientowanie wózka w przestrzeni roboczej
- Zalety
  - Odporność na warunki atmosferyczne
  - Możliwość pracy wewnątrz i na zewnątrz budynków
  - Duża dokładność (1-2 mm)
  - Łatwa modyfikacja trasy
- Wady
  - Odbłyśniki muszą być widoczne dla robota





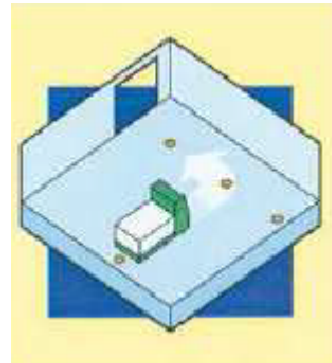
# Metoda linii refleksyjnej

- Wyznaczenie na podłożu trasy wózka, poprzez namalowanie farbą refleksyjną lub wyklejenie taśmą refleksyjną
- Trasa śledzona przez kamerę stanowiącą element układu nawigacji
- Nawigacja w oparciu o inny stopień odbicia światła na trasie w porównaniu do innych elementów otoczenia
- Zalety
  - Łatwo modyfikowalna trasa
- Wady
  - Mała niezawodność
  - Duża czułość na zabrudzenia
  - Nie nadaje się do stosowania na zewnątrz budynków



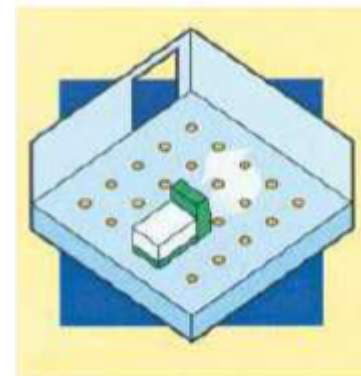
# Metoda żyroskopowa (bezwładnościowa)

- wykorzystanie urządzenia żyroskopowego wykrywającego zmiany kierunku
- wymaga dodatkowego wzorcowania zewnętrznego za pomocą specjalnych punktów odniesienia montowanych w podłodze – transponderów - ( w miejscach charakterystycznych)
- Miejsca charakterystyczne – punkty przystankowe oraz łuki
- Kłopotliwe rozwiązanie przy skomplikowanych i krzyżujących się ścieżkach
- Wymaga sprzętu odpowiedniej jakości
- Zalety
  - Dobre pozycjonowanie (przy osprzęcie odpowiedniej jakości)
- Wady
  - Koszty rozwiązania



# Metoda układu współrzędnych

- W oparciu o punkty odniesienia w podłodze obiektu
- Duża ilość punktów o charakterze optycznym lub nadajnikowym
- Na podstawie danych z punktów układ sterowania koordynuje położenie wózka w przestrzeni
- Zalety
  - Metoda stosunkowo prosta w modyfikacji
- Wady
  - Wymaga zastosowania rozbudowanego układu punktów w podłożu



# Metoda ultradźwiękowa

- Nawigacja w oparciu o odniesienie do pionowych powierzchni (np. ściany)
- Odbicie i wychwycenie fali ultradźwiękowych emitowanych przez układ nawigacyjny
- Szacowanie odległości na podstawie oceny parametrów odbitej fali
- Współcześnie metoda ma charakter prototypowy, nie jest wykorzystywane komercyjnie
- Zalety
  - Nie ma konieczności stosowania dodatkowych znaczników
- Wady
  - Zastosowanie jedynie w niewielkich przestrzeniach (korytarze międzyregalowe)



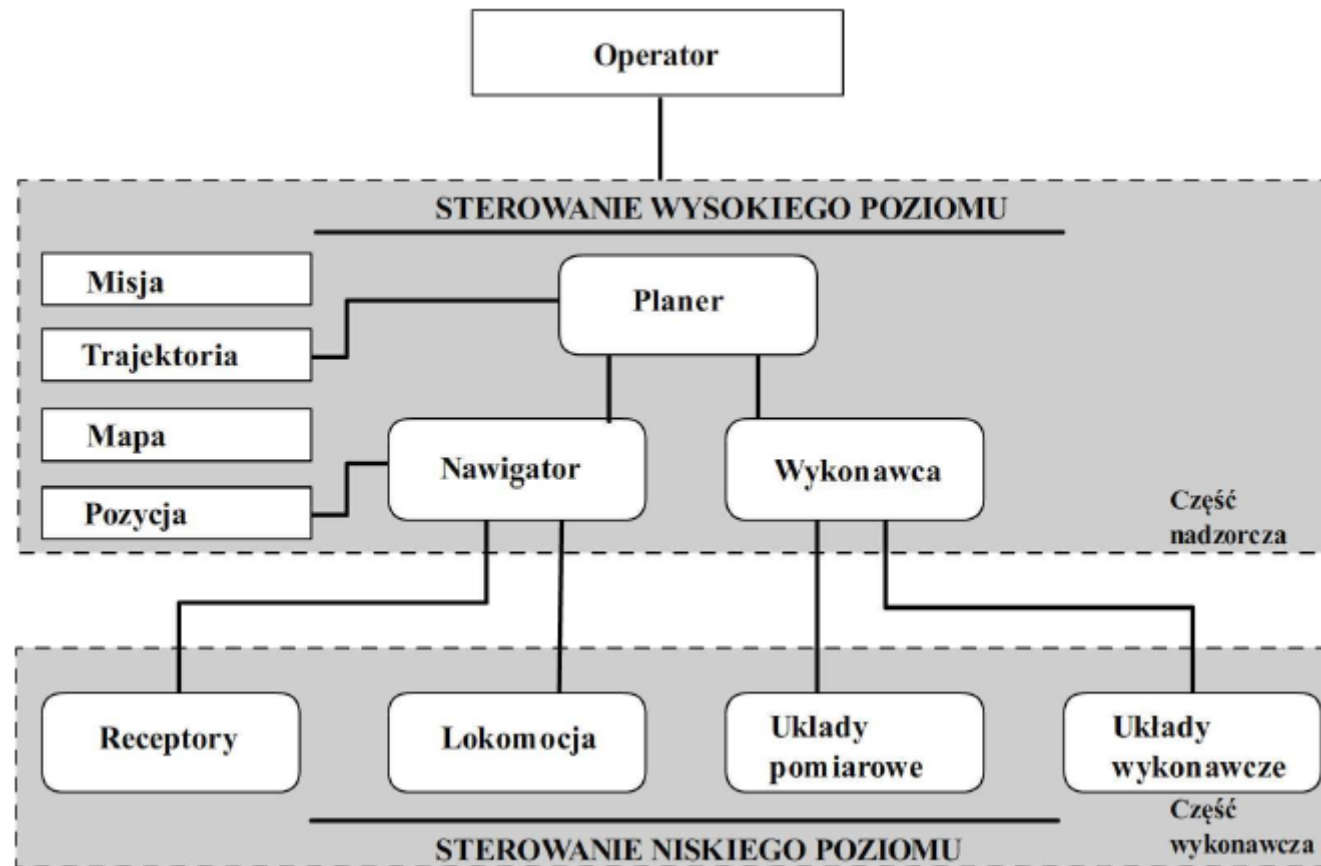
# Metoda GPS

- Oparta na systemie nawigacji satelitarnej
- Pomiar czasu sygnału pomiędzy satelitami a odbiornikiem na pojeździe
- Zastosowanie przede wszystkim w nawigacji zewnętrznej (zakłócenia)
- Zalety
  - Stosunkowo prosta do wdrożenia
- Wady
  - Konieczność umieszczenia stacji referencyjnej
  - Dokładność od 0,5m do 2m
  - Możliwość stosowania jedynie na zewnątrz



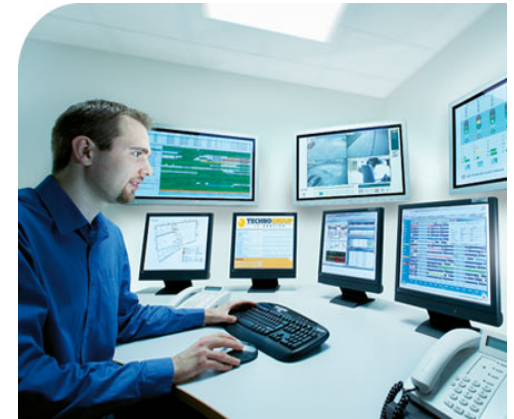
# Układ sterowania pojazdu AGV

- Część nadzorcza – sterowanie wysokiego poziomu  
przetwarzanie i analizowanie informacji pochodzących ze źródeł zewnętrznych (czujniki, polecenia operatora) oraz wewnętrznych (baza danych, baza wiedzy)
- Część wykonawcza – analiza sygnałów z efektorów oraz receptorów platformy mobilnej



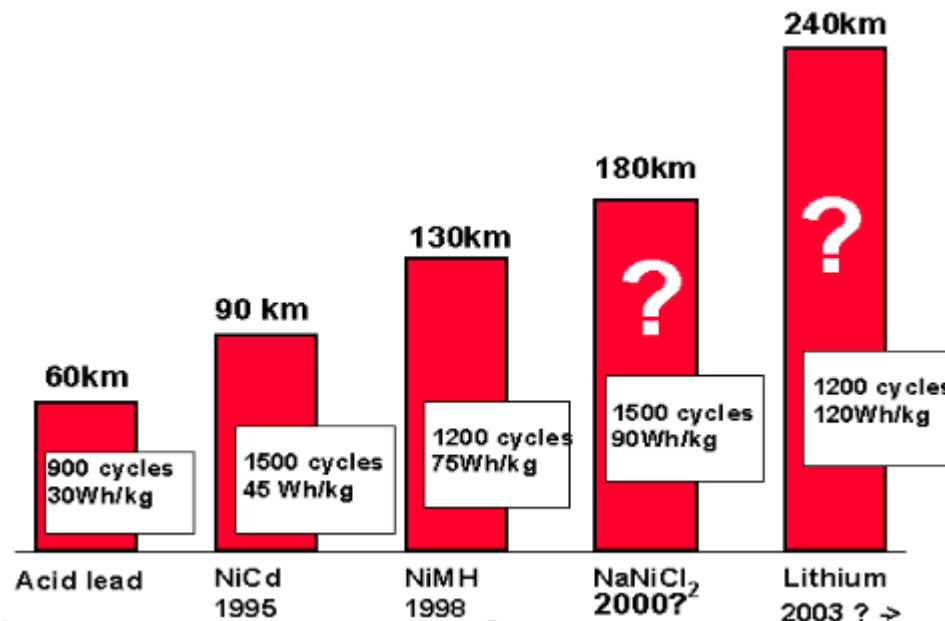
# Systemy monitorowania robotów AGV

- Istotny element elastycznych systemów produkcyjnych
- Błąd lub spowolnienie działania systemu może spowodować poważne problemy w produkcji
- Błędy należy możliwie szybko wykryć i zlikwidować
- Podstawowe podejścia do monitorowania systemów AGV
  - Panel lokalizujący – wskazuje miejsce na trasie w którym pojazd się znajduje. Nie identyfikuje pojazdu. W każdej strefie znajduje się miernik czasu wskazujący zajętość strefy (sygnalizujący błąd)
  - CRT – system monitorowania pojazdów w czasie rzeczywistym. Identyfikuje pojazdy, pokazuje ich lokalizację i status (w ruchu lub zablokowany, załadowany czy pusty, stan baterii). Wyświetla informacje w formie graficznej, pozwala na szybkie reakcje operatora.
  - Centrala rejestracji i raportów – posiada funkcję monitorowania systemu i tworzenia raportów dotyczących wydajności systemu. Raporty zawierają (czas ruchu pojazdów, ilość przetransportowanych ładunków, stany baterii, obciążenia pojazdów). Raporty pozwalają na utrzymanie wysokiej efektywności systemów.



# Zasilanie pojazdów AGV

- Kontrolowane przez komputery – zasilane prądem elektrycznym
- Problem – generowanie i magazynowanie energii
- Zestawy magazynowania energii: (baterie, zestawy dieslowo-elektryczne, zestawy dieslowo-hydrauliczne, koła zamachowe)
- Dominują pojazdy akumulatorowe
- Idealna bateria: lekka, mocna, duża pojemność, tania
- Aktualnie rodzaje dostępnych na rynku baterii oraz zasięg jaki można za ich pomocą uzyskać (przy takiej samej wadze baterii, około 25% masy pojazdu)





# Ładowanie i wymiana baterii

- Ręczna wymiana baterii  
Ręczne usunięcie baterii z robota i umieszczenie na jej miejscu w pełni naładowanego akumulatora.  
Czas pracy na jednej baterii to około 8-12h.  
Ręczna wymiana akumulatora zajmuje od 5 do 10 minut
- Automatyczna wymiana baterii  
Dodatkowa automatyczna jednostka w systemie robotów AGV.  
Korzystanie w przypadku niskiego poziomu naładowania baterii.  
Automatyczny zmieniacz wymienia baterie i kontroluje stan baterii w swoim magazynie.
- Automatyczne ładowanie baterii  
Pozwala na nieprzerwane działanie systemu.  
Średnio 1 akcja ładowania trwająca 12 minut co 1 godzinę.  
Z wykorzystaniem stacji automatycznego ładowania.  
Roboty ładują baterię w momencie przestoju pomiędzy zadaniami lub w wypadku niskiego stanu jej naładowania.



# Bezpieczeństwo robotów AGV

- Konieczność wyposażenia w urządzenia zapewniające bezpieczeństwo innym urządzeniom i pracownikom
- Ograniczenia konstrukcyjne robotów
  - Maksymalna prędkość poruszania się
  - Prześwit (możliwie mały)
  - Bufory wyłączające zasilanie w momencie zetknięcia się z przeszkodą
- Elementy zapewniające bezpieczeństwo
  - Laser bezpieczeństwa – duża szybkość robota w odległości do 15 m od przeszkody. Poniżej automatyczne dostosowanie prędkości aż do zatrzymania robota
  - E-stop – system zapewniający natychmiastowe zatrzymanie robota po zetknięciu przeszkody ze zderzakiem robota.



# Praktyczne przykłady zastosowania

- System portu w Hamburgu
- 50 zautomatyzowanych pojazdów transportujących kontenery pomiędzy nabrzeżem a placem magazynowym
- Współpracują z automatycznymi dźwigami
- Przystosowane do przewozu standardowych kontenerów
- Poruszają się z dużą prędkością z dokładnością do 3 stopni
- Automagiczne tankowanie (napędy dieslowo-elektryczne lub dieslowo-hydrauliczne)
- Dane do transportu pobierane z systemu centralnego
- Nawigacja za pomocą markerów elektro-magnetycznych w podłożu
- [Video1](#)
- [Video2](#)



- Jerzy Honczarenko - „Roboty przemysłowe”
- T.Ganesjarajaj, N.G.Hall, C.Sriskandarajah, „Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems”, Annals of Operations Research, 1998
- „Nowoczesny magazyn” - NM 4-2006
- Wojciech Ulatowski - „Sterowanie ruchem autonomicznie sterowanych pojazdów”, Pomiary Automatyka Robotyka 1/2004
- <http://www.asimo.pl/teoria/roboty-przemyslowe.php>
- Dudek Rafał – „AGV – Automatic Guided Vehicle| – AGH, SysRA, 2009
- [http://www.fmcsags.com/content/products/special\\_app\\_vehicles.htm](http://www.fmcsags.com/content/products/special_app_vehicles.htm)
- <http://www.egeminusa.com/>
- Grzegorz Ziółek - „AGV czy Automatycznie prowadzone pojazdy pomagają zredukować koszty produkcji i zwiększają wydajność systemów produkcyjnych” - AGH, SysRA, 2008