

Sustavi automatski vođenih vozila

Galović, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:435587>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-17**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Jurica Galović

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Jurica Galović

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću na korisnim savjetima i izdvojenom vremenu. Također se zahvaljujem svojoj djevojci i obitelji na pruženoj podršci.

Jurica Galović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. LOGISTIKA	2
2.1. Povijesni razvoj logistike	2
2.2. Općenito o logistici	3
2.3. Važnost logistike	3
2.4. Uloga automatizacije u logistici	4
2.4.1. Automatizirano rukovanje materijalom	4
2.4.2. Automatizirani transportni sustavi	5
3. AUTOMATSKI VOĐENA VOZILA (AGV)	7
3.1. Povijesni razvoj AGV vozila	7
3.2. Općenito o AGV vozilima	8
3.3. Podjela AGV vozila	9
3.3.1. Vučna vozila	10
3.3.2. Vozila jediničnih tereta	11
3.3.3. Paletna vozila	13
3.3.4. Viličari	14
3.3.5. Vozila posebne namjene	15
3.4. Funkcije AGV sustava	17
3.4.1. Vođenje AGV vozila	17
3.4.1.1. Vođenje fiksnim putevima	17
3.4.1.2. Vođenje slobodnim putevima	21
3.4.1.3. Moderne tehnologije vođenja	23
3.4.2. Usmjeravanje AGV vozila	26
3.4.2.1. Metoda izbora pomoću frekvencije	27
3.4.2.2. Metoda izbora pomoću prekidača	28
3.4.3. Regulacija prometa AGV vozila	29
3.4.3.1. Kontrola zona	29
3.4.3.2. Senzorska kontrola	32
3.4.3.3. Kombinirana kontrola	33
3.4.3.4. Sigurnosni sustavi AGV vozila	33
3.4.4. Pretovar kod AGV vozila	37
3.4.4.1. Ručna metoda pretovara	37
3.4.4.2. Metoda pretovara automatskog spajanja i razdvajanja	37
3.4.4.3. Metoda pretovara lančanim, trakastim ili valjčanim konvejerom	37
3.4.4.4. Metoda dizanja i spuštanja	37
3.4.5. Upravljanje sustavom AGV vozila	38
3.4.5.1. Dispečerske metode	38

3.4.5.2. Metode monitoringa	39
3.4.5.3. Metoda grafičkog prikaza stanja katodnom cijevi	39
3.4.6. Izvori energije kod AGV vozila	39
3.4.6.1. Zamjena baterije	40
3.4.6.2. Automatsko i oportunističko punjenje baterije	40
3.4.6.3. Automatska zamjena baterije	40
3.4.7. Projektiranje i implementacija AGV sustava	40
4. PRIMJENA AGV VOZILA	42
4.1. Primjena u industriji papira	42
4.2. Primjena u automobilskoj industriji	44
4.3. Primjena u industriji hrane i pića	46
4.4. Primjena u kemijskoj industriji	48
4.5. Primjena u otvorenim prostorima	49
4.6. Primjena u bolnicama	51
4.7. Primjena u tematskim parkovima	52
4.8. Primjena u tekstilnoj industriji	52
4.9. Primjena u metaloprerađivačkoj industriji	53
4.10. Primjena u zrakoplovnoj industriji	53
4.11. Primjena u montaži	54
4.12. Primjena u skladišnim prostorima	56
4.12.1. Primjena kod uskladištenja i iskladištenja	57
4.12.2. Primjena za povezivanje skladišnih zona	59
4.12.3. Primjena za utovar i istovar sredstava vanjskog transporta	60
4.12.4. Primjena u komisioniranju	62
4.13. Trendovi primjene i tržišta AGV vozila	65
5. TRENDOVI RAZVOJA AGV VOZILA	70
5.1. Prepoznavanje objekata	70
5.2. Prepoznavanje prepreka	70
5.3. Metoda reaktivnog vođenja	71
5.4. Induktivni prijenos energije	71
5.5. Modularnost i standardizacija AGV vozila	72
5.6. Navigacija i komunikacija AGV vozila	73
5.7. Automatizacija serijskih vozila	73
6. ZAKLJUČAK	76
LITERATURA	77
PRILOZI	80

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prvo AGV vozilo [17]	7
Slika 2.	Vučno AGV vozilo [17]	10
Slika 3.	Vučno AGV vozilo (s kolicima) [13]	11
Slika 4.	AGV vozilo jediničnih tereta (za palete) [17]	12
Slika 5.	AGV vozilo jediničnih tereta (za čelične limove) [13]	12
Slika 6.	Paletno AGV vozilo [16]	13
Slika 7.	AGV viličar (paletizirana roba) [16]	14
Slika 8.	AGV viličar (rola papira) [16]	15
Slika 9.	AGV vozilo za transport u montaži [16]	15
Slika 10.	AGV vozilo za transport u bolnicama [16]	16
Slika 11.	AGV vozilo za transport papirnatih rola [3]	16
Slika 12.	Mehanički način vođenja	18
Slika 13.	Indukcijski način vođenja [16]	19
Slika 14.	Optički način vođenja [18]	20
Slika 15.	Inercijalno vođeni AGV viličar [18]	22
Slika 16.	Lasersko vođenje [18]	23
Slika 17.	Sustav praćenja ljudi [14]	26
Slika 18.	Prikaz rute vozila [16]	27
Slika 19.	Metoda izbora pomoću frekvencije [16]	28
Slika 20.	Metoda izbora pomoću prekidača [16]	29
Slika 21.	Metoda distribuirane kontrole [16]	30
Slika 22.	Metoda centralne kontrole [16]	31
Slika 23.	Metoda kontrole vozilima [16]	32
Slika 24.	Prednji branik	34
Slika 25.	Laserski skener [15]	35
Slika 26.	Bočna zaštita [15]	36
Slika 27.	Okvir donošenja odluka kod AGV sustava [21]	41
Slika 28.	AGV viličar u industriji papira [5]	42
Slika 29.	AGV viličar u industriji papira [2]	43
Slika 30.	Paletno AGV vozilo u industriji papira [3]	43
Slika 31.	AGV vozilo jediničnog tereta u automobilskoj industriji [8]	44
Slika 32.	AGV u automobilskoj industriji [25]	45
Slika 33.	AGV vozila u automobilskoj industriji [18]	45
Slika 34.	AGV vozilo u prehrambenoj industriji [27]	46
Slika 35.	Sustav valjkastih konvejera u industriji napitaka [29]	47
Slika 36.	AGV vozilo s dvostrukim vilicama u prehrambenoj industriji [10]	48
Slika 37.	AGV vozilo u farmaceutskoj industriji [16]	49
Slika 39.	AGV sustav u brodskoj luci [16]	50
Slika 38.	AGV vozilo za prijevoz kontejnera [18]	50
Slika 40.	ATLIS vozilo [30]	51
Slika 41.	Bolničko AGV vozilo [20]	52
Slika 42.	AGV vozila u metaloprerađivačkoj industriji [16]	53
Slika 43.	AGV vozila u zrakoplovnoj industriji [16]	54
Slika 44.	AGV vozila u procesu montaže [16]	55
Slika 45.	Putanja AGV vozila u procesu montaže [16]	56

Slika 46.	AGV vozilo u skladištu automobilskih dijelova [6].....	57
Slika 47.	AGV vozilo u skladištu papirnatih rola [16]	58
Slika 48.	Automatski vođeni visokoregalni viličar [16]	59
Slika 49.	Vučno AGV vozilo s mobilnim regalom [16]	60
Slika 51.	Savant Loader vozilo [18]	61
Slika 50.	Smart Loader vozilo [16].....	61
Slika 52.	Mobilni sustav za komisioniranje [17]	62
Slika 53.	Transportne izvedbe (paletna jedinica - lijevo, polični regal - desno) [17].....	63
Slika 54.	Komisioniranje KIVA sustavom [17]	64
Slika 55.	Broj AGV sustava [31]	65
Slika 56.	Učestalost načina vođenja u AGV sustavima [31].....	66
Slika 57.	Učestalost načina vođenja AGV sustava u Europi [19]	67
Slika 58.	Učestalost primjene AGV sustava u industrijskim granama [31].....	68
Slika 59.	Induktivni prijenos energije [19].....	72
Slika 60.	AGT vozilo [23].....	74
Slika 61.	Konvoj AGT vozila [23].....	75

POPIS KRATICA

Kratika	Jedinica	Opis
AGV	/	Automated Guided Vehicles/Automatski vođena vozila
IT	/	Information Technology/Informatička tehnologija
CSCMP	/	The Council of Supply Chain Management Professionals/Vijeće stručnjaka za upravljanje lancima opskrbe
SC	/	Supply Chain/Lanac opskrbe
AS/RS	/	Automated Storage and Retrieval Sytem/Automatizirani skladišni sustav
CAD	/	Computer Aided Design/Računalom podržana konstrukcija
AGVS	/	Automatic Guided Vehicle Systems/ Sustav automatski vođenih vozila
AGT	/	Automated Guided Trucks/Automatski vođeni kamioni
JIT	/	Just in Time/Pravodobna proizvodnja

SAŽETAK

Tekst sažetka:

Automatizacija procesa unutrašnjeg transporta u proizvodnim i montažnim pogonima, skladištima i distribucijskim centrima, ali i u brojnim drugim servisnim djelatnostima, ostvariva je primjenom sustava automatski vođenih vozila.

Ključne riječi:

automatski vođeno vozilo, sustav automatski vođenih vozila, sustav vođenja, primjena automatski vođenih vozila

SUMMARY

Abstract:

Automatization of processes of internal transport in manufacturing and assembly plants, warehouses and distribution centers, but also in many other service activities, is achievable with the application of automatic guided vehicle systems.

Key words:

automatic guided vehicle, automatic guided vehicle system, guidance system, application of automatic guided vehicles

1. UVOD

Automatizacija procesa unutrašnjeg transporta u proizvodnim i montažnim pogonima, skladištima i distribucijskim centrima, ali i u brojnim drugim servisnim djelatnostima, ostvariva je uz primjenu sustava automatski vođenih vozila. Ta vozila su važna jer osiguravaju bolje radne uvjete, povećanu produktivnost i sigurnost.

U ovom radu će se obraditi već spomenuta automatski vođena vozila. Rad je koncipiran na slijedeći način. U drugom poglavlju je dan kratak opis logistike, njezine povijesti i važnosti, te je dana veza između logistike i automatski vođenih vozila. Treće, najopsežnije poglavlje rada se bavi detaljnim opisom glavnih elemenata automatski vođenih vozila i elemenata sustava bez kojih vozila ne bi mogla adekvatno funkcionirati. U četvrtom poglavlju su dani i opisani primjeri primjene automatski vođenih vozila ilustrirani slikama i pregled i opis trendova tržišta automatski vođenih vozila. U petom poglavlju je dan opis i smjer razvoja tehnologija koje se koriste u automatski vođenim vozilima sa dostupnim statističkim podacima i ilustracijama. U zadnjem, šestom poglavlju je donesen zaključak na temelju dostupne literature i materije prikazane u radu.

2. LOGISTIKA

2.1. Povijesni razvoj logistike

Rani razvoj logističkog područja je poticala vojska. Važnost logistike prepoznao je još Aleksandar Veliki zajedno sa njegovim ocem Filipom. Oni su shvatili da dugački karavani usporavaju njihovu vojsku i smanjuju joj sposobnost kretanja. Taj su problem riješili tako što je svaki vojnik nosio svoje oružje i prtljagu. Otišli su toliko daleko da su lošu logistiku svojih protivnika upotrijebili protiv njih tako što su blokirali brodske luke koje su Perzijski brodovi koristili kako bi svojim vojnicima dobavili opremu i namirnice tako tjerajući brodove natrag u njihove matične luke. Rimljani su također velike napore ulagali u logistiku tijekom svojih ratnih kampanji. Naime, kako je Rimsko Carstvo raslo tako su Rimljani sve više cesta gradili kako bi ubrzali svoje transporte. Osim cesta, Rimljani su gradili male utvrde koje su im omogućavale korištenje svježih namirnica i odmor. Nadalje, Rimljani su koristili interne komunikacijske kanale koji su im omogućavali znatno bržu komunikaciju. U početku 1. Svjetskog rata logistika je bila još relativno nerazvijen pojam. Dodatne logističke probleme stvarala je ekstremna proizvodnja oružja i velik broj vojnika. Potrebne su bile utvrde koje su praktički pokrivala cijelu zapadnu Europu što je dovelo do raznih problema oko opskrbe vojnika hranom, materijalima i oružjem. U početku rata glavni je logistički problem bio upravo ta opskrba trupa koje su stacionarne u utverdama dok je pri kraju rata najveći problem bila opskrba trupa koje se kreću i koje su u fazi napada. Glavna pouka koja se izvukla iz napretka logistike u 2. Svjetskom ratu je razvoj područja opskrbe dalekih i nepristupačnih lokacija, te objektivnost u smislu da je moguće razdijeliti što je administrativno moguće, a što nije. U tom vremenskom području logistika je maksimalno iskoristila željeznički i zračni prijevoz, uz cestovni koji je već prije bio korišten. Jedan od povijesno značajnih doprinosa logistici, što se tiče ratnih vremena, jest onaj u Vijetnamskom ratu. Naime, da nije bilo dobro izvedenih i planiranih cestica u vijetnamskim šumama lako je moguće da bi rat drugačije završio. Te cestice kroz vijetnamske šume omogućile su opskrbu vijetnamske vojske sa do 60 tona robe dnevno čime su Amerikancima mogle pružiti dovoljan otpor.

Iz svega dosada navedenog se može zaključiti da je u početku logistika u velikim količinama bila korištena samo u vojne svrhe. Značajniji početak razvoja logistike uslijedio je nakon kraja 2. Svjetskog rata. Za taj razvoj zaslužni su bivši vojnici koji su svoja zapažanja primijenili. 50-ih godina 20. stoljeća započeo je brz razvoj logistike.

2.2. Općenito o logistici

Logistika dolazi od francuske riječi „*logistique*“. Prema [16] logistika je funkcija odgovorna za kretanje materijala od dobavljača u organizaciju, kroz operacije unutar organizacije, te od organizacije prema kupcu. Definicija logistike, koja je vjerojatno najprihvaćenija u svijetu razvijala se paralelno sa razvojem područja logistike i dala ju je logistička udruga CSCMP (eng. *The Council of Supply Chain Management Professionals - CSCMP*), te ona glasi: „Logistika je proces planiranja, implementacije i kontrole efikasnog i efektivnog tijeka i skladištenja sirovina, zaliha u procesu, gotovih proizvoda, i s tim povezanih informacija, od točke izvora do točke potrošnje, u svrhu zadovoljenja zahtjeva korisnika.“ Iz navedenih definicija se može zaključiti da logistika predstavlja grupu multidisciplinarnih i interdisciplinarnih znanja koja proučavaju i implementiraju zakone planiranja, izvršavanja, kontrole i upravljanja tokom materijala, između početne i krajnje točke njegovog puta. Općenito je prihvaćeno mišljenje da logistika spada u granu industrijskog inženjerstva.

Za područje strojarstva posebno je zanimljiva tehnička upotreba logistike. Iz [16] se zaključuje da je tehnička logistike područje logistike kojim se rješava tehnički problem opskrbe materijalom i probleme tokova materijala u procesima izrade novih proizvoda i usluga kojima se stvaraju dodane vrijednosti. U području tehničke logistike dominantna je njemačka logistička škola. Svaki tehnički problem, kao i svaki drugi problem, potrebno je riješiti na što efikasniji i efektivniji način. S time u vidu, logično je za zaključiti da je jedno od rješenja takvog problema povećan stupanj automatizacije u SC (eng. *Supply Chain - SC*) materijala. Naime, SC jest sustav organizacija, ljudi, aktivnosti, informacija i resursa uključenih u kretanje materijala od dobavljača do konačnog potrošača.

2.3. Važnost logistike

Logistički menadžment mora osigurati efikasan i efektivan normalni i povratni tok materijala. Dakle logistički menadžment mora osigurati što veći protok (izlaz materijala) i što veću točnost tog protoka (što manje grešaka u logističkim procesima). Iz navedenog se može zaključiti da logistika ima velik udio u troškovima i u vremenu, ali istovremeno i značajan doprinos u zadovoljstvu kupaca. Prema [16] logistički troškovi u razvijenim državama iznose 10-20 % BDP-a, dok su ti troškovi u poduzećima na razini od 4-30 % od vrijednosti prihoda,

ovisno čime se poduzeće bavi i kolika je njegova potreba za logističkim procesima. 2010. godine logistički troškovi u Europi su iznosili 930 milijardi eura.

Troškovi su povezani sa razvijenosti zemlje u kojoj se logističke aktivnosti provode. U zemljama u razvoju su troškovi logistike znatno veći od razvijenih zemalja. To se moglo očekivati zbog načina na koji se logističke aktivnosti provode u slabije razvijenim zemljama pri čemu se misli na znatno manju razinu automatiziranosti, slabije razvijenu infrastrukturu, granu industrijske proizvodnje i slično.

Logistika poduzeću, ukoliko je dobro organizirana, može donijeti prednost pred konkurentima tako što smanjuje ukupne troškove i vrijeme transporta, a istovremeno povećava fleksibilnost, a ukoliko je loše organizirana može dovesti do povećanja troškova i količine zaliha koje predstavljaju zamrznuti kapital što konačno dovodi do pada konkurentnosti.

2.4. Uloga automatizacije u logistici

Prema [16] unutar područja logistike najčešće se automatizira rukovanje materijalom i transportom. Potrebno je reći da su nerijetko sustavi rukovanja materijalom integrirani sa transportnim sustavima. Tako su primjerice konvejeri koji su transportni sustavi često opremljeni sustavima za sortiranje materijala koji spadaju u sustave rukovanja materijalom.

2.4.1. Automatizirano rukovanje materijalom

Automatizirano rukovanje materijalom se odnosi na upravljanje tokovima materijala i informacija povezanih s materijalom na način da se primjenjuju automatska sredstva za rukovanje materijalom i elektronička oprema. Automatizacija takvih sustava značajno povećava produktivnost i učinkovitost sustava, smanjuje troškove i ljudske greške i ozljede istovremeno smanjujući i učestalost oštećenja robe. Nadalje, operacije rukovanja materijalom mogu biti repetitivne i monotone pa ljudska koncentracija brzo pada na takvim operacijama što je pogodno za korištenje robota ako to uvjeti dozvoljavaju. Još jedan primjer automatiziranosti rukovanja materijalom je automatiziranje skladišnih sustava kao što su primjerice regali pa tako postoje razne automatizirane izvedbe regala kao što su:

- visokoregalno automatizirano skladište,
- automatizirano skladište za male dijelove,

- poluautomatizirano skladište za komisioniranje,
- horizontalni karuseli,
- vertikalni karuseli,
- vertikalni podizni moduli.

Osnovna razlika između prva tri nabrojana sustava i zadnja tri je da su prva tri sustava statički sustavi skladištenja, a zadnja tri dinamički. Sa time se želi naglasiti činjenica da su prva tri sustava nepomična dok se dijelovi zadnja tri sustava pomiču. To je još jedan od načina na koji automatiziranost sustava povećava njegov protok, a time i produktivnost.

2.4.2. Automatizirani transportni sustavi

Prema [16], automatizirani transportni sustavi su transportni sustavi u kojima su sustavi transporta tako izvedeni da su tokovi materijala i tokovi informacija podržani računalom. Vozila koja se koriste u takvim sustavima pomoću računala znaju svoju određenu lokaciju pa ne može doći do njihovog lutanja unutar skladišta ili nekog drugog radnog prostora. Iz vlastitog radnog iskustva u skladišnom prostoru mi je poznato da se unutar skladišta relativno lako izgubiti tijekom traženja određenog artikla. Uporabom automatizacije taj slučaj je praktički sveden na nulu. Isto tako, nosivost vozila varira od vrlo visoke do relativno niske, pa se tako vozilo koje će se koristiti može odabrati ovisno o zadatku za koje će se vozilo koristiti što garantira određenu razinu fleksibilnosti sustava.

Osim povećanja fleksibilnosti i produktivnosti, upotreba automatiziranih transportnih sustava dovodi do povećanja točnosti narudžbi, smanjenja učestalosti oštećenja robe i ljudskih ozljeda, smanjenja ljudskih napora, povećanja ergonomije sustava, smanjenja trajanja radnog ciklusa. Međutim, sve se te prednosti trebaju platiti i to je jedan od nedostataka automatiziranih transportnih sustava. Isto tako ovisno o njihovoj primjeni i dodatnoj opremi značajno ovisi njihova cijena. Kao što je već spomenuto, kao dodatna oprema može se smatrati i sustav za sortiranje, pakiranje i slično koji spadaju u sustave rukovanja materijalom.

S duge strane, njihove dobre strane omogućavaju relativno brz povrat kapitala. Zbog navedenih razloga njihova primjena je poželjna u gotovo svakom slučaju što će se kasnije i prikazati sa raznim studijama slučaja u poglavlju 4.

U pravilu automatizacija transportnih sustava nema ograničenja u pogledu primjene vrste transportnih sredstava. Neki od primjera vozila koji se koriste pri automatizaciji transportnih sustava su:

- konvejeri (pužni, trakasti, valjkasti, člankasti, lančani i drugi),
- elevatori,
- AGV vozila.

3. AUTOMATSKI VOĐENA VOZILA (AGV)

3.1. Povijesni razvoj AGV vozila

Prvo AGV vozilo razvila je američka firma „*Barret Vehicle Systems*“ koja je 1953. godine proizvela vučno vozilo sa prikolicom koje je bilo navođeno žicom koja se nalazila iznad vozila za razliku od većine tadašnjih vozila koja su bila vođena tračnicama. Spomenuto vozilo prikazano je na slici 1. 1973. godine švedski proizvođač automobila Volvo, uveo je 280 automatski vođenih vozila u proces montaže automobila. 1976. godine nizozemska tvrtka „*Egemin Automation*“ počela je sa radom na razvoju automatskog sustava za kontrolu vozila bez vozača. Iz te tehnologije razvili su se novi tipovi AGV vozila koja su bila vođena sa nevidljivim UV markerima u podu što je zamijenilo dotadašnji sustav vođenja lancima. Prvi takav sustav korišten je za prijevoz pošte uredima u zgradi *Willis Tower* u Chicagu.

80-ih godina prošlog stoljeća počeli su se razvijati bežični sustavi navođenja. Primjer takvog sustava je navođenje laserom. Time je izbačena potreba za dugotrajnim i skupim radovima u podu koji su zaustavljali aktivnosti koje obavlja poduzeće. Velik poticaj razvoju AGV vozila bio je i ekstreman razvoj izvora energije kao i razvoj računalnih i IT (eng. *Information Technology* - IT) tehnologija. Taj razvoj je rezultirao povećanjem broja proizvođača AGV (eng. *Automated Guided Vehicles* - AGV) vozila koji je 70-ih godina bio vrlo malen, svega 6 proizvođača Americi dok je do 90-ih godina taj broj porastao na više od 40 proizvođača diljem svijeta.



Slika 1. Prvo AGV vozilo [17]

3.2. Općenito o AGV vozilima

Postoje razne definicije AGV vozila ovisno o autoru koji daje definiciju i vremenu u kojemu se definicija dala. Prema [16] AGV je vozilo s vlastitim pogonom, vlastitim izvorom energije te uređajima za prekrcaj, namijenjeno transportu materijala. Još jedna definicija iz [16] kaže da je AGV podno transportno vozilo bez vozača, računalno upravljano, najčešće na električni pogon s baterijama. Iz [15] slijedi da je AGV transportni sustav bez vozača koji se koristi za horizontalno kretanje materijala.

AGV vozila se sve češće koriste za potrebe skladišta i prijevoza materijala u skladištima i proizvodnim pogonima. U početku su se ona koristila isključivo za transport materijala, ali sa napretkom tehnologije razina njihove upotrebe se značajno i vrlo brzo proširila te sad uključuje:

- proizvodnju (papira, automobila, kućanskih aparata i drugih proizvoda),
- skladištenje i komisioniranje,
- farmaceutsku industriju,
- bolničku upotrebu,
- industriju hrane i pića,
- montažu i druge.

AGV sustavi omogućuju veliko povećanje fleksibilnosti, produktivnosti i automatizacije i to ih čini vrlo poželjnima. Nadalje, AGV sustavi, u odnosu na neke druge transportne sustave ne zahtijevaju posebnu konstrukciju za potporu pri prevoženju materijala. Jedan od brojnih dokaza njihove fleksibilnosti je njihova nosivost koja varira od vrlo malih masa oko 1 kilograma pa do vrlo velikih masa od preko 100 tona. Još jedan primjer fleksibilnosti je da se njima može upravljati ručno tako da ih vozi vozač ili automatski preko upravljačkog uređaja. Nadalje, mogućnost promjene njihova puta dodatno povećava njihovu fleksibilnost jer sama AGV vozila ne predstavljaju stalnu prepreku za puteve kao što ju primjerice predstavljaju konvejeri.

Kod AGV-ova produktivnost je povećana sa većim stupnjem automatizacije što AGV-ove čini prikladnima za poslove koje ljudi ne mogu obavljati ili za poslove koji se sastoje od repetitivnih procesa. Prema [16] AGV-ovi se općenito primjenjuju u situacijama sa srednjim transportnim intenzitetom, najčešće repetitivnog kretanja materijala, na udaljenostima većima od 50 metara, pogotovo u višesmjenskom radu.

Njihovom primjenom postižu se slijedeća poboljšanja:

- povećana je razina sigurnosti ljudi i smanjen je ljudski napor,
- smanjen je broj nesreća,
- smanjene su zalihe,
- smanjena je učestalost oštećenja robe,
- smanjena je cijena i trajanje radnih ciklusa čime je povećan protok.

Međutim, AGV-ovi imaju i svoje nedostatke kao što su:

- visoka cijena vozila i implementacije sustava,
- ograničena mobilnost u odnosu na ljude,
- postojanje mogućnosti nestanka struje i pada sustava s čime staje rad i dolazi do zastoja,
- nekompatibilnost vozila različitih proizvođača,
- povećani zahtjevi za održavanjem.

Kako bi se mogli koristiti AGV-ovi u sustavu, sustav mora biti pogodan za automatizirani transportni sustav. Takav sustav sadrži slijedeće komponente:

- transportna sredstva,
- transportne staze,
- upravljačke uređaje,
- ostalu opremu.

Danas se, pri dizajniranju tvornica i skladišta vodi računa o tome hoće li se AGV vozila koristiti i ukoliko hoće ta činjenica igra zapaženu ulogu u fazi dizajniranja.

3.3. Podjela AGV vozila

Postoje razne vrste AGV vozila sa raznim karakteristikama što omogućava njihovu široku primjenu. Osnovna podjela AGV vozila je na:

- vučna vozila,
- vozila jediničnih tereta,
- paletna vozila,

- viličari,
- vozila posebne namjene.

U nastavku će se reći nešto više o svakoj grupi vozila.

3.3.1. Vučna vozila

Prva AGV vozila su bila vučna vozila (eng. *towing AGV* - vučni AGV). Ta vrsta AGV vozila je namijenjena za vuču prikolica ili kolica. Nosivost vučnih AGV vozila se kreće od 4 tone do 25 tona. Ova vozila mogu istovremeno vući više prikolica pa se većinom koriste za transport većih količina tereta. Često se primjenjuju kod transporta sa prijamnom i predajnom zonom. Ovaj tip AGV vozila je i dalje najpopularniji, iako je najstariji. Najčešće služe za punjenje i pražnjenje vozila vanjskog transporta kao što su primjerice zrakoplovi. Na slikama 2. i 3. je prikazan primjer vučnog AGV vozila



Slika 2. Vučno AGV vozilo [17]

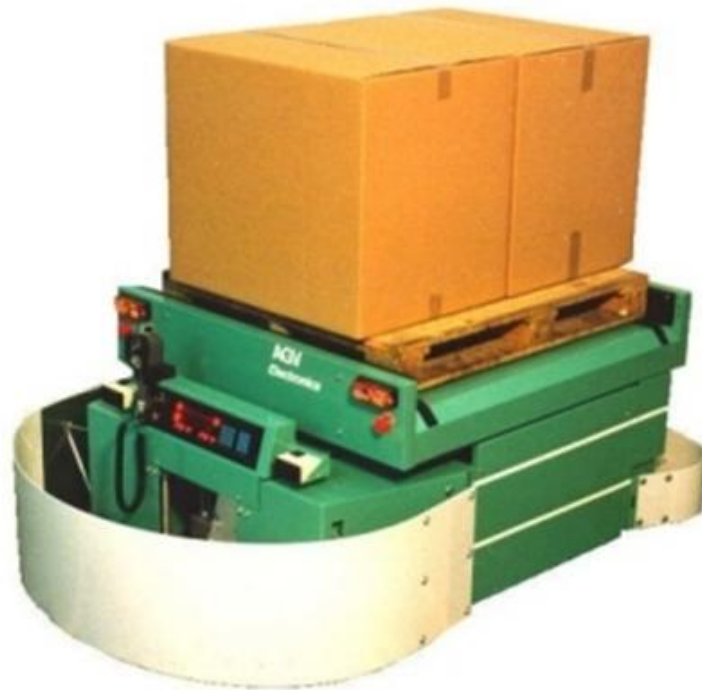


Slika 3. Vučno AGV vozilo (s kolicima) [13]

3.3.2. Vozila jediničnih tereta

Prema [17] vozila jediničnih tereta (eng. *unit load AGV* - AGV vozila jediničnih tereta) opremljena su platformama koje omogućavaju transport jediničnih tereta (kao što su pojedinačni komadi, kutije, palete, sanduci i slično), a najčešće i automatski pretovar (pomoću primjerice podiznog stola, lančanog, trakastog ili valjčanog konvejera, teleskopskih vilica i slično). Vozila jediničnih tereta se još nazivaju platformska vozila. Ova vrsta AGV vozila se primjenjuje kod transporta na kraće udaljenosti s visokim protokom. Zbog sposobnosti automatskog povezivanja s konvejerima, radnim stanicama, raznim strojevima i AS/RS (eng. *Automated Storage and Retrieval System* - Automatizirani skladišni sustav) sustavima često su integrirani u automatizirani proizvodni ili skladišni sustav.

Na slijedećoj stranici, na slici 4. je prikazano AGV vozilo jediničnih tereta u kojemu se prevozi paleta na kojoj su kutije. Ta paleta s kutijama predstavlja jedinični teret.



Slika 4. AGV vozilo jediničnih tereta (za palete) [17]

Na slici 5. je prikazano AGV vozilo jediničnih tereta u kojemu jedinični teret predstavlja čelični lim.



Slika 5. AGV vozilo jediničnih tereta (za čelične limove) [13]

3.3.3. Paletna vozila

Paletna AGV vozila (eng. *pallet truck AGV* - Paletna AGV vozila) konstruirana su za prijevoz paletiziranog materijala pri čemu se utovar paleta provodi s poda, a istovar na pod te se na taj način eliminira potreba za fiksnim lokacijama za odlaganje transportiranih jedinica. Ovakva primjena AGV vozila je vrlo česta zbog repetitivnih pokreta potrebnih za prijevoz paleta u proizvodnji i distribucijskim poslovima. Prema [16], utovar paletnih AGV vozila može biti proveden na dva načina:

- automatizirano (nužno je točno pozicioniranje tereta),
- manualno (uz operatera koji rukuje vozilom prilikom utovara i/ili istovara tereta).

Ispod teksta, na slici 6. prikazano je paletno vozilo. Na slici je vidljivo da je vozilo moguće ručno upravljati pomoću joysticka.



Slika 6. Paletno AGV vozilo [16]

3.3.4. Viličari

Automatski vođeni viličari (eng. *fork truck AGV* - AGV viličar) najnoviji su tip AGV vozila koji su, po svojem izgledu i funkciji slični klasičnim izvedbama viličara. Prema [16], ovaj tip AGV vozila omogućuje transport i pretovar paletiziranih jediničnih tereta na razini poda i na višim razinama, pa čak i na regalima. Međutim, iz [2] je vidljivo da njihova primjena nije ograničena samo na paletizirane materijale. AGV viličari se mogu koristiti i za transport nepaletiziranih materijala ukoliko to njihove vilice omogućavaju pa se tako mogu primjenjivati primjerice i za transport teških rola papira u tiskarskoj industriji.

Primjena AGV viličara je u sustavima u kojima se zahtjeva automatski utovar i istovar, a gdje razina pretovara nije konstantna. Cijene ovakvih AGV vozila su visoke pa se njihova opravdanost s obzirom na cijenu nalazi u sustavima u kojima je potrebna veća automatiziranost i fleksibilnost u povezivanju s ostalim podsustavima. Na slici 7. je prikazan AGV viličar koji prevozi paletiziranu robu.



Slika 7. AGV viličar (paletizirana roba) [16]

Na slijedećoj stranici, na slici 8. je vidljiv automatski vođeni viličar koji prevozi tešku rolu papira.



Slika 8. AGV viličar (rola papira) [16]

3.3.5. Vozila posebne namjene

U ovu vrstu AGV vozila spadaju vozila koja se koriste za transport izrazito teške robe, robe nepravilnog oblika i slično. Kao AGV vozila posebne namjene mogu se spomenuti vozila za prijevoz bubnjeva, prijevoz kontejnera u morskim lukama, automatski vođena vozila za montažu u automobilskoj industriji, prijevoz bolničkih kreveta u bolnicama, prijevoz teških papirnatih rola u industriji papira i slično. Na slici 9. je prikazano AGV vozilo koje služi za transport dijelova koji su u procesu montaže u automobilskoj industriji.



Slika 9. AGV vozilo za transport u montaži [16]

Na slici 10. je dan prikaz AGV vozila koje se koristi pri prijevozu bolničkih kreveta u bolnicama. U tu svrhu se AGV vozila koriste relativno rijetko.



Slika 10. AGV vozilo za transport u bolnicama [16]

Prema [3] se papirnate role mogu prevoziti pomoću posebnih zahvatnih sredstava koja su polukružnog oblika i koja osiguravaju prijevoz tako da se role papira stisnu određenom silom koja osigurava tlak obodu rola koji je dovoljan za neometan i siguran transport i dizanje papirnatih rola, a istovremeno je dovoljno malen da se ne ošteti roba. Na slici 11. je prikazana jedna izvedba takvog AGV vozila.



Slika 11. AGV vozilo za transport papirnatih rola [3]

3.4. Funkcije AGV sustava

Da AGV sustav adekvatno funkcionira, odnosno da ne dolazi do kolizija, da se bez grešaka izvrši pretovar, da ne dođe do oštećivanja robe i do drugih potencijalnih grešaka i zastoja potrebno je da AGV sustav posjeduje određene osnovne funkcije i da se te funkcije izvršavaju na pravilan način. Spomenute osnovne funkcije prema [16] su:

- vođenje (eng. *Guidance*),
- usmjeravanje (eng. *Routing*),
- regulacija prometa (eng. *Traffic Management*),
- pretovar (eng. *Load Transfer*),
- upravljanje sustavom (eng. *System Management*).

U nastavku rada će se detaljnije pojasniti svaka od osnovnih funkcija.

3.4.1. Vođenje AGV vozila

Kao što je već rečeno AGV vozila su vozila kojima upravlja računalo, dakle vozila bez vozača. Iz toga slijedi pitanje kako AGV-ovi izbjegavaju sudare, fiksne i trenutne prepreke u svom kretanju. Za izbjegavanje nabrojanog zadužena je funkcija vođenja AGV vozila. Prema [17] vođenje AGV vozila može biti izvedeno na dva načina i to su:

- vođenje fiksnim putevima,
- vođenje slobodnim putevima.

Kod vođenja AGV vozila bitno je naglasiti da postoje dvije osnovne značajke pomoću kojih se postiže uspješno vođenje vozila. To su regulacija i navigacija. Postupak regulacije podrazumijeva ispravljanje orijentacije i pozicije vozila, dok postupak navigacije podrazumijeva određivanje pozicije i orijentacije vozila.

3.4.1.1. Vođenje fiksnim putevima

Kod ovakvog načina vođenja putanje su neprekinute i fiksne, ali se u nekim situacijama mogu mijenjati, te su jasno i jednoznačno naznačene na podu.

Vođenje fiksnim putevima dijeli se na slijedeće načine vođenja:

- mehaničko vođenje,
- indukcijsko vođenje (vođenje žicom),
- optičko vođenje (vođenje trakom).

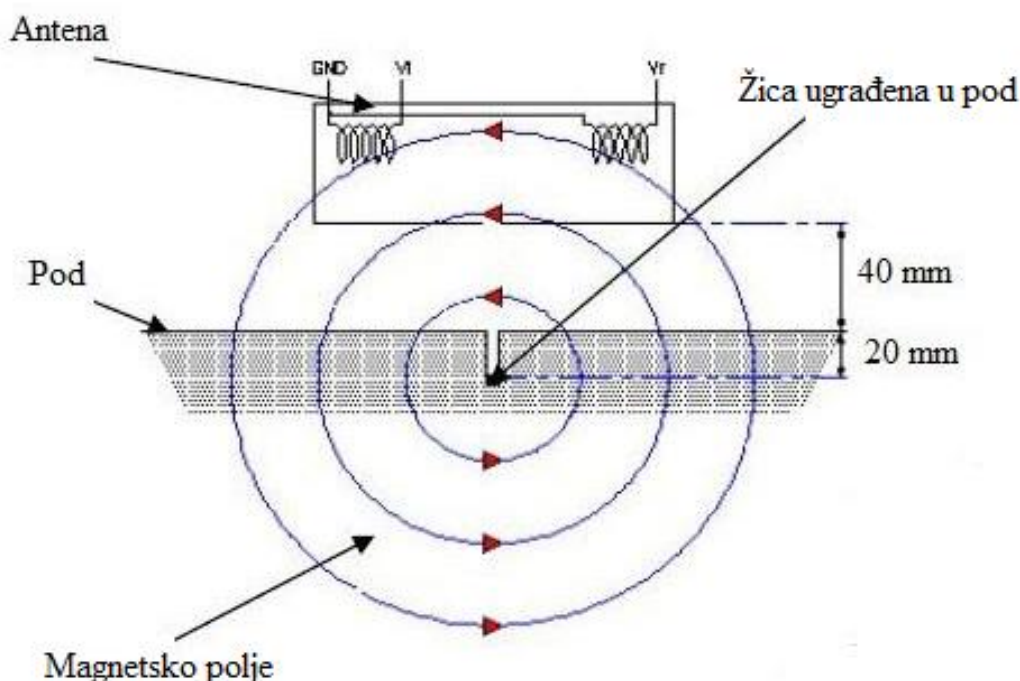
Mehaničko vođenje je najstariji i najprimitivniji tip vođenja fiksnim putevima koji se u današnje vrijeme rijetko koristi za vođenje AGV vozila. Ovaj način vođenja se temelji na tome da u podu postoje utori kojima se giba AGV vozilo ili da na podu postoje tračnice po kojima se AGV vozilo giba. AGV vozila vođena ovakvim načinom moraju imati kotače koji se valjaju po unaprijed definiranim stazama. Ovakav način vođenja može izazvati razne probleme i vrlo je nefleksibilan. Jedan od problema je primjerice taj da dolazi do zastoja čim se neko vozilo pokvari jer druga vozila ne mogu proći tračnicama zbog vozila koje je u kvaru. Drugi problem je taj da ukoliko dođe do širenja postrojenja ili nekog drugog razloga za mijenjanjem puta kretanja vozila, treba utrošiti puno vremena kako bi se promijenili putevi kretanja vozila. Uz vremenske troškove visoki su i investicijski troškovi. Ovakvim vođenjem ograničena je pokretljivost vozila jer se ono u principu može samo kretati naprijed nazad. Prikaz mehaničkog vođenja dan je na slici 12.



Slika 12. Mehanički način vođenja

Indukcijsko vođenje je vrsta vođenja fiksnim putevima koja je u prošlosti bila najprimjenjivana, ali i danas je često u primjeni. Indukcijsko vođenje se, kao i mehaničko, također koristi kod regulacije kretanja AGV vozila po unaprijed definiranoj stazi. Jedna od prednosti ovakve izvedbe vođenja je jednostavno proširivanje i dodavanje transportnih puteva i neovisnost izvedbe o broju vozila u smislu da broj vozila nema nikakvih ograničenja na izvedbu transportnih puteva. Još jedna prednost je ta što indukcijsko vođenje ne zahtjeva visoke građevinske troškove i omogućava pristup vozila mjestu njegova posluživanja.

Prema [15] metoda se temelji na vodiču ugrađenom u pod i upravljačkom uređaju na vozilu. Prolaskom električne struje kroz vodič stvara se magnetsko polje koje u zavojnicama antene (koja predstavlja senzor) inducira napon. Kada se vozilo nalazi točno iznad vodiča napon u obje zavojnice je jednak i tada se smjer vozila ne mijenja. Kada dolazi do promjene smjera vozila, tada je vodič bliže jednoj zavojnici u kojoj se tada inducira veći napon. Ta razlika napona u zavojnicama antene je glavni parametar za regulaciju smjera kretanja AGV vozila. Tada se signal šalje do upravljačkog dijela AGV vozila koji vozilo navodi na putanju sve dok inducirani napon u obje zavojnice ne bude jednak. Opisani princip rada, sa naznačenim dijelovima sustava shematski je prikazan na slici 13.



Slika 13. Indukcijski način vođenja [16]

Optičko vođenje se razvilo 1970-ih godina i uglavnom se koristi u neindustrijskom okruženju. Ova vrsta vođenja se ostvaruje ucrtanom ili zalijepljenom trakom na podu i uređajem na vozilu koji detektira kontrast između poda i trake.

Prema [16], optičko vođenje se dijeli na:

- kemijsko vođenje (traka je nevidljiva, a vozilo koristi UV svjetlo za detekciju trake),
- magnetsko vođenje (koristi se magnetska traka).

Prema [15], metoda se temelji na tome da je vozilo opremljeno sa dva senzora koja omogućavaju praćenje puta pomoću trake, neovisno o tome je li ona magnetska ili fotosenzitivna. Ti senzori se nalaze ispod vozila, a regulacija se temelji na određivanju kontrasta između trake i poda. Na traci se mogu nalaziti i podaci o brzini kretanja, zaustavljanju ili čekanju.

Iako ova metoda vođenja AGV vozila ima primamljive prednosti poput fleksibilnosti jer se putevi jednostavno mijenjaju lijepljenjem trake, jeftinog održavanja jer je potrebno samo zamijeniti traku i manjih fiksnih troškova jer metoda ne zahtjeva napajanje (kao primjerice indukcijско vođenje) nije našla širu primjenu u praksi zbog visoke potrebe za održavanjem čistoće poda kako bi uređaj mogao jedinstveno definirati put koji traka pokazuje i moguće dodatne informacije na traci. Zbog tih zahtjeva za čistoćom se ova metoda uglavnom koristi u neindustrijskom okruženju kako je već rečeno. Na slici 14. je prikazano AGV vozilo vođeno optički.



Slika 14. Optički način vođenja [18]

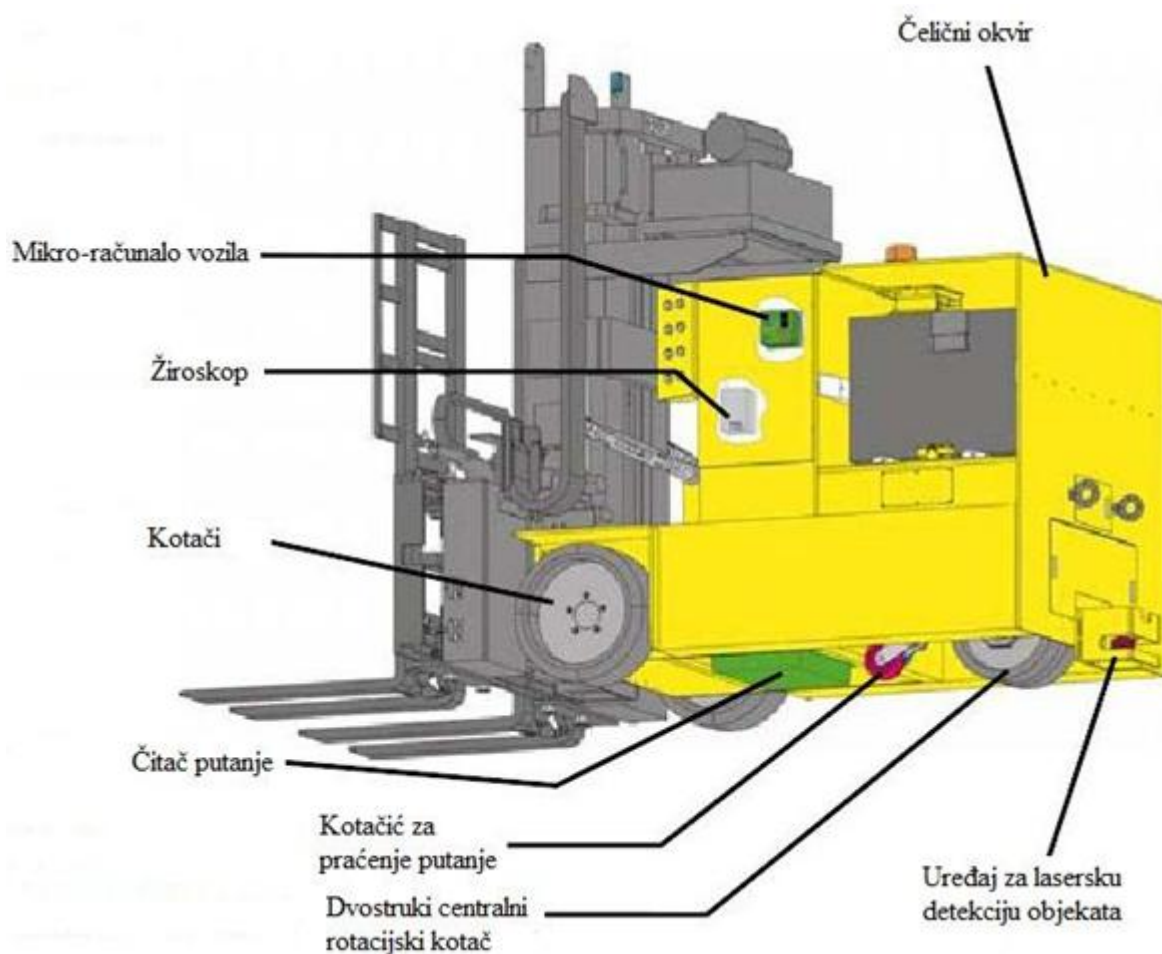
Osim nabrojanih načina vođenja fiksnim putevima mogu se koristiti i njihove kombinacije.

3.4.1.2. Vođenje slobodnim putevima

Kod vođenja sa slobodnim putevima vozilo prati nevidljivu definiranu stazu. U ovim metodama navigaciju vozila obavlja programska podrška (eng. *software*). Neki od načina vođenja slobodnim putevima su:

- inercijalno vođenje (vođenje žiroskopom),
- lasersko vođenje.

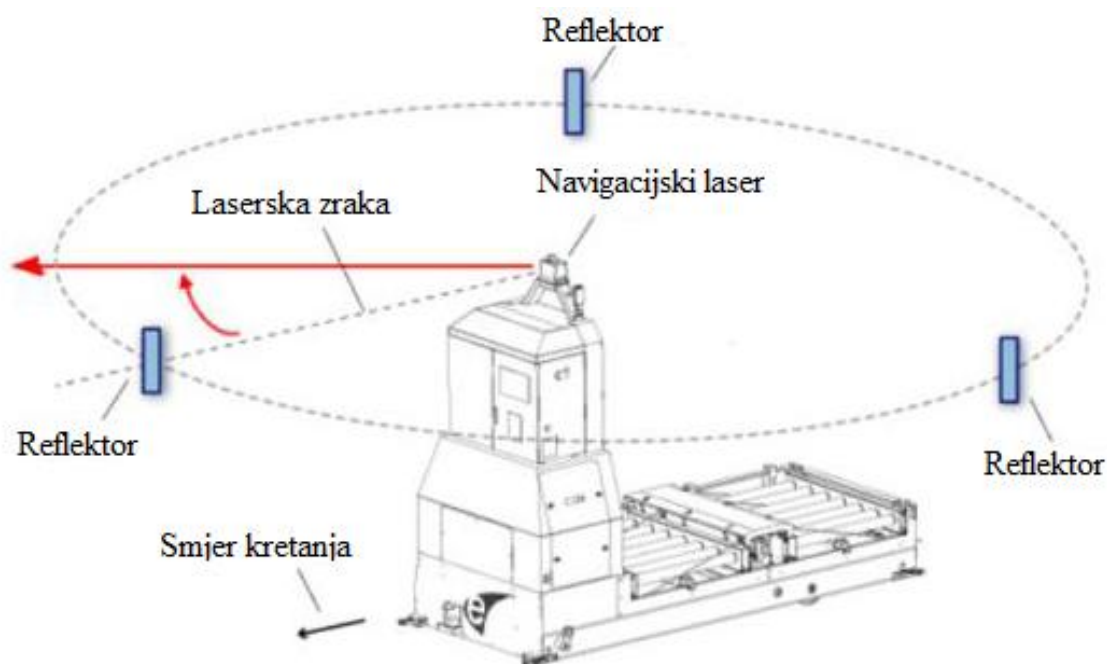
Inercijalno vođenje se temelji na upotrebi žiroskopa koji se nalazi na AGV vozilu. Taj žiroskop, prema [20] može registrirati promjene nagiba uzrokovane smjerom kretanja vozila. Svako vozilo u svojoj memoriji ima CAD (eng. *Computer Aided Design* - CAD) datoteku u kojoj se nalazi prostorni raspored sustava u kojemu se vozilo kreće. Vozilo određuje svoj smjer uspoređujući informacije dobivene žiroskopom i odometrijskim sensorima sa rasporedom u CAD datoteci i na temelju te usporedbe izvodi potrebne promjene smjera. U ovoj metodi se koriste oznake na podu, najčešće magneti, koje su postavljene periodički i služe za ostvarivanje potrebne točnosti vođenja odnosno za korekciju pozicije vozila. Prikaz AGV viličara inercijski vođenog i njegovih osnovnih dijelova je na slici 15. na slijedećoj stranici.



Slika 15. Inercijalno vođeni AGV viličar [18]

Lasersko vođenje je način vođenja u kojemu je vozilo opremljeno rotirajućim uređajem koji emitira lasersku zraku (odašiljač) i senzorom koji registrira lasersku zraku (prijamnik). Odašiljač i prijamnik se još nazivaju zajedničkim imenom laserska kupola. Laserska kupola je smještena na samom vozilu. Prema [20], uređaj emitira lasersku zraku, a skener skenira okolinu vozila tražeći pozicije od kojih se reflektiraju laserske zrake, odnosno traži reflektore koji mogu biti postavljeni na zidovima, regalima, stupovima i slično. Reflektori su unaprijed postavljeni na svoje lokacije. Laserske zrake reflektirane od reflektora se mjere relativno u odnosu na poziciju vozila i na taj način vozilo dobiva informaciju o njegovoj trenutačnoj lokaciji. Dobivena lokacija se uspoređuje sa CAD datotekom (koja se nalazi u memoriji vozila) u kojoj se nalazi raspored elemenata na radnoj lokaciji. Skretanje vozila se izvršava ovisno o dobivenim informacijama. Pema [15] vozilu je najčešće potrebno dvije do četiri refleksije kako bi moglo pravilima geometrije izračunati svoj položaj.

Laseri mogu biti modulirani i pulsirajući. Nedostatak ove metode je što može doći do ometanja laserske zrake ukoliko se ispred reflektora nađe nekakva prepreka. Osnovna prednost ove metode je visoka fleksibilnost i jednostavna instalacija. Na slici 16. je prikazano AGV vozilo vođeno laserskim načinom. Na slici je također vidljiv prikaz rada laserskog sustava vođenja.



Slika 16. Lasersko vođenje [18]

Prema [14] slijedeći veliki korak u laserskom navođenju bio bi postizanje neovisnosti laserskog vođenja o reflektorima, odnosno izbacivanje reflektora kao nužnih uvjeta za korištenje sustava laserskog vođenja.

3.4.1.3. Moderne tehnologije vođenja

U novije vrijeme se razvijaju metode vođenja slobodnim putevima. U dostupnoj literaturi se spominju četiri novije tehnologije vođenja i to su:

- vizijsko vođenje,
- vođenje GSP-om (eng. *Global Positioning System* - GPS),
- vođenje ultrazvukom,
- sustav praćenja ljudi.

Vizijsko vođenje je novija tehnologija vođenja koja se temelji na upotrebi kamera. Kamere se koriste kako bi se snimile značajke koje se pojavljuju tijekom puta kojeg prolazi vozilo. Pomoću tih snimljenih značajki vozilo može repetitivno izvoditi istu putanju. Prema [13], glavni navigacijski senzori su posebno dizajnirane stereo-kamere, a u opremu još spadaju i sustavi za procesuiranje slike. Za razliku od većine drugih vrsta vođenja, u vizijskom sustavu se sva oprema nalazi na vozilu.

AGV vozila koja koriste vizijsku navigaciju koriste slike iz okruženja kako bi napravila 3D kartu što im omogućava praćenje rute bez ikakve ljudske pomoći ili pomoći dodatne opreme ili navigacijskih sustava. Velika prednost vizijskog vođenja je ta što utjecaj oblika okoline nije bitan. To je posljedica toga što je sva potrebna oprema instalirana na samom vozilu, dakle nisu potrebni reflektori, magneti i slična oprema koji zahtijevaju određene preduvjete okoline kako bi se mogli ugraditi. Još jedna velika prednost vizijskog vođenja je mogućnost dinamičkog obilaženja prepreka pošto se one praktički u realnom vremenu prikazuju na kameri.

Glavni nedostatak vizijskog vođenja, a ujedno i glavni problem pri njegovom razvoju je zaključivanje o trenutnoj poziciji samo na temelju slika dobivenih na kameri ugrađenoj na vozilu. Iz [14] je vidljivo da se za rješavanje ovog problema koriste složeni algoritmi razvijeni kako bi se iz snimljenih slika mogli izvući podaci koji su specifični za određenu lokaciju. Još jedno od rješenja je da se kombinacijom različitih procedura stvara 3D karta koja se tada uspoređuje sa snimljenim slikama.

Vođenje GPS-om nije upotrebljivo u zatvorenom prostoru jer zgrade i drugi objekti stvaraju smetnje. Točnost sustava ovisi o kvaliteti GPS prijemnika. U [15] je navedeno da se lociranje vozila zasniva na određivanju prostornih koordinata vozila prema broju raspoloživih satelita u orbiti, te da se lokacija vozila određuje prema najmanje tri satelita.

U određenim slučajevima AGV vozila se mogu koristiti i na otvorenom. Jedan od takvih primjera je u brodskim lukama. Tako je prva brodska luka koja je koristila AGV vozilo bila Rotterdamska brodska luka koja je još 1993. godine upotrijebila prvo hidrauličko AGV vozilo pogonjeno dizel motorom. U luci se AGV vozila koriste za transport kontejnera. Logično bi bilo za pretpostaviti da su ta vozila koristila GPS navođenje. Međutim, prema [23], to nije bilo moguće jer su vozila morala konstantno prolaziti ispod dizalica što bi uzrokovalo sjene i refleksiju.

Optičko vođenje nije bilo moguće rješenje zbog vremenskih uvjeta, dok indukcijско nije bilo moguće zbog određenih sekcija betona. Na kraju je razvijen način vođenja pomoću transpondera. Transponder je uređaj koji registrira radio signal i automatski emitira drugačiji signal. Tako je svako vozilo u Rotterdamskoj luci opremljeno transponderom.

Iz napisanog je vidljivo da postoje brojni problemi sa GPS vođenjem AGV vozila koji su nekada nerješivi zbog same tehnologije. Sustav vođenja GPS-om nema širu praktičnu uporabu kod AGV sustava pošto se oni najčešće koriste u zatvorenom prostoru. Međutim, procjenjuje se da će u budućnosti primjena ovog sustava pratiti razvoj i poboljšanja GPS tehnologije.

Vođenje ultrazvukom omogućava navigaciju u odnosu na vertikalne površine. Sustav je složen i nedovoljno razvijen pa još nema komercijalnu primjenu.

Sustav praćenja ljudi jest način vođenja AGV vozila u kojemu ona prate određenog čovjeka. AGV vozilo koje prati čovjeka može definirati čovjeka kojeg treba pratiti računalnim vidom, odnosno nečim što računalu određenog čovjeka (kojeg treba pratiti) čini specifičnim. Očita primjena ovakvih AGV vozila i ovakvog načina vođenja je u komisioniranju. Zbog toga što vozilo automatski prati čovjeka, čovjeku je omogućeno da bude koncentriran samo na zadatak koji treba izvršiti. Nakon što je komisioniranje završeno, vozilo može, bez ljudske pomoći, transportirati robu na pretovarno mjesto ili na neko drugo mjesto ovisno o potrebama.

Iz svega nabrojanoga može se zaključiti da se na taj način povećava produktivnost zaposlenika, smanjuje broj krivo odrađenih narudžbi i omogućuje rad zaposlenika na profitabilnijim aktivnostima ili aktivnostima koje dodatnu podižu vrijednost robe.

Prema [14], nakon što zaposlenik potpuno napuni AGV vozilo, to vozilo odlazi na predviđeno mjesto, a na lokaciji slijedeće narudžbe zaposlenika već čeka drugo AGV vozilo za dotičnu narudžbu. Isto tako, kod preuzimanja narudžbe, ukoliko se radi o područjima nižih troškova narudžbe mogu biti napisane papirnato pa na mjesto izuzimanja dolaze u AGV-ovima. Ukoliko postoji računalni sustav, za zaprimanje narudžbi je prikladnije korištenje slušalica i mikrofona. Na slici 17. je prikazan sustav vođenja u kojemu AGV vozila prate ljude.



Slika 17. Sustav praćenja ljudi [14]

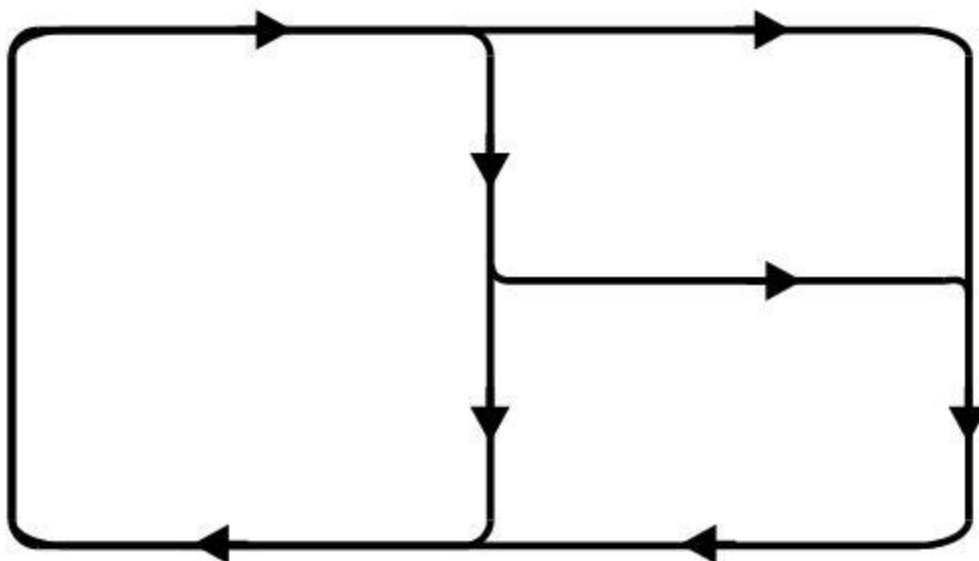
Kao što je već rečeno glavni problem je jedinstvena identifikacija čovjeka koje vozilo mora pratiti. To je moguće ostvariti korištenjem digitalne kamere i programske podrške razvijene upravo za obavljanje te aktivnosti.

3.4.2. Usmjeravanje AGV vozila

Funkcija usmjeravanja vozila se bavi odabirom optimalne rute do određene destinacije vozila. Usmjeravanje se koristi kada se vozilo nalazi na točki puta u kojemu dolazi do njegovog račvanja te tada vozilo odabire put kojim će se kretati do odredišta. Koriste se dvije metode kojima se vrši usmjeravanje vozila. Te dvije metode su:

- metoda izbora pomoću frekvencije,
- metoda izbora pomoću prekidača.

Obje metode će biti objašnjene na primjeru puteva sa slike 18. na slijedećoj stranici.

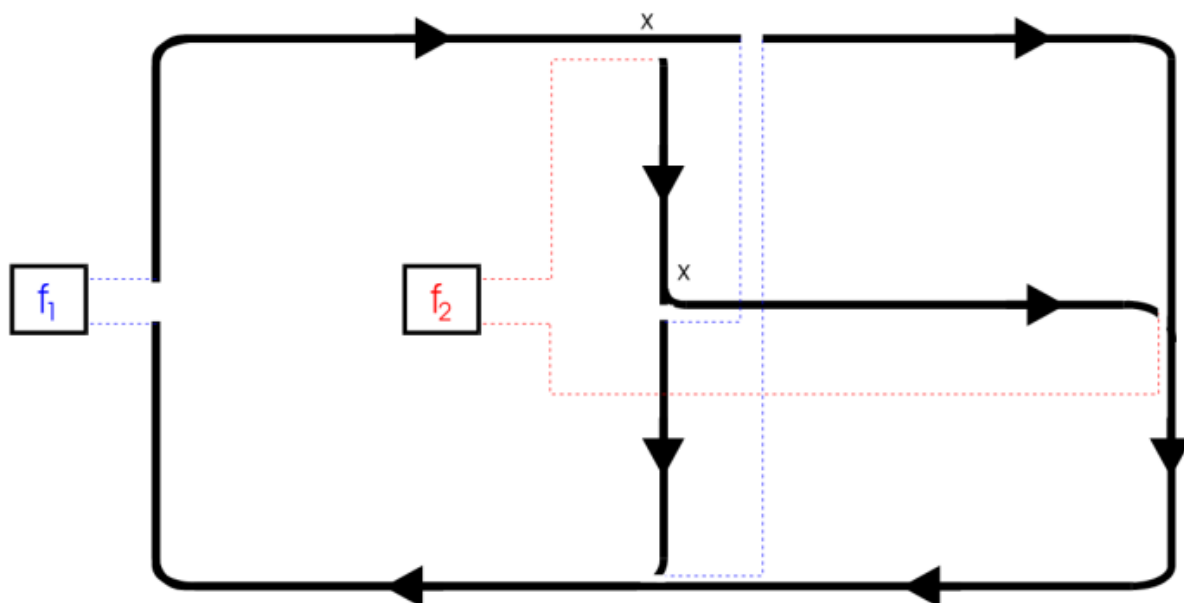


Slika 18. Prikaz rute vozila [16]

3.4.2.1. Metoda izbora pomoću frekvencije

Prema [16], vozilo nakon dolaska do točke na kojoj odlučuje o odabiru rute odabire frekvenciju koju će pratiti i time se odabire smjer kretanja, odnosno izvršava usmjeravanje. Uređaj kojim se detektira frekvencija je pasivan uređaj (najčešće magnet) koji se nalazi na samom AGV vozilu.

Na slici 19., na slijedećoj stranici se nalazi prikaz koji opisuje metodu izbora pomoću frekvencije. Na slici točke označene sa x , predstavljaju mjesta na kojima dolazi do odlučivanja o ruti, odnosno o skretanju. Na slici su također prikazane dvije frekvencije, f_1 plavom bojom i f_2 crvenom bojom. Na jednoj ruti se nalazi frekvencija f_1 , a na drugoj frekvencija f_2 . Kada vozilo dođe do točke x tada ovisno o frekvenciji koju mora pratiti određuje rutu kojom će se kretati.

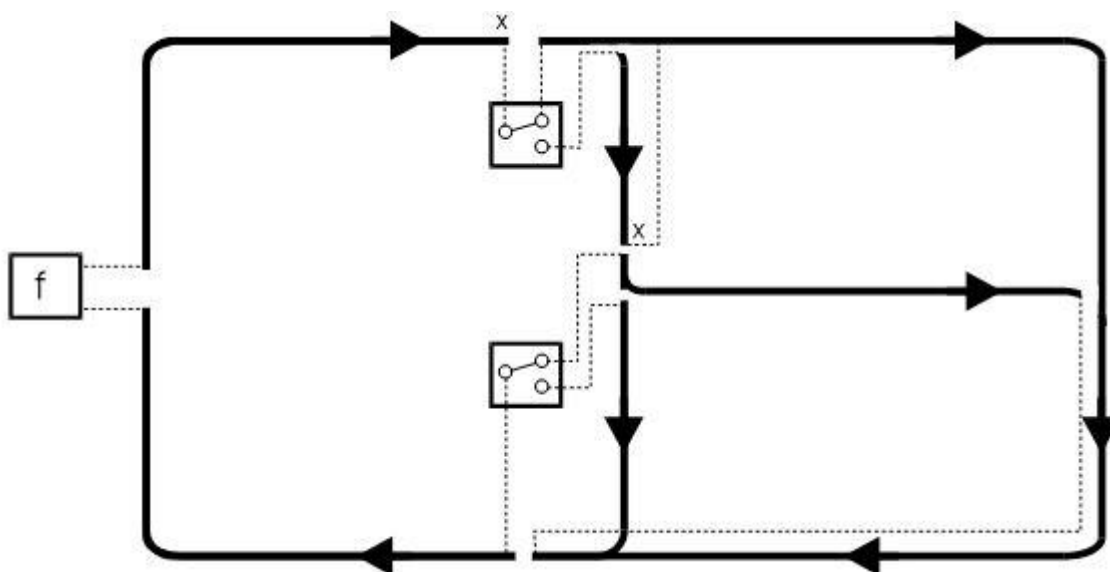


Slika 19. Metoda izbora pomoću frekvencije [16]

Frekvencija se u ovoj metodi emitira iz poda. U memoriji AGV vozila se nalazi podatak o tome koju frekvenciju vozilo treba pratiti kako bi se odabrao optimalan put.

3.4.2.2. Metoda izbora pomoću prekidača

U ovom načinu odabira rute vozilo nema mogućnost odabira puta već se put odabire pomoću prekidača. Vozilo, prema [16] u ovoj metodi dolazi do točke odlučivanja i daje nalog prekidaču koji jednu stazu uključuje, a drugu stazu isključuje. Odabir puta je unaprijed određen. Vozilo na taj način može pratiti samo jednu stazu i time je obavljeno usmjeravanje, odnosno odabir rute. Nedostatak ove metode je što je potreban tim programera kako bi se AGV kretao na željeni način. To može dovesti do povećanja troškova. Na slici 20., na slijedećoj stranici prikazan je odabir rute metodom izbora pomoću prekidača.



Slika 20. Metoda izbora pomoću prekidača [16]

3.4.3. Regulacija prometa AGV vozila

Funkcija regulacije upravljanja prometom AGV vozila je funkcija koja osigurava da ne dođe do kolizija vozila. Ova funkcija dobiva na važnosti s porastom broja AGV vozila u prostoru u kojemu se ona koriste. Istovremeno se sa izbjegavanjem sudara AGV vozila teži osigurati i najveći protok AGV vozila, a samim time i protok materijala. U ovom dijelu 3. poglavlja će se objasniti principi regulacije prometa i dati osnovni tehnički elementi koji služe za osiguranje vozila od sudara. Tri su principa regulacije prometa i to su:

- kontrola zona,
- senzorska kontrola,
- kombinirana kontrola.

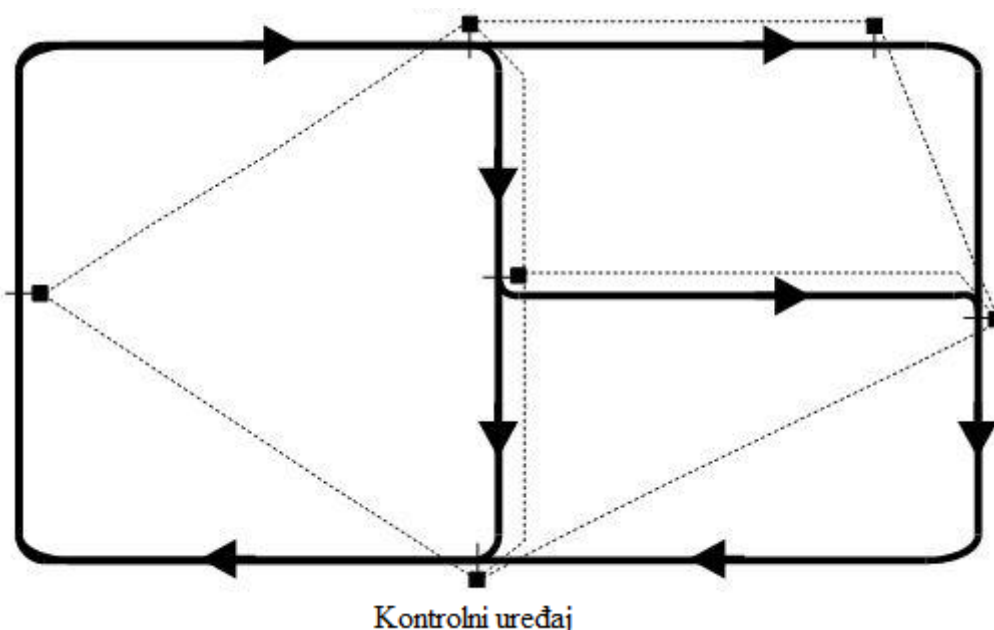
3.4.3.1. Kontrola zona

Kontrola zona je najjednostavnije izvediv način regulacije prometa koji se lagano proširi i zbog toga je najrašireniji princip koji se koristi u ovu svrhu. Princip kontrole zona se temelji na tome da se putevi podijele u zone i da određenu zonu može zauzeti samo jedno vozilo, dakle drugo vozilo koje treba ući u tu zonu se treba zaustaviti (najčešće ispred zone) i pričekati da vozilo koje je unutar zone obavi svoj posao i izađe iz zone. Ovaj princip je s obzirom na troškove efikasna metoda za regulaciju prometa.

Ovaj princip se prema [16] dijeli na tri metode kojima se ostvaruje i to su:

- metoda distribuirane kontrole zona
- metoda centralne kontrole zona
- metoda kontrole zona vozilima

Metoda distribuirane kontrole zona koristi individualnu kontrolu svake zone, povezane međusobno samo sekvencijalno. Uređaj kontrole zone povezan je s kočnicom pomoću koje se određeno vozilo zaustavlja pri ulasku u zonu ukoliko se u toj zoni već nalazi neko drugo vozilo. Kada to vozilo koje je već u zoni napusti zonu i nastavi vožnju u sljedećoj zoni, tada uređaj kontrole sljedeće zone šalje signal uređaju kontrole prethodne zone da isključi kočnicu i pusti vozilo u zonu. Shematski prikaz ove metode dan je na slici 21. ispod teksta. Ova metoda zahtijeva više kontrolnih uređaja pa je zato pogodnija za manje sustave. Troškovi ugradnje ove metode ovise o broju zona je o tome broju ovisi i broj kontrolnih uređaja.

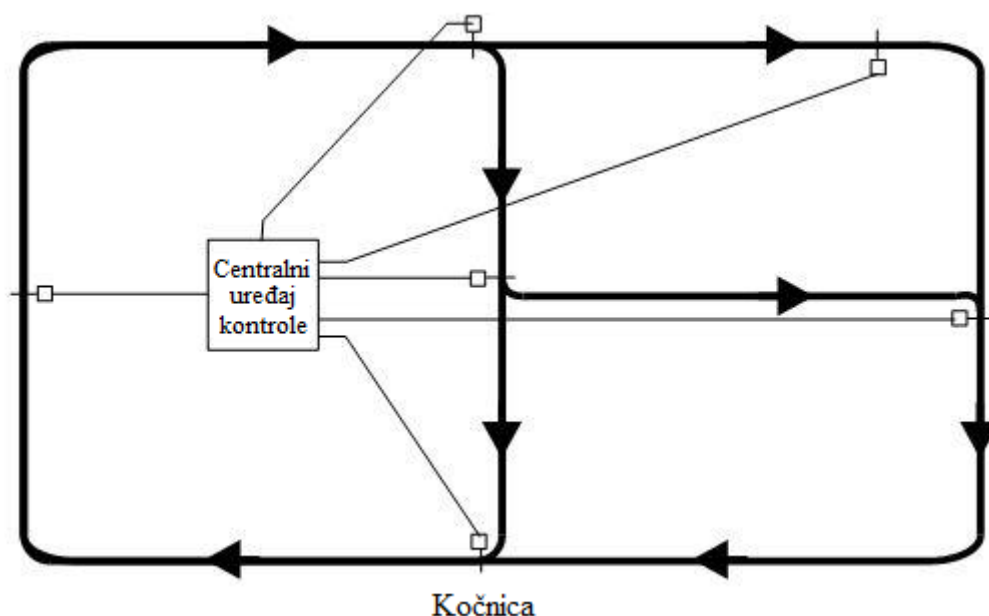


Slika 21. Metoda distribuirane kontrole [16]

Metoda centralne kontrole zona koristi isti princip kao i metoda distribuirane kontrole, ali svim kočnicama upravlja centralni kontroler, dakle nema svaka zona svoj kontrolni uređaj već sve zone dijele isti kontrolni uređaj koji kontrolira cijelu mrežu puteva.

Očit nedostatak ove metode je taj da sa kvarom centralnog kontrolnog uređaja dolazi do kvara cijelog sustava regulacije prometa te da na taj način dolazi do zastoja dok se kvar ne otkloni. Ova metoda je pogodna za korištenje u većim sustavima.

Kada vozilo dođe do ulaza u zonu, odnosno do kontrolne točke tada ono javlja centralnom kontrolnom uređaju da je došlo do zone, te ukoliko je slijedeća zona slobodna centralni kontrolni uređaj javlja vozilu da može ući u zonu, a ukoliko je zona zauzeta uređaj vozilu javlja da čeka. Opisana metoda shematski je prikazana na slici 22.

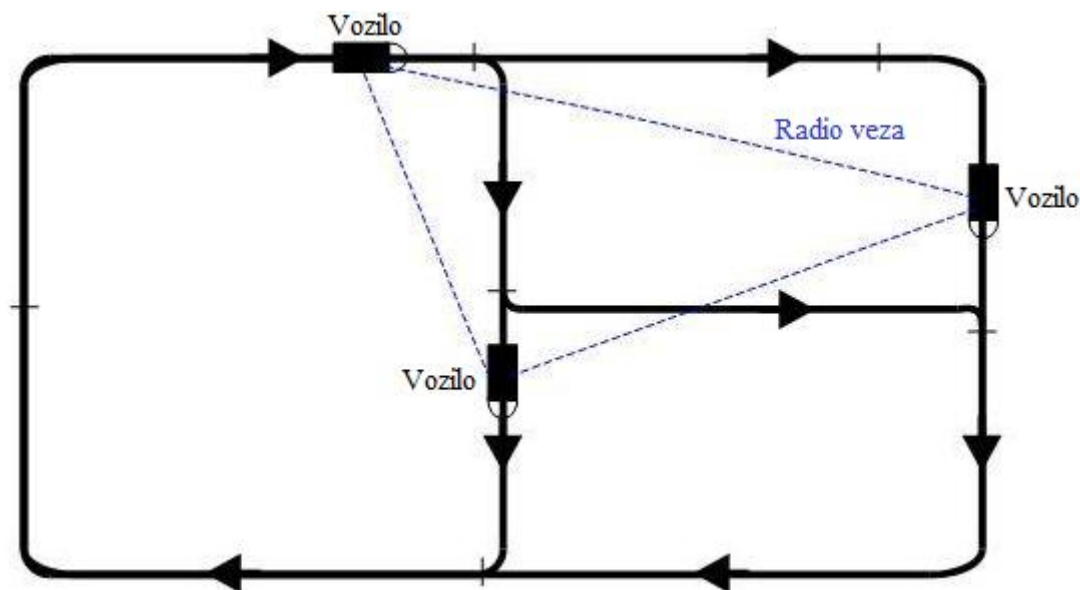


Slika 22. Metoda centralne kontrole [16]

Metoda kontrole zona vozilima je najnovija metoda kontrole prometa. Ova metoda se temelji na komunikaciji između vozila putem radioveze za što su potrebni mikroprocesor i adekvatna programska podrška na uređaju. Zbog takve komunikacije nije potreban kontrolni uređaj. Glavna prednost ove metode je što nastankom kvara iz upotrebe se izbacuje samo jedno vozilo dok druga vozila mogu i dalje normalno raditi. Još jedna prednost je ta što cijena sustava ne ovisi o broju zona već samo o cijeni vozila pošto je sustav kontrole već integriran u vozilu.

Kada vozilo prijeđe preko oznake početka zone tada to vozilo ostalim vozilima šalje informaciju da je ušlo u zonu. Nakon toga vozilo koje želi ući u tu zonu čeka da dobije informaciju od vozila koje je u zoni da je izašlo iz te zone. Kada vozilo izlazi iz zone prelazi preko oznake početka druge zone i šalje informaciju o zoni u kojoj se nalazi.

Vozilo koje je čekalo na ulazak u zonu dobiva tu informaciju i ulazi u zonu. Shematski prikaz ove metode dan je na slici 23. ispod teksta.



Slika 23. Metoda kontrole vozilima [16]

3.4.3.2. Senzorska kontrola

Senzorska kontrola se temelji na sensorima koji su ugrađeni u AGV vozilima i koji služe za određivanje prisustva drugih vozila. Ti senzori mogu biti zvučni (princip radara), optički (koriste infracrvene zrake) i fizički (odbojnici). Najčešće su vozila opremljena sa odbojnicima koji se nerijetko koriste kao preventivno sredstvo ukoliko drugi senzori ne rade. Pomoću senzora vozilo detektira zaustavljeno ili sporije vozilo ispred sebe i tada se ono zaustavlja. Kada se zaustavljeno ili sporije vozilo dovoljno udalji tada se vozilo koje ga je detektiralo nastavlja kretati. Osnovna prednost senzorske kontrole je ta što omogućuje veću gustoću prometa od kontrole zona jer u istoj zoni može biti prisutan veći broj vozila.

Zvučni senzori odašilju visokofrekventni signal te nakon toga čekaju povratak tog signala i na temelju povratnog signala dolaze do informacije o tome nalazi li se ispred vozila nekakva prepreka ili objekt.

Optički senzori rade na sličnom principu kao i zvučni. Uređaj na vozilu emitira infracrvenu zraku koja se odbija i vraća te isti uređaj na temelju vraćene zrake zaključuje postoji li prepreka ispred vozila.

Osnovni problem kod senzorske kontrole je taj što senzori mogu dobiti informacije o tome nalazi li se za AGV vozilo nekakva prepreka, ali na primjeru vučnog vozila je lako za zaključiti da bi praktički svaka prikolica koja se vuče trebala imati svoj senzor kako bi informacije bile potpune.

3.4.3.3. *Kombinirana kontrola*

Kombinirana kontrola je zapravo kombinacija kontrole po zonama i senzorske kontrole. Prema [16] u takvoj se metodi koristi senzorska kontrola kod kontrole na ravnim putevima što omogućava veću gustoću prometa, a kod mjesta razdvajanja i spajanja puteva se koristi kontrola po zonama. Najveći problem je što se za kombiniranu metodu kontrole trebaju koristiti vozila koja mogu biti kontrolirana po zonama i senzorski. Dakle vozila moraju biti opremljena senzorima, mikroprocesorima i programskom podrškom koja omogućava njihovu kontrolu što dodatno povećava cijenu vozila.

3.4.3.4. *Sigurnosni sustavi AGV vozila*

Sigurnosni sustavi AGV vozila su sustavi koji se nalaze na vozilima i koji služe za otkrivanje opasnosti. Ta opasnost se pretežito manifestira u obliku sudara. U nastavku će biti objašnjeni osnovni sigurnosni sustavi kod AGV vozila.

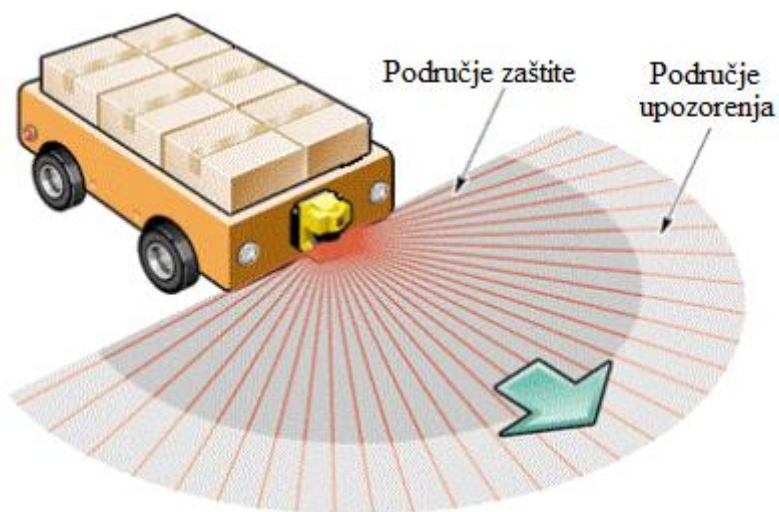
Prednji branik je zaštitni uređaj koji štiti vozilo s njegove prednje strane i sa prednjih bočnih strana. Prednji branik je uređaj koji radi na mehaničkom principu, odnosno sprječava dodir vozila sa stranim objektom. Prema [15] standardni prednji branik je napravljen od polikarbonatne plastike i on koristi dvije fotoćelije montirane na reflektorima na samom braniku. Prednji branik je konstruiran kako bi se izbjegao udar bilo kojeg dijela vozila o neki objekt ili o neko drugo vozilo. Primjer prednjeg branika dan je na slici 24. na slijedećoj stranici.



Slika 24. Prednji branik

Laserski skener je uređaj koji štiti vozilo samo na visini laserske zrake. Prednost laserskih skenera je što se oni mogu programirati pa se omogućuje stvaranje sigurne zone oko AGV vozila. Prema [15] laserski skeneri se koriste također i za smanjenje brzine ukoliko se otkrije objekt u blizini vozila. Laserski skener bi se mogao svrstati u uređaje koji se koriste u senzorskoj kontroli. Međutim, laserski senzori su skupi što znatno ograničava njihovu primjenu.

Na slici 25., na slijedećoj stranici je prikazano vozilo opremljeno laserskim sensorom. Na slici je vidljivo da ukoliko se nekakav objekt nađe u području upozorenja tada vozilo dobiva tu informaciju i većinom smanjuje brzinu. Ukoliko se objekt nađe u području zaštite tada vozilo dobiva tu informaciju i staje.



Slika 25. Laserski skener [15]

Stražnji branik ima istu svrhu kao i prednji branik. Stražnji branik se nalazi u stražnjem kraju vozila i koristi se kada se AGV vozilo kreće unazad.

Branik vilica se koristi kako bi se spriječilo udaranje tereta ili nekih drugih, najčešće nepomičnih objekata ukoliko dođe do grešaka pri dizanju ili spuštanju tereta. Branik vilica nije standardiziran sigurnosni uređaj već se koristi po potrebi. Posebice je koristan u automatskom rukovanju materijalom.

Bočna zaštita se koristi kod velikih vozila (kao primjerice AGV u brodskim lukama) ili ako vozilo mora proći dulji zavojiti put. Najčešći način bočne zaštite je pomoću sigurnosnih rubova koji su najčešće izrađeni od raznih profila gume zbog toga što guma dobro apsorbira udarce i vibracije. Prema [15] u profilu sigurnosnih rubova se nalazi senzor pomoću kojeg se registrira udarac. Taj senzor može biti napravljen od primjerice optičkih vlakana. Na slici 26., na slijedećoj stranici je prikazan primjer upotrebe bočne zaštite.



Slika 26. Bočna zaštita [15]

E-stop (eng. *Emergency Stop* - E-stop) su tipke pomoću kojih dolazi do zaustavljanja vozila u slučaju nužde. Te tipke se nalaze na kutevima vozila na očitom i dostupnom mjestu.

Svjetlosna i zvukovna upozorenja su postala standard na AGV vozilima. Svjetlosna upozorenja mogu biti rotirajuća svjetla, konstantna svjetla ili u obliku bljeskalice. Zvukovna upozorenja mogu biti u obliku određenog tona ili više tonova.

Ključni prekidač je zaštitni uređaj koji se koristi za uključivanje AGV vozila i prebacivanje između ručnog i automatskog načina rada na vozilima koja imaju tu opciju. Ključ vozila mora biti u prekidaču kako bi se omogućio ručni način rada. Još jedna primjena ovog uređaja je izbjegavanje korištenja AGV vozila od strane neovlaštenog osoblja.

Kontrola stabilnosti, odnosno održavanje stabilnosti AGV vozila se vrši tako da se brzina vozila automatski smanjuje u oštrim zavojima i pri velikim visinama dizanja s AGV viličarom. Na taj se način minimizira utjecaj djelovanja momenta tereta na pomicanje težišta natovarenog vozila.

3.4.4. Pretovar kod AGV vozila

Pretovar je funkcija AGV vozila koja podrazumijeva utovar i istovar tereta. Funkcija pretovara može biti samostalna ili integrirana sa drugim podsustavima. Prema [16] metode pretovara su:

- ručna (manualna),
- metoda automatskog spajanja i razdvajanja,
- metoda pretovara lančanim, trakastim ili valjčanim konvejerom,
- metoda dizanja i spuštanja.

3.4.4.1. Ručna metoda pretovara

Kod ručne metode pretovara radnik spaja ili razdvaja vučna vozila. Nakon toga radnik viličarom stavlja ili izuzima teret s AGV vozila. Druga opcija je da radnik ručno, bez viličara, stavlja teret na AGV vozilo

3.4.4.2. Metoda pretovara automatskog spajanja i razdvajanja

Ova metoda se koristi u sustavu AGV vučnih vozila. U ovoj metodi AGV vučna vozila centralno računalo usmjerava na posebne staze vožnjom unatrag u slučaju spajanja (dodavanja tereta vozilu), odnosno vožnjom unaprijed u slučaju razdvajanja (odvajanja tereta od vozila).

3.4.4.3. Metoda pretovara lančanim, trakastim ili valjčanim konvejerom

Metoda lančanim, trakastim ili valjčanim konvejerom se koristi u sustavima u kojima se radi sa jediničnim teretima koji na sebi već imaju takve platforme koje omogućavaju automatski prekrcaj tereta. U nekim izvedbama AGV sustava, vučna vozila vuku prikolice slične izvedbe kao što je opisano. Nedostatak ove metode je što su potrebne fiksne pretovarne stanice i uske tolerancije u smislu pozicioniranja. Ova metoda je pogodna u sustavima sa većim protokom.

3.4.4.4. Metoda dizanja i spuštanja

Uporaba ove metode ovisi o vrsti AGV vozila koje se koristi u sustavu. Na temelju AGV vozila u sustavu mogu se izdvojiti tri izvedbe ove metode.

Prva izvedba se koristi kada se u sustavu primjenjuju paletna vozila. U takvoj izvedbi paletna vozila dižu i spuštaju teret sa poda ili na pod.

Druga izvedba se koristi kod vozila jediničnih tereta. U takvoj izvedbi vozila su opremljena podiznom platformom. Vozila u sustavu ulaze u posebno oblikovane fiksne stanice za prekrcaj, te podizanjem platforme dižu teret, a spuštanjem platforme ga spuštaju.

Treća izvedba se koristi kod viličara. Kao što je već rečeno kod podjele AGV vozila viličari mogu terete podići sa poda i sa viših lokacija, a isto tako mogu terete spustiti na pod ili na više lokacije. Tu mogućnost oni imaju zbog svoje konstrukcijske izvedbe.

3.4.5. Upravljanje sustavom AGV vozila

Upravljanje sustavom AGV vozila se bavi kontrolom prometa vozila, upravljanjem vozilima, raspoređivanjem vozila, praćenjem putanja vozila, praćenjem komunikacije između vozila te praćenjem samih vozila. Dakle, može se reći da upravljanje sustavom podrazumijeva stalnu kontrolu, nadzor i praćenje svih sustava korisnih za rad cjelokupnog AGV sustava. Upravljanje sustavom se može podijeliti na tri metode i to su:

- dispečerske metode (eng. *Vehicle-Dispatch Methods*)
- metode monitoringa (eng. *System-Monitoring Methods*)
- metoda grafičkog prikaza stanja katodnom cijevi (eng. *CRT Graphics Display Method*)

3.4.5.1. Dispečerske metode

Prema [16] dispečerske metode mogu biti izvedene na razne načine. Neke od takvih izvedbi su:

- ručna izvedba s terminalom na vozilu,
- izvedba s centralnim operaterom,
- izvedba s centralnim računalom,
- kombinacije nabrojanih izvedbi.

Kod potpuno kompjuteriziranih sustava centralni računalni sustav izvodi funkcije usmjeravanja, regulacije prometa i komunikacije između vozila. Takav centralni sustav je najčešće integriran sa upravljačkim sustavom poduzeća ili sa upravljačkim sustavom većeg podsustava poduzeća kao primjerice upravljačko računalo sustava rukovanja materijalom.

3.4.5.2. Metode monitoringa

Metode monitoringa se temelje na kontinuiranom promatranju sustava i vozila unutar sustava. Sustavi koji su projektirani za velike protoke i visok stupanj automatizacije bi sa pojavom kvara imali velike gubitke zbog zastoja koje bi kvar uzrokovao. Zbog toga je potreban adekvatan sustava promatranja, odnosno praćenja stanja kako bi se pravovremeno otkrili potencijalni kvarovi i zastoji.

3.4.5.3. Metoda grafičkog prikaza stanja katodnom cijevi

Prema [13] osim dispečerske metode i metode monitoringa se koristi i metoda prikaza stanja katodnom cijevi. Ova metoda se temelji na grafičkom prikazu informaciju o AGV vozilu. Prikaz katodnom cijevi u realnom vremenu prikazuje gdje se vozilo nalazi u sustavu. Osim lokacije vozila ovom se metodom prati zauzetost vozila, napon baterije vozila, jedinstveni identifikator vozila i mjesta u sustavu na kojima je došlo do nekakve vrste blokade kao primjerice zastoja ili kvara.

3.4.6. Izvori energije kod AGV vozila

Iz definicije AGV vozila je vidljivo da se za izvor energije kod vozila najčešće koriste baterije. Problem kod baterija je što se trebaju puniti pa to uzrokuje vrijeme u kojemu vozilo nije u funkciji i na taj se način smanjuje produktivnost i učinkovitost vozila.

Prema [13], postoje tri osnovna načina minimiziranja vremena trajanja punjenja baterije i to su:

- zamjena baterije.
- automatsko i oportunističko punjenje baterije,
- automatska zamjena baterije.

Bitno je za naglasiti da se razvojem baterija znatno skratilo vrijeme njihovog punjenja pa se postepeno izbacuju metode zamjene baterije i razvijaju metode punjenja baterije. Prema [19] relativno nova tehnologija induktivnog prijenosa energije se sve više koristi kod AGV vozila. O toj tehnologiji biti će više rečeno u poglavlju 5.

3.4.6.1. Zamjena baterije

Kao što sam naziv govori ovim se načinom energija vozilu daje na način da se nakon što se baterija isprazni ona zamjeni punom baterijom. Zamjenu vrši čovjek koji ručno vadi praznu bateriju i stavlja u vozilu punu bateriju nakon otprilike 8 do 12 sati upotrebe vozila. Prema [13] za zamjenu baterije je potrebno 5 do 10 minuta, a prema [18] 3 do 6 minuta.

3.4.6.2. Automatsko i oportunističko punjenje baterije

Ovim načinom punjenja baterije omogućeno je funkcioniranje vozila u kontinuitetu. Baterija se automatski prosječno puni 12 minuta svakih sat vremena tako da nije potreban radnik koji bi ju mijenjao i izvršavao punjenje. Ukoliko je vozilo trenutačno bez zadatka tada se vozilo također puni. Zbog toga se ovakav način još naziva i oportunistički jer se koristi svaka prilika za punjenje vozila. Ukoliko je baterija dovoljno puna da obavi neki zadatak tada će vozilo prvo obaviti zadatak, a nakon toga ići na punjenje. Nivo baterije koji je dovoljan za obavljanje zadatka je unaprijed određen.

3.4.6.3. Automatska zamjena baterije

Ova metoda je alternativa ručnoj zamjeni baterija. Da bi se koristio ovaj način punjenja potrebna je dodatna automatizirana oprema za punjenje baterije. Metoda se izvodi tako da će AGV vozilo nakon određenog vremena doći do uređaja za zamjenu baterije i na tome mjestu će uređaj automatski zamijeniti bateriju koja je u AGV vozilu sa baterijom koja je napunjena. Nakon toga uređaj ispražnjenu bateriju automatski spaja na utičnicu na kojoj se baterija puni. Uređaj također prati baterije u sustavu punjenja te ih koristi samo onda kada su u potpunosti pune.

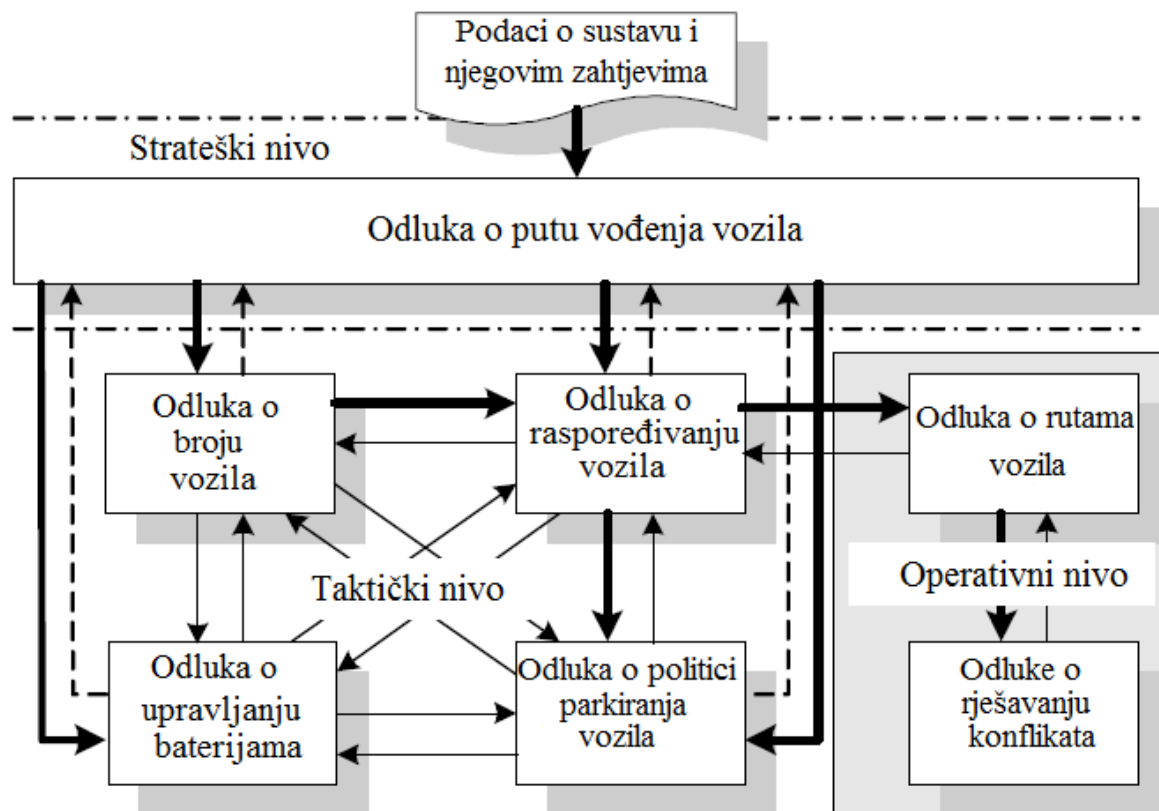
3.4.7. Projektiranje i implementacija AGV sustava

U [21] se spominje metoda kojom se donose odluke pri projektiranju i implementaciji sustava AGV vozila. Ta metoda se može svesti na sliku 27. Na slici je vidljivo da je donošenje odluka podijeljeno na tri nivoa i to su strateški, taktički i operativni nivo. Prikazana metoda je organizirana hijerarhijski tako da se prvo trebaju riješiti pitanja u gornjem nivou, pa se nakon toga prelazi na donji nivo.

Prije svega, potrebno je imati određene podatke o sustavu i o samom vozilu kako bi se sustav uopće mogao projektirati. Neki od tih podataka su predviđeni protok, nosivost i brzine vozila koja će se koristiti, prostorni raspored radnog mjesta i slično. Nakon prikupljenih podataka se rješavaju problemi strateškog nivoa. Glavni takav problem je donošenje odluke o putu vođenja vozila, odnosno o putu po kojemu će se vozilo kretati.

Nakon strateškog nivoa rješavaju se problemi taktičkog nivoa. Neka od pitanja na koja se odgovara su potreban broj vozila, politika parkiranja vozila, raspored vozila i upravljanje baterijama. Vidljivo je da u taktičkom nivou strelice ulaze i izlaze na svakom problemu prikazanom na slici. To je indikator da odluke u taktičkom nivou utječu jedna na drugu i da se one moraju donositi istovremeno. Isto tako te odluke utječu i na odluku o putu vođenja.

Na kraju se u operativnom nivou donose odluke o rutama vozila na taj način da ne dođe do njihovih konflikata, odnosno da se one što manje isprepleću.



Slika 27. Okvir donošenja odluka kod AGV sustava [21]

4. PRIMJENA AGV VOZILA

Kao što je već rečeno AGV vozila su našla svoju primjenu u brojnim industrijskim i neindustrijskim granama. U ovom poglavlju će se opisati njihova primjena u nekim od tih grana, prikazom pronađenih primjera u literaturi odnosno na Internetu.

4.1. Primjena u industriji papira

Prema svemu dosada nabrojanom može se zaključiti da se AGV vozila mogu koristiti u industrijama u kojima se zahtjeva da se ne ošteti roba koja se prevozi. Jedna od takvih industrija je industrija papirnatih proizvoda.

Primjer korištenja AGV vozila u industriji papira se može naći u prevoženju velikih papirnatih rola ili u tiskarskoj industriji. U takvim se slučajevima radi o teškoj robi koja najčešće nema oštre rubove, odnosno najčešće je kružnog poprečnog presjeka. Takvi materijali se mogu oštetiti kod nestručnog rukovanja pa je upotreba AGV vozila poželjna.

Prema [5], u jednoj tiskari se koristi 20 AGV vozila navođenih laserom, od čega tri vozila imaju zahvatna sredstva koja im omogućuju rukovanje materijalom valjkastog oblika. Osim ta tri vozila za prijevoz valjkastih materijala još se koriste i AGV viličari. Transport se vrši tako da vozila prihvate materijal iz skladišta te ga nakon toga prevoze do konvejera i odlažu na konvejer. Dalje se, također automatiziranim sustavima robota automatski skida zaštitna ambalaža i vrši tiskanje.



Slika 28. AGV viličar u industriji papira [5]

Još jedan primjer, prema [2] također potvrđuje primjenu AGV vozila u industriji papira. Naime, u toj studiji slučaja je opisano korištenje tri AGV viličara koji automatizirano vrše utovar, transport i istovar papirnatih rola u tiskari. Naglašeno je da je automatski utovar i istovar vrlo točan. U tom je primjeru računalno upravljanje implementirano za kontrolu AGV vozila i također je spomenuto da računalo upravlja i prati zalihe rola papira.



Slika 29. AGV viličar u industriji papira [2]

Prema [3] je također moguće koristiti AGV vozila u industriji papira ako se rukuje sa listovima papira umjesto rola. Tada uređaj reže papir na dimenziju koju je odredio kupac. Ti listovi papira se tada slažu na palete koje prevozi paletno AGV vozilo i skladišti ih u skladištu. Kada dođe narudžba kupca tada paletno AGV vozilo dobiva narudžbu te iz skladišta izuzima potreban broj paleta.



Slika 30. Paletno AGV vozilo u industriji papira [3]

4.2. Primjena u automobilskoj industriji

U automobilskoj industriji primjena AGV vozila je vrlo široka. Koriste se gotove sve vrste AGV vozila, od vozila jediničnih tereta do vozila specijalne namjene. Vozila se u ovoj grani industrije najčešće koriste za prijevoz šasije vozila, motora vozila i okvira vozila.

Prema [8], jedan proizvođač automobila koristi vozila jediničnih tereta kako bi prevezio čelične limove unutar proizvodne hale. Sustav se sastoji od četiri AGV vozila koja su pod stalnim nadzorom AGV kontrolnog servera. Vozila su opremljena sa dvosmjernim valjkastim konvejerom kako bi se omogućio jednostavan utovar i istovar limova. Vozila se većinom koriste kako bi se limovi transportirali od skladišta ili neke lokacije unutar proizvodne hale do preša.



Slika 31. AGV vozilo jediničnog tereta u automobilskoj industriji [8]

Prema [25] u jednoj proizvodnoj hali proizvođača automobila u kojoj su se proizvodili motori bilo je potrebno izvršiti automatizaciju transporta. Potrebno je bilo da AGV vozila posjećuju 82 radne stanice, odnosno 82 lokacije. Sustav je projektiran tako da je svaki radnik na te 82 stanice mogao naručiti dio koji mu treba i taj bi dio AGV vozilo transportiralo do radnika. Na taj način je povećana efikasnost i produktivnost sustava, te ergonomija istovremeno smanjujući vrijeme transporta i nepotrebne pokrete radnike. Na slijedećoj stranici, na slici 32. prikazano je vozilo u spomenutom sustavu.



Slika 32. AGV u automobilskoj industriji [25]



Slika 33. AGV vozila u automobilskoj industriji [18]

4.3. Primjena u industriji hrane i pića

Prema [4] jedan proizvođač hrane, koji je već imao implementiran AGV sustav vođen indukcijski, trebao je donijeti odluku o tome hoće li popraviti postojeći sustav jer je dolazilo do određenih grešaka, implementirati novi AGV sustav ili prijeći na ručni prijevoz materijala. Analizom su došli do zaključka da bi sa popravkom postojećeg sustava uštedjeli samo 10% financijskih sredstava, a vrlo bi teško locirali zamjenske dijelove. Daljnjom analizom su utvrdili da bi uvođenjem novog AGV sustava došlo do znatnog ubrzanja transporta i samim time povećanja produktivnosti. Konačna odluka je bila implementacija novog AGV sustava koji će biti navođen laserski čime se osigurala povećana fleksibilnost. Nakon određenog vremena, analizom podataka nakon implementacije sustava došli su do zaključka da su eliminirana uska grla u transportu i da je povećana efikasnost sustava.

Prema [27], neimenovani proizvođač hrane je htio osigurati JIT (eng. *Just In Time* - JIT) dostavu svojih proizvoda. Nakon evaluacije određenih mogućnosti zaključili su da je najbolja opcija implementacija AGV vozila sa laserskim navođenjem. Na taj način se osigurala potrebna fleksibilnost uz pristupačne troškove.



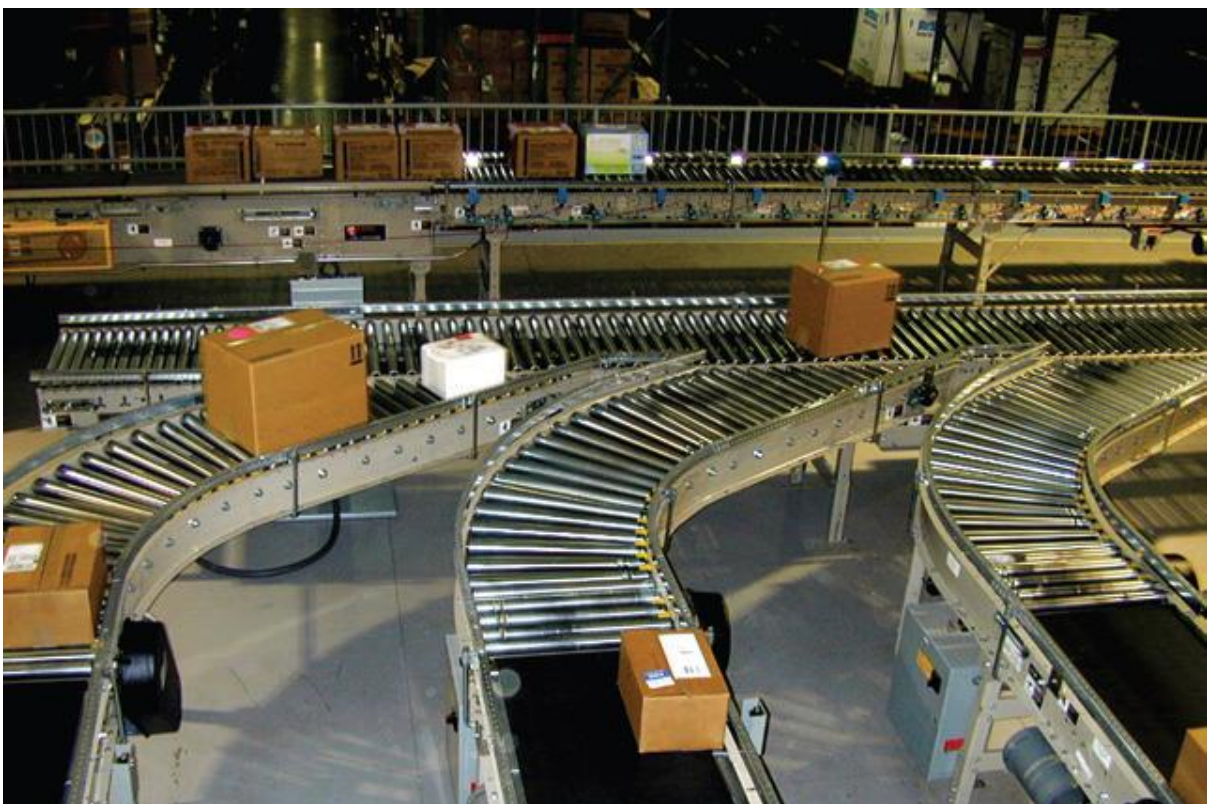
Slika 34. AGV vozilo u prehrambenoj industriji [27]

Prema [29], poznati američki proizvođač napitaka „Starbucks“ je htio ostvariti skladište sa slijedećim karakteristikama:

- energetska efikasnost u vremenu niske potražnje,
- visoka točnost operacija,
- kratko vrijeme od narudžbe do isporuke,

- stroga kontrola inventara,
- mala mogućnost oštećenja proizvoda,
- visoka fleksibilnost.

Te su se karakteristike osigurale sa programskom podrškom integriranom u AGV sustav. Energetska efikasnost je poboljšana tako što se osigurao sustav u kojemu je bilo moguće imati tri različita protoka na izlazu (60, 71 ili 82 kutije u minuti). U ovom sustavu nisu korištena AGV vozila, već valjkasti konvejer i sustav za sortiranje, ali primjer je spomenut jer daje vrlo dobar uvid u prednosti automatizacije skladišnih aktivnosti.



Slika 35. Sustav valjkastih konvejera u industriji napitaka [29]

Prema [10], proizvođač hrane iz Australije implementirao je AGV sustav sa šest AGV vozila opremljenih sa dodatnom opremom koja im omogućuje istovremeni prijevoz dvije paletne jedinice. Na slici 36., na slijedećoj stranici prikazano je korišteno AGV vozilo.

Gornje dvije vilice se koriste za prijevoz punih paleta, a donje dvije vilice se koriste za prijevoz praznih paleta. Takvom izvedbom vozila je eliminirana potreba za uređajem koji bi odnosio prazne palete na mjestima pakiranja proizvoda.

Korištena AGV vozila memoriraju koju su paletu otpremili i kada. Tako je omogućeno da se narudžbom proizvoda iz skladišta izuzme paleta koja je najdulje u skladištu. Implementacijom ovakvog AGV sustava je smanjen broj potrebnih sustava i opreme, a istovremeno povećana mogućnost praćenja i kontrole robe.



Slika 36. AGV vozilo s dvostrukim vilicama u prehrambenoj industriji [10]

4.4. Primjena u kemijskoj industriji

Kemijska industrija je jedna od industrija u kojoj se u velikoj mjeri rukuje sa toksičnim materijalima poput kiselina, lužina, otpadnih materijala, radioaktivnih materijala i drugih. Zbog toga nije uputno da čovjek upravlja sa vozilom pri prijevozu takvih materijala jer postoje brojni rizici. Još jedan razlog zašto su AGV vozila poželjna u ovakvom transportu je taj što se može pratiti što AGV vozilo prevozi pa teže dolazi do krađa.

Prema [28], farmaceutska tvrtka „Novartis“ koristi skladište opremljeno automatiziranim regalnim skladišnim sustavom. U skladištu se rukuje gotovim proizvodima, a pošto ono sadrži razne lijekove i kemikalije njegovo poslovanje i transport regulira vlada.

Nakon što proizvod uđe u skladište on se pakira, važe i skladišti u automatizirano regalno skladište. Tijekom cijelog opisanog procesa transport se vrši sa AGV vozilima, a kada je potrebno izuzimanje iz regala taj postupak se provodi sa uređajima za izuzimanje koji proizvod izuzmu sa regala i utovare ga na AGV vozilo koje zatim proizvod prevozi do konvejera. U sustavu se koriste četiri AGV vozila.



Slika 37. AGV vozilo u farmaceutskoj industriji [16]

4.5. Primjena u otvorenim prostorima

Već je u radu spomenuto kako AGV vozila nemaju široku primjenu na otvorenom prostoru zbog otežanog navođenja. Jedna od osnovnih primjena AGV vozilo na otvorenom je u prijevozu kontejnera u brodskim lukama.

Prva luka u svijetu koja je uvela AGV vozila za prijevoz kontejnera je Rotterdamska brodska luka koja je već spomenuta u poglavlju 4. Kao što je već rečeno problem navođenja na otvorenom je riješen pomoću transpondera. Nakon Rotterdamske luke, AGV vozila su implementirana i u brodsku luku u Hamburgu. Na slici 38. prikazano je AGV vozilo za prijevoz kontejnera.



Slika 38. AGV vozilo za prijevoz kontejnera [18]

Vozila za prijevoz kontejnera, kao na slici 38., se koriste za prijevoz kontejnera od istovarne stanice do utovarne stanice. Utovarne stanice u brodskim lukama su najčešće druga prijevozna sredstva kao primjerice vlak, brod, kamion i slično. Prikaz sustava AGV vozila u brodskoj luci dan je na slici 39.



Slika 39. AGV sustav u brodskoj luci [16]

4.6. Primjena u bolnicama

AGV vozila svoju su primjenu našla i u medicinskoj grani znanosti. U medicini AGV vozila se primjenjuju za prijevoz medicinske robe, a u nekim slučajevima moguć je i transport bolničkih kreveta.

Prema [30], AGV vozilo ATLIS je vozilo koje je posebno konstruirano za transport medicinske opreme. Takvo vozilo se primjenjuje u njemačkoj bolnici „Operatives Zentrum des Universitätsklinikums Leipzig (OKL)“. Roba se u principu prenosi u košarici za bolnički materijal u koji spadaju primjerice kirurška oprema, posteljina i medicinski otpad. Materijal se utovara tako da se ATLIS vozilo pozicionira ispod materijala koji će se utovariti. Sustav je integriran u bolničko okruženje i može samostalno automatski pokretati vrata (otvarati i zatvarati), dizala i slično. Zbog te mogućnosti ovo vozilo može potencijalno povezivati sve odjele bolnice uključujući kuhinju, praonicu, pristanište za istovar otpada i slično. Na slici 40. je prikazano ATLIS vozilo.



Slika 40. ATLIS vozilo [30]

Kao što je već rečeno u poglavlju 3. gdje se opisuju i AGV vozila za posebnu namjenu, moguća je primjena AGV vozila i u prijevozu bolničkih kreveta iako se u tu svrhu koriste rijetko. Takvo vozilo je prikazano na slici 10. (stranica 16).



Slika 41. Bolničko AGV vozilo [20]

4.7. Primjena u tematskim parkovima

Prema [13], u zadnje vrijeme su se AGV vozila počela koristiti i u tematskim parkovima. U tu svrhu, AGV vozila najčešće upotrebljava lanac tematskih parkova „Disney World“. Vozila koja se koriste u tu svrhu najčešće su navođena indukcijski. Međutim, tu su automatizirana vozila na kojima se nalaze popratne aktivnosti uz vožnju, a ne sama vozila u kojima se voze gosti parkova. Razvojem tehnologija, za navođenje vozila u tematskim parkovima počele su se koristiti bežične tehnologije što omogućuje gostu veći osjećaj nasumičnih radnji oko njega jer se putanja vozila može naglo promijeniti.

4.8. Primjena u tekstilnoj industriji

Prema [20], u tekstilnoj industriji vozilo transportira role tekstilnog materijala od proizvodnog prostora do prostora za rezanje i skladištenje. U sustavu se koriste vučna AGV vozila od kojih svako vozilo vuče jednu posebno dizajniranu prikolicu za tekstilne materijale.

Prostor za rezanje ima više terminala za prilaz vozila opremljenih za sustavom za doziv samog vozila tako da samo jedno vozilo u datom trenutku dolazi na jedan terminal. AGV vozila čekaju dok ne dobiju poziv za dostavu novog tekstilnog materijala na određeni terminal. Za vrijeme čekanja vozila, baterije vozila se automatski pune.

U prostoru za rezanje, kada AGV vozilo doveze novi materijal prikolice vozila se isprazne i utovare se gotovi proizvodi. Nakon toga se vozilu odredi određena lokacija u skladištu pomoću uređaja na vozilu. U skladištu radnik istovari gotove proizvode sa vozila i nakon toga ga šalje na čekanje do novog zahtjeva.

4.9. Primjena u metaloprerađivačkoj industriji

U metaloprerađivačkoj industriji, kao i u svakoj drugoj proizvodnoj industriji bitna je brzina kretanja vozila jer ona direktno utječe na vrijeme trajanja prijevoza, a ono direktno utječe na troškove samog proizvodnog postupka. Uštede na vremenu prijevoza se ostvaruju na prijevozu sirovina i gotovih proizvoda, te prijevozu između radnih stanica.

AGV vozila su se pokazala kao dobra opcija za smanjenje tih vremena i za povećanje sigurnosti pri prijevozu. Naravno, sigurnost pri prijevozu je također bitna jer se proizvodi u metaloprerađivačkoj industriji kreću od jeftinih standardiziranih proizvoda poput vijaka pa sve do primjerice raznih dijelova generatora koji su znatno skuplji od spomenutih vijaka. Na slici 42. je prikazana upotreba AGV vozila u metaloprerađivačkoj industriji.



Slika 42. AGV vozila u metaloprerađivačkoj industriji [16]

4.10. Primjena u zrakoplovnoj industriji

Kod proizvodnje zrakoplova dijelovi su najčešće robusni, teški i nepravilnog oblika. Oni su također neotporni na udarnu radnju loma, donosno krhki. Zbog tih karakteristika potrebno je izbjegavati transport dijelova zrakoplova tako da ih prevoze ljudi kako bi se izbjegla opasnost od greške uzrokovane ljudskim faktorom. Zbog toga je transport u zrakoplovnoj industriji idealan za primjenu AGV vozila.

Na slici 43. prikazan je primjer primjene AGV vozila u proizvodnji zrakoplova. Na slici se vidi peć u koju dio zrakoplova mora ići kako bi se izvršila toplinska obrada. AGV vozilo prevozi spomenuti dio zrakoplova i unosi ga u komoru peći. Nakon što je toplinska obrada gotova vozilo prevozi dio na daljnju obradu.



Slika 43. AGV vozila u zrakoplovnoj industriji [16]

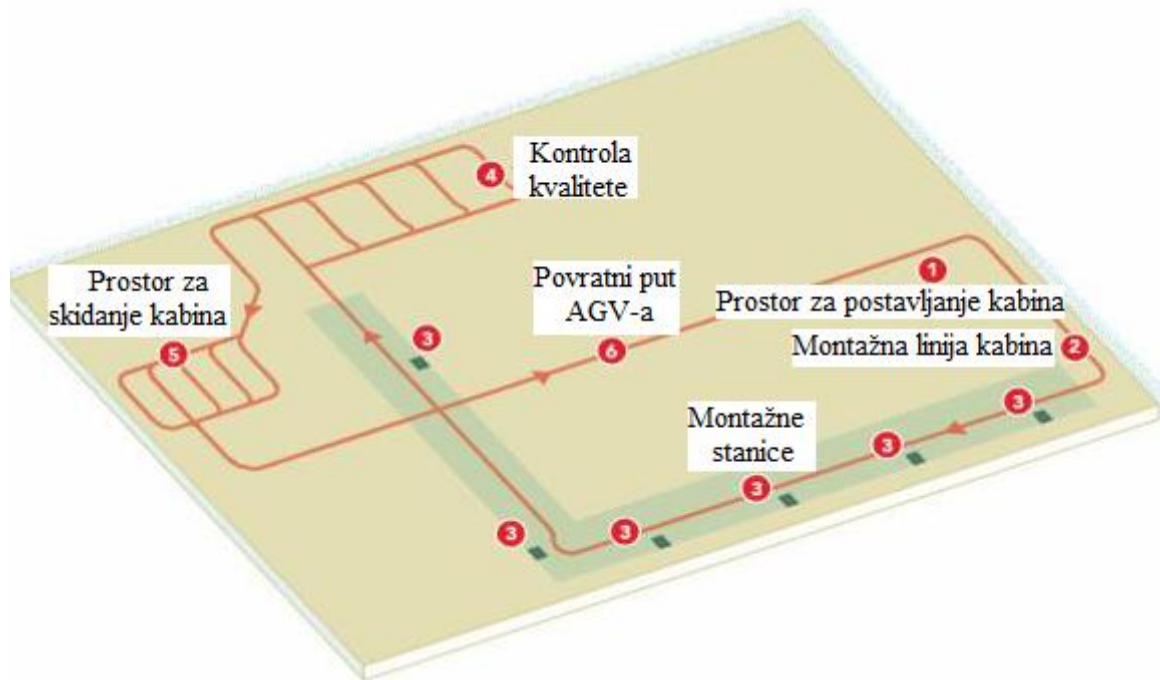
4.11. Primjena u montaži

Prema [16], proizvođač traktora „John Deer“ je problem proizvodnje i montaže traktorskih kabina riješio pomoću odgovarajućih AGV vozila. Prije uvođenja AGV-ova, montaža se vršila konvencionalno pomoću konvejera. Upotrebom AGV vozila omogućen je prilaz traktorskim kabinama sa svih strana što je omogućilo kvalitetniji i jednostavniji rad osoblja. Prije same implementacije su se vršila ispitivanja koja su dala odgovor na to kakvo se AGV vozilo treba koristiti. Rezultat ispitivanja je bio zaključak da je potrebno koristiti AGV vozilo posebne namjene koje će istovremeno osigurati dovoljnu fleksibilnost, brzinu kretanja i točnost. Na slici 44. je dan prikaz korištenih vozila.



Slika 44. AGV vozila u procesu montaže [16]

AGV vozila prevoze traktorske kabine tijekom cijelog procesa montaže i kontrole kvalitete. Proces kojim se kreće AGV vozilo je prikazan na slici 45. Objašnjenje slike slijedi. Proces započinje kada zavarena i obojana kabina ulazi u proizvodni prostor te se postavlja na AGV vozilo (na slici oznaka 1), te kreće prema montažnoj liniji (na slici oznaka 2). Na početku montažne linije sustav automatski očitava serijski broj kabine i pridružuje ga AGV vozilu na kojemu se kabina nalazi. Na taj način se zna koje vozilo prevozi koju kabinu. Tijekom prolaza kroz montažnu liniju vozilo s kabinom prolazi kroz montažne stanice (na slici oznaka 3) i sustav bilježi koja je operacija izvršena na kojoj stanici. Program za pokretanje AGV vozila i pojedini alati na montažnim stanicama su tako podešeni da vozilo ne može krenuti na slijedeću stanicu dok se alat ne vrati u svoj početni položaj, na taj način se osigurava da je svaka operacija na montažnoj stanici izvršena do kraja. Nakon izlaska iz montažne linije vozilo se kreće sa kabinom prema odjelu za kontrolu kvalitete (na slici oznaka 4), a nakon toga vozilo nastavlja prema odjelu za skidanje kabine s AGV vozila (na slici oznaka 5). Nakon podizanja kabine s vozila, vozilo nastavlja povratnim putem (na slici oznaka 6) i preuzima slijedeću kabinu te dalje ponavlja proces.



Slika 45. Putanja AGV vozila u procesu montaže [16]

4.12. Primjena u skladišnim prostorima

U skladištima se najčešće nalazi velik broj različitih proizvoda. Logično je da je u takvom radnom okruženju ljudski rad monoton i podložan greškama zbog pada koncentracije. Isto tako u skladištu se nerijetko nalaze teški predmeti, koji su često nezgrapni pa je radnicima vrlo teško ili nemoguće baratati takvim predmetima. Uz već navedeno, skladišta su vrlo podložna krađama zbog velikog obujma raznih proizvoda, poluproizvoda i sirovina. Zbog svega toga AGV vozila su idealan kandidat za korištenje u skladišnim prostorima.

U skladištu se AGV vozila koriste za širok opseg poslova. Neki od tih poslova su uskladištenje robe, utovar i istovar robe, komisioniranje robe, izuzimanje robe (iskladištenje) i drugi. Krađe unutar skladišta su izbjegnute ukoliko se koristi programska podrška za AGV vozila koja omogućuje praćenje aktivnosti i robe unutar skladišta. Isto tako ergonomičnost je povećana zbog toga što ljudi ne moraju izvršavati teške i monotone poslove. Zbog toga što je izbjegnut ljudski faktor (primjerice pad koncentracije) dolazi do smanjenja učestalosti oštećenja robe i do smanjenja broja netočnih aktivnosti (primjerice izuzimanje krivog artikla).

Još jedna prednost AGV-ova je ta što je papirologija svedena na minimalnu razinu pošto se nalog za izuzimanjem, uskladištenjem i komisioniranjem robe daje nerijetko računalno.

4.12.1. Primjena kod uskladištenja i iskladištenja

Tip AGV vozila koje će se koristiti u ovu svrhu ovisi najviše o samom skladištu i proizvodu. Najčešće su u upotrebi regalna skladišta pa je najprikladnije AGV vozilo za upotrebu u takvom radnom prostoru AGV viličar koji može izvršavati razne zadatka i prevoziti terete raznih težina.

U [6] je prikazano da se AGV vozila koriste u skladištenju proizvoda i poluproizvoda u automobilske industriji. Zbog uskih tolerancija strojarskih proizvoda rukovanje takvim proizvodima mora biti relativno nježno i točno zbog čega je upotreba AGV vozila očit odabir. Osim toga, AGV vozila omogućavaju veći protok što je zasigurno poželjno u skladištima u kojima se uvijek zaprima i izdaje roba. Dakako, kao što je već prikazano u ovom poglavlju skladištenje nije jedina upotreba AGV vozila u automobilske industriji. Na slici 46. prikazana je upotreba AGV vozila u skladištenju automobilske proizvoda.



Slika 46. AGV vozilo u skladištu automobilske dijelova [6]

Također je već prikazana i upotreba AGV vozila u industriji papira. Naravno da je gotove papirne proizvode potrebno uskladištiti i iskladištiti po potrebi. Tada se, kao što je već rečeno koriste AGV viličari ili AGV vozila sa zahvatnim sredstvima prilagođenim za transport materijala nepravilnog oblika. Na slici 47. je prikazano AGV vozilo u skladištu papirnatih proizvoda, konkretno masivnih rola papira.



Slika 47. AGV vozilo u skladištu papirnatih rola [16]

Prema [16], moderna primjena AGV vozila u skladišnim aktivnostima je primjena automatski vođenih visokoregalnih viličara u uskoprolaznim skladištima. U praktičnoj izvedbi ovakav sustav ima visine dizanja do 15 metara, a potrebne širine prolaza između regala iznose oko 1,8 metara. Zbog takvih dimenzija je iskoristivost visine i gustoća skladištenja visoka. Ovakve izvedbe imaju mogućnost implementiranja u već postojeća klasična skladišta. Nadalje, automatski vođeni visokoregalni viličari mogu imati i kabinu za vozača što znači da viličar može raditi potpuno automatizirano, a može biti upravljani i ručno po želji što omogućava povećanu fleksibilnost. Međutim, postoji još jedna opcija, a ta je da se vozilo automatizirano kreće od lokacije do lokacije na regalu, a čovjek izuzima proizvode sa regala, odnosno izvršava komisioniranje. Takav sustav se može smatrati poluautomatiziranim sustavom. Korištenjem te opcije rada skladište postaje visokoregalno skladište za komisioniranje. Takav sustav prikazan je na slici 48.



Slika 48. Automatski vođeni visokoregalni viličar [16]

4.12.2. Primjena za povezivanje skladišnih zona

Distribucijski centar američke tvrtke „SOLO CUP“ je imao visoki protok između skladišnih zona. Kako bi se taj protok mogao održati bilo je potrebno korištenje većeg broja AGV vozila. Naime, za povezivanje prijemne i skladišne zone, te skladišne zone i otpremne zone, koristi se šest vučnih AGV vozila. Svako od njih vuče četiri kolica koja su konstruirana kao mobilni regali u obliku paletnih regala s 4 paletne pozicije, dakle s maksimalno 16 paletnih jedinica. Na taj inovativni način jedno AGV vozilo vuče robu koju bi inače vuklo 16 viličara čime su znatno smanjeni transportni putevi i povećana sigurnost prometa i iskoristivost vozila.

Nakon istovara robe, klasičnim viličarima se pristigle palete odlažu na mobilne regale, koje onda AGV vučna vozila prevoze u skladišnu zonu, gdje ponovno klasični viličari u skladišnoj zoni uskladištuju prevezene palete. Nakon toga ti isti klasični viličari na mobilne regale odlažu palete koje se trebaju otpremiti te nakon toga AGV vučno vozilo te palete prevozi do otpremne zone. Na taj način su povezana prijemna, skladišna i otpremna zona. Opisano rješenje je prikazano na slici 49. na sljedećoj stranici.

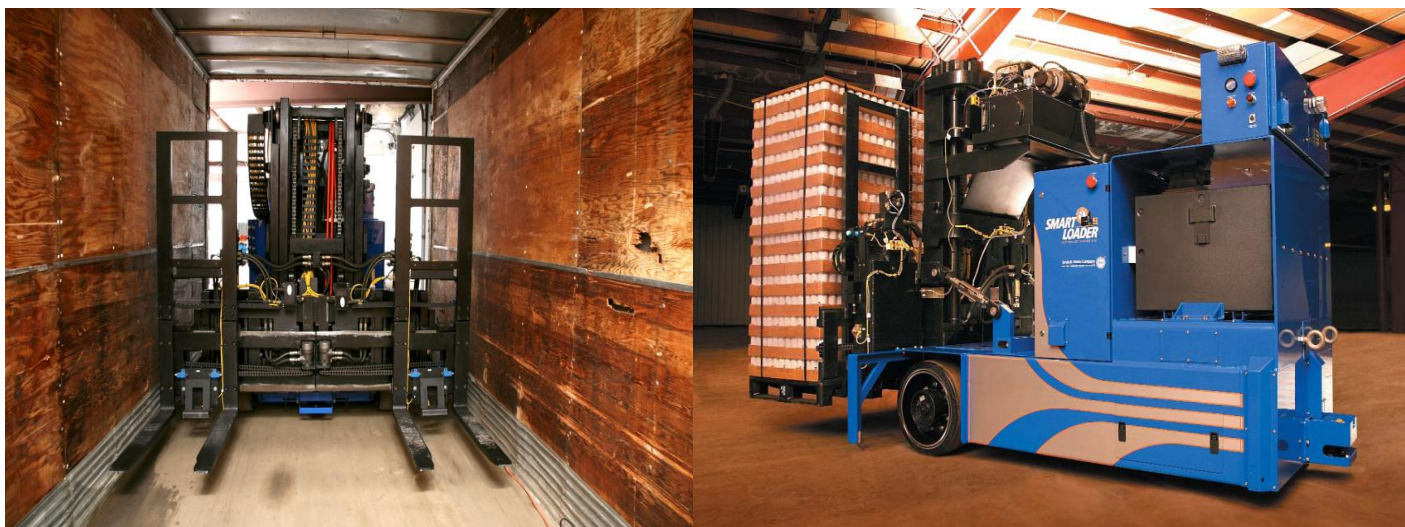


Slika 49. Vučno AGV vozilo s mobilnim regalom [16]

4.12.3. Primjena za utovar i istovar sredstava vanjskog transporta

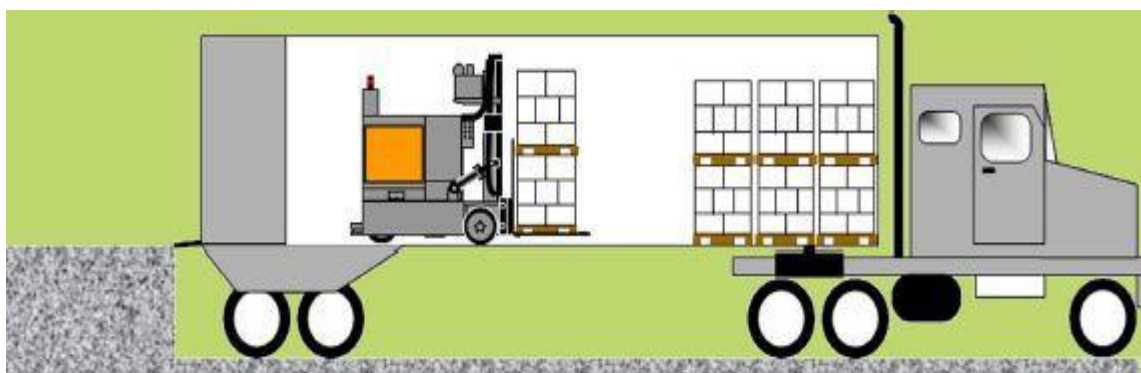
U ovu svrhu se AGV vozila koriste u zadnjih par godina. Primjena nije ograničena samo na utovar i istovar kamiona već se može koristiti i za druga prijevozna sredstva vanjskog transporta. U ovu svrhu se uglavnom koriste viličari sa bočnim sensorima kako bi mogli provjeravati unutrašnjost prikolice u koju ulaze. Utovar i istovar se na ovaj način brže obavljaju. Nedostatak ovog sustava je što je pogodan za skladištenje jedne vrste robe, odnosno nije u potpunosti pogodan za istovremeni utovar ili istovar paleta različite robe.

Prema [16], jedan od primjera ovakvog vozila je „*Smart Loader*“ (prikazano na slici 50.) tvrtke „*Jervis B. Webb*“. Primjenu je našlo 25 ovakvih vozila u jednom distribucijskom centru. Vođenje ovog vozila je izvedeno inercijalno, s oznakama u podu i na skladišnim lokacijama za navigaciju i kalibriranje, te posebnim sustavom sa sensorima za provjeru unutrašnjosti kamiona. Automatizacija procesa istovara i utovara je moguća bez potrebnih modifikacija kamiona zbog sposobnosti ovih vozila da se adaptiraju svakom vozilu na pretovarnoj rampi. Postoje izvedbe s jednostrukim i dvostrukim parom vilica, nosivosti preko 2 tone.



Slika 50. Smart Loader vozilo [16]

Prema [20] i [18], kod pretovara tereta u vozila vanjskog transporta razvijen je sustav „Savant Loader“ koji omogućuje AGV viličaru ulazak u prikolicu bez ikakvog ručnog upravljanja na način da se prilagođava duljini prikolice, obliku i popunjenosti. To je omogućeno senzorima na samom AGV vozilu. Osim toga, sustav automatski prepoznaje kut i nagib prikolice i prilagođava se tom položaju. Sustav za navođenje je izveden inercijalno i omogućuje transport paletizirane robe unutar konvencionalnih prikolica. Prema [20] ovaj sustav prati podatke i prepoznaje koliko točno paleta stane u prikolicu. To je omogućeno modernom programskom podrškom. Opisani sustav je prikazan na slici 51.



Slika 51. Savant Loader vozilo [18]

4.12.4. Primjena u komisioniranju

U procesu komisioniranja AGV vozila se koriste najčešće pri komisioniranju kutija i pojedinačnih proizvoda. Automatski vođena vozila koja se koriste u svrhu komisioniranja su većinom manjih dimenzija kako bi se osigurala njihova bolja pokretljivost.

U dostupnoj literaturi na Internetu navodi se kako se u Americi u nekoliko distribucijskih centara primjenom AGV vozila izvršava cijeli proces komisioniranja kutija i pojedinačnih proizvoda. Prema [17], firma „*KIVA Systems*“ primjenila je, korištenjem AGV vozila, rješenje mobilnog sustava za komisioniranje po principu „roba čovjeku“. Prikaz tog sustava se nalazi na slici 52.



Slika 52. Mobilni sustav za komisioniranje [17]

U navedenom sustavu kutije se nalaze u paletnim jedinicama na posebnim nosačima ili u poličnim regalima na posebnom nosaču koji su uskladišteni u centru skladišta. Funkcija ovih dvaju vozila je transport potrebnih poličnih regala ili paletnih jedinica od njihovog mjesta u skladištu do radne stanice na kojoj radnik izvršava komisioniranje, te vraćanje istog poličnog regala ili paletne jedinice na mjesto na kojemu se nalazio u skladištu prije komisioniranja. Na slici 53. prikazane su te dvije izvedbe.



Slika 53. Transportne izvedbe (paletna jedinica - lijevo, polični regal - desno) [17]

Prema [17], proces se odvija na slijedeći način. Nakon primitka narudžbe, komisioniranje kreće tako da se transportnim vozilom (slika 53.) nosač dovede do mjesta na kojem se izvršava komisioniranje. Na mjestu komisioniranja laser osvjetli proizvod koji treba komisionirati, a na ekranu piše koliko je komada potrebno izuzeti. Nakon toga radnik izvršava izuzimanje kutija odnosno proizvoda. Izuzeti proizvod prolazi pored bar-kod čitača kako bi se potvrdilo izuzimanje. Nakon toga radnik proizvode stavlja na nosače sa spremnicima koji su dodijeljeni pojedinim narudžbama. Taj postupak se izvršava uz svjetlom usmjereno sortiranje i gumb za potvrdu. Nakon što je izvršena cijela narudžba, AGV vozila nosače odvoze u otpremnu zonu u pravo vrijeme s obzirom na redoslijed utovara što značajno povećava fleksibilnost sustava.

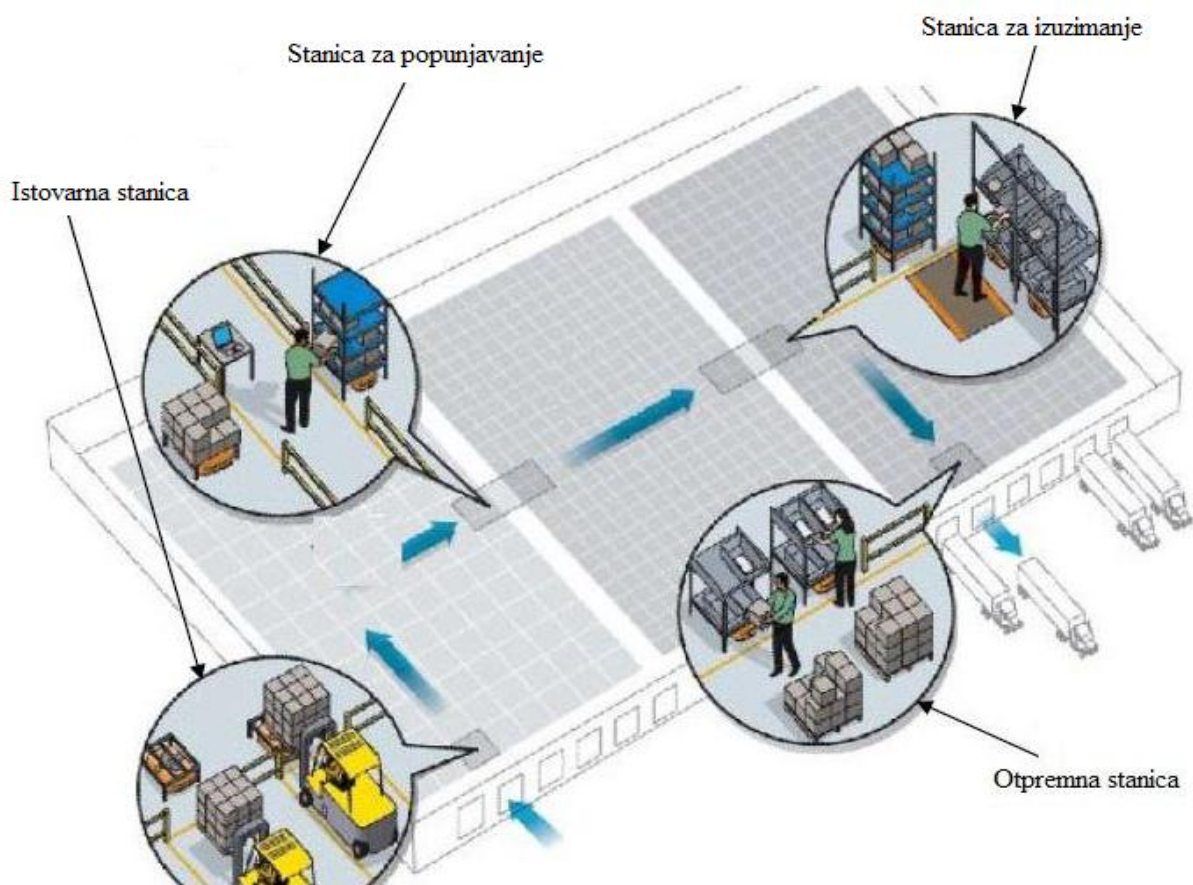
Na slici 54., na slijedećoj stranici dan je detaljan prikaz ovog postupka. Prema [18], u istovarnoj stanici viličarima se dovode palete i postavljaju se na postolja za AGV vozilo. AGV vozilo se pozicionira ispod postolja s paletom i podiže postolje.

U stanici za popunjavanje stoji operater kojemu sa obje strane dolaze AGV vozila. S jedne strane mu dolazi vozilo s praznim regalom, a s druge strane dolazi vozilo sa punom paletom. Na toj stanici operater ručno prenosi kutije s palete u prazni regal. Nakon izvršenog pretovara, operater pritiskom tipki na oba vozila označava kraj pretovara te se nakon toga

vozilo s regalom kreće do operatera na stanici za izuzimanje, a drugo vozilo odvozi praznu paletu.

Kada vozilo dođe na stanicu za izuzimanje tada radnik izvršava komisioniranje. Operater izuzima predmete iz kutija i kao što je već spomenuto stavlja ih u nosače sa spremnicima dodijeljenim pojedinim narudžbama, uz svjetlom usmjereno sortiranje. Nakon što je operater izvršio izuzimanje opet mora pritisnuti tipku na vozilu kako bi ono znalo da je operacija izvršena. Nakon toga vozilo sa izuzetim predmetima kreće prema otpremnoj stanici.

Kada AGV vozilo sa regalom dođe na otpremnu stanicu tada operater na otpremnoj stanici počne izuzete proizvode slagati iz nosača na regalu u kutije za otpremanje. Na otpremnoj stanici se kutije opet slažu na palete. Složene palete viličar odvozi u kamion i tada je postupak završen.



Slika 54. Komisioniranje KIVA sustavom [17]

Neke prednosti ovakvog sustava i načina rada su:

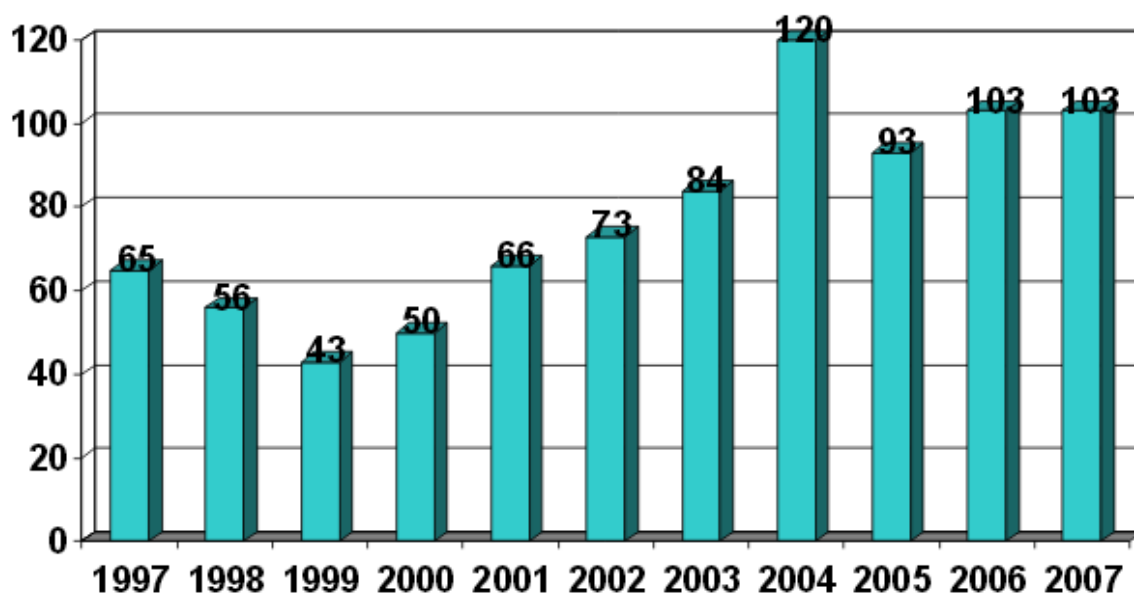
- znatno povećanje produktivnosti,
- skraćivanje vremena popunjavanja komisionih lokacija,
- povećanje fleksibilnosti,
- visoka vremenska i prostorna točnost vozila,
- niska cijena vozila.

U spomenutoj literaturi naznačeno je da je prema podacima od proizvođača sustava („Kiva Systems“) cijena ovakvog sustava manja za 80 % od automatiziranih sustava za sortiranje, a da sama skladišta izgledaju kao klasična skladišta s malim podnim robotima.

4.13. Trendovi primjene i tržišta AGV vozila

U ovome poglavlju je dosada prikazana široka primjena AGV vozila. Dakako to ne znači da AGV vozila nemaju još primjena osim ovih koje su spomenute u ovom radu. U ovom podnaslovu dati će se pregled nekih trendova koji se tiču korištenja određenih tipova AGV vozila, načina vođenja vozila i drugih karakteristika. Nažalost, uz sav uloženi trud u potrazi novijih podataka nisam uspio pronaći podatke reprezentativne za zadnjih par godina.

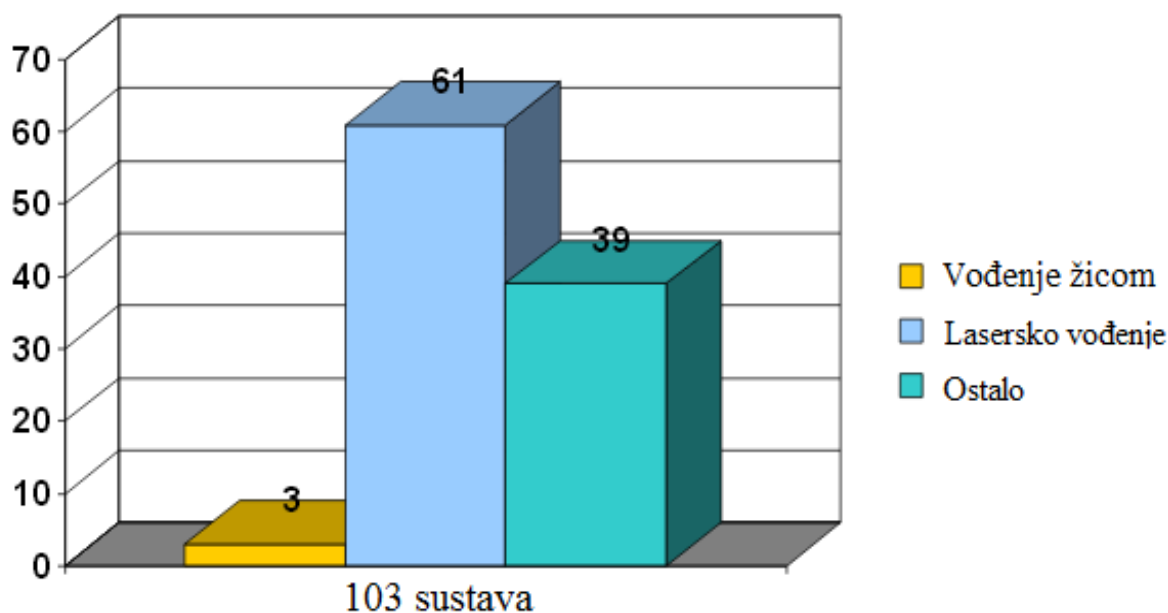
Prema [31] broj AGV sustava kontinuirano raste iz godine u godinu. Prikaz toga rasta od 1997. godine pa do 2007. godine je dan na slici 55.



Slika 55. Broj AGV sustava [31]

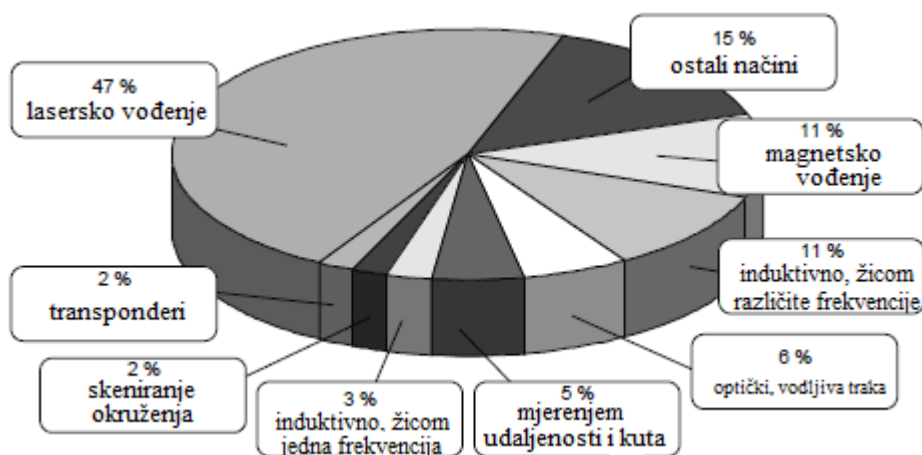
Na slici 55. je na apscisi prikazana godina, a na ordinati broj AGV sustava. Prikaz se odnosi na tvrtke članice AGVS (eng. *Automatic Guided Vehicle Systems* - AGVS) udruženja. Nažalost, prikaz staje 2007. godine, a to je prva godina prije velike recesije pa je teško reći što se događalo u recesijskom vremenu. Međutim, prema [32] se može zaključiti da je broj AGV sustava bio i dalje u laganom porastu. Naime, u spomenutom izvoru se navodi da je u 2010. godini instalirano još 110 AGV sustava, a 2011. godine još 130 AGV sustava. Spomenuti brojevi se također odnose na tvrtke koje su članice AGVS udruženja. Dakle, u 2010. i 2011. godini kumulativno je instalirano 240 AGV sustava i otprilike 1,700 AGV vozila što zajedno čini tržište od 200 milijuna američkih dolara.

Još jedno zapažanje prema [31] je učestalost načina vođenja AGV vozila. Ispitivanje je provedeno 2007. godine na 103 AGV sustava. Zaključak ispitivanja je bio da je laserski sustav vođenja AGV vozila najučestaliji i to sa 59,2 % učestalosti. S druge strane induksijsko vođenje je bilo korišteno sa 2,9 % učestalosti korištenja. Ostali načini vođenja kao što su vizijsko vođenje, vođenje GPS-om, inercijalno vođenje i druge metode su zauzimale 37,9 % učestalosti. U ispitivanju su sudjelovale tvrtke članice AGVS udruženja. Graf koji prikazuje rezultate tog ispitivanja se nalazi na slici 56.



Slika 56. Učestalost načina vođenja u AGV sustavima [31]

U izvoru [19] je prikazano malo detaljnije stanje u vezi učestalosti načina vođenja. Dijagram na slici 57. prikazuje učestalost načina vođenja AGV sustava instaliranih 2006. godine u Europi. Na dijagramu se vidi da je lasersko vođenje dominantan sustav vođenja AGV vozila.

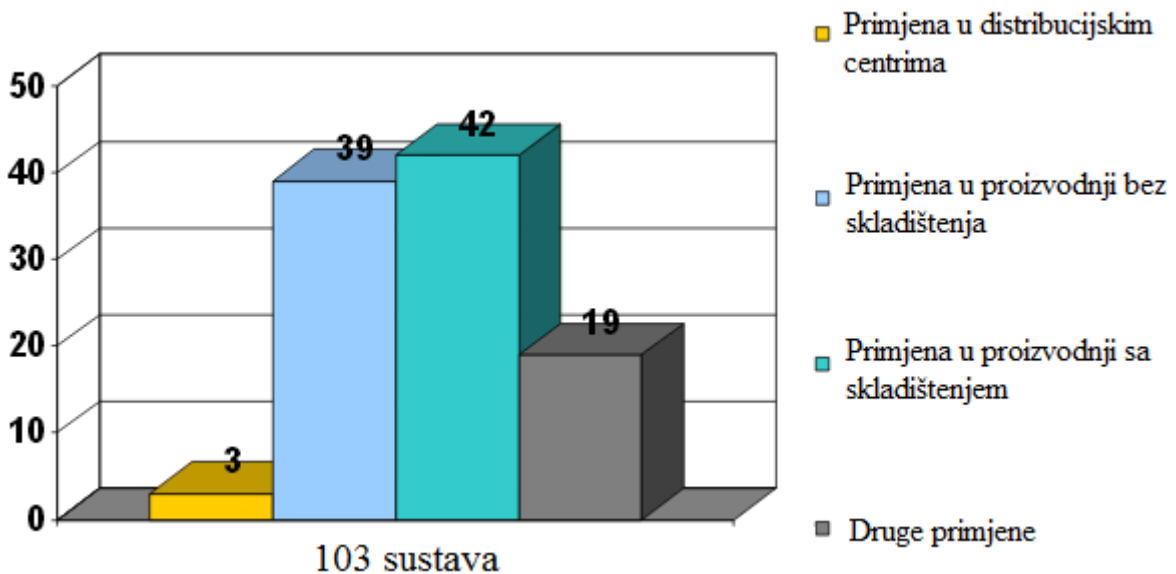


Slika 57. Učestalost načina vođenja AGV sustava u Europi [19]

U istom istraživanju ispitana je i učestalost korištenja AGV vozila u pojedinim industrijama. Rezultati tog ispitivanja su pokazali da se AGV vozila daleko najviše koriste u proizvodnoj industriji. Pri tome je uzeto u obzir i postoji li prijevoz između proizvodne hale i skladišta.

Zaključak je da je ipak učestalije korištenje AGV vozila za prijevoz kada se on vrši unutar same proizvodne hale i između proizvodne hale i skladišta. Međutim, razlika između prijevoza u proizvodnim halama uključujući skladište i ne uključujući skladište je gotovo zanemariva.

Dobiveno je, između ostalog da se AGV vozila, u usporedbi sa proizvodnjom, rijetko koriste u distributivnim centrima i to u svega 2,9 % slučajeva. U 18,45 % slučajeva se AGV vozila koriste u drugim industrijskim i neindustrijskim granama kao što su primjerice u brodskim lukama, bolnicama, tematskim parkovima i slično. Tekstom opisano stanje je prikazano na slici 58. na slijedećoj stranici.



Slika 58. Učestalost primjene AGV sustava u industrijskim granama [31]

Dakako, prikazano stanje nije isto za sve tvrtke već je to prosječno stanje unutar tvrtki AGVS udruženja. Tako primjerice prema [32], proizvođač „Dematic“ primjenu svojih vozila nalazi 75 % u proizvodnji, a 25 % u distribuciji proizvoda.

Prema [33] u 2011. godini prodaja automatiziranih vozila za rukovanje materijalom u novčanim jedinicama je iznosila oko 15,5 milijardi američkih dolara što je u odnosu na 2010. godinu povećanje od otprilike 18 %. Otprilike 42 % od ukupne globalne prodaje pripada Europi, zatim Americi kojoj pripada 21 %, a nakon Amerike slijedi Japan sa 13 % udjela u ukupnoj prodaji. Prikazani podaci vrijede za proizvođača AGV vozila „Seegrid“.

Prema prikazanim podacima može se zaključiti da je porast potražnje automatiziranih vozila, uključujući naravno i AGV vozila značajan i da u korištenoj literaturi ne postoje podaci koji bi naznačili da će se to stanje promijeniti. Prema [36], potražnja za AGV vozilima je u stalnom porastu i za primjenu u industrijama na otvorenom i u hladnom okruženju. Prema [19], u 2006. godini otprilike 6 % novougrađenih AGV sustava se koristi na otvorenom.

Prema [34], predviđeno je da će tržište automatiziranih vozila za rukovanje materijalom u 2016. godini porasti za 4 % sve do iznosa od 123,6 milijardi američkih dolara. Također je navedeno da se predviđa kako će prodaja napredne opreme kao što su automatizirani konvejeri i AGV vozila biti značajno povećana.

U [35] je dan primjer zašto su AGV vozila toliko primamljiva kupcima. Naime, u spomenutoj literaturi je rečeno da prosječni laserski vođeni AGV viličar košta otprilike 100,000 eura što je približno jednako cijeni trojice radnika na viličarima godišnje. Pošto je AGV viličar sposoban raditi u tri smjene, baš kao i tri radnika, ali sa manjim greškama i neovisno o koncentraciji dade se zaključiti da se laserski vođeni AGV viličar isplati za otprilike jednu godinu. Ako se uzme u obzir da korištenjem AGV viličara nije potrebno plaćati naknade poput zdravstvenog i socijalnog osiguranja tada to vrijeme postaje i kraće od jedne godine.

5. TRENDVI RAZVOJA AGV VOZILA

Svugdje oko nas je vidljiv drastičan rast i razvoj tehnologije. Taj razvoj je posebno izražen u zadnjih pedesetak godina. U poglavlju 2. je dana kratka povijest AGV vozila iz koje je vidljivo da je do njihovog razvitka došlo vrlo brzo. U ovom poglavlju će se obraditi neke osnovne nove tehnologije ili tehnologije koje se trenutno istražuju. Nažalost, literatura za materiju obrađenu u ovom poglavlju je vrlo oskudna.

5.1. Prepoznavanje objekata

Prema [23], razne industrije koriste vozila koja mogu automatski zahvatiti i otkačiti prikolicu ili neki drugi objekt. Nadalje, postoje sustavi koji prepoznaju objekte poput paleta i kontejnera. Prepoznavanje se vrši pomoću lokacije i veličine prepoznavanog objekta. Za ovu uporabu posebno su prikladni optički sustavi sa procesuiranjem slike.

Ova tehnologija prikladna je za eksploataciju u industriji u kojoj se prevoze kontejneri. Senzori za prepoznavanje objekata mogu se koristiti i kad je potrebno vrlo točno pozicioniranje. Oni se također mogu koristiti i kod vođenja vozila nekom stazom. Rečeno je da su za ovu uporabu prikladni optički sustavi, međutim vođenje vozila prepoznavanjem objekata se ne bazira na optičkim markerima već na samim objektima. Prema [23] očekuje se značajan daljnji razvoj ove tehnologije.

5.2. Prepoznavanje prepreka

Iako je automatizirana tehnologija došla do vrlo visoke razine i dalje su potrebni ljudi koji rade unutar automatiziranog okruženja. Zbog toga, kada vozilo dođe do čovjeka ono ga mora prepoznati i stati ili usporiti kako ne bi došlo do ozljede ljudi.

Prema [23], u ovu svrhu se najčešće koriste laserski senzori koji su već obrađeni u poglavlju 3. Laserski senzori imaju domet od otprilike pet metara te se oni koriste gotovo isključivo u zatvorenim prostorima. Kao što je već prije rečeno, prema [19] slijedeći veliki korak u razvoju laserske tehnologije je razvijanje tehnologije tako da za njezino funkcioniranje nisu potrebni reflektivni markeri od kojih se odbijaju laserske zrake. Time bi se smanjile instalacijske cijene sustava i omogućio daljnji napredak ove tehnologije. Prema [23] očekuje se značajan daljnji razvoj ove tehnologije.

Na otvorenom ova tehnologija predstavlja veći problem za riješiti nego u zatvorenom okruženju zbog prljavog okruženja, mogućih padalina, udara vjetrova i drugih prirodnih pojava. Razvoj tehnologije prepoznavanja prepreka najviše pokreće automobilska industrija koja radi na otkrivanju novih radara, lasera i nadzvučnih senzora te se mogu očekivati poboljšanja u budućnosti.

5.3. Metoda reaktivnog vođenja

Jedna relativno nova tehnologija vođenja vozila naziva se reaktivno vođenje. Tom tehnologijom navigacijski kontroler vozila odlučuje na temelju dostupnih podataka je li moguće zaobići nekakvu prepreku. Na taj način se postiže kontinuirani tok materijala jer se izbjegava bespotrebno stajanje vozila ukoliko ono naiđe na prepreku koju se može zaobići. Ova tehnologija još nije našla širu komercijalnu primjenu.

5.4. Induktivni prijenos energije

Dominantan način osiguravanja energije u AGV vozilima je pomoću baterija. Nova tehnologija kojom se osigurava opskrba AGV vozila energijom se naziva induktivni prijenos energije. Ovom tehnologijom se električna energija prenosi između dva strujna kruga na koje djeluje isto magnetsko polje. Prijenos energije je izveden tako da je glavni krug vodič ugrađen u pod, a sekundarni krug je induktor koji je ugrađen na donji dio AGV vozila. Prolaskom struje kroz vodič u zemlji inducira se magnetsko polje koje inducira električnu struju u induktoru na AGV vozilu.

Prema [19], postoje dva osnovna principa kojima se vrši induktivni prijenos energije. Prvim principom se vozilo kontinuirano opskrbljuje energijom. Ovaj princip zahtjeva instalaciju vodiča u podu tijekom cijele rute vozila što je i glavni nedostatak ovog načina. Međutim, ovim načinom se osigurava da AGV vozilo ne treba bateriju kako bi moglo raditi. U drugom principu AGV vozilo je opskrbljeno sa baterijom tako da nije potreban vodič u zemlji tijekom cijelog puta vozila. Nadalje, na taj način se osigurava rad vozila i ako dođe do prekidanja opskrbe energijom induktivnim prijenosom jer bi u tom slučaju vozilo i dalje moglo koristiti energiju iz baterije.

Veliki nedostatak ove tehnologije je da se ne može primjenjivati u prostorima u kojima nije dopuštena upotreba metala u podu. Otprilike 8 % svih AGV vozila koja su se implementirala u sustave 2006. godine su pogonjena induktivno.

Iz [19] se zaključuje da je jedan od glavnih ciljeva koji se želi u budućnosti ostvariti da se sa jednom žicom u podu može obavljati prijenos energije, komunikacija i induktivno vođenje čime bi se značajno smanjili troškovi i kompleksnost instalacije. Na slici 59. je prikazan sustav vozila u kojemu se vrši induktivni prijenos energije.



Slika 59. Induktivni prijenos energije [19]

5.5. Modularnost i standardizacija AGV vozila

Veliki nedostatak današnjih AGV sustava je taj što nisu međusobno kompatibilni već ovise o proizvođaču. Drugim riječima, ukoliko se u nekom skladištu koristi AGV vozilo proizvođača „*Dematic*“ tada se vozila tog proizvođača moraju i u budućnosti koristiti jer nisu kompatibilna sa vozilima drugih proizvođača pa bi dolazilo do grešaka u komunikaciji između vozila ili komunikacija ne bi uopće ni postojala.

Prema [19], jedan od načina na koji se taj problem pokušava riješiti je uvođenjem standardiziranog sustava komponenti koje se koriste u vozilu. Na taj način bi svaki proizvođač proizvodio vozila sa komponentama koje se temelje na tim standardiziranim komponentama. Isto tako, na taj način bi se značajno smanjio broj različitih dijelova jer bi slične komponente bile zamjenjive sa komponentama drugih proizvođača, a ne samo proizvođača dotičnog vozila. Istovremeno bi se sa uvođenjem modularnosti povećao broj dostupnih zamjenskih dijelova što bi olakšalo njihov pronalazak i nabavu.

5.6. Navigacija i komunikacija AGV vozila

Navigacijski i komunikacijski sustavi su uzajamno povezani na specifičan način. Naime, pomoću navigacijskog sustava se, ukoliko programska podrška to omogućava može odrediti kakva je situacija u nekom prostoru. Pritom se prvenstveno misli na razne blokade, zastoje i gužve. Pomoću takvih podataka se komunikacijom između vozila mogu odrediti alternativne rute kako bi se smanjila ili spriječila gužva ili izbjegla blokada vozila. Naravno, danas postoje programi koji računaju najkraću rutu do odredišta ili rutu koja će izazvati najmanju gustoću vozila ne jednom mjestu ili neku drugu opciju po kojoj će se vršiti navigacija. Razvojem tehnologije omogućeno je da se proračuni potrebni za takve informacije mogu izvršiti relativno brzo. Daljnja istraživanja u ovom području se uz tehnologiju koja se kontinuirano usavršava temelje i na razvijanju matematičkih algoritama za određivanje optimalne rute.

5.7. Automatizacija serijskih vozila

Prema [19], sljedeći korak u razvoju automatiziranih vozila je razvoj automatiziranih vozila koja se proizvode serijski kao primjerice automatiziranje kamiona. Kamioni se automatiziraju od strane proizvođača AGV vozila. Pošto su AGV vozila skupa, logičan korak za smanjenje cijene transporta je automatiziranje serijski proizvedenih vozila.

Prema [23] najveći problem kod razvoja automatiziranih serijskih vozila je razvijanje sustava za prijelaz iz ručnog u automatizirani sustav rada. „*Mercedes-Benz Actros*“ kamion je opremljen sa modernim komponentama upravljanja brzinom, upravljanja volanom i slično čime se prijelaz iz ručnog u automatski način rada, odnosno vožnje znatno olakšava.

Nadalje, moguć je prijelaz iz ručnog u automatski način rada i obrnuto u svakom trenutku što omogućava vožnju vozila po javnim cestama u ručnom načinu rada ili korištenje ručnog načina rada u dnevnoj smjeni kako bi se vozilo brže kretalo, a u noćnoj smjeni korištenje automatskog načina rada. Ova vozila se masovno proizvode pa se u skladu sa tim i detaljno ispituju. Automatski vođeni kamioni se još nazivaju AGT (eng. *Automated Guided Trucks* - AGT).

U [23] je navedeno da je još 1999, godine proizvođač AGV vozila „Götting KG“ opremio prvi „Actros“ kamion sa GPS sustavom navođenja. Međutim, za vođenje vozila se često kombiniraju načini vođenja. Neki načini su prikladnije za određene dijelove rute od drugih dijelova. Primjerice, ukoliko kamion prolazi kroz neki tunel tada se ne može koristiti GPS vođenje. U tom slučaju prikladnije je vođenje pomoću transpondera ili indukcijski. Isto tako AGT vozilo je često opremljeno kamerama kako bi kontrolni centar imao uvid u trenutnu situaciju. Neke prednosti AGT vozila nad AGV vozilima su:

- niže cijene vozila,
- niže cijene održavanja,
- veća brzina gibanja,
- dobra prodajna cijena rabljenog vozila.

Glavno područje primjene AGT vozila je na otvorenom prostoru. Ova vozila su posebno primjenljiva u transportu između tvornica, brodskih i drugih luka i bilo kojih prostora između kojih se događa transport većeg opsega. Na slici 60. je prikazano AGT vozilo.



Slika 60. AGT vozilo [23]

Već je moguća izvedba AGT vozila tako da se više AGT vozila vozi kao konvoj jedno iza drugog pri čemu je samo u prvom vozilu prisutan vozač. Na taj način se umjesto korištenja jednog vozila sa više prikolica omogućuje korištenje više vozila pa je potrebno trošiti manje energije i prostora na cesti, te je olakšano manevriranje cestom pošto je puno teže skretati sa više prikolica. Dakako moguće je i ručno upravljanje vozilom ukoliko se promjeni način rada. Ručno upravljanje je poželjno kada se prevozi dragocjena ili krhka roba. Prema [23] vozila u konvoju su povezana pomoću elektroničke veze, dakle bez ikakvog fizičkog kontakta. Na slici 61. je prikazan konvoj od dva AGT vozila.



Slika 61. Konvoj AGT vozila [23]

6. ZAKLJUČAK

Iz prikazanog se može zaključiti da su AGV vozila vrlo brzo napredovala sa razvojem tehnologije te da se njihova primjena brzo širila na razne grane industrije. U radu je pokazano, studijama slučaja i literaturom dostupnom na Internetu, da primjenom AGV vozila dolazi do pada troškova, povećanja produktivnosti, sigurnosti i fleksibilnosti, te do smanjenja učestalosti oštećenja robe. Zbog tih, i drugih karakteristika je njihova primjena vrlo poželjna.

Pokazano je također, studijama slučaja i drugom literaturom da broj AGV sustava i vozila raste iz godine u godinu i da je to već dugotrajan trend te da nema dokaza koji bi ukazivali na to da će se taj trend promijeniti. Naprotiv, napretkom tehnologije, povećanjem razine automatizacije i uvođenjem modularnosti u konstrukciju AGV vozila logično je za očekivati da će se primjena AGV vozila i dalje širiti i na druge industrijske i neindustrijske grane.

LITERATURA

- [1] JBT Corporation. *Automatic Guided Vehicles Work Beside Employees in a Distribution Center.* <http://www.mhi.org/casestudies/11580> (pristup: 10.1.2015.)
- [2] JBT Corporation. *Automatic Guided Vehicle System Increases Efficiency.* <http://www.mhi.org/casestudies/11581> (pristup: 10.1.2015.)
- [3] JBT Corporation. *Automation Optimizes Paper Warehouse Needs.* <http://www.mhi.org/casestudies/11582> (pristup: 10.1.2015.)
- [4] JBT Corporation. *Laser Guided AGV System Delivers for a Major Food Manufacturer.* <http://www.mhi.org/casestudies/11583> (pristup: 11.1.2015.)
- [5] JBT Corporation. *Automatic Guided Vehicle Transports Newspaper Print Reels.* <http://www.mhi.org/casestudies/11584> (pristup: 11.1.2015.)
- [6] JBT Corporation. *Automotive Assembly Plant Improves Productivity with AGVs.* <http://www.mhi.org/casestudies/11585> (pristup: 12.1.2015.)
- [7] JBT Corporation. *Linking Packaging & Pelletizing Common Application for AGVs.* <http://www.mhi.org/casestudies/11586> (pristup: 12.1.2015.)
- [8] JBT Corporation. *Heavy Duty Automatic Guided Vehicles Maximize Material Flow in Major Auto Manufacturing Facility.* <http://www.mhi.org/casestudies/8723> (pristup: 11.1.2015.)
- [9] JBT Corporation. *New Automatic Guided Vehicle System Increases Floor Space and Storage Capacity.* <http://www.mhi.org/casestudies/8724> (pristup: 11.1.2015.)
- [10] JBT Corporation. *Dual Load Handling Automatic Guided Vehicle Reduces Costs and Improves Efficiency.* <http://www.mhi.org/casestudies/8733> (pristup: 8.1.2015.)
- [11] Sarah, Carlson; Randy, Winger. *Are Automatic Guided Vehicles Right For You? Customer Case Studies Of Successful AGV Applications.* <http://cdn.promatshow.com/seminars/assets/652.pdf> (pristup: 7.1.2015.)
- [12] ExMac. <http://www.exmac.co.uk/products-services/automated-laser-guided-vehicles-agvs/> (pristup: 11.1.2015.)
- [13] Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle (pristup: 11.1.2015.)

- [14] Schulze, Lothar; Behling, Sebastian; Buhrs, Stefan. *AGVS IN LOGISTICS SYSTEMS, STATE OF THE ART, APPLICATIONS AND NEW DEVELOPMENTS*. Leibniz, Sveučilište u Hannoveru- <http://lipas.uwasa.fi/~phelo/ICIL2008TelAviv/45.pdf> (pristup: 3.2.2015.)
- [15] Fakultet prometnih znanosti. Predavanje. AUTOMATSKI NAVOĐENA VOZILA (AGV). Unutrašnji transport i skladištenje. Zagreb, 16.12.2011.
- [16] Goran, Đukić. Tehnička logistika - Predavanja. FSB. Zagreb, 2014.
- [17] Goran, Đukić. Posebna poglavlja tehničke logistike - Predavanja. FSB. Zagreb, 2015.
- [18] Danijel, Kolinger. Primjena AGV vozila - Završni rad. Zagreb, 2013.
- [19] Schulze, Lothar; Behling, Sebastian; Buhrs, Stefan. *Automated Guided Vehicle Systems: a Driver for Increased Business Performance*. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol IIIMECS 2008, 19-21 Ožujak, 2008, Hong Kong
- [20] Savant automation: <http://www.agvsystems.com> (pristup: 3.2.2015.)
- [21] M.B.M., De Koster. *A REVIEW OF DESIGN AND CONTROL OF AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS*. Rotterdam. Svibanj, 2004.
- [22] Iris F.A., Vis. *Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems*. European Journal of Operational Research 170 (2006) 677–709. Rujan, 2004.
- [23] Götting KG. http://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/ptn_article.pdf (pristup: 6.2.2015.)
- [24] Dematic. <http://www.dematic.com/en> (pristup: 7.2.2015.)
- [25] TRANSBOTICS. *Automatic Guided Vehicles Automate New Automotive Factory for Ergonomic Results*
- [26] TRANSBOTICS. *Tailor-Made AGV Solves Automotive Manufacturers' BIG Problem*
- [27] TRANSBOTICS. *Major Food Manufacturer Utilizes LGV System for Just In Time Delivery*
- [28] DEMATIC. *Novartis case study*
- [29] DEMATIC. *Starbucks case study*
- [30] JBT Corporation. <http://www.jbtc-agv.com/en/Solutions/Products/Special-Application-Automatic-Guided-Vehicles-AGVs> (pristup: 8.2.2015.)
- [31] MHI. <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/agvs/agvs-group-charts-2007.pdf> (pristup: 9.2.2015.)

-
- [32] MHI. <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/agvs/agvsqrsummer2012.pdf>
(pristup: 9.2.2015.)
- [33] Seegrid. <http://info.seegrid.com/Blog/bid/374347/European-Automated-Material-Handling-Trends-Get-Exposure-to-LogiMAT-2014> (pristup: 9.2.2015.)
- [34] Seegrid. <http://info.seegrid.com/Blog/bid/374056/European-Material-Handling-Trends-Are-Changing> (pristup: 9.2.2015.)
- [35] AutoAGV. http://www.autoagv.com/Industry_News14722011.html (pristup: 9.2.2015.)
- [36] Forklift Action. <http://www.forkliftaction.com/news/newsdisplay.aspx?nwid=6610>
(pristup: 9.2.2015.)

PRILOZI

I. CD-R disc