

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

**Οχήματα Αυτόματης Οδήγησης (Automated Guided  
Vehicles ή AGV )**

**ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ**

**ΒΛΑΧΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**Οκτώβρης 2017**

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μεθοδική ανάλυση των Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης (AGV). Η εργασία απαρτίζεται από οκτώ κεφάλαια. Συγκεκριμένα, παρατίθενται η ιστορία, οι τύποι και λειτουργίες των οχημάτων, καθώς και τρόποι πλοήγησης, δρομολόγησης και χρονοδρομολόγησης τους. Η εργασία ολοκληρώνεται στο τελευταίο κεφάλαιο με δυο παραδείγματα συχνών εφαρμογών των οχημάτων αυτών.

# Πίνακας Περιεχομένων

## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή Οχήματα Αυτόματης Οδήγησης (Automated Guided Vehicles ή AGV )

1.1 Ορισμός	7
1.2 Ιστορία	8

## Κεφάλαιο 2

### Τύποι και Εφαρμογές Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

2.1 Τύποι Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης	9
2.2 Εφαρμογές Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης	16

## Κεφάλαιο 3

### Πλοήγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

3.1 Τρόποι Πλοήγησης	20
3.2 Μηχανισμός οδήγησης	25

## **Κεφάλαιο 4**

### **Δρομολόγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης**

4.1 Τύποι Δρομολόγησης	28
4.1.1 Περιγραφή του προβλήματος δρομολόγησης	30
4.1.2 Σύστημα αυτόματου ελέγχου δρομολόγησης	32
4.2 Έλεγχος κυκλοφορίας	36
4.2.1 Αδιέξοδα	41
4.2.2 Προτεραιότητα	46

## **Κεφάλαιο 5**

### **Σύστημα Κίνησης**

5.1 Δομή Συστήματος Κίνησης	47
5.2 Σχεδιασμός Δικτύου Κίνησης	54
5.2.1 Κριτήρια Απόδοσης	55
5.3 Συστήματα Ροής	56
5.4 Υπολογισμός του αριθμού των οχημάτων	64
5.4.1 Οχήματα πολλαπλής χωρητικότητας	66

## **Κεφάλαιο 6**

### **Χρονοδρομολόγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης**

6.1 Σύστημα χρονοδρομολόγησης οχημάτων	67
6.1.1 Offline Σύστημα χρονοδρομολόγησης	68
6.1.2 Online Σύστημα χρονοδρομολόγησης	68
6.2 Σύστημα αποστολής οχημάτων	69
6.3 Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων	73
6.3.1 Στατική Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων	73
6.3.2 Δυναμική Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων	74
6.4 Διαχείριση Μπαταρίας	75

## **Κεφάλαιο 7**

### **Παράδειγμα Κίνησης Οχήματος Αυτόματης Οδήγησης**

7.1 Σύστημα Αποθήκης	80
7.2 Σύστημα Λιμανιού	88

## **Κεφάλαιο 8**

### **Βιβλιογραφία**

8.1 Πηγές εικόνων, πινάκων και διαγραμμάτων	92
8.2 Ιστότοποι	98
8.3 Βιβλία και επιστημονικά άρθρα	99

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

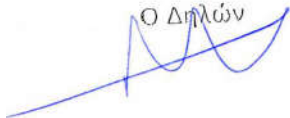
Ο / Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η Βλάχος Γεώργιος,  
του Ευσταθίου, με αριθμό μητρώου 38108 φοιτητής / α του  
Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την  
εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του  
συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και  
πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται  
αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη  
αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα  
του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος  
φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα  
του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η  
Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του  
αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα  
καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός  
ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα  
προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών



Ημερομηνία

23/10/2017

# **Κεφάλαιο 1**

## **Εισαγωγή**

### **Οχήματα Αυτόματης Οδήγησης (Automated Guided Vehicles ή AGV )**

#### **1.1 Ορισμός**

Ένα όχημα αυτόματης οδήγησης (AGV), είναι όχημα οδηγούμενο από σύστημα αυτομάτου ελέγχου, με κύρια εφαρμογή τον χειρισμό υλικών (material handling) . Η θέση η ταχύτητα και οι λειτουργίες του οχήματος καθορίζονται από μετρήσεις που λαμβάνονται από αισθητήρες τοποθετημένους στον δρόμο, στα γύρω αντικείμενα ή και στο ίδιο το όχημα. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου για να για την υλοποίηση εντολών πλοήγησης, έτσι ώστε το όχημα να ακολουθήσει με ακρίβεια τις τροχιές του.

Τα Οχήματα Αυτόματης Οδήγησης θεωρούνται τα πιο ευέλικτα συστήματα χειρισμού υλικών. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από φορείς μικρού φορτίου έως μεταφορείς φορτίου δεκάδων τόνων.

Το περιβάλλον εργασίας ενός AGV κυμαίνεται από μικρά γραφεία έως μεγάλα σύγχρονα λιμάνια.

## 1.2 Ιστορία

Τα οχήματα αυτόματης οδήγησης πρωτοεμφανίστηκαν στην αγορά την δεκαετία του 50' από την αμερικάνικη εταιρία Barrett Electronics.

Εκείνη την εποχή το AGVS ήταν ένα πολύ απλό σύστημα ενός ρυμουλκού που ακολουθούσε μια γραμμή (line-follower).

Δυο δεκαετίες αργότερα, στα 1975 η εταιρία Egemin Automation άρχισε να επεξεργάζεται την δημιουργία συστήματος ελέγχου χωρίς οδηγό για χρήση σε βιομηχανικές ή εμπορικές εφαρμογές. Έτσι ήρθε στο προσκήνιο ένας νέος τύπος AGV, που ακολουθεί αόρατα σημάδια, στην γύρω περιοχή, διαβαζόμενα από υπεριώδης φως (UV-Ultraviolet light). Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στον ουρανοξύστη Willis στο Σικάγο (Willis Tower), για μεταφορά αλληλογραφίας στα διάφορα γραφεία.

Την ίδια περίπου περίοδο και η Volvo ανέπτυξε AGV για μεταφορά σκελετών αυτοκινήτων στη γραμμή παραγωγής έως και τα τελευταία στάδια.

Αργότερα, η Volvo πούλησε την τεχνολογία αυτή και σε άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες.

Με την πάροδο των χρόνων και την γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας, τα AGV έγιναν πιο πολύπλοκα.

Σήμερα το σύστημα πλοήγησής τους λειτουργεί με χρήση τεχνολογίας laser (Laser Guided Vehicles).

Σε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία τα AGV είναι κατασκευασμένα και προγραμματισμένα να επικοινωνούν με άλλα ρομποτικά συστήματα της διαδικασίας αυτής. Έτσι εξασφαλίζεται ομαλότητα και ακρίβεια στην παραγωγή.



## Κεφάλαιο 2

### Τύποι και Εφαρμογές Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

#### 2.1 Τύποι Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

Σήμερα τα οχήματα αυτόματης οδήγησης παίζουν σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό νέων σύγχρονων εργοστασίων και αποθηκών. Με την ολοένα και πιο αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και των αναγκών για γρήγορο, ακριβές και οικονομικό χειρισμό υλικών, αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι AGV, για χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές.

- **Ρυμουλκό (Towing Vehicle).** Είναι ένα από τα πρώτα AGV που ήρθαν στην αγορά. Είναι ένα όχημα που ρυμουλκεί τρέιλερ με φορτίο. Συνήθως χρησιμοποιείται για μεγάλες αποστάσεις και πολύ συνολικό βάρος.



Εικόνα 2.1: Towing Vehicle[1]

- **Μεταφορέας Μονάδας (Unit Load Carrier).** Ο μεταφορέας αυτός είναι σχεδιασμένος να μεταφέρει ξεχωριστές μονάδες αντικειμένων. Τα αντικείμενα προς μεταφορά φορτώνονται και εκφορτώνονται σε επίπεδη πλατφόρμα πάνω στο AGV με παλλετοφόρα οχήματα ή άλλα συστήματα φόρτωσης/εκφόρτωσης. Ορισμένα Unit Load Carriers διαθέτουν πλατφόρμα εξοπλισμένη με μηχανοκίνητους ή μη μιάντες μεταφοράς (belt conveyors) ή κυλίνδρους (rollers), για την αυτοματοποιημένη φόρτωση και εκφόρτωση αντικειμένων.



Εικόνα 2.2: Unit Load Carrier with rollers[2]

- **Παλλετοφόρο Όχημα (Pallet Truck).** Είναι σχεδιασμένο για την μεταφορά παλλετοποιημένων φορτίων σε επίπεδο εδάφους. Γίνεται ευρεία χρήση αυτού του τύπου AGV για τη μεταφορά και κατανομή παλλετοποιημένων φορτίων σε περιβάλλον αποθήκης.



Εικόνα 2.3: Pallet Truck[3]

- **Περονοφόρος Ανυψωτής (Forklift Truck).** Είναι σχεδιασμένο για την μεταφορά παλετοποιημένων φορτίων σε μεγαλύτερο ύψος από ότι το pallet truck. Η δυνατότητα του αυτή το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές κατανομής και αποθήκευσης, σε υψηλά επίπεδα, σε περιβάλλον μεγάλων αποθηκών ή βιομηχανικών μονάδων. Το γεγονός όμως ότι είναι ακριβό όχημα, έχει ως αποτέλεσμα να επιλέγεται σε ένα πλήρες αυτοματοποιημένο περιβάλλον.



Εικόνα 2.4: Forklift Truck[4]

- **Μεταφορέας ελαφριού φορτίου (Light-Load Transporter).** Είναι όχημα χωρητικότητας μικρότερης των 250 kg. Χρησιμοποιείται για την μεταφορά φορτίων μικρού βάρους σε χώρους με περιορισμένη δυνατότητα ελιγμών.



Εικόνα 2.6: Light Load transporter[6]

- **Μεταφορέας βαρέως φορτίου (Heavy Load transporter).** Με εφαρμογές κυρίως στην βαριά βιομηχανία και σε σύγχρονα μεγάλα λιμάνια, ο μεταφορέας αυτός μεταφέρει αντικείμενα μεγάλου βάρους έως και 125 τόνους.



Εικόνα2.7: Heavy Load transporter[7]

- **Όχημα γραμμής παραγωγής (Assembly Line Vehicle).** Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν διαδικασίες διαδοχικής συναρμολόγησης. Το όχημα μεταφέρει ένα βιομηχανικό προϊόν στους διάφορους σταθμούς συναρμολόγησης, έως ότου η διαδικασία κατασκευή του ολοκληρωθεί. Ένα assembly line vehicle παρέχει μεγάλη ευελιξία στην παραγωγή και ευκολία στην εγκατάσταση.



Εικόνα 2.8.1: Assembly Line Vehicle[8]



Εικόνα 2.8.2: Assembly Line Vehicle[9]

## 2.2 Εφαρμογές Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

Τα οχήματα αυτόματης οδήγησης χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών χειρισμού υλικών (material handling), από διάφορους τομείς της παραγωγής και των υπηρεσιών.

Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η με ακρίβεια χρόνου επαναλαμβανόμενη μεταφορά υλικών, συνήθως σταθερού φορτίου, από ένα σημείο φόρτωσης/εκφόρτωσης σε ένα άλλο.

Παρακάτω παρατίθενται οι τομείς στους οποίους γίνεται χρήση AGV καθώς και οι λειτουργίες τους:

- ο **Βιομηχανίες**. Μέσα σε μια βιομηχανική μονάδα μια από τις πιο συνήθεις χρήσεις ενός AGV είναι η μεταφορά ακατέργαστων υλικών, όπως ρολό χαρτί ή μέταλλο, προς τις μονάδες επεξεργασίας τους. Ένα AGV χρησιμοποιείται στην μεταφορά έτοιμων προϊόντων από την μονάδα επεξεργασίας στην μονάδα αποθήκευσης ή προετοιμασίας αποστολής. Επίσης συχνή είναι και η χρήση AGV στην μεταφορά υλικών κατά την διάρκεια επεξεργασίας τους (Assembly Line Vehicle). Ένα AGV είναι κατάλληλο για την αποκομιδή βλαβερών βιομηχανικών απορριμμάτων, χωρίς την παρουσία ανθρώπου.



Εικόνα 2.2.1 Assembly Line Vehicle[10]



- **Αποθήκες.** Σε μια σύγχρονη αποθήκη, ο χρόνος και η ακρίβεια στην μεταφορά και οργάνωση των προϊόντων είναι από τους βασικότερους παράγοντες στην ομαλή λειτουργία της. Σε μια αυτοματοποιημένη αποθήκη, τα AGV χρησιμοποιούνται στην μεταφορά από και προς την αποθήκη, καθώς και στην οργάνωση και αποθήκευση τους, αλλά και στην προετοιμασία για αποστολή. Οι διεργασίες αυτές γίνονται με ακρίβεια στην διαδρομή στην τοποθέτηση αλλά και στον χρόνο. Σε περιβάλλον αποθήκης γίνεται ευρεία χρήση των Forklift Truck και Pallet Truck



Εικόνα 2.2.3 Forklift Truck[12]

- **Μεταφορές.** Στις υπηρεσίες μεταφορών, τα AGV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά αποσκευών από τον χώρο αναμονής στον χώρο φόρτωσης, ή και για την φόρτωση εκφόρτωση αποσκευών στα μέσα μεταφοράς (αεροπλάνα, πλοία κ.α.). Σημαντικό ρόλο παίζουν και στον καθαρισμό των μεγάλων χώρων αυτών των υπηρεσιών όπως τα αεροδρόμια ή και τους χώρους αναμονής των επιβατών. Σε εφαρμογές σε πολιτικά αεροδρόμια ή λιμάνια χρησιμοποιούνται Light-Load Transporters και Towing Vehicles.



Εικόνα 2.10: AGV φόρτωσης/εκφόρτωσης σε αεροπλάνο[13]

- **Νοσοκομεία.** Τέτοιου είδους αυτοματισμοί είναι πολύ χρήσιμοι σε νοσοκομεία για την μεταφορά υλικών όπως γεύματα ασθενών, κλινοσκεπάσματα και χειρουργικό και γενικά ιατρικό εξοπλισμό. Χρησιμοποιούνται για την μεταφορά και αποκομιδή ιατρικών απορριμμάτων. Όλα αυτά είναι σε πλήρη εναρμόνιση με ένα σύστημα αυτοματισμού που ελέγχει τις πόρτες, τους ανελκυστήρες, τους κάδους απορριμμάτων.



Εικόνα 2.2.2: AGV σε νοσοκομείο[11]

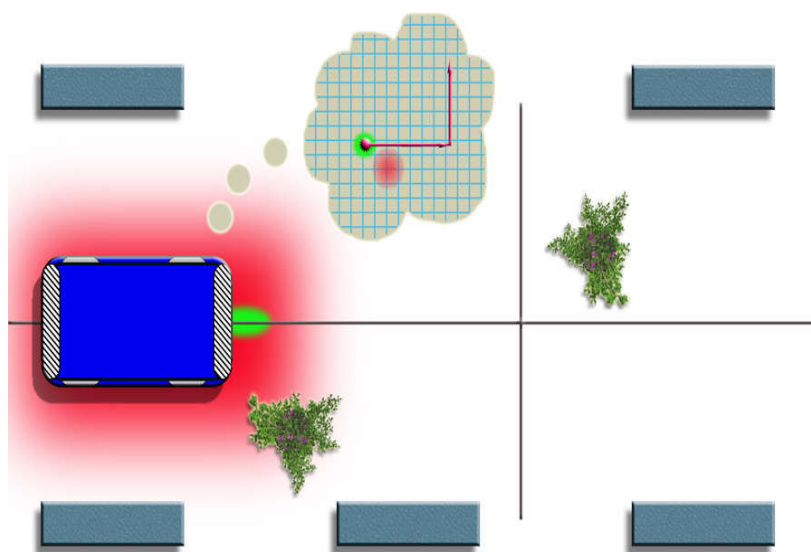
## Κεφάλαιο 3

### Πλοήγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

#### 3.1 Τρόποι Πλοήγησης

Ανάλογα με τον τύπο των οχημάτων αυτόματης οδήγησης, αλλά και των αναγκών της εγκατάστασης ή της πολυπλοκότητας της, υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι πλοήγησης ενός AGV.

- **Πλοήγηση με χρήση καλωδίου (Wired Navigation).** Είναι από τους πρώτους τρόπους πλοήγησης AGV και δεν χρησιμοποιείται συχνά σήμερα. Στο κάτω AGV είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας σήματος RF (Radio Frequency). Ένα καλώδιο είναι τοποθετημένο περίπου δυο εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και κατά μήκος της διαδρομής του AGV. Το καλώδιο αυτό εκπέμπει ένα σήμα RF το οποίο διαβάζεται από τον αισθητήρα του AGV. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του μηχανισμού οδήγησης ώστε το όχημα να ακολουθάει το καλώδιο.



Εικόνα 3.1.1 Wired Navigation AGV[14]

- **Πλοήγηση με καθοδηγητική ταινία (Guide Tape Navigation).** Εδώ για την πλοήγηση χρησιμοποιείται ταινία αντί για καλώδιο η οποία είναι τοποθετημένη στην επιφάνεια του δαπέδου. Στο όχημα είναι εγκατεστημένοι κατάλληλοι αισθητήρες ώστε να ακολουθάει την ταινία. Η ταινία αυτή μπορεί να είναι ή μαγνητισμένη ή χρωματιστή. Το πλεονέκτημα της χρωματιστής ταινίας είναι ότι μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί και να επανατοποθετηθεί σε άλλο σημείο της εγκατάστασης, σύμφωνα με τις ανάγκες της παραγωγής. Από την άλλη, μπορεί να υπάρξουν επιπλοκές σε σημεία αυξημένης κυκλοφορίας, καθώς η ταινία είναι πιθανό να λερωθεί ή και να φθαρεί. Ένα πλεονέκτημα της μαγνητισμένης ταινίας είναι η διπλή πολικότητα. Είναι δυνατό, μικρά κομμάτια μαγνητικής ταινίας, να τοποθετηθούν ώστε να αλλάξει κατάσταση το όχημα, βάση της πολικότητας και της αλληλουχίας τους.



Εικόνα 3.1.2 Guide Tape Navigation AGV[15]

- **Πλοήγηση με λέιζερ (Laser Target Navigation).** Ο τρόπος πλοήγησης με χρήση λέιζερ πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Στο AGV είναι εγκατεστημένος χάρτης του χώρου εφαρμογής του καθώς και η διαδρομή που θα ακολουθήσει. Στη γύρω περιοχή, σε κολώνες, σε μηχανές, τοίχους κα, έχουν τοποθετηθεί κάτοπτρα, συνήθως σε μορφή ταινίας. Κάθε κάτοπτρο ή στόχος είναι χαρτογραφημένος και του έχουν αποδοθεί μοναδικές συντεταγμένες X,Y. Το όχημα έχει περιστρεφόμενο πομπό και δέκτη ακτίνας λέιζερ στο πάνω μέρος του ή πολλαπλούς πομπούς και δέκτες περιφερειακά της κατασκευής του. Όταν το λέιζερ ανακλαστεί σε ένα στόχο η απόσταση υπολογίζεται αυτόματα. Το AGV εκτελεί και επεξεργάζεται πολλές τέτοιες μετρήσεις. Έτσι υπολογίζει την θέση του στον χώρο και την συγκρίνει με τους χάρτες από την μνήμη του. Με αυτόν τον τρόπο συνεχώς ενημερώνει την θέση του και καθορίζει την πορεία του προς τον επιθυμητό στόχο. Η πλοήγηση με λέιζερ έχει δυο μεθόδους που διαφέρουν μεταξύ τους από τον τύπο του λέιζερ που χρησιμοποιούν.

1. Προσαρμοζόμενο λέιζερ (Modulated Laser). Το AGV εκπέμπει συνεχόμενη ακτίνα λέιζερ. Έτσι επιτυγχάνεται συνεχής ανάκλαση από την στιγμή που το σαρωτής έρθει σε οπτική επαφή με τον στόχο. Το αποτέλεσμα είναι να έρχεται μια σταθερή και ακριβής μέτρηση από κάθε στόχο σε κάθε σάρωμα.
2. Εκπομπή παλλόμενου λέιζερ. Το AGV εκπέμπει παλλόμενο λέιζερ συχνότητας 14.4 kHz αντί για συνεχόμενη δέσμη. Για να επιτευχθεί σωστή πλοήγηση οι μετρήσεις πρέπει να υπολογιστούν στην ένταση του ανακλώμενου λέιζερ έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συντεταγμένες του στόχου.

Σε ένα ευέλικτο βιομηχανικό σύστημα (FMS) η πλοήγηση με λέιζερ δίνει το πλεονέκτημα επέκτασης της εγκατάστασης ή ακόμα και τροποποίηση της, χωρίς σημαντικές αλλαγές στο hardware πλοήγησης των οχημάτων. Αλλά και το ίδιο το σύστημα πλοήγησης μπορεί να επεκταθεί χωρίς να χρειάζεται τροποποίηση η εγκατάσταση.



Εικόνα 3.1.3 Laser Target Navigation AGV.

Φαίνονται, ο στόχος και ο περιστρεφόμενος πομπός και δεκτής του λέιζερ.[16]

- **Μαγνητική ή Γυροσκοπική πλοήγηση (Magnetic, Gyroscopic Navigation).** Αναπτύχθηκε την δεκαετία του 90. Σε αυτή τη μέθοδο στην μνήμη του AGV είναι αποθηκευμένος εικονικός χάρτης και η διαδρομή στον χώρο λειτουργίας του. Επίσης είναι εξοπλισμένο με γυροσκόπιο το οποίο ελέγχει την παραμικρή απώλεια θέσης. Στο έδαφος είναι εγκατεστημένοι μαγνήτες κατά μήκος της διαδρομής του οχήματος. Οι μαγνήτες αυτοί έχουν μοναδικές συντεταγμένες X,Y ο καθένας οι οποίες είναι και αυτές αποθηκευμένες στη μνήμη του οχήματος. Έτσι οι μαγνήτες χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για την διόρθωση σφαλμάτων στην πορεία του οχήματος. Καθώς λοιπόν το όχημα κινείται περνάει πάνω από τους μαγνήτες, τους εντοπίζει με κατάλληλους αισθητήρες και συγκρίνει τις συντεταγμένες των μαγνητών με τις εικονικές συντεταγμένες που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του. Τυχών σφάλματα εντοπίζονται και διορθώνονται, και το όχημα συνεχίζει την διαδρομή του προς τον στόχο.

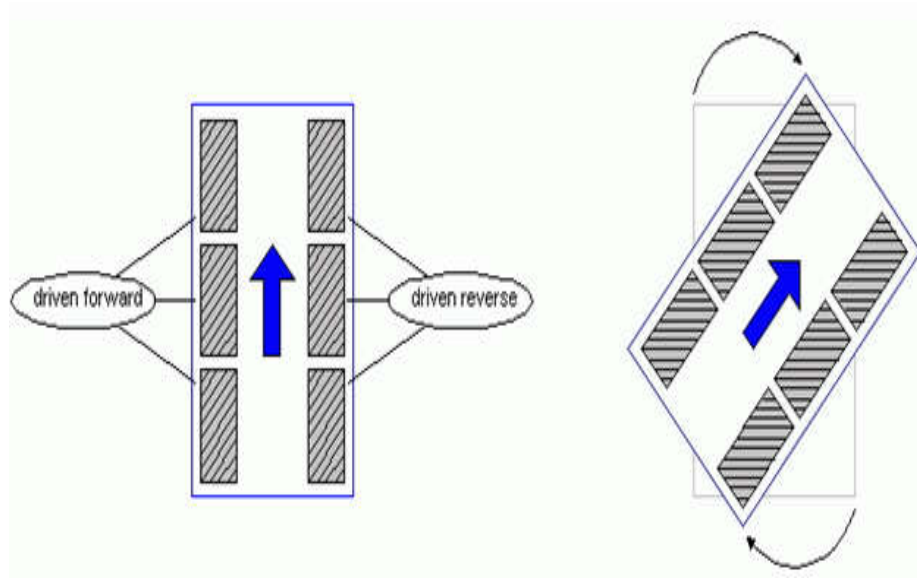
- **Πλοήγηση με φυσικά χαρακτηριστικά** (Natural Features Navigation). Η πλοήγηση γίνεται χωρίς τροποποίηση του χώρου εργασίας του οχήματος. Γίνεται χρήση αισθητήρων εύρεσης απόστασης και τεχνικών εντοπισμού θέσης, για να καταλάβει το όχημα που ακριβώς βρίσκεται, και να σχεδιάσει την συντομότερη δυνατή διαδρομή προς την επιθυμητή θέση. Αυτό το σύστημα είναι υψηλής ευελιξίας, καθώς εγκαθίσταται πολύ εύκολα και χωρίς να σταματήσει η παραγωγή στο εργοστάσιο. Ακόμα, σε περίπτωση σφάλματος και διακοπής της λειτουργίας ενός εκ των οχημάτων, το αμέσως επόμενο μπορεί να σχεδιάσει διαδρομή γύρω από το πρώτο, χωρίς να διακοπεί η ροή.
- **Οπτικός προσανατολισμός** (Vision Guidance). Και σε αυτήν την περίπτωση, η εγκατάσταση δεν περιλαμβάνει τροποποίηση του χώρου εργασίας. Το όχημα είναι εξοπλισμένο με κάμερα η οποία καταγράφει τα χαρακτηριστικά της διαδρομής. Το AGV επαναλαμβάνει την διαδρομή χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά που κατέγραψε για την πλοήγησή του. Το βασικό αισθητήριο είναι μια ειδικά κατασκευασμένη κάμερα. Χρησιμοποιεί εικόνες 360° και φτιάχνει 3D χάρτη. Έτσι το όχημα ακολουθεί μια διαδρομή χωρίς την παρέμβαση ανθρώπου ή επιπλέον ειδικών χαρακτηριστικών, τοπογραφικά σημάδια ή συστήματα εντοπισμού θέσης.



## 3.2 Μηχανισμός οδήγησης

Ένας χώρος εργασίας, όπως ένα εργοστάσιο ή ένα νοσοκομείο, δεν αποτελείται μόνο από μια μεγάλη ευθεία, αλλά έχει στροφές, διαφορετικά επίπεδα, ανελκυστήρες. Ένα όχημα αυτόματης οδήγησης πρέπει να έχει μηχανισμούς τέτοιους ώστε να μπορεί να ελιχθεί μέσα σε έναν πολύπλοκο χώρο εργασίας σύμφωνα και με τις ανάγκες της παραγωγής σε θέση, ταχύτητα κα. Για τον ελιγμό του οχήματος υπάρχουν δυο είδη συστημάτων ελέγχου οδήγησης.

1. **Σύστημα μεταβλητής ταχύτητας (Differential Speed Control).** Σε αυτή την μέθοδο οι τροχοί του AGV έχουν διαφορετικούς κινητήρες. Η κίνηση των τροχών της αριστερής πλευράς του οχήματος είναι ανεξάρτητη από την κίνηση των τροχών της δεξιάς πλευράς. Όταν οι κινητήρες λειτουργούν με την ίδια ταχύτητα, το όχημα πάει μπροστά ή πίσω. Όταν οι κινητήρες λειτουργούν με διαφορετική ταχύτητα, το όχημα στρίβει αριστερά η δεξιά με φορά προς τα εμπρός ή προς τα πίσω.
  - Για την στροφή αριστερά. Υπάρχουν δύο τρόποι για να στρίψει το AGV αριστερά. Χρησιμοποιούνται και οι δυο ανάλογα με την ανάγκη της κάθε διαδρομής. Ο πρώτος έχει ως εξής: Καθώς το όχημα κινείται προς τα εμπρός, ο κινητήρας της αριστερής πλευράς του οχήματος μειώνει ταχύτητα ενώ ο άλλος κρατάει την ταχύτητα του σταθερή. Το αποτέλεσμα είναι, το AGV να στρίψει προς τα αριστερά διαγράφοντας ένα τόξο. Με τον δεύτερο τρόπο το όχημα στρίβει αριστερά με άξονα τον εαυτό του. Ο αριστερός κινητήρας γυρίζει ανάποδα από την φορά του οχήματος ενώ ο δεξιός γυρίζει προς την φορά του και με την ίδια ταχύτητα με τον αριστερό. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και η στροφή αριστερά όμως όταν το όχημα κινείται προς τα πίσω.
  - Η στροφή προς τα δεξιά πραγματοποιείται ακριβώς όπως η αριστερή. Τώρα όμως ο κινητήρας από την δεξιά μεριά του οχήματος μειώνει ταχύτητα στην πρώτη περίπτωση και λειτουργεί με αντίθετη φορά στην δεύτερη.

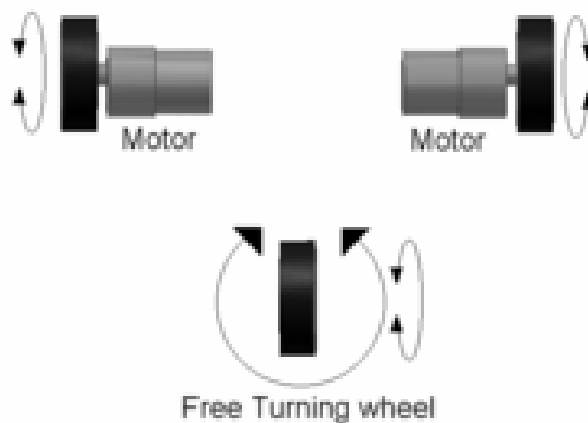


Εικόνα 3.2.1 Στροφή προς τα δεξιά με τον δεύτερο τρόπο[17]

Συχνή χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ελιγμοί σε στενούς διαδρόμους ή η εργασία των οχημάτων γίνεται σε μικρή απόσταση από άλλα μηχανήματα.

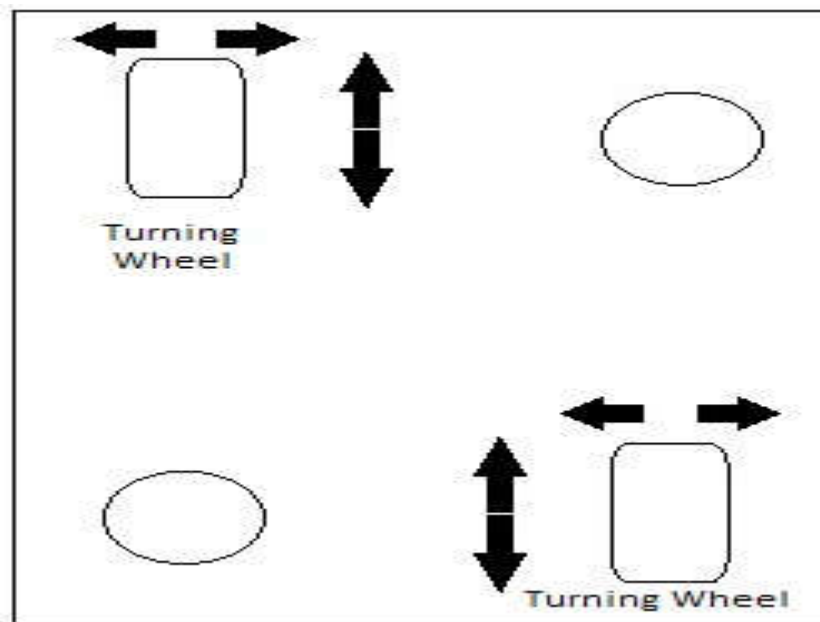
## 2. Σύστημα οδήγησης με περιστρεφόμενη ρόδα (Steered Wheel Control).

Αυτός ο τρόπος είναι παρόμοιος με τον τρόπο οδήγησης ενός αυτοκινήτου. Αρκετά συχνά τα οχήματα που χρησιμοποιούν αυτόν τον μηχανισμό οδήγησης έχουν τρεις ρόδες, οι δυο πίσω είναι σταθερές και η μπροστά είναι περιστρεφόμενη και δίνει την κίνηση. Αυτός ο τρόπος οδήγησης καθιστά το όχημα ικανότερο να ακολουθάει με ακρίβεια την προγραμματισμένη διαδρομή και με πιο ομαλή ροή της κίνησης του.



Εικόνα 3.2.2 Σύστημα με περιστρεφόμενη ρόδα[18]

3. **Συνδυασμός.** Μια τρίτη μέθοδο αποτελεί ο συνδυασμός των άλλων δυο. Το όχημα, σε αυτή την περίπτωση, έχει τους δυο ανεξάρτητους μεταξύ τους κινητήρες τοποθετημένους διαγώνια. Στις άλλες δυο γωνίες είναι τοποθετημένοι κύλινδροι ή μεταλλικές σφαίρες. Το όχημα έχει έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί και τους δυο τρόπους οδήγησης. Το αποτέλεσμα είναι να έχει πλεονεκτήματα και των δύο μηχανισμών οδήγησης όσον αφορά την ακρίβεια θέσης και διαδρομής.



Εικόνα 3.2.3 Σύστημα μεταβλητής ταχύτητας με περιστρεφόμενη ρόδα

## Κεφάλαιο 4

### Δρομολόγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

#### 4.1 Τύποι Δρομολόγησης

Ένα όχημα αυτόματης οδήγησης για να πάει από το σημείο A στο σημείο B, επιλέγει μια διαδρομή από τις διάφορες που μπορεί να έχει. Τα όχημα αυτόματης οδήγησης είναι προγραμματισμένα να επιλέγουν την συντομότερη διαδρομή που έχουν στη διάθεσή τους. Η επιλογή διαδρομής (path decision) ή δρομολόγηση (routing) είναι μια θεμελιώδης λειτουργία ενός AGV καθώς του επιτρέπει να επιλέξει την συντομότερη διαδρομή προς τον επιθυμητό προορισμό.

Ανάλογα αν η πλοήγηση γίνεται με καλώδιο (wired) ή χωρίς καλώδιο (non-wired) η επιλογή διαδρομής έχει δυο τύπους.

- **Μέθοδος επιλογής συχνότητας** (Frequency Select Method). Αφορά AGV που λειτουργούν με wired navigation. Η επιλογή της διαδρομής βασίζεται σε μια συχνότητα RF που εκπέμπει το καλώδιο πλοήγησης. Κάθε διασταύρωση ή σύγκλιση καλωδίων αποτελεί ένα σημείο απόφασης (decision point) στο οποίο το AGV πρέπει να αποφασίσει προς ποια κατεύθυνση θα κινηθεί. Σε κάθε decision point η συχνότητα RF είναι διαφορετική από καλώδιο σε καλώδιο. Έτσι το AGV, όταν φτάσει σε ένα decision point διαβάζει ένα σημάδι στο έδαφος (μαγνήτης, μεταλλική πλάκα, barcode κα ) και καταλαβαίνει την θέση του. Καθώς έρχεται προς το decision point, ακολουθεί μια συχνότητα και μόλις φτάσει στο σημείο αυτό οι συχνότητες γίνονται πολλαπλές, μια για κάθε διαδρομή. Το όχημα, αποφασίζει ποια διαδρομή θα ακολουθήσει χρησιμοποιώντας στοιχεία αποθηκευμένα στη μνήμη του.

Συνήθως, τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν δυο ή τρεις συχνότητες. Αυτές είναι συνεχώς ενεργές και χρησιμοποιούνται ξανά και ξανά καθ' όλη την έκταση του συστήματος, όποτε είναι αναγκαίες.

- **Μέθοδος επιλογής διαδρομής (Path Select Method).** Αφορά οχήματα που λειτουργούν με non-wired navigation. Υπάρχει μια κεντρική διαδρομή χωρισμένη σε τμήματα και υποτμήματα. Το όχημα έχει υποθηκευμένο όλο το σύνολο των τμημάτων αυτών και των επιλογών διαδρομής που έχει. Όταν το AGV φτάνει σε ένα decision point επιλέγει μια από τις διαδρομές που είναι στην μνήμη του. Ο ελεγκτής του οχήματος, απλά επιλέγει μια από τις διαδρομές αυτές έτσι ώστε το όχημα να φτάσει στον επιθυμητό προορισμό όσο το δυνατόν συντομότερα.

Για να είναι πιο αποτελεσματικό ένα ευέλικτο βιομηχανικό σύστημα (Flexible Manufacturing System-FMS), στην διαδικασία δρομολόγησης πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος διαδρομής και όχι απλά η απόσταση από ένα σημείο στον προορισμό. Μια βιομηχανική εγκατάσταση θα είναι πιο παραγωγική αν η επιλογή διαδρομής γίνεται με κριτήριο την συντομότερη διαδρομή χρονικά. Το σύστημα θα ελέγχει όχι μόνο την απόσταση από την αρχική θέση του AGV (A) ως τον επιθυμητό προορισμό (B), αλλά και πόσο χρόνο θα χρειαστεί για να φτάσει εκεί. Το σύστημα θα ελέγχει και άλλες μεταβλητές όπως συμφόρηση, στάσεις αναμονής ή και στάσεις σε σταθμούς εργασίας, ελιγμούς για αποφυγή συγκρούσεων. Έτσι όμως δημιουργείται ένα πρόβλημα δρομολόγησης, που πρέπει να λύσει το σύστημα, ως προς την εύρεση διαδρομής για το όχημα με τον μικρότερο απαιτούμενο χρόνο για την κίνηση από το σημείο A στο σημείο B.

#### 4.1.1 Περιγραφή του προβλήματος δρομολόγησης

Σε ένα ευέλικτο βιομηχανικό σύστημα, δίνεται στο AGV μια λίστα εντολών, η κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα υλικό προς χειρισμό. Οι μονάδες του υλικού μεταφέρονται από το όχημα σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης για την επεξεργασία τους. Κάθε εντολή καθορίζει μια αλληλουχία λειτουργιών στους διάφορους σταθμούς εργασίας του βιομηχανικού κέντρου. Ο σχεδιασμός της παραγωγής θέτει τον νωρίτερο χρόνο έναρξης κάθε μηχανής για κάθε φορτίο των οχημάτων και κάθε εντολή, με χρήση τεχνικών αξιολόγησης και ελέγχου προγράμματος. Έτσι κάθε εντολή χειρισμού υλικού αποτελείται από λειτουργίες παραλαβής και παράδοσης (pick-up and delivery) ενός συγκεκριμένου φορτίου στους αντίστοιχους νωρίτερους χρόνους.

Το δίκτυο διαδρομών είναι διπλής κατεύθυνσης και έτσι μπορούν να γίνουν συγκρούσεις είτε όταν δυο οχήματα πηγαίνουν προς την ίδια διασταύρωση την ίδια χρονική στιγμή ή αν δυο οχήματα κατευθύνονται μετωπικά προς το ίδιο σημείο την ίδια χρονική στιγμή. Είναι επίσης πιθανό το AGV να χρειαστεί να αποφύγει συγκρούσεις με άλλα οχήματα που δεν είναι AGV ή και με υπάλληλους αν στο βιομηχανικό σύστημα δεν υπάρχουν αποκλειστικοί δρόμοι για τα AGV. Τα παραπάνω στοιχεία συμβάλουν στην αύξηση της καθυστέρησης παράδοσης ενός φορτίου στον προορισμό του.

Η καθυστέρηση παραγωγής συμβαίνει όταν ένα φορτίο παραδοθεί στον προορισμό του μετά το πέρας του αρχικού χρόνου έναρξης της μηχανής. Και όσο μεγαλύτερο είναι το άθροισμα των καθυστερήσεων παράδοσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση παραγωγής, αυξάνοντας έτσι το κόστος λειτουργίας την εγκατάστασης.

Έτσι το πρόβλημα δρομολόγησης, που πρέπει να λύσει το σύστημα, διατυπώνεται ως: *Δεδομένου τον αριθμό των AGV, την αρχική τους θέση και μια λίστα αιτημάτων pick-up and delivery, να βρεθεί η ανάθεση καθηκόντων και οι συντομότερες, χωρίς συγκρούσεις, διαδρομές για τα AGV έτσι ώστε το σύνολο καθυστερήσεων παραγωγής να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο.*

Η λύση αυτού του προβλήματος από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου των AGV καθορίζει:

- Τον αριθμό των AGV που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας εργασίας.
- Την ανάθεση αιτημάτων στα AGV
- Την θέση κάθε AGV, κάθε χρονική στιγμή, μέσα στην εγκατάσταση.
- Τον σχεδιασμό/προγραμματισμό κάθε παραλαβής και παράδοσης.
- Τον ενημερωμένο προγραμματισμό των εργασιών κάθε μηχανής, δεδομένου του σχεδίου παραγωγής.

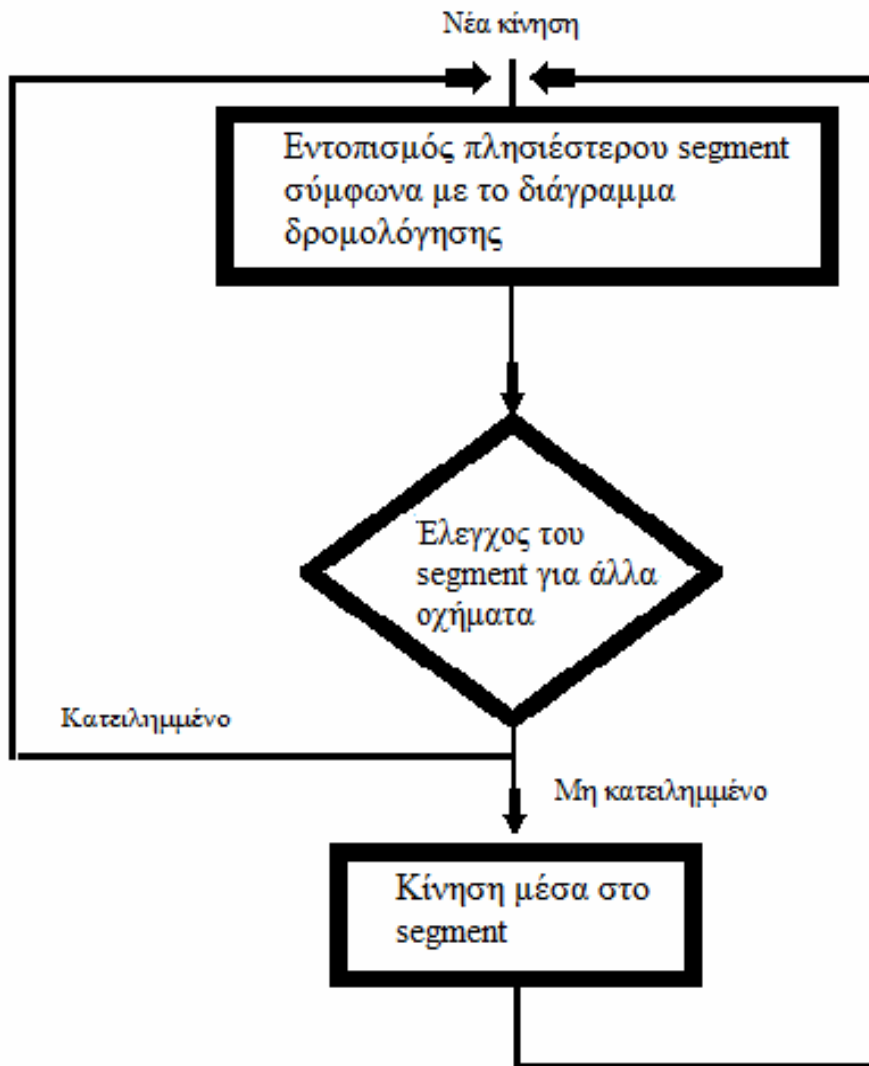
Η ανάπτυξη ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου δρομολόγησης, που θα ρυθμίζει και θα χειρίζεται όλες αυτές τις παραμέτρους και θα δίνει τις κατάλληλες εντολές κίνησης στα οχήματα, είναι βασικό για την λειτουργία και την παραγωγικότητα ενός ευέλικτου βιομηχανικού συστήματος.

#### 4.1.2 Σύστημα αυτόματου ελέγχου δρομολόγησης

Το σύστημα δρομολόγησης, είναι ένα σύστημα ελέγχου το οποίο είναι υπεύθυνο για την κίνηση των AGV όλης της εγκατάστασης. Μπορεί να είναι κεντρικό και να ελέγχει όλα τα οχήματα ταυτόχρονα ή μπορεί να είναι αποκεντρωμένο, στο κάθε όχημα ξεχωριστά, και όλα τα οχήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Σκοπός του συστήματος είναι η επιλογή συγκεκριμένης διαδρομής για τα οχήματα, από την αρχική τους θέση προς την επιθυμητή, αλλά και ο έλεγχος της πορείας των οχημάτων, έτσι ώστε η δεύτερη να μπορεί να αλλάξει σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης.

Έχει επικρατήσει, στο σύστημα δρομολόγησης, ένας εικονικός χωρισμός της διαδρομής σε τμήματα (segments). Το μέγεθος των segments καθορίζεται από την ακτίνα λειτουργίας των αισθητήρων ελέγχου που είναι εγκατεστημένοι πάνω στο όχημα. Ο κανόνας που ισχύει είναι ότι μόνο ένα όχημα μπορεί να είναι μέσα σε ένα segment. Ο έλεγχος που κάνει ένα όχημα πριν κινηθεί προς ένα segment περιγράφεται σχηματικά από το διάγραμμα 4.1.

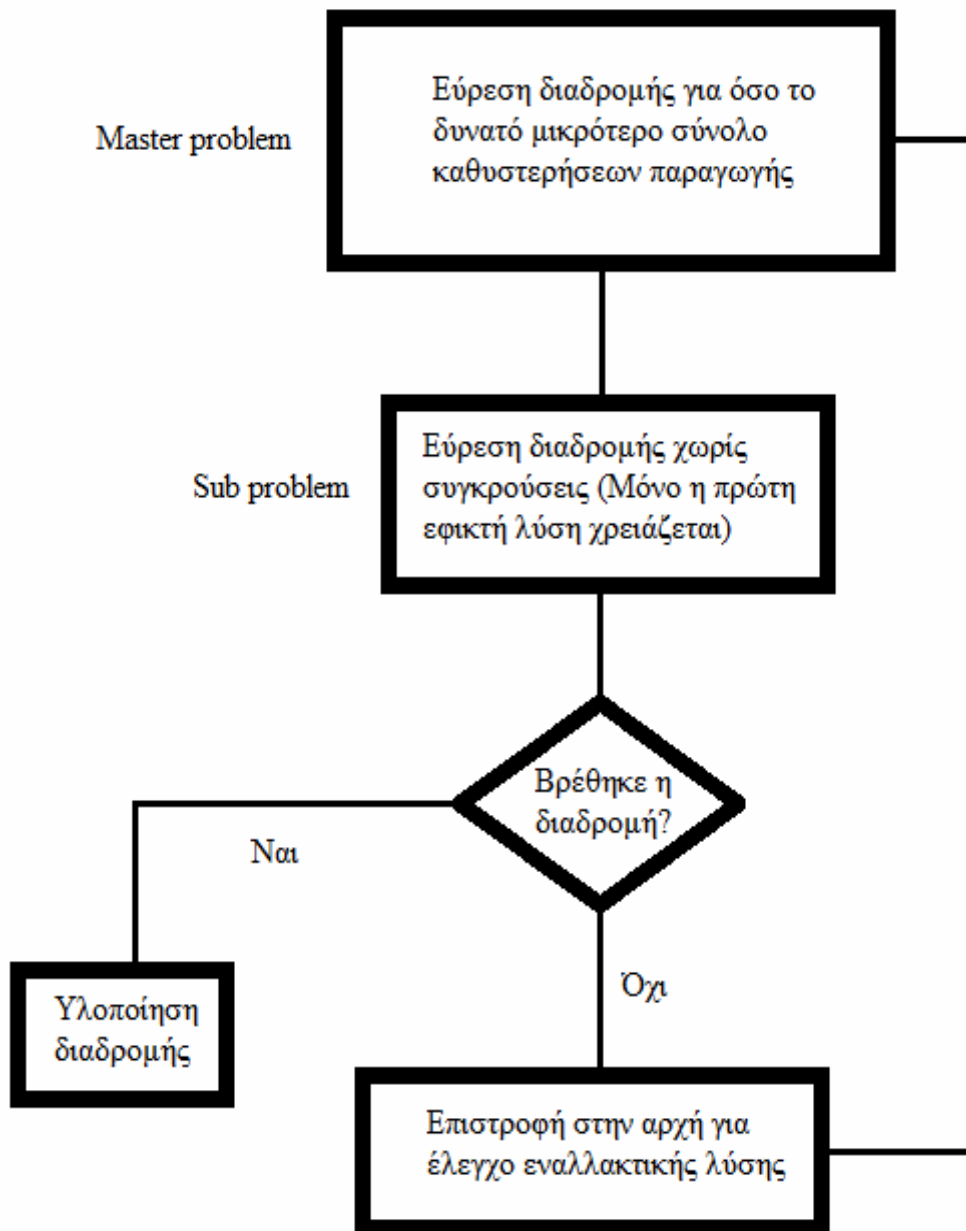




Διάγραμμα 4.1.1 Έλεγχος του AGV πριν την κίνησή του προς ένα segment[1]

Το όχημα εντοπίζει το αμέσως επόμενο segment και επιχειρεί να εισέλθει σε αυτό. Κάνει έλεγχο να δει αν είναι κατειλημμένο. Αν δεν είναι κατειλημμένο εισέρχεται σε αυτό, αν είναι επαναλαμβάνει την διαδικασία. Έτσι το όχημα αναμένει στην θέση του έως ότου το δεύτερο που καταλαμβάνει το segment μετακινηθεί σε άλλο. Τότε το πρώτο όχημα εισέρχεται στο segment και επαναλαμβάνει την διαδικασία για να κινηθεί στο επόμενο. Για την αποφυγή συγκρούσεων που μπορεί να συμβεί αν δυο AGV επιχειρήσουν να εισέλθουν ταυτόχρονα στο ίδιο segment, τηρείται χρονική προτεραιότητα. Έτσι το όχημα που έχει τον μεγαλύτερο χρόνο αναμονής κινείται πρώτο προς αυτό.

Σε ένα ευέλικτο βιομηχανικό σύστημα τα AGV κινούνται σε σειρά στις περιοχές ανάμεσα στους σταθμούς φόρτωσης-εκφόρτωσης ή επεξεργασίας και ανάλογα με το τι φορτίο μεταφέρουν, χωρίζονται σε μικρότερες σειρές ή και σε μονάδες για να προσεγγίσουν διάφορους σταθμούς. Κατά την διαρκή κίνηση των AGV, δημιουργούνται καθυστερήσεις που προστίθενται στο άθροισμα καθυστέρησης παραγωγής. Κάποιες καθυστερήσεις είναι αναπόφευκτες αλλά κάποιες είναι δυνατό να προβλεφθούν και να αποφευχθούν με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης όλου του βιομηχανικού συστήματος. Αυτό συνίσταται στην επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης. Το σύστημα δρομολόγησης χωρίζει το πρόβλημα σε δυο, ένα κύριο (master problem) και ένα δευτερεύον (sub problem) και κάνει έλεγχο πρώτα για την βέλτιστη λύση του κύριου μετά για την βέλτιστη του δευτερεύοντος. Αν δεν βρεθεί λύση επαναλαμβάνει την διαδικασία για εύρεση εναλλακτικής λύσης. Όταν το σύστημα εντοπίσει την βέλτιστη διαδρομή που ικανοποιεί και τις δυο συνθήκες, προχωράει στην υλοποίησή της. Ο έλεγχος φαίνεται σχηματικά από το διάγραμμα 4.1.2.



Διάγραμμα 4.1.2 Διάγραμμα ελέγχου προβλήματος διαδρομής[2]

## 4.2 Έλεγχος κυκλοφορίας

Σε μια εγκατάσταση που γίνεται χρήση περισσότερων του ενός οχημάτων αυτόματης οδήγησης, είναι απαραίτητο ένα σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας (Traffic Management). Ενός συστήματος δηλαδή που διαχειρίζεται τη ροή των οχημάτων έτσι ώστε να αποφεύγεται συμφόρηση, τυχών συγκρούσεις και αδιέξοδα (deadlocks).

Έχουν αναπτυχθεί τρεις τέτοιες μέθοδοι:

- **Έλεγχος Ζώνης (Zone Control).** Αυτή η μέθοδος είναι η πιο δημοφιλής και η πιο ευρεία χρησιμοποιούμενη αφού κατάτμηση της διαδρομής σε τμήματα γίνεται και για λόγους δρομολόγησης. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, το σύνολο του χώρου που κινείται και λειτουργεί ένα AGV χωρίζεται σε ζώνες. Σε κάθε ζώνη δεν μπορεί να υπάρξουν παραπάνω από ένα AGV. Για να περάσει ένα όχημα σε μια ζώνη, πρέπει πρώτα αυτό που είναι ήδη μέσα να εξέλθει από αυτή. Έτσι διασφαλίζεται όχι μόνο η ομαλή ροή των οχημάτων αλλά επίσης και η αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ τους. Η μέθοδος ελέγχου ζώνης χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες.
  1. **Κεντρικός έλεγχος ζώνης (Central Zone Control).** Κάθε ζώνη είναι εξοπλισμένη με έναν δικό της πομπό σήματος. Ένας κεντρικός ελεγκτής ελέγχει τα σήματα της κάθε ζώνης. Όταν ένα όχημα είναι σε μια ζώνη, ο ελεγκτής λαμβάνει αυτή την πληροφορία και επικοινωνεί με τα υπόλοιπα οχήματα δίνοντας εντολή αναμονής σε όσα επιθυμούν να μπουν στην κατειλημμένη ζώνη. Όταν το πρώτο όχημα βγει από την ζώνη ο κεντρικός ελεγκτής επικοινωνεί με τα υπόλοιπα οχήματα και δίνει εντολή στο επόμενο να εισέλθει στην ζώνη. Ο κεντρικός ελεγκτής έχει ολική εικόνα για την κυκλοφορία των οχημάτων, και έτσι του δίνεται το πλεονέκτημα να χειρίζεται καλύτερα το σύστημα δρομολόγησης σε περιπτώσεις συμφόρησης ή αδιέξοδων, ακόμα και στην πρόβλεψη συγκρούσεων. Από την άλλη, έχει μεγάλο φόρτο πληροφοριών και έτσι αυξάνεται το κόστος του hardware, το οποίο είναι ανάλογο με το μέγεθος του στόλου των οχημάτων και το μήκος και την πολυπλοκότητα των διαδρομών.

2. Έλεγχος ζώνης μέσω του οχήματος (Vehicle Zone Control). Εδώ ο πομπός σήματος είναι εγκατεστημένος στα οχήματα. Το κάθε όχημα έχει έναν δικό του πομπό, έτσι επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού ελεγκτή. Το όχημα ξέρει τις συντεταγμένες του και στέλνει την πληροφορία αυτή στα υπόλοιπα. Το σύνολο των οχημάτων λαμβάνουν συνεχώς τέτοιες πληροφορίες, τις επεξεργάζονται και παίρνουν αποφάσεις για τις επόμενες κινήσεις τους, αν μπορούν δηλαδή να προχωρήσουν στην επόμενη ζώνη ή αν πρέπει να περιμένουν σε αυτή που βρίσκονται.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάθε μορφή ελέγχου ζώνης, είναι πιο αποτελεσματικό ο χώρος στον οποίο δουλεύουν τα AGV να είναι χωρισμένος σε πολλές ζώνες. Αυτό γιατί σε όσο περισσότερες ζώνες είναι χωρισμένο το σύστημα, τα οχήματα έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων. Για παράδειγμα, ζώνες των 15 m, παρέχουν περισσότερη κινητικότητα στα οχήματα από ζώνες των 60 m. Σε μια δεδομένη διαδρομή, χωρισμένη σε ζώνες των 60 m χωράνε τέσσερις φορές οι ζώνες των 15 m. Αυτό σημαίνει ότι ένα σύστημα με πολλές ζώνες, στα πλαίσια των δυνατοτήτων φυσικά, είναι πιο αποδοτικό.

- **Εμπρόσθιος έλεγχος (Forward Sensing Control).** Είναι έλεγχος απόστασης. Ένα όχημα είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες εντοπισμού στην μπροστά όψη του. Οι αισθητήρες αυτοί είναι τριών ειδών, ηχητικοί (sonic), οπτικοί (optical) και κρούσης (bumper).

- I. Οι ηχητικοί αισθητήρες λειτουργούν όπως το ραντάρ. Δηλαδή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα και λαμβάνει αυτά που ανακλώνται σε κάποιο εμπόδιο. Έτσι το όχημα μπορεί να ξέρει ανά πάσα στιγμή την απόσταση από ένα άλλο αντικείμενο.
- II. Οι οπτικοί αισθητήρες λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τους ηχητικούς αισθητήρες άλλα κάνουν χρήση υπέρυθρων πηγών φωτός. Εδώ, όπως και στην περίπτωση των ηχητικών αισθητήρων αναπτύσσεται ένα πεδίο ασφαλείας όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.2. Το όχημα μειώνει ταχύτητα ή σταματάει πλήρως ανάλογα με την θέση του εμποδίου στο πεδίο.
- III. Τα bumper χρησιμοποιούν την φυσική επαφή μεταξύ των οχημάτων για να κάνουν έλεγχο (εικόνα 4.2.2).



Εικόνα 4.2.1 Πεδίο ασφαλείας κατά τον εμπρόσθιο έλεγχο[19]



Εικόνα 4.2.2 Bumper[20]

Οι περισσότερες εφαρμογές, παρά τον εγκατεστημένο αισθητήρα ή την μέθοδο ελέγχου κυκλοφορίας που διαθέτουν, έχουν και έναν αισθητήρα bumper για περιπτώσεις που κάτι πάει στραβά (fail-safe).

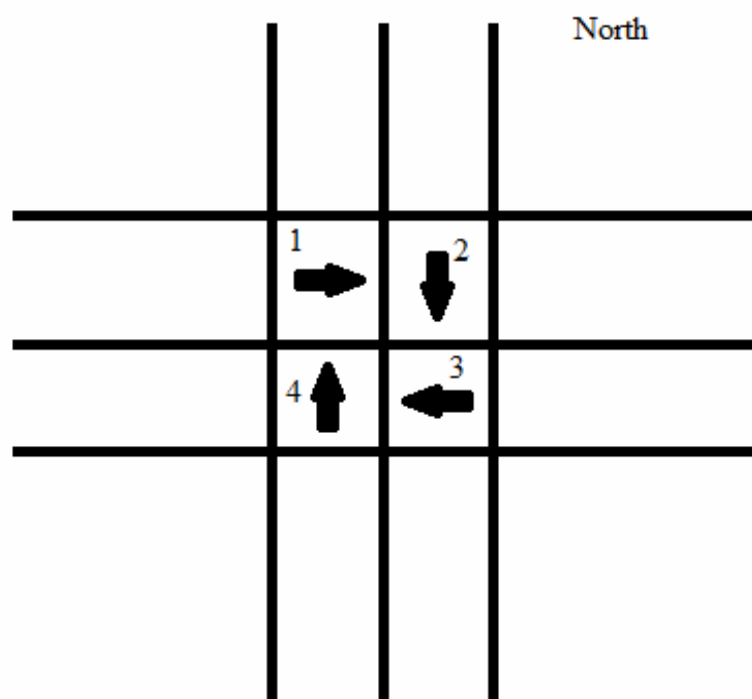
Με τον εμπρόσθιο έλεγχο το όχημα ελέγχει την απόσταση από το αμέσως μπροστά από αυτό όχημα, καθώς και την ταχύτητα και των δυο, και παίρνει τις ανάλογες αποφάσεις επιτάχυνσης-φρένου ώστε να αποφευχθεί σύγκρουση. Η φύση αυτού του ελέγχου τον καθιστά μη αποτελεσματικό σε σημεία της διαδρομής του οχήματος που έχουν διασταυρώσεις και συγκλήσεις, αφού οι αισθητήρες λειτουργούν μόνο για το μπροστά όχημα και όχι για άλλα που έρχονται από τα πλάγια. Λόγω του μειονεκτήματος αυτού, η μέθοδος εμπρόσθιου ελέγχου είναι χρήσιμη σε περιβάλλον όπου η διαδρομή δεν διακόπτεται από διασταυρώσεις και συγκλήσεις. Σε άλλες περιπτώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο συνδυαστικός έλεγχος.

- **Συνδυαστικός Έλεγχος (Combination Control).** Ο συνδυασμός του εμπρόσθιου ελέγχου με τον έλεγχο ζώνης μπορεί να είναι πολύ αποδοτικός. Σε μια βιομηχανική εγκατάσταση μπορεί να γίνεται εμπρόσθιος έλεγχος στα τμήματα της διαδρομής που η πορεία του οχήματος είναι ευθεία, μειώνοντας έτσι το κόστος και έλεγχος ζώνης στα τμήματα της διαδρομής που διακόπτονται από διασταυρώσεις και συγκλήσεις. Έτσι τα οχήματα θα ανταποκρίνονται και στις δυο μεθόδους, ανάλογα με τις ανάγκες που επιβάλλει το περιβάλλον εργασίας τους, και ταυτόχρονα ένα κομμάτι του κόστους της εγκατάστασης θα μειωθεί.



### 4.2.1 Αδιέξοδα

Εκτός από την πρόβλεψη και αποφυγή συμφόρησης, συγκρούσεων και αδιέξοδων, το σύστημα πρέπει να αντιμετωπίζει καταστάσεις που αδιέξοδα έχουν συμβεί. Ο έλεγχος κυκλοφορίας μπορεί να τα προβλέψει και να τα αποφύγει, δεν έχει όμως δυνατότητα επίλυσής τους ένα αυτά συμβούν. Ένα απλό παράδειγμα από ένα deadlock φαίνεται στο σχήμα 4.3.1.



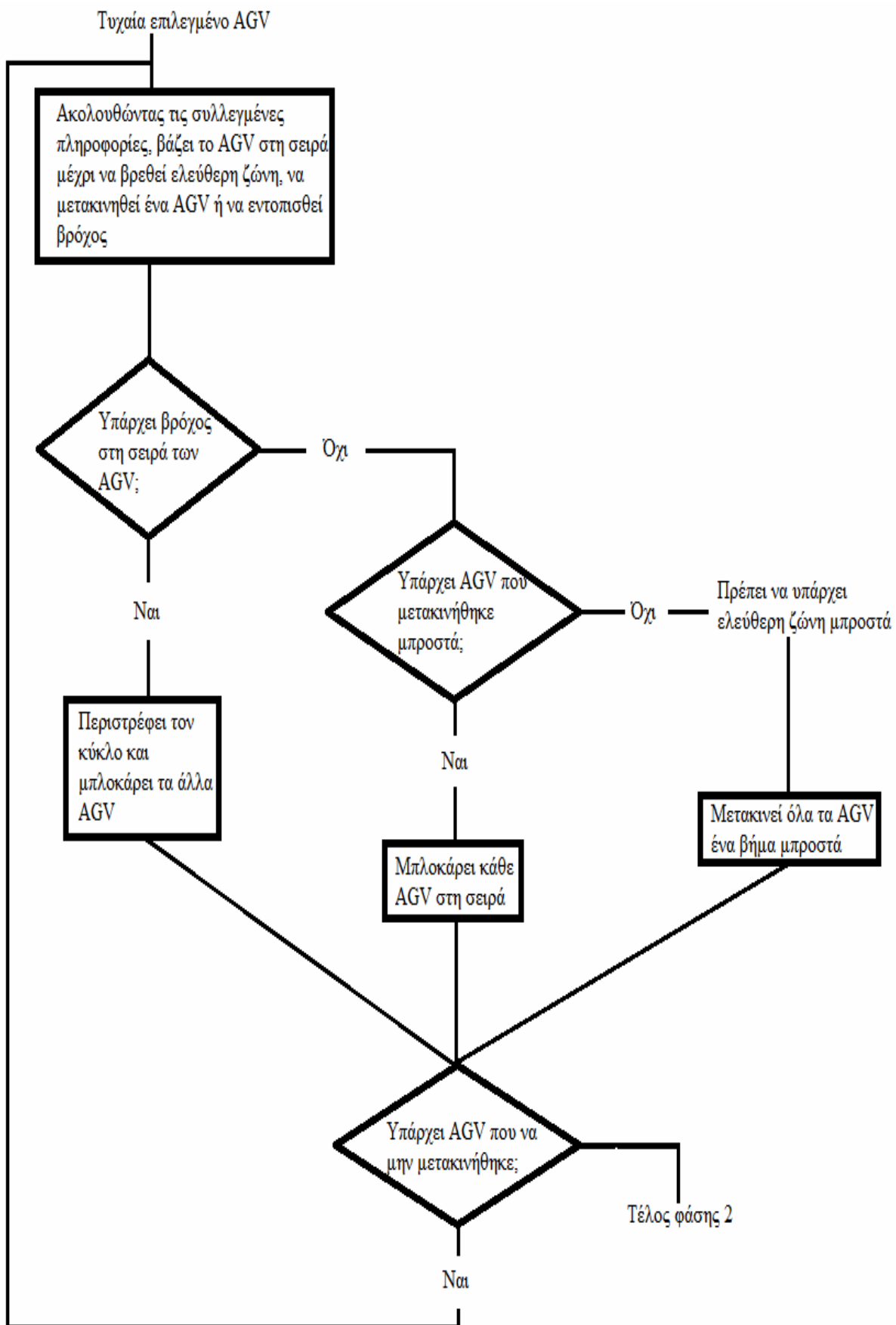
Εικόνα 4.2.1 Παράδειγμα deadlock

Στο παράδειγμα που φαίνεται στην εικόνα, το αδιέξοδο προκαλείται όταν τα 4 AGV προσπαθούν να κάνουν κίνηση ταυτόχρονα. Το AGV1 να κινηθεί ανατολικά, το AGV2 να κινηθεί νότια, το AGV3 να κινηθεί δυτικά και το AGV4 να κινηθεί βόρεια. Για την επίλυση deadlock έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι:

- Συγκεντρωτικός έλεγχος επίλυσης αδιέξοδων (Centralized Deadlock Resolution Control). Η διαδικασία ελέγχεται από έναν κεντρικό ελεγκτή. Είναι το ίδιο software με τον κεντρικό έλεγχο ζώνης, εξειδικευμένο όμως στην επίλυση αδιέξοδων. Όταν ένα deadlock συμβεί, για παράδειγμα αυτό της εικόνας 4.2.1, ο ελεγκτής δίνει εντολή στα οχήματα να κάνουν ένα βήμα μπροστά ταυτόχρονα. Αυτή η μέθοδος για να εφαρμοστεί, πρέπει η κίνηση να χωριστεί σε δυο φάσεις. Στη Φάση 1 το κάθε όχημα εντοπίζει την αμέσως επόμενη πιο σύντομη ζώνη, σύμφωνα με το χάρτη διαδρομής. Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος, στέλνει αίτημα κίνησης αντί για έλεγχο και κίνηση ή έλεγχο και αναμονή. Στη Φάση 2 ο ελεγκτής ελέγχει όλα τα αιτήματα κίνησης από τα οχήματα και δίνει τις αντίστοιχες εντολές ώστε να υλοποιηθούν ταυτόχρονα. Στα διαγράμματα 4.2.1 και 4.2.2 φαίνονται σχηματικά η Φάση 1 και 2 του centralized deadlock resolution control.

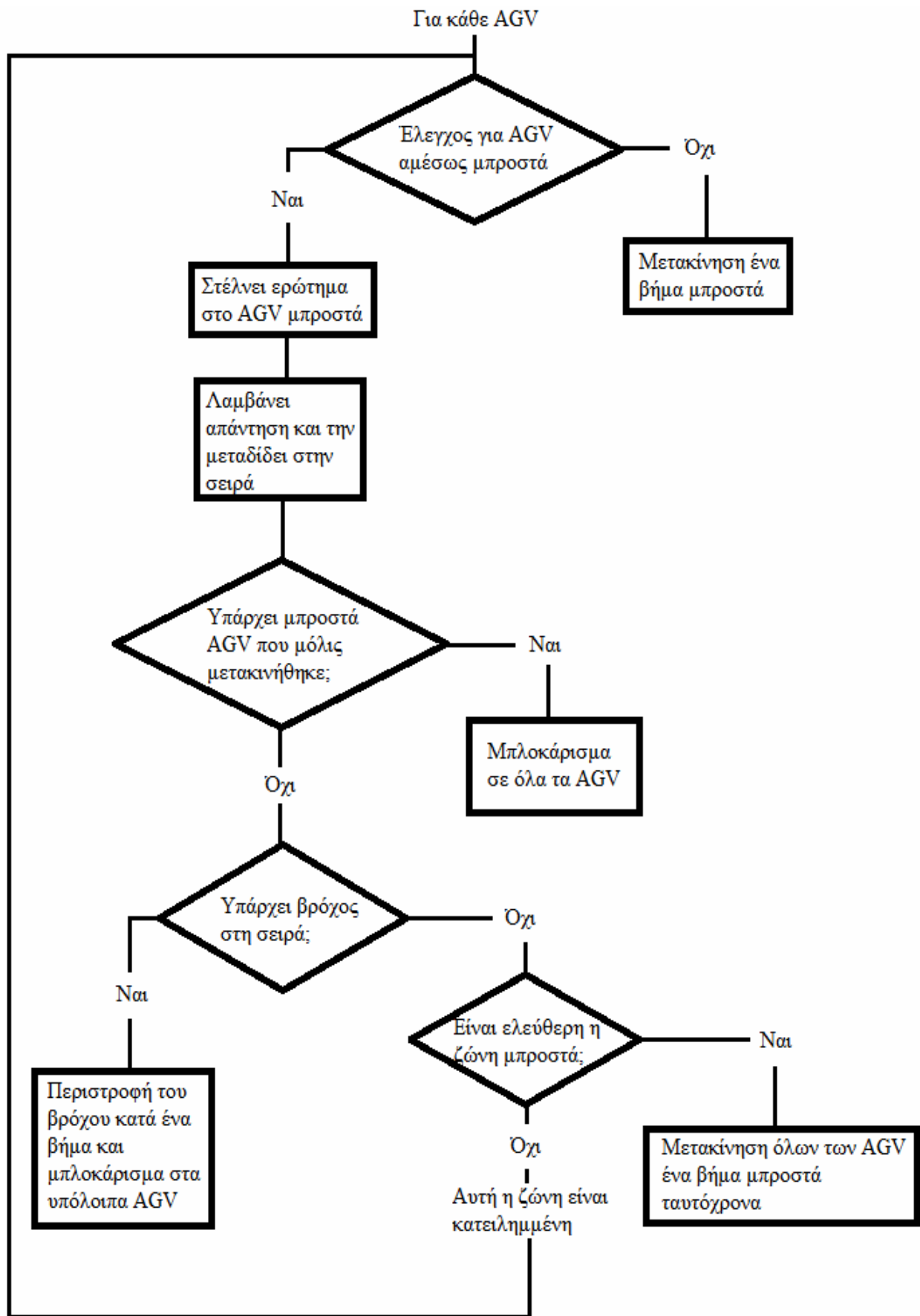


Διάγραμμα 4.2.1 Φάση 1 [3]



Διάγραμμα 4.2.2 Φάση 2 (centralized deadlock resolution control)[4]

- Αποκεντρωμένος έλεγχος επίλυσης αδιέξοδων (Decentralized Deadlock Resolution Control). Ο έλεγχος γίνεται από τον onboard ελεγκτή του κάθε AGV. Τα AGV έτσι δεν έχουν συνολική εικόνα της κυκλοφορίας, όπως έχει ο κεντρικός ελεγκτής της προηγούμενης μεθόδου. Σε αυτή την περίπτωση η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων είναι το κλειδί. Για την επίλυση ενός deadlock και εδώ η κίνηση χωρίζεται σε Φάση 1 και Φάση 2. η Φάση 1 είναι ίδια με την αντίστοιχη της προηγούμενης μεθόδου που περιγράφεται από το διαγράμματα 4.2.1. Στη Φάση 2 τα οχήματα συλλέγουν πληροφορίες για την κυκλοφορία επικοινωνώντας μεταξύ τους. Ελέγχουν την σειρά και εντοπίζουν βρόχους βασισμένα στην συνολική πληροφορία. Έπειτα δίνονται οι απαραίτητες εντολές για κάθε AGV στην κορυφή της σειράς. Είναι αρκετά επιβαρυνμένος ο ελεγκτής του κάθε AGV, καθώς πρέπει να κάνει υπεράριθμους υπολογισμούς με πληροφορίες που το κάθε όχημα στέλνει κάθε στιγμή σε όλα τα άλλα. Ενώ και κάθε απόφαση ενός AGV την επεξεργάζονται όλα τα άλλα πολλές φορές. Παρόλα αυτά, το σύστημα αυτό δείχνει εξαιρετική αντοχή στα σφάλματα. Στο διάγραμμα 4.2.3 φαίνεται σχηματικά η Φάση 2 του decentralized deadlock resolution control.



Διάγραμμα 4.2.3 Φάση 2 (decentralized deadlock resolution control)[5]

## 4.2.2 Προτεραιότητα

Για να είναι σίγουρο ότι όλα τα οχήματα θα φτάσουν στον προορισμό τους, παρά την συμφόρηση ή τα αδιέξοδα, έχει αναπτυχθεί μια σειρά προτεραιότητας με τους εξής κανόνες:

1. Στο AGV με τα περισσότερα μπλοκαρίσματα του δίνεται μεγαλύτερη προτεραιότητα.
2. Η αύξηση της προτεραιότητας δίνεται τυχαία για να αποφευχθεί η πολλαπλή επανάληψη αμοιβαίας αναμέτρησης από οχήματα με την ίδια προτεραιότητα.
3. Ένα AGV με μεγάλη προτεραιότητα παίρνει πάντα προβάδισμα σε μια αναμέτρηση με ένα με μικρότερη. Έτσι ξεκινάει ή εισέρχεται σε segment πρώτο και το άλλο αναμένει.
4. Όταν η προτεραιότητα είναι ίδια για δυο AGV, το αποτέλεσμα της αναμέτρησής τους αποφασίζεται τυχαία.
5. Στο AGV αποκαθίσταται η κανονική προτεραιότητα μόλις η ολοκληρώσει την διεργασία του.

Όταν ένα AGV μπλοκάρεται σε ένα deadlock, η προτεραιότητά του αυξάνεται. Έτσι με κάθε μπλοκάρισμα η προτεραιότητα αυξάνεται κι άλλο. Το όχημα με την μεγαλύτερη προτεραιότητα, μπορεί να εισέρχεται σε ζώνη χωρίς να εναρμονίζεται με τους κανόνες ελέγχου της ζώνης. Ακόμα κι έτσι όμως δεν μπορεί να εισέλθει σε μια κατειλημμένη ζώνη. Επιπλέον, αν ένα όχημα μπλοκάρεται στην ίδια θέση αρκετές φορές, του δίνεται η δυνατότητα να διαλέξει μια εναλλακτική διαδρομή προς τον ίδιο όμως στόχο, και ας μην είναι η συντομότερη.

## Κεφάλαιο 5

### Σύστημα Κίνησης

#### 5.1 Δομή Συστήματος Κίνησης

Η κίνηση ενός AGV εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης λειτουργίας του, την ικανότητα του για ελιγμούς, την θέση των σταθμών αλλά και των διαδρομών μεταξύ τους. Ο μηχανισμός οδήγησης του οχήματος γίνεται βαρύνουσας σημασίας όταν ο χώρος κίνησής του είναι περιορισμένος και η κίνηση του πρέπει να γίνεται με ακρίβεια.

Έτσι συνηθίζεται η επιλογή AGV με σύστημα μεταβλητής ταχύτητας για μηχανισμό οδήγησης γιατί μπορεί να λειτουργήσει και όταν ο χώρος ελιγμών είναι περιορισμένος, αλλά και όταν δεν αποτελεί πρόβλημα.

→ Ακολουθούν παραδείγματα κίνησης οχημάτων με αυτόν τον μηχανισμό.

Στην εικόνα 5.1.1 φαίνεται η κίνηση προς τα εμπρός ενός οχήματος με σύστημα μεταβλητής ταχύτητας. Όπου:

$W$ = απόσταση μεταξύ των τροχών (mm)

$V$ = ταχύτητα (mm/s)

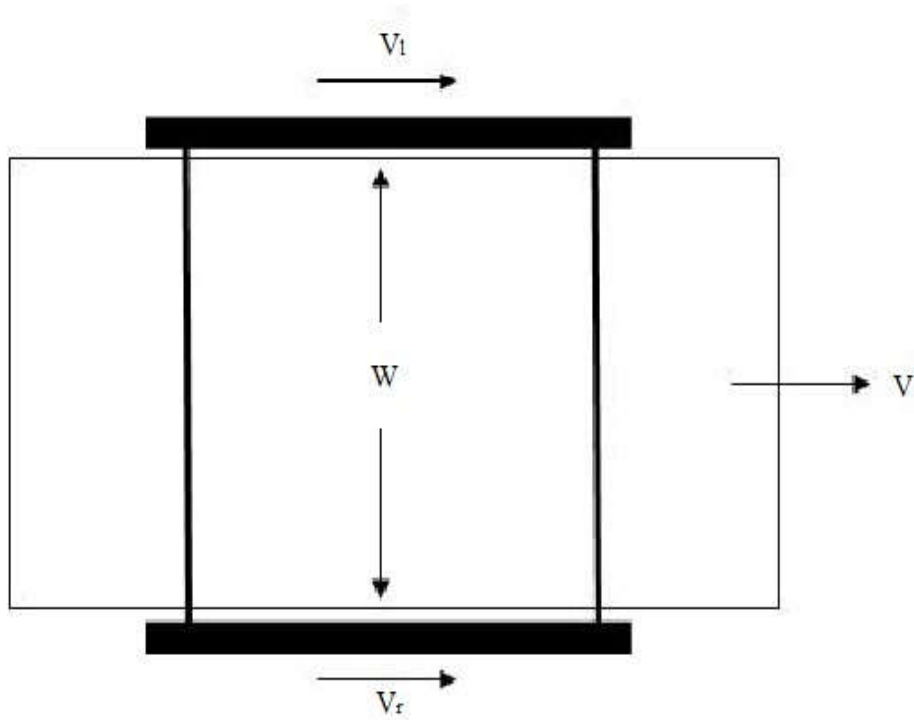
$V_I$ =ταχύτητα αριστερού τροχού (mm/s)

$V_D$ =ταχύτητα δεξιού τροχού (mm/s)

$\omega$ = κυκλική ταχύτητα (rad/s)

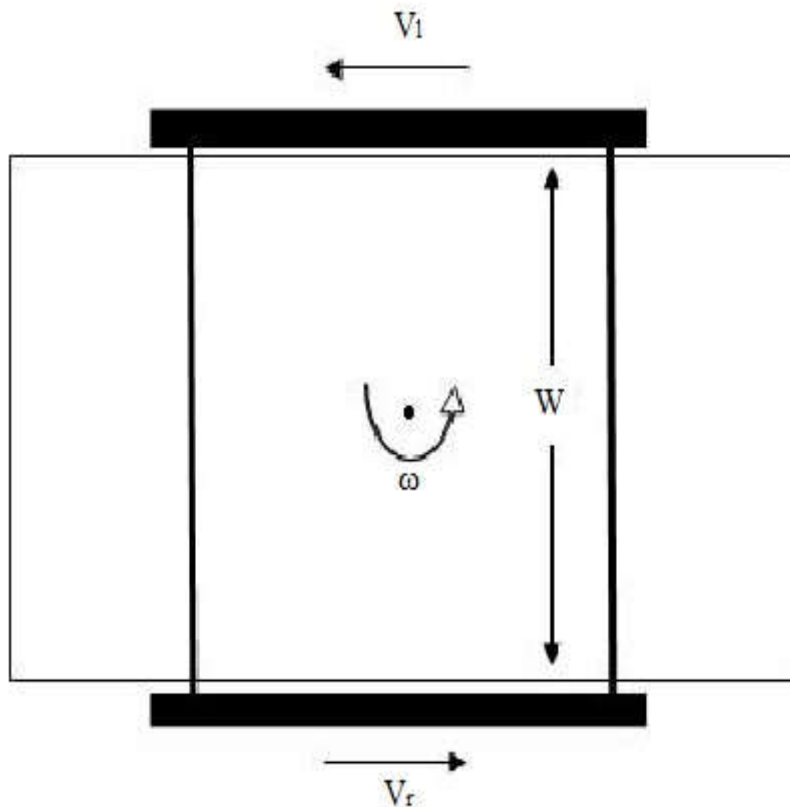
Και:

$V = (V_D + V_I)/2$  (mm/s)



Εικόνα 5.1.1 Σύστημα Κίνησης προς τα εμπρός με ταχύτητα  $V$ [21]

Στην εικόνα 5.1.2 φαίνεται η κίνηση ενός οχήματος με σύστημα μεταβλητής ταχύτητας όταν εκτελεί στροφή αριστερά και γύρω από άξονα στο κέντρο του.



Εικόνα 5.1.2 Στροφή προς τα αριστερά[22]

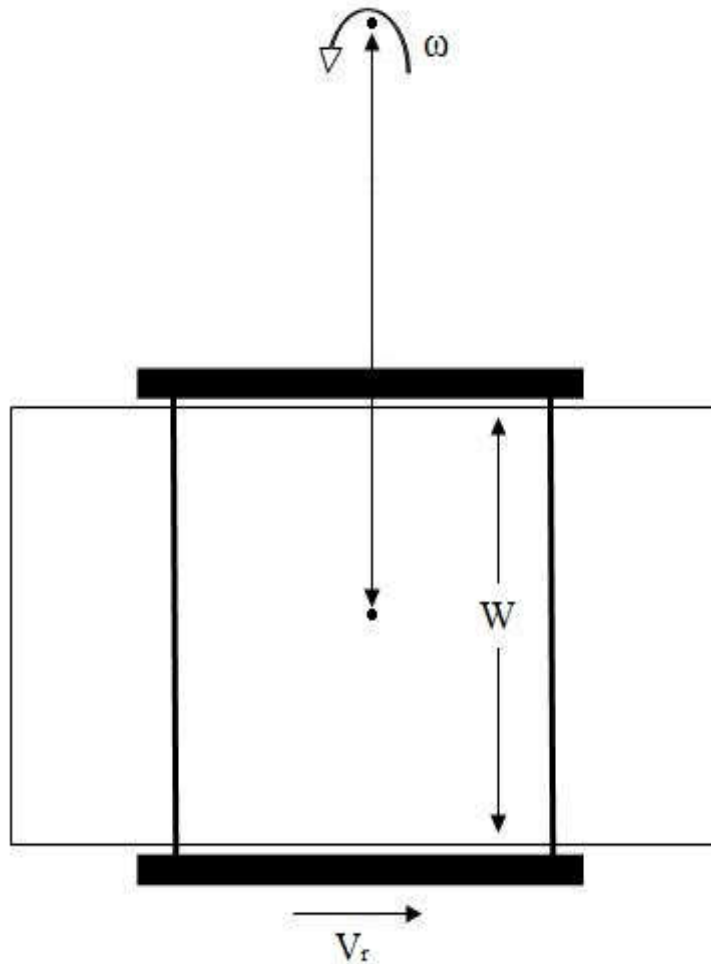


Όπου:

$$V = V_l = V_r$$

$$\omega = (V_r - V_l) / W = 2V / W$$

Στην εικόνα 5.1.3 φαίνεται η κίνηση προς τα αριστερά ενός οχήματος με κίνηση μόνο του ενός κινητήρα.



Εικόνα 5.1.3 Στροφή προς τα αριστερά με τον ένα τροχό[23]

Όπου:

$$V = V_r$$

$$V_l = 0$$

$$V = (V_r + V_l) / 2 = V / 2$$

$$\omega = (V_r - V_l) / W = V / W$$

Στην εικόνα 5.1.4 φαίνεται η κίνηση προς τα αριστερά με κίνηση των τροχών προς τα εμπρός αλλά σε διαφορετικές ταχύτητες. Εδώ η στροφή θα διαγράψει μεγαλύτερη ακτίνα.

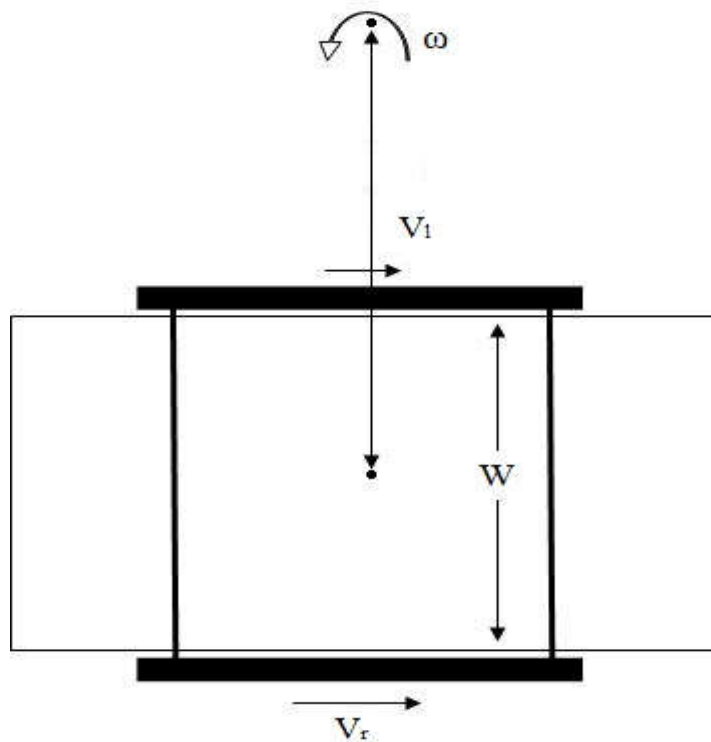
Όπου:

$$V_r = 2V$$

$$V_l = V$$

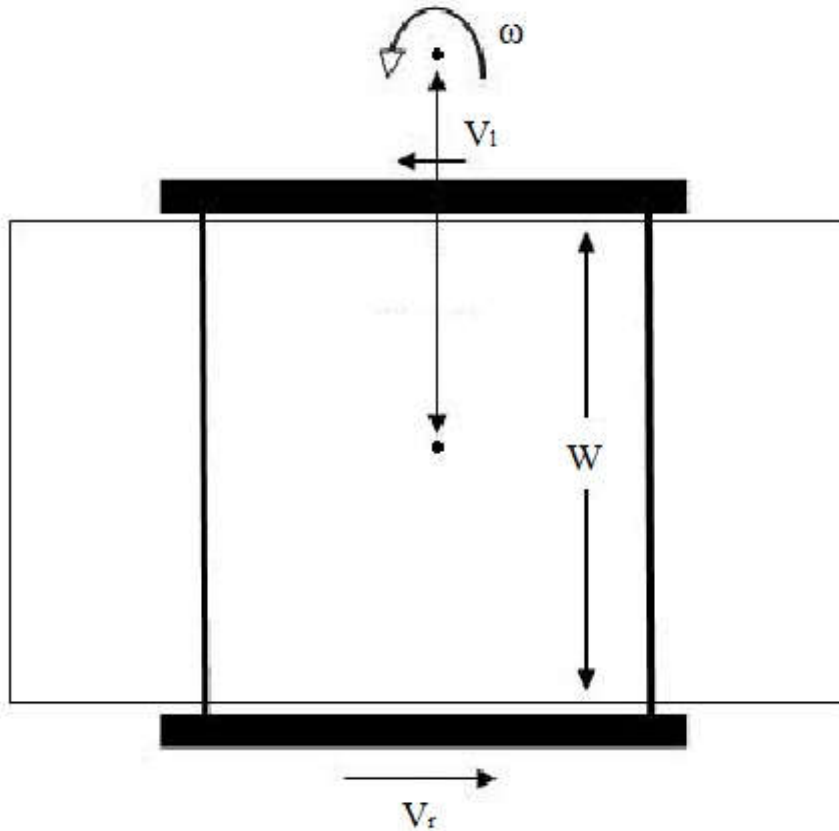
$$V = (V_r + V_l)/2 = 3V/2$$

$$\omega = (V_r - V_l)/W = V/W$$



Εικόνα 5.1.4 Στροφή προς τα αριστερά με τροχούς στην ίδια φορά[24]

Η τελευταία περίπτωση φαίνεται στην εικόνα 5.1.5. Η κίνηση προς τα αριστερά με κίνηση των τροχών σε αντίθετες φορές και διαφορετικές ταχύτητες. Εδώ η στροφή θα διαγράψει μικρότερη ακτίνα από τις περιπτώσεις στις εικόνες 5.1.3 και 5.1.4.



Εικόνα 5.1.5 Στροφή προς τα αριστερά με τροχούς σε αντίθετη φορά[25]

Όπου:

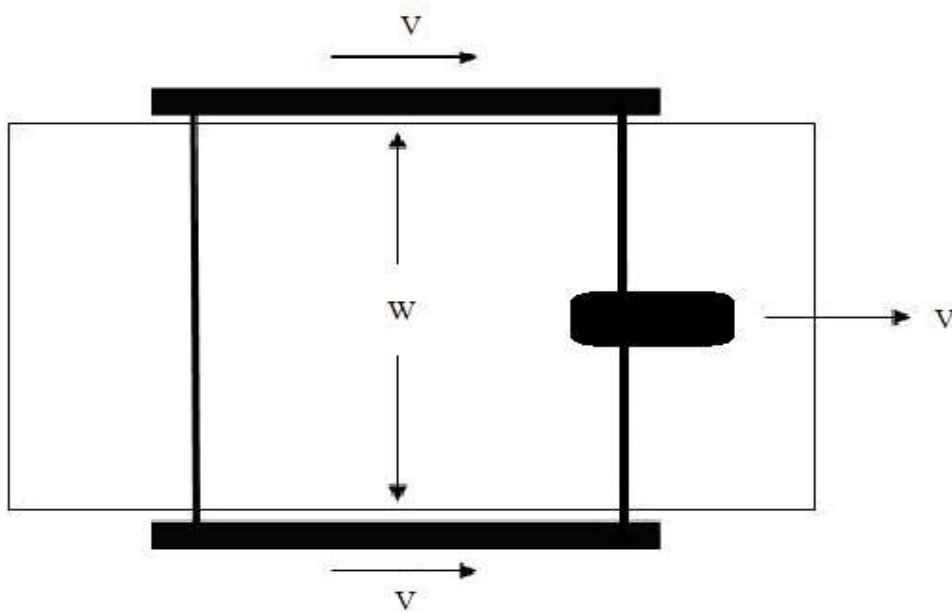
$$V_r = 2V$$

$$V_l = -V$$

$$V = (V_r + V_l)/2 = V/2$$

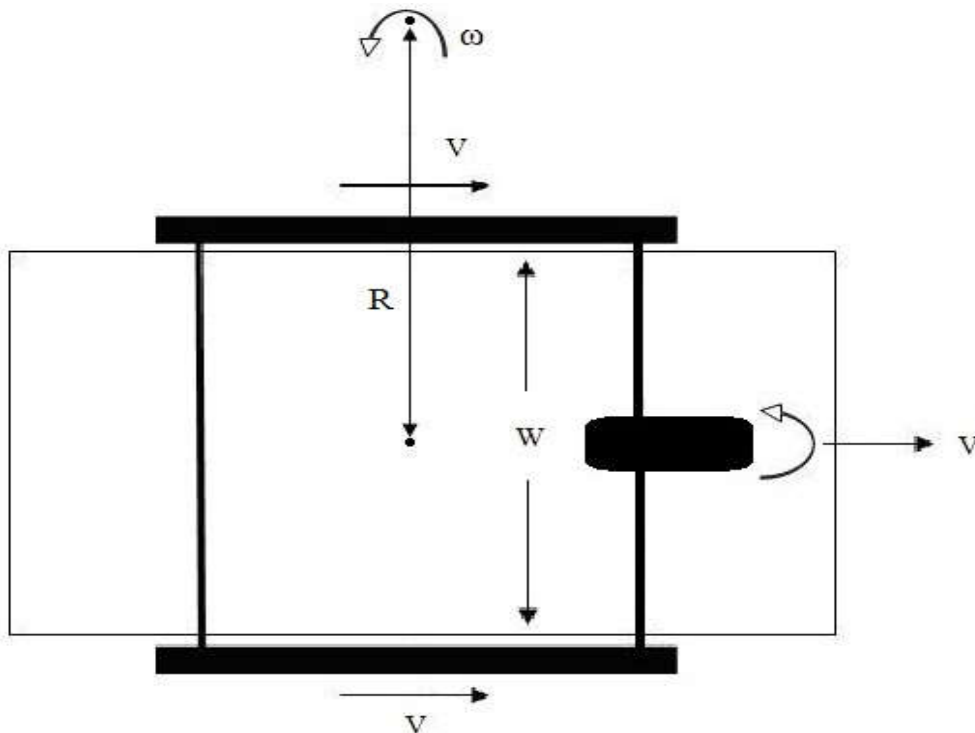
$$\omega = (V_r - V_l)/W = 3V/W$$

Η κίνηση με περιστρεφόμενη ρόδα είναι παρόμοια σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Η βασική διαφορά είναι ότι το όχημα δεν μπορεί να κάνει στροφή γύρω από τον άξονά του.

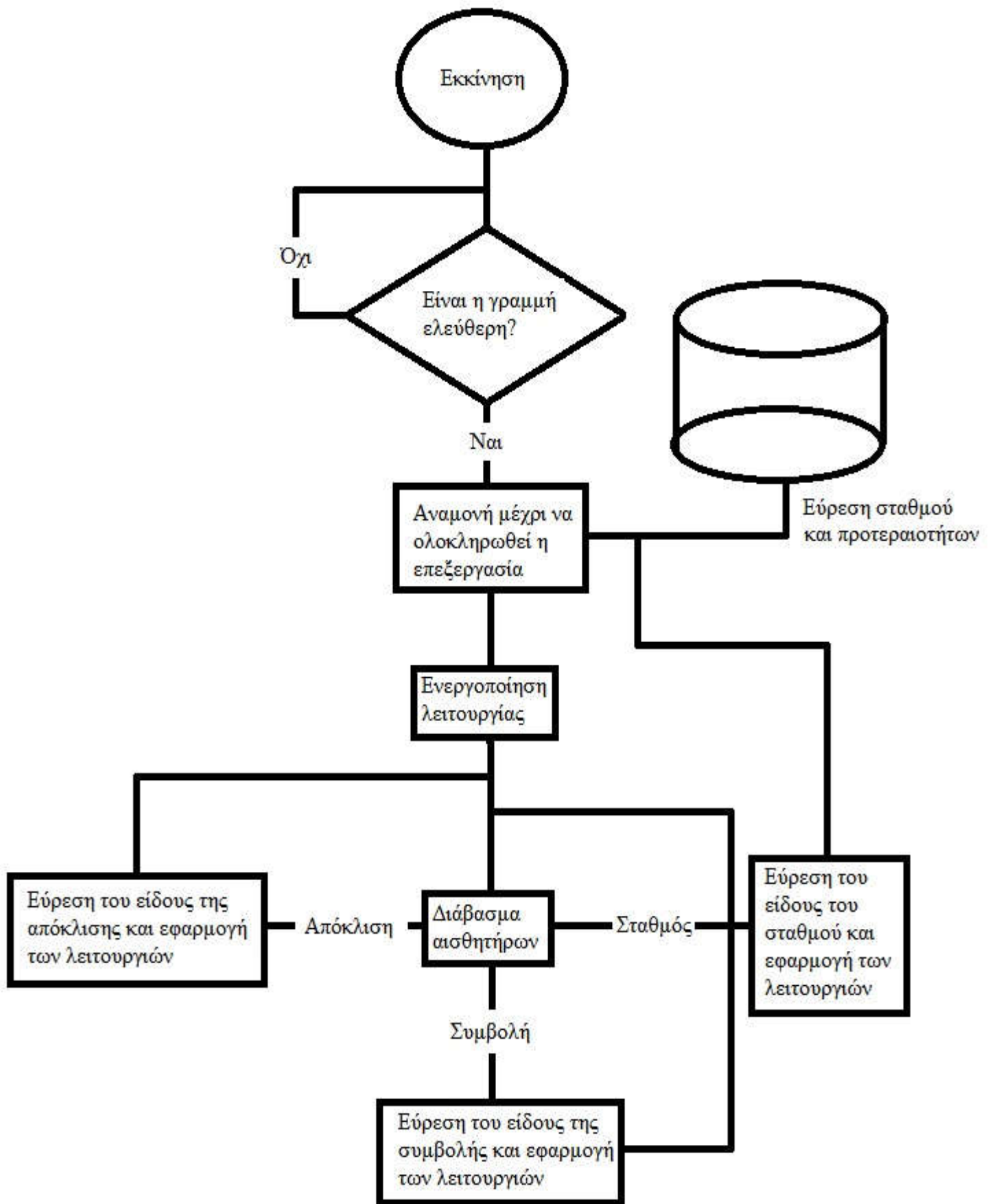


Εικόνα 5.1.6 Κίνηση με περιστρεφόμενη ρόδα[26]

Το μήκος της ακτίνας  $R$  είναι ανάλογο με το πόσο μπορεί να περιστρέφει η ρόδα. Όσο περισσότερο στρίβει προς τα αριστερά, τόσο η ακτίνα που διαγράφει το όχημα θα είναι μικρότερη.



Εικόνα 5.1.7 Στροφή προς τα αριστερά με περιστρεφόμενη ρόδα[27]



Διάγραμμα 5.1 Διάγραμμα ροής μηχανισμού οδήγησης

## 5.2 Σχεδιασμός Δικτύου Κίνησης

Ο σχεδιασμός της διαδρομής που θα διαγράφουν τα AGV εξαρτάται άμεσα από την κατανομή της εγκατάστασης, την διάταξη των ζωνών αποθήκευσης και των σταθμών φόρτωσης-εκφόρτωσης.

Η αναπαράσταση ενός δικτύου κίνησης μπορεί να αποτυπωθεί ως μια γραφική παράσταση όπου οι διασταυρώσεις, διακλαδώσεις και σημεία φόρτωσης-εκφόρτωσης είναι οι κόμβοι συνδεδεμένοι από έναν αριθμό τόξων. Τα τόξα αναπαριστούν τις διάφορες δυνατές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει το όχημα καθώς κινείται από τον ένα κόμβο στον επόμενο. Οι διαδρομές αυτές είναι και για τις δυο κατευθύνσεις μεταξύ των δυο κόμβων. Σε κάθε τόξο ανατίθεται μια τιμή που αναπαριστά την απόσταση δυο σημείων ενός τμήματος του δικτύου κίνησης ή το χρόνο που θα χρειαστεί το όχημα να διανύσει την απόσταση αυτή.

Η αναπαράσταση αυτή λαμβάνεται ως ένα τμήμα του δικτύου το οποίο χρησιμοποιείται για την τελική διατύπωση του ολοκληρωμένου δικτύου κίνησης των AGV μιας εγκατάστασης.

Το δίκτυο κίνησης ορίζεται από τα χαρακτηριστικά του παρακάτω πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του δικτύου κίνησης[1]

Ροή	Αριθμός παράλληλων λωρίδων κίνησης	Κατεύθυνση ροής
Συμβατική	Μια λωρίδα	Μονή κατεύθυνση
Με Βρόχο	Πολλαπλές λωρίδες	Αμφίδρομη
Ταυτόχρονη		

## 5.2.1 Κριτήρια Απόδοσης

Για τον σχεδιασμό του δικτύου κίνησης, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κριτήρια απόδοσης του συστήματος αυτού, έτσι ώστε να σχεδιαστούν ακριβώς οι αναγκαίες ποσότητες κόμβων και τόξων με στόχο την όσο μεγαλύτερη απόδοση του συστήματος σε όσο το δυνατό μικρότερο κόστος.

Το ζήτημα που προκύπτει είναι ποια από τα κριτήρια απόδοσης είναι τα πιο σημαντικά για τον σχεδιασμό ενός δικτύου κίνησης σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Τα κριτήρια που γενικά θεωρούνται πιο σημαντικά είναι ο χρόνος διαδρομής και η χρήση του οχήματος, το μέγεθος της ουράς και το κόστος χειρισμού υλικού. Ανάλογα την εγκατάσταση στην οποία θα λειτουργήσουν τα AGV μπορούν να γίνουν προσθέσεις και αφαιρέσεις κριτηρίων απόδοσης. Οι διαφορές στη διάταξη μιας εγκατάστασης έχει πολύ σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό του συστήματος κίνησης αλλά και στα κριτήρια απόδοσης που θα ληφθούν.

Το πιο σύνηθες κριτήριο που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό ενός συστήματος διαδρομής είναι η ελαχιστοποίηση της απόστασης διαδρομής του οχήματος αντιστοιχισμένη σε μια δεδομένη διάταξη εγκατάστασης και ροές κίνησης. Με την ελαχιστοποίηση των αποστάσεων ελαχιστοποιείται ο χρόνος που κάνει το όχημα να τις διανύσει. Ο χρόνος διαδρομής είναι ένα εξίσου σημαντικό κριτήριο απόδοσης. Όχι μόνο ο χρόνος που χρειάζεται ένα φορτωμένο όχημα για να διανύσει την απόσταση μεταξύ των σημείων φόρτωσης-εκφόρτωσης, αλλά και άδειο κατά την επιστροφή του για παραλαβή νέου υλικού. Στον χρόνο αυτόν προστίθεται και ο χρόνος αναμονής σε σημεία φόρτωσης-εκφόρτωσης, σε περιπτώσεις συμφόρησης η παρεμβολές οχημάτων οι ανθρώπινου προσωπικού.

Τέλος το μήκος του δικτύου κίνησης και ο αριθμός των οχημάτων που εκτιμάται ότι είναι αναγκαία είναι κριτήρια που σε συνδυασμό με τον χρόνο διαδρομής δίνουν ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης αλλά και την δομή της, η επιλογή πολλαπλών κριτηρίων απόδοσης έχει αποδειχθεί ότι καταλήγει σε πιο ποιοτικά αποτελέσματα.

## 5.3 Συστήματα Ροής

### 1. Συμβατικό σύστημα ροής

Το συμβατικό σύστημα ροής είναι ένα δίκτυο διαδρομών που συνδέουν όλους τους σταθμούς εργασίας μιας εγκατάστασης οι οποίοι έχουν ανάγκες μεταφοράς υλικών. Αυτό το δίκτυο μπορεί να περιέχει διασταυρώσεις, διακλαδώσεις και παράδρομους. Το συμβατικό σύστημα ροής μπορεί να είναι μονής κατεύθυνσης η αμφίδρομο. Στην περίπτωση της μονής κατεύθυνσης, τα οχήματα πορεύονται προς μια κατεύθυνση του συστήματος ροής, ενώ στη περίπτωση που είναι αμφίδρομο η κίνηση μπορεί να γίνει προς και τις δυο κατευθύνσεις.

- Μονή Κατεύθυνση ροής

Το σύστημα με μονή κατεύθυνση είναι αρκετά δημοφιλή ιδιαίτερα σε εγκαταστάσεις όπως αποθήκες ή κέντρα διανομής. Το κυρίαρχο μοντέλο κίνησης που έχει διατυπωθεί και χρησιμοποιηθεί σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι ένα μοντέλο κατά το οποίο οι αποφάσεις κίνησης παίρνονται με βάση την ελαχιστοποίηση της απόστασης ή χρόνο διαδρομής του συνόλου των φορτωμένων οχημάτων. Το μειονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ότι αγνοεί το χρόνο διαδρομής των μη φορτωμένων οχημάτων. Ενσωματώνοντας τον χρόνο διαδρομής των μη φορτωμένων οχημάτων στον αλγόριθμο του μοντέλου επιτυγχάνεται τόσο η ελαχιστοποίηση της απόστασης διαδρομής του συνόλου των φορτωμένων οχημάτων όσο και των μη φορτωμένων. Για το ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα του μοντέλου στην ελαχιστοποίηση των χρόνων περιλαμβάνονται και οι χρόνοι αναμονής των οχημάτων. Τα οχήματα μπορεί να σταματήσουν και να αναμείνουν σε περιπτώσεις όπως παρεμβολές άλλων οχημάτων η ανθρωπίνου δυναμικού, λόγω συμφόρησης ή ακόμα και αναμονή κατά την διάρκεια παραλαβής παράδοσης υλικών. Με την προσθήκη αυτών των παραμέτρων υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος κίνησης των οχημάτων, και τα αποτελέσματα στην απόδοση όσο και στην ποιότητα του μοντέλου είναι φανερά ανώτερα σε σχέση με την αρχική του μορφή.

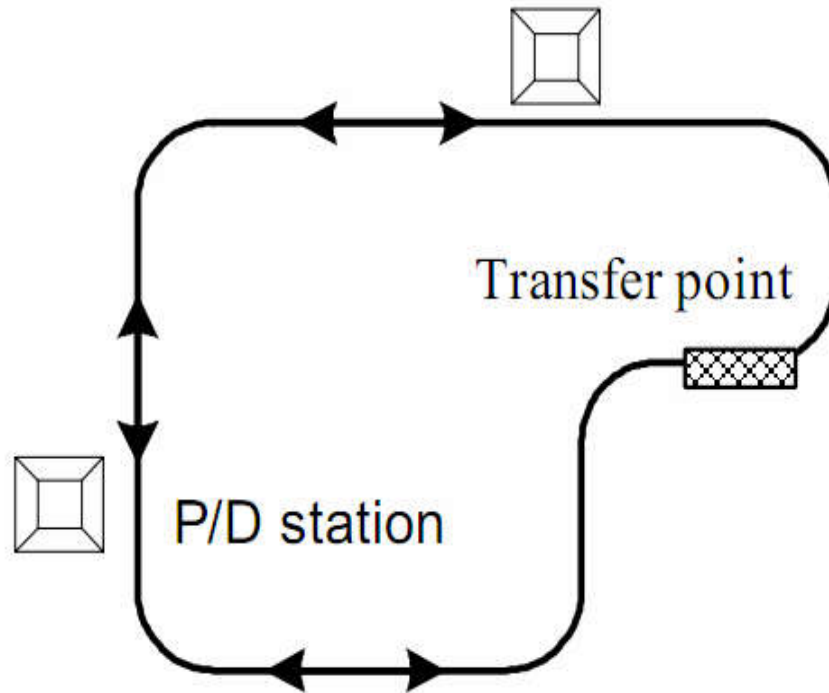


- Αμφίδρομη ροή

Τα συστήματα με αμφίδρομη ροή κίνησης δεν είναι τόσο δημοφιλή και χρησιμοποιούνται αρκετά πιο σπάνια σε σχέση με τα μονής κατεύθυνσης, παρόλο που μπορούν να αποδειχθούν πιο παραγωγικά σε πολλές περιπτώσεις σε σύγκριση με τα δεύτερα. Ο λόγος είναι ότι ο έλεγχος κυκλοφορίας γίνεται αρκετά πιο πολύπλοκος εξαιτίας παραμέτρων όπως η παρεμβολή οχημάτων, ανθρώπινου δυναμικού, γενικά εμποδίων ή ακόμα και σε κατάσταση συμφόρησης. Η επίλυση αυτού του προβλήματος γίνεται με την προσθήκη ακόμα μιας λωρίδας κίνησης ή ακόμα και τρίτης όπου είναι αναγκαία αλλά και μια μικρή αύξηση των οχημάτων. Αυτό όμως απαιτεί περισσότερο χώρο στην εγκατάσταση και μεγαλύτερο κόστος. Έτσι αυτού τύπου η ροή δεν χρησιμοποιείται συχνά και όταν γίνεται είναι σε εγκαταστάσεις στις οποίες είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι οι παρεμβολές οχημάτων θα είναι σπάνιο φαινόμενο. Και σε αυτού του τύπου ροής οχημάτων έχουν δημιουργηθεί μοντέλα κίνησης με βάση την ελαχιστοποίηση του χρόνου διαδρομής του συνόλου των φορτωμένων οχημάτων αλλά και των μη φορτωμένων κατά την επιστροφή τους στα σημεία φόρτωσης από τις αντίστοιχες λωρίδες. Όμως λαμβάνεται υπόψη και ο αριθμός οχημάτων σε λειτουργία καθώς και ο τύπος τους για την καλύτερη και πιο παραγωγική λειτουργία του συστήματος ροής.

## 2. Σύστημα ροής ενός βρόχου

Στην εικόνα 5.3.1 φαίνεται ένα απλό σύστημα βρόχου με δυο σταθμούς φόρτωσης εκφόρτωσης και έναν αποθήκευσης.



Εικόνα 5.3.1: Σύστημα ροής ενός βρόχου[28]

Η κύρια διαφορά του συστήματος ροής ενός βρόχου με το συμβατικό σύστημα ροής, είναι ότι στο πρώτο τα οχήματα κινούνται μόνο μέσα στον βρόχο χωρίς παρακάμψεις ή εναλλακτικές διαδρομές. Στο σύστημα βρόχου ο τρόπος κίνησης είναι συνήθως μονής κατεύθυνσης. Η αμφίδρομη κατεύθυνση είναι δυνατή αλλά σπανίζει διότι αυξάνει κατά πολύ τις πιθανότητες παρεμβολών οχημάτων. Στο σύστημα βρόχου ο κανόνας λειτουργίας του χειρισμού υλικών είναι *first-encountered-first-serve*, δηλαδή κάθε μη φορτωμένο όχημα αναλαμβάνει τον χειρισμό του φορτίου που συναντά κατά την κίνηση του.

Με τον ίδιο τρόπο και κανόνα λειτουργεί και ένα δεύτερο μοντέλο βρόχου του οποίου η διαφορά είναι ότι έχει δύο διαδρομές ή λωρίδες μιας ίδιας κατεύθυνσης παράλληλης με την πρώτη, ενώ ο αριθμός των οχημάτων παραμένει ίδιος. Σε αυτό το μοντέλο το κόστος είναι μεγαλύτερο καθώς οι απαιτήσεις και στον επιπλέον αναγκαίο χώρο αλλά και σε υποδομή είναι πολλαπλάσιες. Όμως καταλήγει σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Για τον σχεδιασμό συστήματος ροής ενός βρόχου ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

→Γίνεται εύρεση ενός αρχικού έγκυρου βρόχου. Ένας αρχικός έγκυρος βρόχος ουσιαστικά είναι ένας λειτουργήσιμος ο οποίος περιέχει τουλάχιστον ένα τμήμα του για κάθε ένα τμήμα της εγκατάστασης το οποίο έχει ανάγκη χειρισμού υλικών.

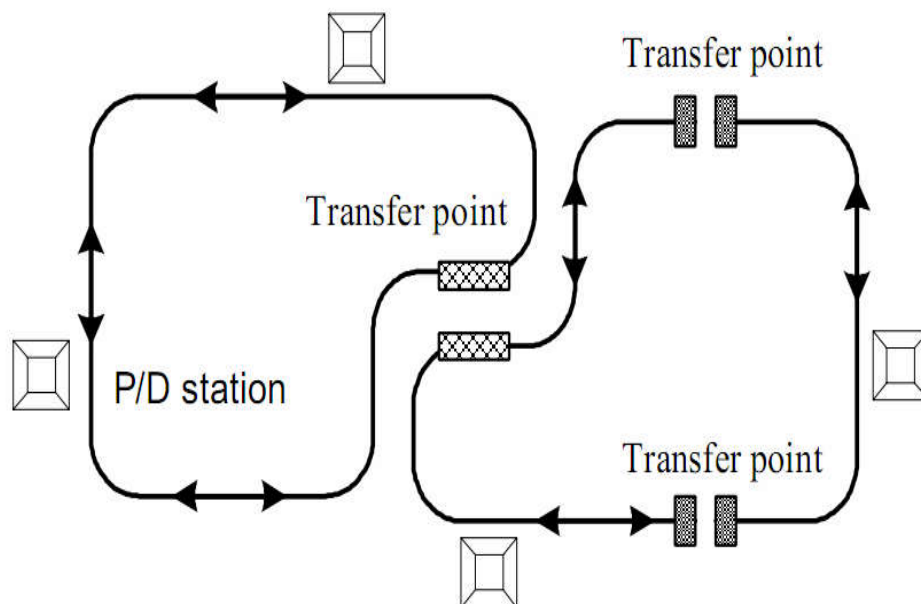
→Ακολουθεί επεξεργασία του αρχικού βρόχου. Ο αρχικός βρόχος επεκτείνεται προστίθοντας όλα τις πιθανές επιπλέον διαδρομές.

→Όσες διαδρομές θεωρηθούν κατώτερες με βάση τα κριτήρια απόδοσης απαλείφονται.

→Και αφού καθοριστούν οι σταθμοί φόρτωσης εκφόρτωσης επιλέγεται ο ένας πιο ακριβής και παραγωγικός βρόχος που αρμόζει στην συγκεκριμένη εγκατάσταση.

### 3. Σύστημα ταυτόχρονης ροής

Στην εικόνα 5.3.2 απεικονίζεται ένα σύστημα ταυτόχρονης ροής με τρεις ζώνες αποτελούμενες από έναν βρόχο, και δυο τμήματα.

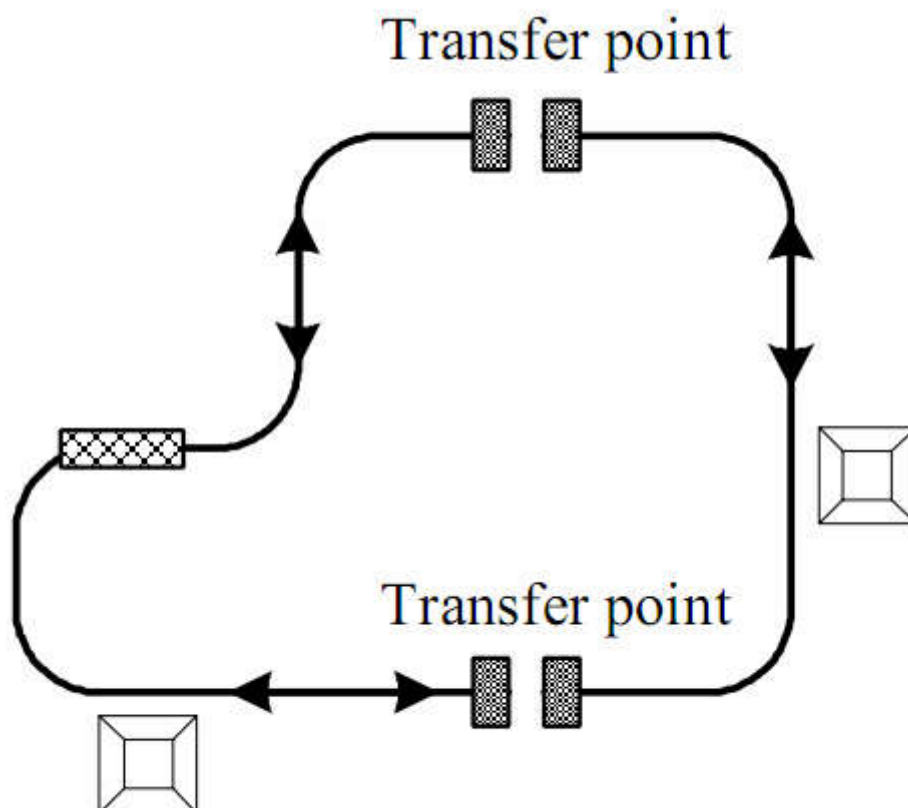


Εικόνα 5.3.2: Σύστημα ταυτόχρονης ροής[29]

Συστήματα ταυτόχρονης ροής προτάθηκαν την δεκαετία του 90' από τους Bozen και Srinivasan (1991). Τα συστήματα ταυτόχρονης ροής περιέχουν πολλαπλές ζώνες ή και ανεξάρτητους βρόχους όπως στην εικόνα 5.3.2. Σε κάθε ζώνη ή βρόχο λειτουργεί ένα μόνο όχημα ενώ σταθμοί μεταφοράς χρησιμοποιούνται για διεπαφή μεταξύ ζωνών. Με αυτόν τον τρόπο προβλήματα όπως παρεμβολές οχημάτων και συμφόρηση απαλείφονται. Έτσι το δίκτυο κίνησης αποτελείται από μη-αλληλοεπικαλυπτόμενες ζώνες οι οποίες λειτουργούν ταυτόχρονα. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης το δίκτυο κίνησης διαιρείται σε περισσότερες ζώνες έτσι ώστε να γίνεται πιο αποδοτικό. Βασική προϋπόθεση είναι το κάθε όχημα να μπορεί να σηκώσει φορτίο ίσο με το μεγαλύτερο που μπορεί να έρθει στο δικό του τμήμα του δικτύου, αφού δεν θα είναι εύκολη η προσέλευση δεύτερου οχήματος για τον χειρισμό του υλικού αυτού. Αυτό γίνεται με την χρήση οχημάτων σε όλη την εγκατάσταση τα οποία να ανταπεξέλθουν στο βάρος κάθε υλικού που θα κληθούν να χειριστούν.

Σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα ροής το σύστημα ταυτόχρονης ροής είναι εξίσου αποδοτικό, είναι πιο εύκολος ο έλεγχος του, δεν έχει προβλήματα συμφόρησης και είναι πιο εύκολο να επεκταθεί. Ωστόσο, το ταυτόχρονης ροής απαιτεί περισσότερες ρυθμίσεις κυκλοφορίας οι οποίες έχουν επιπλέον κόστος αλλά και αυξάνουν τον χρόνο χειρισμού των υλικών. Επιπλέον, το ταυτόχρονης ροής έχει λιγότερη αντοχή σε περιπτώσεις βλαβών. Για παράδειγμα σε ένα συμβατικό σύστημα ροής αν ένα όχημα αποκτήσει μια βλάβη και σταματήσει την λειτουργία του, τα υπόλοιπα θα αναλάβουν τις εργασίες του και έτσι θα υπάρχει μια καθυστέρηση αλλά δεν θα σταματήσει πλήρως ο χειρισμός υλικών. Αυτό στην περίπτωση της ταυτόχρονης ροής δεν είναι δυνατό καθώς σε κάθε υπότμημα του συστήματος λειτουργεί μόνο ένα όχημα.

#### 4. Τμηματικό σύστημα ροής



Εικόνα 5.3.3: Τμηματικό σύστημα ροής[30]

Το τμηματικό σύστημα ροής περιέχει μια ή πολλαπλές ζώνες οι οποίες χωρίζονται σε μη-αλληλεπικαλυπτόμενα τμήματα ενός οχήματος. Στα άκρα των τμημάτων τοποθετούνται ρυθμιστές μεταφοράς οι οποίοι λειτουργούν ως διεπαφές μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και από την εικόνα 5.3.3 το τμηματικό σύστημα ροής δεν είναι πολύ διαφορετικό από το σύστημα ταυτόχρονης ροής. Η διαφορά του είναι ότι το τμηματικό σύστημα δεν είναι σε κάθε περίπτωση πλήρως συνδεδεμένο μεταξύ του, σε σχέση με την ροή των υλικών. Έτσι και το βασικό μειονέκτημα του είναι ότι χρειάζεται επιπλέον ρυθμιστές μεταφοράς και άρα αυξάνεται το κόστος.

Στους πίνακες 2 και 3 που ακολουθούν συνοψίζονται χαρακτηριστικά των συστημάτων ροής καθώς και μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

Πίνακας 2: Σύγκριση των συστημάτων ροής[2]

Χαρακτηριστικά	Συμβατική ροή	Ροή βρόχου	Ταυτόχρονη ροή
Αριθμός ζωνών	Μια ζώνη	Μια ζώνη	Πολλαπλές ζώνες, χωρισμένο σύστημα σε segments
Αριθμός οχημάτων σε κάθε ζώνη	Πολλαπλά οχήματα	Πολλαπλά οχήματα	Ένα όχημα
Λειτουργία με αμφίδρομη ροή	Ναι, αλλά με δυσκολία	Ναι, αλλά με δυσκολία	Ναι
Έλεγχος συμφόρησης	Με δυσκολία	Ναι, εύκολα	Ναι, εύκολα
Ανάθεση και σχεδιασμός καθηκόντων των οχημάτων	Πολύπλοκος σχεδιασμός και ανάθεση καθηκόντων	Ναι	Ναι
Πιθανότητα συμφόρησης	Μεγάλη	Μικρή	Όχι
Ρυθμιστές κυκλοφορίας	Όχι	Όχι	Ναι

Πίνακας 3: Μειονεκτήματα Πλεονεκτήματα των συστημάτων ροής[3].

Σύστημα ροής	Μειονεκτήματα	Πλεονεκτήματα
Συμβατικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ευελιξία στη δρομολόγηση</li> <li>- Αποτελεσματικότητα με τη χρήση εναλλακτικών διαδρομών</li> <li>- Μικρότερες αποστάσεις διαδρομών</li> <li>- Αντοχή σε αποτυχίες του συστήματος (βλάβες)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Πολύπλοκο στον έλεγχο</li> <li>- Μεγάλες πιθανότητες συμφόρησης, παρεμβολές</li> <li>- Δύσκολη η επέκταση του</li> </ul>
Βρόχος	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Απλό στον έλεγχο</li> <li>- Αρκετά μικρότερες πιθανότητες συμφόρησης μπλοκαρίσματος κλπ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Λιγότερο ευέλικτο στη δρομολόγηση</li> <li>- Μικρότερη αντοχή σε αποτυχίες του συστήματος</li> <li>- Μεγαλύτερος αριθμός οχημάτων</li> <li>- Μεγαλύτερη απόσταση διαδρομής</li> <li>- Δυσκολία επέκτασης</li> </ul>
Ταυτόχρονο	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Καθόλου συμφόρηση, παρεμβολές</li> <li>- Ευκολία στον έλεγχο</li> <li>- Εύκολη επέκταση</li> <li>- Αποτελεσματική χρήση της αμφίδρομης ροής</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Επιπλέον ρυθμιστές διαδρομών είναι απαραίτητοι</li> <li>- Περιορισμός σε ένα όχημα σε κάθε ζώνη</li> <li>- Μικρότερη αντοχή σε αποτυχίες συστήματος</li> <li>- Μερικά υλικά είναι απαραίτητος ο χειρισμός τους από παραπάνω από ένα όχημα</li> <li>- Παραπάνω χρόνος μεταφοράς</li> </ul>

## 5.4 Υπολογισμός του αριθμού των οχημάτων

Ο αριθμός των AGV επηρεάζει δραστικά την απόδοση των AGV συστημάτων. Τα AGV συνήθως είναι ακριβά. Είναι καίριας σημασίας ο καθορισμός των τύπων και του αριθμού που χρειάζεται μια εγκατάσταση. Βασικός παράγοντας είναι τα συστήματα ροής που χρησιμοποιεί η εγκατάσταση. Για ένα σύστημα Ταυτόχρονης ροής, ο απαιτούμενος αριθμός οχημάτων είναι ίσος με τον αριθμό των ζωνών. Για τα υπόλοιπα συστήματα ροής αυτός ο αριθμός πρέπει να υπολογιστεί.

Υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον απαιτούμενο αριθμό των οχημάτων: (1) Η διάταξη του συστήματος κίνησης, (2) το είδος του συστήματος ροής και (3) οι στρατηγικές αποστολής οχημάτων.

Το πιο δημοφιλές μοντέλο υπολογισμού του αριθμού των απαιτούμενων οχημάτων λαμβάνει υπόψη πολλαπλές πληροφορίες όπως τις αναμενόμενες διαδρομές με φορτίο μεταξύ σταθμών και τον αριθμό των σταθμών εργασίας στην εγκατάσταση.

Ακολουθεί το μαθηματικό μοντέλο:

$$N = \left[ \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} / V \right) + \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} \right) * (t_u + t_i) \right] / (60T - t)$$

n- ο αριθμός των σταθμών εργασίας,

f- αναμενόμενες διαδρομές με φορτίο μεταξύ σταθμών i και j,

D-αναμενόμενες διαδρομές χωρίς φορτίο μεταξύ σταθμών i και j,

V- μέση ταχύτητα οχήματος,

t<sub>l</sub>- χρόνος φόρτωσης οχήματος,

t<sub>u</sub>- χρόνος εκφόρτωσης οχήματος,

t- αναμενόμενη απώλεια χρόνου λόγω φόρτισης της μπαταρίας,

T- η διάρκεια της περιόδου κατά την οποία ο παράγοντας f λαμβάνει χώρα.

Άλλα, λιγότερο δημοφιλή και χρησιμοποιημένα μοντέλα περιλαμβάνουν διαφορετικές προσεγγίσεις, όπως μοντέλα με στατιστική προσέγγιση ή σύστημα υπολογισμού με ένα μόνο όχημα.



→ Στα μοντέλα με στατιστική προσέγγιση υπολογίζεται ο αριθμός των οχημάτων με βάση τις πιθανότητες που έχει ένα όχημα να είναι διαθέσιμο σε ένα σταθμό για να ικανοποιήσει ένα αίτημα. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων αλλοιώνεται σε συστήματα ροής με μικρή κίνηση, καθώς τα μοντέλα αυτά τείνουν να υπερεκτιμούν τον αριθμό των οχημάτων.

→ Όσον αφορά το μοντέλο υπολογισμού με χρήση ενός μόνο οχήματος, ο υπολογισμός όταν η απαίτηση είναι για μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων γίνεται υπολογίζοντας τον  $N$  αριθμό οχημάτων με την χρήση εξομοίωσης με ένα όχημα που κινείται  $N$  φορές πιο γρήγορα. Παρά τα πολύς καλής ποιότητας αποτελέσματα αυτού του μοντέλου τόσο σε χρόνους κίνησης με και χωρίς φορτίο, όσο και στον αριθμό των οχημάτων, αυτά αλλοιώνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων στην εγκατάσταση.

### 5.4.1 Οχήματα πολλαπλής χωρητικότητας

Είναι σημαντική η αναφορά σε αυτό το σημείο των οχημάτων πολλαπλής χωρητικότητας (multi-load), καθώς μπορεί να μειώσει τον αριθμό των απαιτούμενων οχημάτων ή να αυξήσει την διεκπεραιωτικότητα του συστήματος. Ένα multi-load μπορεί να πάρει επιπλέον φορτία καθώς ήδη εκτελεί ένα έργο που του έχει ανατεθεί. Έτσι, η χρήση multi-load οχημάτων μειώνει τον χρόνο κίνησης των οχημάτων χωρίς φορτίο, αλλά και την συνολική απόσταση καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας τους. Σε εξομοιώσεις που έχουν γίνει (Tanchoco-1997, Van der Meer 1999), το αποτέλεσμα ήταν ότι η χρήση multi-load οχημάτων αυξάνει την διεκπεραιωτικότητα του συστήματος, ειδικά σε συνθήκες που η μεταφορά φορτίων είναι υψηλών απαιτήσεων και εντατική. Επίσης η χρήση multi-load οχημάτων αυξάνει την απόδοση του συστήματος γενικά, αλλά και ειδικά σε συστήματα όπου τα πολλαπλά φορτία μπορούν να παραληφθούν από μια τοποθεσία. Σε αυτή όμως την περίπτωση το μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται ο σχεδιασμός ενός πιο πολύπλοκου συστήματος.

Η χρήση των μοντέλων που περιγράφονται στα κεφάλαια 5.4 και 5.4.1 μπορεί να δώσει σαν αποτέλεσμα ένα διαφορετικό αριθμό στο θεωρητικό μοντέλο από αυτό που όντως χρειάζεται η εγκατάσταση. Αυτό οφείλεται σε διάφορες θεωρητικές υποθέσεις που αφορούν διάφορες παραμέτρους, όπως τους κανόνες αποστολής οχημάτων, τον έλεγχο κυκλοφορίας, τη συμφόρηση και διάφορους άλλους παράγοντες. Έτσι, ο αναμενόμενος αριθμός των οχημάτων που προκύπτει από τα διάφορα μοντέλα υπολογισμού πρέπει να επανεκτιμηθεί με την χρήση μοντέλου εξομοίωσης για συγκεκριμένες καταστάσεις και παραμέτρους λειτουργίας.

## Κεφάλαιο 6

### Χρονοδρομολόγηση Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης

#### 6.1 Σύστημα χρονοδρομολόγησης οχημάτων

Το σύστημα χρονοδρομολόγησης (scheduling system) των AGV καθορίζει το πότε, που και πως ένα όχημα θα δράσει για να εκτελέσει ένα έργο. Μεταξύ αυτών των ενεργειών συμπεριλαμβάνεται και η επιλογή της πορείας που θα ακολουθήσει το όχημα. Αν όλα τα έργα είναι γνωστά εκ των προτέρων τότε το πρόβλημα του σχεδιασμού του συστήματος χρονοδρομολόγησης μπορεί να λυθεί εκτός δικτύου (offline). Ωστόσο, στην πράξη, οι ακριβείς πληροφορίες για την ολοκλήρωση των έργων συνήθως γίνονται γνωστές την τελευταία στιγμή. Αυτό καθιστά το offline σύστημα χρονοδρομολόγησης δύσκολα επιτεύξιμο. Επομένως, συστήματα online είναι απαραίτητα στις περισσότερες περιπτώσεις για τον έλεγχο της χρονοδρομολόγησης. Και στις δυο περιπτώσεις το ζητούμενο είναι η δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα ενεργοποιεί τον απαραίτητο αριθμό οχημάτων για την εκτέλεση ενός έργου. Ανάλογα το έργο αυτό, μπορεί να ενεργοποιηθούν όλα ή και ένας μικρός αριθμός εκ των οχημάτων που διαθέτει η εγκατάσταση. Ο αλγόριθμος αυτός αποφασίζει τον ακριβή χρόνο για την ενεργοποίηση αδρανών ή και εν λειτουργία οχημάτων, την πορεία που θα ακολουθήσουν, την τοποθεσία που θα παραλάβουν το υλικό και το συγκεκριμένο υλικό που θα παραλάβουν. Ελέγχει δηλαδή όλη τη διαδικασία χειρισμού του υλικού που απαιτεί το ενεργό έργο.

### **6.1.1 Offline Σύστημα χρονοδρομολόγησης**

Στην περίπτωση του offline συστήματος χρονοδρομολόγησης, όλα τα αιτήματα μετακίνησης είναι γνωστά εκ των προτέρων. Οι συνολικές και ολοκληρωμένες διαδρομές που θα ακολουθούν, φτιάχνονται και βελτιστοποιούνται πριν τα οχήματα τις φέρουν εις πέρας. Σαν βάση του συστήματος είναι η εύρεση διαδρομής που να ελαχιστοποιεί το κόστος λειτουργίας. Το κόστος αυτό αποτελείται από διάφορες παραμέτρους όπως απόσταση πορείας, χρόνος διαδρομής κα. Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, το σύστημα χρονοδρομολόγησης των AGV επηρεάζεται άμεσα από το σύστημα ελέγχου των μηχανών. Έτσι το σύστημα χρονοδρομολόγησης των AGV πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εναρμονίζεται με το σύστημα ελέγχου των μηχανών, αλλά και με κάθε άλλο σύστημα σε διάφορες άλλες εγκαταστάσεις. Στο offline σύστημα το βασικό αρνητικό χαρακτηριστικό είναι ότι μια μικρή αλλαγή στους χρόνους άφιξης, μια αλλαγή στους χρόνους οδήγησης (συμφόρηση) ή μια βλάβη σε ένα όχημα, μπορούν να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην χρονοδρομολόγηση ή και να την αχρηστέψουν τελείως.

### **6.1.2 Online Σύστημα χρονοδρομολόγησης**

Σε μια εγκατάσταση στη οποία λειτουργεί σύστημα AGV, οι χρόνοι άφιξης, μετακίνησης, φόρτωσης και εκφόρτωσης κυμαίνονται, τα οχήματα μπορεί να εμφανίσουν βλάβες. Το σύστημα χρονοδρομολόγησης πρέπει να προσαρμόζεται σε καταστάσεις που το απαιτούν αλλά και με κάθε διαφορετικό αίτημα μεταφοράς υλικών που προκύπτει. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι ένα σύστημα κυλιόμενου ορίζοντα. Το κυλιόμενο μέγεθος σε αυτό το σύστημα είναι ο χρόνος. Έτσι τα οχήματα λαμβάνουν ενημερώσεις, ως προς τις διαδρομές που πρόκειται να ακολουθήσουν, μετά από μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο (χρονικός ορίζοντας). Το ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της επεξεργασίας όλων των αιτημάτων. Το κόστος αυτό είναι ένας συνδυασμός του κόστους απόστασης χωρίς φορτίο, του κόστους καθυστέρησης και της απώλειας εσόδων λόγω απόρριψης φορτίων.

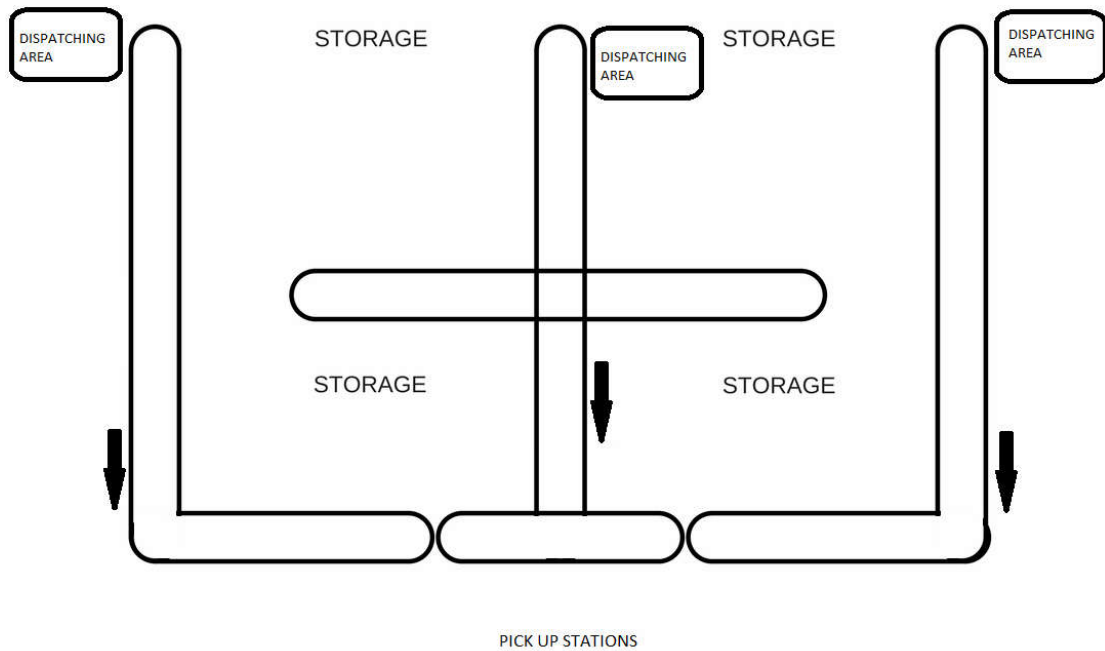
## 6.2 Σύστημα αποστολής οχημάτων

Το σύστημα αποστολής οχημάτων καθορίζει τους κανόνες με τους οποίους θα κινηθούν τα οχήματα για να αναλάβουν ένα έργο και να το ολοκληρώσουν. Το σύστημα αποστολής, λαμβάνοντας κάποια κριτήρια ως βάση, αποστέλλει όχι μόνο τον απαραίτητο αριθμό οχημάτων αλλά επιλέγει και ποια οχήματα με κριτήρια όπως η απόσταση ή ο φόρτος εργασίας. Το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής του φορτίου, η μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, η ελαχιστοποίηση της ουράς των οχημάτων ή η εγγύηση παροχής υπηρεσιών ενός επιπέδου στους σταθμούς εργασίας. Λόγω της φύσης του, το σύστημα αποστολής συμβαδίζει μόνο με το online σύστημα χρονοδρομολόγησης.

Υπάρχουν δυο τύποι συστήματος αποστολής οχημάτων : Αποκεντρωμένο και Συγκεντρωτικό

- Αποκεντρωμένο σύστημα αποστολής οχημάτων

Στο αποκεντρωμένο σύστημα, η αποστολή οχημάτων γίνεται με βάση τοπικών πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές συλλέγονται από αισθητήρες στην εγκατάσταση και στα οχήματα. Στο αποκεντρωμένο σύστημα δηλαδή δεν υπάρχει ένα σύστημα, ένας ελεγκτής που να συντονίζει το κεντρικό σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης με τα οχήματα αυτόματης οδήγησης. Για να λειτουργήσει μια εγκατάσταση με αποκεντρωμένο σύστημα, κάθε όχημα πρέπει να πηγαίνει σε κάθε σταθμό παραλαβής και παράδοσης της εγκατάστασης. Έτσι, όλα τα οχήματα κινούνται σε ένα βρόχο αμφίδρομης κατεύθυνσης.



Εικόνα 6.2.1 Αποκεντρωμένο σύστημα αποστολής οχημάτων

Στην εικόνα 6.2.1 φαίνεται ένα αποκεντρωμένο σύστημα με τρεις βρόχους στο οποίο τα οχήματα κινούνται πάντα κυκλικά, παραλαμβάνουν φορτία από τα σημεία παραλαβής (pick up stations) και τα διανέμουν στα σημεία αποθήκευσης (storage).

Στην περίπτωση του αποκεντρωμένου συστήματος, γίνεται χρήση οχημάτων που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν παραπάνω από μια μονάδα φορτίου. Κινούνται κυκλικά και το πρώτο όχημα με διαθέσιμο χώρο που θα συναντήσει φορτίο με αίτημα για μετακίνηση το παραλαμβάνει και το παραδίδει στον προορισμό του, όταν το όχημα φτάσει σε αυτόν ακολουθώντας την κυκλική κίνηση του.

- Συγκεντρωτικό σύστημα αποστολής οχημάτων

Στο Συγκεντρωτικό σύστημα αποστολής οχημάτων, ένας συγκεντρωτικός ελεγκτής παρακολουθεί όλα τα στοιχεία που αφορούν την εσωτερική μεταφορά. Όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τα οχήματα αυτόματης οδήγησης, αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του συγκεντρωτικού ελεγκτή. Οι πληροφορίες αυτές είναι οι τοποθεσίες παραλαβής παράδοσης, οι χρόνοι αποδέσμευσης φορτίων και τοποθεσία και κατάσταση των οχημάτων. Ο συγκεντρωτικός ελεγκτής, αναθέτει φορτία σε οχήματα (ή το ανάποδο), σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες, και με συνεχή επικοινωνία τα κατευθύνει στον χώρο. Οι κανόνες αυτοί είναι μονού χαρακτηριστικού, πολλαπλών χαρακτηριστικών, κανόνες επανατοποθέτησης οχήματος και ιεράρχησης.

Κανόνες μονού χαρακτηριστικού

Οι κανόνες μονού χαρακτηριστικού, βασίζονται σε μια παράμετρο.

Η παράμετρος αυτή μπορεί να είναι η απόσταση, το μέγεθος της ουράς, ο χρόνος αναμονής του φορτίου.

Για τους κανόνες *βάση απόστασης*, λαμβάνεται υπόψη η αποστάσεις του οχήματος ή ο χρόνος κίνησης του. Οι αποστάσεις ή χρόνοι αφορούν την απόσταση του οχήματος από το φορτίο ή του φορτίου από τον προορισμό του.

Για τους κανόνες *βάση μέγεθος ουράς*, λαμβάνεται υπόψη ο φόρτος εργασίας των σταθμών της εγκατάστασης. Οι περιπτώσεις εδώ είναι δυο, το μέγεθος της ουράς εξόδου από σταθμό και το μέγεθος του εναπομείναντα χώρου στην ουρά εξόδου ενός σταθμού. Έτσι ένα όχημα στην πρώτη περίπτωση θα αποσταλεί στον σταθμό με τον μεγαλύτερο αριθμό φορτίων προς παραλαβή, ενώ στην δεύτερη στον σταθμό με τον πιο ελάχιστο εναπομείναντα χώρο στην ουρά εξόδου του.

Για τους κανόνες *βάση χρόνου*, λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος αναμονής μιας εργασίας. Εδώ το φορτίο με τον μεγαλύτερο χρόνο αναμονής θα παραλειφθεί από το πρώτο διαθέσιμο όχημα.

### Κανόνες πολλαπλών χαρακτηριστικών

Η αποστολή οχημάτων με κανόνες πολλαπλών χαρακτηριστικών χρησιμοποιούν παραπάνω από δυο παραμέτρους. Σε γενικές γραμμές υπερέχουν έναντι των μονών χαρακτηριστικών. Τα κριτήρια που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι η απόσταση, ο φόρτος εργασίας και ο χρόνος αναμονής. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος κανόνων είναι ότι ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης του Συστήματος Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης αλλά και των απαιτήσεων του, μπορούν να προστεθούν η και να αφαιρεθούν παράμετροι έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα στο σύστημα κανόνων να είναι πιο αποδοτικό.

### Κανόνες Ιεράρχησης

Αυτός ο τύπος κανόνων αποστολής οχημάτων συνήθως αφορά βιομηχανικά συστήματα όπου κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, ένα κομμάτι της ιεραρχείται όταν η απόφαση αποστολής οχήματος πρέπει να παρθεί. Η ιεράρχηση αυτή μπορεί να συμβαίνει καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, ή κατά ένα μέρος αυτής, σύμφωνα με κάποια κριτήρια όπως φόρτος εργασίας, βλάβες, ακόμα και ελλείψεις σε προσωπικό.

### Κανόνες επανατοποθέτησης οχημάτων

Η κατηγορία αυτή είναι παρόμοια με τις κατηγορίες μονών και πολλαπλών χαρακτηριστικών, καθώς κάνουν χρήση του κανόνα βάση απόστασης ή βάση χρόνου. Έτσι η ανάθεση των οχημάτων θα γίνει με βάση πιο ελεύθερο όχημα είναι πιο κοντά στο σημείο παραλαβής. Η διαφορά εδώ είναι ότι ανά πάσα στιγμή, το όχημα, καθώς έχει πορεία προς το φορτίο για να το παραλάβει, μπορεί να ανακληθεί και να αποσταλεί σε άλλο φορτίο. Όπως είναι λογικό, το Σύστημα Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης αν έχει διορατικότητα όσον αφορά φορτία που δεν έχουν φτάσει ακόμα στην εγκατάσταση, τότε η απόδοση αυξάνεται αισθητά. Παρόλα αυτά η χρήση πληροφοριών προ άφιξης των φορτίων δεν είναι απαραίτητη και το σύστημα λειτουργεί κανονικά.



## 6.3 Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων

Η στρατηγική στάθμευσης των Οχημάτων Αυτόματης οδήγησης, κάτω από διάφορες συνθήκες μπορεί να επηρεάσει αρκετά την απόδοση του συστήματος.

Σε ένα Σύστημα Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης η απραξία των οχημάτων κάποιες ώρες είναι δεδομένη. Σε αρκετά συστήματα διευκολύνει τα οχήματα να σταθμεύουν, κατά την ώρα απραξίας τους, στους χώρους παραλαβής – παράδοσης. Δεν είναι όμως αυτός ο γενικός κανόνας. Οι δυο στρατηγικές που αναπτυχθήκαν για την στάθμευση των οχημάτων είναι η στατική και η δυναμική.

### 6.3.1 Στατική Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων

Για καλύτερη απόδοση στο Σύστημα Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης, τοποθεσίες στάθμευσης των οχημάτων πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αντίδρασης τους σε νέες αιτήσεις κίνησης. Ακολουθούν οι τέσσερις βασικές προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί.

*Κεντρική στάθμευση.* Σε αυτή την προσέγγιση γίνεται χρήση ενός κεντρικά σχεδιασμένου χώρου στάθμευσης για οχήματα σε απραξία. Αυτός ο χώρος συνήθως είναι κοντά σε σταθμούς που συχνά εμφανίζουν αυξημένη κινητικότητα και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα αποστολής αιτήματος μεταφοράς φορτίου ή σε χώρους φόρτισης και αλλαγής μπαταρίας.

*Στάθμευση βρόχου.* Σε αυτή την προσέγγιση έχουν σχεδιαστεί βρόχοι αποκλειστικά για οχήματα σε απραξία. Όταν ένα όχημα μπαίνει σε κατάσταση απραξίας, κινείται σε έναν από αυτούς τους βρόχους μέχρι να του αποσταλεί αίτημα κίνησης.

*Στάθμευση παράδοσης.* Σε αυτή την προσέγγιση το όχημα σταθμεύει στο σημείο που ολοκλήρωσε την τελευταία του εργασία μέχρι να του αποσταλεί αίτημα κίνησης.

*Διανεμημένη στάθμευση.* Σε αυτή την προσέγγιση έχει δημιουργηθεί ένα διανεμημένο σύστημα στάθμευσης, το οποίο απασχολεί χώρους στάθμευσης (home locations) όπως στην προσέγγιση της *Κεντρικής στάθμευσης*, αλλά με τη διαφορά ότι εδώ οι χώροι είναι πολλαπλοί. Όταν ένα όχημα μπαίνει σε κατάσταση απραξίας, κινείται και σταθμεύει σε έναν από αυτούς χώρους.

Η *Διανεμημένη στάθμευση* είναι η πιο δημοφιλής προσέγγιση καθώς ελαχιστοποιεί τους χρόνους αντίδρασης των οχημάτων σε όλη την έκταση της εγκατάστασης σε αντίθεση με την *Κεντρική στάθμευση*, αλλά ελαχιστοποιεί και την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την *Στάθμευση βρόχου* όπου τα οχήματα είναι εν κινήσει.

Οι home locations στην προσέγγιση της διανεμημένης στάθμευσης είναι τοποθετημένοι κατά μήκος ενός μονού βρόχου. Ο βρόχος αυτός εμπεριέχει όλη την εγκατάσταση. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τοποθεσίας των χώρων στάθμευσης είναι οι τοποθεσίες των χώρων εργασίας και η ροή κίνησης. Ο στόχος αυτού του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου ανταπόκρισης των οχημάτων.

### **6.3.2 Δυναμική Στρατηγική Στάθμευσης Οχημάτων**

Ο φόρτος εργασίας της εγκατάστασης και οι απαιτήσεις παραλαβής παράδοσης αλλάζουν με τον χρόνο και κατά τη διάρκεια της μέρας, αλλά και σε βάθος χρόνου όπου το σύστημα μπορεί να αυξήσει σε αριθμό τις εργασίες του και το πελατολόγιο του. Έτσι, οι home locations των οχημάτων πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν για να προσαρμοστούν στις καινούριες συνθήκες.

Πρακτικά όμως οι εταιρίες δεν προτιμούν την Δυναμική Στρατηγική, καθώς τα οχήματα μπορούν να σταθμεύσουν μόνο σε συγκεκριμένους χώρους της εγκατάστασης. Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας, για αποφυγή συμφόρησης, γιατί μόνο σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους μπορεί να επωφεληθεί χρονικά το σύστημα και να γίνεται φόρτιση μπαταριών ταυτόχρονα με την αναμονή, η ακόμα και για καθαρά χωροταξικούς λόγους.

## 6.4 Διαχείριση Μπαταρίας

Η διαχείριση μπαταρίας των Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης, δεν είναι ένα ζήτημα δευτερεύουσας σημασίας. Το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας των οχημάτων είναι αναπόσπαστο κομμάτι όλου του συστήματος αυτόματου ελέγχου των AGV. Όποια διαφορετική προσέγγιση θα μπορούσε να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην χρονική αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης.



Εικόνα 6.4.1 Μπαταρία AGV[31]

Ιστορικά, η διαχείριση μπαταρίας γινόταν χειρονακτικά. Με δεδομένο τον χρόνο διάρκειας της κάθε μπαταρίας, του κάθε διαφορετικού τύπου AGV, οι υπάλληλοι της εγκατάστασης, έκαναν χειρονακτικό έλεγχο, και αν η μπαταρία είχε αποφορτιστεί την αντικαθιστούσαν χειρονακτικά και να βάλουν την αποφορτισμένη για φόρτιση. Η μπαταρία κατά μέσο όρο διαρκεί 8-12 ώρες λειτουργίας, ανάλογα τον φόρτο εργασίας. Όπως είναι λογικό αυτό είχε μεγάλο αντίκτυπο στην αποδοτικότητα του συστήματος.

Το επόμενο στάδιο ήταν να αναπτυχθεί ένα σύστημα με χρήση ελεγκτών τάσης στο όχημα. Έτσι όταν η αποφόρτιση της μπαταρίας ξεπερνούσε ένα προκαθορισμένο σημείο, το όχημα ολοκλήρωνε το αίτημα μεταφοράς, αν είχε ένα σε εξέλιξη, και επέστρεφε στον χώρο όπου γίνεται η αντικατάσταση μπαταρίας. Όταν ολοκληρωνόταν η αντικατάσταση επέστρεφε στην κανονική ροή.

Και στις δυο αυτές περιπτώσεις, αν δεν είναι επιθυμητή η καθυστέρηση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης, θα πρέπει να υπάρχουν επιπλέον οχήματα έτσι ώστε να αντικαταστήσουν αυτά στα οποία γίνεται αλλαγή μπαταρίας.

Για την βελτιστοποίηση του συστήματος AGV της εγκατάστασης, αναπτύχθηκε ένα σύστημα ελέγχου και διαχείρισης μπαταρίας, και ενσωματώθηκε με το σύστημα ελέγχου όλης της εγκατάστασης Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης. Οι παλιές μέθοδοι δεν αντικαταστάθηκαν, αλλά εξελιχθήκαν καθώς λειτουργούν κάτω από την ομπρέλα του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας. Επίσης αναπτύχθηκαν συστήματα φόρτισης που έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης της εγκατάστασης:

- Ευκαιριακή Φόρτιση.

Όταν τα οχήματα σταθμεύουν κατά τις περιόδους απραξίας που περιγράφεται στο κεφάλαιο 6.3, γίνεται και φόρτιση της μπαταρίας. Για την συνεχόμενη λειτουργία των οχημάτων, κατά μέσο όρο χρειάζεται 12 λεπτά φόρτισης ανά ώρα λειτουργίας.



Εικόνα 6.4.2 Ευκαιριακή και Αυτόματη Φόρτιση [32]

- Αυτόματη Φόρτιση.

Το όχημα λειτουργεί κανονικά έως ότου η αποφόρτιση της μπαταρίας φτάσει σε ένα προκαθορισμένο σημείο. Τότε ο ελεγκτής στέλνει το όχημα σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους για φόρτιση. Εάν το όχημα εκτελούσε αίτημα κίνησης, τότε το ολοκληρώνει και έπειτα συνεχίζει προς τον χώρο φόρτισης.



Εικόνα 6.4.5 Φορτιστής μπαταρίας AGV[35]

- Συνδυαστική Φόρτιση.

Αποτελεί συνδυασμό των δυο παραπάνω συστημάτων. Ο ελεγκτής του συστήματος Οχημάτων Αυτόματου Ελέγχου, έχοντας στη διάθεση του και τις δυο μεθόδους, επιλέγει με κριτήρια την καλύτερη χρονική απόδοση της εγκατάστασης και τον φόρτο εργασίας, ποιο από τα δυο συστήματα εξυπηρετεί καλύτερα ένα συγκεκριμένο όχημα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί ένας αριθμός οχημάτων να φορτίζει ευκαιριακά και ένας άλλος αριθμός αυτόματα την ίδια στιγμή.

- Αντικατάσταση Μπαταρίας.



Εικόνα 6.4.3 Ράφι μπαταριών[33]

Όταν η αποφόρτιση της μπαταρίας φτάσει σε ένα προκαθορισμένο σημείο, ο κεντρικός ελεγκτής του συστήματος στέλνει το όχημα σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους για την αντικατάσταση της μπαταρίας τους με μια πλήρως φορτισμένη, και τοποθετεί την αποφορτισμένη σε ειδικό φορτιστή μπαταριών AGV για φόρτιση.



Εικόνα 6.4.4 Αυτόματη αντικατάσταση μπαταρίας[34]

Η αντικατάσταση γίνεται είτε χειρονακτικά, είτε αυτόματα. Στην περίπτωση της αυτόματης αντικατάστασης η εγκατάσταση χρειάζεται ένα επιπλέον μηχάνημα που αντικαθιστά τις μπαταρίες και τις φορτίζει. Σε κάθε περίπτωση, ο κεντρικός ελεγκτής παρακολουθεί την διαδικασία φόρτισης των μπαταριών και αντικαθιστά τις αποφορτισμένες μόνο με πλήρως φορτισμένες.

Οι μέθοδοι αντικατάστασης μπαταρίας, όσο και αν έχουν εξελιχθεί και αυτοματοποιηθεί κατά το πέρασμα του χρόνου δεν παύουν να είναι υποδεέστερες σε σχέση με τις μεθόδους φόρτισης. Οι μέθοδοι φόρτισης υπερέχουν καθώς είναι πιο αποδοτικές χρονικά όσον αφορά τον χρόνο φόρτισης αλλά και τον χρόνο κίνησης των οχημάτων κατά την όλη λειτουργία του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας. Ένας άλλος παράγοντας είναι το εργασιακό κόστος στις περιπτώσεις χειρονακτικής παρέμβασης ανθρώπου, αλλά και ο παράγοντας ανθρώπινο λάθος, τα οποία στις καθόδους φόρτισης περιορίζονται στο όταν η μπαταρία θέλει αντικατάσταση λόγω ολοκλήρωσης του κύκλου ζωής της.

## Κεφάλαιο 7

### Παράδειγμα Κίνησης Οχήματος Αυτόματης Οδήγησης

#### 7.1 Σύστημα Αποθήκης

Σε μια σύγχρονη αποθήκη, ο χρόνος και η ακρίβεια στην μεταφορά και οργάνωση των προϊόντων είναι από τους βασικότερους παράγοντες στην ομαλή, και αποτελεσματική λειτουργία της. Μια αυτοματοποιημένη αποθήκη, υπερτερεί όσων αφορά αυτά τα χαρακτηριστικά. Όσο η αποθήκη μεγαλώνει, τόσο σε χώρο αλλά και σε εντατικότητα, γίνεται όλο και πιο αναγκαία η πιο αποτελεσματική, πιο γρήγορη και ποιοτική λειτουργία της.

Με τη χρήση AGV επιτυγχάνεται αυτή η αποτελεσματικότητα. Τα AGV χρησιμοποιούνται στην μεταφορά φορτίων από και προς την αποθήκη, καθώς και στην οργάνωση και αποθήκευση τους, αλλά και στην προετοιμασία για αποστολή. Οι διεργασίες αυτές γίνονται με ακρίβεια στην διαδρομή στην τοποθέτηση αλλά και στον χρόνο.

*Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας λειτουργίας είναι οι αποθήκες της Amazon.*

Όπως φαίνεται στις εικόνες 7.1 και 7.2 γίνεται χρήση αυτών των Unit Load Carriers για την μεταφορά ολόκληρων ραφιών.

Η αποθήκη της Amazon είναι 102000 τετραγωνικά μέτρα. Απασχολεί 2500 μόνιμους υπάλληλους και σε περιόδους εορτών τον διπλάσιο αριθμό. Η εντατικότητα των παραγγελιών είναι τεράστια, και όπως είναι λογικό στις περιόδους εορτών πολλαπλασιάζετε. Για παράδειγμα, την Cyber Monday του 2015, αποσταλήκαν 51 εκατομμύρια αντικείμενα, δηλαδή 629 αντικείμενα το δευτερόλεπτο.

Τα Unit Load Carriers σύρονται κάτω από τα ράφια και στη συνέχεια όπως φαίνεται στις εικόνες 7.1 και 7.2 ανυψώνεται η μαύρη στρογγυλή πλατφόρμα και σηκώνει όλο το ράφι.



Στη συνέχεια το μετακινεί σε υπάλληλο για την διαλογή των αντικειμένων ο οποίος τα τοποθετεί σε ειδικά καλάθια.

Τα καλάθια αυτά μέσω ιμάντα μεταφοράς φτάνουν σε υπαλλήλους που τα συσκευάζουν για αποστολή.

Στη συνέχεια, κατανέμονται και στοιβάζονται σε κοντέινερ προς αναχώρηση από την αποθήκη.

Με αυτόν τον τρόπο η αποθήκη της Amazon ελαχιστοποιεί τον χρόνο μεταφοράς των φορτίων και πετυχαίνει καλύτερη απόδοση στο σύστημα σε σχέση με το κλασικό σύστημα χειροκίνητων ή και ηλεκτρικών παλετοφόρων. Παράγοντες όπως ανθρώπινο λάθος ή δυσκολία και κατ' επέκταση καθυστέρηση στην εύρεση του σωστού φορτίου προς αποστολή, μηδενίζονται.



Εικόνα 7.1 Αποθήκη της Amazon Unit Load Carriers[36]



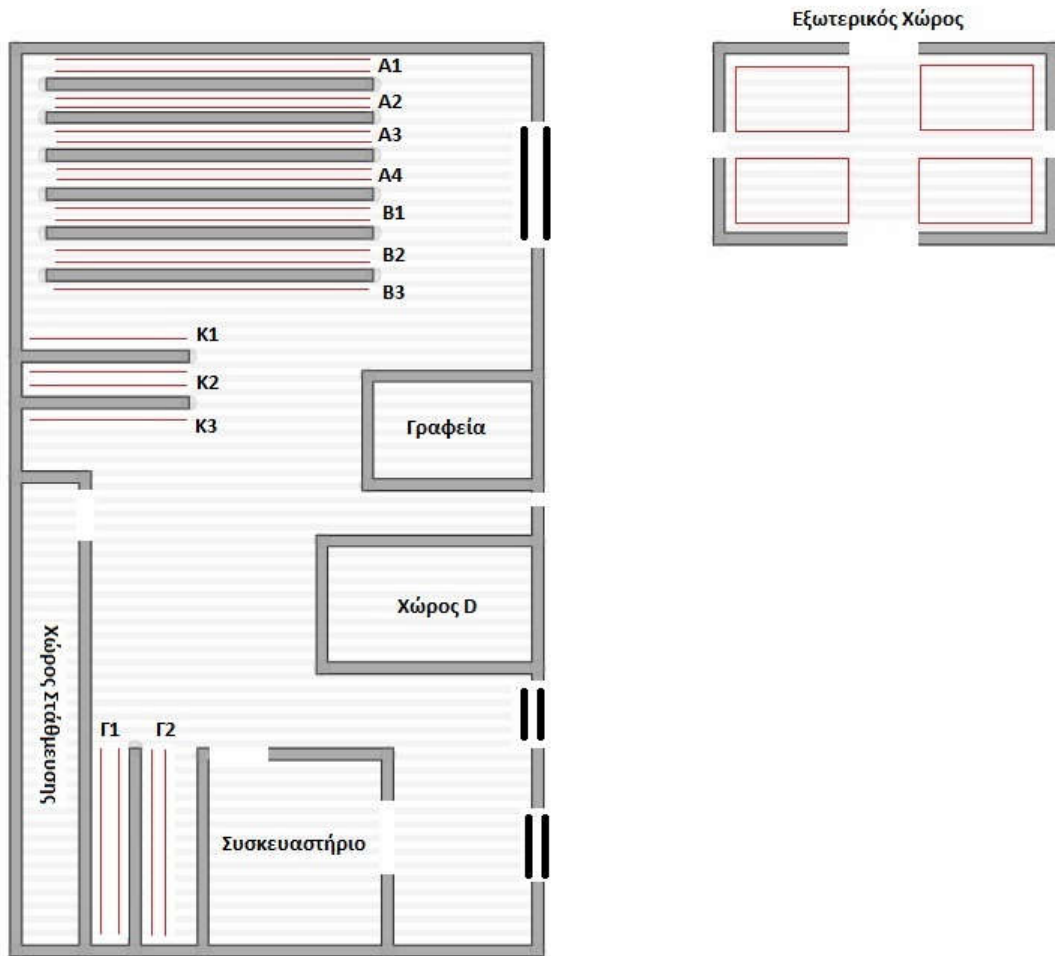
Εικόνα 7.2 Αποθήκη της Amazon Unit Load Carriers[37]

Στην εικόνα 7.3 φαίνεται η κάτωψη αποθήκης εταιρίας εγκατάστασης και συντήρησης ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Η κύρια λειτουργία της αποθήκης είναι:

→ Η αποθήκευση ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού προς εγκατάσταση ή πώληση σε συνεργαζόμενη εταιρία.

→ Αποθήκευση αποξηλωμένου ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού για επιστροφή ή επανατοποθέτηση.

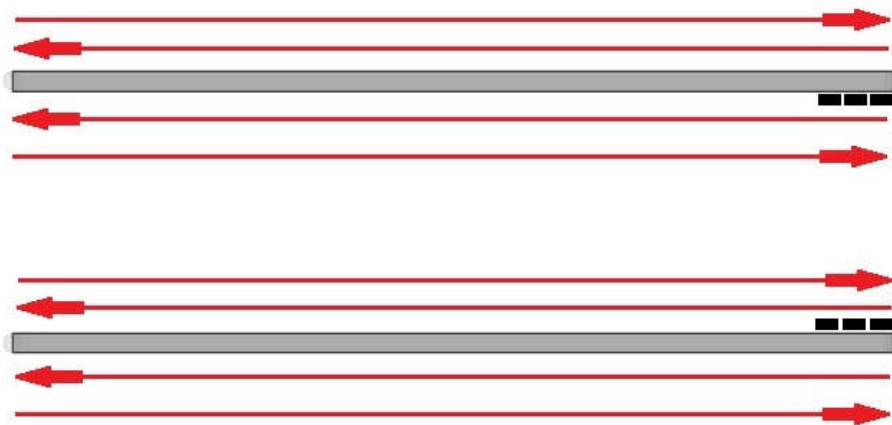


Εικόνα 7.3 Κάτοψη Αποθήκης

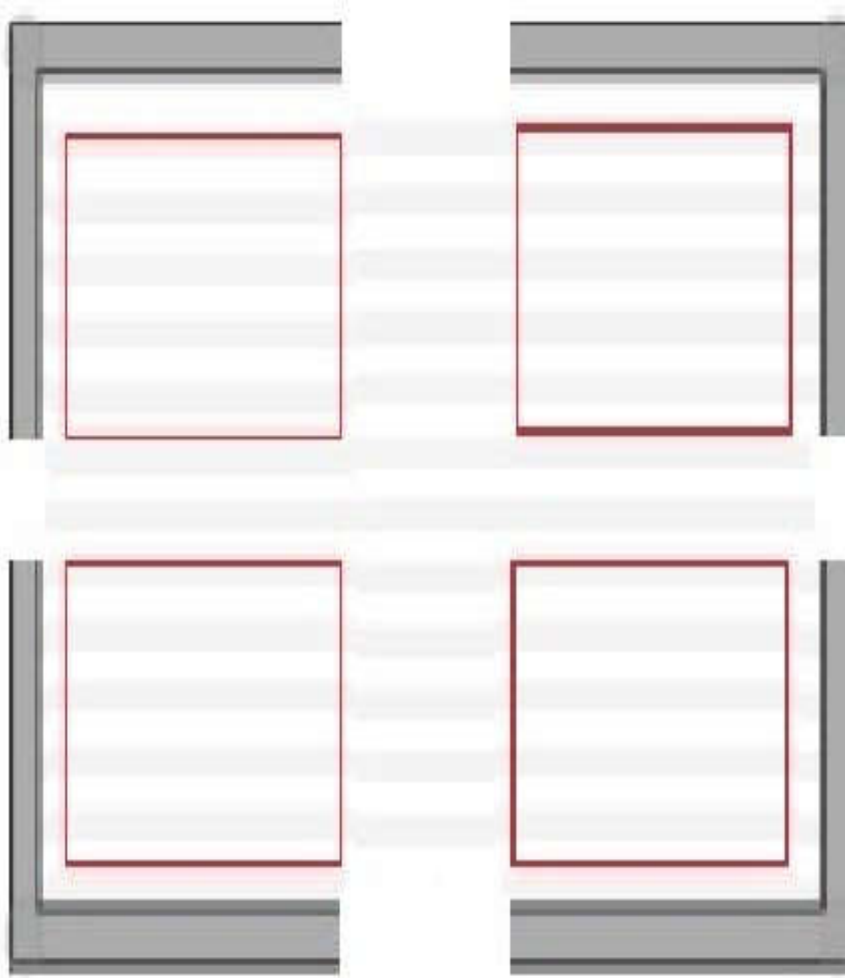
Οι χώροι Α Β Γ και Κ είναι σειρές ραφιών. Στις σειρές ραφιών Α και Β αποθηκεύονται φορτία ανάλογα με τον τύπο τους. Οι σειρές ραφιών Γ είναι για βαριά φορτία και οι σειρές ραφιών Κ είναι θυγατρικά.

Τα ράφια έχουν αρίθμηση ανά ράφι, θέση και επίπεδο. Στην εικόνα 7.4 φαίνεται η σειρά ραφιών Α1. Με μαύρο φαίνεται η θέση, και το επίπεδο είναι κάθετο στην κάθε θέση. Από την μία μεριά τα επίπεδα είναι μονά και από την απέναντι είναι ζυγά. Για παράδειγμα το σημείο αποθήκευσης σειρά ραφιών Α1 θέση 2 και επίπεδο 4 γράφεται Α1-2-4.

Ο εξωτερικός χώρος (εικόνα 7.5) είναι για τα στροφεία.



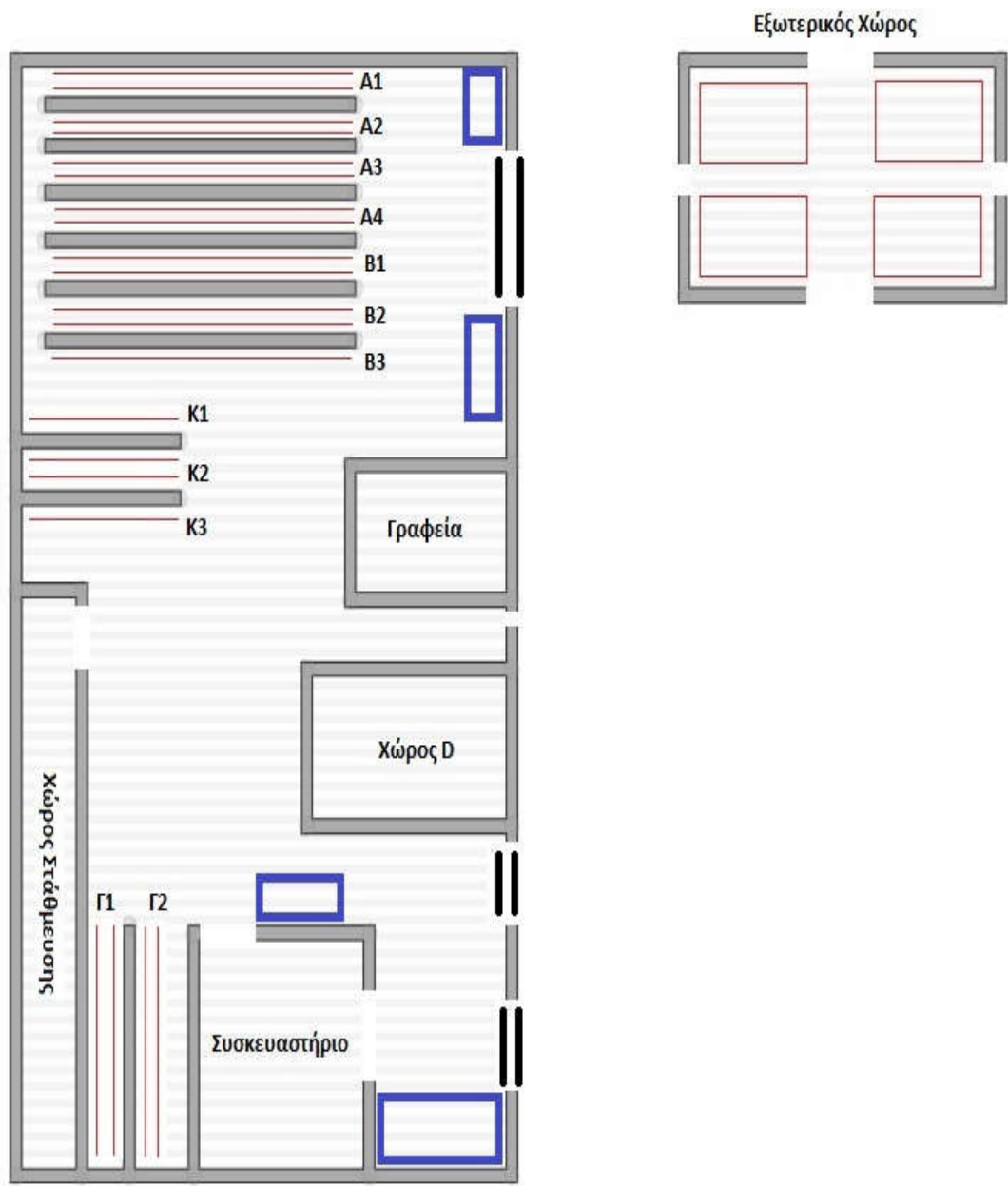
Εικόνα 7.4 Κάτοψη Σειράς Ραφιών Α1



Εικόνα 7.5 Κάτοψη Εξωτερικού Χώρου

### Στοιχεία Συστήματος

- Η επιλογή της διαδρομής του AGV θα επιλεγεί από *Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου της Δρομολόγησης*.
- Ο έλεγχος κυκλοφορίας, όπως είναι και πιο δημοφιλές αλλά και αποδοτικό, γίνεται με *Συνδυαστικό Έλεγχο ζώνης και εμπρόσθιο έλεγχο*. Εδώ οι ζώνες θα μπορούσαν να χωριστούν ανά μονές και ζυγές σειρές ραφιών, ανάλογα και με τον αριθμό των οχημάτων. Για τα αδιέξοδα ο συγκεντρωτικός έλεγχος επίλυσης.
- Τα σύστημα ροής είναι *Μόνης Κατεύθυνσης*. Η αμφίδρομη ροή δεν συνιστάται λόγω αύξησης του χώρου που θα καταλάμβαναν οι σειρές ραφιών.
- Το *Σύστημα Χρονοδρομολόγησης* είναι online και το *Σύστημα Αποστολής Οχημάτων* είναι το *Αποκεντρωμένο* καθώς είναι πιο αποδοτικό, ειδικά σε σύστημα αποθήκης όπου φορτία φτάνουν σε άτακτα χρονικά διαστήματα.
- Τέλος το σύστημα αξιοποιεί *Διανεμημένη Στάθμευση* σε συνδυασμό με *Συνδυαστική Φόρτιση μπαταρίας* (εικόνα 7.6 μπλε χώροι).



Εικόνα 7.6 Κάτοψη Αποθήκης σε Κατάσταση Απραξίας Οχημάτων

## Λειτουργία

*Για το παρόν υπόδειγμα λειτουργίας οχήματος, θα γίνει χρήση δυο AGV εντός της αποθήκης και ενός για τον εξωτερικό χώρο τύπου Forklift Truck.*

Κατά την είσοδο φορτίων. Όταν έρθει μια νέα παραλαβή στο σύστημα το όχημα, με αφετηρία τους χώρους απραξίας (εικόνα 7.6 ) ή τον χώρο στάθμευσης, κινείται προς το φορτίο, και ανάλογα τον τύπο του το τοποθετεί στο αντίστοιχο ράφι.

Παραδείγματος χάρη, η θέση του φορτίου που έχει ορίσει ο ελεγκτής του συστήματος είναι B2-5-3. Το AGV θα παραλάβει το φορτίο από τις παραλαβές, θα το τοποθετήσει στην θέση B2-5-3 και θα επιστρέψει να παραλάβει το επόμενο ή να σταθμεύσει.

Κατά την έξοδο φορτίων. Όταν το όχημα δεχτεί αίτημα για κίνηση φορτίου προς αποστολή, παραλαμβάνει το φορτίο από την τοποθεσία του (B2-5-3) και το παραδίδει στον χώρο συσκευασίας. Όταν η συσκευασία ολοκληρωθεί, το δεύτερο όχημα παραλαμβάνει το συσκευασμένο φορτίο από τον χώρο συσκευασίας και το παραδίδει στην έξοδο της αποθήκης. Αν το φορτίο δεν χρειάζεται να συσκευαστεί, τότε το πρώτο όχημα παρακάμπτει το συσκευαστήριο και το δεύτερο όχημα, και παραδίδει το φορτίο απευθείας στην έξοδο της αποθήκης.

## 7.2 Σύστημα Λιμανιού

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 2, ο μεταφορέας βαρέων φορτίων έχει εφαρμογές στον χειρισμό κοντέινερ σε τερματικά λιμανιών.

Αρκετά λιμάνια ανά τον κόσμο έχουν εφαρμόσει Συστήματα Οχημάτων Αυτόματης Οδήγησης πετυχαίνοντας τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Μείωση εργατικού κόστους
- Συνεχόμενη λειτουργία 24 ώρες τη μέρα 365 μέρες τον χρόνο
- Υψηλή ακρίβεια στις μεταφορές
- Ασφάλεια
- Υψηλή αποδοτικότητα

Μερικά παραδείγματα λιμανιών που κάνουν χρήση AGV είναι το Delta Port (Ρότερνταμ), Port of Singapore Authority, Thamesport of England το οποίο ήταν το πρώτο λιμάνι με πλήρως αυτοματοποιημένο τερματικό, Port of Hamburg (Γερμανία), Kawasaki Port (Ιαπωνία), Kaoshiung Port (Ταϊβάν).

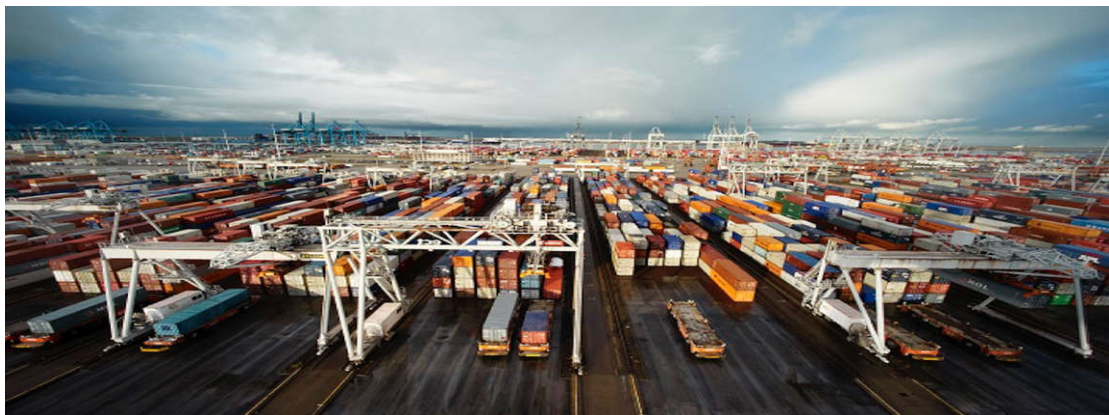
### Delta Port

Στο Delta Port του Ρότερνταμ γίνεται χρήση των AGV για την μεταφορά κοντέινερ από τον αποθηκευτικό χώρο στο πλοίο και αντίστροφα. Και τα δυο τερματικά αυτή της διαδρομής είναι εξοπλισμένα με αυτόματες γερανογέφυρες για την φόρτωση και αποφόρτωση του AGV και του πλοίου με κοντέινερ. Έτσι η διαδικασία φόρτωσης, αποφόρτωσης και στοίβαξης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.





Εικόνα 7.2.1 AGV στο Delta Port [38]



Εικόνα 7.2.2 Τερματικό με στοίβες κοντέινερ, AGV και γερανογέφυρες στο Delta Port [39]

### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα AGV είναι πετρελαιοκίνητα και ζυγίζουν 14 τόνους με δυνατότητα φόρτωσης έως 40 τόνους. κινούνται στα 6.8 mps.

### Πλοήγηση

Σε ένα τόσο μεγάλο χώρο η πλοήγηση με λέιζερ ή ακόμα και GPS έχει μεγάλες αποκλείσεις σε θέματα ακρίβειας.

Έτσι αναπτύχθηκε σύστημα αναμεταδοτών θέσης συνδεδεμένο από ένα πλέγμα οπτικών ινών τοποθετημένο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και καθ' όλο το μήκος της εγκατάστασης. το πλέγμα αυτό είναι ελεγχόμενο από ένα κεντρικό ελεγκτή του συστήματος. σε συνδυασμό με έναν τοπικό ελεγκτή πάνω στα οχήματα με καθήκοντα τον έλεγχο και ρύθμιση θέσης και έλεγχο συντήρησης.

Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η εγκατάσταση του συστήματος καθώς είναι κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και θα πρέπει να βγουν εκτός λειτουργίας μεγάλα κομμάτια του λιμανιού καθ' όλη τη διάρκεια των έργων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως αυτό το μειονέκτημα δεν αποτέλεσε εμπόδιο καθώς η εγκατάσταση του συστήματος έγινε ταυτόχρονα με την κατασκευή της εγκατάστασης.

### Έλεγχος Κυκλοφορίας

Στο Delta Port ο έλεγχος κυκλοφορίας γίνεται κεντρικά. Κεντρικός Έλεγχος Ζώνης όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4 ή Κεντρικός Έλεγχος Κυκλοφορίας.

Όλες οι κινήσεις στο τερματικό, είτε των AGV είτε των γερανογεφυρών, ελέγχονται και καθοδηγούνται απ' ευθείας από έναν κεντρικό ελεγκτή κυκλοφορίας.

### Λειτουργία

Οι κινήσεις που κάνουν τα AGV στο Delta Port κατά τον χειρισμό κοντέινερ είναι τρεις:

#### Κατά την είσοδο κοντέινερ

- Λήψη φορτίου από τις γερανογέφυρες αποφόρτωσης των πλοίων και κίνηση του στις γερανογέφυρες στους χώρους αποθήκευσης.



Εικόνα 7.2.3 Γερανογέφυρες φόρτωσης-αποφόρτωσης[40]

#### Κατά την έξοδο κοντέινερ

- Λήψη φορτίου από τις γερανογέφυρες στους χώρους αποθήκευσης και κίνηση του στον χώρο φόρτωσης των πλοίων.

Αυτή η διαδικασία χειρισμού κοντέινερ (container handling) ξεκινάει με την άφιξη ενός πλοίου με φορτία προς αποθήκευση ή την έναρξη διαδικασίας φόρτωσης για αναχώρηση του πλοίου.

#### Στο εσωτερικό του τερματικού

- Λήψη φορτίου από τις γερανογέφυρες στους χώρους αποθήκευσης και κίνηση του μέσα στον χώρο αποθήκευσης σε άλλο σημείο.

-Κίνηση των AGV για ανατροφοδοσία καυσίμων και συντήρηση.

Ο τοπικός ελεγκτής των οχημάτων είναι υπεύθυνος για την αποστολή αιτημάτων κίνησης στον κεντρικό ελεγκτή του συστήματος που αφορούν ανατροφοδοσία καυσίμων και συντήρηση, ο οποίος με τη σειρά του τα βάζει σε λίστα προτεραιότητας και τα εκτελεί ανάλογα.

Η ανατροφοδοσία καυσίμων προτιμάται να γίνεται κατά τις περιόδους απραξίας του συστήματος ή κάποιων οχημάτων μεμονωμένα λόγω μειωμένου φόρτου εργασίας εκείνη την χρονική περίοδο.

Η συντήρηση έχει και αυτή έλεγχο. Γίνεται με λίστα προτεραιότητας, μέγεθος βλάβης και αναμενόμενου χρονικού διαστήματος μη λειτουργίας.

# Κεφάλαιο 8

## Βιβλιογραφία

### 8.1 Πηγές εικόνων και διαγραμμάτων

#### Εικόνες

1. <http://www.agvsystems.com/standard-size-tow-vehicles/>
2. <http://www.egemin-automation.com>
3. <http://www.directindustry.com>
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle)
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle),  
<http://www.swisslog.com/>
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle)
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle), <http://www.ifm.com>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle),  
<http://articles.sae.org/13774/>
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle),  
<https://www.airfloat.com/applications/>
10. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle),  
[https://www.youtube.com/watch?v=iAo8p\\_MAjqI](https://www.youtube.com/watch?v=iAo8p_MAjqI)

11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle),  
<https://thewest.com.au/news/wa/robots-deliver-new-catering-era-ng-ya-378323>
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle)
13. <https://www.2getthere.eu/>
14. <https://www.slideshare.net/alamkhan111/aotomated-guided-vehicle>
15. <https://www.slideshare.net/alamkhan111/aotomated-guided-vehicle>
16. <https://www.slideshare.net/smit1994/basics-of-agvs-automated-guided-vehicles>
17. Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*' 2010  
Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky, '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*', Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology
18. Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*' 2010  
Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky, '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*', Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology
19. <https://www.sick.com>
20. <http://www.coreconagvs.com/products/E225CB.php>
21. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
22. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011

23. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
24. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
25. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
26. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
27. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
28. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
29. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
30. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
31. <http://www.powerlongbattery.com>, <http://www.powerlongbattery.com/electric-vehicle-battery/agv-automated-guided-vehicle-battery-pack.html>
32. <http://egeminusa.com/automated-guided-vehicles/battery-charging-solutions/opportunity-charging/>
33. <http://www.sbsbattery.com/products-services/by-product/battery-racks-and-spill-containment.html>
34. <http://egeminusa.com/automated-guided-vehicles/battery-charging-solutions/>

35. <http://www.sbsbattery.com/products-services/by-application/motive-power-batteries/industrial-motive-power-batteries/agv-automated-guided-vehicle-batteries.html>
36. <https://rctom.hbs.org/submission/amazon-their-most-innovative-drones-werent-built-to-fly/>
37. [https://www.researchgate.net/publication/301261727\\_Design\\_and\\_Methodology\\_of\\_Automated\\_Guided\\_Vehicle](https://www.researchgate.net/publication/301261727_Design_and_Methodology_of_Automated_Guided_Vehicle)
38. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:9-028\\_Rotterdam\\_ECT.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:9-028_Rotterdam_ECT.jpg)
39. <http://www.ppmc-transport.org/port-vision-for-2030-the-port-of-rotterdams-climate-initiative/>
40. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automated\\_guided\\_vehicle\\_container\\_mover\\_at\\_Port\\_of\\_Rotterdam.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automated_guided_vehicle_container_mover_at_Port_of_Rotterdam.JPG)

## Πίνακες

1. Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster, *'A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle System'*, Rotterdam school of Management, 2004
2. Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster, *'A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle System'*, Rotterdam school of Management, 2004
3. Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster, *'A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle System'*, Rotterdam school of Management, 2004

## Διαγράμματα

1. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky *'Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study'*  
Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer *'Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique'*  
Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau *'Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach'*,2005  
Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE *'Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles'*
2. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky *'Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study'*  
Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer *'Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique'*  
Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau *'Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach'*,2005  
Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE *'Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles'*



3. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*'

Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*'

Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau '*Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach*',2005

Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE '*Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles*'

4. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*'

Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*'

Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau '*Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach*',2005

Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE '*Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles*'

5. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*'

Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*'

Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau '*Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach*',2005

Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE '*Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles*'

## 8.2 Ιστότοποι

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_guided\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle)
2. <http://www.agvsystems.com>
3. <http://www.egemin-automation.com>
4. <http://www.directindustry.com>
5. <http://www.swisslog.com>
6. <http://www.ect.nl/en>
7. <http://www.ifm.com>
8. <http://www.coreconagvs.com>
9. <http://www.powerlongbattery.com>
10. <http://egeminusa.com>

### 8.3 Βιβλία και επιστημονικά άρθρα

1. Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster, '*A Review of Design and Control of Automated Guided Vehicle System*', Rotterdam school of Management, 2004
2. Khosro Bijanrostami, '*Design and Development of an Automated Guided Vehicle for Educational Purposes*', Eastern Mediterranean University, 2011
3. Kim, C.W., Tanchoco, J.M.A. and Koo, '*AGV dispatching based on workload balancing*', International Journal of Production Research, 1999
4. Su Min Jeon, Kap Hwan Kim, Herbert Kopfer '*Routing Automated Guided Vehicles in container terminals through the Q-learning technique*' 2010
5. Ayoub Insa Correa, Andre Langevin, Louis-Martin Rousseau, '*Scheduling and routing of Automated Guided Vehicles: A hybrid approach*', Ecole Polytechnique de Montreal, 2005
6. Rong YE, Wen-Jing HSU, Voon-Yee VEE, '*Distributed Routing Simulation of Automated Guided Vehicles*' School of Applied Science, Nanyang Technological University
7. Q. Li, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky, '*Modeling and control of the AGV system in an automated container terminal*' Mechanical Engineering Department, Eindhoven University of Technology, The Netherlands
8. Mudit Sharma, '*Control Classification of Automated Guided Vehicle Systems*' IJEAT ISSN:2249-8958, Vol-2, Issue-1, October 2012
9. Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A. and Taghaboni, '*Virtual flow paths for free-ranging automated guided vehicle systems*', International Journal of Production Research, 1989
10. Nurulhuda bt. Muhamad Nasir '*Mechanical Design Of An Automated Guided Vehicle(AGV)*', National Technical University of Malaysia, 2006

11. C. I. Liu, P. A. Ioannou, H. Jula. k. Vukadinovic, H. Pourmohammadi, '*Advanced Material Handling: Automated Guided Vehicles in Agile Ports*', University of Southern California, Center for Advanced Transportation Technologies, 2001
12. Hwang, H. and Kim, '*Development of dispatching rules for automated guided vehicle systems*', Journal of Manufacturing Systems, 1998
13. Egbelu, P.J. and Tanchoco, '*Potentials for bi-directional guide-path for automated guided vehicle based systems*', International Journal of Production Research, 1986
14. L. Henesey, P. Davidsson, Jan A. Persson, '*Evaluation of Automated Guided Vehicle Systems for container terminals using Multi Agent Based Simulation*', Dep. of Systems and Software Engineering, Blekinge Institute of Technology
15. Egbelu, '*Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time*', European Journal of Operational Research, 1993
16. Beamon, '*Performance, reliability, and performability of material handling systems*', International Journal of Production Research, 1998
17. Aykut F. Kahraman, A. Gosavi, K. J. Oty, '*Stochastic modeling of an Automated Guided Vehicle System with one vehicle and a Closed-Loop Path*', IEEE, Vol. 5, No3, July 2008
18. Q. Li, A. C. Adriaansen, J. T. Udding, A. Y. Pogromsky, '*Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems: A Case Study*', Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology

