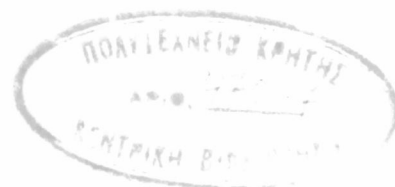


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ
ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΕ ΛΙΜΑΝΙΑ: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ,
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ»**

ΑΡΤΕΜΙΟΣ Κ.ΜΑΜΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΗΛΙΑΣ ΚΟΣΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ (επιβλέπων)

ΜΑΡΚΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΟΥΙΚΟΓΛΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Χανιά
Αύγουστος 2002

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	9
1.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ.....	9
1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ.....	10
1.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ	19
2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ	22
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ	22
2.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ	27
3. ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΛΙΜΑΝΙΩΝ.....	31
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	31
3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ AGV	32
3.3 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	35
3.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	40
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	41
4.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ AGVs.	41
4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ AGVs	44
5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	46
5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	46
5.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	48
6. ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LMCS	60
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
6.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	60
6.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ	61
6.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	62
6.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά απόδοσης συμβατικών και τροποποιημένων γερανογεφυρών [6].....	12
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά των Megacranees [6].....	13
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γερανού ρομπότ.....	18
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά απόδοσης για τον εξοπλισμό του τερματικού σταθμού [4].	21
Πίνακας 5: Κατασκευαστές AGV και χαρακτηριστικά προϊόντων.....	39
Πίνακας 6: Σύγκριση AGV με LCMS [14]	63

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Συμβατική γερανογέφυρα</i>	11
<i>Εικόνα 2: Γερανογέφυρα τύπου A</i>	15
<i>Εικόνα 3: Γερανογέφυρα τύπου C</i>	15
<i>Εικόνα 4: Περιστρεφόμενη γερανογέφυρα</i>	15
<i>Εικόνα 5: Γερανός ρομπότ από την August Design</i>	18
<i>Εικόνα 6: Γερανογέφυρα με ελαστικά</i>	19
<i>Εικόνα 7: Διασκελισμένος γερανός</i>	20
<i>Εικόνα 8: Γερανογέφυρα με ράγες</i>	20
<i>Εικόνα 9: Κοντέινερ γενικού φορτίου</i>	22
<i>Εικόνα 10: Κλειστά με αεραγωγούς/αεριζόμενα κοντέινερ</i>	24
<i>Εικόνα 11: Κοντέινερ ανοιχτής οροφής</i>	24
<i>Εικόνα 12: Κοντέινερ με Βάση Πλατφόρμας</i>	25
<i>Εικόνα 13: Κοντέινερ πλατφόρμα</i>	25
<i>Εικόνα 14: Μηχανικά καταψυχόμενα κοντέινερ</i>	26
<i>Εικόνα 15: Κοντέινερ ντεπόζιτο</i>	27
<i>Εικόνα 18: Πρωτότυπο AGV λιμανιού Σιγκαπούρης</i>	37
<i>Εικόνα 19: Πρωτότυπο AGV της Mentor</i>	38
<i>Εικόνα 20: Σχεδιάγραμμα του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού</i>	43
<i>Εικόνα 21: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση</i>	45
<i>Εικόνα 22: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση</i>	45
<i>Εικόνα 23: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση</i>	45
<i>Εικόνα 24: "Απλώνοντας" μια συμβατική μηχανή για να δημιουργηθεί μια γραμμική</i>	60
<i>Εικόνα 25: Σχέδιο LMCS</i>	61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την διπλωματική εργασία ασχολούμαστε με το θέμα της αυτοματοποίησης των τερματικών σταθμών των λιμανιών που διαχειρίζονται κοντέινερ. Ολοένα και περισσότερο ποσοστό των θαλάσσιων μεταφερόμενων φορτίων, παγκοσμίως, μεταφέρεται με κοντέινερ. Ως αποτέλεσμα οι μελλοντικές απαιτήσεις καθιστούν απαραίτητη την αυτοματοποίηση των τερματικών σταθμών ώστε να αυξηθεί ικανοποιητικά η απόδοση τους.

Σε αυτήν την εργασία γίνεται, αρχικά, μια ανασκόπηση των τεχνολογιών που υπάρχουν για τη διεκπεραίωση των εργασιών σε τερματικούς σταθμούς φόρτωσης/εκφόρτωσης. Επίσης περιγράφονται και αυτόματες τεχνολογίες όπως είναι τα AGVs (Automated Guided Vehicles) και τα συστήματα LMCS (Linear Motor Conveyance Systems). Έπειτα αναπτύσσεται ένα ρεαλιστικό μοντέλο προσομοίωσης ενός αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού. Με την βοήθεια αυτού του μοντέλου εφαρμόζουμε και αξιολογούμε απλούς αλγορίθμους ανάθεσης. Ένας από αυτούς είναι ο αλγόριθμος τυχαίας ανάθεσης. Επίσης με βάση την διαίσθηση ελέγχουμε και αλγορίθμους βασισμένους στην χρονική απόσταση των οχημάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διακίνηση αγαθών με τη χρήση container πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 1960. Τα πλοία της πρώτης γενιάς είχαν χωρητικότητα περίπου 400 TEU (Twenty-foot container Equivalent Unit). Την τελευταία δεκαετία παρατηρήθηκε μια αξιοσημείωτη αύξηση στα φορτία που μεταφέρονται με κοντέινερ. Κατά μέσο όρο, ο όγκος αυξήθηκε κατά 6% ετησίως στις Η.Π.Α., 1.5% στον Καναδά και 10% στον υπόλοιπο κόσμο. Αυτή η τάση είναι πολύ πιθανό να συνεχιστεί και για την επόμενη δεκαετία. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2010, το 90% του παγκόσμιου θαλάσσιου φορτίου θα μεταφέρεται με κοντέινερ.

Αυτή η αύξηση οφείλεται στις δυνατές οικονομίες των Η.Π.Α. και των ασιατικών χωρών, στην εξάλειψη των διεθνών εμπορικών συνόρων και στα μεταβατικά φαινόμενα στην παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση. Επίσης η αύξηση διευκολύνθηκε και από τις σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στις θαλάσσιες μεταφορές. Η αναβάθμιση του εξοπλισμού διαχείρισης των κοντέινερ (γερανοί, φορτηγά) και η εισαγωγή μεγαλύτερων πλοίων μεταφοράς κοντέινερ, ικανά να μεταφέρουν 3.000 μονάδες, συνέβαλε στο να αυξηθεί ουσιαστικά η παραγωγικότητα. Η αυξημένη ταχύτητα του εξοπλισμού διαχείρισης είχε σαν αποτέλεσμα να μειωθεί ο χρόνος παραμονής ενός πλοίου στο λιμάνι για φόρτωση/εκφόρτωση, και η αύξηση στο μέγεθος των πλοίων μεταφοράς κοντέινερ συνέβαλλε στην μείωση του μέσου κόστους μεταφοράς. Η σύνδεση σιδηροδρόμων με λιμάνια είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας των τερματικών σταθμών και στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης από τα φορτηγά. Πιο συγκεκριμένα το φορτίο κάθε τραίνου με διπλό αποθηκευτικό χώρο κοντέινερ ισοδυναμεί με αυτό των 200 φορτηγών. Επίσης η αυτοματοποίηση των πυλών των τερματικών σταθμών οδήγησε σε παραπέρα ελάφρυνση της κυκλοφοριακής συμφόρησης παρέχοντας ανεμπόδιστη είσοδο στα φορτηγά. Αυτές οι εξελίξεις σε συνδυασμό με τις εξελίξεις της τεχνολογίας πληροφοριών και της διοίκησης της πληροφορίας που σχετίζεται με τη ροή του φορτίου, οδήγησαν σε ταχύτερη διαβίβαση των κοντέινερ από το ένα μεταφορικό μέσο στο άλλο.

Το μέλλον των κοντέινερ θα διαμορφωθεί από τους ακόλουθους παράγοντες. Η τάση της μείωσης του μέσου μεταφορικού κόστους στις θαλάσσιες διαδρομές έχει ήδη οδηγήσει στη ανάπτυξη ταχύτερων, μεγαλύτερων και βαθύτερων πλοίων που είναι γνωστά σαν Megaships και που έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν πάνω από 8.000 κοντέινερ. Το κόστος ενός τέτοιου πλοίου μπορεί κάλλιστα να υπερβεί τα 200 εκατομμύρια ευρώ, και για μια τόσο υψηλή επένδυση απαιτείται ο χρόνος παραμονής του πλοίου στο λιμάνι να είναι ο μικρότερος δυνατός. Μικρός χρόνος παραμονής στο λιμάνι σημαίνει γρηγορότερη εκφόρτωση/φόρτωση με τερματικούς σταθμούς ικανούς να λαμβάνουν και να διαχειρίζονται μεγάλο αριθμό κοντέινερ σε μικρή χρονική περίοδο. Αυτές οι μεγάλες

μαζικές αφίξεις κοντένερ θα αποτελέσουν ουσιαστική επιβάρυνση, στο κοντινό μέλλον, για όλες τις λειτουργίες των τερματικών σταθμών.

Τα Megaships λόγω των υψηλών απαιτήσεων τους για γρήγορους και μεγάλους τερματικούς σταθμούς θα κινούνται σε θαλάσσιες οδούς μεταξύ κομβικών λιμανιών ενώ τα μικρότερα πλοία θα συνδέουν τα μικρότερα λιμάνια με τα κομβικά. Μέσα στην επόμενη δεκαετία θα καθοριστεί το ποια λιμάνια θα γίνουν κομβικά. Είναι φανερό ότι μόνο αυτά τα λιμάνια που επενδύουν σε υποδομή και σε εκσυγχρονισμό των λειτουργιών τους, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας των τερματικών τους σταθμών, θα συμμετάσχουν στη νέα οικονομική πραγματικότητα που θα δημιουργήσουν τα Megaships.

Η ανάγκη για μεγαλύτερη αποδοτικότητα των τερματικών σταθμών σε συνδυασμό με την εξέλιξη της υπολογιστικής δύναμης και τις δυνατότητες των αισθητήρων των οχημάτων έφερε στο προσκήνιο τα αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα (AGVs). Έχει ήδηδειχθεί με τη χρήση προσομοιώσεων ότι η αποδοτικότητα των τερματικών σταθμών μπορεί να διπλασιαστεί με τη χρήση των AGV's (Ιωαννου-2000). Προς το παρόν τα AGV's χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής για την διαχείριση υλικού. Η χρήση των AGV's σαν οχήματα τερματικού σταθμού είναι πολλά υποσχόμενη. Αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούνται ημιαυτόματα AGV's με επιτυχία σε λιμάνια του Ρότερνταμ, της Σιγκαπούρης, της Αγγλίας και των Η.Π.Α.

Αυτές οι αλλαγές αποτελούν μια ουσιαστική πρόκληση για τα λιμάνια και για την προσπάθεια τους να παραμείνουν ανταγωνιστικά στην διεθνή αγορά. Για να το πετύχουν αυτό θα πρέπει να δοθεί περαιτέρω έμφαση στην αύξηση της αποδοτικότητας τους και στη γρήγορη διαβίβαση των κοντένερ από τα πλοία στα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς (φορτηγά, τραίνα) και το αντίστροφο. Επίσης οι τερματικοί σταθμοί θα πρέπει να επενδύσουν σε εξοπλισμό διαχείρισης κοντένερ. Αυτή η επένδυση περιλαμβάνει από αγορά μεγαλύτερων και πιο γρήγορων γερανών μέχρι την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων ελέγχου που θα είναι ικανά να εντοπίζουν κοντένερ και να παρακολουθούν την απόδοση του εξοπλισμού μέσω ενσωματωμένων συσκευών και του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS). Αναλυτικότερα είναι απαραίτητο για την διοίκηση των λιμανιών και των τερματικών σταθμών να αναπτύξουν νέες τεχνικές και μεθόδους για να επιταχύνουν τις λειτουργικές διαδικασίες.

Σήμερα υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που σχετίζονται με τις εργασίες σε ένα τερματικό σταθμό κοντένερ. Η πιο ακριβής εκτίμηση των τεχνολογιών αυτών είναι η υλοποίηση τους σε ένα περιβάλλον τερματικού σταθμού κοντένερ σε πλήρη κλίμακα και η συλλογή στοιχείων κατά τη διάρκεια των εργασιών. Αυτό ωστόσο δεν είναι δυνατό εξαιτίας του γεγονότος ότι μερικές από αυτές τις τεχνολογίες είναι σε σχεδιαστικό στάδιο και άλλες χρειάζονται να εκτιμηθούν ή να ξεπεραστούν κάποια εμπόδια (συχνά μη τεχνικής φύσης) προκειμένου να γίνει δυνατή η εφαρμογή τους. Η

εκτίμηση τέτοιων συστημάτων είναι δυνατή με τη χρήση μοντέλων και προσομοιώσεων ώστε να υπολογιστεί η αποδοτικότητα τους και να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής τους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με την βοήθεια της προσομοίωσης εξετάζουμε αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτωσης/εκφόρτωσης. Το πρόβλημα του σχεδιασμού αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνει τα εξής υποπροβλήματα:

- Εύρεση θέσης για το προς αποθήκευση κοντέινερ, έτσι ώστε να αποθηκευτεί, και να μπορεί να ανακτηθεί, όσο το δυνατόν γρηγορότερα.
- Εύρεση κοντέινερ για ανάθεση του οχήματος.
- Εύρεση γερανού που θα εξυπηρετήσει γρηγορότερα το όχημα.

1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ

Από την εμφάνιση των μεταφορών με κοντέινερ και έπειτα έχουν υπάρξει αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο το φορτίο μετακινείται από τον αποθηκευτικό χώρο στο πλοίο και από τον αποθηκευτικό χώρο στις πύλες εισόδου/εξόδου. Στην περίπτωση των κοντέινερ η μετακίνηση από και προς τον αποθηκευτικό χώρο γίνεται με την χρήση χειροκίνητων μηχανημάτων όπως φορτηγά, γερανογέφυρες με ελαστικά, τρέηλερ, διασκελισμένους γερανούς, κ.α.

Ωστόσο πολλές ενδιαφέρουσες εξελίξεις βρίσκονται καθ'οδόν και έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης τέτοιων συστημάτων. Αυτές οι εξελίξεις περιλαμβάνουν την χρήση αυτοματοποιημένων κατευθυνόμενων οχημάτων (AGV's – Automated Guided Vehicles), συστήματα αυτόματης αποθήκευσης κοντέινερ, συστήματα πολλαπλών ρυμουλκούμενων, και συστήματα LMCS (Linear Motor-driven Conveyance Systems), αυτοματοποιημένοι γερανοί, κ.α. Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τα AGV's αλλά θα αναφερθούν και άλλες τεχνολογίες.

Η διαδικασία μεταφοράς των κοντέινερ διαμέσου του τερματικού είναι η εξής: τα κοντέινερ προς εξαγωγή 1. περνάνε από την πύλη, 2. αποθηκεύονται στο τερματικό, 3. ανακτούνται από το τερματικό, και έρχονται στο πλοίο, 4. φορτώνονται στο πλοίο. Παρόμοια τα κοντέινερ προς εξαγωγή 1. ξεφορτώνονται από το πλοίο, 2. αποθηκεύονται στο τερματικό, 3. ανακτώνται από το τερματικό, 4. περνάνε από την πύλη. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αποθήκευση στο τερματικό μπορεί να παραληφθεί τόσο για τα εξαγόμενα όσο και για τα εισαγόμενα κοντέινερ.

Το κύρια κριτήριο μέτρησης της απόδοσης για την αξιολόγηση του εξοπλισμού φόρτωσης/εκφόρτωσης, τόσο για το πλοίο όσο και για τον τερματικό σταθμό, παρουσιάζονται παρακάτω:

1.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ.

Πιθανά το πιο κοινό μέτρο για την απόδοση του εξοπλισμού φόρτωσης/εκφόρτωσης είναι ο μέσος χρόνος φόρτωσης μετρούμενος σε κινήσεις ανά ώρα (ή λεπτά ανά κίνηση). Ο μέσος κύκλος ή κίνηση ορίζεται ως ο μέσος χρόνος [5] που απαιτείται από τον εξοπλισμό φόρτωσης/εκφόρτωσης για να παραλάβει ένα κοντέινερ, να το σηκώσει από την θέση του, να το ξεφορτώσει και να ξαναγυρίσει στην αρχική του θέση έτοιμο να παραλάβει ένα άλλο κοντέινερ. Οι κινήσεις ανά ώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για να εκτιμηθεί η απόδοση ενός μόνο μηχανήματος φόρτωσης/εκφόρτωσης ή για να εκτιμηθεί η παραγωγικότητα του τερματικού σταθμού. Στην τελευταία περίπτωση, η απόδοση του τερματικού μετριέται σε κινήσεις ανά ώρα ανά γερανό πλοίου. Η απόδοση

του τερματικού είναι συνήθως χαμηλότερη από την απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί όταν οι γερανοί του πλοίου δουλεύουν στο μέγιστο της απόδοσης τους. Για παράδειγμα γερανοί πλοίου ικανοί για 45 κινήσεις ανά ώρα μπορούν να οδηγήσουν σε απόδοση τερματικού με 30 κινήσεις ανά ώρα ανά γερανό πλοίου εξαιτίας των καθυστερήσεων στην μεταφορά των κοντέινερ από και προς το τερματικό, ουρών που σχηματίζονται στους γερανούς του πλοίου, κ.α. Ωστόσο η απόδοση του τερματικού δεν μπορεί να υπερβεί την μέση απόδοση του ταχύτερου γερανού του πλοίου. Ένα άλλο μέτρο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του τερματικού είναι το κόστος ανά κίνηση που ορίζεται ως το συνολικό κόστος, συμπεριλαμβανομένης της αγοράς του εξοπλισμού, ανάπτυξης του τερματικού, συντήρησης του εξοπλισμού και του εργατικού κόστους, δια των μέσων κινήσεων των γερανών του πλοίου.

Άλλοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση της απόδοσης του εξοπλισμού φόρτωσης/εκφόρτωσης είναι:

- Η δυνατότητα για υψηλότερη παραγωγικότητα, π.χ. η δυνατότητα της αύξησης της παραγωγικότητας με κατάλληλη τροποποίηση του εξοπλισμού
- Η επεκτασιμότητα των διατάξεων του εξοπλισμού ώστε να καλύψουν όλο τον χώρο του τερματικού
- Η δυνατότητα αυτοματοποίησης
- Περιβαλλοντικά οφέλη
- Ικανότητα εξυπηρέτησης σιδηροδρομικού δικτύου
- Ασφάλεια
- Κατασκευαστικό κόστος
- Κόστος εξοπλισμού
- Κόστος συντήρησης
- Κόστος εργατικού δυναμικού
- Αξιοπιστία

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούμε τις «κινήσεις ανά ώρα» σαν το κυρίαρχο κριτήριο μέτρησης της απόδοσης, επειδή είναι ευκολότερο να ποσοτικοποιηθεί σε σχέση με άλλα κριτήρια και αποτελεί ένα αξιόπιστο μέτρο σύγκρισης. Επίσης παρουσιάζονται παρακάτω μέτρα απόδοσης και χαρακτηριστικά συγκεκριμένων μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση του τερματικού σταθμού.

1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ

Ο γερανός είναι το κύριο μηχανήμα που χρησιμοποιείται για την φόρτωση/εκφόρτωση του πλοίου. Οι γερανοί μπορεί να βρίσκονται είτε στο μόλο ή ενσωματωμένοι στο πλοίο. Ενώ οι γερανοί που είναι ενσωματωμένοι στο πλοίο παρέχουν ευελιξία όσον αφορά στις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό του λιμανιού, οι γερανοί μόλου έχουν καλύτερη απόδοση. Επιπλέον, οι ενσωματωμένοι στο πλοίο γερανοί αυξάνουν το βάρος του πλοίου και το λειτουργικό του κόστος. Ωστόσο

αυτού του τύπου οι γερανοί γίνονται πολύ χρήσιμοι όταν τα πλοία βρίσκονται σε λιμάνια που δεν είναι πολύ καλά εξοπλισμένα, κάτι που παρατηρείται συχνά ειδικά σε υποανάπτυκτες χώρες.

Παρακάτω ορίζονται οι διάφοροι όροι και τα ονόματα που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά των γερανών.

Ένας γερανός λέγεται ότι δουλεύει σε μονό κύκλο όταν μεταφέρει κοντέινερ μόνο προς ή από το πλοίο και σε διπλό κύκλο όταν ταυτόχρονα φορτώνει και ξεφορτώνει κοντέινερ από το πλοίο.

Η προέκταση του γερανού προς τα εμπρός και προς τα πίσω δηλώνει αντίστοιχα την απόσταση κατά το οποίο μπορεί να κινηθεί το κοντέινερ μπροστά και πίσω από την γέφυρα του γερανού. Το άνοιγμα του γερανού δηλώνει την απόσταση μεταξύ των ποδιών του.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί βασικοί τύποι γερανών και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

1.2.1 ΓΕΡΑΝΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΜΟΛΟ

Η πλειοψηφία των σύγχρονων γερανών ενσωματωμένων στο μόλο γερανογέφυρες πάνω σε ράγες (αν και μερικές φορές χρησιμοποιούνται γερανογέφυρες με ελαστικά), και χρησιμοποιούνται κυρίως για φόρτωση/εκφόρτωση κοντέινερ. Αυτοί οι γερανοί είναι ικανοί να προσεγγίσουν οποιοδήποτε σημείο στο κύτος του πλοίου και η απόδοση τους κυμαίνεται από 25 μέχρι 35 κινήσεις ανά ώρα.

Τύπος: Συμβατικές και τροποποιημένες γερανογέφυρες Α-πλαισίου (Conventional and modified A-frame Cranes)



Εικόνα 1: Συμβατική γερανογέφυρα

Σύντομη περιγραφή: Η συμβατική και η τροποποιημένη γερανογέφυρα Α-πλαισίου είναι η πιο κοινή και αξιόπιστη χρησιμοποιούμενη γέφυρα. Το

όνομα της προέρχεται από το Α που σχηματίζεται όταν παρατηρηθεί από κάτω. Η τροποποιημένη γερανογέφυρα Α-πλαισίου είναι είτε χαμηλότερου προφίλ ή με αρθρωτή βάση. Οι περισσότερες γερανογέφυρες αυτού του είδους έχουν 15 μέτρα προέκταση προς τα πίσω, 30.5 μέτρα άνοιγμα, και 44 έως 49 μέτρα προέκταση προς τα εμπρός. Συνήθως εξυπηρετούν πλοία post-Panamax φάρδους 16 κοντέινερ αλλά μπορούν και να εξυπηρετήσουν και αυτά που έχουν φάρδος 18 κοντέινερ με τη χρήση επέκτασης. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 20 ως 35 κινήσεις ανά ώρα. Το κόστος τους κυμαίνεται από 5 ως 7 εκατομμύρια ευρώ, αλλά αυτό μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 50% για τις τροποποιημένες γερανογέφυρες.[6]

Απόδοση: Τα χαρακτηριστικά της απόδοσης των συμβατικών και τροποποιημένων γερανογεφυρών συνοψίζονται παρακάτω:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά απόδοσης συμβατικών και τροποποιημένων γερανογεφυρών [6].

Κινήσεις ανά ώρα	20-35
Προέκταση προς τα πίσω (μέτρα)	~15
Προέκταση προς τα εμπρός (μέτρα)	44 –49
Πλοία που εξυπηρετούν	16-18 Post-Panamax, σχεδιάζονται και για 21
Κόστος σε εκατομμύρια ευρώ	5-7 (συμβατικές Α-πλαισίου), 7-11 (τροποποιημένες)
Κύκλοι λειτουργίας	Μονός και διπλός
Κατάσταση ανάπτυξης	Χρησιμοποιείται ήδη

Τύπος: Megacranes

Σύντομη περιγραφή: Με την εμφάνιση πλοίων μεγαλύτερων από τα post-Panamax, τα Megaships, έγινε απαραίτητη η κατασκευή μεγαλύτερων γερανών [7]. Αυτοί οι γερανοί (Megacranes) χαρακτηρίζονται από τις μεγαλύτερες προεκτάσεις προς τα εμπρός και προς τα πίσω, από την ικανότητα μεγαλύτερης ανύψωσης και από το συνολικό ύψος. Η μεγαλύτερη πρόκληση στο σχεδιασμό τους είναι η διατήρηση, αν όχι η αύξηση, της παραγωγικότητας σε σχέση με μικρότερους γερανούς. Υπάρχουν δύο σχεδιαστικές προσεγγίσεις για να επιτευχθεί αυτό. Η πρώτη χρησιμοποιεί ένα άκαμπτο σκελετό ώστε να αποφευχθούν οι αποκλίσεις και οι δονήσεις του γερανού, που οφείλονται στην κίνηση του. Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί μια δομή παρόμοια με τις υπάρχουσες (όσον αφορά την ακαμψία) και προηγμένα συστήματα ελέγχου ώστε να ελεγχθεί το φορτίο και να εξομαλυνθούν οι αποκλίσεις και οι δονήσεις. Εφόσον δίνεται έμφαση πρώτα στο μέγεθος του γερανού και έπειτα στην διατήρηση της απόδοσης του εκτιμάται ότι αυτή θα κυμαίνεται από 40-50 κινήσεις ανά ώρα. Η δομή των Megacranes είναι ανάλογη με τους συμβατικούς

γερανούς. Το αποτέλεσμα του αυξημένου μεγέθους είναι μια βαρύτερη κατασκευή.

Απόδοση: Η απόδοση των megacranes και άλλα χαρακτηριστικά τους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά των Megacranes [6].

Κινήσεις ανά ώρα	40-50
Προέκταση προς τα πίσω (μέτρα)	20
Βάρος (τόνοι)	1150-1300 (30% βαρύτεροι από ένα συμβατικό γερανό)
Ύψος (μέτρα)	~70 (το 130% ενός συμβατικού γερανού)
Προέκταση προς τα εμπρός (μέτρα)	51
Πλοία που εξυπηρετούνται	Megaships (>7.000 TEU)
Κόστος	Δεν υπάρχουν στοιχεία
Κύκλοι λειτουργίας	Μονός και διπλός
Κατάσταση ανάπτυξης	Σχεδιαστικό στάδιο

1.2.2 ΓΕΡΑΝΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΠΛΟΙΟ

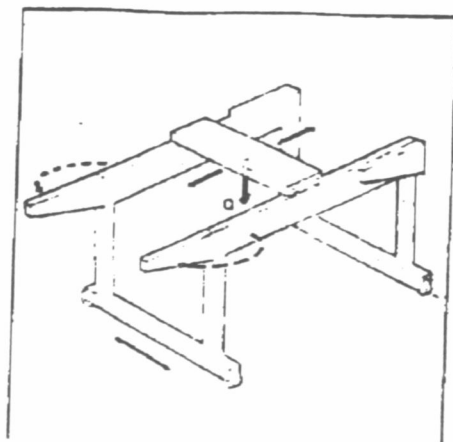
Οι γερανοί που είναι ενσωματωμένοι στο πλοίο παρέχουν ευελιξία, όσον αφορά τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό του λιμανιού, αλλά δεν επιτυγχάνουν την υψηλή απόδοση των γερανών που είναι ενσωματωμένοι στο μόλο.

Τύπος: Γερανογέφυρες ενσωματωμένες στο πλοίο (Ship-mounted Gantry Cranes)

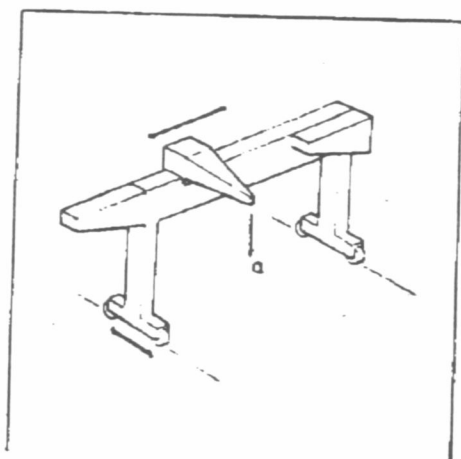
Σύντομη Περιγραφή: Υπάρχουν τρεις κύριοι διαφορετικοί τύποι τέτοιων γερανών: ο τύπος A, ο τύπος B, και ο περιστρεφόμενος. Ο τύπος A ή A-πλαισίου είναι παρόμοιος με τον γερανό A-πλαισίου που είναι ενσωματωμένος στο μόλο με τα δύο του πόδια στις άκρες του πλοίου [5]. Μια κινητή άκρη βρίσκεται στο πάνω μέρος της γέφυρας που σχηματίζεται από τα δύο πόδια (Εικόνα 2) και η γέφυρα προεκτείνεται από τα άκρα του πλοίου.

Ο τύπος C είναι παρόμοιος με τον τύπο A με τη διαφορά ότι έχει ένα πόδι σε κάθε άκρη αντί για δύο. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι μπορεί να συνδυαστεί ώστε να λειτουργεί με ακόμα ένα γερανό C τύπου σε παράλληλη λειτουργία. Αυτό είναι εξαιρετικής σημασίας όταν χρειάζεται να διαχειριστούν μεγάλα ή βαριά φορτία.

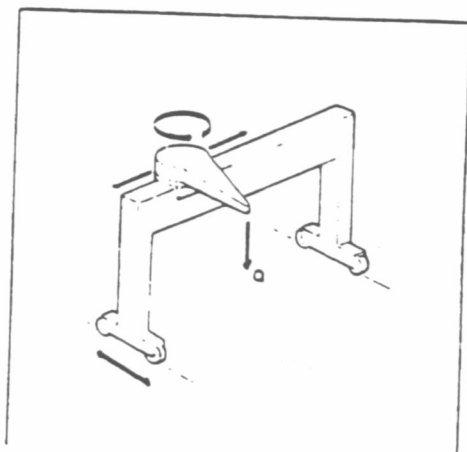
Ο περιστρεφόμενος γερανός είναι παρόμοιος με τον C τύπου στο ότι έχει μια μόνο γέφυρα που υποστηρίζεται από μονά πόδια (Εικόνα 4). Ο γερανός αυτός δεν χρησιμοποιεί προεκτάσεις εκτός πλοίου με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το βάρος του. Τέτοιου τύπου γερανοί είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι όταν το κατάστρωμα του πλοίου είναι στενό ή όταν απαιτείται ένας γερανός μικρού βάρους.



Εικόνα 2: Γερανογέφυρα τύπου Α



Εικόνα 3: Γερανογέφυρα τύπου C



Εικόνα 4: Περιστρεφόμενη γερανογέφυρα

1.2.3 ΗΜΙΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ

Παρόλο που υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι για να ταξινομηθούν οι γερανοί (π.χ. μηχανολογικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, βάρος, απόδοση, κ.α.), σε αυτή την παράγραφο ταξινομούνται ανάλογα με τον βαθμό αυτοματοποίησης τους. Έτσι ορίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι: οι συμβατικοί χειροκίνητοι γερανοί, οι ημιαυτόματοι και οι αυτόματοι γερανοί. Οι συμβατικοί χειροκίνητοι γερανοί είναι αυτοί η απόδοση των οποίων βασίζεται κυρίως στις ικανότητες του χειριστή. Οι ημιαυτόματοι είναι αυτοί που είναι εξοπλισμένοι με προηγμένα συστήματα ελέγχου και αισθητήρες που υποβοηθούν τον χειριστή έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση. Για παράδειγμα, το σύστημα ελέγχου ενός ημιαυτόματου γερανού μπορεί να ελέγξει την ταχύτητα των επιμέρους εξαρτημάτων του γερανού προς αποφυγή των ταλαντώσεων και ακριβή τοποθέτηση της τελικής θέσης της αρπάγης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι, σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη [8] το 30% της κίνησης ενός χειροκίνητου γερανού καταναλώνεται στην εξάλειψη της ταλάντωσης και στην ακριβή τοποθέτηση της αρπάγης. Οι αυτόματοι γερανοί είναι αυτοί που είναι εξοπλισμένοι με προηγμένα και ευφυή συστήματα ελέγχου και δεν απαιτούν χειριστή.

Τύπος: Γερανοί με συστήματα μείωσης της ταλάντωσης (Cranes with Anti-Sway Systems)

Σύντομη περιγραφή: Αυτοί οι γερανοί είναι εφοδιασμένοι με ειδικά συστήματα ελέγχου για εξάλειψη των ταλαντώσεων. Ένας υπολογιστής διαβάζει την ταχύτητα και τις εντολές θέσης του χειριστή από το χειριστήριο και στέλνει κατάλληλα τροποποιημένες εντολές στη μηχανή του γερανού ώστε να ελεγχθούν οι ταλαντώσεις χωρίς να αφαιρείται ο έλεγχος από τον χειριστή. Ο υπολογιστής μετράει την επιτάχυνση και επιβράδυνση του κινητού μέρους του γερανού ώστε να ταυτίζεται με την περίοδο του εκκρεμούς και το φορτίο να μην ταλαντώνεται στο τέλος της κίνησης. Επίσης με παρόμοιο τρόπο ελέγχονται και οι κινήσεις του γερανού ώστε να τοποθετηθεί με ακρίβεια η αρπάγη στην επιθυμητή θέση. Το σύστημα μείωσης της ταλάντωσης Wagner, που έχει εφαρμοστεί στον διεθνές τερματικό σταθμό της Βιρτζίνια [8], είναι ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος. Λειτουργεί σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις: (1) χειροκίνητη μείωση της ταλάντωσης, όπου ο υπολογιστής διαβάζει την επιθυμητή ταχύτητα του χειριστή και παρέχει τις κατάλληλες εντολές στη μηχανή ώστε να επιτευχθεί αυτή η ταχύτητα χωρίς ταλαντώσεις, (2) η κατάσταση μεγάλης μετατόπισης, κατά την οποία η αρπάγη κινείται κατά μήκος της γέφυρας με τη μέγιστη ταχύτητα προσεγγίζοντας μια θέση που έχει οριστεί από τον χειριστή, (3) η κατάσταση μικρής μετατόπισης, κατά την οποία η αρπάγη μετακινείται σε απόσταση ίση με το πλάτος ενός κοντέινερ προς ή από τον μόλο, (4) η κατάσταση απενεργοποίησης του συστήματος μείωσης της ταλάντωσης, κατά την οποία απενεργοποιούνται τα συστήματα ελέγχου για να γίνουν πολύ ακριβείς κινήσεις (π.χ. μετατόπιση 1 μέτρου).

Τα συστήματα μείωσης των ταλαντώσεων επιδέχονται και αμφισβήτηση. Οι περισσότεροι χειριστές γερανών έχουν μεγάλες εξειδίκευση και είναι υπερήφανοι για την ανεπτυγμένη ικανότητα τους να δουλεύουν αποδοτικά. Σύμφωνα με αρκετούς χειριστές και συντηρητές γερανών που ρωτήθηκαν από την August Design Inc., μερικοί τύποι συστημάτων μείωσης της ταλάντωσης είναι διασπαστικοί με την έννοια ότι αφαιρούν τον έλεγχο από τον χειριστή, μερικές φορές απρόβλεπτα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χειριστής προσπαθεί να κάνει μια κίνηση και το σύστημα αντιδράει μετακινώντας το φορτίο διαφορετικά από ότι θα περίμενε ο χειριστής. Ο χειριστής αντιλαμβάνεται ότι κάτι έχει χαλάσει στο σύστημα ελέγχου του γερανού. Είναι σύνηθες, οι συσκευές μείωσης των ταλαντώσεων να είναι μόνιμα απενεργοποιημένες για να ικανοποιείται ο χειριστής. Είναι δυνατόν, με την πάροδο του χρόνου, ο χειριστής να εξοικειωνόταν σε μεγαλύτερο βαθμό με αυτά τα συστήματα, όμως οι πιέσεις σ' αυτόν τον χώρο εργασίας δεν παρέχουν τον απαραίτητο χρόνο.

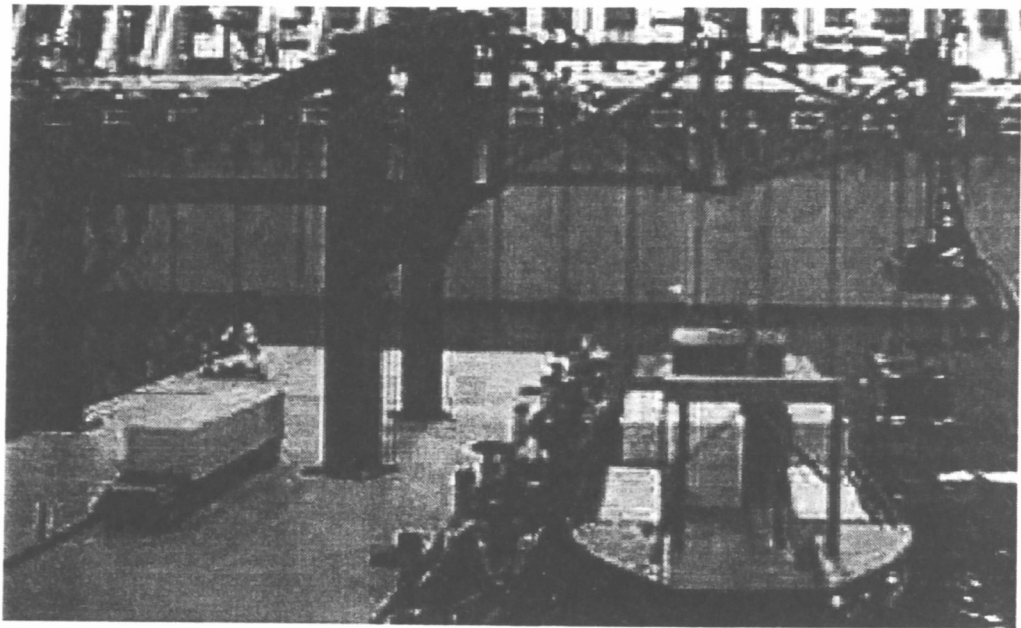
Τύπος: Αυτόματος γερανός της August Design

Σύντομη περιγραφή: Η August Design ανέπτυξε ένα μοντέλο αυτόματου γερανού για κοντέινερ υπό κλίμακα 1:10 [9]. Σε κλίμακα 1:1 ο γερανός ρομπότ θα είχε προέκταση προς τα εμπρός 43 μέτρα και ικανότητα ανύψωσης 46 μέτρα. Ο γερανός είναι στην ουσία ένας μεγάλος συνδυασμός ενός ρομπότ SCARA, μιας συσκευής ανύψωσης και μιας αρπάγης 6 βαθμών ελευθερίας (Εικόνα 5). Ο ελαφρός βραχίονας SCARA είναι άκαμπος οριζόντια, με δυο αρθρώσεις. Είναι ικανός να περιστρέφεται γύρω από τις αρθρώσεις «ώμου» και «αγκώνα». Η συσκευή ανύψωσης μεταφέρει την αρπάγη κατακόρυφα και εξαλείφει τις ταλαντώσεις λόγω των διπλών συρματόσχοινων. Χρησιμοποιείται μηχανική όραση για να εντοπίζεται αυτόματα ο κινούμενος στόχος και να καθοδηγείται αυτόματα η αρπάγη στην κατάλληλη θέση για να σηκώσει ή να αφήσει το κοντέινερ. Το σύστημα επίσης παρέχει την δυνατότητα τηλεχειρισμού από άνθρωπο χειριστή ο οποίος μπορεί να επέμβει στον βρόχο ελέγχου.

Έχει υπολογιστεί [9] ότι ένας τέτοιος γερανός μπορεί να φορτώσει ή να ξεφορτώσει ένα πλοίο με μέσο ρυθμό περίπου 75 κοντέινερ ανά ώρα. Πέρα από την αυξημένη παραγωγικότητα ο γερανός ρομπότ έχει και άλλα πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά με δυνατό αέρα εξαιτίας της στιβαρής κατασκευής του και την έλλειψη μακρών ταλαντούμενων συρματόσχοινων.
- Μπορεί να λειτουργήσει με άσχημη θαλασσοταραχή χρησιμοποιώντας την 6 βαθμών ελευθερίας αρπάγη και προσαρμόζοντας την στην κίνηση του πλοίου
- Η χρήση της μηχανικής όρασης μειώνει το επίπεδο επίβλεψης
- Λόγω της μεγάλης παραγωγικότητας του γερανού αναμένεται ότι θα χρησιμοποιείται τόσο στους μόλους όσο και πάνω στα πλοία

Απόδοση: Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του γερανού ρομπότ από την August Design



Εικόνα 5: Γερανός ρομπότ από την August Design

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γερανού ρομπότ

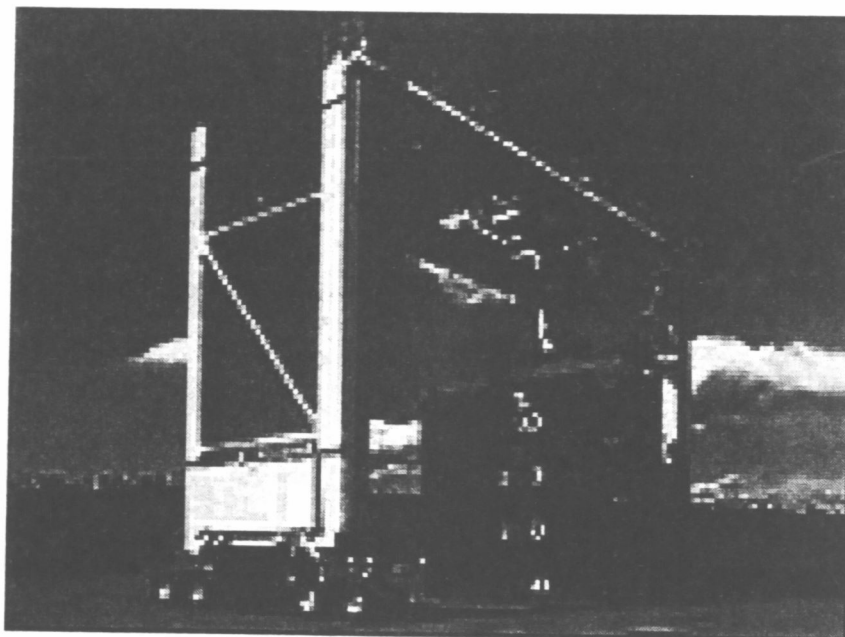
Κινήσεις ανά ώρα	75 (εκτίμηση από [9])
Ανύψωση (μέτρα)	46
Προέκταση προς τα εμπρός (μέτρα)	43
Πλοία που εξυπηρετούνται	16-18 κοντέινερ φάρδους Post-Panamax
Κόστος (εκατομμύρια ευρώ)	10.8(εκτίμηση από [5])
Κύκλοι λειτουργίας	Μονός και διπλός
Κατάσταση ανάπτυξης	Σχεδιαστικό στάδιο

1.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

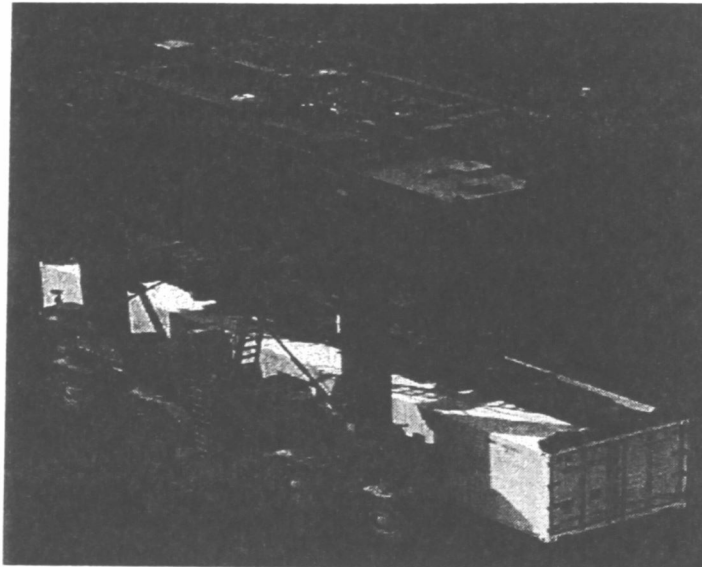
Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζουμε τα διάφορα είδη εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται για την φόρτωση/εκφόρτωση των κοντέινερ μέσα στον τερματικό σταθμό.

Τύπος: Γερανογέφυρα με ελαστικά (Rubber-Tired Gantry-RTG)

Σύντομη περιγραφή: Αυτού του τύπου ο γερανός (Εικόνα 6), αναφέρεται στους μετακινούμενους, μέσα στο τερματικό, γερανούς που χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση κοντέινερ. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για φόρτωση/εκφόρτωση κοντέινερ σε/από βαγόνια σιδηροδρόμου.



Εικόνα 6: Γερανογέφυρα με ελαστικά



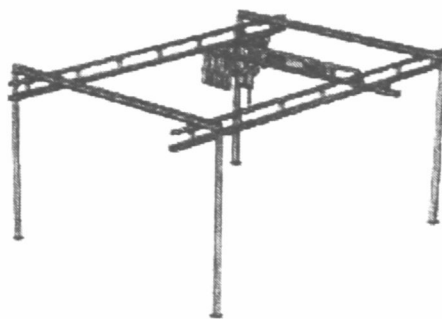
Εικόνα 7: Διασκελισμένος γερανός

Τύπος: Διασκελισμένος γερανός (Straddle Carrier)

Σύντομη περιγραφή: Τέτοιοι γερανοί (Εικόνα 7) χρησιμοποιούνται για να στοιβάζονται κοντέινερ μέσα στο τερματικό. Είναι χειροκίνητοι και τυπικά ικανοί να ανυψώσουν ένα κοντέινερ πάνω από 3 έως 5 άλλα κοντέινερ.

Τύπος: Γερανογέφυρα (Bridge crane)

Σύντομη περιγραφή: Η γερανογέφυρα αποτελείται από μια κατασκευή που μοιάζει με γέφυρα και μια αρπάγη όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 8). Είναι ένας γερανός πάνω σε ένα ζεύγος παράλληλων ανυψωμένων ραγών, με την ικανότητα να μετακινεί ένα φορτίο παράλληλα και κάθετα σε αυτές τις ράγες. Η λειτουργία αυτού του γερανού περιορίζεται στην περιοχή που σχηματίζεται από τις δυο αυτές ράγες.



Εικόνα 8: Γερανογέφυρα με ράγες

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι χρόνοι που απαιτούνται για φόρτωση/εκφόρτωση κοντέηνερ από τους γερανούς μέσα στον τερματικό σταθμό:

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά απόδοσης για τον εξοπλισμό του τερματικού σταθμού [4].

Τύπος	Χρόνος φόρτωσης/εκφόρτωσης			Υποθέσεις
	Καλύτερη περίπτωση	Χειρότερη περίπτωση	Μέσος χρόνος	
Γερανογέφυρα με ελαστικά	30 sec	150 sec	50 sec	Το όχημα είναι ευθυγραμμισμένο κάτω από το γερανό
Διασκελισμένος γερανός	20 sec	60 sec	30 sec	Το όχημα βρίσκεται 12 μέτρα μακριά από το κοντέηνερ
Γερανογέφυρα	35 sec	145 sec	50 sec	Το όχημα βρίσκεται 12 μέτρα μακριά από το κοντέηνερ

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

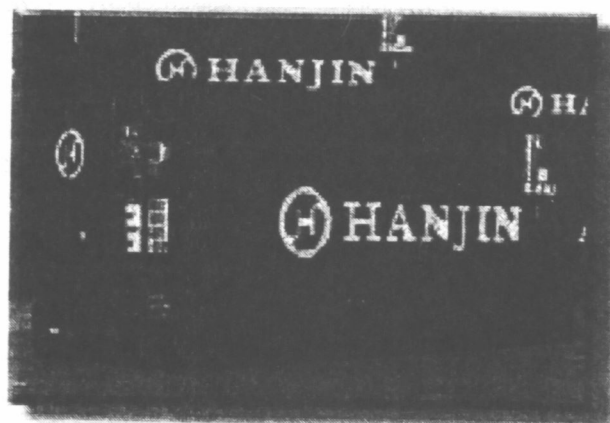
Η χρήση των κοντέηνερ αυξήθηκε σημαντικά μετά το τέλος του πόλεμου της Κορέας το 1960. Σήμερα για το 70% των φορτίων που μεταφέρονται δια θαλάσσης χρησιμοποιούνται κοντέηνερ. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι τα κοντέηνερ έχουν τυποποιημένη φόρμα και απαιτούνται σχετικά λίγα είδη εξοπλισμού για τη διαχείριση τους, ανεξάρτητα με το είδος του φορτίου μέσα στο κοντέηνερ. Με τη χρήση των κοντέηνερ πολλά μικρά δέματα συνδυάζονται σε μια μεγαλύτερη μονάδα απλοποιώντας το χειρισμό της και μειώνοντας το κόστος διαχείρισης της. Επιπρόσθετα, τα φορτία σε κοντέηνερ είναι ασφαλή κατά την αποθήκευση και την μεταφορά και έχουν λιγότερες πιθανότητες να πάθουν ζημιά, σε σχέση με τα φορτία που δεν μετακινούνται με κοντέηνερ. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό όταν το φορτίο περιέχει εκρηκτικό ή εύφλεκτο υλικό ή όταν τα μεταφερόμενα προϊόντα πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία.

Από την άλλη πλευρά, τα κοντέηνερ είναι ακριβά για να αγοραστούν και να συντηρηθούν και επίσης χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από αυτά για να επιτευχθεί ένα αποδοτικό επίπεδο υπηρεσίας. Αν το εμπόριο μεταξύ δυο περιοχών είναι μεταβλητό, ο αριθμός των άδειων, και γι' αυτό μη κερδοφόρων, κοντέηνερ μπορεί να αυξηθεί δραστικά στην περιοχή που μειονεκτεί στην εξαγωγή. Γι' αυτό η χρήση κοντέηνερ είναι ιδανική ανάμεσα σε δυο περιοχές όπου η ροή των προϊόντων είναι αμφίδρομη ίση.

2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ

Οι τύποι των κοντέηνερ κατατάσσονται ως εξής [10].

2.2.1 ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ ΓΕΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ



Εικόνα 9: Κοντέηνερ γενικού φορτίου

Κοντέηνερ γενικού τύπου (general cargo container) είναι κάθε κοντέηνερ που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για αερομεταφορά και που δεν έχει αρχικά κατασκευαστεί για τη μεταφορά φορτίων όπως υγρών, αερίων ή χύμα φορτίων. Τα κοντέηνερ γενικού φορτίου χωρίζονται σε κοντέηνερ γενικού σκοπού (general purpose), ειδικού σκοπού (specific purpose) και ειδικού φορτίου κοντέηνερ (specific cargo container).

Γενικού σκοπού κοντέηνερ

Τα κοντέηνερ γενικού σκοπού είναι ανεπηρέαστα από τις καιρικές συνθήκες με άκαμπτη οροφή, πάτωμα και πλαϊνά τοιχώματα. Αυτά τα κοντέηνερ προορίζονται να είναι κατάλληλα για την μεταφορά ποικίλων φορτίων. Η πλειοψηφία αυτού του είδους των κοντέηνερ έχουν διαστάσεις 20 και 40 πόδια μήκος και 8.6 ύψος. Το 1992 υπήρχαν 3.160.000 20άρια γενικού σκοπού κοντέηνερ, αντιπροσωπεύοντας το 49% του συνολικού αριθμού παγκοσμίως, και 1.650.000 40άρια γενικού σκοπού κοντέηνερ, αντιπροσωπεύοντας το 26%. Ένας άλλος τύπος κοντέηνερ που έχει σημαντικό ποσοστό στον συνολικό αριθμό παγκοσμίως είναι αυτά που έχουν ύψος 9.6 πόδια και λέγονται κοντέηνερ υψηλού κύβου (high cube containers). Αυτού του είδους τα 20άρια και 40άρια κοντέηνερ γενικού σκοπού αντιπροσώπευαν το 7% του συνολικού αριθμού (457.000) το 1992. Τα κοντέηνερ υψηλού κύβου παρέχουν επιπλέον όγκο για ελαφρύ, ογκώδες φορτίο για περισσότερη άνεση και απόδοση. Επίσης υπάρχουν τα 45άρια (μήκος) υψηλού κύβου κοντέηνερ. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα 45άρια είναι υψηλού κύβου. Τα κοντέηνερ γενικού σκοπού κατασκευάζονται από αλουμίνιο ή ατσάλι. Τα κοντέηνερ αλουμινίου έχουν λίγο μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα ατσάλινα, ενώ τα ατσάλινα έχουν μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο από τα αλουμινένια.

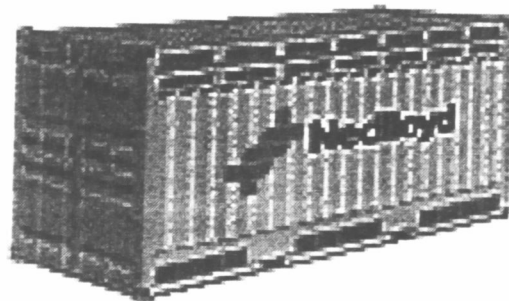
Ειδικού σκοπού κοντέηνερ

Τα κοντέηνερ ειδικού σκοπού έχουν ειδικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Οι διαστάσεις τους είναι συνήθως συμβατές με αυτά του γενικού σκοπού έτσι ώστε να χωράνε στον αποθηκευτικό χώρο ενός συμβατικού πλοίου κοντέηνερ και να διαχειρίζονται από συμβατικό εξοπλισμό φόρτωσης - εκφόρτωσης. Παρακάτω περιγράφουμε διάφορους τύπους ειδικού σκοπού κοντέηνερ.

Κλειστά με αεραγωγούς/αεριζόμενα κοντέηνερ

Τα κλειστά με αεραγωγούς/αεριζόμενα κοντέηνερ (closed vented/ventilated containers – Εικόνα 10) είναι παρόμοια με τα κοντέηνερ γενικού σκοπού, αλλά είναι σχεδιασμένα ώστε να επιτρέπουν την ανταλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού του κοντέηνερ και της εξωτερικής ατμόσφαιρας. Τα κοντέηνερ με αεραγωγούς έχουν παθητικούς αεραγωγούς στο πάνω μέρος του χώρου του φορτίου. Τα αεριζόμενα κοντέηνερ, ωστόσο έχουν σύστημα αερισμού σχεδιασμένο να επιταχύνει και να αυξάνει ομοιόμορφα τον αέρα μέσα στο κοντέηνερ.





Εικόνα 10: Κλειστά με αεραγωγούς/αεριζόμενα κοντέινερ

Κοντέινερ ανοιχτής οροφής

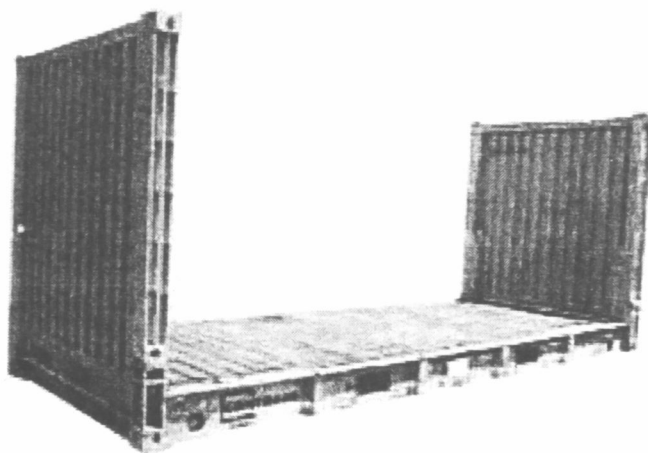
Τα κοντέινερ ανοιχτής οροφής (open top containers – Εικόνα 11) είναι παρόμοια από όλες τις απόψεις με τα γενικού σκοπού κοντέινερ εκτός του ότι δεν έχουν άκαμπτη οροφή. Η οροφή μπορεί να είναι εύκαμπτη και κινούμενη ή αφαιρούμενη και μπορεί, για παράδειγμα, να είναι κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Τα κοντέινερ ανοιχτής οροφής επιτρέπουν την φόρτωση φορτίου από πάνω οπότε και είναι κατάλληλα για χύμα φορτίο όπως είναι τα μηχανήματα.



Εικόνα 11: Κοντέινερ ανοιχτής οροφής

Κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας

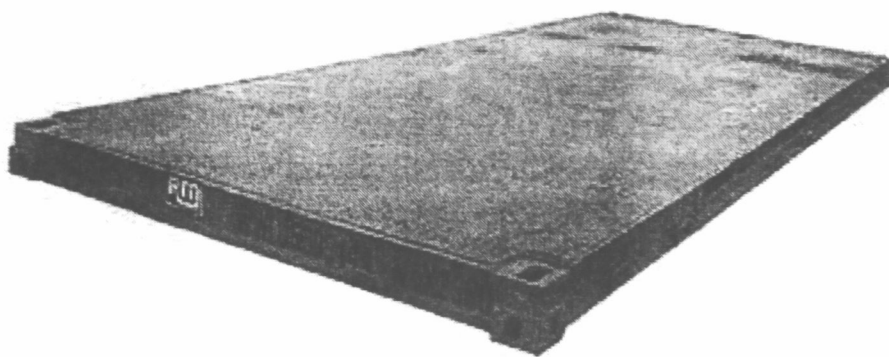
Τα κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας (platform-based containers – Εικόνα 12) δεν έχουν πλευρικά τοιχώματα αλλά έχουν βάση παρόμοια με κανονικού κοντέηνερ. Είναι κατάλληλα για βαριά φορτία ή για φορτία που πρέπει να φορτωθούν από πάνω ή από το πλάι, όπως σωλήνες και μηχανήματα. Υπάρχουν τρεις τύποι κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας: 1. Τα κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας με πλήρη υπερδομή που έχουν μια μόνιμη διαμήκη κατασκευή μεταξύ των άκρων της οροφής. 2. Τα κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας με ατελή υπερδομή που δεν έχουν μια μόνιμη διαμήκη κατασκευή μεταξύ των άκρων της οροφής. 3. Τα κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας με ατελή υπερδομή και σκελετό που διπλώνει.



Εικόνα 12: Κοντέηνερ με Βάση Πλατφόρμας.

Κοντέηνερ πλατφόρμα

Τα κοντέηνερ πλατφόρμες (platform containers - εικόνα) είναι πλατφόρμες που δεν έχουν υπερδομή αλλά έχουν τις ίδιες διαστάσεις βάσης με ένα κοντέηνερ εφοδιασμένο με πάνω και κάτω γωνίες.

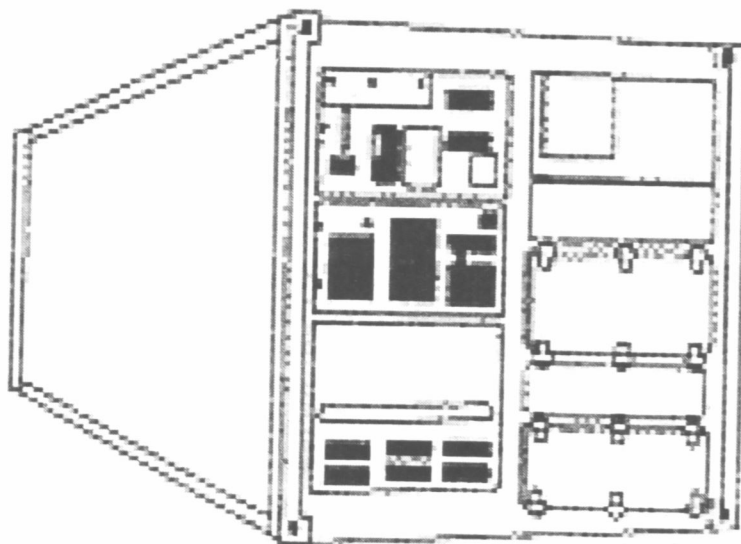


Εικόνα 13: Κοντέηνερ πλατφόρμα.

Κοντέηνερ ειδικού φορτίου

Τα κοντέηνερ ειδικού φορτίου (specific cargo container) είναι τύποι κοντέηνερ οι οποίοι προορίζονται εξ αρχής για μεταφορά συγκεκριμένων κατηγοριών φορτίου. Παρόμοια με τα κοντέηνερ ειδικού σκοπού, οι διαστάσεις τους είναι όμοιες με αυτές των γενικού σκοπού κοντέηνερ. Παρακάτω περιγράφουμε συνοπτικά τα κυριότερα είδη των κοντέηνερ ειδικού τύπου:

- **Θερμικά κοντέηνερ:** Τα θερμικά κοντέηνερ (thermal containers) είναι φτιαγμένα με μονωτικά τοιχώματα, πόρτα, πάτωμα και οροφή ώστε να μειώνεται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του κοντέηνερ και του εξωτερικού περιβάλλοντος.
- **Μονωμένα κοντέηνερ:** Τα μονωμένα κοντέηνερ (insulated containers) έχουν μονωμένους τοίχους, πόρτα, πάτωμα και οροφή αλλά δεν έχουν συσκευές ψύξης ή θέρμανσης.
- **Καταψυχόμενα κοντέηνερ:** Τα καταψυχόμενα κοντέηνερ (refrigerated containers) χρησιμοποιούν πάγο, ξηρό πάγο ή υγροποιημένα αέρια για ψύξη. Αυτά τα κοντέηνερ δεν έχουν εξωτερική πηγή ενέργειας ή πηγή καυσίμου.
- **Μηχανικά καταψυχόμενα κοντέηνερ:** Τα μηχανικά καταψυχόμενα κοντέηνερ (mechanically refrigerated containers – Εικόνα 14) έχουν μια ψυκτική μονάδα όπως ένας μηχανικός συμπιεστής ή μια μονάδα απορρόφησης.
- **Θερμαινόμενα κοντέηνερ:** Τα θερμαινόμενα κοντέηνερ (heated containers) είναι παρόμοια με τα μηχανικά καταψυχόμενα αλλά έχουν μια μονάδα παραγωγής θερμότητας αντί μια ψυκτική μονάδα.
- **Θερμαινόμενα και καταψυχόμενα κοντέηνερ:** Τα θερμαινόμενα και καταψυχόμενα κοντέηνερ (refrigerated and heated containers) έχουν και ψυκτική μονάδα και μονάδα παραγωγής θερμότητας.



Εικόνα 14: Μηχανικά καταψυχόμενα κοντέηνερ.



Εικόνα 15: Κοντέινερ ντεπόζιτο.

2.2.2 ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι κοντέινερ που δεν ανήκουν στην κατηγορία γενικού φορτίου:

- **Κοντέινερ ντεπόζιτα:** Τα κοντέινερ ντεπόζιτα (tank containers – Εικόνα 15) έχουν δυο βασικά στοιχεία, το ή τα ντεπόζιτα και το πλαίσιο. Αυτά τα κοντέινερ χρησιμοποιούνται κατά βάση για την μεταφορά υγροποιημένων φορτίων.
- **Κοντέινερ χύμα φορτίου:** Τα κοντέινερ χύμα φορτίου (dry bulk containers) χρησιμοποιούνται για την μεταφορά στερεών σε χύμα μορφή χωρίς συσκευασία. Αποτελούνται από μια κατασκευή μεταφοράς φορτίου ασφαλισμένη καλά μέσα σε ένα πλαίσιο.
- **Κοντέινερ ονομαστικού φορτίου:** Τα κοντέινερ ονομαστικού φορτίου (named cargo containers) είναι αρκετά είδη κοντέινερ όπως κοντέινερ αυτοκινήτων, κοντέινερ ζώων φάρμας, κ.α.

2.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ ΚΑΙ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ

Η χρήση των τυποποιήσεων των κοντέινερ συνεχίζει να είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη αυτού του είδους των μεταφορών. Ο παγκόσμιος στόλος των κοντέινερ αυξήθηκε 4 φορές κατά την περίοδο 1980 – 1983, με το 90% από αυτά να είναι 20άρια και 40άρια με 8.6 πόδια ύψος.

Παρά το γεγονός ότι η πλειοψηφία των κοντέινερ είναι 20άρια και 40άρια το θέμα της τυποποίησης τους είναι ακόμη ανοιχτό. Αρκετοί παράγοντες, όπως η εξέλιξη γερανών που είναι ικανοί να χειρίζονται μεγαλύτερα και βαρύτερα κοντέινερ σε σχέση με τους παλιότερους γεραμούς καθώς και η

πρόσδος στους σιδηροδρόμους και στην αυτοκινητοβιομηχανία, καθιστούν δυνατό το σχεδιασμό μεγαλύτερων, από τα τυποποιημένα μεγέθη, κοντέηνερ. Τα μεγαλύτερα κοντέηνερ είναι σε πολλές περιπτώσεις προτιμότερα αφού μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερους όγκους και βαρύτερα φορτία, αυξάνοντας το ποσοστό του συνολικού όγκου και βάρους που διαχειρίζεται το ένα κοντέηνερ.

Ανάμεσα στα κοντέηνερ που δεν έχουν μήκος 20' και 40' και ύψος 8.6' πόδια, τα πιο δημοφιλή είναι αυτά που έχουν 9.6' πόδια ύψος. Τα κοντέηνερ αυτού του ύψους κερδίζουν συνεχώς έδαφος και το μερίδιο τους στο συνολικό αριθμό παγκόσμια ήταν το 1992 μεγαλύτερο του 7% ενώ το 1983 ήταν μικρότερο του 3%. Πολλά από τα 9.6' ύψους είναι 45' πόδια μήκους και ένας μεγάλος αριθμός από αυτά είναι κοντέηνερ με βάση πλατφόρμα ή καταψυχόμενα. Άλλες κατηγορίες κοντέηνερ (τα οποία θα ονομάζουμε μη τυποποιημένα για να τα ξεχωρίζουμε από τα 20άρια ή τα 40άρια με ύψος 8.6' και από αυτά με ύψος 9.6') περιλαμβάνουν:

- 48' ποδών κοντέηνερ τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο για εγχώριους σκοπούς.
- 53' ποδών κοντέηνερ. Αυτά τα κοντέηνερ τείνουν να αναπτύσσονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές και κατασκευάζονται κύρια για την εξυπηρέτηση των ιδιαίτερων απαιτήσεων των πελατών.
- Κοντέηνερ διαφόρων μηκών και με πλάτος 8.2' πόδια χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη σε συνδυασμό με προϊόντα στοιβαγμένα σε παλέτες. Υπολογίζεται ότι ένα ισοδύναμο των 200.000 TEU's είναι αυτή τη στιγμή σε χρήση. Ανάμεσα τους, τα κοντέηνερ πλάτους παλέτας (cellular pallet-wide containers) χρησιμοποιούνται στο εμπόριο μικρών αποστάσεων. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των κοντέηνερ είναι ότι μπορούν να μεταφερθούν από ένα συμβατικό πλοίο κοντέηνερ και μπορούν να αποθηκεύσουν παλέτες με πλάτος 3.11' πόδια. Το γεγονός ότι οι εταιρίες leasing προσανατολίστηκαν προς αυτού του είδους κοντέηνερ δείχνει ότι κερδίζουν συνεχώς έδαφος.

Τα μη τυποποιημένα κοντέηνερ χρησιμοποιούνται, σε γενικές γραμμές, σε συγκεκριμένο διεθνές εμπόριο όπου επικρατούν οι μεγάλοι όγκοι και η χαμηλή πυκνότητα φορτίου. Το μερίδιο τέτοιων κοντέηνερ στο συνολικό αριθμό παγκοσμίως είναι αμελητέο και δεν υπάρχει ενιαία χρήση τέτοιων κοντέηνερ. Μόνο το ένα τρίτο των λιμανιών χρησιμοποιούσαν τέτοια κοντέηνερ το 1992 ενώ ο συνολικός αριθμός τους αντιπροσώπευε το 3.8% των κοντέηνερ παγκοσμίως. Επιπλέον, η χρήση των περισσότερων κοντέηνερ αυτού του είδους φθίνει ενώ πολλά λιμάνια εγκατέλειψαν τη χρήση τους. Ωστόσο υπάρχουν παραδείγματα λιμανιών και τερματικών σταθμών που αρχικά αποφάσισαν να μη δέχονται τέτοια κοντέηνερ και στην πορεία αναγκάστηκαν να αλλάξουν την απόφαση τους καθώς και τον εξοπλισμό τους ώστε να μπορούν να διαχειριστούν μη τυποποιημένα κοντέηνερ. Ο λόγος γι' αυτό ήταν ότι δεν ήθελαν να χάσουν μερίδιο της αγοράς, δεδομένου ότι αρκετοί πελάτες χρησιμοποιούσαν μη τυποποιημένα κοντέηνερ.

Αρκετά θέματα σχετικά με τη χρήση μη τυποποιημένων κοντέηνερ συζητούνται παρακάτω:

- Η διαχείριση μη τυποποιημένων κοντέηνερ απαιτεί την αναβάθμιση εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού διαχείρισης φορτίου. Μια περιοχή στον τερματικό σταθμό θα χρειάζεται πιθανά να δεσμευτεί.
- Οι περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες δεν χρησιμοποιούν μη τυποποιημένα κοντέηνερ.
- Αντίθετα με τις εθνικές οδούς, οι σιδηροδρομικές γραμμές δεν ρυθμίζονται από την κυβέρνηση, στην Αμερική και σε άλλες χώρες. Γι' αυτό έχουμε την εμφάνιση κοντέηνερ ψηλότερων ή μακρύτερων από τα κανονικά. Οι σιδηρόδρομοι εισήγαγαν τη χρήση 53' ποδών μήκους κοντέηνερ σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τραίνων με διπλό αποθηκευτικό χώρο. Στις Η.Π.Α. τέτοια τρέινα θεωρούνται κερδοφόρα για αποστάσεις μεταφοράς άνω των 800 χιλιομέτρων. Κάτω από αυτό το όριο το υψηλό κόστος φαίνεται να απαξιώνει τα μακροπρόθεσμα πλεονεκτήματα των μεταφορών με τρέινα.
- Σε πολλές πολιτείες τα 53άρια κοντέηνερ δεν μπορούν να μεταφερθούν νόμιμα οδικώς.
- Το ένα τρίτο των κοντέηνερ που μετακινούνται προς τις Η.Π.Α. μπορεί να ξεπεράσουν το όριο του βάρους προκαλώντας ζημιές κατά την οδική μεταφορά τους και δημιουργώντας προβλήματα ασφαλείας. Το πρόβλημα είναι τόσο σοβαρό που θεσπίστηκε ειδικός νόμος που υποχρεώνει τους ναυλωτές να παρέχουν στους οδηγούς φορτηγών χαρτιά, με γραπτές πληροφορίες για την φύση και το βάρος του φορτίου μέσα στα κοντέηνερ.
- Αναθεώρηση των παρόντων μέτρων για την κατασκευή δρόμων με στόχο την αύξηση του πλάτους των λωρίδων θα απαιτήσει περισσότερη γη και θα οδηγήσει σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Κάτω από αυτό το πρίσμα, η εισαγωγή φαρδύτερων και μακρύτερων κοντέηνερ μπορεί να αποβεί επιζήμια για το περιβάλλον.
- Σύμφωνα με μια έρευνα που έγινε στην ευρωπαϊκή ένωση [11] η εμφάνιση κοντέηνερ νεότερης γενιάς δεν είναι αποδεκτή για την Ευρώπη. Παραδείγματος χάρη όσον αφορά τους ευρωπαϊκούς σιδηρόδρομους, η έρευνα καταλήγει στο ότι η εμφάνιση μεγαλύτερων κοντέηνερ «θα έχει αρνητική συνέπεια στις σιδηροδρομικές μεταφορές, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, εξαιτίας των δυσκολιών και του κόστους που συνδέονται με την ανάπτυξη ειδικών κατασκευών και σταθμών, την επένδυση για την εκπλάτυνση των σιδηροτροχιών και την διαχείριση πολλών διαφορετικών μονάδων μεταφοράς».
- Παρόλο που πολλά λιμάνια τα τελευταία χρόνια έχουν παραγγείλει γερανούς ικανούς να χειριστούν κοντέηνερ μεγαλύτερα από 40' πόδια, η πλειοψηφία των γερανών που βρίσκονται σε λειτουργία δεν είναι ικανή να χειριστεί μεγαλύτερα από το κανονικό κοντέηνερ. Περίπου το ένα τρίτο των γερανών που μπορούν να χειριστούν υπερμεγέθη κοντέηνερ βρίσκονται στη νότια Αμερική. Τα ευρωπαϊκά λιμάνια, παρόλο που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στο εμπόριο κοντέηνερ,

κατέχουν λιγότερο από το ένα πέμπτο των γερανών αυτών. Τα λιμάνια στην νοτιοανατολική Ασία έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο τέτοιων γερανών. Εκεί τα υπερμεγέθη κοντένερ ξεπερνούν τα συμβατικά με αναλογία 1 προς 2. Αυτό δείχνει ότι τα περισσότερα ασιατικά λιμάνια έχουν εξοπλιστεί τα τελευταία χρόνια για να χειρίζονται κυρίως 45άρια κοντένερ που έρχονται από λιμάνια των Η.Π.Α. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια τα ευρωπαϊκά λιμάνια αγόρασαν τέτοιο εξοπλισμό, το μικρό ποσοστό τέτοιων γερανών σε λειτουργία στην Ευρώπη, υποδεικνύει πως οι ευρωπαίοι δεν είναι πεισμένοι ότι χρειάζονται εξοπλισμό για τον χειρισμό κοντένερ άνω των 40' ποδιών, είτε γιατί δεν έχουν αρκετή κίνηση ή δεν έχουν μακριά κοντένερ για να δικαιολογήσουν πρόσθετες επενδύσεις.

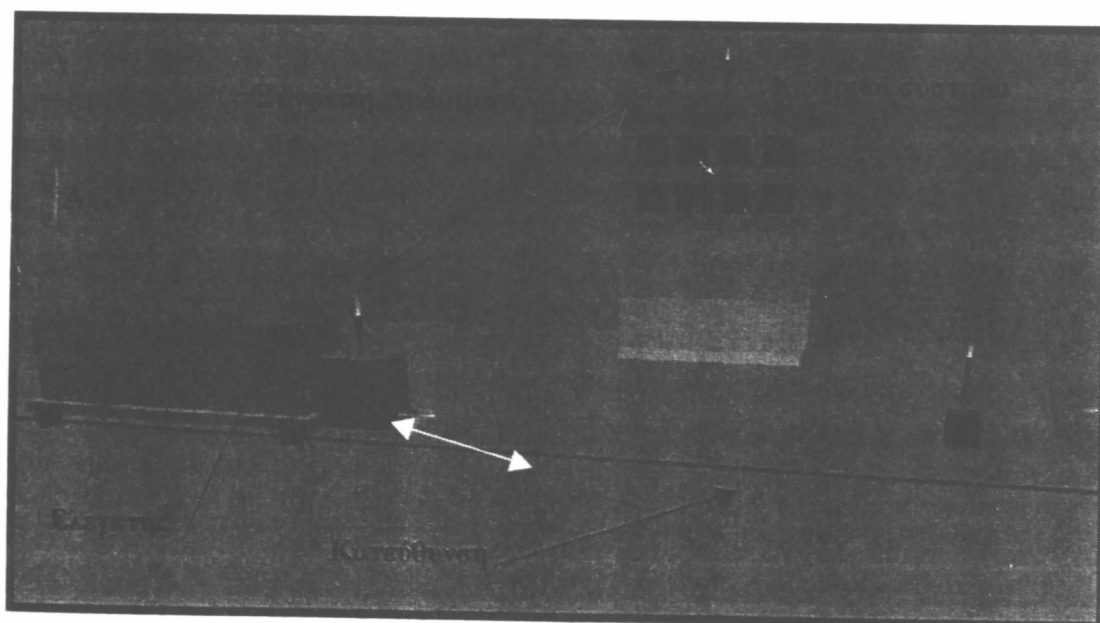
Ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει για τα κοντένερ που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Σε αυτή την περίπτωση ο στόχος δεν είναι να μειωθεί το κόστος των μεταφορών αλλά να αναπτυχθούν τεχνολογίες κοντένερ που να επιτρέπουν το γρήγορο χειρισμό φορτίων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Γι' αυτό υπάρχουν περιπτώσεις όπου σχεδιάζονται μη τυποποιημένα κοντένερ. Για παράδειγμα ας αναφερθούμε στην κατασκευή ενός κοντένερ με βάση πλατφόρμα (που λέγεται Α-πλαισίου κοντένερ εξαιτίας του σκελετού του) που είναι μεγαλύτερο από τα συμβατικά κοντένερ. Αυτό χρησιμοποιείται για την γρήγορη μετακίνηση φορτίων πυρομαχικών από φορτηγά και συρόμενα χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης ενσωματωμένο σε αυτά. Το κοντένερ Α-πλαισίου είχε αρχικά σχεδιαστεί μεγαλύτερο για να προσαρμόζεται σε αυτό ο μηχανισμός φόρτωσης, και λόγω των διαστάσεων του δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα συμβατικό πλοίο κοντένερ.

3. ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΛΙΜΑΝΙΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πιο ενδιαφέρουσες εξελίξεις στον εξοπλισμό χειρισμού φορτίων είναι αυτές που σχετίζονται με τα αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα (AGVs). Τα AGVs την τελευταία δεκαετία παρουσίασαν μια εκρηκτική ανάπτυξη, κυρίως στον τομέα της βιομηχανικής αυτοματοποίησης. Οι προοπτικές στα AGVs προέρχονται από την μεγάλη ελεγχιμότητα, και το βαθμό που μπορούν να εκτελέσουν τις ίδιες εργασίες που τώρα απαιτούν τη χρήση σημαντικού εργατικού δυναμικού. Στην περίπτωση της διαχείρισης κοντέινερ, τα AGVs είναι κατάλληλα για να αλληλεπιδράσουν με μια αυτοματοποιημένη μονάδα αποθήκευσης και ανάκτησης. Προς το παρόν υπάρχουν εφαρμογές των AGVs σε λιμάνια όπως στο Ρότερνταμ, στις Κάτω Χώρες και στην Αγγλία. Προκαταρκτικά βήματα βρίσκονται σε εξέλιξη στα λιμάνια της Σιγκαπούρης και στο Καοσίουνγκ στην Ταϊβάν.

Το σύστημα του AGV (Εικόνα 16) αποτελείται από το όχημα, έναν ελεγκτή πάνω στο όχημα, μια σύνδεση δεδομένων με ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης, και ένα σύστημα πλοήγησης. Τα οχήματα κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια και είναι κατασκευασμένα με ετοιμοπαράδοτα υλικά. Ο ελεγκτής πάνω στο όχημα διαχειρίζεται την ώθηση, το τιμόνι, τα φρένα και άλλες λειτουργίες του οχήματος. Το σύστημα διαχείρισης ασχολείται με την ανάθεση, δρομολόγηση και τον έλεγχο της κυκλοφορίας. Το σύστημα πλοήγησης χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση του οχήματος στον προορισμό του.



Εικόνα 16: Παράδειγμα βασικού συστήματος AGV

3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ AGV

Καθώς το AGV λειτουργεί σε συγκεκριμένο περιβάλλον απαιτεί ένα ελεγκτή ενσωματωμένο στο όχημα και/ή έναν κεντρικό υπολογιστή για να συντονίζει τις κινήσεις του σε σχέση με άλλα μηχανήματα διαχείρισης φορτίου ή άλλα AGVs. Γι αυτό πρέπει να δούμε το σύστημα του AGV σαν εποπτικό σύστημα το οποίο έχει ιεραρχική δομή.

Το χαμηλότερο επίπεδο σε αυτή την ιεραρχία ανήκει στον ενσωματωμένο ελεγκτή του οχήματος, ο οποίος αποτελείται από το σύστημα ελέγχου οδήγησης (π.χ. μηχανή, μετάδοση, φρένα, κ.α.) και το σύστημα πλοήγησης. Το υψηλότερου επιπέδου σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την διαχείριση και την αλληλεπίδραση της θέσης των οχημάτων. Αποτελείται από τον σχεδιασμό, τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των κινήσεων.

3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Τα συστήματα πλοήγησης των AGVs εξελίσσονται από συστήματα καθοδήγησης με καλώδιο σε συστήματα ελεύθερης εμβέλειας. Μέχρι πρόσφατα, τα AGVs ακολουθούσαν ένα καλώδιο οδήγησης (Εικόνα 16) ή μια οπτικά ορατή γραμμή, βαμμένη ή φτιαγμένη από ταινία, στο έδαφος. Σήμερα τα AGVs χρησιμοποιούν νέες μεθόδους όπως σάρωση με λέιζερ, πομπούς μικροκυμάτων, αισθητήρες υπερήχων, εμποδωμένους μαγνήτες, συστήματα με κάμερες, κ.α. Παρακάτω παρουσιάζουμε μερικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τα AGVs για καθοδήγηση και έλεγχο.

1. *Σύστημα Καθοδήγησης με Καλώδιο.* Η πλειοψηφία των αυτοματοποιημένων οχημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι σχεδιασμένα να ακολουθούν ένα καλώδιο που είναι θαμμένο στο έδαφος. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα παράγει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο. Τα διερχόμενα οχήματα ανιχνεύουν το μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιώντας δυο μαγνητικά πηνία που βρίσκονται πλευρικά στο όχημα. Η διαφορά μεταξύ των τάσεων αυτών των πηνίων χρησιμοποιείται για να βγει η εντολή ελέγχου για τον μηχανισμό στροφής του οχήματος. Ανάμεσα στα τεχνικά πλεονεκτήματα είναι ότι η καθοδήγηση με καλώδιο είναι καλά δοκιμασμένη και σχετικά απλή. Ωστόσο, είναι ακριβή η συντήρηση, δύσκολη η εγκατάσταση, χρειάζεται υποδομή και δεν είναι ευέλικτη μέθοδος καθώς απαιτείται η παρουσία καλωδίου για οποιαδήποτε προορισμό χρειαστεί το όχημα να προσεγγίσει.
2. *Μαγνητικά Συστήματα.* Παρόμοια με το σύστημα καθοδήγησης με καλώδιο, η θεμελιώδης αρχή καθοδήγησης είναι να παρέχεις μια διαδρομή στο έδαφος εύκολη για ένα όχημα να την ακολουθήσει. Οι μαγνητικές ράβδοι (συστήματα) είναι αξιόπιστες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις καιρικές συνθήκες αλλά δεν είναι

ευέλικτες, είναι ευαίσθητες σε μαγνητικές παρεμβολές, και μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα στην ασφάλτο.

3. *Πλέγμα Ελεύθερης Εμβέλειας*. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί ένα πλέγμα σημειωμένο στο δάπεδο με πομπούς στους κόμβους για να μεταδίδουν σήματα που περιέχουν μια μοναδική «ταυτότητα» και πληροφορίες θέσης. Κάθε φορά που ένα όχημα συναντά μια γραμμή του πλέγματος, συγκρίνει αυτήν την πληροφορία με την υπολογισμένη θέση του, και κάνει αυτόματα την διόρθωση. Αυτό το σύστημα πλοήγησης, εφαρμοσμένο στο Ρότερνταμ, είναι ευέλικτο και έχει ακρίβεια μέχρι $\pm 3\text{ cm}$. Είναι δύσκολο να εγκατασταθεί και οι πομποί είναι δυνατό να μετακινηθούν με την κακοκαιρία.
4. *Καθοδήγηση με Λείζερ*. Το όχημα χρησιμοποιεί ακτίνες λείζερ και ανακλαστήρες για να υπολογίσει την απόσταση του από καθορισμένα σημεία χρησιμοποιώντας τριγωνισμό. Ένα ελάχιστο τριών στόχων πρέπει να ανιχνεύεται κάθε στιγμή κατά την διάρκεια της κίνησης. Κανονικά πρέπει να υπάρχουν πάντα πέντε ορατοί στόχοι. Το όχημα μπορεί τότε να χρησιμοποιήσει τον ενσωματωμένο χάρτη για να προσδιορίσει και να διορθώσει τη θέση του. Αυτό το σύστημα είναι ευέλικτο, ακριβές, και απαιτεί μικρό κόστος υποδομής. Ωστόσο, επηρεάζεται από τον καιρό, χρειάζεται μεγάλο αριθμό ανακλαστήρων, και μεγάλο χρόνο αρχικού στησίματος.
5. *Ραντάρ Κυμάτων - Millimeter Wave Radar (MMWR)*. Ένα περιστρεφόμενο MMWR ανιχνεύει την παρουσία ραδιοφάρων καθοδήγησης σε γνωστές θέσεις για να προσδιορίσει τη θέση του οχήματος. Οι παρατηρήσεις των ραδιοφάρων κατεύθυνσης επεξεργάζονται για συνεχή ενημέρωση της θέσης του οχήματος. Το MMWR είναι ακρίβειας μέχρι $\pm 10\text{ cm}$, αλλά είναι ακριβό χρειάζεται μεγάλο χρόνο αρχικού στησίματος και μεγάλο αριθμό ανακλαστήρων.
6. *Διαφορικό GPS*. Το σύστημα διαφορικού GPS (DGPS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλοήγηση μέσα στον τερματικό σταθμό παρόλα μερικά κρίσιμα ζητήματα που έχουν να κάνουν με την δορυφορική κάλυψη και την αξιοπιστία του σήματος για εμπορικές εργασίες AGV στα λιμάνια. Ένα τέτοιο σύστημα είναι ακριβείας μέχρι $\pm 5\text{ cm}$, έχει σχετικά μικρό κόστος εγκατάστασης και απαιτεί μερικές μετατροπές στον τερματικό σταθμό.
7. *Υπολογισμός Θέσης από Αναμέτρηση*. Ο υπολογισμός θέσης από αναμέτρηση είναι μια μέθοδος ελεύθερης διαδρομής που καθοδηγεί υπολογίζοντας σχετικές θέσεις. Σε αυτή τη μέθοδο ανιχνευτές κίνησης πάνω στο όχημα ανιχνεύουν με ακρίβεια την κατεύθυνση του οχήματος και την ταχύτητα του. Δεδομένου μιας γνωστής αρχικής θέσης, η ολοκλήρωση των πληροφοριών ταχύτητας με τον χρόνο επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης του οχήματος. Επειδή τα λάθη συσσωρεύονται όσο αυξάνει η απόσταση που ταξιδεύει το όχημα, αυτά τα συστήματα γίνονται ανακριβή και αναξιόπιστα εκτός και αν η θέση του οχήματος διορθώνεται περιοδικά με άλλα μέσα. Αυτή η μέθοδος είναι απλή, ευέλικτη, χαμηλού κόστους και εύκολη να υλοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο.

8. *Μηχανική Όραση.* Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί επεξεργασία εικόνας για να παρέχει καθοδήγηση. Τα συστήματα μηχανικής όρασης χρειάζονται μικρή ή καθόλου υποδομή. Έχει βρεθεί ότι παρέχουν εξαιρετικές πληροφορίες θέσης για καθοδήγηση οχήματος και μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να εκτελούν πολλές διαφορετικές εργασίες (από διατήρηση του ρεύματος μέχρι αποφυγή συγκρούσεων και αναγνώριση οδικών σήματα, κ.α.). μερικά μειονεκτήματα είναι: το σημερινό υψηλό κόστος, η πολυπλοκότητα και έμφυτοι περιορισμοί του βασικού αισθητήρα (κάμερα), που μπορεί να παρέχει πληροφορίες μόνο για ότι είναι ορατό άμεσα.
9. *Μαγνητικά καρφιά.* Μικροί μαγνήτες με τη μορφή στερεού κυλίνδρου διαμέτρου ενός νομίσματος και μήκους περίπου 10 εκατοστών τοποθετούνται σε τρύπες στη μέση ενός δρόμου με απόσταση μεταξύ τους ενός μέτρου ή και λιγότερο. Μαγνητόμετρα, που τοποθετούνται στο κάτω μέρος του οχήματος αισθάνονται το μαγνητικό πεδίο και παρέχουν μια εκτίμηση της απόκλισης από τη μέση του δρόμου, ώστε να διορθωθεί η πορεία. Πληροφορίες όπως η γεωμετρία του δρόμου, θέσεις κρίσιμων κλίσεων, αλλαγή λωρίδας μπορούν να κωδικοποιηθούν αλλάζοντας την πολικότητα των μαγνητών. Οι PATH και Caltrans που τοποθέτησαν μαγνητικά καρφιά σε ένα κομμάτι της εθνικής οδού I-15 για να επιδείξουν την αυτοματοποιημένη οδήγηση οχημάτων χρησιμοποίησαν 10 οχήματα με ταχύτητες μεγαλύτερες από 100 χιλιόμετρα/ώρα τον Αύγουστο του 1997. Η χρήση των μαγνητικών καρφιών για την καθοδήγηση των AGVs αναμένεται να είναι ευκολότερη λόγω των μικρών ταχυτήτων.

3.2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο σχεδιασμός έχει να κάνει με την επιλογή ενός οχήματος και τον προσδιορισμό της πορείας του. Ο σχεδιασμός αναφέρεται συχνά σαν δρομολόγηση και ανάθεση όσον αφορά τα AGVs. Ανάθεση είναι η διαδικασία της επιλογής και ανάθεσης εργασίας στα οχήματα. Δυο περιπτώσεις είναι δυνατές όταν υπάρχει ζήτηση για ανάθεση μιας εργασίας σε ένα όχημα: εργασία με βάση σταθμούς εργασίας και εργασία με βάση τα οχήματα. Στην εργασία με βάση τα οχήματα, ένα όχημα επιλέγεται από μια ομάδα ανταγωνιστικών αδρανών οχημάτων. Διαφορετικοί κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν για να δοθούν προτεραιότητες στα οχήματα. Τέτοιοι κανόνες είναι ο κανόνας του τυχαίου οχήματος, του κοντινότερου οχήματος ή του λιγότερου χρησιμοποιούμενου οχήματος. Στην εργασία με βάση τους σταθμούς εργασίας, ένας σταθμός εργασίας θα ανατεθεί σε ένα όχημα από μια ομάδα ανταγωνιστικών σταθμών. Υπάρχουν αρκετοί κανόνες για την ανάθεση σταθμού σε ένα όχημα. Τέτοιοι είναι ο κανόνας τυχαίου σταθμού εργασίας, μικρότερου χρόνου ταξιδιού/απόσταση, μέγιστης εξερχόμενης σειράς και ο τροποποιημένος κανόνας first come first served. Η δρομολόγηση είναι η επιλογή συγκεκριμένων διαδρομών για τα οχήματα ώστε να φτάσουν στους προορισμούς τους. Ένα σύστημα με AGVs μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν γράφημα που αποτελείται από κόμβους που συνδέονται από μια ομάδα τόξων. Δεδομένου της θέσης ενός

AGV και του προορισμού του, ο διαχειριστής των διαδρομών μπορεί να βρει την ακολουθία των κόμβων που περιγράφουν τη διαδρομή του οχήματος. Εναλλακτικές διαδρομές μπορούν να υπολογιστούν με βάση το συνολικό άθροισμα των τόξων για τη μετάβαση από τους κόμβους της ακολουθίας.

3.2.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ο προγραμματισμός περιλαμβάνει τον συνδυασμό όλων των διαδρομών των οχημάτων σε μια συνολική ακολουθία με επιμέρους τμήματα τις προτεραιότητες των οχημάτων. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός είναι υπεύθυνος να αναλύει τις διαδρομές των οχημάτων σε μικρότερα τμήματα ενώ ο προγραμματισμός είναι υπεύθυνος να ορίζει την ακολουθία της πρόσβασης των οχημάτων σε κάθε τμήμα. Η λειτουργία του προγραμματισμού είναι επίσης υπεύθυνη για να αποτρέπει συγκρούσεις ή αποκλεισμούς των AGVs και να δημιουργεί/ενημερώνει τους αναμενόμενους χρόνους εκκίνησης και άφιξης για τις επιλεγμένες διαδρομές.

3.2.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ

Η εκτέλεση παρέχει την διασύνδεση του φυσικού συστήματος (σύστημα ελέγχου οδήγησης και πλοήγηση) με το σύστημα ελέγχου υψηλότερου επιπέδου. Για το λόγο αυτό είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση των ελεγκτών των οχημάτων, των διαδικασιών εκκίνησης και κλεισίματος του συστήματος, την έκδοση εντολών για ανατεθείσες εργασίες και για την παρακολούθηση για την ανίχνευση λαθών και διόρθωσής τους.

3.3 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Τα AGVs πραγματοποιούν μια αρχική εισβολή για εφαρμογές σε λιμάνια σε πολλά μέρη του κόσμου. Βρέθηκε ότι έγιναν σημαντικές προσπάθειες από αμερικάνικες εταιρίες στο να προωθήσουν τα AGVs για εφαρμογές σε λιμάνια, αλλά χωρίς αποτέλεσμα. Παραπέρα, αυτές οι εταιρίες είχαν μικρή ή καθόλου επιτυχία στην προώθηση των προϊόντων τους σε ξένες χώρες, κυρίως για πολιτικούς λόγους. Η πιο γνωστή αμερικάνικη εταιρία σε αυτό τον τομέα, η Mentor AGV, κατασκεύασε δοκίμασε και προσπάθησε δυναμικά να μπει στην αγορά των AGV για εφαρμογές λιμανιών στις αρχές αυτής της δεκαετίας, αλλά μείωσε τις προσπάθειες τις για να κυνηγήσει πιο αποτελεσματικά αυτή την αναπτυσσόμενη αγορά. Σημερινά δείγματα της τεχνολογίας των AGVs είναι συστήματα σε λιμάνια του Ρότερνταμ, της Αγγλίας της Σιγκαπούρης, του Καθασάκι και του Καοσίουνγκ.

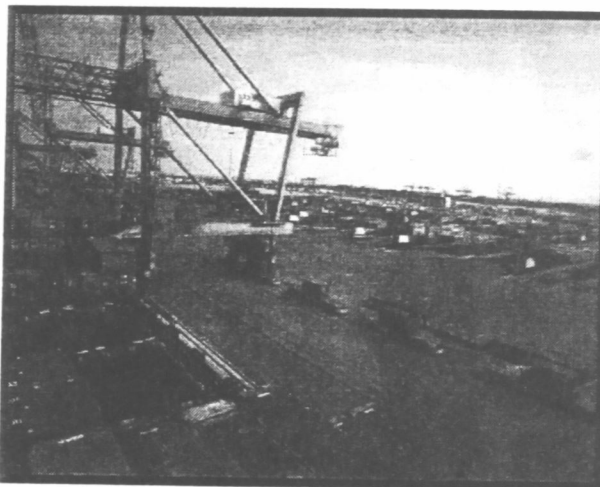
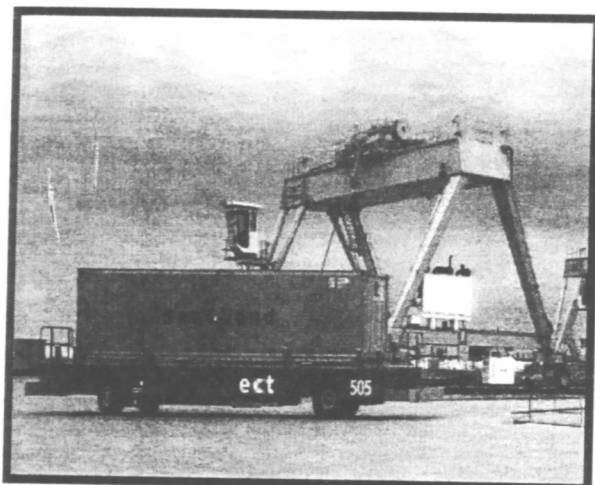
3.3.1 ΡΟΤΕΡΝΤΑΜ

Το τερματικό Deltaport στο Ρότερνταμ χρησιμοποιεί AGVs (Εικόνα) στη μεταφορά κοντέινερ από τον αποθηκευτικό χώρο (που εξυπηρετείται από γερανούς οροφής σε ράγες) στους γερανούς του πλοίου. Το συνολικό

μέγεθος του στόλου είναι 105 οχήματα. Ηλεκτρονικές συσκευές προσδιορισμού θέσης ευθυγραμμίζουν τους γερανούς οροφής με τα οχήματα για την γρήγορη φόρτωση του πλοίου. Ένας ενσωματωμένος υπολογιστής σε κάθε AGV επικοινωνεί με το κέντρο έλεγχου για να γίνει

Εικόνα 17: Ο τερματικός σταθμός Deltaport στο Ρότερνταμ

δυνατή η πλοήγηση προς κάθε σημείο μέσα στον τερματικό σταθμό.

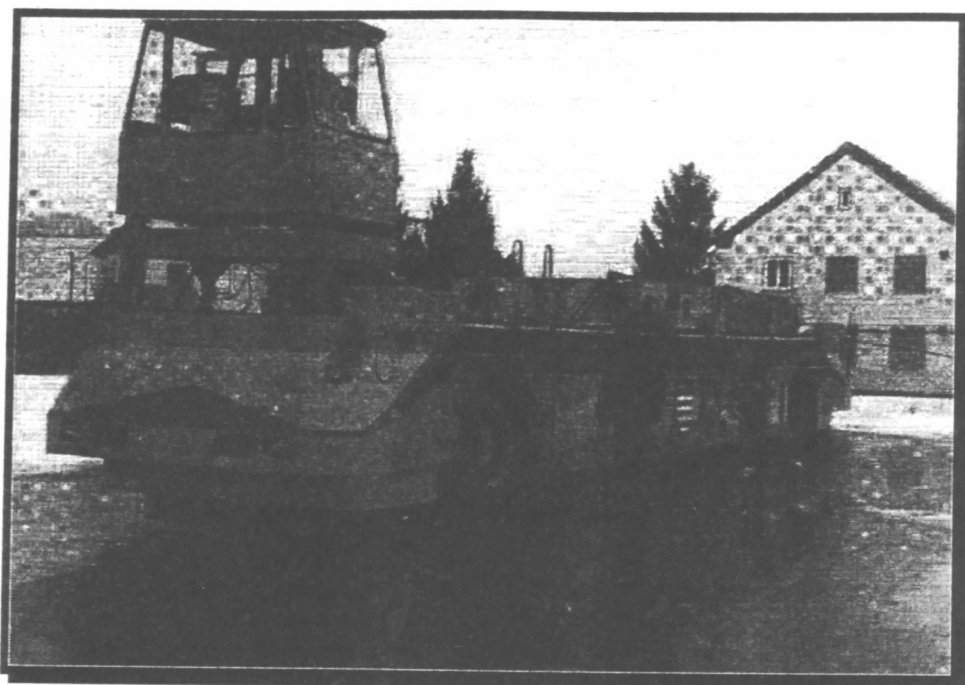


3.3.2 THAMESPORT

Το Thamesport είναι ένας τερματικός σταθμός κοντέινερ στη βορειοανατολική Αγγλία, και είναι πιθανά το πρώτο παγκόσμια πλήρως αυτοματοποιημένο λιμάνι. Κατασκευασμένο το 1992, το Thamesport χρησιμοποιεί πλήρως αυτοματοποιημένο εξοπλισμό αποθήκευσης (γερανούς οροφής), και δοκιμάζει πρωτότυπα AGVs, κατασκευασμένα από την Terberg Benschop (Κάτω Χώρες) τα τελευταία 4 χρόνια.

3.3.3 ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗΣ

Η αρχή του λιμανιού της Σιγκαπούρης έκανε ένα συμβόλαιο για 5 πρωτότυπα AGVs στο Kamag και στο Mitsui στα τέλη του 1994. Σε συζητήσεις με αντιπροσώπους της Mentor AGVs, της μόνης αμερικανικής εταιρίας που ενεργά επιδιώκει αυτή την αγορά, βρέθηκε ότι ενδιαφερόντουσαν τελικά για παραγγελίες περίπου 1.000 με 2.000 AGVs. Στην εικόνα 18 φαίνονται τα AGVs, τα οποία είναι σχεδιασμένα να επιταχύνουν από 0 ως 5 μέτρα το δευτερόλεπτο σε λιγότερο από 10 δεύτερα, με μέγιστη ταχύτητα 7 μέτρα το δευτερόλεπτο. Επίσης, μπορούν να μεταφέρουν ή 20- ή 40-feet κοντέινερ.



Εικόνα 18: Πρωτότυπο AGV λιμανιού Σιγκαπούρης

3.3.4 ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΚΑΒΑΣΑΚΙ

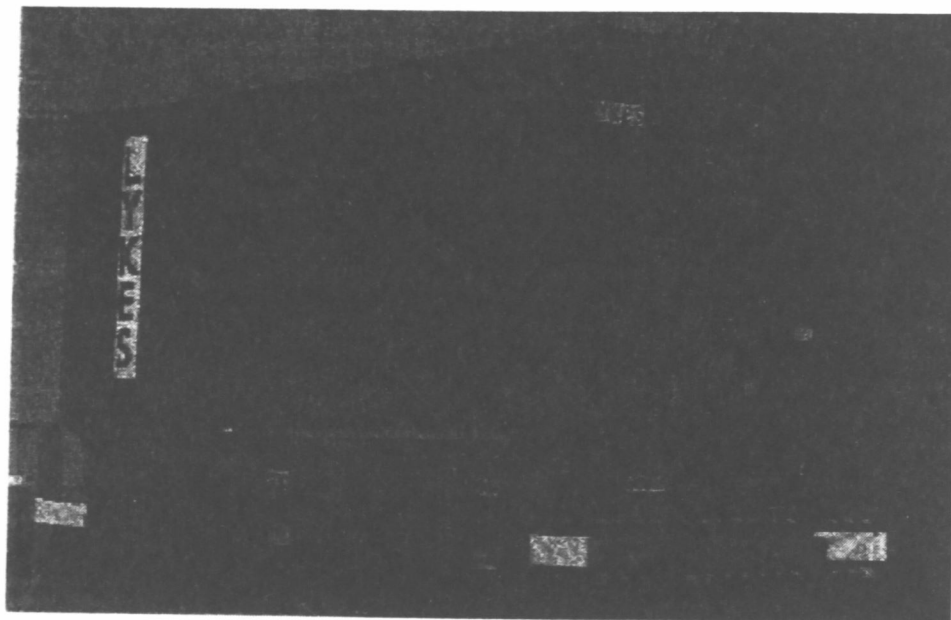
Το λιμάνι του Καβασάκι αγόρασε ένα δοκιμαστικό AGV από την Mitsui (γιαπωνέζικη εταιρία) και ένα δοκιμαστικό από μια γερμανική εταιρία, την Schueulre.

3.3.5 ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΚΑΟΣΙΟΥΝΓΚ

Το λιμάνι του Καοσίουνγκ έχει δεσμευτεί να αυτοματοποιήσει τους τερματικούς του σταθμούς ώστε να μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις των αναμενόμενων μελλοντικών αυξήσεων. Στην τελική αναφορά από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης του Διεθνούς Λιμανιού του Καοσίουνγκ, προτείνεται ότι το νούμερο 5 τερματικό πρέπει να αυτοματοποιηθεί πλήρως για να διαχειρίζεται τα κοντέινερ. Είναι επίσης γνωστό ότι το λιμάνι του Καοσίουνγκ εξετάζει πολλές τεχνολογίες αυτοματοποίησης, αν και περισσότερες λεπτομέρειες είναι σπάνιες.

3.3.6 ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΒΙΡΤΖΙΝΙΑ ΚΑΙ MENTOR AGVs

Η Mentor AGVs, η οποία συνεργάστηκε με την Raytheon, προσπαθεί να εξασφαλίσει την χρηματοδότηση για την ανάπτυξη ενός πρωτότυπου συστήματος AGV στο λιμάνι της ενδοχώρας της Βιρτζίνια (**Virginia Inland Port**). Η χρηματοδότηση θα προερχόταν από το υπουργείο αμύνης των Η.Π.Α., παρόλο που η διεθνής εταιρική συνεργασία είναι ανοιχτή και σε εναλλακτικές χρηματοδοτικές προτάσεις. Η Mentor έχει ήδη αναπτύξει ένα λειτουργικό πρωτότυπο (Εικόνα 19), και ισχυρίζεται ότι έχει χτίσει το μεγαλύτερο AGV στον κόσμο για λογαριασμό της Boeing Co.



Εικόνα 19: Πρωτότυπο AGV της Mentor

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα διάφορα AGVs που υπάρχουν για εφαρμογές λιμανιών, η απόδοση και το κόστος τους.

Πίνακας 5: Κατασκευαστές AGV και χαρακτηριστικά προϊόντων

Τύπος Οχήματος		Είδος Καθοδήγησης	Σύστημα Επικοινωνίας	Χωρητικότητα Φορτίου (Kg)	Ταχύτητα (km/h)	Τύπος Μπαταρίας	Βάρος (kg)	Σύστημα Οδήγησης	Εύρος Τιμών (\$)
MENTOR AGVs INC.	Tractor, Unit-Load Carrier, Fork Lift	Καλώδιο Καθοδήγησης, Αναμέτρηση, Τριγωνισμός Λείζερ	Καλώδιο Καθοδήγησης, Υπέρθρες, DGPS	135000	Επιλογή Πελάτη	Επιλογή Πελάτη		Ηλεκτρικό Υδροστατικό	Μεταβλητό
	Unit-Load Carrier	Καλώδιο Καθοδήγησης, Άλλο	Καλώδιο Καθοδήγησης, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	13500	0-8,28	Οξέος Μολύβδου	3600	Hub-Mounted Drive, (F & R)	175K
RAPISTAN DEMAG DC-300 Unit Load AGV	Tractor	Καλώδιο Καθοδήγησης, Άλλο	Καλώδιο Καθοδήγησης, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων		0-9,5	Οξέος Μολύβδου	900	Πισωκίνητο	65K
	Tractor, Unit-Load Carrier, Fork Lift	Καλώδιο Καθοδήγησης, Εσωτερική Καθοδήγηση	Καλώδιο Καθοδήγησης, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	11250-112500	0-8,28	Οξέος Μολύβδου, Κυψέλη Τζελ		Τετρακίνητο	100K-400K
Frog Navigation Systems	Tractor, Unit-Load Carrier, Light-load Carrier, Fork Lift	Καλώδιο Καθοδήγησης, Τριγωνισμός Λείζερ, Εσωτερική Καθοδήγηση	Υπέρθρες, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	45000+	0-9,5	Νικελίου-Καδμίου, pH Acid			
	Tractor, Unit-Load Carrier, Light-load Carrier	Καλώδιο Καθοδήγησης, Τριγωνισμός Λείζερ, Εσωτερική Καθοδήγηση	Καλώδιο Καθοδήγησης, Υπέρθρες, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	22500	0-9,5	Οξέος Μολύβδου, Νικελίου-Καδμίου		Τρίκυκλο, Διαφορικό	40K - 100K
AGV PRODUCTS INC. Automated Guided Vehicle	Tractor, Unit-Load Carrier, Light-load Carrier	Καλώδιο Καθοδήγησης, Τριγωνισμός Λείζερ, Εσωτερική Καθοδήγηση	Καλώδιο Καθοδήγησης, Υπέρθρες, Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	29250-45000	0-8,28	Οξέος Μολύβδου, Νικελίου-Καδμίου	13950	Τετρακίνητο	250K-350K
	Unit-Load Carrier, Fork Lift	Καλώδιο Καθοδήγησης, Εσωτερική Καθοδήγηση	Μετάδοση Ραδιοκυμάτων	112500	0-8,28	Οξέος Μολύβδου		Τετρακίνητο	400K-600K
CONTROL ENGINEERING CORP. Heavy Load Handling Vehicle,	Unit-Load Carrier	Καλώδιο Καθοδήγησης, Εσωτερική Καθοδήγηση	Μετάδοση Ραδιοκυμάτων						
	Unit-Load Carrier	Καλώδιο Καθοδήγησης, Εσωτερική Καθοδήγηση	Μετάδοση Ραδιοκυμάτων						

Ο πίνακας 5 δείχνει ότι το κόστος για την αγορά ενός AGV κυμαίνεται από 100,000 μέχρι 600,000 ευρώ ανά μονάδα. Το αρχικό κεφάλαιο για ένα σύστημα AGV είναι υψηλό, όπως και τα διάφορα κόστη συντήρησης, τα οποία περιλαμβάνουν το κόστος κίνησης καθώς και άλλα κόστη μηχανικής συντήρησης. Ωστόσο, εξαιτίας επειδή το κόστος εργατικού δυναμικού είναι αμελητέο, αυτά τα κόστη μετριάζονται από τον μεγάλο κύκλο ζωής του συστήματος. Παραπέρα, η ακρίβεια της φόρτωσης, της μετακίνησης και της εκφόρτωσης βελτιώνουν την αποδοτικότητα. Μειώνεται το κόστος της κακής διαχείρισης της απώλειας και της καθυστέρησης. Η ωφέλεια είναι σημαντική. Επίσης, έχει αξία και η ευελιξία που προσφέρει ένα σύστημα που δεν χρειάζεται εργατικό δυναμικό σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.

3.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Τα AGV επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τις παρεμβάσεις του περιβάλλοντος. Τα οχήματα χωρίς οδηγό μπορούν να δουλεύουν σε οποιοδήποτε καιρό ή άλλες δύσκολες συνθήκες, 24 ώρες τη μέρα. Επίσης τα AGVs μπορούν να μεταφέρουν φορτία με μεγάλη ακρίβεια και απόδοση και μπορούν να διεκπεραιώσουν εργασίες που θεωρούνται επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Τέλος η ασφάλεια είναι ευκολότερο να διατηρηθεί σε έναν αυτοματοποιημένο τερματικό σταθμό.

Τα AGVs προσφέρουν μια ασφαλή, αξιόπιστη εναλλακτική για τους ανθρώπους χειριστές σε περιβάλλοντα όπου οι απαιτήσεις μεταφοράς υλικού είναι καλά ορισμένες και σταθερές. Οι διαδρομές, ωστόσο, είναι δύσκολο και ακριβό να αλλάξουν, ειδικά στις περιπτώσεις συστημάτων καθοδήγησης με καλώδιο. Σε δυναμικά περιβάλλοντα, τα οχήματα με αμετάβλητες διαδρομές μπορεί να μην είναι και τόσο πρακτικά. Για το λόγο αυτό, μια νέα γενιά οχημάτων διαχείρισης φορτίων αναπτύσσεται, η οποία είναι πιο αυτόνομη από τα AGV του παρελθόντος. Αυτές οι μηχανές δεν απαιτούν μια διαδρομή καθοδήγησης μόνιμα εγκατεστημένη, αλλά βρίσκουν τη σωστή διαδρομή με μέσα όπως οι εσωτερικοί χάρτες και περιοδική ανίχνευση σημαδιών στο χώρο, η θέση των οποίων είναι γνωστή. Είναι αναμενόμενο ότι με την πάροδο του χρόνου, πολύπλοκα και «έξυπνα» συστήματα ελέγχου θα ενσωματωθούν στα AGV και θα επιτρέπουν περισσότερο αυτόνομες εργασίες και καλύτερη απόδοση.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ.

4.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ AGVs.

Σε αυτή τη διπλωματική προτείνεται το μοντέλο ενός τερματικού σταθμού κοντένερ που χρησιμοποιεί εξελιγμένους γερανούς και AGV's για την αυτοματοποιημένη φόρτωση και εκφόρτωση κοντένερ. Το σχέδιο του αυτοματοποιημένου τερματικού που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση φαίνεται στην εικόνα 20. Οι διαστάσεις του είναι 170 μέτρα πλάτος και 570 μέτρα μήκος.

Το τερματικό αποτελείται από 4 κύρια τμήματα. Κάθε τμήμα έχει 4 αποθηκευτικές στοίβες και κάθε στοίβα έχει 10 στήλες και 5 γραμμές. Υποθέτουμε ότι κάθε κελί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενός κοντένερ διαστάσεων 40' x 8.6' (κεφάλαιο 2) ή δυο κοντένερ διαστάσεων 20' x 8.6'. Οπότε, η χωρητικότητα του τερματικού είναι 1600 TEUs (Twenty foot Equivalent Unit).

Κάθε στοίβα χωρίζεται από την άλλη με ένα δρόμο στον οποίο θα αναφερόμαστε σαν *δρόμο εργασίας*. Ένας διπλός δρόμος χωρίζει τα κύρια τμήματα μεταξύ τους και θα αναφερόμαστε σε αυτόν σαν *δρόμο διέλευσης*. Επίσης δρόμοι διέλευσης είναι και οι δρόμοι δεξιά και αριστερά του τερματικού καθώς και οι δρόμοι προσκείμενοι στην πύλη και στους γερανούς του πλοίου.

- Για να εμποδίσουμε την κυκλοφοριακή συμφόρηση και το μπλοκάρισμα υποθέτουμε ότι οι δρόμοι εργασίας χρησιμοποιούνται μόνο για δραστηριότητες αποθήκευσης και ανάκτησης κοντένερ, ενώ οι δρόμοι διέλευσης χρησιμοποιούνται για να προσεγγιστεί ένας δρόμος εργασίας, η πύλη και οι γερανοί του πλοίου.
- Υποθέτουμε ότι οι δρόμοι εργασίας είναι μονόδρομοι και έχουν κατεύθυνση προς τα δεξιά όταν βρισκόμαστε δεξιά από τον μεσαίο δρόμο διέλευσης και αριστερά στην αντίθετη περίπτωση. Αυτή η σύμβαση γίνεται για δυο λόγους.
 - i. Ο πρώτος λόγος είναι ότι με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε από πριν την διαδρομή που θα ακολουθήσει το όχημα για να προσεγγίσει ένα συγκεκριμένο κοντένερ. Αυτή η διαδρομή είναι συνεχής και το όχημα δεν χρειάζεται να κάνει επιτόπου στροφή μέχρι το τέλος της κίνησης. Αυτό το είδος της κίνησης είναι απαραίτητο για να προσομοιώσουμε εργασίες που γίνονται από AGVs που καθοδηγούνται με καλώδιο, μαγνητικά συστήματα ή μαγνητικά καρφιά. Τα παραπάνω AGVs λόγω της αρχής λειτουργίας τους δεν έχουν την ευελιξία να αλλάξουν φορά κίνησης μέσα στον τερματικό σταθμό. Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο τερματικό σταθμό για να

προσομοιώσουμε και εργασίες που πραγματοποιούνται στα συστήματα LMCS (κεφάλαιο 6).

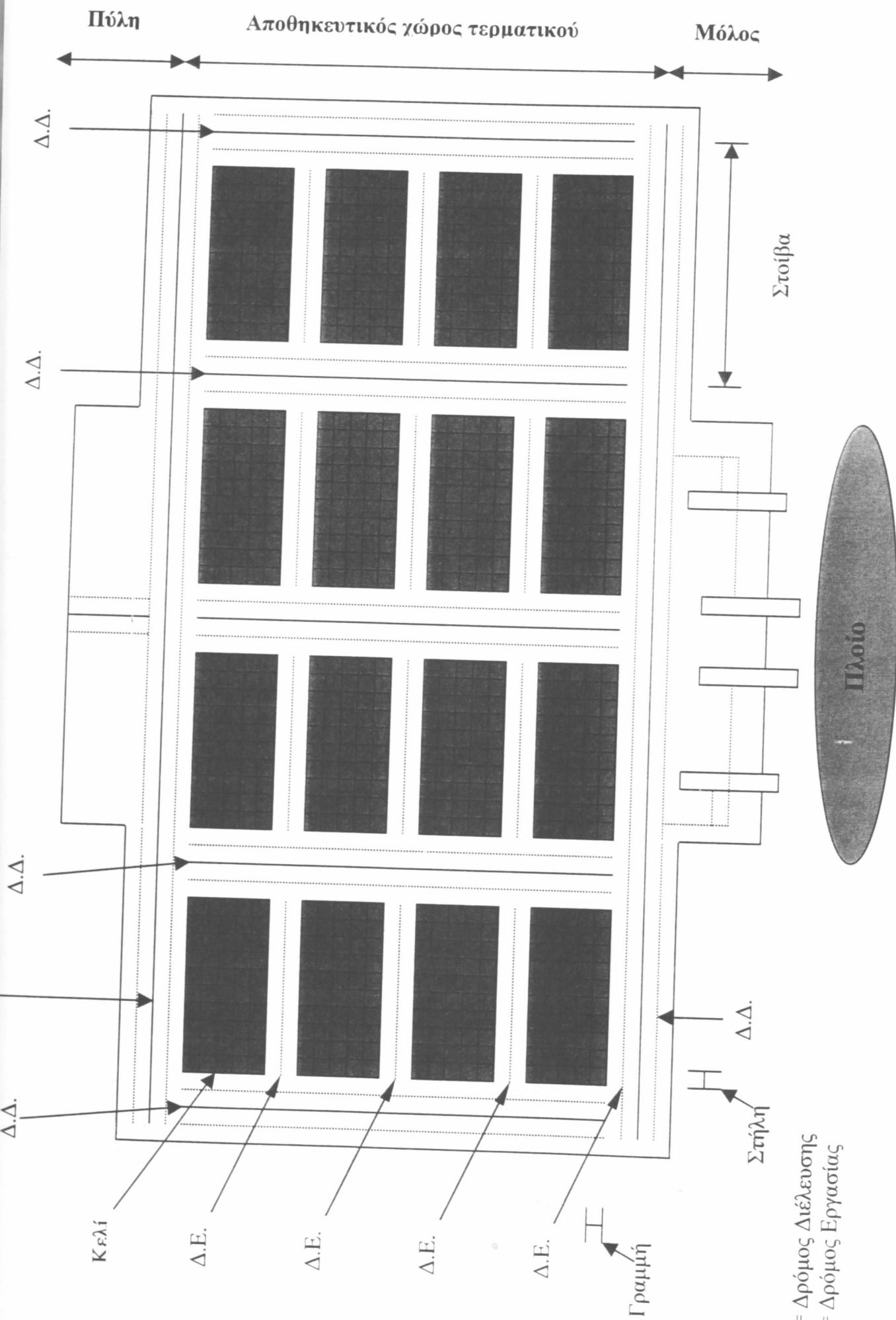
ii. Ο δεύτερος λόγος είναι η ασφάλεια μέσα στον τερματικό σταθμό, που είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας. Εάν συμβεί μια βλάβη σε ένα δρόμο εργασίας, είναι δυνατόν να σταματήσουν όλες οι δραστηριότητες σε αυτόν τον δρόμο, και να προσεγγιστεί το όχημα από επισκευαστικό συνεργείο χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος από άλλα κινούμενα οχήματα.

- Όσον αφορά τους κατακόρυφους δρόμους διέλευσης, πρέπει να πούμε ότι είναι διπλής κατεύθυνσης και τα AGV κινούνται στο δεξί ρεύμα όταν ανεβαίνουν και στο αριστερό όταν κατεβαίνουν.
- Υποθέτουμε ότι κάθε στοίβα εξυπηρετείται από μόνο ένα γερανό, και αυτός ο γερανός μεταφέρει κοντέινερ από και προς τον δρόμο εργασίας που βρίσκεται από κάτω από τη στοίβα. Στον τερματικό σταθμό υπάρχουν επίσης τέσσερις γερανοί πλοίου. Οι γερανοί στις στοίβες είναι υπεύθυνοι για την φόρτωση/εκφόρτωση των AGVs, ενώ οι γερανοί πλοίου είναι υπεύθυνοι για την φόρτωση/εκφόρτωση κοντέινερ προς/από το πλοίο και στην φόρτωση/εκφόρτωση προς/από τα AGVs. Οι δύο γερανοί πλοίου που βρίσκονται στα αριστερά εξυπηρετούν τα AGVs που φορτώνουν/εκφορτώνουν κοντέινερ στο αριστερό μέρος του τερματικού (αριστερά από τον μεσαίο δρόμο διέλευσης). Το αντίστοιχο συμβαίνει για τους δυο γερανούς δεξιά.
- Υπάρχουν δυο ουρές μπροστά στους γερανούς. Μια ουρά για τους δυο γερανούς δεξιά και άλλη μια για αυτούς αριστερά. Κάθε AGV εξυπηρετείται σύμφωνα με την σειρά άφιξης στην ουρά και επιλέγει τον γερανό που είτε δεν εξυπηρετεί κανένα AGV ή ολοκληρώνει γρηγορότερα την εξυπηρέτηση προηγούμενου οχήματος.

Οι παραπάνω κανόνες για τις κινήσεις των AGVs δεν είναι μοναδικοί. Βασίζονται στη διαίσθηση και μπορεί να μην εξασφαλίζουν τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.

Στην ανάλυση και εκτίμηση του τερματικού θεωρούμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά για τον εξοπλισμό του:

- Σύμφωνα με τον πίνακα 4 θεωρούμε ότι ο μέσος χρόνος για τους γερανούς του τερματικού για φόρτωση ή εκφόρτωση είναι 50 sec.
- Ο μέσος χρόνος για τους γερανούς στο μόλο για φόρτωση ή εκφόρτωση είναι 48 sec και αντιστοιχεί σε 75 κινήσεις ανά ώρα. Θεωρούμε ότι έχουμε αρκετά γρήγορους γερανούς στο μόλο γιατί δεν θέλουμε να έχουμε καθυστερήσεις εξαιτίας αυτών αλλά να ελέγξουμε τις εργασίες μέσα στον τερματικό σταθμό.
- Τέλος η ταχύτητα για τα φορτωμένα AGV είναι 8.28 χιλιόμετρα/ώρα (5 mph) ενώ η ταχύτητα για τα άδεια AGV είναι 16.56 χιλιόμετρα/ώρα (10 mph) [4].



Εικόνα 20: Σχεδιάγραμμα του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού

Δ.Δ. = Δρόμος Διέλευσης
Δ.Ε. = Δρόμος Εργασίας

4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ AGVs

Ο έλεγχος για την κίνηση των AGVs πρέπει να αποτρέπει κάθε πιθανή σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων, μέσα στον τερματικό σταθμό. Στην γενική περίπτωση, όταν επιτρέπονται αμφίδρομες κινήσεις στους δρόμους εργασίας, εκτός από τις συγκρούσεις εμφανίζεται και το πρόβλημα να βρεθεί κάποιο όχημα σε αδιέξοδο (deadlock). Στο μοντέλο που έχουμε αναπτύξει δεν παρουσιάζεται τέτοιο πρόβλημα και γι' αυτό δεν χρειάζεται να το συμπεριλάβουμε στη λογική ελέγχου.

Σύγκρουση μεταξύ δύο ή περισσότερων AGVs έχουμε στις εξής περιπτώσεις:

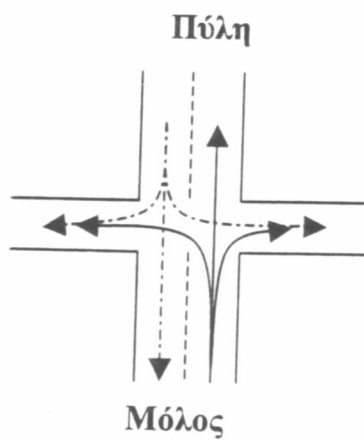
1. Όταν το AGV βρίσκεται μπροστά του άλλο AGV που κινείται με μικρότερη ταχύτητα ή είναι σταματημένο

Τέτοιες συγκρούσεις είναι δυνατόν να συμβούν επειδή τα φορτωμένα AGV έχουν μικρότερη ταχύτητα από τα ξεφόρτωτα. Επίσης κάποιο AGV κατά την πορεία του μπορεί να συναντήσει ένα άλλο AGV που φορτώνει ή ξεφορτώνει κοντήνερ μέσα στον τερματικό σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση το AGV που κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα όταν πλησιάσει και περάσει μια απόσταση ασφαλείας (π.χ. 3 μέτρα) επιβραδύνει και αποκτάει την ταχύτητα του μπροστινού AGV.

2. Άφιξη σε διασταύρωση από διαφορετικούς δρόμους ταυτόχρονα

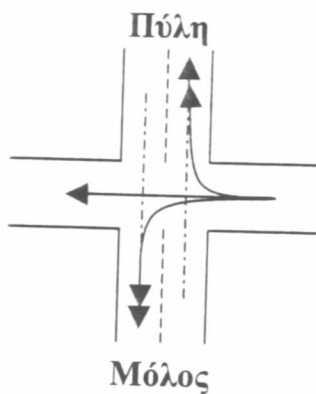
Για την προσομοίωση των εργασιών στον τερματικό σταθμό έχουμε τρεις περιπτώσεις. Την φόρτωση του πλοίου, την εκφόρτωση του καθώς και το συνδυασμό των δυο παραπάνω. Σε κάθε περίπτωση όταν έχουμε ταυτόχρονη άφιξη σε διασταύρωση, δυο ή περισσότερων οχημάτων, δίνουμε προτεραιότητα κάθε φορά στο όχημα που είναι ξεφόρτωτο και άρα πιο γρήγορο. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούμε την πιθανότητα να καθυστερεί ένα ξεφόρτωτο όχημα πίσω από ένα φορτωμένο. Στις προσομοιώσεις, όπως φαίνεται και παρακάτω, εξετάσαμε μόνο την περίπτωση της φόρτωσης του πλοίου θεωρώντας ότι αρκούσε για να καταλήξουμε σε συμπεράσματα που θα ίσχυαν και για τις τρεις περιπτώσεις δεδομένου ότι είναι ως ένα βαθμό συμμετρικές. Στην περίπτωση της φόρτωσης του πλοίου, δεδομένου ότι γνωρίζουμε εκ των προτέρων τις πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε κάθε διασταύρωση, ξεχωρίζουμε τρεις υποπεριπτώσεις. Την περίπτωση των διασταυρώσεων στον κεντρικό δρόμο διέλευσης, την περίπτωση των διασταυρώσεων δεξιά από τον κεντρικό δρόμο διέλευσης και την περίπτωση των διασταυρώσεων στα αριστερά του.

Για την πρώτη περίπτωση που φαίνεται και στην εικόνα 21 προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που έρχονται από τον μόλο, τα οποία, γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι είναι ξεφόρτωτα.



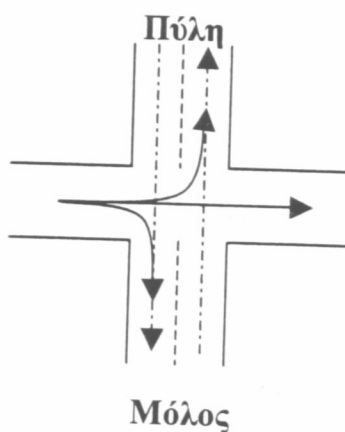
Εικόνα 21: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

Στην δεύτερη περίπτωση, για τις διασταυρώσεις στα δεξιά του κεντρικού δρόμου διέλευσης, που φαίνεται στη εικόνα 22, προτεραιότητα έχουν οι κατακόρυφες κατευθύνσεις. Εδώ δεν δίνεται προτεραιότητα στα AGVs που κινούνται πιο γρήγορα, αλλά ωστόσο δεν υπάρχει περίπτωση να «κολλήσει» ένα γρήγορο AGV πίσω από ένα αργό.



Εικόνα 22: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

Στην τρίτη περίπτωση, για τις διασταυρώσεις αριστερά του κεντρικού δρόμου διέλευσης, δίνεται προτεραιότητα στις κατακόρυφες κατευθύνσεις, όμοια με την παραπάνω περίπτωση.



Εικόνα 23: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Σε αυτή την εργασία τα κριτήρια απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η απόδοση του τερματικού σταθμού και οι χρόνοι αδράνειας των AGVs και των γερανών του μόλου. Η απόδοση του τερματικού ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των κοντένερ που φορτώθηκαν ή εκφορτώθηκαν από το πλοίο ανά ώρα και ανά γερανό, δηλαδή:

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{ΣυνολικόςΑριθμόςΚοντένερΠουΦορτώθηκαν / Εκφορτώθηκαν}}{\text{ΣυνολικόΧρονος[ώρες]xΑριθμόςΓερανών}}$$

Χρόνος αδράνειας των AGVs ορίζεται το ποσοστό επί του συνολικού χρόνου που ένα AGV καθυστερούσε λόγω σύγκρουσης ή λόγω αναμονής στην ουρά των γερανών του μόλου, δηλαδή:

$$X.A.AGV = \frac{\text{ΧρονοςΚαθυστερησηΑποΣυγκρούσεις} + \text{ΧρονοςΑναμονηςΣεΟυρά}}{\text{ΣυνολικόςΧρονος[ώρες]}}$$

όμοια χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου ορίζεται το ποσοστό επί του συνολικού χρόνου που οι γερανοί δεν εξυπηρετούν κάποιο όχημα, δηλαδή:

$$X.A.Γερανών = \frac{\text{ΧρονοςΜηΛειτουργίαςΓερανών}}{\text{ΣυνολικόςΧρονος[ώρες]}}$$

Πολλά κριτήρια απόδοσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα ενός τερματικού σταθμού φόρτωσης/εκφόρτωσης κοντένερ. Μερικά από αυτά είναι, ο ελάχιστος συνολικός χρόνος για να ολοκληρωθούν οι εργασίες, το ελάχιστο κόστος εγκαταστάσεων και εξοπλισμών, ο ελάχιστος μέσος χρόνος παραμονής στο τερματικό, και ο ελάχιστος χρόνος αναμονής στις ουρές. Όμως στην πραγματικότητα για ένα τόσο μεγάλο και πολύπλοκο σύστημα, όπως αυτό, η επιλογή ενός μόνο κριτηρίου από τα παραπάνω δεν φαίνεται αρκετό και μπορεί να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα. Περισσότεροι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε περιγραφεί με περισσότερη λεπτομέρεια η αποδοτικότητα της λειτουργίας του τερματικού σταθμού. Για αυτό το λόγο χρειάζεται να εφαρμόσουμε πολυκριτήρια μέθοδο λήψης αποφάσεων, η οποία αντιμετωπίζει προβλήματα που σχετίζονται με πολλαπλά, και συχνά αντικρουόμενα, κριτήρια βελτιστοποίησης.

Συγκεκριμένα η τεχνική που θα ακολουθήσουμε εδώ είναι η μέθοδος ολικού κριτηρίου η οποία προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση αντιστοιχώντας στα επιμέρους κριτήρια ένα βάρος. Αυτό συμβαίνει διότι κάθε κριτήριο έχει διαφορετική σημαντικότητα για τον αποφασίζοντα, η οποία και εκφράζεται με το βάρος.

Ας υποθέσουμε ότι το σύνολο των κριτηρίων είναι $\mathcal{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_J\}$, και το σύνολο τιμών των μεταβλητών απόφασης είναι $\Psi = \{A_1, A_2, \dots, A_I\}$. Επίσης

υποθέτουμε ότι το αποτέλεσμα του A_i σε σχέση με το κριτήριο X_j είναι x_{ij} , και w_j είναι το βάρος για το x_{ij} . Το βάρος αυτό εκφράζει την βαρύτητα, δηλαδή τη σημαντικότητα, που δίνει ο αποφασίζοντας στο συγκεκριμένο κριτήριο. Τότε, $V(A_i)$, είναι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για το A_i και ορίζεται ως εξής:

$$V(A_i) = U_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iJ}, w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iJ}), \quad i = 1, 2, \dots, I$$

ή αναλυτικότερα:

$$V(A_i) = \frac{\sum_{j=1}^J w_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^J w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

Η συνάρτηση T είναι ο αποφασίζων που επιλέγει την κατάλληλη τιμή A^* , που είναι συνήθως η μέγιστη ή η ελάχιστη, ως εξής:

$$A^* = T(V(A_1), V(A_2), \dots, V(A_I))$$

Συνήθως, τα βάρη στην μέθοδο ολικού κριτηρίου κανονικοποιούνται

$\sum_{j=1}^J w_j = 1$, οπότε οι προηγούμενες εξισώσεις συνοψίζονται στις εξής:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^J w_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i V(A_i) \left(\text{or } \min_i V(A_i) \right) \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

και,

$$\sum_{j=1}^J w_j = 1$$

Για το συγκεκριμένο πρόβλημα ενδιαφερόμαστε να βρούμε τον βέλτιστο αριθμό των AGV που θα κινούνται μέσα στον τερματικό σταθμό ώστε να ελαχιστοποιηθεί ένας συγκεκριμένος δείκτης απόδοσης. Σαν κριτήρια για την ελαχιστοποίηση επιλέγονται οι χρόνοι αδράνειας των γερανών και των AGV. Έτσι ο δείκτης απόδοσης, A , για τις λειτουργίες του τερματικού σταθμού ορίζεται ως εξής:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^2 w_j x_{ij}, \quad i = 1, 2$$

$$A^* = \left\{ A_i | \min_i V(A_i) \right\}, \quad i = 1, 2$$

όπου w_j είναι το βάρος για το x_{ij} , και $\sum_{j=1}^2 w_j = 1$. x_{i1} είναι ο χρόνος αδράνειας

για τους γερανούς του μόλου όταν υπάρχουν i AGVs στον τερματικό σταθμό και η ελαχιστοποίηση του μεγιστοποιεί την απόδοση του τερματικού σταθμού, και x_{i2} είναι ο χρόνος αδράνειας για των AGVs όταν υπάρχουν i AGVs στον τερματικό σταθμό, και η ελαχιστοποίηση του ελαχιστοποιεί τις συγκρούσεις και το κυκλοφοριακό μέσα στο τερματικό καθώς και τον χρόνο αναμονής στις ουρές των γερανών. Τέλος A^* είναι ο αριθμός των AGVs που ελαχιστοποιούν τον δείκτη απόδοσης, δηλαδή τους χρόνους αδράνειας του εξοπλισμού του τερματικού.

5.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Παρακάτω στο μοντέλο της προσομοίωσης που περιγράψαμε σε παραπάνω κεφάλαιο εφαρμόζουμε διάφορα σενάρια. Σε όλα τα σενάρια θεωρούμε ότι ο τερματικός σταθμός είναι γεμάτος με κοντέινερ και γι αυτό χρησιμοποιούνται μόνο AGVs και καθόλου φορτηγά. Τα φορτηγά θα χρησιμοποιούνταν σε συνδυασμό με τα AGVs σε περίπτωση που θεωρούσαμε ότι ο τερματικός σταθμός ήταν άδειος και θα απαιτούνταν η τροφοδοσία του απ' έξω. Το μοντέλο που έχουμε κατασκευάσει έχει την δυνατότητα να προσομοιώσει παράλληλα της εργασίες των φορτηγών και των AGVs καθώς και την διαδικασία διαχείρισης των εισερχόμενων φορτηγών από την πύλη, η οποία είναι παρόμοια με την εργασία των γερανών του μόλου (αριθμός εξυπηρετούντων, ουρές, χρόνοι εξυπηρέτησης). Ωστόσο θεωρήσαμε ότι αυτό θα αύξανε τον υπολογιστικό φόρτο χωρίς ουσιαστική μεταβολή των τελικών αποτελεσμάτων.

5.2.1 Βασικό σενάριο: Χειροκίνητη λειτουργία του τερματικού

Η χειροκίνητη λειτουργία του τερματικού εφαρμόζεται σαν σενάριο για να εκτιμηθεί το μοντέλο προσομοίωσης που έχουμε αναπτύξει, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την πραγματικότητα. Η λειτουργία προσομοιώνεται σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχονται από τα [15], [16] για τον διεθνές τερματικό σταθμό του Νορφολκ (Norfolk International Terminal – NIT). Παρακάτω περιγράφονται οι χειροκίνητες λειτουργίες αναλυτικά.

Στο NIT, ο μόλος είναι εξοπλισμένος με τρεις γερανούς με απόδοση 45 κινήσεις ανά ώρα, και ο αποθηκευτικός χώρος έχει γερανογέφυρες με ελαστικά. Επίσης χρησιμοποιούνται 18 φορτηγά, τα οποία μεταφέρουν κοντέινερ από και προς το πλοίο. Στην ανάλυση που έγινε στα [15], [16], οι συγγραφείς έδειξαν ότι παρόλο που τα φορτηγά έχουν μέση ταχύτητα περίπου 27.5 χιλιόμετρα ανά ώρα (2.5 φορές μεγαλύτερη από την μέση ταχύτητα των AGVs), επειδή πολλές καθυστερήσεις λόγω της χειροκίνητης λειτουργίας και η μέση απόδοση τους είναι περίπου η μεταφορά 6 κοντέινερ ανά ώρα που αντιστοιχεί σε μέσο χρόνο μετακίνησης ίσο με 600 sec ανά κίνηση. Εδώ κίνηση θεωρούμε την φόρτωση του φορτηγού από

τον αποθηκευτικό χώρο, την μεταφορά του στο πλοίο και την ξεφόρτωση του από τον γερανό του μόλου, συμπεριλαμβανομένου τους χρόνους που περιμένει για να φορτωθεί και ξεφορτωθεί. Επίσης γνωρίζουμε ότι η μέση απόσταση που διανύεται από ένα φορτηγό είναι ίση με 457.2 μέτρα. Καταλήγουμε έτσι ότι η Μέση Πραγματική Ταχύτητα ενός φορτηγού σε μέτρα ανά sec υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Μέση Πραγματική Ταχύτητα} = \frac{\text{Μέση Απόσταση}}{\text{Μέσος Χρόνος Μετακίνησης} - \text{Χρόνος Φόρτωσης} - \text{Χρόνος Εκφόρτωσης}} =$$

$$= \frac{457.2}{600 - T_{\text{φορτ}} - T_{\text{εκφορτ}}} = 0.91 \text{ m/sec}$$

όπου $T_{\text{φορτ}}=48$ sec και $T_{\text{εκφορτ}}=50$ sec είναι οι χρόνοι που απαιτούνται για να φορτωθεί το φορτηγό από τον γερανό του τερματικού και να ξεφορτωθεί από τον γερανό του μόλου.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Παρόμοια και με το σενάριο που χρησιμοποιήθηκε στο [15], εκτελέσαμε προσομοίωση κάνοντας χρήση του μοντέλου από το κεφάλαιο 4 με 18 AGVs που είχαν Μέση Πραγματική Ταχύτητα αυτήν που περιγράψαμε παραπάνω. Η απόδοση που επιτεύχθηκε στην προσομοίωση ήταν 24 κοντέινερ/γερανό/ώρα. Αυτή η απόδοση είναι συγκρίσιμη με την πραγματική στατιστική απόδοση που μετρήθηκε στο NIT και που είναι 28 κοντέινερ/γερανό/ώρα.

Παρά το γεγονός ότι η διάταξη του τερματικού μας σταθμού και ο εξοπλισμός του διαφέρουν από αυτούς του NIT, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας είναι συμβατά με τις μελέτες [15], [16] λόγω των ακόλουθων παραγόντων:

- Ο χρόνος που απαιτείται για να φορτωθεί ένα φορτηγό, στο τερματικό με τις χειροκίνητες λειτουργίες, και να ξεφορτωθεί από τους γερανούς στο μόλο είναι αμελητέος αν συγκριθεί με τον χρόνο που χρειάζεται το φορτηγό για να κινηθεί ανάμεσα στα δυο σημεία.
- Παρόλο που οι διατάξεις των δυο τερματικών είναι διαφορετικές, εφόσον τα AGV κινούνται με μέση ταχύτητα που ισούται με την Μέση Πραγματική Ταχύτητα και ο αριθμός τους είναι ίδιος με των φορτηγών στο [15], η απόδοση αναμένεται να είναι ίδια.
- Η μέγιστη ταχύτητα των γερανών του μόλου στο μοντέλο μας είναι ίση με 75 κινήσεις ανά ώρα, ενώ η απόδοση των γερανών στο NIT είναι 45 κινήσεις ανά ώρα. Φαίνεται καθαρά ότι, η ταχύτητα των γερανών επηρεάζει πολύ λίγο την απόδοση, δεδομένου ότι αυτή

είναι πολύ χαμηλότερη από την παραγωγικότητα των γερανών. Αυτό συμβαίνει διότι όσο γρήγοροι και αν είναι οι γερανοί, αν η ταχύτητα τροφοδοσίας τους είναι μικρή τότε και η απόδοση θα είναι μικρή.

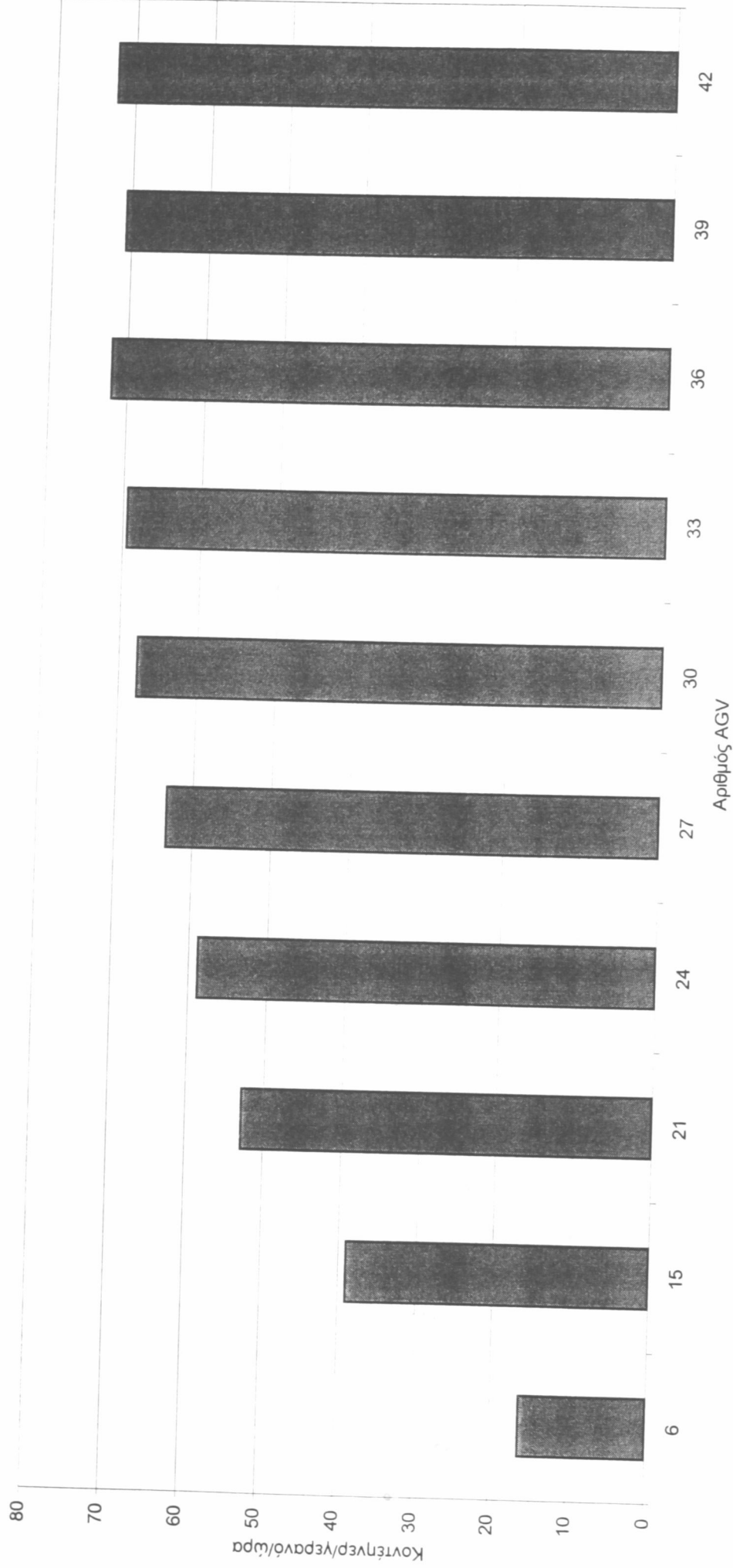
5.2.2 Σενάριο δεύτερο: Αυτοματοποιημένο τερματικό με πολιτική τυχαίας ανάθεσης των AGV.

Εδώ προσομοιώνουμε τις λειτουργίες φόρτωσης του τερματικού σταθμού. Θεωρούμε ότι τα κοντέινερ προς εξαγωγή βρίσκονται και στις 16 στοίβες του τερματικού και πως όλος ο εξοπλισμός του τερματικού, δηλαδή οι 16 γερανοί στις στοίβες, οι τέσσερις γερανοί στο μόλο και τα AGV, χρησιμοποιείται για την φόρτωση του πλοίου.

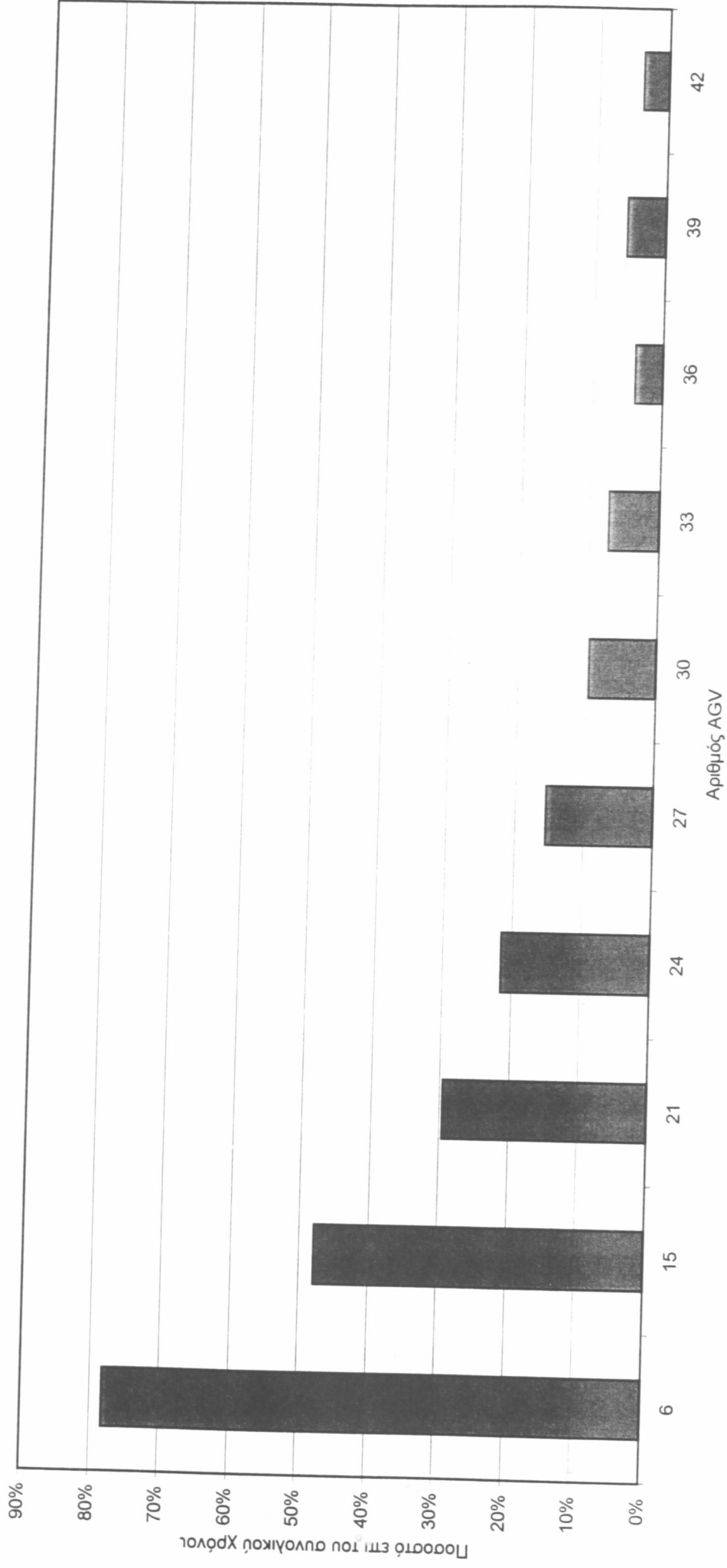
- Θεωρούμε ότι τα κοντέινερ βρίσκονται αποθηκευμένα τυχαία μέσα στη γυάρδα και όχι σε συγκεκριμένες θέσεις. Αυτή είναι η πολιτική τυχαίας αποθήκευσης των κοντέινερ που εφαρμόστηκε πρώτη φορά από την εταιρία August Design-Sealand.
- Επίσης θεωρούμε ότι η ανάθεση κοντέινερ σε ένα AGV είναι επίσης τυχαία. Αυτό σημαίνει ότι σε όποιο σημείο του τερματικού σταθμού και να πάει το AGV θα βρίσκει πάντα κοντέινερ που πρέπει να ανακτηθεί και να φορτωθεί στο πλοίο. Αυτή η θεώρηση είναι ρεαλιστική μόνο στην περίπτωση που χρειάζεται να φορτωθεί στο πλοίο ένας μεγάλος αριθμός κοντέινερ, σε σχέση με το μέγεθος του τερματικού, όπως συμβαίνει στα Megaships. Όταν όμως χρειάζεται να φορτωθεί ένα μικρό πλοίο δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σε όλο τον αποθηκευτικό χώρο υπάρχουν κοντέινερ μόνο για αυτό το πλοίο.

Παρακάτω φαίνονται στα διαγράμματα τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα τρία βασικά μας κριτήρια, αυξάνοντας κάθε φορά τον αριθμό των AGVs κατά 3:

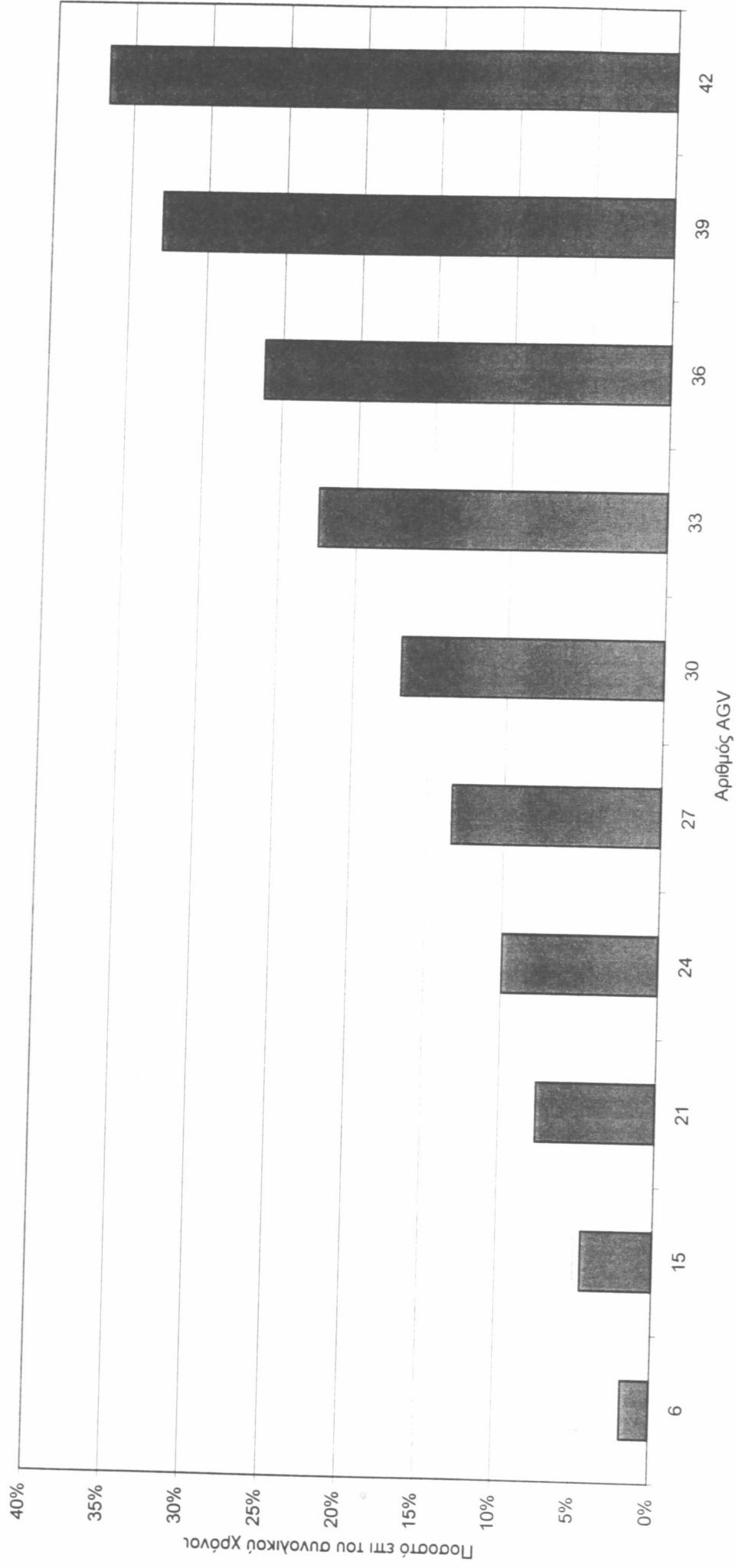
Απόδοση Γερανών Μόλου



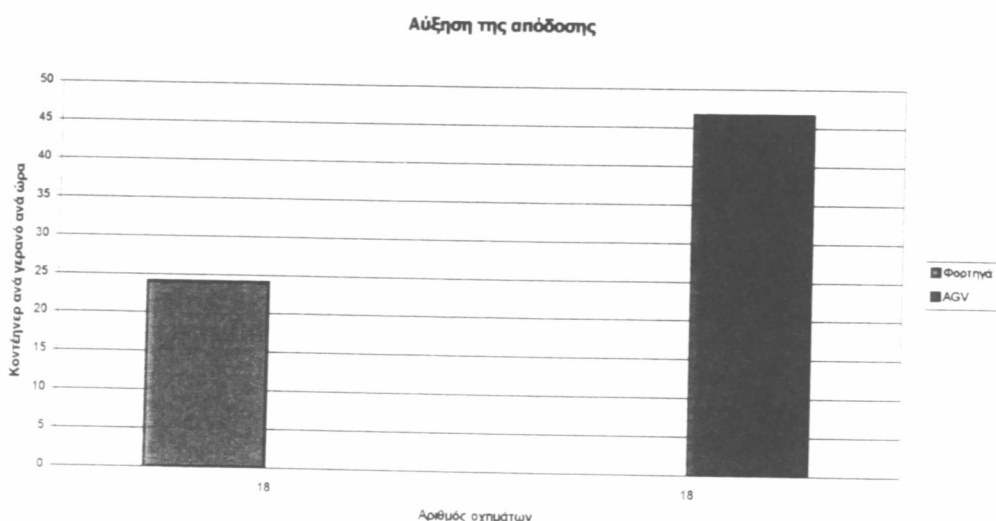
Χρόνος αδράνειας για τους γερανούς μόλου



Χρόνος αδράνειας για τα AGV's



Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την αύξηση της απόδοσης που έχει ο τερματικός σταθμός που χρησιμοποιεί AGVs σε σχέση με αυτόν που πραγματοποιεί τις εργασίες χειροκίνητα. Παρατηρούμε ότι η αύξηση της απόδοσης σχεδόν διπλασιάζεται.

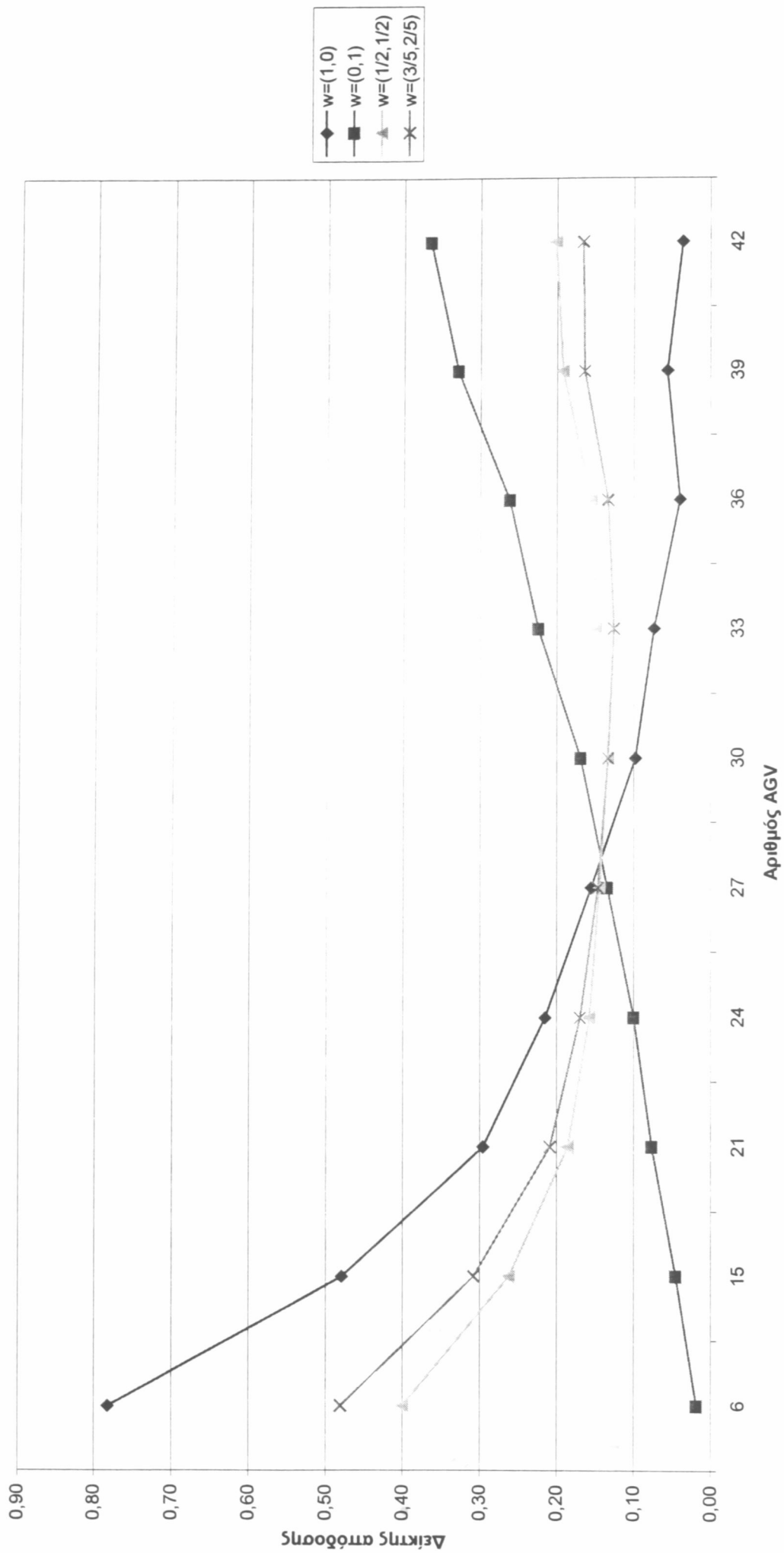


Βελτιστοποίηση

Για να βρούμε τον βέλτιστο αριθμό των AGVs στον αυτοματοποιημένο τερματικό σταθμό κοντέινερ - ο οποίος αντιστοιχεί στην ελαχιστοποίηση των αθροισμένων χρόνων αδράνειας των γερανών και των AGVs - εφαρμόζουμε την μέθοδο ολικού κριτηρίου που περιγράψαμε παραπάνω.

Για διευκόλυνση, τα βάρη για τα κριτήρια εκφράζονται σε μορφή διανύσματος ως εξής: $W^T = (w_1, w_2)$. Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει τον δείκτη απόδοσης για διάφορα διανύσματα βαρών. Αρχικά βρίσκουμε τον βέλτιστο αριθμό των AGVs λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα κριτήριο. Δηλαδή το διάνυσμα $W^T = (1, 0)$ ελαχιστοποιεί τον χρόνο αδράνειας των γερανών ενώ το διάνυσμα $W^T = (0, 1)$ ελαχιστοποιεί τον χρόνο αδράνειας των AGVs. Όμως όταν χρησιμοποιούμε μόνο ένα κριτήριο για να επιλέξουμε τον βέλτιστο αριθμό των AGVs οδηγούμαστε στην επιλογή ή του μεγαλύτερου ή του μικρότερου αριθμού των AGVs που χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση, κάτι που ήταν προφανές και διαισθητικά.

Στη συνέχεια λαμβάνουμε υπόψη μας και τα δυο κριτήρια. Εδώ πρέπει να πούμε ότι αυτή η πολυκριτήρια ανάλυση δεν οδηγεί απαραίτητα στον αριθμό των AGVs που μεγιστοποιούν την απόδοση του τερματικού σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, για την επιλογή του διανύσματος $W^T = (\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ ο βέλτιστος αριθμός των AGVs που ελαχιστοποιεί τον δείκτη απόδοσης είναι 30, ενώ για την επιλογή του διανύσματος $W^T = (\frac{3}{5}, \frac{2}{5})$ ο βέλτιστος αριθμός των AGVs είναι 33.



5.2.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΑΡΙΘΜΟ AGVs

Στην προσπάθεια μας να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση του τερματικού σταθμού χωρίς να αυξήσουμε τον αριθμό των AGVs χρησιμοποιήσαμε ένα μη ρεαλιστικό σενάριο κατά το οποίο δεν ελέγχουμε τις συγκρούσεις μεταξύ των οχημάτων. Τα AGVs κινούνται ελεύθερα και αν συναντούσαν στην πορεία τους άλλο όχημα διασταυρώνονταν χωρίς σύγκρουση. Παρατηρήσαμε ότι για μικρό αριθμό AGVs, όπου οι συγκρούσεις είναι εκ των πραγμάτων λίγες η απόδοση του τερματικού σταθμού ήταν παρόμοια με αυτήν του σεναρίου 2. Όμως καθώς αυξανόταν ο αριθμός των AGVs, αυξανόταν και το περιθώριο βελτίωσης της απόδοσης σε σχέση με το σενάριο 2. Έτσι βασιζόμενοι στη διαίσθηση προσπαθήσαμε να βρούμε μια άλλη πολιτική ανάθεσης για τα AGVs που θα μείωνε τις συγκρούσεις και άρα θα αύξανε την απόδοση. Σύμφωνα πάλι με τα αποτελέσματα του σεναρίου 2, παρατηρήσαμε ότι οι συγκρούσεις μεταξύ των AGVs συμβαίνουν κυρίως λόγω της αναμονής στις ουρές των γερανών και όχι λόγω της κίνησης μέσα στον τερματικό σταθμό. Η αναλογία είναι κατά μέσο όρο 70% και 30% αντίστοιχα. Έτσι προσπαθήσαμε να ανιχνεύσουμε εκ των προτέρων τις πιθανές συγκρούσεις στις ουρές και να μειώσουμε το μέγεθος των ουρών με κατάλληλη ανάθεση των AGV.

Αρχικά αναθέταμε δοκιμαστικά σε ένα AGV ένα τυχαίο κοντέινερ και γνωρίζοντας από πριν την διαδρομή που επρόκειτο να ακολουθήσει υπολογίζαμε το χρόνο T_i που θα χρειαζόταν για να φτάσει στην ουρά του γερανού χωρίς σύγκρουση μέσα στον τερματικό σταθμό. Έπειτα συγκρίναμε αυτόν τον χρόνο με τους αντίστοιχους χρόνους T_j των υπολοίπων AGV στον τερματικό σταθμό. Η απόλυτη διαφορά αυτών των χρόνων, $T_{1ij} = |T_i - T_j|$, μας έδινε την χρονική απόσταση του οχήματος i από τα οχήματα j . Έπειτα στο μοντέλο προσομοίωσης του κεφαλαίου 4 εφαρμόσαμε δυο διαφορετικά σενάρια 3α και 3β στα οποία θέταμε μια συνθήκη, διαφορετική κάθε φορά, για τον ελάχιστο από τους χρόνους T_{1ij} .

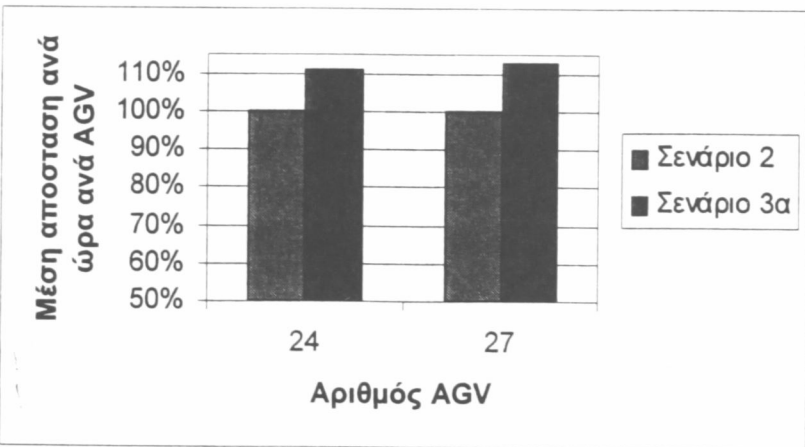
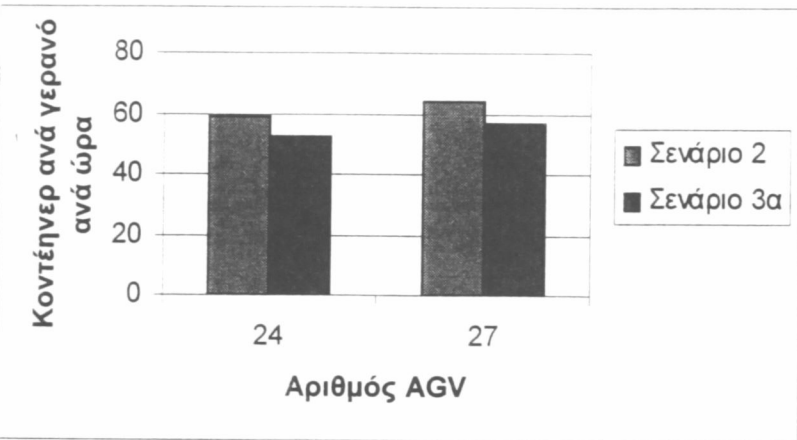
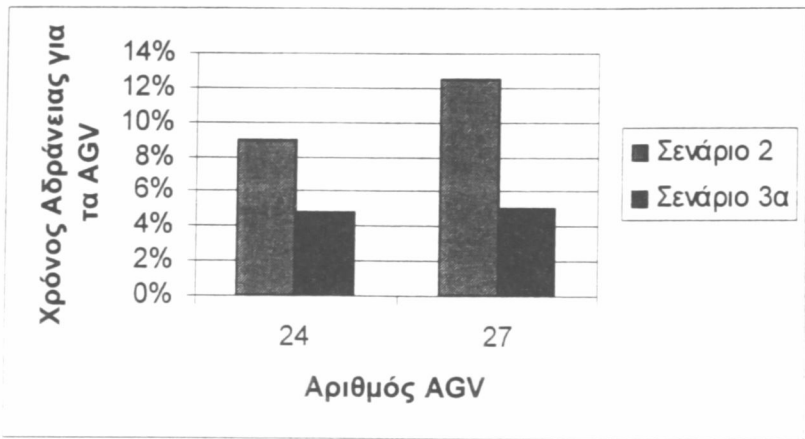
Στο σενάριο 3α θέλαμε ο ελάχιστος από τους χρόνους T_{1ij} να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τον χρόνο που χρειάζεται ένας γερανός για να εξυπηρετήσει ένα AGV προσπαθώντας να εξαλείψουμε τον σχηματισμό ουράς. Αν ο ελάχιστος από τους χρόνους T_{1ij} δεν ήταν ίσος ή μεγαλύτερος από τον χρόνο που θέλαμε αναθέταμε στο AGV ένα άλλο τυχαίο κοντέινερ και υπολογίζαμε όλους τους χρόνους από την αρχή μέχρι να ικανοποιούνταν η συνθήκη. Με αυτό τον τρόπο αναμέναμε να μειώσουμε το μέγεθος της ουράς και να επιτύχουμε καλύτερη απόδοση του τερματικού σταθμού.

Στο σενάριο 3β θέλαμε ο ελάχιστος από τους χρόνους T_{1ij} να είναι ίσος ή μικρότερος από τον χρόνο που χρειάζεται ένας γερανός για να εξυπηρετήσει ένα AGV. Με τον τρόπο αυτό δεν μειώναμε το μέγεθος της ουράς αλλά προσπαθούσαμε να έχουμε συνεχή τροφοδοσία των γερανών ώστε να μειώσουμε τον χρόνο αδράνειας των γερανών και να αυξήσουμε την απόδοση του τερματικού σταθμού.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι αποδόσεις, οι χρόνοι αδράνειας και οι μέσες αποστάσεις σε ποσοστό που διανύουν τα AGV ανά ώρα, για τα δύο σενάρια σε σχέση με το σενάριο 2. Ο αριθμός των οχημάτων που

χρησιμοποιήθηκε σε αυτές τις προσομοιώσεις ήταν 24 και 27 AGVs, γιατί για αυτούς τους αριθμούς των AGVs είχαμε ικανοποιητικά περιθώρια βελτίωσης της απόδοσης, σύμφωνα με το μη ρεαλιστικό σενάριο που προσομοιώσαμε και περιγράψαμε παραπάνω.

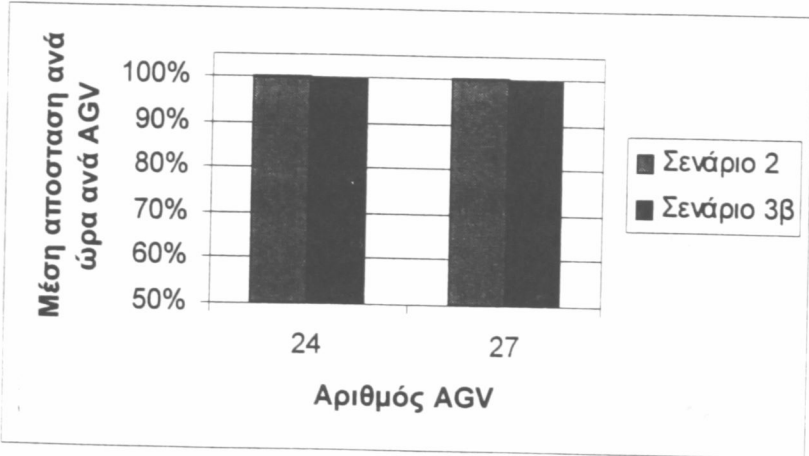
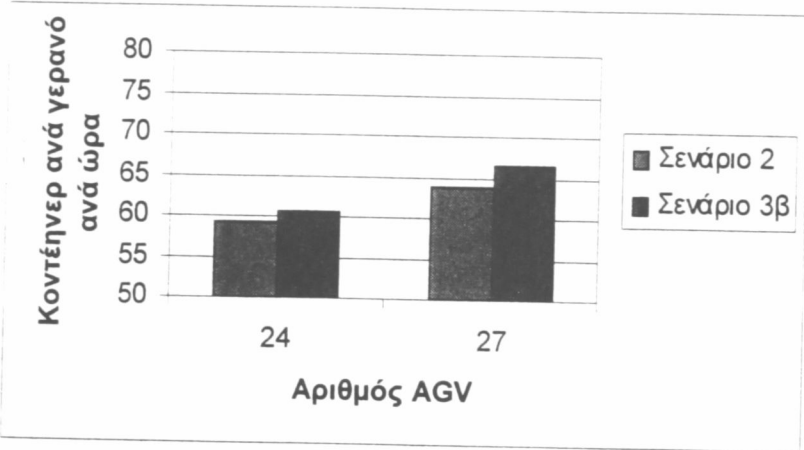
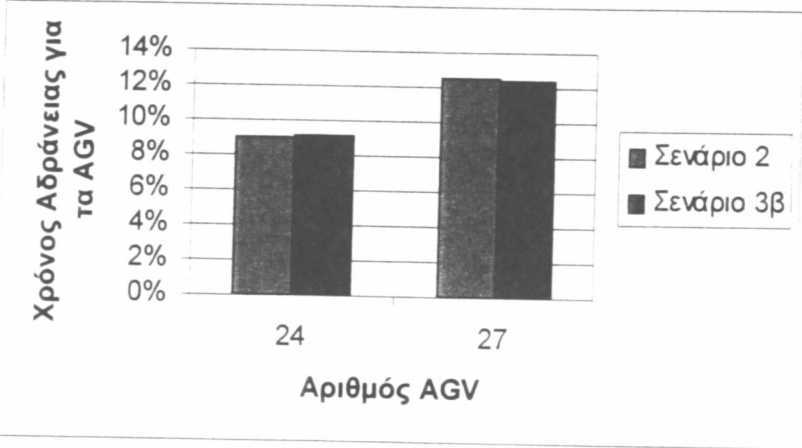
Για το σενάριο 3α:



Παρατηρούμε ότι ενώ μειώνεται αισθητά ο χρόνος αδράνειας των AGVs – συγκεκριμένα ο χρόνος αναμονής στην ουρά μειώνεται κατά μέσο όρο κατά 20% - μειώνεται και η απόδοση του τερματικού σταθμού. Αυτό αρχικά φαίνεται παράδοξο αλλά εξηγείται αν παρατηρήσουμε το τρίτο διάγραμμα.

Ενώ μειώνεται ο χρόνος αναμονής στην ουρά αυξάνεται αισθητά η μέση απόσταση που διανύει το ένα AGV ανά ώρα (περίπου κατά 10%). Δηλαδή ικανοποιείται η συνθήκη τα διαδοχικά AGV που φτάνουν στην ουρά να έχουν μια χρονική απόσταση ικανή για να μειωθεί ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά, αυτό όμως συνεπάγεται να τους ανατίθενται κοντέινερ στις πιο μακρινές θέσεις του τερματικού σταθμού και άρα να μειώνεται η απόδοση.

Για το σενάριο 3β:



Εδώ δεν παρατηρούμε ουσιαστική αλλαγή ούτε στον χρόνο αδράνειας αλλά ούτε και στη μέση απόσταση που διανύει ένα AGV ανά ώρα. Ωστόσο παρατηρούμε μια μικρή αλλά όχι ικανοποιητική αύξηση στην απόδοση του τερματικού σταθμού. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι αυξάνεται το μέγεθος των ουρών (οι συγκρούσεις στις ουρές αυξάνονται περίπου κατά 15%) αλλά και πάλι ο αριθμός των AGV δεν αρκεί για να έχουμε συνεχή τροφοδοσία των γερανών.

Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, κάτω από τις υποθέσεις που κάναμε, οι αλγόριθμοι φόρτωσης/εκφόρτωσης με τυχαία ανάθεση προορισμού των AGVs δίνουν σε γενικές γραμμές αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα συγκρινόμενοι με πιο σύνθετους αλγορίθμους.

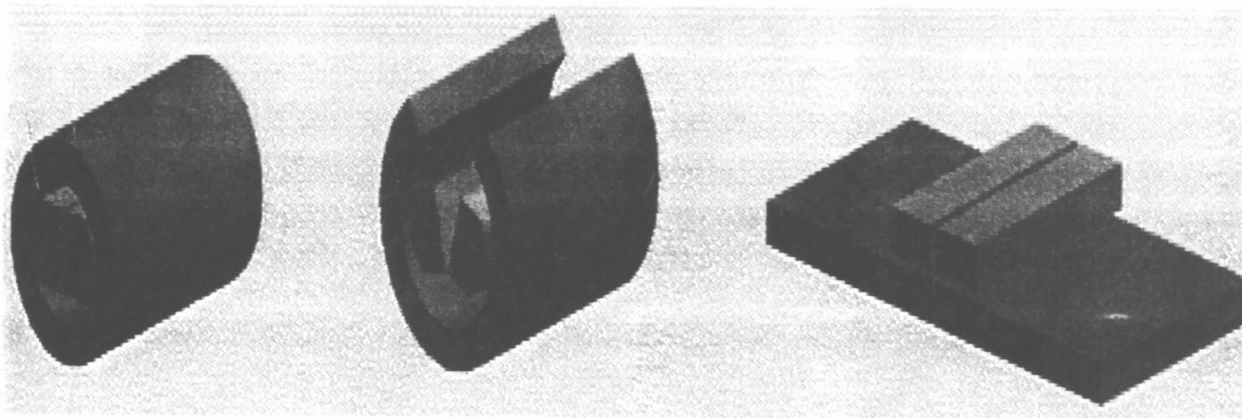
6. ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΝΤΕΗΝΕΡ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LMCS

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα LMCS (Linear Motor Conveyance Systems) είναι από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα για την μεταφορά κοντέινερ. Ένα πρωτότυπο τέτοιου συστήματος κατασκευάστηκε επιτυχώς και βρίσκεται σε λειτουργία σε ένα τερματικό σταθμό στο Αμβούργο (Eurokaí Container Terminal). Τέτοια συστήματα παρουσιάζουν αρκετά ελκυστικά χαρακτηριστικά: οι μηχανές τους είναι πολύ αξιόπιστες και αντέχουν στον χρόνο. Επίσης είναι ιδανικά συστήματα για να χρησιμοποιηθούν από τερματικούς σταθμούς κοντέινερ.

6.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

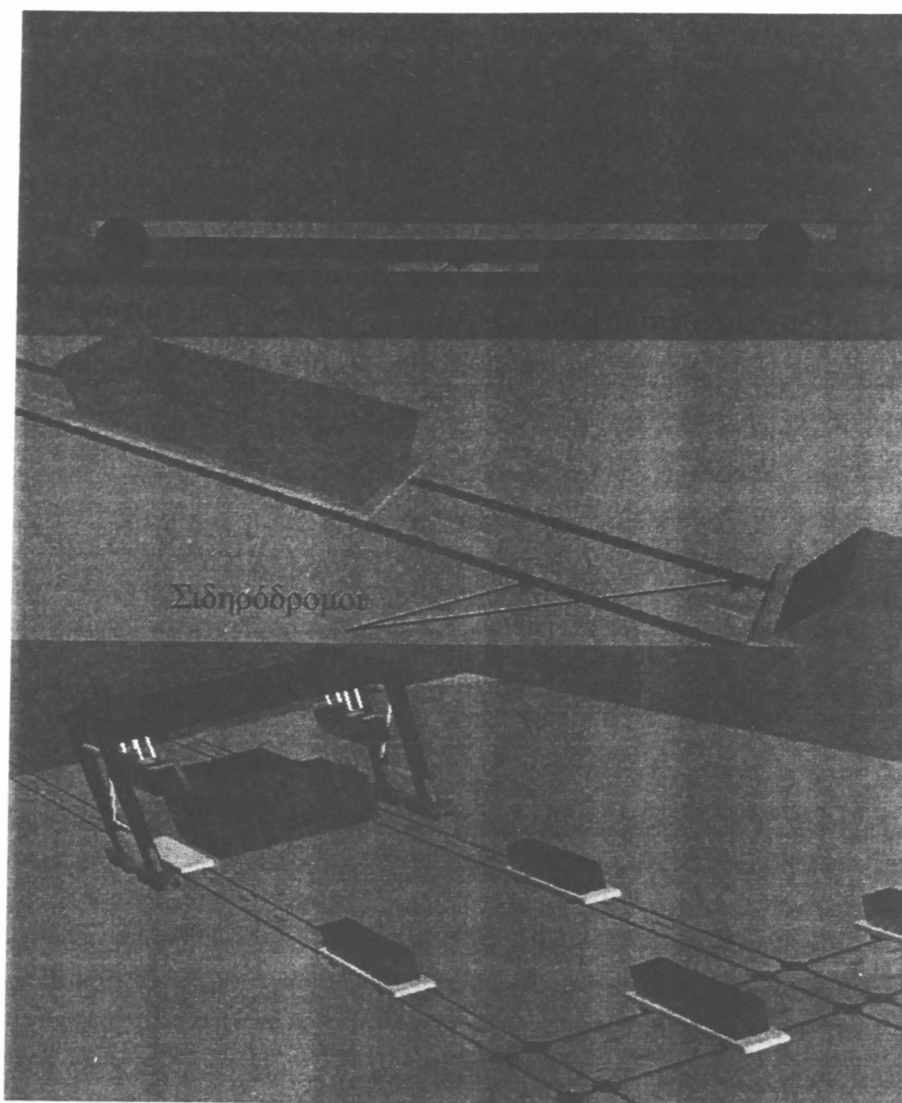
Μια γραμμική μηχανή λειτουργεί με τις ίδιες αρχές που λειτουργεί και μια συμβατική περιστροφική μηχανή, με τη διαφορά ότι τα πηνία αντί να είναι τυλιγμένα γύρω από έναν άξονα, είναι «απλωμένα» σε μια γραμμική διάταξη. Το ρεύμα κινείται μέσα από τον απλωμένο, επίπεδο στάτορα και κινεί ένα μεταλλικό επίπεδο τμήμα, το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω από τον στάτορα σαν να ήταν ρότορας [14]. Ελέγχοντας μια σειρά παρατεταγμένων γραμμικών μηχανών τοποθετημένες κάτω από μια πλατφόρμα μπορείς να την μετακινήσεις με ακρίβεια (δεδομένου ότι βρίσκεται πάνω σε κυλιόμενη επιφάνεια). Η αρχή των γραμμικών μηχανών φαίνεται στην εικόνα 24.



Εικόνα 24: "Απλώνοντας" μια συμβατική μηχανή για να δημιουργηθεί μια γραμμική

Τέτοιες μηχανές δεν έχουν κινούμενα μέρη και γι' αυτό χρειάζονται μικρή συντήρηση. Οι πλατφόρμες που κινούνται από τέτοιες μηχανές δεν απαιτούν εργατικό δυναμικό και έχουν πολύ λίγα κινούμενα μέρη. Συγκεκριμένα οι συναρμολογούμενες ρόδες είναι τα μόνα κινητά μέρη. Επίσης δεν απαιτείται ενέργεια πάνω στην πλατφόρμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν αυτήν την τεχνολογία να έχει πολλές προοπτικές

σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου και της χρήσης σε τερματικούς σταθμούς κοντέινερ [14].



Εικόνα 25: Σχέδιο LMCS

6.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Ο τερματικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα γραμμικών μηχανικών μεταφορέων είναι πανομοιότυπος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε για τα AGVs με μόνη διαφορά ότι οι δρόμοι είναι προκατασκευασμένοι σιδηρόδρομοι. Για παράδειγμα ένας διπλός δρόμος στο τερματικό για τα AGVs θεωρείται τώρα ένας διπλός σιδηρόδρομος που επιτρέπει στα οχήματα να κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις ταυτόχρονα.

Τα AGV αντικαθιστούνται από ένα σύστημα LMCS. Συνεπώς τα οχήματα μπορεί να θεωρηθούν σαν AGV που κινούνται σε προκαθορισμένες τροχιές. Άρα η λογική ελέγχου της κίνησης και της αποφυγής συγκρούσεων είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα με τα AGV και περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

6.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στον τερματικό σταθμό είναι ίδια με τον εξοπλισμό που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όμοια τα χαρακτηριστικά και ο αριθμός των γερανών στο μόλο είναι ίδιος. Υποθέτουμε ότι η ταχύτητα των άδειων και φορτωμένων οχημάτων είναι ίδια με αυτή των AGVs. Επίσης υποθέτουμε ότι σε κάθε γωνία των προκαθορισμένων σιδηροδρόμων τα οχήματα χρειάζονται 5 δευτερόλεπτα επιπλέον για να αλλάξουν κατεύθυνση. Παρά αυτή την αλλαγή ο αριθμός των οχημάτων που χρειάστηκαν για να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του τερματικού σταθμού υπολογίστηκε ότι είναι ίδιος με τον αριθμό των AGVs του προηγούμενου κεφαλαίου.

6.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ

Για την προσομοίωση αυτού του συστήματος χρησιμοποιήσαμε το ίδιο μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε και για τα AGVs και βρήκαμε ότι η απόδοση των 2 τερματικών σταθμών είναι η ίδια. Αυτό συμβαίνει γιατί η διάταξη του τερματικού, η λογική ελέγχου των οχημάτων, η ταχύτητα τους καθώς και τα χαρακτηριστικά του υπόλοιπου εξοπλισμού είναι πανομοιότυπη. Από τεχνικής απόψεως τα δυο συστήματα είναι πανομοιότυπα. Αυτό που τα διαφοροποιεί είναι το κόστος. Σύμφωνα με μια έρευνα [17] στην οποία χρησιμοποιήθηκαν δυο πανομοιότυπα συστήματα, το ένα ήταν με AGV και το άλλο ήταν LMCS, το μέσο κόστος για ένα κοντέινερ στην περίπτωση με τα AGV ήταν 77.3 ευρώ, ενώ στην άλλη περίπτωση 147 ευρώ. Σε αυτό το κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της εγκατάστασης, το κόστος του εξοπλισμού καθώς και το κόστος του εργατικού δυναμικού. Η διαφορά στο κόστος προέρχεται κυρίως από το υψηλό κόστος της εγκατάστασης ενός συστήματος LMCS σε ένα τερματικό σταθμό, καθώς η υποδομή που πρέπει να έχει ένα τέτοιο σύστημα είναι μεγάλη.

Στον παρακάτω πίνακα [14] γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων όσον αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και στο κόστος τους.

Πίνακας 6: Σύγκριση AGV με LCMS [14]

<u>Χαρακτηριστικά</u>	<u>AGVs</u>	<u>Linear Motor Systems</u>
Ταχύτητα	0-24 χ.α.ω.	0-24 χ.α.ω.
Αρχικό Κόστος	Μέσο/Υψηλό (σε σχέση με συμβατικά τερματικά)	Υψηλό (σε σχέση με συμβατικά τερματικά)
Κόστος Λειτουργίας	Χαμηλό	Χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Μέσο/Υψηλό	Χαμηλό
Αξιοπιστία	Μέτρια	Υψηλή
Ευελιξία	Υψηλή	Χαμηλή

Βιβλιογραφία

- [1] US Department of Transportation, Office of Intermodalism, "The impact of changes in ship design on transportation infrastructure and operations", February 1998.
- [2] C. I. Liu, H. Julia, and P. Ioannou, "Automated guided vehicle system for two container yard layouts", submitted to *Transport Research Part-C*
- [3] C. I. Liu, H. Julia, K. Vukadinovic and P. Ioannou, "Comparing different technologies for container movement in marine container terminals", in *Proceedings of the third IEEE International Conference on ITS*, 2000, pp. 488-493.
- [4] P.A. Ioannou, E.B. Kosmatopoulos, H. Julia, A. Collinge, C.I. Liu, A. Asef-Vaziri, E. Dougherty, "Cargo Handling Technologies Final Report", submitted to the Center for Commercial Deployment of Transportation Technologies.
- [5] PRS Inc, "Sealift technology development program. Assesment of cargo handling technology", DoT/Marad Tech. Rep. MA-RD-840-93003, August 1993.
- [6] M.A. Jordan, "Dockside container cranes", *Proc. of Ports '95*, March 1995.
- [7] A. Bhimani, C. Morris, and S. Karasuda, "Dockside container crane design for the 21st century", *Container Efficiency Conference*, Singapore, March 1996.
- [8] URL:<http://www.wagner.com>
- [9] URL:<http://www.august-design.com>
- [10] URL:<http://www.kvamk.fi/~y94ljaki/contmv.htm>
- [11] United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD/SDD/MT/2, October 1992, <http://www.unctad.org/en/pressref/mt3dus2.htm>
- [12] C. I. Liu, H. Julia, and P. Ioannou, K. Vukadinovic, "Automated Guided Vehicle System for two Container Yard Layouts".
- [13] C. I. Liu, H. Julia, and P. Ioannou, "Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals".
- [14] C. I. Liu, H. Julia, and P. Ioannou, E.B. Kosmatopoulos, "Container Terminals using Automated Shuttles Driven by Linear Motors".
- [15] Towery S.A., et al., "Planning for maximum efficiency at Norfolk International Terminals", JWD report, AAPA, Tampa, Florida, 1996.
- [16] Larsen R., and Moses J., "AVCS for Ports: An automation study for Norfolk International Terminals".
- [17] C. I. Liu, H. Julia, K. Vukadinovic, P. Ioannou, H. Pourmohammadi, "Advanced material handling: automated guided vehicles in agile ports", Technical Report, Center for Advanced Transpotation Technologies, University of Southern California, Oct 2000.

