



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Επίκουρος Καθηγητής Α. ΜΠΑΛΛΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ
ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**



ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ ΔΑΝΑΗ-ΚΑΝΕΛΛΑ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: «Συγκριτική Αξιολόγηση Συστημάτων Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων σε Λιμενικές Εγκαταστάσεις»

Όνομα: Αντωνοπούλου Δανάη-Κανέλλα

Επιβλέπων: Μπαλλής Α., Επίκουρος Καθηγητής

Έτος εκπόνησης: 2010

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η λεπτομερής παρουσίαση της μεθόδου των εμπορευματοκιβωτίων που περιλαμβάνει τις μεταφορικές μονάδες, τα πλοία μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων και τα μηχανήματα/οχήματα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων εντός των συμβατικών τερματικών σταθμών, με έμφαση στην αναλυτική περιγραφή των διαφόρων τύπων εξοπλισμού και των τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών τους. Αναλύονται οι μέθοδοι που απαντώνται στη βιβλιογραφία για τη σύγκριση των εναλλακτικών συστημάτων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων και εντοπίζονται τα κριτήρια με βάση τα οποία μπορεί να γίνει η συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων σε λιμενικές εγκαταστάσεις.

ABSTRACT

Title: Comparative Evaluation of Container Handling Systems in a Container Terminal

Name: Antonopoulou Danai- Kanella

Supervisor: Ballis A.

Year of execution: 2010

In the present diploma thesis, a detailed presentation of the container transport method is carried out, including the cargo units, the container vessels, and the equipment and vehicles utilized in container handling at terminals, focusing upon the analytic description of various type of equipment and their technical and operational characteristics. The container handling and transfer methods, cited in the bibliography are examined, in order to compare the alternatives and derive the parameters for rating them for optimal port terminal usage.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Ω Ν

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	3
2.1. Το εμπορευματοκιβώτιο	3
2.1.1. Ιστορική αναδρομή της εμφάνισης και εξέλιξης των συστημάτων μοναδοποίησης με έμφαση στο εμπορευματοκιβώτιο	3
2.1.2. Περιγραφή του εμπορευματοκιβωτίου – Διαστάσεις κατά ISO και σημερινές τάσεις.....	5
2.1.3. Τύποι εμπορευματοκιβωτίων	8
2.1.3.1. Εμπορευματοκιβώτια γενικού φορτίου	9
2.1.3.2. Εμπορευματοκιβώτια ξηρού χύδην φορτίου	18
2.1.3.3. Εμπορευματοκιβώτια συγκεκριμένου φορτίου	20
2.1.3.4. Θερμικά/Κλιματιζόμενα εμπορευματοκιβώτια.....	21
2.1.3.5. Εμπορευματοκιβώτια ανοικτής οροφής.....	25
2.1.3.6. Εμπορευματοκιβώτια τύπου πλατφόρμας-βάσης	26
2.1.3.7. Εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς υγρού χύδην φορτίου.....	28
2.1.4. Εξελίξεις της αγοράς εμπορευματοκιβωτίων στην τελευταία δεκαετία.....	29
2.2. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	32
2.2.1. Κατηγοριοποίηση πλοίων.....	32
2.2.2. Ιστορική αναδρομή στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	34
2.2.3. Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-Κιβωτιοφόρα (container ships).....	36
2.2.4. Τοποθέτηση και ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων στο πλοίο	42
2.3. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις	48
2.3.1. Προϋποθέσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων λιμενικών κέντρων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων.....	48

2.3.2. Οργάνωση λιμενικών συστημάτων	50
2.3.3. Βασικές λειτουργίες λιμενικών συστημάτων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων	52
2.3.4. Οργάνωση λειτουργίας ενός τυπικού εμπορευματικού σταθμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων	55
2.3.5. Περιγραφή μηχανολογικού εξοπλισμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων χερσαίας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης.....	61
3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	64
3.1. Εξοπλισμός θαλάσσιας πλευράς λιμενικών εγκαταστάσεων.....	64
3.1.1. Γερανογέφυρες κρηπιδώματος	64
3.1.1.1 Κατηγορίες γερανογεφυρών.....	65
3.1.1.2 Παραγωγικότητα γερανογεφυρών.....	67
3.2. Εξοπλισμός μεταφοράς.....	71
3.2.1. Ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις (tractors).....	71
3.2.2. Ελκυστήρες με δυνατότητα ταυτόχρονης μεταφοράς δύο ή και περισσοτέρων συρομένων βάσεων (Multi-Trailer Tractors).....	72
3.2.3. Αυτόματα Οχήματα Μεταφοράς τύπου AGV.....	73
3.2.3.1. Τεχνική περιγραφή του οχήματος	74
3.2.3.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων.....	76
3.2.4. Αυτόματα Οχήματα Ανύψωσης τύπου ALV.....	84
3.3. Εξοπλισμός στοιβασίας.....	87
3.3.1. Γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών.....	87
3.3.1.1. Τεχνική περιγραφή.....	87
3.3.1.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης	88
3.3.1.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	88

3.3.1.4. Τεχνολογικές καινοτομίες της εταιρείας ZPMC για τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG)	91
3.3.2. Γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών	97
3.3.2.1. Τεχνική περιγραφή.....	97
3.3.2.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης	98
3.3.2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	99
3.4. Εξοπλισμός μεταφοράς και στοιβασίας	103
3.4.1. Οχήματα-Πλαίσια	103
3.4.1.1. Τεχνική περιγραφή.....	103
3.4.1.2. Λειτουργικός ρόλος.....	103
3.4.1.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά	104
3.4.2. Περονοφόρα Ανυψωτικά Οχήματα (forklift trucks)	108
3.4.3. Οχήματα Εμπρόσθια Στοιβασίας (reachstackers).....	109
4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ.....	112
4.1. Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Συγκεκριμένου Τύπου Μηχανήματος	114
4.2. Σύγκριση εναλλακτικών συστημάτων διακίνησης	123
5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	140
5.1. Συνολικό κόστος επένδυσης για την εκτιμώμενη ζήτηση	141
5.1.1. Κόστος της γης	147
5.1.2. Κόστος κατασκευής υποδομών	149
5.1.3 Το κόστος του εξοπλισμού	149
5.1.4 Μεταφορικό κόστος.....	152
5.2. Το κόστος της αγοράς του εξοπλισμού.....	153
5.3. Η διαθεσιμότητα γης.....	154
5.4. Ο αριθμός των θέσεων εργασίας.....	155
5.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	155

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	156
7. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	157
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	158

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Π Ι Ν Α Κ Ε Σ

Πίνακας 2.1.1: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά UNCTAD (1985).....	7
Πίνακας 2.1.2: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά ISO (1996).....	7
Πίνακας 2.1.3: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων σύμφωνα με τις πρόσφατες εξελίξεις.....	8
Πίνακας 2.2.1: Κατηγοριοποίηση πλοίων με βάση το είδος του φορτίου που μεταφέρουν....	33
Πίνακας 2.2.2: Κατηγοριοποίηση πλοίων με βάση το Review of Maritime Transport 2009, UNCTAD.....	34
Πίνακας 2.2.3: Στοιχεία πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	39
Πίνακας 2.3.1: «Αγορές» φορτίων στη θαλάσσια διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων.....	54
Πίνακας 3.2.1: Λειτουργικά χαρακτηριστικά οχημάτων lift-AGV	81
Πίνακας 3.2.2: Λειτουργικά χαρακτηριστικά οχημάτων cassette AGV	83

Δ Ι Α Γ Ρ Α Μ Μ Α Τ Α

Διάγραμμα 2.3.1: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εξαγωγών και ΑΕΠ από το 1950 έως το 2008	48
Διάγραμμα 2.3.2: Διείσδυση των εμπορευματοκιβωτίων στο διεθνές θαλάσσιο εμπόριο ως ποσοστό επί τις εκατό του συνολικού διακινηθέντος φορτίου	49
Διάγραμμα 2.3.3: Εμπόριο διαφορετικών τύπων εμπορευμάτων δια θαλάσσης.....	50

Σ Χ Η Μ Α Τ Α

Σχήμα 2.1.1.: Μη εξαεριζόμενα εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού	10
Σχήμα 2.1.2: Οπές εξαερισμού σε εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού	10
Σχήμα 2.1.3: Εμπορευματοκιβώτιο 20' με ξύλινα τοιχώματα και οπές εξαερισμού στο άνω μεταλλικό πλευρικό πλαίσιο.....	11
Σχήμα 2.1.4: Εμπορευματοκιβώτια με ανοίγματα στα δύο άκρα, αλλά και πλήρως ανοιγόμενα πλευρικά ανοίγματα.	11
Σχήμα 2.1.5: Εμπορευματοκιβώτια με ανοίγματα στα δύο άκρα, αλλά και με μερικά ανοίγματα στις πλευρές.	12
Σχήμα 2.1.6: Σύγκριση μεγάλου ύψους εμπορευματοκιβωτίου (9'6") με εμπορευματοκιβώτιο των 8'6".	12
Σχήμα 2.1.7: Εμπορευματοκιβώτιο χωρίς πλευρικά τοιχώματα.....	13
Σχήμα 2.1.8: Εμπορευματοκιβώτια 40' συμβατά με παλέτες.....	14
Σχήμα 2.1.9: Εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" με πλευρικές πόρτες.	14
Σχήμα 2.1.10: Εμπορευματοκιβώτιο 20' και πλάτους 2,50μ. χρησιμοποιούμενο για εσωτερικές μεταφορές από τους Γερμανικούς Σιδηροδρόμους	14
Σχήμα 2.1.11: Εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" με πόρτες στα δύο άκρα	15
Σχήμα 2.1.12: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού ειδικά σχεδιασμένο με πλευρικές πόρτες	15
Σχήμα 2.1.13: Εμπορευματοκιβώτιο πλάτους γενικού σκοπού πλάτους 10'	15
Σχήμα 2.1.14: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού με μη-μηχανικό εξαερισμό	17
Σχήμα 2.1.15: Εμπορευματοκιβώτιο με μη-μηχανικό εξαερισμό στα ανώτερα και κατώτερα τμήματά του.....	17
Σχήμα 2.1.16: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού με μηχανικό εξαερισμό εγκατεστημένο σε αυτό.....	17
Σχήμα 2.1.17: Εμπορευματοκιβώτιο ξηρού χύδην φορτίου με καταπακτή φόρτωσης	18
Σχήμα 2.1.18: Εμπορευματοκιβώτιο ξηρού χύδην φορτίου με θυρίδα εκκένωσης.....	18
Σχήμα 2.1.19: Πλαίσιο με εξοπλισμό εκκένωσης του εμπορευματοκιβωτίου στο άκρο του..	19
Σχήμα 2.1.20: Εμπορευματοκιβώτιο χύδην φορτίου με εξοπλισμό εκκένωσης με πεπιεσμένο αέρα	19
Σχήμα 2.1.21: Εμπορευματοκιβώτιο χύδην φορτίου.....	20
Σχήμα 2.1.22: Εσωτερικές επενδύσεις σε εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού για μεταφορά χύδην φορτίου.....	20
Σχήμα 2.1.23: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένη μονάδα ψύξης	21

Σχήμα 2.1.24: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένη μονάδα ψύξης	21
Σχήμα 2.1.25: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" ψυχόμενο/θερμαινόμενο μηχανικά. 22	
Σχήμα 2.1.26: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο 40'x9'6" ψυχόμενο/θερμαινόμενο μηχανικά. 22	
Σχήμα 2.1.27: Ολοκληρωμένο σύστημα ψύξης/θέρμανσης για σύνδεση προς παροχή ενέργειας στη ξηρά ή στο πλοίο	24
Σχήμα 2.1.28: Μονάδες προσαρμοζόμενες προσωρινά σε θερμικά εμπορευματοκιβώτια	24
Σχήμα 2.1.29: Θερμικό μονωμένο εμπορευματοκιβώτιο με εξωτερική μονάδα παροχής ενέργειας.....	24
Σχήμα 2.1.30: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής με κάλυμμα και τοξωτά πλαίσια.....	25
Σχήμα 2.1.31: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής χωρίς κάλυψη οροφής.....	25
Σχήμα 2.1.32: Εμπορευματοκιβώτια ανοικτής 20' και 40', με και χωρίς κάλυμμα.....	26
Σχήμα 2.1.33: Πλατφόρμα μήκους 20', πλάτους 8' και ύψους 1'14"	26
Σχήμα 2.1.34: Πλατφόρμα τύπου flatrack μήκους 20' με σταθερά τοιχώματα στα άκρα.....	27
Σχήμα 2.1.35: Εμπορευματοκιβώτιο μεταφοράς ρολών.....	27
Σχήμα 2.1.36: Εμπορευματοκιβώτιο-βυτίο μεταφοράς μη επικίνδυνων υγρών.....	28
Σχήμα 2.1.37: Εμπορευματοκιβώτιο-βυτίο μεταφοράς μισού ύψους.....	29
Σχήμα 2.2.1: Πλοίο γενικού φορτίου.....	36
Σχήμα 2.2.2: Πλοίο γενικού φορτίου που μεταφέρει και εμπορευματοκιβώτια.....	36
Σχήμα 2.2.3: Πλοίο τύπου semi-container.....	37
Σχήμα 2.2.4: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 2ης γενιάς.....	38
Σχήμα 2.2.5: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 3ης γενιάς.....	39
Σχήμα 2.2.6: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 4ης γενιάς.....	39
Σχήμα 2.2.7: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 5ης γενιάς (σκίτσο).....	39
Σχήμα 2.2.8: Η περιοχή φόρτωσης στην πρύμνη του "Regina Maersk"	40
Σχήμα 2.2.9: Hatchless container ship with rain roofs	41
Σχήμα 2.2.10: Reefer container vessel.....	41
Σχήμα 2.2.11: Πλοία τροφοδοσίας	42
Σχήμα 2.2.12: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα κατά τον διαμήκη άξονα του πλοίου (πλώρη-πρύμνη).....	43
Σχήμα 2.2.13: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα κατά τον εγκάρσιο άξονα του πλοίου.....	43
Σχήμα 2.2. 14: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα και στις δύο διευθύνσεις.....	44
Σχήμα 2.2.15: Ασφάλιση εμπορευματοκιβωτίων με κυψέλες οδηγούς.....	45
Σχήμα 2.3.1: Λειτουργική σχέση λιμένων και εμπορευματικών κέντρων	52
Σχήμα 2.3.2: Διαδικασία μεταφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων σε τερματική λιμενική εγκατάσταση.....	53
Σχήμα 2.3.3: Σύστημα Λειτουργίας Τερματικής Λιμενικής Εγκατάστασης.....	57

Σχήμα 2.3.4: Σύστημα λειτουργίας με εναπόθεση κινητών αμαξωμάτων-τροχοφόρων βάσεων	59
Σχήμα 3.1.1.: Γερανογέφυρα κρηπιδώματος.	64
Σχήμα 3.2.1: Ελκυστήρας με συρόμενη βάση.....	71
Σχήμα 3.2.2: Ελκυστήρας μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων	73
Σχήμα 3.2.3: Ελκυστήρας μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων	73
Σχήμα 3.2.4: Αυτόματο Όχημα Μεταφοράς τύπου <i>AGV</i>	74
Σχήμα 3.2.5: Ολοκληρωμένο σύστημα λειτουργίας οχημάτων τύπου <i>AGV</i>	75
Σχήμα 3.2.6: Λειτουργία οχημάτων τύπου <i>AGV</i>	76
Σχήμα 3.2.7.: Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με οχήματα <i>AGV</i> προς και από το σιδηροδρομικό δίκτυο.....	77
Σχήμα 3.2.8.: Λειτουργία οχημάτων lift- <i>AGV</i>	81
Σχήμα 3.2.9: Σύστημα <i>cassette AGV</i>	82
Σχήμα 3.2.10: Σύστημα <i>cassette AGV</i>	84
Σχήμα 3.2.11: Αυτόματο όχημα ανύψωσης τύπου <i>ALV</i>	85
Σχήμα 3.3.1: Γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών.....	87
Σχήμα 3.3.2: Διάταξη εμπορευματοκιβωτίων κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας	90
Σχήμα 3.3.3: Διάταξη εμπορευματοκιβωτίων κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας	90
Σχήμα 3.3.4: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί ελαστικών.....	91
Σχήμα 3.3.5: Γερανογέφυρα συμβατική (αριστερά) και «πράσινη» (δεξιά)	92
Σχήμα 3.3.6: Μεγάλη ακρίβεια στη στοιβασία λόγω χρήσης συστήματος GPS	93
Σχήμα 3.3.7: Χρήση ανεστραμμένων τριγωνικών συστημάτων ανάρτησης για την μείωση των ταλαντώσεων	95
Σχήμα 3.3.8: Γερανογέφυρα με δυνατότητα ανύψωσης σε μεγάλο ύψος με ανελκυστήρα	96
Σχήμα 3.3.9: Γερανογέφυρα RTG με 16 τροχούς.....	97
Σχήμα 3.3.10: Διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων με γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών στον σιδηρόδρομο	99
Σχήμα 3.3.11: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών	101
Σχήμα 3.3.12: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών	102
Σχήμα 3.3.13: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών	102
Σχήμα 3.4.1: Διάταξη στοιβασίας για χρήση οχημάτων-πλαisiών.....	104
Σχήμα 3.4.2: Διάταξη συγκράτησης εμπορευματοκιβωτίων με αλυσίδες.....	107
Σχήμα 3.4.3: Στοιβασία 4 εμπορευματοκιβωτίων.	108
Σχήμα 3.4.4: Περονοφόρο ανυψωτικό όχημα (forklift truck) μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	109
Σχήμα 3.4.5: Οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reach-stackers)	110

Σχήμα 3.4.6: Διάταξη στοιβασίας για χρήση οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας	111
Σχήμα 4.1.1: Βέλτιστος σχεδιασμός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων	113
Σχήμα 4.1.2: Γερανογέφυρα τύπου cross-over	117
Σχήμα 4.1.3: Διάταξη ομάδων εμπορευματοκιβωτίων παράλληλα στο κρηπίδωμα	119
Σχήμα 4.1.4: Διάταξη ομάδων εμπορευματοκιβωτίων κάθετα στο κρηπίδωμα	119
Σχήμα 4.1.5: Σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (κατά Froyland).....	122
Σχήμα 4.1.6: Σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (κατά Froyland).....	123
Σχήμα 4.1.7: Χρόνος παραμονής εμπορευματοκιβωτίων στην τερματική εγκατάσταση σε σχέση με την ικανότητα διακίνησης κάθε τύπου μηχανήματος	134
Σχήμα 4.2.1: Διάφοροι τύποι γερανογεφυρών.....	128
Σχήμα 4.2.2.: Λόγος μετακινήσεων άδειων μηχανημάτων προς τον συνολικό αριθμό μετακινήσεων για οχήματα-πλαίσια (sc) και αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc).....	130
Σχήμα 4.2.3.: Μέσος συνολικός χρόνος μετακίνησης για οχήματα-πλαίσια (sc) και αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc).....	131
Σχήμα 4.2.4.: Μέσος συνολικός χρόνος μετακίνησης για αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc) σε 4 διαφορετικά σενάρια.	131
Σχήμα 4.2.5: Χρόνος παραμονής εμπορευματοκιβωτίων στην τερματική εγκατάσταση σε σχέση με την ικανότητα διακίνησης κάθε τύπου μηχανήματος	134
Σχήμα 5.1.1: Επίπτωση χρόνου παραμονής του πλοίου στο λιμάνι στο κόστος	142
Σχήμα 5.1.2: Κόστος λιμανιού ως συνάρτηση σταθερού και μεταβλητού κόστους	143
Σχήμα 5.1.3: Συνολικό κόστος λιμανιού ως άθροισμα κόστους χρόνου και επένδυσης.....	143

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της μοναδοποίησης των φορτίων, δηλαδή η συγκέντρωση των φορτίων σε μεγαλύτερες ενιαίες μονάδες αντί των αρχικών συσκευασιών σε διάφορα σχήματα, μεγέθη και τρόπους συσκευασίας, προέκυψε από την ανάγκη για απλοποίηση και μηχανοποίηση της διαδικασίας φορτοεκφορτώσεων, για μείωση του χρόνου απασχόλησης των μεταφορικών μέσων για την φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων, την ανάγκη για προστασία από τις καιρικές συνθήκες και για τον περιορισμό φαινομένων συμφόρησης στους σταθμούς φορτοεκφόρτωσης.

Αποτέλεσμα της μοναδοποίησης ήταν η μείωση του απαιτούμενου κόστους των διαδικασιών αυτών και η σταδιακή μετατροπή της όλης διαδικασίας μεταφοράς προϊόντων σε διαδικασία μεταφοράς ολόκληρων μονάδων.

Οι κυριότερες μέθοδοι μοναδοποίησης που χρησιμοποιούν μοναδοποιημένα φορτία στη μορφή μεταφορικών μονάδων όπως περιγράφηκαν προηγουμένως είναι οι εξής:

- Η μέθοδος των παλετών
- Η μέθοδος των εμπορευματοκιβωτίων
- Η μέθοδος με ελκόμενα (ή και αυτοκινούμενα) μοναδοποιημένα φορτία επί τροχών. Κατά την μέθοδο αυτή η διαδικασία φορτοεκφόρτωσης γίνεται με κύλιση. Η μέθοδος είναι γνωστή ως Ro-Ro (Roll on-Roll off).
- Η μέθοδος των φορτηγιοφόρων πλοίων, κατά την οποία μια ολόκληρη φορτηγίδα χρησιμοποιείται ως μονάδα φορτίου για μέρος τουλάχιστον της μεταφοράς (επί του αντίστοιχου πλοίου). Η μέθοδος είναι γνωστή ως Flo Flo (Float On - Float Off).

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η λεπτομερής παρουσίαση της μεθόδου των εμπορευματοκιβωτίων που περιλαμβάνει τις μεταφορικές μονάδες (παρουσιάζονται αναλυτικά στο εδάφιο 2.1), τα πλοία μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων (εδάφιο 2.2) και τα μηχανήματα/οχήματα - με έμφαση στα συμβατικά και όχι στις νέες τεχνολογίες - διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων εντός των τερματικών σταθμών (αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων τύπων εξοπλισμού

και τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών τους γίνεται στο κεφάλαιο 3). Μέρος του συστήματος διακίνησης αποτελούν και τα οδικά οχήματα, τα σιδηροδρομικά οχήματα και οι θαλάσσιες και ποτάμιες φορτηγίδες που όμως δεν εξετάζονται στην παρούσα εργασία.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση των μεθόδων που έχουν εφαρμοστεί από διάφορους ερευνητές για τη σύγκριση εναλλακτικών συστημάτων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων σε τερματικές λιμενικές εγκαταστάσεις, η συλλογή του υποστηρικτικού υλικού που είναι απαραίτητο για την εφαρμογή των μεθόδων, δηλαδή των τεχνικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών συστημάτων διακίνησης με στόχο τον εντοπισμό των κριτηρίων μέσω των οποίων γίνεται η τελική επιλογή του εξοπλισμού και τα οποία προέκυψαν από σύνθεση σχετικών επιστημονικών εργασιών.

2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

2.1. ΤΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ

2.1.1. Ιστορική αναδρομή της εμφάνισης και εξέλιξης των συστημάτων μοναδοποίησης με έμφαση στο εμπορευματοκιβώτιο

Το πρώτο εμπορευματοκιβώτιο για χερσαία μεταφορά έκανε την εμφάνιση του το 1933, σχεδιασμένο από τον αμερικανό Malcolm McLean. Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα της χρήσης του, με βασικότερο την αποτελεσματική ομαδοποίηση προϊόντων διαφορετικών διαστάσεων, συσκευασιών και χαρακτηριστικών, η χρήση του επεκτάθηκε και στις θαλάσσιες μεταφορές στις Η.Π.Α. από το 1956. Πιο συγκεκριμένα, το 1937, ο Malcolm McLean, ιδιοκτήτης μιας μικρής εταιρείας χερσαίων μεταφορών (φορτηγά) στην πολιτεία της Βόρειας Καρολίνας, κατευθύνθηκε βόρεια στο λιμάνι της Νέας Υόρκης μεταφέροντας δέματα βαμβακιού με σκοπό να τα φορτώσει σε πλοίο με προορισμό την Κωνσταντινούπολη. Η αργή διαδικασία μεταφόρτωσης του βαμβακιού στο πλοίο από τα φορτηγά και η απώλεια πολλών ημερών μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, τον οδήγησε στην σκέψη της μοναδοποίησης των φορτίων. Αρχικά λοιπόν ο McLean σκόπευε να φορτώνει ολόκληρα τα φορτηγά μέσα στα πλοία με σκοπό να τα μεταφέρει όσο γίνεται πιο κοντά στον τελικό προορισμό τους. Η ανάπτυξη των τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων, καθώς και των βάσεων μεταφοράς, συρόμενων/ μεταφερόμενων από τράκτορες, έδωσε την δυνατότητα στα πλοία να φορτώνουν μόνο τις ρυμουλκούμενες βάσεις, κερδίζοντας συνεπώς τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα. Αργότερα, οι συρόμενες βάσεις καταργήθηκαν κι αυτές με τη σειρά τους και τα πλοία μεταφέρουν πλέον μόνο τα εμπορευματοκιβώτια.

Αρχικά, οι σύγχρονοι του McLean πλοιοκτήτες ήταν αρκετά επιφυλακτικοί και σκεπτικοί με την ιδέα του, ωθώντας τον στο να γίνει ο ίδιος πλοιοκτήτης της εταιρείας με την επωνυμία Sea-Land Inc. Στα τέλη του 1990 μάλιστα η εταιρεία του πωλήθηκε στη ναυτιλιακή εταιρεία Maersk, αλλά το όνομα της αρχικώς ιδρυθείσας εταιρείας παραμένει στην επωνυμία ως Maersk Sealand.

Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση των εμπορευματοκιβωτίων καθορισμένων διαστάσεων δημιούργησε την ανάγκη για ναυπήγηση δεξαμενόπλοιων με κατάλληλη διαμόρφωση. Το πρώτο πλοίο που κατασκευάστηκε για την κατεξοχήν μεταφορά Ε/Κ ήταν το “Ideal X”, το οποίο ναυπηγήθηκε από τον McLean και στις 26 Απριλίου 1956 έκανε το παρθενικό του ταξίδι μεταφέροντας 58 εμπορευματοκιβώτια από το Νιούαρκ στο Χιούστον των Ηνωμένων Πολιτειών. Το “Ideal X” δεν ήταν παρά μία φορτηγίδα με το κατάστρωμά της διαμορφωμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχουν ειδικές εσοχές για την πρόσδεση των 58 ρυμουλκούμενων βάσεων των φορτηγών που φορτώθηκαν αρχικά σε αυτό. Το χαρακτηριστικό της καινοτομίας του McLean ήταν το ότι για πρώτη φορά το εμπορευματοκιβώτιο μεταφερόταν και μεταφορτωνόταν στα άλλα μέσα μεταφοράς (σιδηρόδρομο, φορτηγά, πλοία, αεροπλάνα) χωρίς να χρειάζεται να εκφορτωθεί και μεταφορτωθεί το περιεχόμενό του, όπως γινόταν μέχρι πρότινος με τα χύδην φορτία, αλλά μεταφερόταν και μεταφορτωνόταν τώρα πια ολόκληρο ως μία μονάδα.

Στον Malcolm McLean αποδίδεται και η ιδέα της χρήσης των Ro-Ro που γρήγορα όμως αντικαταστάθηκαν για ευρεία χρήση από τα εμπορευματοκιβώτια, καθώς τα πρώτα λόγω της βάσης μεταφοράς τους καταλάμβαναν πολύτιμο χώρο στο εσωτερικό του πλοίου. Έτσι πρώτη η εταιρεία του McLean «Sea-Land Service Ltd.» υιοθέτησε το νέο σύστημα μεταφορών. Το 1973 η εταιρεία αυτή ήταν κάτοχος 45.000 εμπορευματοκιβωτίων. Τα εμπορευματοκιβώτια εμφανίζονται μαζικά στην Δυτική Ευρώπη το 1966.

Το πρώτο πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε αποκλειστικά για την μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων ήταν το “Maxton”, ένα κατάλληλα διαμορφωμένο δεξαμενόπλοιο, το οποίο το 1956 θα μετέφερε 66 εμπορευματοκιβώτια στο κατάστρωμά του. Μία δεκαετία αργότερα ναυπηγήθηκε στην Ευρώπη το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Το πρώτο εμπορευματοκιβώτιο επί Γερμανικού εδάφους μεταφέρθηκε από το πλοίο “Fairland” στο θαλάσσιο λιμάνι της Βρέμης (Bremer Überseehafen) στις 6 Μαΐου 1966.

Τα πρώτα εμπορευματοκιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν από την Sealand στην Βόρεια Ευρώπη ήταν τύπου 35’ κατά ASA, δηλαδή ήταν κατασκευασμένα σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα. Σε άλλες περιοχές χρησιμοποιούνταν εμπορευματοκιβώτια διαστάσεων 27’ κατά ASA ή και άλλων. Οι πλοιοκτήτες στην

Ευρώπη αλλά και στην Ιαπωνία γρήγορα αντιλήφθηκαν τα προτερήματα της χρήσης των εμπορευματοκιβωτίων και επένδυσαν σε νέα τεχνολογία για την μεταφορά τους.

2.1.2. Περιγραφή του εμπορευματοκιβωτίου – Διαστάσεις κατά ISO και σημερινές τάσεις

Λόγω του ότι τα αμερικανικά πρότυπα μπορούσαν με δυσκολία να εφαρμοσθούν τόσο στην Ευρώπη όσο και σε άλλες χώρες λόγω περιορισμών στα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, ύστερα από μακρές διαπραγματεύσεις οι ενδιαφερόμενοι κατέληξαν σε συμφωνία όσον αφορά στις διαστάσεις και στους τύπους των εμπορευματοκιβωτίων σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα κατά ISO.

Καταρχήν είναι απαραίτητο να ορισθεί η έννοια του εμπορευματοκιβωτίου, τόσο σύμφωνα με το DIN ISO 668, που περιγράφει τις διαστάσεις και την κατανομή των εμπορευματοκιβωτίων σε κατηγορίες, όσο και σύμφωνα το DIN ISO 830, που περιέχει όλη τη σχετική ορολογία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω «εμπορευματοκιβώτιο» είναι ένα κιβώτιο μεταφοράς το οποίο:

- Έχει σταθερό σχήμα και σκελετό και είναι ανθεκτικό για παρατεταμένη χρήση.
- Είναι ειδικά σχεδιασμένο για την διευκόλυνση της μεταφοράς αγαθών, με ένα ή περισσότερα μέσα μεταφοράς, χωρίς ενδιάμεση μεταφόρτωση του προϊόντος.
- Είναι κατάλληλο για διαχείριση με μηχανικά μέσα.
- Είναι ειδικά σχεδιασμένο με κατάλληλα ανοίγματα ώστε να ολοκληρώνονται εύκολα οι διαδικασίες φορτοεκφόρτωσής του.
- Έχει χωρητικότητα τουλάχιστον 1 m³

Τα οχήματα μεταφοράς αγαθών, καθώς και οποιουδήποτε άλλου είδους συσκευασίες δεν θεωρούνται εμπορευματοκιβώτια.

Τα διεθνή πρότυπα ISO που προέκυψαν από την συμφωνία αυτή καθορίζουν μήκη εμπορευματοκιβωτίων 10, 20, 30 και 40 ποδών. Το πλάτος τους καθορίστηκε στα 8 πόδια (8') και το ύψος στα 8' 6" (8 πόδια και 6 ίντσες). Για τις χερσαίες

μεταφορές στην Ευρώπη η συμφωνία καθορίστηκε στα 2,50μ. πλάτους εμπορευματοκιβώτια στις εγχώριες μεταφορές, που κυρίως χρησιμοποιούνται στις συνδυασμένες οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.

Σήμερα η πλειοψηφία των εμπορευματοκιβωτίων συμμορφώνεται με τα διεθνή πρότυπα κατά ISO, με κυρίως χρησιμοποιούμενα αυτά με μήκος 20' ή 40'. Για αρκετά χρόνια τα πρότυπα κατά ISO ήταν υπό συζήτηση και υπήρχαν πιέσεις για αλλαγές. Με την ανάγκη για μεταφορά όλο και περισσότερων προϊόντων και την αξία της συσκευασίας και στοιβασίας, ως τμήματος της αλυσίδας μεταφοράς, να αυξάνεται συνεχώς, υπήρχαν πολλές πιέσεις για μεγαλύτερα, πλατύτερα και υψηλότερα εμπορευματοκιβώτια. Ορισμένοι πλοιοκτήτες ενέδωσαν στις πιέσεις με αποτέλεσμα σήμερα όλο και πιο συχνά να παρατηρείται η ύπαρξη εμπορευματοκιβωτίων με διαστάσεις που παρεκκλίνουν από τα διεθνή πρότυπα. Τα λεγόμενα και "jumbo" εμπορευματοκιβώτια, μήκους 45' και 48', πλάτους 8'6" (2,60μ.) και ύψους 9'6" (2,90μ.) υπήρχαν σε χρήση για μερικά χρόνια. Προσπάθειες για την κατασκευή ακόμα μεγαλύτερων εμπορευματοκιβωτίων, π.χ. μήκους 24' (7,43μ.) και 49' (14,40μ.), πλάτους 2,60μ. και ύψους 2,90μ. συναντώνται κυρίως στις Η.Π.Α. Ακόμα και εμπορευματοκιβώτια μήκους 53' εγκρίθηκαν για χρήση στις Η.Π.Α, ενώ ορισμένες πολιτείες επέτρεψαν ακόμη και μήκους 57'. Στην Ευρώπη βέβαια και σε άλλες ηπείρους οι στενοί δρόμοι αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τέτοιου είδους επεκτάσεις. Ειδικά οι υπό ανάπτυξη χώρες είναι λογικά αντίθετες στην αλλαγή των προτύπων.

Όμως με την πάροδο των ετών οι ανάγκες οδήγησαν στην ανάπτυξη εμπορευματοκιβωτίων διαφόρων μορφών και διαστάσεων που διαφοροποιούνταν από τα αρχικά πρότυπα, όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 2.1.1 κατά την UNCTAD¹ (1985).

¹ United Nations Committee for Trade and Development

	20ft x 8ft x 8ft		20ft x 8ft x 8ft 6in.		40ft x 8ft x 8ft 6in.	
	Οροφή με κυματοειδή επιφάνεια	Επίπεδη οροφή	Οροφή με κυματοειδή επιφάνεια	Επίπεδη οροφή	Οροφή με κυματοειδή επιφάνεια	Επίπεδη οροφή
Εσωτερικό (mm)						
Μήκος	5.897	5.897	5.897	5.897	12.022	12.022
Πλάτος	2.352	2.352	2.352	2.352	2.352	2.352
Ύψος	2.246	2.221,5	2.395,5	2.371	2.395,5	2.271
Άνοιγμα πόρτας (mm)						
Πλάτος	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340
Ύψος	2.137	2.137	2.280	2.280	2.280	2.280
Εσωτερική χωρητικότητα (m3)	31,5	30,8	33,2	32,9	67,7	67,0
Απόβαρο (kg)	2.230	2.260	2.300	2.330	4.050	4.100

Πίνακας 2.1.1: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά UNCTAD (1985)*Πηγή: (1)*

Στον Πίνακα 2.1.2 ορίζονται οι βασικές διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων κατά το πρότυπο ISO 668 (1996).

	Μήκος			Ύψος			Πλάτος			Μέγιστο Μικτό Βάρος	
	mm	ft	in	mm	ft	in	mm	ft	in	kg	lb
1A	12.192	40		2.438	8		2.438	8		30.480	67.200
1AA	12.192	40		2.591	8	6	2.438	8		30.480	67.200
1B	9.125	29	111/4	2.438	8		2.438	8		25.400	56.000
1BB	9.125	29	111/4	2.591	8	6	2.438	8		25.400	56.000
1C	6.058	19	111/4	2.438	8		2.438	8		20.320	44.800
1CC	6.058	19	111/4	2.591	8	6	2.438	8		20.320	44.800
1D	2.991	9	93/4	2.438	8		2.438	8		10.160	22.400
1E	1.968	6	51/2	2.438	8		2.438	8		7.110	15.700
1F	1.460	4	91/2	2.438	8		2.438	8		5.080	11.200

Πίνακας 2.1.2: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων κατά ISO (1996)*Πηγή: (1)*

Τα τελευταία χρόνια φορτωτές και μεταφορείς εγκαταλείπουν σταδιακά τη χρήση (και τις παραγγελίες) των τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων των 20 και 40 ποδών, και ιδιαίτερα αυτών των 40 ποδών, τα οποία εκτοπίζονται συνεχώς από τα εμπορευματοκιβώτια μεγάλου ύψους (high cube containers) των 40 ποδών. Στον Πίνακα 2.1.3 δίνονται οι τυπικές διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων μεγάλου ύψους.

	20' High Cube 20ft x 9ft 6in.	40' Standard 40ft x 8ft 6in.	40' High Cube 40ft x 9ft 6in.	45' High Cube 45ft x 9ft 6in.
Εξωτερικό μήκος (mm)	6.058	12.192	12.192	13.716
Εξωτερικό πλάτος (mm)	2.462	2.462	2.462	2.462
Εξωτερικό ύψος (mm)	2.896	2.591	2.896	2.896
Απόβαρο (kg)	2.850	3.980	4.200	4.760
Χωρητικότητα (m ³)	38,8	70	79	85,25

Πίνακας 2.1.3: Διαστάσεις εμπορευματοκιβωτίων σύμφωνα με τις πρόσφατες εξελίξεις

Πηγή: (2)

2.1.3. Τύποι εμπορευματοκιβωτίων

Οι τύποι καθώς και οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων που χρησιμοποιούνται τόσο στις θαλάσσιες όσο και στις χερσαίες εμπορευματικές μεταφορές είναι τυποποιημένοι και καθορισμένοι με βάση τα διεθνή πρότυπα κατά DIN ISO 4346, όπως αυτά καθορίστηκαν τον Ιανουάριο του 1996 από τον αντίστοιχο οργανισμό τυποποίησης.

Οι βασικότεροι και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι εμπορευματοκιβωτίων είναι οι εξής:

1. Εμπορευματοκιβώτια γενικού φορτίου (general purpose containers)
2. Εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk containers)
3. Εμπορευματοκιβώτια συγκεκριμένου φορτίου (named cargo containers)
4. Εμπορευματοκιβώτια θερμικά/κλιματιζόμενα (thermal containers)

5. Εμπορευματοκιβώτια **ανοικτής οροφής** (open-top containers)
6. Εμπορευματοκιβώτια **τύπου πλατφόρμας βάσης** (platform containers)
7. Εμπορευματοκιβώτια **μεταφοράς υγρού χύδην φορτίου** (tank containers).

2.1.3.1. Εμπορευματοκιβώτια γενικού φορτίου

Ο όρος πρότυπο/τυποποιημένο εμπορευματοκιβώτιο (standard container) χρησιμοποιήθηκε για τα πρώτα εμπορευματοκιβώτια στην βασική τους μορφή. Λόγω της μορφής τους (κλειστά κιβώτια) και της χρήσης τους ως κατάλληλα για την φορτοεκφόρτωση γενικών φορτίων είναι επίσης γνωστά και ως **εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού (general purpose containers)** ή **ξηρού φορτίου (dry cargo)** ή **απλά box container**. Το αρχικό ύψος τους των 8' έχει μόνον ιστορική αξία, καθώς τα περισσότερα εμπορευματοκιβώτια που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν εξωτερικό ύψος 8'6" ή και 9'6" (μεγάλου ύψους εμπορευματοκιβώτια-high cube container).

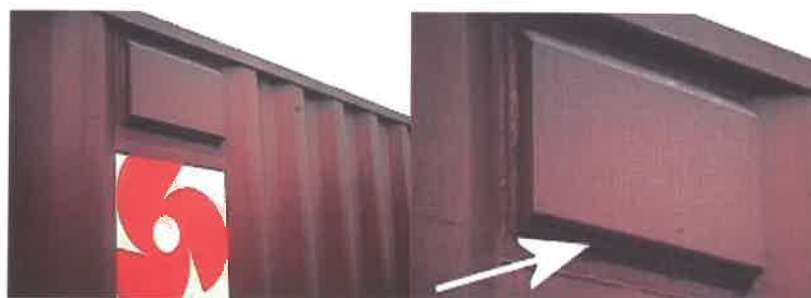
Τα **εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού χωρίς συστήματα εξαερισμού**, μπορούν να έχουν ανοίγματα είτε στο ένα είτε και στα δύο άκρα τους.

Τα δύο εικονιζόμενα στο Σχήμα 2.1.1. εμπορευματοκιβώτια από χάλυβα με φαινομενικά την ίδια κατασκευή μπορούν να θεωρηθούν ως πρότυπα. Και τα δύο έχουν εξωτερικό ύψος 8'6" και δεν έχουν στην βάση τους ειδική εσοχή (gooseneck tunnel) για την τοποθέτησή τους στα ειδικά πλαίσια μεταφοράς (chassis). Και τα δύο έχουν εγκοπές για μεταφορά τους από περionoφόρο όχημα και όχημα πλαίσιο.



Σχήμα 2.1.1.: Μη εξαεριζόμενα εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού
Πηγή: (1)

Τα δύο εικονιζόμενα στο Σχήμα 2.1.1. εμπορευματοκιβώτια από χάλυβα με φαινομενικά την ίδια κατασκευή μπορούν να θεωρηθούν ως πρότυπα. Και τα δύο έχουν εξωτερικό ύψος 8'6" και δεν έχουν στην βάση τους ειδική εσοχή (gooseneck tunnel) για την τοποθέτησή τους στα ειδικά πλαίσια μεταφοράς (chassis). Και τα δύο έχουν εγκοπές για μεταφορά τους από περionoφόρο όχημα και όχημα πλαίσιο.



Σχήμα 2.1.2: Οπές εξαερισμού σε εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού
Πηγή: (1)

Εμπορευματοκιβώτια εξοπλισμένα με εξαερισμό τέτοιου τύπου σαν τον εικονιζόμενο στο Σχήμα 2.1.2, ανήκουν επίσης στην κατηγορία των μη εξαεριζόμενων εμπορευματοκιβωτίων γενικού φορτίου, αν και έχουν μικρούς εξαεριστήρες στο επάνω μέρος του ωφέλιμου χώρου.



Σχήμα 2.1.3: Εμπορευματοκιβώτιο 20' με ξύλινα τοιχώματα και οπές εξαερισμού στο άνω μεταλλικό πλευρικό πλαίσιο.

Πηγή: (1)

Το εικονιζόμενο στο Σχήμα 2.1.3 εμπορευματοκιβώτιο επίσης ανήκει στην παραπάνω κατηγορία των «μη εξαεριζόμενων εμπορευματοκιβωτίων γενικού σκοπού», παρόλο που ανεξάρτητοι αεραγωγοί υπάρχουν κατά μήκος όλου του άνω μεταλλικού πλευρικού πλαισίου.



Σχήμα 2.1.4: Εμπορευματοκιβώτια με ανοίγματα στα δύο άκρα, αλλά και πλήρως ανοιγόμενα πλευρικά ανοίγματα.

Πηγή: (1)

Μία άλλη υποκατηγορία «μη εξαεριζόμενων εμπορευματοκιβωτίων γενικού σκοπού» καθορισμένη κατά DIN EN ISO 4346 (Ιανουάριος 1996) είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 2.1.4. Το εμπορευματοκιβώτιο έχει ανοίγματα στο ένα ή και στα

δύο άκρα του και επιπλέον δυνατότητα πλήρους ανοίγματος και των δύο άλλων πλευρών του, σε όλο τους το μήκος.



Σχήμα 2.1.5: Εμπορευματοκιβώτια με ανοίγματα στα δύο άκρα, αλλά και με μερικά ανοίγματα στις πλευρές.

Πηγή: (1)

Τέλος, μία ακόμα υποκατηγορία αποτελούν τα εμπορευματοκιβώτια που φαίνεται στο Σχήμα 2.1.5, τα οποία έχουν ανοίγματα στο ένα ή και στα δύο άκρα τους και επιπλέον δυνατότητα μερικού ανοίγματος στις δύο άλλες πλευρές τους.



Σχήμα 2.1.6: Σύγκριση μεγάλου ύψους εμπορευματοκιβωτίου (9'6") με εμπορευματοκιβώτιο των 8'6".

Πηγή: (1)

Ο όρος **μεγάλου ύψους εμπορευματοκιβώτια (high-cube container)** αρχικά αναφερόταν σε όλα τα εμπορευματοκιβώτια με ύψος μεγαλύτερο από 8'6". Σήμερα ο όρος αυτός χρησιμοποιείται στην πράξη σχεδόν αποκλειστικά για εμπορευματοκιβώτια με εξωτερικό ύψος ίσο με 9'6". Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να

δοθεί σε πιθανούς περιορισμούς ύψους, όταν τα εμπορευματοκιβώτια αυτά μεταφέρονται στο οδικό ή σιδηροδρομικό δίκτυο. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει η ανάγκη χρήσης ειδικής βάσης ή τρέιλερ.



Σχήμα 2.1.7: Εμπορευματοκιβώτιο χωρίς πλευρικά τοιχώματα.
Πηγή: (1)

Τα εμπορευματοκιβώτια χωρίς πλευρικά τοιχώματα («ανοιχτής πλευράς») (**open-sided containers**) έχουν συμπαγή τοιχώματα στα δύο άκρα και συμπαγή οροφή. Τα πλευρικά τοιχώματα μπορούν να αναδιπλώνονται στο δάπεδο και αποτελούνται από πτυσσόμενα ξύλινα ή χαλύβδινα ελάσματα ή ελάσματα αλουμινίου – τα οποία μπορούν να διαιρούνται σε δύο τμήματα. Τα εμπορευματοκιβώτια αυτά μπορούν να φορτώνονται από την πλαϊνή πλευρά τους (βλ. Σχήμα 2.1.7).

Υπάρχουν επίσης εμπορευματοκιβώτια αυτού του τύπου με δυνατότητα ανοίγματος μόνο της μίας πλευράς. Εάν στην ανοικτή πλευρά τους τοποθετηθούν μεταλλικές ράβδοι, τότε τα εμπορευματοκιβώτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά ζώων.

Όπως είναι εμφανές από το Σχήμα 2.1.7, τα ανοιχτής πλευράς εμπορευματοκιβώτια είναι επίσης διαθέσιμα και με πόρτες στο πίσω μέρος τους.

Τα ανοιχτής οροφής - ανοιχτής πλευράς εμπορευματοκιβώτια (**open-top open-sided containers**) συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο αυτών ειδών εμπορευματοκιβωτίων, π.χ. η οροφή και τα πλευρικά τοιχώματα είναι ανοιχτά και χρειάζεται να καλυφθούν με αδιάβροχο κάλυμμα.

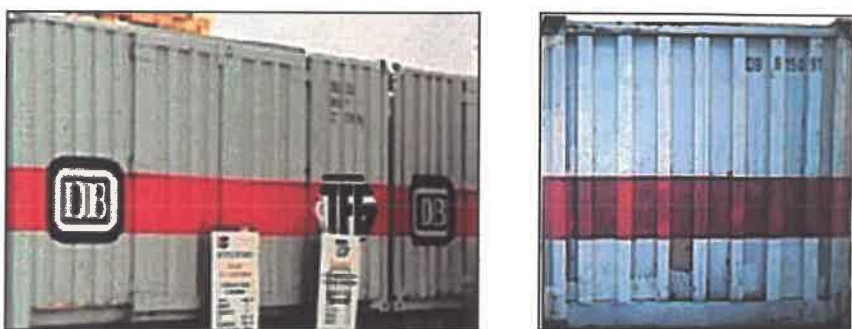
Καθώς τα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια των 8 ποδών αναπτύχθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες για υπερπόντιες μεταφορές, τα εμπορευματοκιβώτια αυτά δεν ήταν κατάλληλα για μεταφορά των παλετών που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και οι οποίες έχουν διαστάσεις 800x1.200mm. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό κατασκευάστηκαν εμπορευματοκιβώτια των 2,50μ., συμβατά με τις παλέτες, τα οποία δεν πρέπει να συγχέονται με τα προϋπάρχοντα εμπορευματοκιβώτια, πλάτους επίσης 2,50μ., για τις εσωτερικές μεταφορές (βλ. Σχήματα 2.1.8, 2.1.9, 2.1.10 και 2.1.11).



Σχήμα 2.1.8: Εμπορευματοκιβώτια 40' συμβατά με παλέτες.
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.9: Εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" με πλευρικές πόρτες.
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.10: Εμπορευματοκιβώτιο 20' και πλάτους 2,50μ. χρησιμοποιούμενο για εσωτερικές μεταφορές από τους Γερμανικούς Σιδηροδρόμους

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.11: Εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" με πόρτες στα δύο άκρα
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.12: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού ειδικά σχεδιασμένο με πλευρικές πόρτες
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.13: Εμπορευματοκιβώτιο πλάτους γενικού σκοπού πλάτους 10'
Πηγή: (1)

Τα εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού με ειδικά χαρακτηριστικά (βλ. Σχήματα 2.1.12 και 2.1.13) προορίζονται για την μεταφορά φορτίων που σε άλλη περίπτωση δεν θα μπορούσαν να μεταφερθούν χωρίς ζημιές. Τα εμπορευματοκιβώτια για κρεμαστά ενδύματα ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία: είναι εξοπλισμένα με ειδικές ράγες για τα ρούχα οι οποίες είναι προσαρμοσμένες σε ειδικές υποστηρικτικές ράβδους. Υφάσματα κρεμασμένα σε κρεμάστρες ενδυμάτων μπορούν να μεταφερθούν σε αυτά τα εμπορευματοκιβώτια.

Τα **παθητικά εξαεριζόμενα εμπορευματοκιβώτια**, ή αλλιώς γνωστά και ως εξαεριζόμενα εμπορευματοκιβώτια, ελάχιστα διαφέρουν εξωτερικά από τα πρότυπα/τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια. Χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την μεταφορά οργανικών φορτίων με μεγάλο ποσοστό υγρασίας, όπως ο καφές και οι σπόροι κακάο. Ειδικός εξοπλισμός εξασφαλίζει όσο αυτό είναι δυνατόν την αποφυγή της ανάπτυξης υγρασίας. Γενικά τα εμπορευματοκιβώτια αυτά ονομάζονται πολύ συχνά ανάλογα με το είδος του φορτίου που μεταφέρουν, για τον λόγο αυτό είναι ευρεία η χρήση του όρου **εμπορευματοκιβώτια καφέ (coffee container)**.

Υπάρχουν δύο βασικές παραλλαγές:

- Εμπορευματοκιβώτια με φυσικό εξαερισμό που χρησιμοποιούν την διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης για την εναλλαγή του αέρα. Ο θερμός αέρας ανεβαίνει ψηλά και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από τις θυρίδες εξαερισμού που υπάρχουν στην οροφή. Ψυχρότερος εξωτερικός αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες που υπάρχουν στο δάπεδο του εμπορευματοκιβωτίου.
- Εμπορευματοκιβώτια με τεχνητό σύστημα εξαερισμού διαθέτουν ανεμιστήρες και αεραγωγούς ή/και σύστημα πτερυγίων ώστε να επιτυγχάνεται η εναλλαγή του αέρα.

Οι ειδικές σχισμές εξαερισμού στα εμπορευματοκιβώτια ή τα ανοίγματα για την είσοδο/έξοδο του αέρα συνήθως κατασκευάζονται σε μορφή λαβυρίνθου ώστε να εμποδίζεται η είσοδος σταγονιδίων ή βροχής. Συχνά υπάρχουν στις πλευρικές δοκούς του πλαισίου του δαπέδου ή της οροφής, που σχηματίζουν φυσικούς αεραγωγούς. Μερικές φορές εξαερισμός εξασφαλίζεται και από ειδικές διάτρητες περιοχές σε κοντινές αποστάσεις στο εξωτερικό περίβλημα του εμπορευματοκιβωτίου (βλ. Σχήματα 2.1.14 και 2.1.15).

Το DIN EN ISO 6346 (Ιανουάριος 1996) κατατάσσει τα εξαεριζόμενα εμπορευματοκιβώτια υπό τον κωδικό V, δίνοντας σε αυτά τους κωδικούς κατηγορίας VH ή V0, V2 ή V4. Διάκριση γίνεται μεταξύ τους ως εξής:

- Εμπορευματοκιβώτια με μη-μηχανικό εξαερισμό στα κατώτερα και ανώτερα μέρη του χώρου του φορτίου.
- Εμπορευματοκιβώτια με μηχανικό εξαερισμό εγκατεστημένο μέσα στο εμπορευματοκιβώτιο.
- Εμπορευματοκιβώτια με μηχανικό εξοπλισμό εγκατεστημένο στο εξωτερικό του εμπορευματοκιβωτίου (βλ. Σχήμα 2.1.16).



Σχήμα 2.1.14: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού με μη-μηχανικό εξαερισμό
Πηγή: (1)



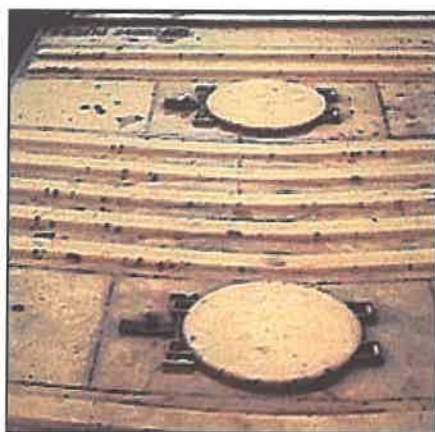
Σχήμα 2.1.15: Εμπορευματοκιβώτιο με μη-μηχανικό εξαερισμό στα ανώτερα και κατώτερα τμήματά του
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.16: Εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού με μηχανικό εξαερισμό εγκατεστημένο σε αυτό
Πηγή: (1)

2.1.3.2. Εμπορευματοκιβώτια ξηρού χύδην φορτίου

Τα εμπορευματοκιβώτια ξηρού χύδην φορτίου χρησιμοποιούνται για την μεταφορά χύδην αγαθών, που έχουν τη δυνατότητα να ρέουν ελεύθερα. Το DIN EN ISO 6346 (Ιανουάριος 1996) διακρίνει, υπό τον κωδικό B (κατηγορίες με κωδικούς BU και BK ή και με άλλους κωδικούς), διάφορους τύπους εμπορευματοκιβωτίων κλειστών ή αεροστεγών, μη ανθεκτικών στη πίεση ξηρού χύδην φορτίου, καθώς και εμπορευματοκιβωτίων ξηρού χύδην φορτίου, με ποικίλες δυνατότητες εκκένωσης του φορτίου και ανθεκτικών σε πίεση 150kPa και 265kPa.



Σχήμα 2.1.17: Εμπορευματοκιβώτιο ξηρού χύδην φορτίου με καταπακτή φόρτωσης
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.18: Εμπορευματοκιβώτιο ξηρού χύδην φορτίου με θυρίδα εκκένωσης
Πηγή: (1)

Εξωτερικά, τα εμπορευματοκιβώτια ξηρού χύδην φορτίου είναι πανομοιότυπης κατασκευής με τα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια, εκτός από τις καταπακτές φόρτωσης στην οροφή και τις θυρίδες εκκένωσης κοντά στο δάπεδο (βλ. Σχήματα 2.1.17 και 2.1.18).



Σχήμα 2.1.19: Πλαίσιο με εξοπλισμό εκκένωσης του εμπορευματοκιβωτίου στο άκρο του

Πηγή: (1)

Ορισμένα ειδικά εμπορευματοκιβώτια ξηρού χύδην φορτίου ομοιάζουν αρκετά με εμπορευματοκιβώτια-βυτία. Εκτός από το σύστημα εκκένωσης με βαρύτητα, μερικά εμπορευματοκιβώτια μπορούν να εκκενωθούν με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα.



Σχήμα 2.1.20: Εμπορευματοκιβώτιο χύδην φορτίου με εξοπλισμό εκκένωσης με πεπιεσμένο αέρα

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.21: Εμπορευματοκιβώτιο χύδην φορτίου
Πηγή: (1)

Με την προσθήκη μεμβρανών στεγανοποίησης ή εσωτερικής επένδυσης, τα εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως εμπορευματοκιβώτια χύδην φορτίου (βλ. Σχήμα 2.1.22).



Σχήμα 2.1.22: Εσωτερικές επενδύσεις σε εμπορευματοκιβώτιο γενικού σκοπού για μεταφορά χύδην φορτίου

Πηγή: (1)

2.1.3.3. Εμπορευματοκιβώτια συγκεκριμένου φορτίου

Το DIN EN ISO του Ιανουαρίου 1996 καθορίζει υπό τον κωδικό S και τον κωδικό ομάδας SN τα **εμπορευματοκιβώτια συγκεκριμένου φορτίου** («named cargo containers»). Παραδείγματα αποτελούν τα εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς ζώων (κωδικός S0), μεταφοράς αυτοκινήτων (κωδικός S1), καθώς και μεταφοράς ζωντανών ψαριών (κωδικός S2).

2.1.3.4. Θερμικά/Κλιματιζόμενα εμπορευματοκιβώτια

Τα θερμικά εμπορευματοκιβώτια (*thermal containers*) χωρίζονται σε ψυχόμενα (*refrigerated*), ψυχόμενα/θερμαινόμενα (*refrigerated/heated*) και σε απλώς θερμομονωμένα (*insulated*). Διάκριση επίσης γίνεται και μεταξύ εκείνων με μόνιμο ή αποσπώμενο εξοπλισμό. Τα ψυχόμενα ή θερμαινόμενα εμπορευματοκιβώτια επιτρέπουν στα αγαθά να μεταφέρονται ανεξάρτητα από τις συνθήκες περιβάλλοντος. Ο όρος ψυχόμενο εμπορευματοκιβώτιο έχει καθιερωθεί ακόμα και αν το εμπορευματοκιβώτιο μπορεί να θερμαίνεται και μάλιστα ο ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος για εμπορευματοκιβώτια τέτοιου τύπου είναι *reefers*. Ο ακριβής όρος που τα περιγράφει είναι «εμπορευματοκιβώτια ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας».



Σχήμα 2.1.23: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένη μονάδα ψύξης
Πηγή: (1)



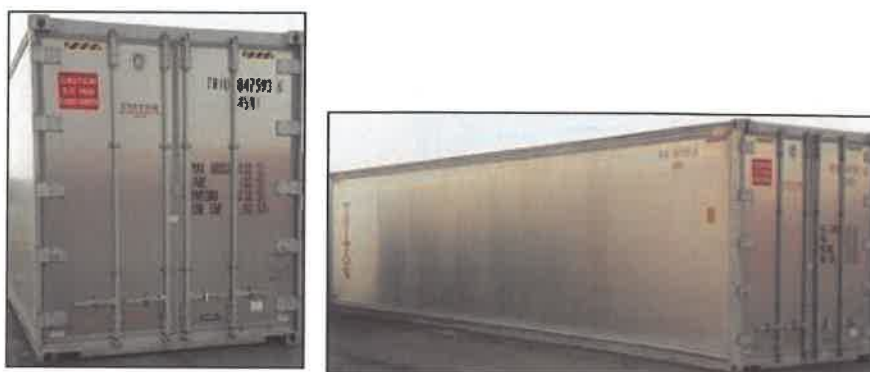
Σχήμα 2.1.24: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένη μονάδα ψύξης
Πηγή: (1)

Ανάλογα με την κατασκευή του εμπορευματοκιβωτίου, ολόκληρο το εξωτερικό περίβλημα μπορεί να είναι μονωμένο, μειώνοντας έτσι τον ωφέλιμο χώρο στο εσωτερικό του εμπορευματοκιβωτίου. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 1496/2, το εσωτερικό πλάτος του εμπορευματοκιβωτίου πρέπει να είναι 2200mm. Το δάπεδο του reefer είναι συνήθως κατασκευασμένο από ελάσματα αλουμινίου σχήματος T. Το δάπεδο είναι αρκετά ισχυρό ώστε να επιτρέπει την κίνηση περνοφόρων οχημάτων.



Σχήμα 2.1.25: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο 20'x8'6" ψυχόμενο/θερμαινόμενο μηχανικά

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.26: Θερμικό εμπορευματοκιβώτιο 40'x9'6" ψυχόμενο/θερμαινόμενο μηχανικά

Πηγή: (1)

Η θερμοκρασία των θερμομονωμένων εμπορευματοκιβωτίων μπορεί επίσης να ελέγχεται από μονάδες ψύξης/θέρμανσης εγκατεστημένες στο εξωτερικό του εμπορευματοκιβωτίου (βλ. Σχήμα 2.1.25). Τα θερμομονωμένα εμπορευματοκιβώτια

εξωτερικά μοιάζουν με τα συνήθη εμπορευματοκιβώτια, αλλά εσωτερικά φέρουν επένδυση από θερμομονωτικό υλικό, το οποίο τις περισσότερες φορές είναι πολυουρεθάνη (βλ. Σχήμα 2.1.26). Το πάχος 50-100mm των τοιχωμάτων λόγω της προαναφερθείσας επένδυσης μειώνει τον ωφέλιμο χώρο στο εσωτερικό, σε σύγκριση με τα κανονικά – μη μονωμένα – εμπορευματοκιβώτια. Η μόνωση σκοπό έχει να προστατεύει το φορτίο από απότομες μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό, σε περίπτωση που απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας ή ψύξη, μπορούν να προστεθούν κατάλληλα ψυκτικά μέσα. Ο πάγος χρησιμοποιείται πλέον σπάνια δεδομένου ότι απαιτεί ειδικά κιβώτια για την τοποθέτησή του. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται ξηρός πάγος. Μία άλλη μέθοδος μόνωσης είναι η αξιοποίηση υγροποιημένων αερίων. Εμπορευματοκιβώτια τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως για την μεταφορά φορτίων ευαίσθητων στην ζέστη.

Οι παραπάνω τύποι εμπορευματοκιβωτίων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν χωρίς μηχανισμούς θέρμανσης και ψύξης. Καθώς οι διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας λόγω της κατασκευής είναι βραδείς σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία, τέτοια εμπορευματοκιβώτια είναι ιδανικά για την μεταφορά συγκεκριμένων αγαθών.

Η θέρμανση ή/και ψύξη μπορεί να εξασφαλιστεί με τα εξής μέσα:

- Συμπιεστές κινούμενους από ηλεκτρικά μοτέρ
- Συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης
- Εξωτερικά παραγόμενο κρύο ή ζεστό αέρα

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία μηχανών ψύξης/θέρμανσης παρέχεται από σύστημα παροχής ενέργειας στη ξηρά ή στο πλοίο (βλ. Σχήμα 2.1.27) ή από ανεξάρτητη γεννήτρια που λειτουργεί με μηχανή εσωτερικής καύσης. Διάκριση γίνεται ανάμεσα στις γεννήτριες που είναι μόνιμα τοποθετημένες στο εμπορευματοκιβώτιο και στις αποσπώμενες που προσαρμόζονται προσωρινά ανάλογα με τις ανάγκες (βλ. Σχήμα 2.1.28 και 2.1.29).



Σχήμα 2.1.27: Ολοκληρωμένο σύστημα ψύξης/θέρμανσης για σύνδεση προς παροχή ενέργειας στη ξηρά ή στο πλοίο

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.28: Μονάδες προσαρμοζόμενες προσωρινά σε θερμικά εμπορευματοκιβώτια

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.29: Θερμικό μονωμένο εμπορευματοκιβώτιο με εξωτερική μονάδα παροχής ενέργειας

Πηγή: (1)

2.1.3.5. Εμπορευματοκιβώτια ανοικτής οροφής

Τα εμπορευματοκιβώτια ανοικτής οροφής είναι κατάλληλα για όλους σχεδόν τους τύπους φορτίων αλλά κυρίως για βαριά, με μεγάλο ύψος φορτία. Καθώς η οροφή τους είναι ανοιγόμενη μπορούν να φορτώνονται και από αυτήν. Έχουν πόρτες τουλάχιστον στο πίσω μέρος και η οροφή τους είναι είτε ανοιγόμενη είτε αποσπώμενη και αποτελείται είτε από πλαστικό κάλυμμα είτε από τοξωτά πλαίσια ή ακόμα και από συμπαγές πλήρως όμως αποσπώμενο κάλυμμα. Τα τοξωτά πλαίσια οροφής χρησιμεύουν τόσο στο να υποστηρίζουν και να συγκρατούν το πλαστικό κάλυμμα, όσο και στο να σταθεροποιούν όλο το εμπορευματοκιβώτιο (βλ. Σχήμα 2.1.30 και 2.1.31). Για τον λόγο αυτό τέτοιου είδους εμπορευματοκιβώτια είναι εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από χάλυβα ούτως ώστε όλη η κατασκευή να είναι ικανοποιητικά άκαμπτη παρ' όλη την απουσία οροφής.



Σχήμα 2.1.30: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής με κάλυμμα και τοξωτά πλαίσια

Πηγή: (1)



Σχήμα 2.1.31: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής χωρίς κάλυψη οροφής

Πηγή: (1)

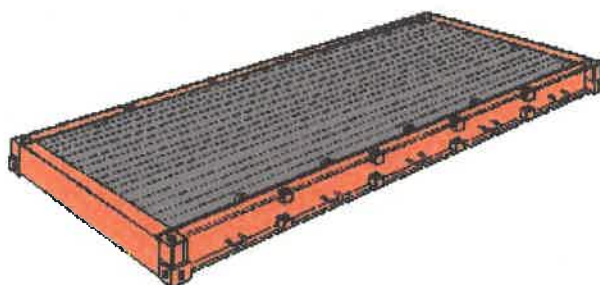
Αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη εμπορευματοκιβωτίων ανοικτής οροφής αλλά με ύψος μισό από τις διαστάσεις που ορίζει το ISO, δηλαδή με διαστάσεις 20' (ή 40') x 8' x 4'3" (βλ. Σχήμα 2.1.32).



Σχήμα 2.1.32: Εμπορευματοκιβώτια ανοικτής 20' και 40', με και χωρίς κάλυμμα
Πηγή: (1)

2.1.3.6. Εμπορευματοκιβώτια τύπου πλατφόρμας-βάσης

Τα εμπορευματοκιβώτια τύπου πλατφόρμας αποτελούνται από ενισχυμένα δάπεδα με ελάσματα χάλυβα ή σανίδωμα και φέρουν μεγάλο αριθμό σημείων πρόσδεσης για την εξασφάλιση των μεταφερόμενων φορτίων. Συνήθως οι βάσεις έχουν ύψος 1'14" (βλ. Σχήμα 2.1.33).



Σχήμα 2.1.33: Πλατφόρμα μήκους 20', πλάτους 8' και ύψους 1'14"
Πηγή: (1)

Σε συμφωνία με τις ναυτιλιακές εταιρείες είναι δυνατός ο συνδυασμός δύο βάσεων για τον σχηματισμό μεγαλύτερων βάσεων για την μεταφορά υπερμεγεθών αγαθών. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και συντονισμός μεταξύ του πλοίου, της ναυτιλιακής εταιρείας και του διαχειριστή του λιμανιού για την καλύτερη εξυπηρέτηση τέτοιων φορτίων. Όταν είναι άδειες οι βάσεις αυτές

μπορούν να στοιβαχθούν για την εξοικονόμηση χώρου κατά την μεταφορά τους. Στα πλοία τοποθετούνται στην κορυφή των στοιβών, καθώς δεν έχουν την δυνατότητα να στοιβαχθούν όπως τα κοινά εμπορευματοκιβώτια. Συνήθως οι βάσεις μήκους 20' έχουν ύψος 335 mm (1'14"), ενώ πλατφόρμες μήκους 40' έχουν ύψος 610 mm (2").



Σχήμα 2.1.34: Πλατφόρμα τύπου flatrack μήκους 20' με σταθερά τοιχώματα στα άκρα

Πηγή: (1)

Επίσης υπάρχουν τα λεγόμενα flatracks, δηλαδή εμπορευματοκιβώτια αποτελούμενα από τις πόρτες και το δάπεδο (βλ. Σχήμα 2.1.34).

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα τα τοιχώματα-πόρτες του εμπορευματοκιβωτίου να είναι πτυσσόμενα. Τα παραπάνω εμπορευματοκιβώτια μπορούν να καταταχθούν και στην κατηγορία «open-top open-sided containers». Το πλεονέκτημα των τελευταίων είναι ότι αφού ξεφορτωθούν τα άδεια μπορούν να στοιβαχθούν το ένα πάνω από το άλλο για την εξοικονόμηση χώρου κατά την μεταφορά. Μία κατηγορία αυτών των εμπορευματοκιβωτίων είναι τα κατάλληλα διαμορφωμένα εμπορευματοκιβώτια με πτυσσόμενους τοίχους και δάπεδο με ειδικές εγκοπές και ανοίγματα για την μεταφορά ρολών (βλ. Σχήμα 2.1.35).



Σχήμα 2.1.35: Εμπορευματοκιβώτιο μεταφοράς ρολών
Πηγή: (1)

2.1.3.7. Εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς υγρού χύδην φορτίου

Τα εμπορευματοκιβώτια αυτά χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγρών και αερίων. Τα χαρακτηριστικά των ουσιών που καλούνται να μεταφέρουν καθορίζουν και το υλικό κατασκευής τους, ενώ η πίεση υπό την οποία μεταφέρεται το φορτίο επηρεάζει την κατασκευή του εμπορευματοκιβωτίου. Σχεδόν πάντα έχουν μία χαλύβδινη βάση στην οποία τοποθετείται η δεξαμενή/βυτίο. Στα βυτία με ειδικές ανάγκες θέρμανσης/ψύξης είναι δυνατή η προσαρμογή μηχανών ψύξης-θέρμανσης εξωτερικά. Με αυτού του είδους τα εμπορευματοκιβώτια είναι δυνατή η μεταφορά κάθε είδους φορτίου, από εντελώς ακίνδυνο έως επικίνδυνο. Η μεταφορά τροφίμων απαιτεί ειδική ένδειξη στο εξωτερικό.



Σχήμα 2.1.36: Εμπορευματοκιβώτιο-βυτίο μεταφοράς μη επικίνδυνων υγρών
Πηγή: (1)

Τα εμπορευματοκιβώτια με ύψος το μισό από το οριζόμενο κατά ISO χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υψηλής πυκνότητας υγρών τα οποία δεν μπορούν να φορτωθούν σε κανονικά tank containers γιατί δεν μπορούν να καταλάβουν όλο τον ωφέλιμο χώρο και συνεπώς υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας εσωτερικών κυματισμών μέσα στο βυτίο κατά την μεταφορά. Τα εμπορευματοκιβώτια που προορίζονται για την μεταφορά υγροποιημένων αερίων καθώς και υγρών πρέπει να είναι γεμάτα τουλάχιστον κατά 80% για λόγους ασφαλείας και όχι περισσότερο από 95% για να μην εμποδίζεται η θερμική διαστολή των ουσιών (thermal expansion).



Σχήμα 2.1.37: Εμπορευματοκιβώτιο-βυτίο μεταφοράς μισού ύψους
Πηγή: (1)

2.1.4. Εξελίξεις της αγοράς εμπορευματοκιβωτίων στην τελευταία δεκαετία

Η χρηματοπιστωτική κρίση όπως αυτή εξελίχθηκε το 2008 με κορύφωση το τέταρτο τρίμηνο της ίδιας χρονιάς, καθώς και οι γενικευμένες προοπτικές για ύφεση, όπως ήταν αναμενόμενο επηρέασαν και την βιομηχανία παραγωγής εμπορευματοκιβωτίων, όπως φάνηκε από τα πρώτα στοιχεία του 2009 που έχουν δημοσιευθεί μέχρι τώρα.

Το 2008 ξεκίνησε με ολοένα και αυξανόμενο στόλο εμπορευματοκιβωτίων για τα τρία πρώτα τέταρτα του έτους. Από τον Οκτώβριο όμως, με τα πρώτα αποτελέσματα της κρίσης να διαφαίνονται, η παραγωγή εμπορευματοκιβωτίων άρχισε να μειώνεται. Ένας κρίσιμος δείκτης της συνεχώς μειούμενης ζήτησης ήταν η έλλειψη παραγγελιών μετά από το τρίτο τρίμηνο του 2008, παρ' όλες τις ήδη υπάρχουσες τότε παραγγελίες για νέα πλοία ή εμπορευματοκιβώτια.

Η προαναφερθείσα κατάσταση έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες καταγραφές για ύφεση στην αγορά και κατασκευή εμπορευματοκιβωτίων το 2005, καθώς και το 2001, όταν οι αποθήκες των κατασκευαστών γέμισαν από κενά καινούρια εμπορευματοκιβώτια και η αγορά σταμάτησε να απορροφά τις νέες παραγγελίες. Κατά την ύφεση του 2005, περισσότερα από ένα εκατομμύριο TEU εμπορευματοκιβωτίων έμειναν αναξιοποίητα, ενώ κατά την κρίση του 2008 ο αντίστοιχος αριθμός ανερχόταν σε λιγότερο από 500.000 TEU, με τον αριθμό αυτό να μην έχει μεταβληθεί σημαντικά από το προηγούμενο της ύφεσης έτος, όσο ακόμα η αγορά ήταν δυναμική. Εν ολίγοις, η τελευταία μείωση της παραγωγής οφειλόταν κυρίως στη δραματική μείωση της ζήτησης.

Από το 2006 μέχρι και τα πρώτα τρία τέταρτα του 2008 η παγκόσμια παραγωγή εμπορευματοκιβωτίων ξεπέρασε τα 8 εκατομμύρια TEU, οπότε και αναλογούσαν περίπου 2 εκατομμύρια TEU ανά εξάμηνο για τα τέσσερα αυτά εξάμηνα. Την παράδοση 3,1 εκατομμυρίων TEU το 2006 ακολούθησαν 4,25 εκατομμύρια το 2007. Για το 2008 τα στοιχεία αναφέρουν παραγωγή/παράδοση 3,5 εκατομμυρίων TEU, το 60% των οποίων παραδόθηκε το πρώτο εξάμηνο.

Παρόλο το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κατασκευή εμπορευματοκιβωτίων με ειδικές προδιαγραφές, τα πρότυπα κιβώτια ξηρού φορτίου κυριάρχησαν στις αγορές. Αυτά αναλογούν στο 90% του συνολικού αριθμού TEU που κατασκευάστηκαν το 2006-2007. Ακόμα όμως και κατά την διάρκεια του 2008 αρκετές εταιρείες παρέδωσαν παραγγελίες ειδικού τύπου εμπορευματοκιβώτια ένα ποσοστό 5-6% αποτέλεσαν τα reefers, ένα επιπλέον 5% κατασκευάστηκε είτε σαν ειδικό για ξηρά φορτία είτε για τις ανάγκες εγχώριας χρήσης και μόλις ένα ποσοστό επί τις εκατό αποτελούσαν τα high-value tanks.

Η παραγωγή των θερμικών εμπορευματοκιβωτίων διατηρήθηκε κατά το 2008 με μερικούς προμηθευτές ακόμα να αντιμετωπίζουν πίεση για την κάλυψη των αναγκών. Παρομοίως και η παραγωγή εμπορευματοκιβωτίων μεταφοράς χύδην φορτίων διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, υποστηριζόμενη και από μία αύξηση ρεκόρ στην τιμή με περισσότερο από US\$30.000/20ft. Επιπλέον, η συνολική παραγωγή εμπορευματοκιβωτίων ειδικών προδιαγραφών ενισχύθηκε με αύξηση περίπου κατά 200.000 TEU/έτος από το 2005 και εφεξής.

Η γενικευμένη ρευστότητα στις αγορές την διετία 2006-2007 (και λίγο μέσα στο 2008) πυροδοτήθηκε από μία σημαντική αύξηση του στόλου των διαθέσιμων εμπορευματοκιβωτίων – υπερβαίνοντας το 10% ανά έτος - και από μία πρωτοφανή ναύλωση πλοίων από υπερπόντιους μεταφορείς. Από το 2008 τα ναυπηγεία είχαν ήδη παραγγελίες μέχρι το 2012-13 για να καλυφθεί η ζήτηση μέχρι 6 εκατομμυρίων TEU επιπλέον.

Οι μεγαλύτεροι υπερπόντιοι μεταφορείς πολλαπλασίασαν την αγορά εμπορευματοκιβωτίων για τον στόλο τους στο διάστημα 2006-2007 με αποτέλεσμα η βιομηχανία ενουκίασης του εξοπλισμού αυτού να παγώσει. Η επιθυμία τους όμως αυτή για αγορά των εμπορευματοκιβωτίων μειώθηκε το 2008 με την αρχή της

χρηματοπιστωτικής κρίσης. Συνεπώς άρχισε πάλι μία στροφή στην ενοικίαση του εξοπλισμού, με αποτέλεσμα το 2008 το 45% των διαθέσιμων TEU να προέρχεται από ενοικίαση, σε αντίθεση με την διετία 2006-2007 που στους πλοιοκτήτες αναλογούσε μέχρι και το 60% του διεθνούς στόλου TEU.

Η αυξανόμενη τιμή του χάλυβα, που έφτασε στα μεγαλύτερα επίπεδά της τον Αύγουστο του 2008, οδήγησε σε αύξηση και τις τιμές αγοράς των εμπορευματοκιβωτίων, καθώς αυτός αποτελεί περίπου το 55-60% της τελικής αξίας του εμπορευματοκιβωτίου. Όμως σταδιακά η τιμή του χάλυβα άρχισε να μειώνεται με αποτέλεσμα και η τιμή των εμπορευματοκιβωτίων να φτάσει τα \$2.300/TEU τον Οκτώβριο του 2008 από \$2.600/TEU τον Αύγουστο. Οι κατασκευαστές όμως, έχοντας ήδη απόθεμα από τον ακριβότερο χάλυβα που είχαν αγοράσει τους προηγούμενους μήνες, δεν μπόρεσαν να επωφεληθούν από την πτώση της τιμής του. Έτσι από τη μία πλευρά οι συνεχείς πιέσεις των καταναλωτών για μείωση των τιμών με σκοπό την προσέλκυση πελατών και από την άλλη το ακριβό αποθεματικό που έπρεπε να χρησιμοποιήσουν, ελλόχευε τον κίνδυνο να δουλεύουν κάτω του κόστους με αποτέλεσμα κάποια εργοστάσια να κλείσουν προσωρινά, ενώ άλλα να μειώσουν τον χρόνο και τις βάρδιες λειτουργίας τους.

2.2. ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

2.2.1. Κατηγοριοποίηση πλοίων

Υπάρχουν πολλοί τρόποι και κριτήρια για την ομαδοποίηση και κατάταξη των πλοίων σε κατηγορίες. Παρ' όλα αυτά στις θαλάσσιες μεταφορές συχνότερα γίνεται η κατηγοριοποίηση των πλοίων με βάση τον τρόπο διακίνησης των φορτίων. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Lo-Lo (lift-on/lift-off)
- Ro-Ro (roll-on/roll-off)
- Sto-Ro (stow and roll)
- Flo-Flo (float-on/float-off)
- Truck-to-truck
- Loft-and-roll
- Wo-Wo (walk-on/walk-off)

Επίσης γίνεται κατηγοριοποίηση των πλοίων με βάση το είδος του φορτίου που μεταφέρουν, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.2.1:

Τύπος Εμπορικού Πλοίου	Δομή
<u>Υγρών φορτίων</u> Δεξαμενόπλοια Χημικά Δεξαμενόπλοια Δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένων αερίων	- Δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου - Δεξαμενόπλοια προϊόντων αργού - Δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών - Διάφορα - Χημικά Δεξαμενόπλοια - Μεταφορείς Φυσικού Αερίου - Μεταφορείς Αερίων Πετρελαίου - Μεταφορείς διαφόρων τύπων αερίων
<u>Ξηρών φορτίων</u> Μεταφορείς Χύδην Φορτίου	- Μεταφορείς Ορυκτών - Μεταφορείς διαφόρων ειδών χύδην φορτίου - Ore/Bulk/Oil Carriers - Ore/Oil Carriers

OBO Carriers	- Bulk/Oil Carriers
<u>Άλλα είδη ξηρού φορτίου</u>	
Πλοία Γενικού Φορτίου	- Με ένα κατάστρωμα (single-deck ships) - Με πολλαπλά καταστρώματα (Multi-deck ships) - Πλοία Ψυγεία (Reefer ships) - Ειδικά Πλοία - Οχηματαγωγά Πλοία (Ro Ro)
Κιβωτιοφόρα Πλοία	- Πλήρως Κιβωτιοφόρα Πλοία (Full Container Ships) - Επιβατηγά Πλοία - Μεταφοράς Φορτίων/Οχηματαγωγά επιβατηγά πλοία
Επιβατηγά και Μεταφοράς Φορτίων Επιβατηγά Πλοία	

Πίνακας 2.2.1: Κατηγοριοποίηση πλοίων με βάση το είδος του φορτίου που μεταφέρουν

Στον Πίνακα 2.2.2 που ακολουθεί δίνεται η κατηγοριοποίηση των πλοίων με βάση την UNCTAD.

Τύποι Εμπορικών Πλοίων	Βασικές Υποκατηγορίες
Πλοία μεταφοράς υγρών φορτίων-δεξαμενόπλοια (oil tankers)	-
Πλοία μεταφοράς στερεών χύδην φορτίων (bulk carriers)	Πλοία μεταφοράς ορυκτών (Ore/Bulk carriers)
Πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου (general cargo)	Πλοία μεταφοράς κατεψυγμένων φορτίων (refrigerated cargo)
	Πλοία μεταφοράς επιβατών και γενικού φορτίου (general cargo/passenger)
Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships)	Πλήρως Κυψελωτά
Υπόλοιποι τύποι πλοίων (other ships)	Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG carriers)
	Αλιευτικά Πλοία

	Πλοία Μεταφοράς Υγρών Χύδην Χημικών Φορτίων (chemical tankers)
	Πλοία παράκτιας τροφοδοσίας (offshore supply ships)
	Αμιγώς Επιβατηγά Πλοία (Passenger ships)

Πίνακας 2.2.2: Κατηγοριοποίηση πλοίων με βάση το Review of Maritime Transport 2009, UNCTAD

2.2.2. Ιστορική αναδρομή στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Η μοναδοποίηση στα φορτία οδήγησε στην ανάγκη για διαμόρφωση ειδικών χώρων στοιβασίας και ασφαλούς μεταφοράς των μοναδοποιημένων φορτίων και συνεπώς στη ναυπήγηση πλοίων με ιδιαίτερη μορφή και προδιαγραφές αποκλειστικά για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων.

Το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ήταν όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.1 το “Ideal X”, μία φορτηγίδα της οποίας το κατάστρωμα ήταν κατάλληλα διαμορφωμένο για την τοποθέτηση και ασφάλιση σε συγκεκριμένες θέσεις των 58 βάσεων τρέιλερ που αυτή μετέφερε στο παρθενικό της ταξίδι το 1957 από το Νιούαρκ της Νέας Υόρκης στο Χιούστον του Τέξας. Η καινοτομία του πλοίου αυτού ήταν ότι δεν ήταν απαραίτητη η μεταφόρτωση των προϊόντων από τα χερσαία μέσα μεταφοράς τους στο πλοίο και αντίστροφα.

Το 1960 ο ιδρυτής και εμπνευστής τόσο της ιδέας της μοναδοποίησης όσο και του πρώτου πλοίου για την μεταφορά των μοναδοποιημένων φορτίων, ο Malcolm McLean, μετονόμασε την εταιρεία του σε Sea-Land Service. Παρόλο που τόσο το “Ideal X”, όσο και άλλα κατάλληλα διαμορφωμένα δεξαμενόπλοια που ανήκαν στην αρχική εταιρεία του McLean, την Pan Atlantic, ο βασικός σχεδιασμός που χαρακτηρίζει τα σύγχρονα εμπορευματοφόρα-κιβωτιοφόρα κατά Αμπακούμκιν-πλοία εισήχθη για πρώτη φορά το 1957. Στις 4 Οκτωβρίου 1957 το πλοίο της Pan Atlantic με την ονομασία «Gateway City» κατευθύνθηκε από το λιμάνι του Νιούαρκ στο Μαϊάμι. Επρόκειτο για ένα πλοίο που μετέφερε εμπορεύματα κατά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, το οποίο επανασχεδιάστηκε από την αρχή για την στοιβασία

εμπορευματοκιβωτίων στον υπό το κατάστρωμα διαμορφωμένο χώρο – στο κήτος – όπως επίσης και στο κατάστρωμα, ως φορτίο καταστρώματος. Το μήκους 450 ποδών “Gateway City” μπορούσε να μεταφέρει 226 εμπορευματοκιβώτια σε αντίθεση με το 524 ποδών “Ideal X” που μπορούσε να μεταφέρει μόνο 58. Έτσι η Sea-Land Service ήταν η πρώτη εταιρεία που ανέπτυξε τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με την μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα, και πιο συγκεκριμένα με ένα deck house τοποθετημένο στην πρύμνη του καραβιού, μία ανοιχτή περιοχή εκτεινόμενη από το deck house μέχρι και την πλώρη, στην οποία υπήρχαν ειδικές εσοχές για την τοποθέτηση και εξασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων έναντι μετακίνησης, καθώς και ειδικό χώρο κάτω από το deck house για την τοποθέτηση επιπλέον εμπορευματοκιβωτίων.

Το 1972 η Sea-Land παρέδωσε για χρήση 8 νέα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, τα SL-7s, με ταχύτητα που έφτανε τους 33 κόμβους, ήταν δηλαδή 10-15 κόμβους ταχύτερα από οποιοδήποτε άλλο εμπορευματοφόρο-κιβωτιοφόρο πλοίο της εποχής, και με ικανότητα μεταφοράς περισσότερων των 1000 εμπορευματοκιβωτίων.

Η διαμόρφωση του πλοίου, με την μορφή που αυτό διατηρεί μέχρι και σήμερα, βασίστηκε στον διαχωρισμό, με χρήση διαφραγμάτων, του κύτους του πλοίου σε κυψέλες κατάλληλες για την προστασία και αντιστήριξη των μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων.

Η ανάπτυξη του πλοίου για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων προσέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα. Το φορτίο ήταν ασφαλώς φορτωμένο στην βάση μεταφοράς του (τρέιλερ) από το σημείο προέλευσής του, με σφραγισμένες τις πόρτες και δελτίο αποστολής για το λιμάνι προορισμού. Με τον τρόπο αυτό παρέμενε ασφαλές καθ’ όλη την αναμονή μέχρι τη φόρτωσή του στο πλοίο. Το γεγονός ότι τα εμπορεύματα μεταφορτώνονταν στο πλοίο με γερανούς μείωσε δραματικά τον χρόνο φορτοεκφόρτωσης από ημέρες και εβδομάδες σε ώρες. Επιπλέον ο ναυλωτής επωφελούνταν από την μείωση στα περιστατικά κλοπών και καταστροφής του φορτίου και ο διαχειριστής του πλοίου επωφελούνταν από την πιο αποτελεσματική χρήση τόσο του πλοίου του όσο και του απαιτούμενου προσωπικού.

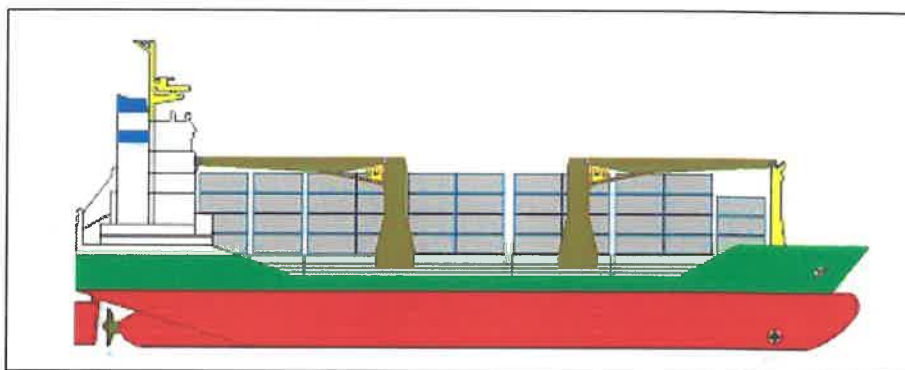
2.2.3. Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-Κιβωτιοφόρα (container ships)

Στην αρχή της διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων τα περισσότερα από αυτά μεταφέρονταν με μετασκευασμένα συμβατικά **πλοία γενικού φορτίου** (βλ. Σχήμα 2.2.1). Τα πρώτα αυτά πλοία ήταν κατασκευασμένα για την μεταφορά ξηρού φορτίου. Τα πλοία αυτά δεν κατασκευάζονται πλέον.



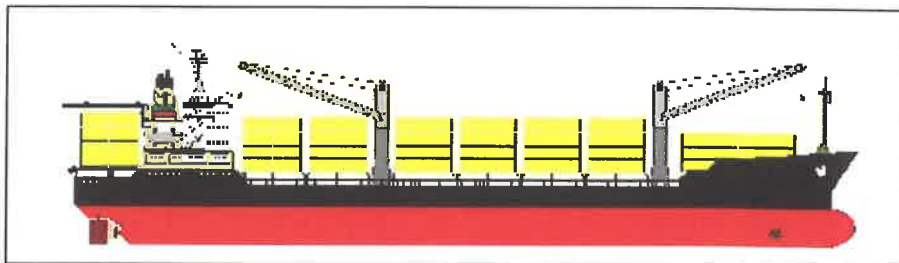
Σχήμα 2.2.1: Πλοίο γενικού φορτίου
Πηγή: (1)

Τα **σύγχρονα πλοία γενικού φορτίου** ναυπηγούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιήσουν διάφορες μεταφορικές λειτουργίες. Εκτός από τον εξοπλισμό που έχουν για την μεταφορά των γενικών φορτίων, έχουν και την δυνατότητα να μεταφέρουν και εμπορευματοκιβώτια. Τέτοιου είδους πλοία συνήθως είναι ανοικτής κατασκευής, δηλαδή τα καλύμματα των αμπαριών είναι πολύ μεγάλα συγκριτικά με το κατάστρωμα. Αυτό διασφαλίζει ότι οι ανυψωτικοί μηχανισμοί μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση τόσο στα εμπορευματοκιβώτια όσο και στο γενικό φορτίο που μπορεί να μεταφέρει, ή τουλάχιστον η πρόσβαση να διευκολύνεται σε τέτοιο βαθμό που να αποφεύγεται όσο είναι δυνατόν η στοιβάσια/αποθήκευση στα μέρη του αμπαριού κάτω από το κατάστρωμα (βλ. Σχήμα 2.2.2).



Σχήμα 2.2.2: Πλοίο γενικού φορτίου που μεταφέρει και εμπορευματοκιβώτια
Πηγή: (1)

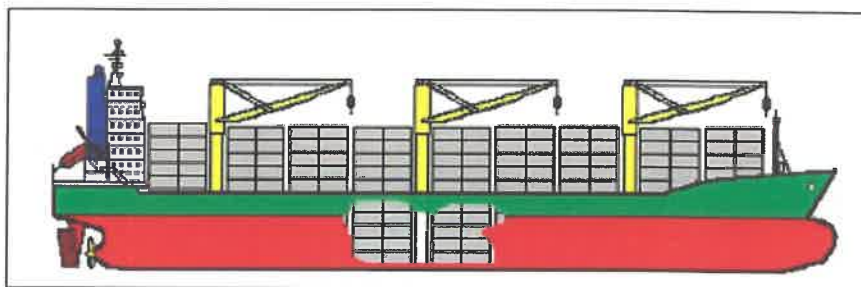
Επίσης υπάρχουν τα **semi-container vessels** τα οποία είναι κατάλληλα για την μεταφορά τόσο εμπορευματοκιβωτίων όσο και γενικού φορτίου ταυτόχρονα. Αυτά τα πλοία συνήθως έχουν διπλά καταστρώματα με δυνατότητα πλήρους κάλυψης των αμπαριών του πλοίου (βλ. Σχήμα 2.2.3).



Σχήμα 2.2.3: Πλοίο τύπου semi-container
Πηγή: (1)

Τα **πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (all-container vessels)** είναι κυρίως ανοικτής κατασκευής, καθώς πρέπει να είναι δυνατή η απευθείας πρόσβαση σε κάθε εμπορευματοκιβώτιο από τους ανυψωτικούς μηχανισμούς για την φορτοεκφόρτωση. Για να έχουν όσο το δυνατόν πιο τετραγωνισμένα αμπάρια, τα πλοία αυτά κατασκευάζονται με διπλά τοιχώματα. Κάθε αμπάρι που δεν είναι κατάλληλο για εμπορευματοκιβώτια, χρησιμοποιείται σαν δεξαμενή. Συχνά τα πλοία αυτά κατασκευάζονται με εσωτερικά διαφράγματα, τα οποία χωρίζουν το κύτος σε κυψέλες, όπου και τοποθετούνται τα εμπορευματοκιβώτια. Γι αυτό πολλές φορές γίνεται λόγος και για πλήρως κυψελωτά κιβωτιοφόρα πλοία (βλ. Σχήμα 2.2.4).

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για τον υδροδυναμικό σχεδιασμό των πλοίων αυτού του τύπου, δεδομένου ότι πλέον με μεγάλες ταχύτητες. Τα υψηλά και μεγάλου βάρους φορτία του καταστρώματος συχνά δημιουργούν πρόβλημα ευστάθειας στο πλοίο. Για τον λόγο αυτό, ούτως ώστε να διασφαλίσουν την απαραίτητη ευστάθεια, τα πλοία αυτά μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες στερεού ή υγρού έρματος.



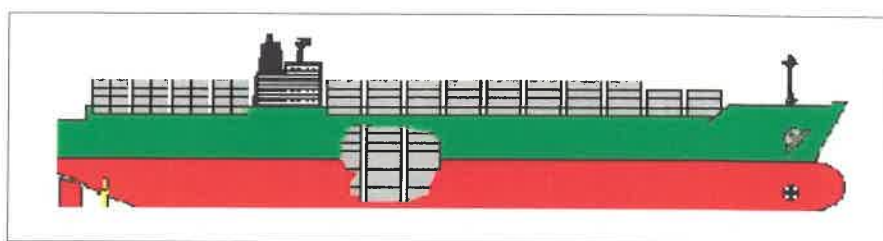
Σχήμα 2.2.4: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 2ης γενιάς
Πηγή: (1)

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατατάσσονται σε “γενιές”, με βάση τη μεταφορική τους ικανότητα. Στον Πίνακα 2.2.3 δίνονται τα στοιχεία αυτών των πλοίων, όπως έχουν εξελιχτεί μέχρι σήμερα.

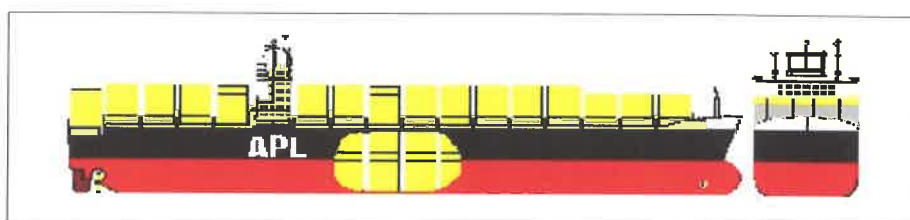
Γενιά	Χωρητικότητα (TEUs)	Ολικό μήκος (m)	Πλάτος (m)	Μέγιστο βύθισμα (m)
1	400	118	20,1	6,8
1	600	135	20,8	7,6
1	1000	158	23,3	8,7
2	1300	177	25,4	9,5
2	1700	192	28,8	10,2
2	2100	206	30,2	10,8
3	2800	230	32,3	11,8
3	3500	250	32,3	12,3
4	4200	268	32,3	13,4
5	4900	285	40,3	14
5	5700	300	40,3	14,5
6	6400	313	42,8	14,5
6	6800	286	42,8	14,0- 14,5
6	7100	326	42,8	14,5
6	7200	304	42,8	14,0- 15,0
6	7800	319	42,8	14,5- 15,0
6	9200	336,7	45,6	15

6	9400	349,1	42,8	14,5
6	9900	349	45,6	
6	10230	347	46	14,5
“Emma Maersk”	15000	397	56	15,5
Σχεδιάστηκε από την Κορεατική STX Shipbuilding	22000	460	60	

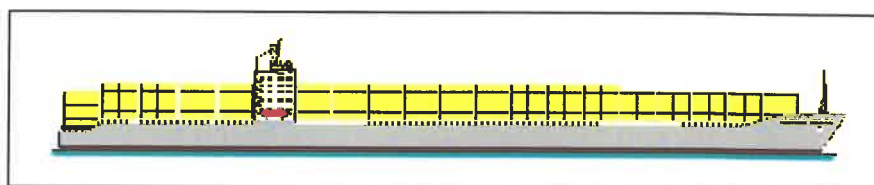
Πίνακας 2.2.3: Στοιχεία πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων



Σχήμα 2.2.5: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 3ης γενιάς
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.2.6: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 4ης γενιάς
Πηγή: (1)

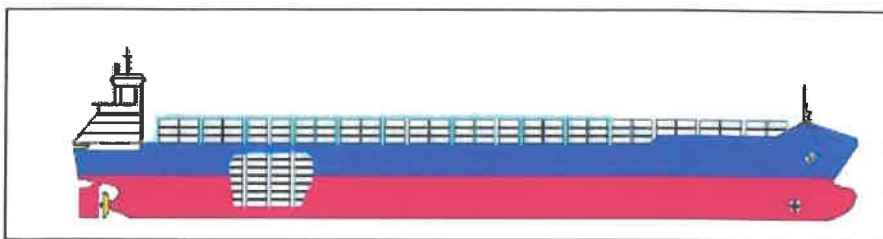


Σχήμα 2.2.7: Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 5ης γενιάς (σκίτσο)
Πηγή: (1)



Σχήμα 2.2.8: Η περιοχή φόρτωσης στην πρύμνη του “Regina Maersk”
Πηγή: (1)

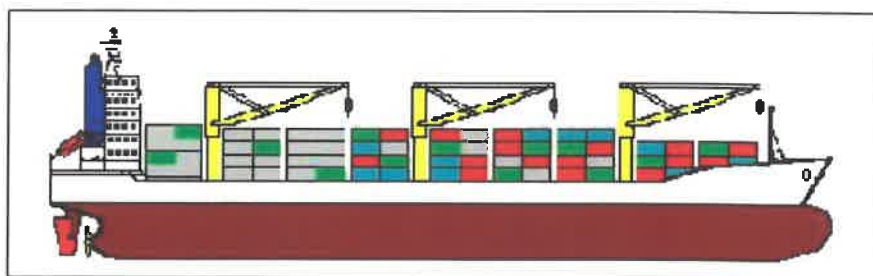
Μία άλλη κατηγορία πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι τα πλοία χωρίς καλύμματα αμπαριών και με στέγες βροχής (**hatchless container ship with rain roofs**). Εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αποσκοπούσαν στο να κάνουν την διαχείριση του φορτίου πιο οικονομική. Τέτοιου τύπου πλοία, των 2.780 TEU, που παραδόθηκαν το 1993 στην ελβετική εταιρία Norasia Line, είχαν πρωτοποριακό σχεδιασμό. Εκτός από τα αμπάρια 1 και 2 που διαθέτουν καλύμματα δεδομένου ότι εκεί μεταφέρονται επικίνδυνα φορτία, τα υπόλοιπα αμπάρια δεν έχουν καλύμματα. Επειδή όμως στα ταξίδια τους μεταξύ Ευρώπης και Άπω Ανατολής τα πλοία αυτά είναι εκτεθειμένα σε σφοδρές τροπικές καταιγίδες, η εταιρία αποφάσισε να εξοπλίσει τα αμπάρια 3 έως και 7 με 12 οροφές προστασίας από την βροχή κατασκευασμένες από ελαφριά χαλύβδινη κατασκευή. Η οροφή αυτή, η οποία είναι αφαιρείται και επανατοποθετείται με τη βοήθεια του ανυψωτικού μηχανισμού του λιμανιού, αποτελεί τμήμα του αεροδυναμικού σχήματος του πλοίου. Οι οροφές αυτές όχι μόνο προστατεύουν από την βροχή τα εμπορευματοκιβώτια αλλά και το πλοίο συνολικά καθώς μεγάλες ποσότητες νερού στα αμπάρια θα προκαλούσαν προβλήματα ευστάθειας (βλ. Σχήμα 2.2.9).



Σχήμα 2.2.9: Hatchless container ship with rain roofs

Πηγή: (1)

Τα κιβωτιοφόρα πλοία-ψυγεία (**reefer container vessels**) είναι μία άλλη κατηγορία πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Σχεδόν όλα τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχουν συνδέσεις για την μεταφορά ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων (reefers). Εάν το ποσοστό αυτών των ειδικών θέσεων/συνδέσεων είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το ποσοστό των απλών εμπορευματοκιβωτίων τότε αυτό αντανακλάται και στον συνολικό σχεδιασμό του πλοίου (βλ. Σχήμα 2.2.10).



Σχήμα 2.2.10: Reefer container vessel

Πηγή: (1)

Τα πλοία τροφοδοσίας (**feeder ships**) μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια μεταξύ μεγάλων τερματικών λιμανιών και άλλων μικρότερων που δεν εξυπηρετούνται από τις κύριες ναυτιλιακές γραμμές. Τα περισσότερα λιμάνια στην Ινδία παραδείγματως χάρη, εξυπηρετούνται από τέτοιου είδους πλοία από το λιμάνι του Κολόμπο, ενώ τα λιμάνια της δυτικής Δανίας εξυπηρετούνται με αντίστοιχο τρόπο από το λιμάνι της Βρέμης. Τα περισσότερα από αυτά είναι μικρού ή μεσαίου μεγέθους πλοία (βλ. Σχήμα 2.2.11).



Σχήμα 2.2.11: Πλοία τροφοδοσίας
Πηγή: (1)

Άλλοι τύποι πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι οι εξής:

- Πλοία μεταφοράς Ορυκτών, Χύδην Φορτίου και Εμπορευματοκιβωτίων (Ore Bulk Container Vessels)
- Ανοικτού Τύπου Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων και Χύδην Φορτίου (Open Bulk Container Carriers) – Ro Ro
- Container Ro-Ro Ships
- Ro-Ro/Lo-Lo Carriers
- Ro-Ro/Lo-Lo Container Ships
- Barge Carriers
- Lash Carriers
- SEABEE Carriers
- BACO Liners
- CONDOCK

2.2.4. Τοποθέτηση και ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων στο πλοίο

Κατά την φόρτωση τα βαρύτερα εμπορευματοκιβώτια τοποθετούνται χαμηλότερα. Στο ανώτερο κατάστρωμα στοιβάζονται τα εμπορευματοκιβώτια που είναι ελαφρύτερα. Τα εμπορευματοκιβώτια ασφαλίζονται με ειδικούς πύρους σε ειδικές υποδοχές των καταστρωμάτων, ή μέσα στις κυψέλες με δοκούς-οδηγούς. Πολλά πλοία διαθέτουν ανελκυστήρες κατακόρυφης και οριζόντιας κίνησης για εσωτερικές μετακινήσεις των εμπορευματοκιβωτίων.

Θέμα μείζονος σημασίας κατά την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων είναι η τοποθέτησή τους καθώς και η ασφάλισή τους στο πλοίο. Στα περισσότερα πλοία που είναι κατασκευασμένα για την αποκλειστική μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων, η τοποθέτησή τους στο κατάστρωμα γίνεται κατά μήκος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.12.



Σχήμα 2.2.12: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα κατά τον διαμήκη άξονα του πλοίου (πλώρη-πρύμνη)

Πηγή: (1)

Αυτή η μέθοδος στοιβασίας είναι ευαίσθητη όσον αφορά στην συσχέτιση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων σε δύσκολες καιρικές συνθήκες καθώς και στο φορτίο που τα εμπορευματοκιβώτια μεταφέρουν. Οι πιέσεις σε περιπτώσεις σφοδρής θαλασσοταραχής είναι μεγαλύτερες κατά την εγκάρσια διεύθυνση παρά στην κατά μήκος, γι' αυτό και τα πλευρικά τοιχώματα των πλοίων είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να φέρουν μεγαλύτερες πιέσεις. Παρ' όλα αυτά σε αρκετά πλοία τα εμπορευματοκιβώτια στοιβάζονται κατά την εγκάρσια διεύθυνση, όπως ενδεικτικά φαίνεται στο σχήμα 2.2.13.



Σχήμα 2.2.13: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα κατά τον εγκάρσιο άξονα του πλοίου

Πηγή: (1)

Υπάρχει και η περίπτωση μικτής στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων, δηλαδή τόσο κατά την εγκάρσια όσο και κατά την διαμήκη έννοια, αλλά απαιτείται πιο περίπλοκη διαδικασία τοποθέτησης και ασφάλισής τους (βλ. Σχήμα 2.2.14).



Σχήμα 2.2. 14: Εμπορευματοκιβώτια στοιβαγμένα και στις δύο διευθύνσεις
Πηγή: (1)

Για την ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων στο πλοίο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι φορτίσεις που αναπτύσσονται από την κίνηση του πλοίου και από τις ανεμοπιέσεις. Οι δυνάμεις από την θραύση των κυματισμών λαμβάνονται υπόψη σε ένα ποσοστό μόνον. Τα εμπορευματοκιβώτια πρέπει να ασφαλιζονται έναντι ολίσθησης και ανατροπής, καθώς επίσης τα τμήματα των εμπορευματοκιβωτίων που φορτίζονται δεν πρέπει να δέχονται δυνάμεις μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες. Με εξαίρεση την περίπτωση των ανεξάρτητα μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων, η ασφάλισή τους πραγματοποιείται σε κάθετες ράγες οδηγούς ή εάν στοιβάζονται σε στοίβες ή μπλοκ, τότε τα εμπορευματοκιβώτια συνδέονται μεταξύ τους και κατόπιν στερεώνονται σε σταθερά μέρη του πλοίου.



Σχήμα 2.2.15: Ασφάλιση εμπορευματοκιβωτίων με κυψέλες οδηγούς
Πηγή: (1)

Η **ασφάλιση** των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- Ασφάλιση στα αμπάρια του πλοίου με κυψέλες οδηγούς (βλ. Σχήμα 2.2.15): Σχεδόν όλα τα κιβωτιοφόρα πλοία έχουν κυψέλες με κάθετους οδηγούς για την στερέωση των φορτίων. Οι μεγαλύτερες φορτίσεις στις οποίες εκτίθενται τα εμπορευματοκιβώτια προέρχονται από τις πιέσεις λόγω της στοιβασίας του ενός πάνω στο άλλο. Από την στιγμή που τα εμπορευματοκιβώτια δεν είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους κατακόρυφα, οι πλευρικές δυνάμεις μεταφέρονται από κάθε εμπορευματοκιβώτιο στους οδηγούς που έχει το κάθε κελί. Λόγω του τρόπου αυτού ασφάλισής τους στα κελιά δεν μπορούν να στραφούν. Επίσης, εάν κάποιο γωνιακό ενός εμπορευματοκιβωτίου που βρίσκεται στην βάση της στοιβάς καταστραφεί λόγω υπερβολικής πίεσης, τα υπερκείμενα εμπορευματοκιβώτια υφίστανται ελάχιστες φθορές.
- Ασφάλιση στα αμπάρια του πλοίου με κυψέλες οδηγούς καθώς και με πείρους: Σε ορισμένες περιοχές, τα πλοία τροφοδοσίας, τα multipurpose εμπορικά πλοία, καθώς και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων πρέπει να είναι ευέλικτα εξοπλισμένα ώστε να μπορούν να μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια διαφόρων διαστάσεων. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκαν ειδικά μετατρεπόμενα πλαίσια, στα οποία εμπορευματοκιβώτια διαστάσεων 20', 24 ^{1/2}', 30', 40', 45', 48' και 49' μπορούν να στοιβάζονται ασφαλώς και χωρίς μεγάλη καθυστέρηση. Τα περισσότερα από αυτά τα πλαίσια παράγονται σαν έτοιμα φατνώματα τα

οποία μεταφέρονται στην προκαθορισμένη θέση τους με γερανό. Στα πλάγια τα πλαίσια αυτά ασφαλίζουν με πείρους σε ειδικές οδοντώσεις που υπάρχουν στα διαφράγματα του κύτους του πλοίου.

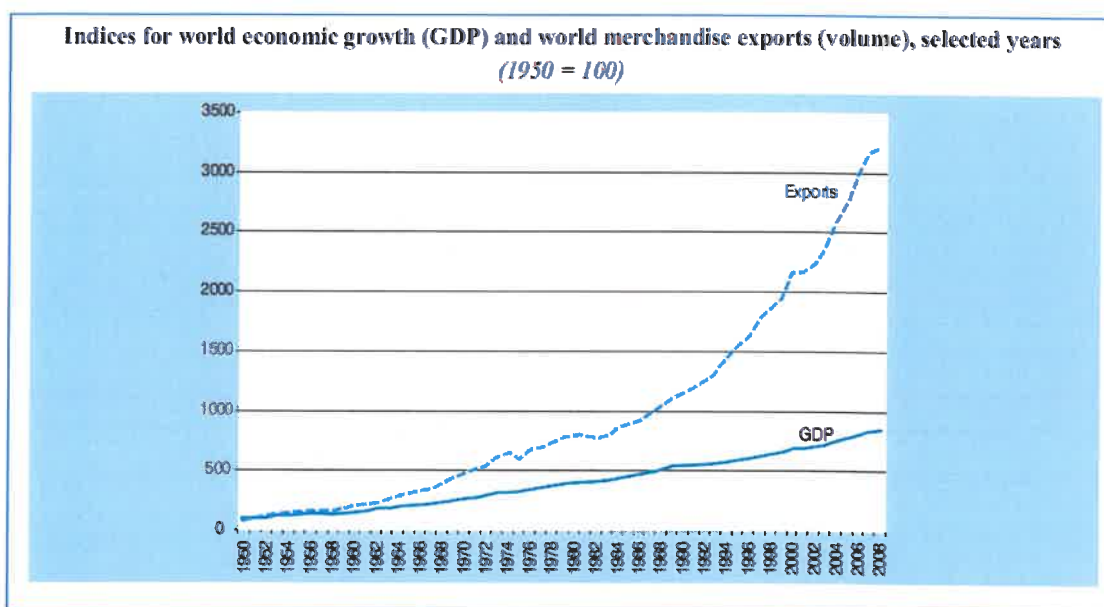
- Ασφάλιση στα αμπάρια του πλοίου με συμβατικές μεθόδους και στοιβασία καθ' ύψος: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε παλιά γενικού φορτίου πλοία. Τα εμπορευματοκιβώτια της βάσης τοποθετούνται σε εδράσεις ικανές να φέρουν το βάρος των υπερκείμενων κιβωτίων. Οι εδράσεις αυτές φέρουν ειδικές εσοχές προσαρμογής στις οποίες προσαρμόζονται οι κώνοι που φέρουν τα εμπορευματοκιβώτια στα άκρα τους και τα εξασφαλίζουν έναντι ολίσθησης. Τα εμπορευματοκιβώτια συνδέονται μεταξύ τους μέσω των κώνων ή μέσω ειδικών περιστρεφόμενων κλειδιών. Ολόκληρη η στοιβα των κιβωτίων δένεται με συρματόσχοινα ή ράβδους ασφαλείας. Το σύστημα αυτό ενέχει πολύ προσωπική εργασία για την πρόσδεση απαιτώντας παράλληλα και πολλά υλικά και είναι σαφώς λιγότερο ασφαλές από το προαναφερθέν σύστημα με τα κελιά και τους οδηγούς που αυτά φέρουν.
- Ασφάλιση στα αμπάρια του πλοίου με στοιβασία σε block και σταθεροποίηση: Η μέθοδος αυτή συναντάται όλο και πιο σπάνια. Τα εμπορευματοκιβώτια είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους οριζόντια και κατακόρυφα χρησιμοποιώντας απλούς μονούς, διπλούς ή και τετραπλούς κώνους εξασφάλισης. Οι ανώτερες σειρές εμπορευματοκιβωτίων συνδέονται μεταξύ τους με γεφυρωτές συνδέσεις. Αυτός ο τύπος ασφάλισης έχει τα εξής δύο κύρια μειονεκτήματα: (α) Εάν μία ενδιάμεση σύνδεση σπάσει θα επηρεαστεί ολόκληρο το block των κιβωτίων και (β) λόγω της ύπαρξης ανοχών στις συνδέσεις λόγω κατασκευής και λόγω φθοράς, ολόκληρο το block μπορεί να μετακινηθεί σε περίπτωση θαλασσοταραχής. Αυτό προκαλεί άμεση θραύση των κώνων με αποτέλεσμα την πιθανή κατάρρευση ολόκληρου του block.
- Ασφάλιση στο κατάστρωμα χρησιμοποιώντας τους οδηγούς των ίδιων των εμπορευματοκιβωτίων: Σε ορισμένα πλοία τα εμπορευματοκιβώτια ασφαλίζουν στο κατάστρωμα σε ειδικούς οδηγούς των κυψελών ή σε ειδικά πλαίσια πρόσδεσης. Σε κάποια πλοία οι οδηγοί αυτοί μπορούν αυτόματα με ένα υδραυλικό σύστημα να προωθηθούν επάνω από το κάλυμμα του αμπαριού του πλοίου εφόσον αυτό έχει φορτωθεί πλήρως και το κάλυμμα έχει κλείσει.

- Ασφάλιση στο κατάστρωμα με ασφάλιση της στοιβασίας σε block: Η μέθοδος αυτή ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη στην αρχή της ανάπτυξης των κιβωτιοφόρων πλοίων αλλά ολοένα και εγκαταλείπεται για οικονομικούς κυρίως λόγους. Τα εμπορευματοκιβώτια του κατώτερου στρώματος τοποθετούνται και ασφαλίζουν σε ειδικές υποδοχές ή κώνους στην βάση τους. Διπλοί κώνοι χρησιμοποιούνται ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα στοιβασίας και τα πλευρικά σημεία ανάρτησης παρακείμενων εμπορευματοκιβωτίων συνδέονται στην επάνω τους πλευρά με γεφυρωτές συνδέσεις. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μειωμένη ευελιξία κατά την φόρτωση και εκφόρτωση, καθώς πρέπει να μετακινηθούν και τα παρακείμενα εμπορευματοκιβώτια για να γίνει δυνατή η πρόσβαση στο επιθυμητό.
- Ασφάλιση στο κατάστρωμα με ασφάλιση της στοιβασίας καθ' ύψος: Πρόκειται για την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο ασφάλισης, καθώς η ευελιξία στην φορτοεκφόρτωση είναι το βασικό της πλεονέκτημα. Τα εμπορευματοκιβώτια στοιβάζονται το ένα πάνω από το άλλο, συνδεδεμένα στα σημεία ανάρτησής τους και δένονται κατακόρυφα. Καμία στοίβα καθ' ύψος δεν είναι συνδεδεμένη με κάποια γειτονική της. Τα συρματόσχοινα πρόσδεσης των εμπορευματοκιβωτίων δεν τέμνονται/συναντώνται με τα αντίστοιχα άλλων στοιβών, πλην αυτών που διασφαλίζουν τα εμπορεύματα από τον άνεμο και βρίσκονται στις εξωτερικές πλευρές.

2.3. ΟΙ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

2.3.1. Προϋποθέσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων λιμενικών κέντρων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων

Η διαρκής αύξηση του Παγκόσμιου Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (Α.Ε.Π.) τα τελευταία 60 περίπου χρόνια οδήγησε σε υπέρογκη αύξηση των εξαγωγών, δυσανάλογη μάλιστα σε σχέση με τον ρυθμό αύξησης του Α.Ε.Π., όπως άλλωστε φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



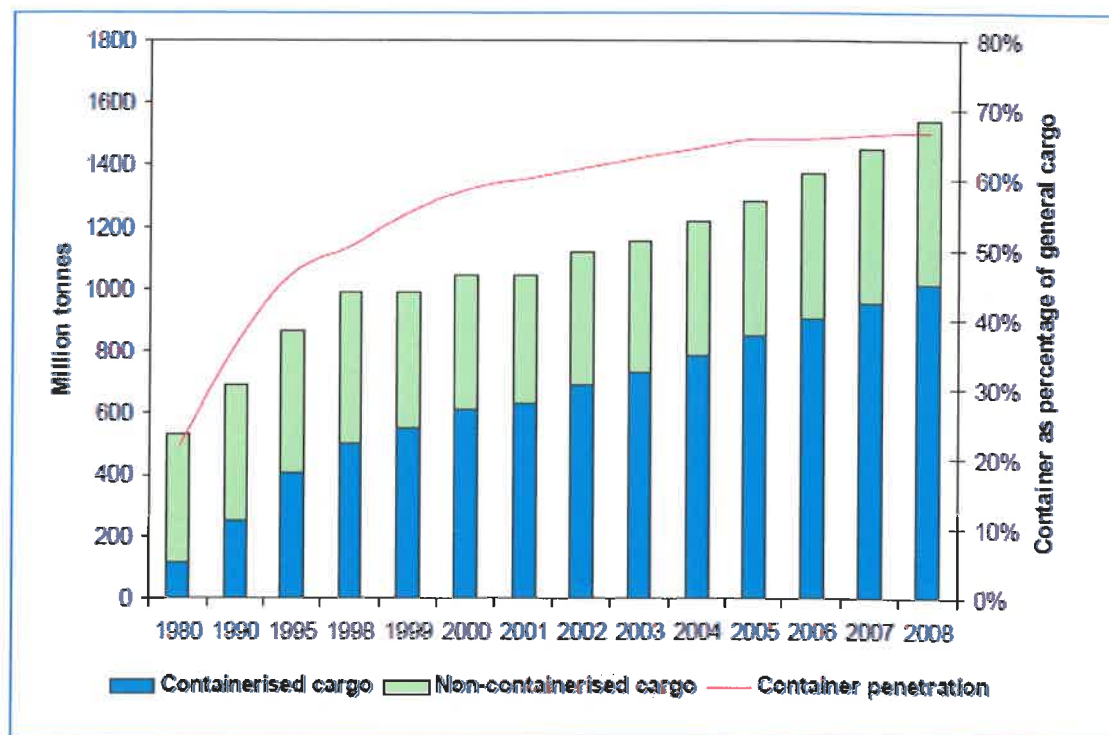
Διάγραμμα 2.3.1: Συγκριτικό διάγραμμα δεικτών εξαγωγών και ΑΕΠ από το 1950 έως το 2008

Πηγή: (3)

Οι εξαγωγές αυτές περιλαμβάνουν τόσο το πετρέλαιο, τα χύδην φορτία όπως σιδηρά μεταλλεύματα, σιτηρά, άνθρακα, βωξίτη/αλουμίνιο και φωσφορικά, όσο και ξηρά φορτία. Στα ξηρά φορτία συγκαταλέγονται και τα μοναδοποιημένα φορτία μεταφερόμενα με εμπορευματοκιβώτια και στα οποία δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην παρούσα.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στο μοναδοποιημένο – σε εμπορευματοκιβώτια - εμπόριο, λόγω και των πλεονεκτημάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, αυτό κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος με

αποτέλεσμα, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των γενικών φορτίων να διακινείται με εμπορευματοκιβώτια. Με το πέρασμα του χρόνου το ποσοστό των γενικών φορτίων που διακινείται μέσα σε εμπορευματοκιβώτια ανήλθε στα 2/3 των συνολικώς μετακινούμενων γενικών φορτίων όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.

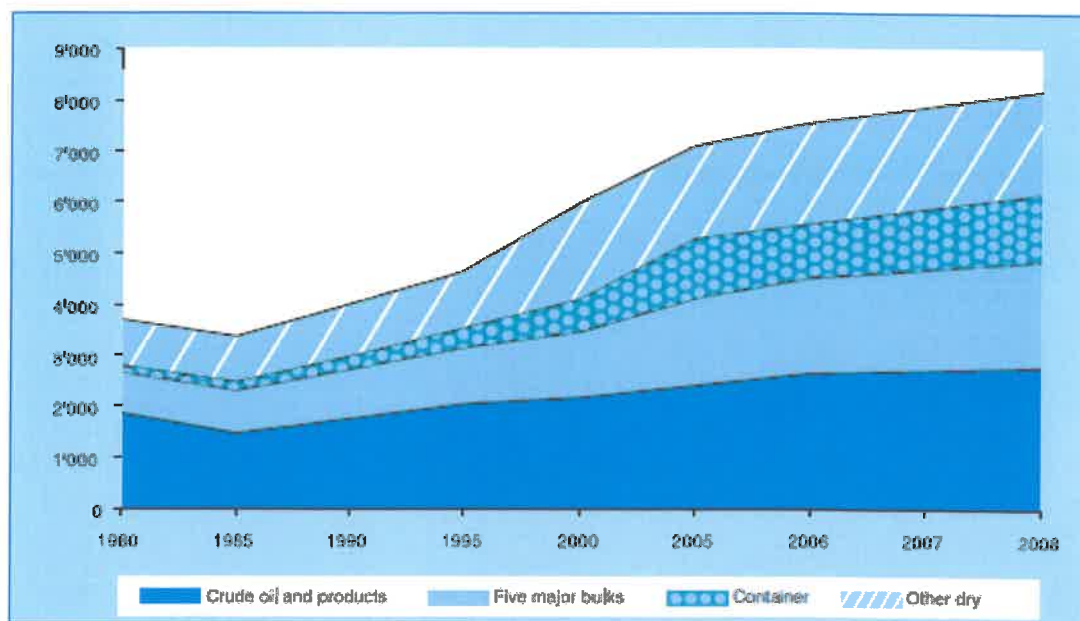


Διάγραμμα 2.3.2: Διείσδυση των εμπορευματοκιβωτίων στο διεθνές θαλάσσιο εμπόριο ως ποσοστό επί τις εκατό του συνολικού διακινηθέντος φορτίου
Πηγή: (4)

Σε επίπεδο αξίας των μεταφερόμενων προϊόντων η αξία των εμπορευματοποιημένων γενικών φορτίων υπερβαίνει το 90% της συνολικής αξίας των γενικών φορτίων, δεδομένου ότι είναι λογικό ότι χαμηλής αξίας εμπορεύματα είναι λιγότερο πιθανό και αναγκαίο να μοναδοποιηθούν σε εμπορευματοκιβώτια.

Σύμφωνα με το Review of Maritime Transport 2009 της UNCTAD, το 2008 το συνολικό παγκόσμιο εμπόριο εμπορευματοκιβωτίων ανερχόταν στα 1.3 εκατομμύρια τόνους, παρατηρείται δηλαδή μία αύξηση της τάξης του 4,6% σε σχέση με το προηγούμενο έτος και αυτό αποτελεί το 25,4% του συνολικώς μεταφερόμενου ξηρού φορτίου. Στο διάγραμμα που ακολουθεί είναι επίσης εμφανής η διείσδυση του

μοναδοποιημένου εμπορίου τόσο στο συνολικό εμπόριο όσο και σαν ποσοστό των ξηρών διακινηθέντων φορτίων.



Διάγραμμα 2.3.3: Εμπόριο διαφορετικών τύπων εμπορευμάτων δια θαλάσσης
Πηγή: (3)

Η ραγδαία αύξηση της μοναδοποίησης των εμπορευμάτων σε εμπορευματοκιβώτια που συντελέστηκε κυρίως τα τελευταία 20 χρόνια είναι απόρροια ενός συνδυασμού παραγόντων που περιλαμβάνουν ειδικά κιβωτιοφόρα πλοία κατασκευασμένα για τον συγκεκριμένο αυτό σκοπό, μεγαλύτερα πλοία κατάλληλα για την επίτευξη αύξησης των οικονομιών κλίμακας, βελτιωμένες εγκαταστάσεις διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων στα λιμάνια και τέλος τον ολοένα αυξανόμενο όγκο ακατέργαστων πρώτων υλών που μπορούν να μεταφερθούν μέσα σε εμπορευματοκιβώτια.

2.3.2. Οργάνωση λιμενικών συστημάτων

Η διευκόλυνση της μετακίνησης των μοναδοποιημένων φορτίων με την μορφή και τις διαστάσεις που αυτά έχουν σήμερα, όπως επίσης και ο συνεχώς αυξανόμενος όγκος τους, απαιτούν και ανάλογη χωρητικότητα και ικανότητα διακίνησης τους από τα χερσαία κέντρα διακίνησής τους. Για τον λόγο αυτό αναπτύσσονται συνεχώς τερματικές εγκαταστάσεις (terminals) σε στρατηγικές θέσεις

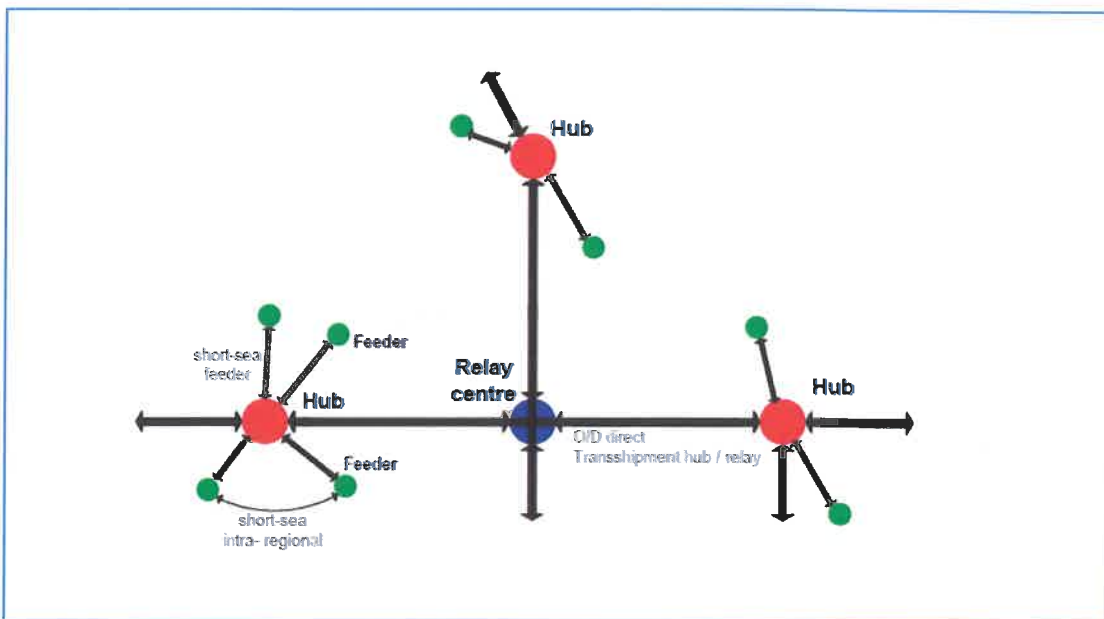
ανά την υφήλιο. Σε αυτές γίνεται η σύνδεση-αποσύνδεση των μοναδοποιημένων φορτίων ή και μόνο η εναλλαγή μέσου μεταφοράς και η μεταφόρτωση σε φορτηγά, σιδηρόδρομο ή μικρότερα πλοία. Τα κέντρα αυτά έχουν αναπτυχθεί σε συγκοινωνιακούς κόμβους μεγίστης σημασίας και σε πολλές περιπτώσεις επεκτείνονται και με εγκαταστάσεις συσκευασίας, αποθήκευσης και Ζώνες Ελεύθερου Εμπορίου (Free Trade Zones). Λόγω του νέου και πολυποίκιλου ρόλου που καλούνται πλέον να διαδραματίσουν τα λιμάνια έχει αναπτυχθεί ένας νέος όρος περιγραφής του συνόλου των εργασιών που καλούνται αυτά να εξυπηρετήσουν. Έτσι σήμερα θα μπορούσε κανείς πλέον να αναφερθεί στην ευρύτερη έννοια των εμπορευματικών κέντρων αντί του λιμανιού.

Εμπορευματικό κέντρο είναι μια ειδικά προσδιορισμένη περιοχή η οποία περιλαμβάνει τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις, καθώς και όλες τις δραστηριότητες τις σχετικές με την μεταφορά, διαχείριση και διανομή αγαθών, για εθνικές και διεθνείς μεταφορές από διάφορους χρήστες εγκατεστημένους στο κέντρο, που διευθύνεται από έναν ή περισσότερους φορείς. Ένα εμπορευματικό κέντρο, επίσης, πρέπει να είναι εξοπλισμένο με όλες τις δυνατές υπηρεσίες εξυπηρέτησης εμπορευμάτων και μεταφορικών μέσων. Αν είναι εφικτό επίσης συμπεριλαμβάνει και βοηθητικές υπηρεσίες για το προσωπικό, καθώς και για τους χρήστες του κέντρου. Προς ενθάρρυνση της συνδυασμένης μεταφοράς για την διαχείριση των εμπορευμάτων, ένα εμπορευματικό κέντρο πρέπει κατά προτίμηση να εξυπηρετείται με πολλαπλούς τρόπους και μέσα μεταφοράς (5).

Όσον αφορά στην γεωγραφική χωροθέτηση και διάταξη των κέντρων αυτών στον παγκόσμιο χάρτη του θαλάσσιου εμπορίου, η κύρια μορφή τους ορίζεται από ένα κεντρικό λιμάνι (hub) συνδεδεμένο με άλλα μικρότερα σε ακτινωτή διάρθρωση (spoke). Σε ένα τέτοιο σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων δια θαλάσσης, τα εμπορεύματα αρχικώς διανέμονται στο κύριο λιμάνι της περιοχής και κατόπιν στον τελικό τους προορισμό στην ενδοχώρα είτε δια θαλάσσης με τροφοδοτικά πλοία (feeders) είτε δια ξηράς με φορτηγά, τρένα ή και μέσω ποτάμιων οδών. Ανάλογα με τις εισαγωγές και οι εξαγωγές μίας χώρας αρχικά συγκεντρώνονται στο κεντρικό λιμάνι και στη συνέχεια διανέμονται στα μέσα-πλοία για τον τελικό τους προορισμό. Αν και τα κεντρικά αυτά λιμάνια είναι συνήθως επαρκώς εξοπλισμένα έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν τον χρόνο φορτοεκφόρτωσης των πλοίων, έχουν και άλλα δύο κύρια

χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από τα υπόλοιπα λιμάνια μιας χώρας ή και γεωγραφικής περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, αφενός τείνουν να είναι χωροθετημένα σε στρατηγικό σημείο της χώρας-ορισμένες φορές με μια ενδοχώρα που προσελκύει πολύ μεγάλο όγκο προϊόντων τα οποία ούτως ή άλλως θα διακινούνταν μέσω του λιμανιού αυτού- και αφετέρου μπορούν να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερα πλοία σε σχέση με τα υπόλοιπα λιμάνια της περιοχής.

Η μορφή του προαναφερθέντος συστήματος στον παγκόσμιο ναυτιλιακό χάρτη αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα το οποίο διακρίνει τρεις βασικούς κόμβους, τους κεντρικούς, τα εφεδρικά κέντρα και τα τροφοδοτικά (hubs, relay centers and feeders).



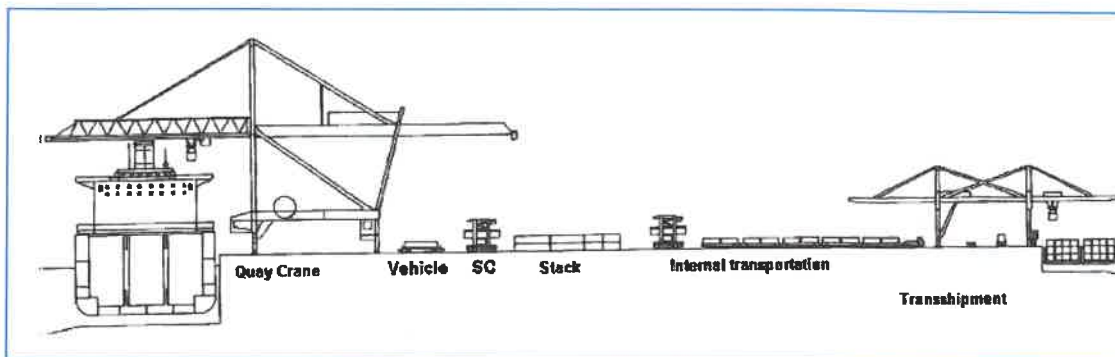
Σχήμα 2.3.1: Λειτουργική σχέση λιμένων και εμπορευματικών κέντρων
Πηγή: (4)

2.3.3. Βασικές λειτουργίες λιμενικών συστημάτων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων

Όσον αφορά στην λειτουργία των εμπορευματικών τερματικών αυτών κέντρων είναι δυνατόν να διακριθούν σε κόμβους σύνδεσης με την ενδοχώρα/τελικούς προορισμούς και σε κόμβους μεταφόρτωσης/ενδιάμεσους προορισμούς.

Όταν το τερματικό κέντρο λειτουργεί σαν τελικός προορισμός των προϊόντων, αυτά εκφορτώνονται από τα πλοία στις αποβάθρες και μεταφορτώνονται από τις πύλες εισόδου της εγκατάστασης σε άλλα χερσαία μέσα για την μεταφορά τους στον τελικό αποδέκτη. Στα μέσα αυτά συγκαταλέγονται και τα τυχόν ποτάμια μέσα σύνδεσης του θαλάσσιου λιμανιού με την ενδοχώρα. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου στο τερματικό κέντρο περιλαμβάνεται και πλήρης σιδηροδρομικός σταθμός.

Η δεύτερη λειτουργία αφορά στην μεταφόρτωση των εμπορευμάτων τα οποία αφού εκφορτωθούν από τα πλοία μεταφορτώνονται σε άλλα μικρότερης χωρητικότητας για να συνεχίσουν την διαδρομή τους μέχρι τον τελικό προορισμό όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.2. Αυτή η διαδικασία συνήθως λαμβάνει χώρα λόγω φυσικών αλλά και οικονομικών περιορισμών, όπως παραδείγματος χάρη τα ολοένα και μεγαλύτερα πλοία που απαιτούν μεγαλύτερο ωφέλιμο βάθος στο λιμάνι, χώρο πρόσδεσης καθώς και κόστος από πλευράς του λιμανιού για την εξυπηρέτησή τους. Με τα πλοία να μεγαλώνουν σε μέγεθος και τις πλοιοκτήτριες εταιρείες να προτιμούν να ακολουθούν στρατηγικές με μικρότερα εφοδιαστικά πλοία, καταλήγουν στο να έχουν τα μεγαλύτερα και ακριβότερα πλοία τους σε συνεχή ταξίδια στην θάλασσα ελαχιστοποιώντας κατά ο δυνατόν τον ελλιμενισμό τους. Για τον λόγο αυτό αρκετές ναυτιλιακές εταιρείες εξυπηρετούν τις διάφορες γεωγραφικές περιοχές με την εγκατάσταση ενός ή δύο κεντρικών λιμανιών από τα οποία με πλοία τροφοδοσίας (feeders) μπορούν να μεταφέρουν τα εμπορευματοκιβώτια στον τελικό τους προορισμό.



Σχήμα 2.3.2: Διαδικασία μεταφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων σε τερματική λιμενική εγκατάσταση

Πηγή: (6)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στη ναυτιλία διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων δύο είναι οι τύποι της «αγοράς»: (α) η διακίνηση μεταξύ προέλευσης/προορισμού (ενδοχώρα) και (β) η μεταφόρτωση. Επιπλέον, μία πρωτεύουσα αγορά μπορεί να διακριθεί σε υπό-αγορές όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Φορτία διακινούμενα μεταξύ προέλευσης/προορισμού (ενδοχώρα)
→ Φορτίο για λιμένες της ενδοχώρας και για άλλα σημεία στο εσωτερικό
Διηπειρωτικά δρομολόγια με πλοία μεγάλου βυθίσματος που προσεγγίζουν απ' ευθείας (<i>deep-sea direct</i>)
Ενδοπεριφερειακά φορτία μεταφερόμενα με μικρότερα πλοία (<i>short/near-sea intraregional</i>)
Φορτίο μεταφερόμενα με πλοία τροφοδοσίας (<i>feeders</i>), το οποίο έχει μεταφορτωθεί σε άλλα λιμάνια (<i>short-sea feeder</i>)
Φορτία μεταφορτωνόμενα
→ Μεταφόρτωση εμπορευματοκιβωτίων από το ένα πλοίο στο άλλο. Τα εμπορευματοκιβώτια κρατούνται στον τερματικό σταθμό αναμένοντας επαναφόρτωση σε άλλο πλοίο
Φορτίο με προέλευση ή προορισμό την περιοχή στην οποία αυτό διακινείται μέσω κύριων τερματικών σταθμών (<i>hub ports</i>) με γραμμές πλοίων τροφοδοσίας (<i>feeders</i>) (<i>hub and spoke transshipment</i>)
Διεθνής κίνηση με προέλευση ή προορισμό περιοχές μακράν της άμεσης περιφερειακής αγοράς (<i>relay transshipment</i>). Πρόκειται για μεταφόρτωση φορτίου από πλοία μεγάλου βυθίσματος σε άλλα πλοία επίσης μεγάλου βυθίσματος και μη έχοντας σχέση με την περιφερειακή αγορά φορτίων

Πίνακας 2.3.1: «Αγορές» φορτίων στη θαλάσσια διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων.

Πηγή: (7)

Με βάση τα παραπάνω μπορεί κανείς να συμπεράνει τον στρατηγικό ρόλο των λιμανιών στο παγκόσμιο εμπόριο και στην οικονομία κάθε χώρας. Ιδιαίτερη

μνεία αξίζει να δοθεί και στο ρόλο τους όσον αφορά στην διευκόλυνση και προώθηση του εμπορίου στις ηπειρωτικές χώρες.

Συνεπώς η ανάπτυξη των λιμανιών και η συνεχής βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών τους σαν εμπορευματικά κέντρα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του εμπορίου διακινείται μέσω θαλάσσης, καθορίζει το κατά πόσο μια χώρα θα διασφαλίσει τη στρατηγική της θέση αυξάνοντας παράλληλα τα κέρδη της από τον τομέα της ναυτιλίας ή ακόμα και θα βελτιώσει την οικονομική της κατάσταση μέσω της διευκόλυνσης του εμπορίου (trade facilitation).

2.3.4. Οργάνωση λειτουργίας ενός τυπικού εμπορευματικού σταθμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων

Η κυριότερη επίπτωση της εκτεταμένης χρήσης των εμπορευματοκιβωτίων στις μεταφορές εμπορευμάτων, όπως αυτή αναλύθηκε προηγουμένως, ήταν η ανάγκη για ανάπτυξη ειδικών μεθόδων ελέγχου και διαχείρισης των νέων πλέον λειτουργιών κάθε τερματικού σταθμού. Ο αριθμός των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την μετακίνηση των χιλιάδων εμπορευματοκιβωτίων που ένας τερματικός σταθμός καλείται να διαχειριστεί, αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση όσον αφορά στον συντονισμό των απαιτούμενων διαδικασιών, ιδιαίτερα όταν η ζήτηση έχει διακυμάνσεις σε κάποια μέρη του συστήματος ανά ημέρα ή ώρα ή και σε άλλα ανά εβδομάδα. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να αναπτυχθούν μέθοδοι που εγγυώνται την κατάλληλη αλληλουχία των εργασιών, την εξισορρόπηση των ροών των φορτίων, την βέλτιστη χρήση των διατιθέμενων πόρων, με αποτέλεσμα τα συνεχώς βελτιούμενα επίπεδα εξυπηρέτησης (π.χ. με συντομότερο χρόνο φορτοεκφόρτωσης των πλοίων).

Τα εμπορευματικά κέντρα έχουν πια γίνει μέρος των εφοδιαστικών αλυσίδων και λειτουργούν σαν ενεργά σημεία/κόμβοι των συνδυασμένων μεταφορών. Η σημασία των θαλάσσιων εμπορευματικών κέντρων στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των κοινοτήτων, εθνών και περιοχών είναι εμφανής. Συνεπώς η καλύτερη απόδοσή τους συμβάλλει δραστικά στο εμπόριο και στην συνεπαγόμενη οικονομική ανάπτυξη των εθνικών οικονομιών.

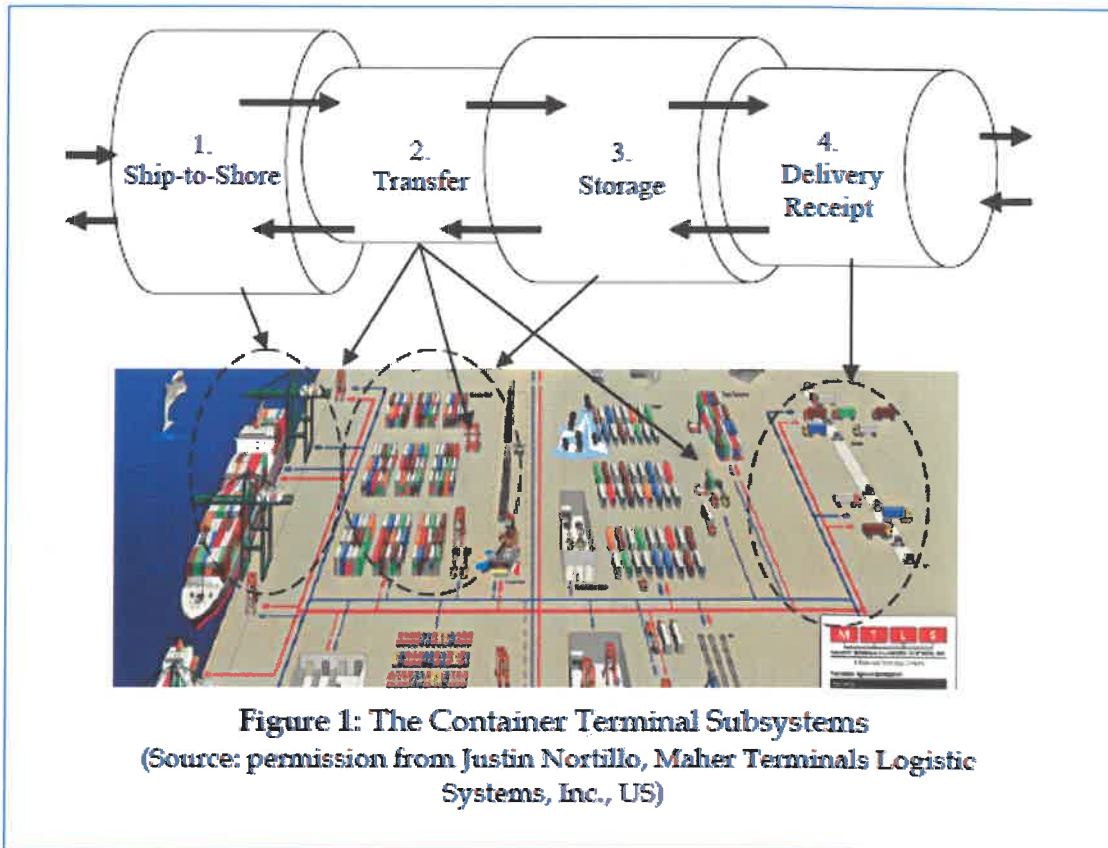
Μια τερματική λιμενική εγκατάσταση μπορεί να αντιμετωπίσει τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες είτε επεκτείνοντας τις εγκαταστάσεις της –γεγονός βέβαια που δεν είναι πάντοτε εφικτό λόγω και γεωγραφικών περιορισμών-, είτε επιτυγχάνοντας καλύτερη αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων πόρων, είτε τέλος με την εφαρμογή νέων μεθόδων και τεχνολογιών.

Σε πρώτη προσέγγιση κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή του βασικού συστήματος λειτουργίας μιας λιμενικής εγκατάστασης και των κυρίων χαρακτηριστικών του, δηλαδή των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα. Η περιγραφή αυτή γίνεται με βάση το σύστημα που περιγράφει ο Henesey L. Edward στο άρθρο του με τίτλο “A Review of Decision Support Systems in Container Terminal Operations”. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τέσσερα κύρια υποσυστήματα καθένα από τα οποία αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα κατά την λειτουργία του τερματικού σταθμού, πρόκειται δηλαδή για μία διάκριση βασισμένη στις κυρίως εκτελούμενες λειτουργίες.

Τα τέσσερα αυτά υποσυστήματα είναι τα εξής (βλ. Σχήμα 2.3.3):

- **Φορτοεκφόρτωση πλοίων** παρά το κρηπίδωμα (ship-to-shore). Περιλαμβάνει τις διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων από την γερανογέφυρα κρηπιδώματος και μεταφοράς τους είτε από/στην λεγόμενη και ουδέτερη ζώνη (buffer zone) παρά το κρηπίδωμα είτε απ’ ευθείας στο χώρο στοιβασίας.
- **Μεταφορά**, διπλής κατεύθυνσης κίνηση των εμπορευματοκιβωτίων από την αποβάθρα (berth) σε μία θέση στον χώρο στοιβασίας (storage area), από μία στοίβα σε μία άλλη και από την πύλη της χερσαίας πλευράς στην στοίβα. Συνήθως ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις, οχήματα-πλαίσια, αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* ή αυτόματα οχήματα τύπου *ALV* που χρησιμοποιούνται για τις μεταφορές αυτές.
- **Στοιβασία**, διαδικασία κατά την οποία τα μοναδοποιημένα φορτία που μεταφέρονται στο χώρο στοιβασίας τοποθετούνται προσωρινά σε στοίβες ή ολόκληρες περιοχές. Γερανογέφυρες στοιβασίας ή οχήματα-πλαίσια χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των εμπορευματοκιβωτίων και την τοποθέτησή τους στις στοίβες το ένα πάνω από το άλλο.
- **Διανομή/παραλαβή**, περιλαμβάνει τη κίνηση των εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ των στοιβών και την πύλης εισόδου και αντίστροφα, ανάλογα αν πρόκειται για

εισαγόμενο ή εξαγόμενο εμπορευματοκιβώτιο. Η πύλη αποτελεί την διεπαφή της τερματικής εγκατάστασης με τα άλλα μέσα μεταφοράς, είτε φορτηγά στο οδικό δίκτυο είτε τρένα στο σιδηροδρομικό.



Σχήμα 2.3.3: Σύστημα Λειτουργίας Τερματικής Λιμενικής Εγκατάστασης
Πηγή: (8)

Σε ένα σύγχρονο τερματικό σταθμό διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων η διάταξη του χώρου απόθεσης και στοιβασίας των κιβωτίων οργανώνεται σε ομάδες (blocks). Κάθε ομάδα αποτελείται από ένα αριθμό σειρών (rows) – που αφορούν στην διάταξη κατά μήκος – και στοιβών (stacks) – που αφορούν τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων που στοιβάζονται καθ' ύψος. Οι ομάδες μπορεί να είναι διαταγμένες κάθετα ή παράλληλα προς το κρηπίδωμα.

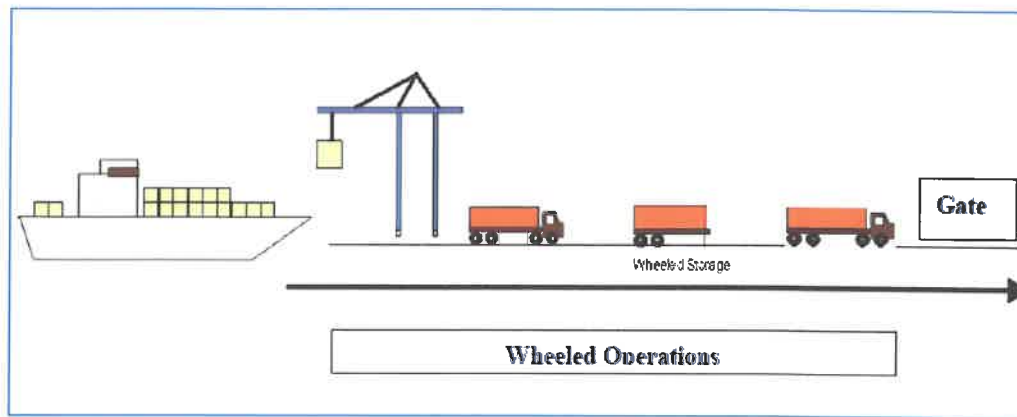
Η ροή των εμπορευματοκιβωτίων διαμέσου ενός τέτοιου συστήματος περιορίζεται από την ικανότητα των επιμέρους υποσυστημάτων, τα οποία συχνά μπορούν να αποτελέσουν σημεία συμφόρησης. Συνεπώς, οι επιδόσεις ενός τερματικού σταθμού εξαρτώνται από ένα πλήθος αλληλοεξαρτώμενων παραγόντων

που επηρεάζουν τα υποσυστήματά του και όχι αποκλειστικά από την αποδοτικότητα των γερανογεφυρών προκυμαίας, στις οποίες δίνεται εξέχουσα σημασία και για στην λειτουργία των οποίων εστιάζουν την προσοχή τους η πλειοψηφία των δημοσιευμένων επιστημονικών άρθρων.

Παραδοσιακά τα θαλάσσια λιμάνια εστίαζαν την προσοχή τους στην αποβάθρα. Με την έλευση ολοένα και μεγαλύτερου αριθμού εμπορευματοκιβωτίων, η ανάγκη της ενσωμάτωσης δραστηριοτήτων και εξειδικευμένων υπηρεσιών πέραν από το κρηπίδωμα, οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων τύπων λειτουργιών/χειρισμών στην τερματική εγκατάσταση που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και τον έλεγχο της τερματικής εγκατάστασης. Με την πλειοψηφία των άρθρων και επιστημονικών εργασιών να εστιάζουν στο πρώτο υποσύστημα, δηλαδή της φορτοεκφόρτωσης των πλοίων από τις γερανογέφυρες προκυμαίας, κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση και των επιμέρους χαρακτηριστικών/συστατικών και των υπόλοιπων τριών υποσυστημάτων. Η λειτουργία του καθενός από αυτά στηρίζεται κατά κύριο λόγο στον μηχανολογικό εξοπλισμό που αυτά χρησιμοποιούν για τις λειτουργίες τους. Ο μηχανολογικός αυτός εξοπλισμός θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Τα πέντε βασικότερα λειτουργικά συστήματα σε τερματικές λιμενικές εγκαταστάσεις ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό είναι τα εξής:

- Με **τροχούς-κινητά αμαξώματα (road chassis)**: Ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα στην Βόρεια Αμερική, στο οποίο τα εμπορευματοκιβώτια μετακινούνται απευθείας από και προς την τερματική εγκατάσταση επάνω σε κινητά αμαξώματα. Τα εμπορευματοκιβώτια τοποθετούνται επάνω στα τροχοφόρα αμαξώματα και κατόπιν σταθμεύονται στον χώρο προσωρινής εναπόθεσης/στάθμευσης της εγκατάστασης. Προφανώς το σύστημα αυτό απαιτεί αρκετό χώρο γιατί δεν υπάρχει η δυνατότητα στοιβάσας του ενός επάνω στο άλλο. Παρόλο το γεγονός ότι απαιτείται πολύ περισσότερος χώρος για αυτού του είδους τις λειτουργίες, το πλεονέκτημά είναι ότι οι απαιτούμενοι χειρισμοί από τα μέσα της λιμενικής εγκατάστασης μειώνονται στο ελάχιστο (βλ. Σχήμα 2.3.4).



Σχήμα 2.3.4: Σύστημα λειτουργίας με εναπόθεση κινητών αμαξωμάτων-τροχοφόρων βάσεων

Πηγή: (9)

- Με **οχήματα-πλαίσια (straddle carriers)**: Πρόκειται για ένα όχημα με διπλό ρόλο τόσο οριζόντιας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όσο και δυνατότητας ανύψωσής τους. Η ικανότητα στοιβασίας τους ποικίλλει. Ένα όχημα πλαίσιο μπορεί να λειτουργεί σε οποιαδήποτε τοποθεσία μέσα στην εγκατάσταση και μπορεί να υποστηρίξει τους γρήγορους ρυθμούς φορτοεκφόρτωσης των γερανογεφυρών προκυμαίας. Ένα προφανές πλεονέκτημα είναι ότι τα εμπορευματοκιβώτια μπορούν να μεταφερθούν από την στοίβα στην γερανογέφυρα χωρίς να περιμένει το όχημα πλαίσιο την γερανογέφυρα προκυμαίας για να το τοποθετήσει στην βάση του.
- Με **πλαισιωτές γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (Rubber-Tyred Gantry Cranes-RTG)**: Πρόκειται για γερανογέφυρα που κινείται επί ελαστικών τροχών, οι οποίοι της παρέχουν την ευελιξία της κίνησης μέσα στον χώρο εναπόθεσης και στοιβασίας, καθώς και σε οποιαδήποτε άλλη θέση μέσα στον τερματικό σταθμό. Αυτού του είδους οι γερανογέφυρες χρησιμοποιούνται κυρίως για κατακόρυφη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων, δηλαδή για στοιβασία. Ένας στόλος από ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις είναι απαραίτητος για την οριζόντια μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων. Οι ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις που κινούνται μέσα στην εγκατάσταση χρησιμοποιούν τις λωρίδες κυκλοφορίας των RTGs, καθώς και των φορτηγών που έρχονται στην εγκατάσταση για φορτοεκφόρτωση των εισαγόμενων/εξαγόμενων εμπορευματοκιβωτίων. Για τον λόγο αυτό οι RTGs απαιτούν συγχρονισμό με τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό παρά με

τα υπόλοιπα λειτουργικά συστήματα του σταθμού. Σύμφωνα με τις απόψεις ειδικών επί των λειτουργιών μιας τέτοιας εγκατάστασης, πρωτεύουσας σημασίας προκλήσεις είναι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης, η κατανομή των slots, η διανομή των εργασιών στις RTGs και στους ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις με σκοπό την αποφυγή περιπτώσεων συμφόρησης.

- **Με πλαίσιοι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (Rail-Mounted Gantry Cranes-RMG):** Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται σε μεγάλες τερματικές εγκαταστάσεις όπως στο Χονγκ Κόνγκ, στη Σιγκαπούρη και στο Ρότερνταμ. Οι γερανογέφυρες κινούνται επί σιδηροτροχιών. Η λειτουργία της RMG είναι πολύ κοντά στην λειτουργία της RTG, αλλά οι πρώτες δεν μπορούν να μετακινηθούν από στοίβα σε στοίβα παρά μόνο κατά μήκος της ίδιας στοίβας λόγω του ότι είναι σταθερά συνδεδεμένες με τις σιδηροτροχιές στο έδαφος. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των RMGs βασίζονται κυρίως στους αρκετά μεγάλους όγκους διακινούμενου φορτίου τους οποίους η τερματική εγκατάσταση καλείται να εξυπηρετήσει και στο ποσοστό αυτοματισμού της, δηλαδή εάν και κατά πόσο χρησιμοποιεί αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* στις λειτουργίες της.
- **Με αυτόματα οχήματα μεταφοράς (AGV):** Είναι οχήματα μεταφοράς πλήρως αυτοματοποιημένα και καθοδηγούμενα από συστήματα ελέγχου. Χειροκίνητα οχήματα όπως τροχοφόρα και οχήματα-πλαίσια συχνά αντικαθίστανται από αυτού του τύπου τα οχήματα λόγω των φτηνότερων εργατικών και της ευελιξίας τους. Η χρήση τους είναι ιδανική σε τερματικές εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης ικανότητας διακίνησης/απόδοσης και 24ωρης λειτουργίας σε εβδομαδιαία βάση.

Τα λειτουργικά συστήματα που περιγράφηκαν παραπάνω συνηθέστερα τίθενται σε συνδυασμένη λειτουργία σε μία τερματική λιμενική εγκατάσταση. Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και του ιδανικότερου συνδυασμού των προαναφερθέντων έχει άμεση επίδραση στην επίδοση/απόδοση του λιμανιού, όπως επίσης και στον απαιτούμενο χώρο για την βέλτιστη λειτουργία και εξυπηρέτηση του όγκου των φορτίων.

Βασικοί παράγοντες για τον βέλτιστο συνδυασμό των παραπάνω περιγραφέντων συστημάτων είναι αφενός η τελική τους απόδοση και αφετέρου ο χώρος που αυτά απαιτούν για την βέλτιστη συνδυασμένη δράση τους. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στην έννοια τη απόδοσης που εξαρτάται κυρίως από τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται σε κάθε εγκατάσταση και επομένως στην αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του εξοπλισμού σαν παράγοντα επιλογής του καταλληλότερου λειτουργικού συστήματος.

2.3.5. Περιγραφή μηχανολογικού εξοπλισμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων γερσαίας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης

Η διάκριση των διατιθέμενων στην αγορά μηχανημάτων μπορεί να γίνει ανάλογα με το υποσύστημα - από τα παραπάνω αναφερθέντα - στα πλαίσια του οποίου λειτουργεί ο εξοπλισμός. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός μπορεί να καταταγεί στις εξής τρεις κατηγορίες:

- Μηχανήματα Μεταφοράς (υποσύστημα 2)
- Μηχανήματα Στοιβασίας (υποσύστημα 3)
- Μηχανήματα με δυνατότητα Μεταφοράς και Στοιβασίας

Μια επιπλέον διάκριση στο εσωτερικό κάθε κατηγορίας μπορεί να γίνει για τις νέες αυτοματοποιημένες τεχνολογίες που κερδίζουν συνεχώς έδαφος και χρήζουν αναφοράς.

- **Μηχανήματα Μεταφοράς (υποσύστημα 2)**

Στον συμβατικό εξοπλισμό απλής μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων ανήκουν οι ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις (tractors) και οι εκλυστήρες με συρόμενες βάσεις με δυνατότητα μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων (multi trailers tractors), ενώ στον αυτοματοποιημένο εξοπλισμό περιλαμβάνονται τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV*.

- **Μηχανήματα Στοιβασίας (υποσύστημα 3)**

Στον συμβατικό εξοπλισμό στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων ανήκουν οι πλαισιωτές γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (Rail-Mounted Gantry Cranes), οι πλαισιωτές γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (Rubber-Tyred Gantry Cranes), οι οποίες χειρίζονται τα εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος και τα τοποθετούν σε παράλληλα διατεταγμένες σειρές στοιβών στους χώρους εναπόθεσης-στοιβασίας της λιμενικής εγκατάστασης.

Και οι δύο τύποι γερανογεφυρών έχουν δυνατότητα οριζόντιας κίνησης κατά μήκος των στοιβών ενώ οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών έχουν δυνατότητα κάθετης κίνησης υπό περιορισμούς.

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας, πέραν της λειτουργίας της στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων στους χώρους στοιβασίας, χρησιμοποιούνται και σαν βασικές ανυψωτικές μονάδες φορτοεκφόρτωσης σε σιδηροδρομικούς σταθμούς, με κυριότερες αυτές επί σιδηροτροχιών που λόγω των μεγαλύτερων τους διαστάσεων έχουν δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγάλων εμπορευματικών σιδηροδρομικών σταθμών πολλαπλών γραμμών.

Ο αυτοματοποιημένος εξοπλισμός αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνει τις αυτοματοποιημένες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (Automated Stacking Cranes ASC), οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μεγάλες λιμενικές εγκαταστάσεις.

- **Μηχανήματα Μεταφοράς και Στοιβασίας (υποσύστημα 2 και 3)**

Στον συμβατικό εξοπλισμό της κατηγορίας αυτής ανήκουν τα Οχήματα-Πλαίσια (Straddle Carriers), οι πλαγιοφορτωτές (sideloaders), τα περνοφόρα οχήματα (forklift trucks) και τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reachstackers, front-handling machines) που έχουν την δυνατότητα οριζόντιας μεταφοράς και στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων. Στην κατηγορία αυτή εξοπλισμού η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μονάδα είναι τα οχήματα-πλαίσια. Οι υπόλοιπες μονάδες, αν και έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας με τα οχήματα-πλαίσια χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως βοηθητικές για την στοιβασία και την μεταφορά κενών εμπορευματοκιβωτίων, για την οριζόντια μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων σε μικρές αποστάσεις μέσα στην εγκατάσταση, αλλά και για την φορτοεκφόρτωση τους σε σιδηροδρομικά ή άλλα οχήματα.

Ο αυτοματοποιημένος εξοπλισμός της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνει τα αυτόματα ανυψωτικά οχήματα τύπου *ALV* (Automated Lifting Vehicles), τα οποία στην πράξη είναι πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα-πλαίσια.

3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

3.1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

3.1.1. Γερανογέφυρες κρηπιδώματος

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την φορτοεκφόρτωση των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στις λιμενικές εγκαταστάσεις στη μέθοδο Lo-Lo (Lift on-Lift off) είναι οι ανυψωτικές γερανογέφυρες. Οι γερανογέφυρες αυτές διακρίνονται στις γερανογέφυρες καταστρώματος, οι οποίες βρίσκονται και λειτουργούν επί του πλοίου, και στις γερανογέφυρες κρηπιδώματος, οι οποίες βρίσκονται και λειτουργούν επί του κρηπιδώματος της τερματικής εγκατάστασης.



Σχήμα 3.1.1.: Γερανογέφυρα κρηπιδώματος.
Πηγή: (10)

Οι γερανογέφυρες καταστρώματος συναντώνται κυρίως σε κιβωτιοφόρα πλοία πρώτης και δεύτερης γενιάς αλλά και σε πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου.

Με την αύξηση του μεγέθους των πλοίων, σε συνδυασμό με την εφαρμογή σύγχρονων και πλέον αποδοτικών συστημάτων εξοπλισμού για το χειρισμό εμπορευματοκιβωτίων στις τερματικές εγκαταστάσεις, οι γερανογέφυρες καταστρώματος εγκαταλείφθηκαν και τη θέση τους πήραν οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος. Τα βασικά μειονεκτήματα των γερανογεφυρών καταστρώματος ήταν:

- η αύξηση του συνολικού βάρους του πλοίου, σε συνδυασμό με την ελλιπή εκμετάλλευση της χωρητικότητάς του
- η χαμηλή σχετικά παραγωγικότητά τους σε σχέση με τις πιο σύγχρονες γερανογέφυρες κρηπιδώματος.

Σήμερα όλες οι λιμενικές εγκαταστάσεις διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιούν ως βασικό εξοπλισμό φορτοεκφόρτωσης πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος.

Οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος είναι γερανογέφυρες μεταλλικής πλαισιωτής κατασκευής που κινούνται επί σιδηροτροχιών και διατάσσονται παράλληλα η μία δίπλα στην άλλη κατά μήκος του κρηπιδώματος. Είναι εξοπλισμένες με αρπάγη που κινείται κατά μήκος του βραχίονα της γερανογέφυρας με τη βοήθεια του συστήματος φορείου, ενώ η ανύψωση και ο καταβιβασμός της πραγματοποιούνται με ειδικό ανυψωτικό μηχανισμό που είναι ενσωματωμένος στο πλαίσιο της γερανογέφυρας ή στο σύστημα του φορείου. Κατά τη διαδικασία της εκφόρτωσης η αρπάγη μετακινείται επάνω από το εμπορευματοκιβώτιο στο πλοίο, το ανυψώνει και το κατεβάζει στο όχημα εσωτερικής μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων της τερματικής εγκατάστασης. Η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται κατά τη διαδικασία της φόρτωσης του εμπορευματοκιβωτίου στο πλοίο.

3.1.1.1 Κατηγορίες γερανογεφυρών

Οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος διακρίνονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό των φορείων που είναι εξοπλισμένες. Στην πρώτη κατηγορία, στην οποία ανήκει η πλειοψηφία των γερανογεφυρών αυτών, κατατάσσονται αυτές που είναι

εξοπλισμένες με μονό φορείο (single trolley), με τη βοήθεια του οποίου κινείται η αρπάγη κατά μήκος του βραχίονα της γερανογέφυρας.

Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται οι γερανογέφυρες διπλού φορείου (dual trolley), στις οποίες η κίνηση των εμπορευματοκιβωτίων κατά μήκος του βραχίονα γίνεται με πλατφόρμα και είναι σχετικά νέα εξέλιξη, η οποία εφαρμόζεται πιλοτικά κατά κύριο λόγο και στην οποία δεν γίνεται εκτενής αναφορά.

Η πρώτη και πιο απλή κατηγορία είναι αυτή των γερανογεφυρών σταθερού πλαισίου με έναν μηχανισμό ανύψωσης (single hoist-fixed frame quay cranes). Όλα τα μέλη του πλαισίου είναι αμετάθετα και η γερανογέφυρα έχει δυνατότητα κίνησης μόνο κατά μήκος του κρηπιδώματος επί των σιδηροτροχιών. Είναι εξοπλισμένη με ένα μηχανισμό ανύψωσης ο οποίος εξυπηρετεί και τη θαλάσσια και τη χερσαία πλευρά της γερανογέφυρας και ο χειρισμός των εμπορευματοκιβωτίων κατά την φόρτωση και την εκφόρτωση γίνεται μόνο με τη χρήση της αρπάγης.

Η κίνηση της αρπάγης πραγματοποιείται κατά μήκος του βραχίονα με το σύστημα του φορείου. Για τη λειτουργία της απαιτείται ένας χειριστής, ενώ καμία κίνηση δεν είναι αυτοματοποιημένη. Το εύρος της μέγιστης παραγωγικότητάς της με βάση τα τεχνικά της χαρακτηριστικά είναι 20-35 χειρισμοί εμπορευματοκιβωτίων ανά ώρα λειτουργίας και παράγεται σε διάφορες διαστάσεις ανάλογα με το μέγεθος των πλοίων που αναμένεται να εξυπηρετήσει. Το κόστος κτήσης ανέρχεται στα 4-6 εκατομμύρια ευρώ ανάλογα, με το μέγεθός της και τα πρόσθετα συστήματα με τα οποία είναι εξοπλισμένη.

Στη δεύτερη κατηγορία μονού φορείου κατατάσσονται οι γερανογέφυρες με μεταθετά μέλη του πλαισίου τους (single hoist-elevating girder quay cranes/elevating platform quay cranes). Έτσι, εκτός από την κίνηση κατά μήκος του κρηπιδώματος, οι γερανογέφυρες έχουν δυνατότητα καθ' ύψος κίνησης του βραχίονά τους, ώστε να προσαρμόζουν το ύψος χειρισμού των εμπορευματοκιβωτίων.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των γερανογεφυρών με μηχανισμό καθ' ύψος κίνησης του βραχίονά τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν το ύψος ανύψωσης ή καταβιβασμού των χειριζόμενων εμπορευματοκιβωτίων, ανάλογα με το ύψος των στοιβών των εμπορευματοκιβωτίων επί του καταστρώματος των πλοίων,

ώστε να μειώνουν το συνολικό χρόνο χειρισμού των εμπορευματοκιβωτίων και να αυξάνουν έτσι την παραγωγικότητα της γερανογέφυρας.

Εκτός από την παραπάνω κατηγορία, υπάρχουν και οι γερανογέφυρες μονού φορείου οι οποίες είναι εξοπλισμένες με διπλό μηχανισμό ανύψωσης (dual hoist-fixed frame quay cranes) με αμετάθετα τα μέλη του πλαισίου τους και κινητή ή σταθερή πλατφόρμα στο πλαίσιό τους (dual hoist-fixed platform quay cranes/dual hoist elevating platform quay cranes).

Οι διαστάσεις τους είναι κοινές με την πρώτη κατηγορία γερανογεφυρών, αλλά η διαφορά τους βασίζεται στην ύπαρξη δυο μηχανισμών ανύψωσης ανεξάρτητων μεταξύ τους. Ο πρώτος μηχανισμός ανύψωσης λειτουργεί αποκλειστικά στη θαλάσσια πλευρά, δηλαδή ανυψώνει και καταβιβάζει τα εμπορευματοκιβώτια από και προς το πλοίο και κινείται επί του βραχίονα της γερανογέφυρας, ενώ ο δεύτερος μηχανισμός λειτουργεί στη χερσαία πλευρά στο πλαίσιο της γερανογέφυρας και ανυψώνει και καταβιβάζει τα εμπορευματοκιβώτια από και προς τα οχήματα εσωτερικής μεταφοράς της τερματικής εγκατάστασης.

Κατά τη διαδικασία της φόρτωσης από το κρηπιδώμα προς το πλοίο, ο ανυψωτικός μηχανισμός της χερσαίας πλευράς ανυψώνει το εμπορευματοκιβώτιο μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας, το εμπορευματοκιβώτιο αποτίθεται σε πλατφόρμα, η οποία ανάλογα με τον τύπο της γερανογέφυρας, μπορεί να είναι μεταθετή (κίνηση καθ' ύψος-elevating platform) ή αμετάθετη (καμία δυνατότητα καθ' ύψος κίνησης της πλατφόρμας-fixed platform). Από την πλατφόρμα ο ανυψωτικός μηχανισμός της θαλάσσιας πλευράς ανυψώνει το εμπορευματοκιβώτιο μεταφέροντάς το κατά μήκος του βραχίονα με σκοπό την φόρτωσή του στη κατάλληλη θέση στο πλοίο. Η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται κατά την εκφόρτωση του εμπορευματοκιβωτίου από το πλοίο.

3.1.1.2 Παραγωγικότητα γερανογεφυρών

Το βασικό κριτήριο απόδοσης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη συνολική λειτουργία της τερματικής εγκατάστασης

είναι η παραγωγικότητά τους, η οποία εκφράζεται σε χειριζόμενα εμπορευματοκιβώτια ανά ώρα λειτουργίας.

Η μέγιστη παραγωγικότητα καθορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανισμών της γερανογέφυρας (ισχύς μηχανισμών κίνησης φορείου και αρπάγης, ταχύτητα ανύψωσης, καταβιβασμού και κίνησης των εμπορευματοκιβωτίων κατά μήκος του βραχίονα).

Σε πείραμα προσομοίωσης που έγινε από τη εταιρεία κατασκευής γερανογεφυρών Liftech παρουσιάζεται η σύγκριση της παραγωγικότητας των παραπάνω τύπων γερανογεφυρών μονού φορείου με βάση τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους.

Οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης είναι ότι:

- Η παραγωγικότητα των γερανογεφυρών είναι ανεξάρτητη των καθυστερήσεων που προκαλούνται από το χρόνο ανοίγματος των θυρών των κυψελών του πλοίου (ο χρόνος αυτός είναι περίπου 30 λεπτά και η διαδικασία δεν είναι δυνατόν να γίνει εκ των προτέρων αφού πρέπει πρώτα να εκφορτωθούν όλα τα εμπορευματοκιβώτια που βρίσκονται επάνω από την αντίστοιχη κυψέλη).
- Η παραγωγικότητα της γερανογέφυρας είναι ανεξάρτητη του χρόνου κίνησής της κατά μήκος του κρηπιδώματος για την προσαρμογή της κάθε φορά στη κατάλληλη θέση για την εκφόρτωση του πλοίου.
- Η παραγωγικότητα είναι ανεξάρτητη από τη διαθεσιμότητα των μέσων εσωτερικής μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων στην τερματική εγκατάσταση.

Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος, η πιο χαμηλή παραγωγικότητα καταγράφεται για τις γερανογέφυρες σταθερού πλαισίου και είναι της τάξης των 37 χειρισμών εμπορευματοκιβωτίων ανά ώρα λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αρπάγη της γερανογέφυρας εκτελεί πλήρη κίνηση με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου κίνησης ανά εμπορευματοκιβώτιο.

Σε αντίθεση με τις γερανογέφυρες μονού ανυψωτικού μηχανισμού, οι γερανογέφυρες με διπλό μηχανισμό σταθερής και μεταθετής πλατφόρμας έχουν περίπου 40-45% μεγαλύτερη παραγωγικότητα, φτάνοντας τις 52 και 54 κινήσεις ανά ώρα λειτουργίας αντίστοιχα.

Η αποσύνδεση των δυο πλευρών λειτουργίας της γερανογέφυρας σε συνδυασμό με τη χρήση της πλατφόρμας αυξάνει την παραγωγικότητα των γερανογεφυρών σημαντικά, δεδομένου ότι η απόσταση κίνησης της αρπάγης που φορτοεκφορτώνει το πλοίο μειώνεται αφού η απόσταση περιορίζεται στην ανύψωση και το καταβιβασμό των εμπορευματοκιβωτίων από και προς το πλοίο και στη κίνηση επί του βραχίονα της γερανογέφυρας. Η εξυπηρέτηση της χερσαίας πλευράς γίνεται με χρήση της δεύτερης αρπάγης. Η πλατφόρμα έχει δυνατότητα λειτουργίας και ως χώρος προσωρινής απόθεσης του εμπορευματοκιβωτίου.

Σε ότι αφορά τις γερανογέφυρες μεταθετού βραχίονα η παραγωγικότητά τους εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου που φορτοεκφορτώνουν λόγω της δυνατότητάς τους να προσαρμόζουν το ύψος του βραχίονα στο ύψος φόρτωσης του εμπορευματοκιβωτίου του καταστρώματος. Η τιμή της παραγωγικότητάς τους βάσει του πειράματος είναι 50 κινήσεις εμπορευματοκιβωτίων ανά ώρα λειτουργίας για εξυπηρέτηση πλοίων κατηγορίας feeder.

Πέραν των τεχνικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των γερανογεφυρών, αυτή επηρεάζεται σημαντικά και από τις καθυστερήσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της φορτοεκφόρτωσης, οι οποίες είναι δυνατόν να οφείλονται σε:

- Παράγοντες που σχετίζονται με τη συνολική οργάνωση και λειτουργία της εγκατάστασης,
- Απρόβλεπτους παράγοντες,
- Παράγοντες που σχετίζονται με την απόδοση και την εμπειρία των χειριστών της γερανογέφυρας.

Οι παράγοντες που σχετίζονται με τη λειτουργία και την οργάνωση της τερματικής εγκατάστασης είναι:

- Η διάταξη του χώρου στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων στην εγκατάσταση και η απόστασή τους από το κρηπίδωμα,
- Το ύψος της στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων στις στοίβες και η συχνότητα με την οποία αναδιατάσσονται σε αυτήν,

- Η διαθεσιμότητα και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μέσων εσωτερικής μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων (ταχύτητα κίνησης, ταχύτητα φορτοεκφόρτωσης, ικανότητα στοιβασίας ανάλογα με το σύστημα εξοπλισμού).

Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της γερανογέφυρας και κατ' επέκταση το συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης του πλοίου. Απρόβλεπτοι παράγοντες, όπως οι κακές καιρικές συνθήκες που δημιουργούν ανεπαρκή ορατότητα, οι δυνατοί άνεμοι και οι ισχυρές βροχοπτώσεις αλλά και οι κυματισμοί, είναι δυνατόν να θέσουν εκτός λειτουργίας τη γερανογέφυρα ή να μειώσουν την ταχύτητα των κινήσεων της (αύξηση του χρόνου ανύψωσης και καταβιβασμού εμπορευματοκιβωτίων, μείωση ταχύτητας κίνησης του εμπορευματοκιβωτίου κατά μήκος του βραχίονα), επηρεάζοντας σημαντικά την παραγωγικότητά της.

Επίσης, ο χρόνος που απαιτείται για να ανοίξουν/κλείσουν οι θύρες των κυψελών για φορτοεκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων από και προς τα κύπη του πλοίου, αποτελεί συχνά λόγο μείωσης της παραγωγικότητας της γερανογέφυρας, δεδομένου ότι απαιτείται, κατά μέσο όρο, μισή ώρα για αυτή τη διαδικασία, χρονική διάρκεια που θεωρείται χαμένος χρόνος για τη λειτουργία της γερανογέφυρας.

Οι παράγοντες που σχετίζονται με το χειρισμό της γερανογέφυρας βασίζονται στην ικανότητα και την εμπειρία του/των χειριστή/ών. Αυτή με τη σειρά της βασίζεται:

- Στον εντοπισμό της ακριβούς θέσης προσαρμογής της αρπάγης πάνω στο εμπορευματοκιβώτιο που βρίσκεται στο πλοίο
- Στη σωστή τοποθέτηση της αρπάγης στους οδηγούς των κυψελών που αποτελεί δύσκολη διαδικασία δεδομένης της κλίσης του πλοίου
- Στους κατάλληλους χειρισμούς για την απαλοιφή των ταλαντώσεων των εμπορευματοκιβωτίων κατά τη διαδικασία της ανύψωσης
- Στον εντοπισμό της θέσης του οχήματος διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας στη χερσαία πλευρά.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες μειώνουν σημαντικά την παραγωγικότητα των γερανογεφυρών σε ποσοστά που μπορεί να φτάνουν ως και το 50%.

Έτσι, κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πραγματικές τιμές παραγωγικότητας, οι οποίες είναι αρκετά χαμηλότερες από τη μέγιστη παραγωγικότητα που δίνεται από το κατασκευαστή και βασίζεται αποκλειστικά στα τεχνικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας.

3.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

3.2.1. Ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις (tractors)

Πρόκειται για οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο εσωτερικό του λιμένα, που περιλαμβάνουν ένα ειδικό κουβούκλιο για τον οδηγό του οχήματος, καθώς και μία βάση στην οποία είτε τοποθετείται το εμπορευματοκιβώτιο απευθείας, είτε προσαρμόζεται σε αυτήν το κινητό αμάξωμα/τροχοφόρα βάση που φέρει το εμπορευματοκιβώτιο (βλ. Σχήμα 3.2.1).



Σχήμα 3.2.1: Ελκυστήρας με συρόμενη βάση

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Lo-Lo (Lift on Lift off) διαδικασίες, δηλαδή για είτε την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από την προσωρινή θέση στην οποία η γερανογέφυρα προκυμαίει τα εναπόθεσε κατά την εκφόρτωση του πλοίου, και αντίστροφα, προς τον χώρο εναπόθεσης και στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων, είτε για την μετακίνησή τους από τον χώρο στοιβασίας προς τις πύλες εισόδου/εξόδου της εγκατάστασης. Πρόκειται δηλαδή για οχήματα

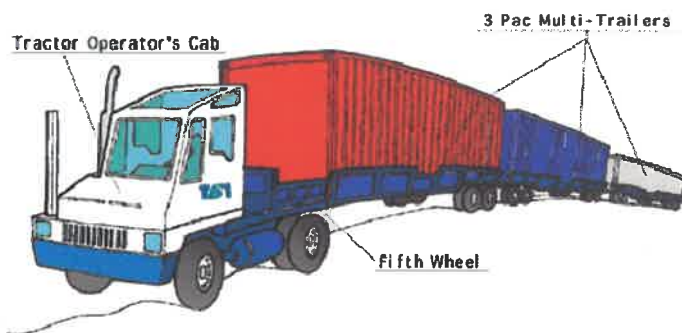
οριζόντιας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από μία θέση σε μία άλλη στο εσωτερικό της εγκατάστασης.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση Ro-Ro (Roll on Roll off) διαδικασιών φορτοεκφόρτωσης, καθώς μπορούν να προσαρμόσουν στην βάση τους το κινητό αμάξωμα που φέρει το εμπορευματοκιβώτιο σε περίπτωση φορτοεκφόρτωσης πλοίων τύπου Ro-Ro που μεταφέρει τροχοφόρα φορτία. Στην περίπτωση αυτή, η συνηθέστερη διάταξη των εμπορευματοκιβωτίων στον χώρο εναπόθεσης έχει την μορφή «ψαροκόκαλου».

Όσον αφορά στις διαστάσεις τους, το πλάτος τους κυμαίνεται από 2,40 μέχρι 2,60 μέτρα ενώ το μήκος τους από 4,50 έως 5,70 μέτρα και η ελάχιστη ακτίνα στροφής κυμαίνεται από 6-8 μέτρα ανάλογα με το μήκος τους.

3.2.2. Ελκυστήρες με δυνατότητα ταυτόχρονης μεταφοράς δύο ή και περισσότερων συρομένων βάσεων (Multi-Trailer Tractors)

Το σύστημα μεταφοράς με ελκτικά/ρυμουλκούμενα οχήματα περιλαμβάνει έναν ελκυστήρα με συρόμενη βάση όπως τα περιγραφέντα στην παρ. 3.2.1, το οποίο μπορεί να μεταφέρει περισσότερα του ενός εμπορευματοκιβώτια από και προς τον χώρο στοιβασίας. Ένα τυπικό όχημα αυτής της μορφής μπορεί να ρυμουλκήσει από 3 έως 5 τροχοφόρες βάσεις (trailers), καθεμία με ικανότητα μεταφοράς δύο TEU (βλ. Σχήματα 3.2.2 και 3.2.3). Το πλεονέκτημα της χρήσης αυτού του είδους των μηχανημάτων για την μεταφορά των μοναδοποιημένων φορτίων βασίζεται στο γεγονός ότι είναι σαφώς φτηνότερη η ταυτόχρονη μεταφορά περισσότερων του ενός εμπορευματοκιβωτίων σε μία κίνηση του οχήματος από την μεταφορά μίας μονάδας ανά διαδρομή. Τα οικονομικά οφέλη προέρχονται τόσο από τα λιγότερα εργατικά όσο και από την λειτουργία, με όλα τα κόστη που αυτή έχει, λιγότερων οχημάτων.



Σχήμα 3.2.2: Ελκυστήρας μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων

Πηγή: (9)

Απόδειξη της λειτουργικότητας του συστήματος αυτού είναι η ευρεία χρήση τους στο λιμάνι του Ρότερνταμ (European Combined Terminal) που είναι το μεγαλύτερο λιμάνι διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη και ένα από τα μεγαλύτερα παγκοσμίως. Χρησιμοποιεί συνήθως ένα ελκτικό όχημα για την μεταφορά 5 τροχοφόρων βάσεων, με συνολική μέγιστη δυνατότητα μεταφοράς 10 TEU ανά διαδρομή. Το σύστημα πέδησης του τελευταίου αμαξώματος είναι λίγο ισχυρότερο από το κάθε έμπροσθεν αμαξώμα εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την διατήρηση επαρκών αποστάσεων ασφαλείας ανάμεσά τους όταν ο συρμός αναγκαστεί σε πέδηση.



Σχήμα 3.2.3: Ελκυστήρας μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων

Πηγή: (9)

3.2.3. Αυτόματα Οχήματα Μεταφοράς τύπου AGV

Πρόκειται για οχήματα που εκτελούν την ίδια λειτουργία της οριζόντιας μετακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων με τους ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις, με

κύρια διαφορά την πλήρη αυτοματοποίηση και καθοδήγησή τους χωρίς οδηγούς αλλά με εξειδικευμένα ηλεκτρονικά συστήματα.

3.2.3.1. Τεχνική περιγραφή του οχήματος

Το σύστημα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* αποτελείται από ένα όχημα, μία συσκευή ελέγχου/καθοδήγησης εγκατεστημένη επί του οχήματος (onboard controller), ένα δίκτυο μεταφοράς δεδομένων με κεντρικό σύστημα διαχείρισης και ένα σύστημα πλοήγησης. Τα οχήματα τέτοιου τύπου συνήθως λειτουργούν με ηλεκτρισμό και κατασκευάζονται από off-the-shelf components.



Σχήμα 3.2.4: Αυτόματο Όχημα Μεταφοράς τύπου *AGV*
Πηγή: (9)

Το όχημα αποτελείται από μία πλατφόρμα-βάση με τροχούς και σε αντίθεση με τους συμβατικούς ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις οριζόντιας μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων δεν φέρει, στις περισσότερες περιπτώσεις, καμπίνα οδηγού (βλ. Σχήμα 3.2.4).

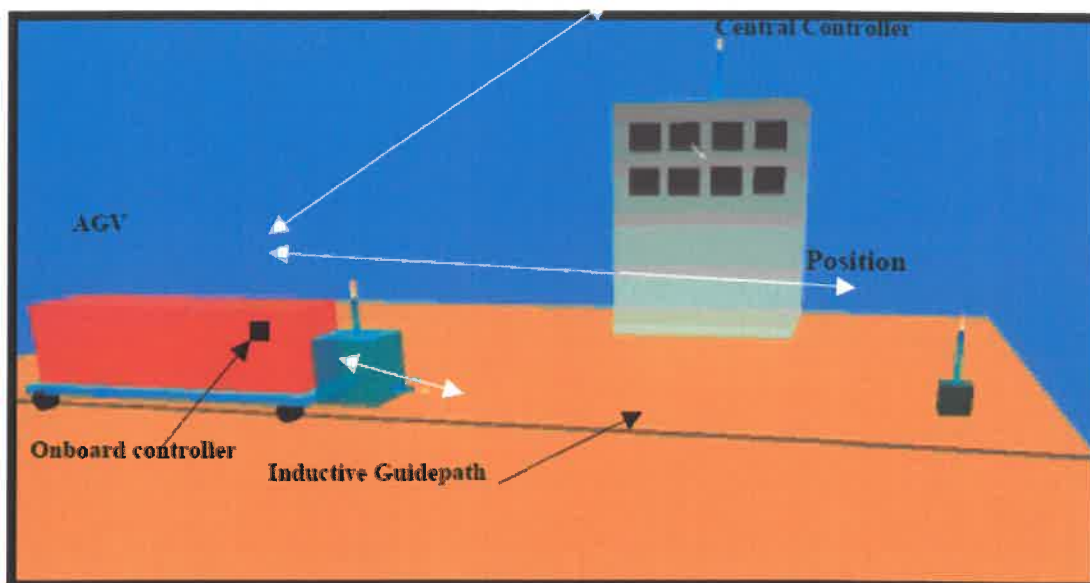
Η συσκευή ελέγχου/καθοδήγησης που βρίσκεται επί του οχήματος είναι υπεύθυνη για τις διαδικασίες εκκίνησης και παύσης της λειτουργίας του. Διαχειρίζεται τα συστήματα προώθησης, κατεύθυνσης, πέδησης καθώς και άλλες λειτουργίες του οχήματος. Επίσης παρακολουθεί και ανιχνεύει τυχόν λάθη και ενεργοποιεί τον κατάλληλο μηχανισμό για την διόρθωσή τους.

Το σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας τους ελέγχει και ορίζει τον χρονικό και χωρικό προγραμματισμό των κινήσεων των οχημάτων με κύριο σκοπό την βελτιστοποίηση της χρήσης του οχήματος στις λειτουργίες του λιμένα. Δίνει τις κύριες εντολές για την αποστολή, καθώς και την δρομολόγηση.

Το σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιείται για την αναμετάδοση δεδομένων από το όχημα στον κεντρικό ελεγκτή της λειτουργίας και αντίστροφα. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν την ακριβή θέση και κατάσταση του οχήματος, την θέση των εργασιών που του ανατίθενται και πιθανώς την θέση των μελλοντικών εργασιών που θα κληθεί να ολοκληρώσει.

Το σύστημα πλοήγησης παρέχει καθοδήγηση και πλοήγηση στο όχημα σε ένα λειτουργικό περιβάλλον (βλ. Σχήμα 3.2.5). Η πλοήγηση μπορεί να γίνεται επί μιας αυστηρά καθορισμένης διαδρομής ή επί μίας ελεύθερης διαδρομής.

- Στην περίπτωση της πλοήγησης του οχήματος επί της καθορισμένης διαδρομής, το AGV δεν έχει την ευελιξία της αλλαγής της διαδρομής του.



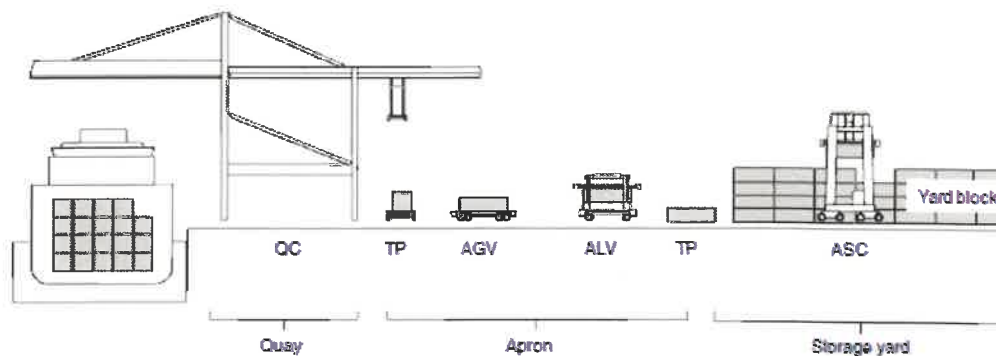
Σχήμα 3.2.5: Ολοκληρωμένο σύστημα λειτουργίας οχημάτων τύπου AGV
Πηγή: (9)

- Στην περίπτωση της ελεύθερης διαδρομής, το σύστημα είναι αυτόνομο και δύναται να αλλάξει την διαδρομή αξιοποιώντας τις πληροφορίες του συστήματος για την αποφυγή εμποδίων και πιθανών συγκρούσεων.

Όσον αφορά στις ταχύτητες κίνησης των οχημάτων αυτών όταν είναι κενά φορτίου αυτή ανέρχεται σε 4,5 έως 5,5m/sec, ενώ όταν είναι έμφορτα η ταχύτητα κυμαίνεται από 2,5 έως 5m/sec. Η επιτάχυνση και η επιβράδυνσή τους είναι της τάξης των 0,5m/sec².

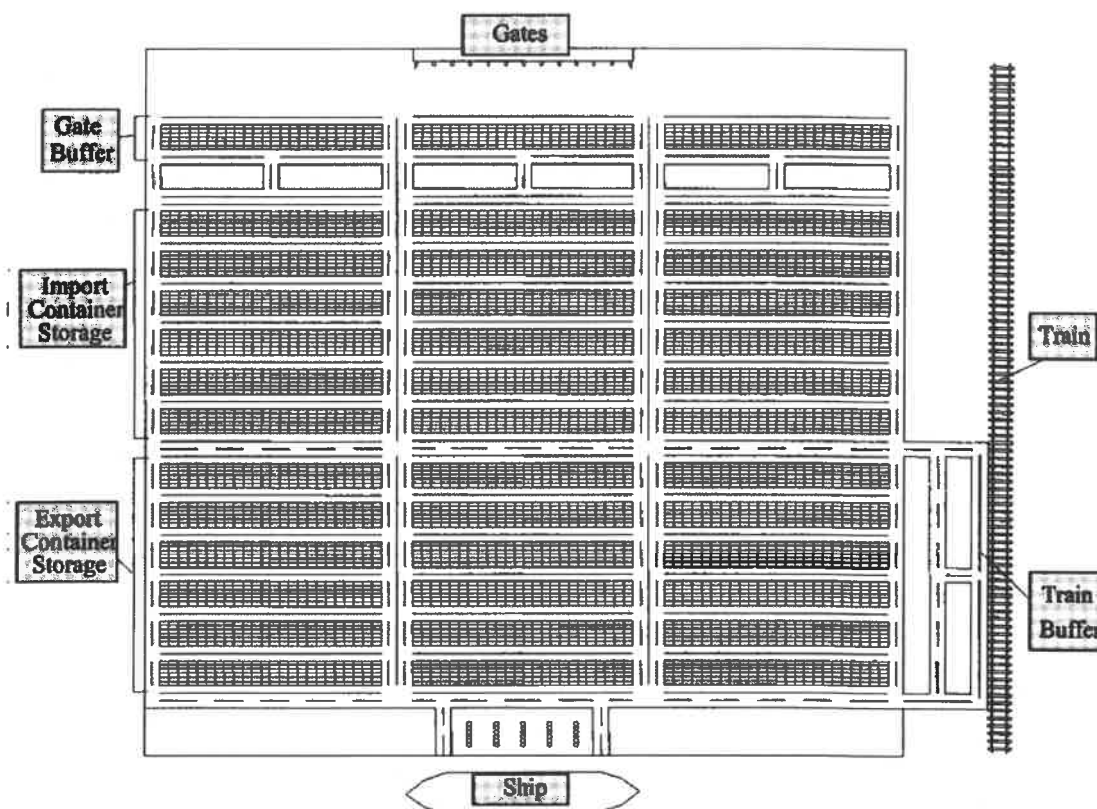
3.2.3.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων

Ο ρόλος των οχημάτων αυτών στο σύστημα διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων σε μία εγκατάσταση περιορίζεται στην μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων ανάμεσα στις γερανογέφυρες προκυμαίας και στον μηχανολογικό εξοπλισμό του χώρου στοιβασίας της εγκατάστασης όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.6.



Σχήμα 3.2.6: Λειτουργία οχημάτων τύπου *AGV*
Πηγή: (11)

Τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* μπορούν να εξυπηρετήσουν και μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων από και προς το σιδηροδρομικό δίκτυο, αν αυτό υπάρχει στη λιμενική εγκατάσταση (βλ. Σχήμα 3.2.7).



Σχήμα 3.2.7.: Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με οχήματα *AGV* προς και από το σιδηροδρομικό δίκτυο

Πηγή: (12)

Για την κυκλοφορία των οχημάτων αυτών στον τερματικό σταθμό, λόγω του υψηλού επιπέδου αυτοματισμού τους, απαιτείται η εγκατάσταση ειδικών συστημάτων καθοδήγησης τόσο για τον καθορισμό της πορείας τους όσο και για τον έλεγχο της θέσης τους.

Μερικά από τα συστήματα καθοδήγησης και ελέγχου είναι τα εξής:

- **Σύστημα καθοδήγησης με καλωδιώσεις (wire guidance system)**

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα δίκτυο καλωδιώσεων ενσωματωμένο στο οδόστρωμα του λιμένα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα που διέρχεται από αυτά δημιουργεί γύρω από τα καλώδια ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο ανιχνεύεται από δύο αποδέκτες εγκατεστημένους στα δύο άκρα του οχήματος. Η

διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους δύο αυτούς αποδέκτες χρησιμεύει στο να εκπέμπει τις εντολές ελέγχου τις απαραίτητες για την καθοδήγηση του οχήματος.

Πρόκειται για το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα λειτουργίας των AGV λόγω της απλότητας του συστήματος και της αποδεδειγμένης αποτελεσματικής του λειτουργίας στο πεδίο. Παρ' όλα αυτά, πρόκειται για μία ακριβή από άποψη συντήρησης των καλωδιώσεων μέθοδο, με ειδική πολύπλοκη διαδικασία εγκατάστασής της και με αδυναμία να ανταποκριθεί σε νέες ανάγκες καθώς τα οχήματα δεν μπορούν να κινηθούν σε περιοχές χωρίς την κατάλληλη υποδομή του συστήματος καλωδιώσεων.

Παράδειγμα χρήσης αυτού του τύπου της τεχνολογίας είναι το λιμάνι του Ρότερνταμ.

▪ Σύστημα καθοδήγησης με μαγνητικές ράβδους (Magnetic Bars System)

Με ίδια λογική οργάνωσης του συστήματος όπως το σύστημα με τις καλωδιώσεις, οι μαγνητικές ράβδοι τοποθετούνται κάτω από το οδόστρωμα δημιουργώντας ένα είδος «μονοπατιού» που το όχημα καλείται να ακολουθήσει. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι το ότι υπόκειται σε παρεμβολές του μαγνητικού πεδίου, καθώς και το ότι δημιουργούνται προβλήματα στο οδόστρωμα.

▪ Εσχάρα κυμαινόμενης εμβέλειας (free range on grid)

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μία εσχάρα επί του εδάφους οριοθετημένη από αναμεταδότες σε καθορισμένους κόμβους, οι οποίοι αναμεταδίδουν την ταυτότητα της θέσης και τα δεδομένα της. Κάθε φορά που ένα όχημα διασχίζει μία γραμμή της εσχάρας, συγκρίνει τα μεταδιδόμενα αυτά δεδομένα με την προϋπολογισμένη του πορεία και διορθώνει/επαναπροσδιορίζει την θέση του ανάλογα.

Πρόκειται για πολύ ευέλικτο σύστημα πλοήγησης με απόκλιση της τάξεως των τριών εκατοστών περίπου. Βέβαια πρόκειται για μία δύσκολα εγκαθιστάμενη τεχνολογία με κίνδυνο της καταστροφής των αναμεταδοτών σε περίπτωση κακοκαιρίας.

▪ Σύστημα καθοδήγησης με ακτίνες λέιζερ (Laser guidance system)

Το όχημα χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ και ανακλαστήρες για τον υπολογισμό της απόστασής του από σταθερά σημεία με λογισμικό που αξιοποιεί την γεωμετρία των τριγώνων. Για τον λόγο αυτό κατά τη διάρκεια της διαδρομής του είναι απαραίτητη η ανίχνευση τριών τουλάχιστον σημείων. Κατόπιν το όχημα χρησιμοποιώντας τον χάρτη πορείας που έχει εγκατεστημένο στο λογισμικό του διορθώνει την πορεία του με βάση αυτόν.

Η μέθοδος αυτή είναι οικονομική από άποψη υποδομών, ευέλικτη και ακριβής. Βέβαια από την άλλη πλευρά, επηρεάζεται από τον καιρό, απαιτεί μεγάλο αριθμό ανακλαστήρων και χρόνο για την εγκατάστασή της.

▪ **Millimeter Wave Radar (MMWR)**

Στη μέθοδο αυτή το περιστρεφόμενο ραντάρ ανιχνεύει την ύπαρξη φανών σε προκαθορισμένα σημεία της εγκατάστασης ώστε να προσδιορίσει την θέση του οχήματος. Οι παραπάνω παρατηρήσεις κατόπιν επεξεργάζονται ώστε να ενημερώνουν διαρκώς για την νέα θέση του οχήματος.

Πρόκειται για ένα σύστημα με ακρίβεια της τάξεως των 10cm αλλά είναι αρκετά δαπανηρό, καθώς απαιτεί μεγάλο χρόνο για την εγκατάστασή του καθώς και μεγάλο αριθμό αναμεταδοτών.

▪ **Διαφορικό σύστημα γεωγραφικού προσδιορισμού (Differential GPS)**

Τα διαφορικά συστήματα γεωγραφικού προσδιορισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε περιπτώσεις πλοήγησης AGV μέσα σε τερματική λιμενική εγκατάσταση παρ' όλα τα ζητήματα της δορυφορικής κάλυψης και της αξιοπιστίας του εκπεμπόμενου σήματος. Η ακρίβεια του συστήματος είναι γύρω στα 5cm, έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και απαιτεί πολύ λίγες τροποποιήσεις στην εγκατάσταση προκειμένου να τεθεί σε λειτουργία.

▪ **Dead Reckoning**

Σε αυτό το σύστημα πλοήγησης αισθητήρες κίνησης εγκατεστημένοι επί του οχήματος, ανιχνεύουν με ακρίβεια την κατεύθυνση και ταχύτητα του οχήματος. Με δεδομένη μία αρχική θέση του οχήματος, ο συνδυασμός των δεδομένων ταχύτητας και χρόνου δίνει την θέση του οχήματος. Λόγω του ότι

τυχόν λάθη με την διανυόμενη απόσταση συσσωρεύονται, το σύστημα αυτό αποδεικνύεται ανακριβές και αναξιόπιστο εκτός και αν η θέση του οχήματος ελέγχεται και επαναπροσδιορίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κατά τα άλλα πρόκειται για μία απλή, όχι δαπανηρή και ευέλικτη μέθοδο που δίνει αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο.

▪ **Machine Vision**

Αξιοποιεί την επεξεργασία της εικόνας για την παροχή καθοδήγησης. Εκτός από τα εξαιρέτα αποτελέσματα του συστήματος αυτού στην καθοδήγηση του οχήματος παρέχουν και μία πληθώρα επιπλέον πληροφοριών, όπως για την αποφυγή τυχόν συγκρούσεων. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται το αυξημένο κόστος, η πολυπλοκότητα, καθώς και οι περιορισμοί από την χρήση σαν βασικού μέσου πλοήγησης της κάμερας δεδομένου ότι παρέχει μόνο την στιγμιαία εικόνα της κατάστασης.

▪ **Magnetic Nails**

Μικροί μαγνήτες μορφής συμπαγούς κυλίνδρου, με διάμετρο όσο ένα κέρμα και μήκος περίπου 10cm εισάγονται σε τρύπες στο κέντρο κάθε λωρίδας κυκλοφορίας ανά ένα μέτρο απόσταση ο ένας από τον άλλον. Μαγνητόμετρα εγκατεστημένα κάτω από το όχημα ανιχνεύουν το μαγνητικό πεδίο και παρέχουν μία εκτίμηση της πλευρικής απόκλισης από το κέντρο της λωρίδας κυκλοφορίας ώστε να γίνεται η επαναφορά του.

Η αυξημένη λειτουργικότητα και η μεγάλη παρατηρούμενη απόδοση της χρήσης των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* στο εσωτερικό της εγκατάστασης διακίνησης ως προς την βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης οδήγησε στην ανάπτυξη βελτιωμένων μοντέλων των παραπάνω οχημάτων με επιπλέον χαρακτηριστικά. Δύο νέοι τύποι αυτόματων οχημάτων είναι οι εξής:

i. Αυτόματο όχημα με δυνατότητα ανύψωσης (lift-AGV)

Πρόκειται για μία καινοτομία της εταιρείας Gottwald Port Technology που περιλαμβάνει ένα αυτόματο όχημα το οποίο φέρει δύο πλατφόρμες με δυνατότητα ανύψωσης. Η ανύψωση επιτυγχάνεται ηλεκτρικά, γεγονός που το κατατάσσει σε ιδιαίτερα φιλικό για το περιβάλλον όχημα. Οι πλατφόρμες που φέρουν τα

εμπορευματοκιβώτια ανυψώνονται και πλησιάζοντας σε μία σταθερή επί του εδάφους ανυψωμένη βάση μπορούν να τοποθετήσουν συρταρωτά το εμπορευματοκιβώτιο πάνω στις ειδικές ράγες της βάσης αυτής. Με ανάλογο τρόπο μπορούν να παραλάβουν από αυτές εμπορευματοκιβώτια. Ειδικοί αισθητήρες στο όχημα του επιτρέπουν την τοποθέτηση του εμπορευματοκιβωτίου στην βάση με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια (βλ. Σχήμα 3.2.8).



Σχήμα 3.2.8.: Λειτουργία οχημάτων lift-AGV

Τα οχήματα αυτά έχουν δυνατότητα μεταφοράς των εξής τύπων εμπορευματοκιβωτίων:

1x20', 1x40', 1x45', 2x20', 1x30'

Επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 3.2.1:

Μήκος (περιλαμβανομένου προφυλακτήρα)	περίπου 14,8 m
Πλάτος	περίπου 3m
Μέγιστο ύψος πλατφόρμων φορτοεκφόρτωσης	περίπου 2,4 m
Μέγιστη ταχύτητα σε ευθεία κίνηση	6m/s
Μέγιστη ταχύτητα σε στροφή	3m/s
Ακρίβεια τοποθέτησης στην βάση	+/- 25 mm

Πίνακας 3.2.1: Λειτουργικά χαρακτηριστικά οχημάτων lift-AGV

ii. Αυτόματο όχημα μεταφοράς με μία ή περισσότερες πλατφόρμες-βάσεις για ένα ή δύο εμπορευματοκιβώτια (automated guided cassette system-AGC)

Το σύστημα automated guided cassette system (AGC) (αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως cassette AGV system) αναπτύχθηκε από την σουηδική εταιρεία TTS και πρόκειται για ένα αυτόματο όχημα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο εσωτερικό της εγκατάστασης (βλ. Σχήμα 3.2.9). Πιο συγκεκριμένα, ο ρόλος του είναι η μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από τον χώρο στοιβασίας προς τον χώρο προσωρινής εναπόθεσης παρά την προκυμαία για την μετέπειτα φορτοεκφόρτωσή τους από τις γερανογέφυρες προκυμαίας, όπως επίσης και στο υποσύστημα μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων από τον χώρο στοιβασίας προς τον σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό μεταφόρτωσης της εγκατάστασης.



Σχήμα 3.2.9: Σύστημα *cassette AGV*

Όσον αφορά στην μορφολογία τους, αποτελούνται από την αυτόματα καθοδηγούμενη πλατφόρμα που φέρει όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα για την πλοήγησή της και σε αυτήν είναι συνδεδεμένες μία ή περισσότερες χαλύβδινες πλατφόρμες-βάσεις –μέχρι και 4 έχουν ήδη εξεταστεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία (13) - οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αποσπώνται από το όχημα. Επίσης έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς μέχρι και δύο εμπορευματοκιβωτίων καθ' ύψος σε συνδυασμούς των δύο των 40 ποδών ή τεσσάρων των 20 ποδών. Το σύστημα πλοήγησής τους περιλαμβάνει περιστρεφόμενα λείζερ και σαρωτές στην αρχή και στο τέλος του οχήματος που ανιχνεύουν συνεχώς την θέση του οχήματος και την

διορθώνουν με οδηγούς ειδικούς ανακλαστήρες που είναι τοποθετημένοι στην εγκατάσταση. Η ασφάλιση των εμπορευματοκιβωτίων στην βάση γίνεται με πύρους και απαιτούν και την εποπτεία από το προσωπικό της εγκατάστασης για την ασφάλιση και αποδέσμευσή τους. Επίσης οι πλατφόρμες-βάσεις φέρουν ειδικά γωνιακά στοιχεία για την εξασφάλιση της σταθερότητας των εμπορευματοκιβωτίων (βλ. Σχήμα 3.2.9). Στην περίπτωση στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων των 20 ποδών υπάρχουν ειδικά σημεία εξασφάλισης και στο μέσον του οχήματος. Έχουν ικανότητα μεταφοράς μέχρι και 96 τόνους.

Οι διαστάσεις και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 3.2.2:

Μέγιστο ύψος ανύψωσης	1.190mm
Ύψος κατά την κίνησή του	1.000mm
Ελάχιστο ύψος του κατά την φόρτωση	750mm
Πλάτος	2.350mm
Συνολικό μήκος	12.180mm
Νεκρό Βάρος	16.000kg
Ταχύτητα κίνησης με 82,5 τόνους φορτίου	20km/h
Ταχύτητα κίνησης χωρίς φορτίο	20 km/h
Ταχύτητα κίνησης σε ράμπα με κλίση 5°	5 km/h

Πίνακας 3.2.2: Λειτουργικά χαρακτηριστικά οχημάτων *cassette AGV*



Σχήμα 3.2.10: Σύστημα *cassette AGV*
Πηγή: (13)

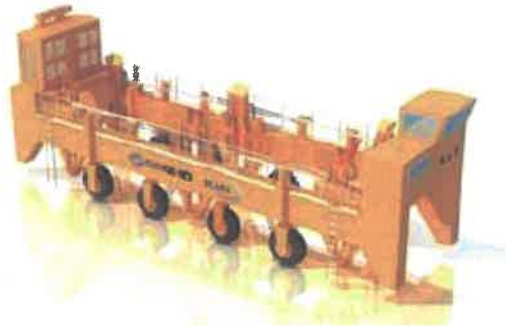
Η λειτουργία του βασίζεται σε δύο επίπεδα λήψης αποφάσεων, στο κατώτερο επίπεδο το όχημα ευθυγραμμίζεται με την βάση με την οποία θα συνδεθεί και σε επόμενο επίπεδο εξασφαλίζεται η σύνδεσή του με την βάση και η ασφάλιση της στο όχημα. Το πρώτο όχημα οδηγείται κάτω από την βάση για μεταφορά αφού χαμηλώνει το ύψος του και κατόπιν φορτώνει την βάση και ανασηκώνεται για να ξεκινήσει την πορεία του.

Πλεονέκτημα της λειτουργίας τους είναι το γεγονός ότι μπορούν να λειτουργήσουν ως χώροι προσωρινής εναπόθεσης των εμπορευματοκιβωτίων καθώς μπορεί το όχημα να αφήσει την βάση με το εμπορευματοκιβώτιο στην αντίστοιχη γερανογέφυρα και να μην περιμένει να φορτοεκφορτωθεί. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να συνεχίσει την πορεία του και λειτουργία του για την εξυπηρέτηση επόμενων γερανογεφυρών ή του χώρου στοιβασίας. Η απεξάρτηση των γερανογεφυρών φορτοεκφόρτωσης των πλοίων από την άφιξη των αυτοκαθοδηγούμενων οχημάτων για να φέρουν ή να παραλάβουν τα εμπορευματοκιβώτια οδηγεί σε μεγάλη αύξηση της παραγωγικότητάς τους.

3.2.4. Αυτόματα Οχήματα Ανύψωσης τύπου ALV

Το 2006 η εταιρία Seoho Electric Company και το Korea Maritime Institute ανέπτυξαν ένα νέο μεταφορέα εμπορευματοκιβωτίων, που ονομάζεται αυτόματο όχημα ανύψωσης τύπου ALV (Automated Lifting Vehicle). Ο σχεδιασμός του είναι

ένας συνδυασμός μεταξύ ενός παθητικού *AGV* και ενός οχήματος-πλαίσιου χαμηλού ύψους.



Σχήμα 3.2.11: Αυτόματο όχημα ανύψωσης τύπου *ALV*
Πηγή: (14)

Το Korea Maritime Institute συνέκρινε, μέσω προσομοίωσης, τα οχήματα τύπου *AGV* με τους ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα *AGV* έχουν καλύτερη παραγωγικότητα, εκτός εάν ένα *AGV* περιμένει την αντίστοιχη γερανογέφυρα ή το αντίστροφο. Καθώς ο χρόνος αναμονής είναι δύσκολο να εξαλειφθεί, η Seoho και το KMI για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητα, ανέπτυξαν το *ALV*, με το οποίο μπορεί να γίνεται παθητική και ενεργητική φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων.

Στην παθητική κατάσταση η γερανογέφυρα κρηπιδώματος ή η γερανογέφυρα του χώρου στοίβασης τοποθετούν ένα εμπορευματοκιβώτιο διαμέσου του κέντρου του οχήματος επάνω σε μετακινούμενους βραχίονες συγκράτησης και το όχημα *ALV* μετακινείται σαν ένα *AGV*.

Στην ενεργητική κατάσταση το *ALV* μπορεί να οδηγηθεί επάνω από ένα εμπορευματοκιβώτιο και να το ανασηκώσει από τις επάνω γωνίες του, σε υδραυλικούς βραχίονες ανύψωσης. Όταν το εμπορευματοκιβώτιο ανυψωθεί, οι βραχίονες εκτείνονται κάτω από αυτό, εμπορευματοκιβώτιο κατεβαίνει προς αυτούς και είναι έτοιμο για μεταφορά. Αντίστοιχα, αν καμία αρπάγη γερανογέφυρας δεν είναι διαθέσιμη να ξεφορτώσει το εμπορευματοκιβώτιο, το *ALV* μπορεί να το αποθέσει στο έδαφος και στη συνέχεια το όχημα να μετακινηθεί στην επόμενη εργασία του.

Για την πλοήγησή του το *ALV* χρησιμοποιεί σύστημα εντοπισμού GPS, με ακρίβεια της τάξης των 20mm. Το σύστημα κίνησης είναι συνδυασμός πετρελαιοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα, με ένα μόνο πετρελαιοκινητήρα ισχύος 300 kW να κινεί τέσσερεις κινητήριους τροχούς. Με τον πετρελαιοκινητήρα λειτουργεί επίσης και το υδραυλικό σύστημα ανύψωσης των βραχιόνων, ισχύος 55 kW.

Όσον αφορά στις ταχύτητες κίνησης των οχημάτων τύπου *ALV* όταν είναι έμφορτα αυτή ανέρχεται σε 3 έως 6 m/sec, ενώ όταν είναι κενά φορτίου η ταχύτητα μπορεί να φτάσει και τα 7 m/sec. Η επιτάχυνση και η επιβράδυνσή τους είναι της τάξης των 0,5m/sec². Τέλος, ο χρόνος φόρτωσης/εκφόρτωσης είναι της τάξης των 20-30 sec.

3.3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ

3.3.1. Γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών

3.3.1.1. Τεχνική περιγραφή

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί ελαστικών τροχών (RTG) είναι μεταλλικές κατασκευές μονού ή διπλού πλαισίου κινούμενες επί ελαστικών τροχών. Το ύψος του πλαισίου καθώς και το πλάτος του ανοίγματος αποτελούν τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τον αριθμό των σειρών και το μέγιστο ύψος της στοίβας των εμπορευματοκιβωτίων. Η φόρτωση και εκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων γίνεται με τη συνδρομή ελκυστήρων οριζόντιας μεταφοράς και αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV*, τα οποία κινούνται στο εσωτερικό του πλαισίου των γερανογεφυρών. Αυτός είναι άλλωστε ο λόγος για τον οποίο κρίνεται επιβεβλημένη η ύπαρξη λωρίδων ή λωρίδων κίνησης των προαναφερθέντων οχημάτων, πλάτους έως 2,50μ. Οι γερανογέφυρες αυτές είναι εξοπλισμένες με ανυψωτικό μηχανισμό και άρπάγη. Η τελευταία, χάρη στο σύστημα φορείου που φέρει, έχει τη δυνατότητα κάθετης κίνησης, δηλαδή κατά μήκος της δοκού του πλαισίου, ενώ παράλληλα, ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται το εμπορευματοκιβώτιο, μπορεί να περιστρέφεται πλήρως για την προσαρμογή σε αυτό (βλ. Σχήματα 3.3.1 και 3.3.4).



Σχήμα 3.3.1: Γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών

3.3.1.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί ελαστικών τροχών χρησιμοποιούνται για τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων.

Η διάταξη των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να γίνεται κάθετα ή παράλληλα στο κρηπίδωμα αλλά σε κάθε περίπτωση αυτά διατάσσονται κατά παράλληλες σειρές κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας (όπως στο Σχήμα 3.3.2.).

Οι ελαστικοί τροχοί επιτρέπουν τη μετακίνηση των γερανογεφυρών και σε παρακείμενες ομάδες εμπορευματοκιβωτίων, ανάλογα με τις διακυμάνσεις του όγκου εργασιών.

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας δύο γερανογεφυρών ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων.

Στην περίπτωση ύπαρξης στην εγκατάσταση και σιδηροδρομικού σταθμού, οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών μπορούν να πραγματοποιήσουν φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων στο συρμό.

3.3.1.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισιωτών γερανογεφυρών τα οποία παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης είναι:

- Οι διαστάσεις τους. Με τον όρο διαστάσεις εννοούνται τόσο το εσωτερικό πλάτος του ανοίγματος του πλαισίου των γερανογεφυρών, όσο και το εσωτερικό ύψος. Το πλάτος καθορίζει το μέγιστο αριθμό σειρών που στοιβάζονται υπό το πλαίσιο της γερανογέφυρας. Δεδομένου ότι το πλάτος των γερανογεφυρών αυτών κυμαίνεται από 10 έως 29 μέτρα, ο αντίστοιχος αριθμός σειρών κυμαίνεται από 2+1 έως 8+1 (θεωρώντας μία λωρίδα κυκλοφορίας των οχημάτων με πλάτος από 4,5 έως 5,5m). Το ύψος καθορίζει τον ανώτατο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων ανά στοίβα. Έτσι, το εύρος τιμών του ύψους που εκφράζεται σε εμπορευματοκιβώτια κυμαίνεται από 3 έως 7 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος.

- Η κατά μήκος μέγιστη ταχύτητα κίνησης του πλαισίου με το μέγιστο φορτίο με βάση την οποία εκτιμάται ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή της θέσης της γερανογέφυρας κατά μήκος των στοιβών.

Η κατά μήκος ταχύτητα κίνησης των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών με φορτίο κυμαίνεται από 90 έως 135 m/min, ενώ χωρίς φορτίο μεταξύ 90 και 140m/min (15).

- Η μέγιστη ταχύτητα ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων και κάθετης κίνησης της έμφορτης αρπάγης κατά μήκος της δοκού του πλαισίου για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων από και προς τις αντίστοιχες θέσεις των στοιβών.

Η τιμή της ταχύτητας ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων κυμαίνεται μεταξύ 11 και 26 m/min (στο καταγεγραμμένο δείγμα), ενώ η μέγιστη ταχύτητα της κατά πλάτος κίνησης του φορείου σε έμφορτη κατάσταση κυμαίνεται από 50 έως 70 m/min.

- Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής της έμφορτης αρπάγης για την εκτίμηση του χρόνου προσαρμογής της πάνω από το προς φόρτωση εμπορευματοκιβώτιο που ενδεχόμενα δεν βρίσκεται σε κάθετη θέση ως προς την στοίβα των εμπορευματοκιβωτίων.

Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής - σε όσες γερανογέφυρες συναντάται αυτή η ικανότητα (δεν αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των γερανογεφυρών αλλά επιπρόσθετο) - κυμαίνεται από 0,5 έως 3 περιστροφές 360°/λεπτό, ενώ η τιμή που συναντάται συχνότερα είναι 1 έως 2 περιστροφές 360°/λεπτό.

- Η ανυψωτική ικανότητα της γερανογέφυρας εκφρασμένη σε τόνους, σε συνδυασμό με τον τύπο της αρπάγης με την οποία είναι εξοπλισμένη.

Οι τύποι των αρπαγών με τις οποίες είναι εξοπλισμένες οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών είναι ίδιοι με αυτές των αρπαγών των οχημάτων πλαισίων.

Η ανυψωτική ικανότητα των γερανογεφυρών στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί ελαστικών τροχών κυμαίνεται μεταξύ 35 και 51 τόνους. Η διαφορά μεταξύ των ακραίων τιμών έγκειται στο διαφορετικό τύπο

αρπάγης που φέρει κάθε γερανογέφυρα. Οι δυο διαθέσιμοι τύποι αρπάγης είναι σταθερού ή προσαρμοσμένου μήκους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια αποτελεί ευρεία πρακτική η εισαγωγή στις γερανογέφυρες συστήματος γεωγραφικού εντοπισμού (GPS), καθώς και η τοποθέτηση συστήματος απαλοιφής ταλαντώσεων (anti-sway technology), με σκοπό την μείωση του χρόνου κύκλου χειρισμού και την αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας.



Σχήμα 3.3.2: Διάταξη εμπορευματοκιβωτίων κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας

Πηγή: (16)



Σχήμα 3.3.3: Διάταξη εμπορευματοκιβωτίων κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας

Πηγή: (16)



Σχήμα 3.3.4: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί ελαστικών
Πηγή: (16)

Αναλυτικά στοιχεία για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γερανογεφυρών στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί ελαστικών τροχών δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα του Παραρτήματος.

3.3.1.4. Τεχνολογικές καινοτομίες της εταιρείας ZPMC για τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG)

“Πράσινη” γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών

Η κινεζική εταιρία ZPMC εγκαθιστά για πρώτη φορά έναν υπερπυκνωτή (ο μέγιστος των οποίων είναι 100.000 farads) ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, η οποία εισάγεται στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Τεράστια ποσότητα ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί και ακαριαία να επαναχρησιμοποιηθεί και έτσι να αντισταθμιστεί η μέγιστη τιμή της αναγκαίας ισχύος. Με αυτόν τρόπο διασφαλίζεται η λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα και της γεννήτριας υπό σταθερές συνθήκες. Η περιβαλλοντικά φιλική έκδοση της γερανογέφυρας επί ελαστικών τροχών *RTG* προστατεύει το περιβάλλον. Το σύστημα έχει τις παρακάτω πολύ καλές επιδόσεις:

- Σαφής βελτίωση των εκπομπών καυσαερίων του πετρελαιοκινητήρα:

- ✓ Μη εμφάνιση μαύρου καπνού στα καυσάερια
 - ✓ Μείωση του ποσοστού αιωρούμενων σωματιδίων των καυσαερίων κατά 90,5%,
 - ✓ Μείωση του ποσοστού διοξειδίου του άνθρακα κατά 35%,
 - ✓ Μείωση του ποσοστού των νιτρωδών και οξειδίων κατά 30%, και
 - ✓ Μείωση του ποσοστού μονοξειδίου του άνθρακα κατά 13,3%.
- Μείωση των επιπέδων θορύβου του πετρελαιοκινητήρα κατά 4- 5dB.
 - Μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 11-13%.
 - Ενίσχυση της αξιοπιστίας του πετρελαιοκινητήρα και επέκταση της διάρκειας ζωής της.



Σχήμα 3.3.5: Γερανογέφυρα συμβατική (αριστερά) και «πράσινη» (δεξιά)
Πηγή: (17)

Εισαγωγή συστήματος γεωγραφικού εντοπισμού (GPS)

Στοχεύοντας στη διασφάλιση πορείας χωρίς παρεκκλίσεις, η ZPMC εισήγαγε στις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών σύστημα γεωγραφικού εντοπισμού (GPS). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι τα εξής:

- Το σύστημα GPS μπορεί να καθιερώσει ένα σύστημα «ιδεατών τροχιών» στον τερματικό σταθμό. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται

η αυτοματοποίηση της οδήγησης της γερανογέφυρας και παράλληλα μειώνεται ο βαθμός κούρασης του χειριστή. Η ακρίβεια στην ευθυγράμμισης της διαδρομής της γερανογέφυρας οδηγεί σε ακρίβεια τοποθέτησης των εμπορευματοκιβωτίων που αγγίζει τα $\pm 15\text{mm}$.

- Η διαχείριση της τοποθέτησης των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να γίνεται με το σύστημα GPS και με ασύρματη τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων. Έτσι βελτιώνεται η ακρίβεια της τοποθέτησης των εμπορευματοκιβωτίων.
- Το σύστημα GPS συμβάλλει τα μέγιστα στην αύξηση της παραγωγικότητας, δεδομένου ότι επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας της γερανογέφυρας ακόμα και σε γεμάτες με εμπορευματοκιβώτια εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης της γερανογέφυρας με εμπορευματοκιβώτια.



Σχήμα 3.3.6: Μεγάλη ακρίβεια στη στοιβασία λόγω χρήσης συστήματος GPS
Πηγή: (17)

Καινοτόμα τεχνολογία κατά της ταλάντωσης (8 συρματοσχοινών δύο κατευθύνσεων)

Η ZPMC, βασιζόμενη στις παραδοσιακές αρχές της γεωμετρίας των τριγώνων, προχώρησε στην αντικατάσταση του παραδοσιακού συστήματος ανύψωσης, με ένα καινούργιο του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε τέσσερα πανομοιότυπα ανεστραμμένα τριγωνικά συστήματα, με σκοπό την αύξηση της ακαμψίας του συστήματος ανάρτησης. Η λειτουργία απόσβεσης της ταλάντωσης επιτυγχάνεται από την αρπάγη, η οποία πλέον δεν ταλαντώνεται όταν το φορείο εκκινεί ή σταματά.

Τα πλεονεκτήματα του προαναφερθέντος συστήματος είναι τα εξής:

- Όταν το εμπορευματοκιβώτιο βρίσκεται 1,5 m περίπου επάνω από το έδαφος και το φορείο ή η γερανογέφυρα σταματά με πλήρη ταχύτητα, η μέγιστη απόσταση ταλάντωσης δεν υπερβαίνει τα 50mm. Στους παραδοσιακούς μηχανισμούς απόσβεσης της ταλάντωσης αυτό το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται μετά από χρόνο 10 δευτερολέπτων.
- Οι κινήσεις της αρπάγης εμπρός ή πίσω και αριστερά ή δεξιά, γίνονται μέσω μιας ειδικής συσκευής, οπότε μειώνεται ουσιαστικά ο χρόνος που χρειάζεται ο χειριστής για την τοποθέτηση του εμπορευματοκιβωτίου.
- Η δυνατότητα που έχει η αρπάγη να σταματά ταυτόχρονα με το φορείο ή τη γερανογέφυρα καθιστά δυνατή τόσο τη μερική όσο και την ολική αυτοματοποίηση της γερανογέφυρας επί ελαστικών τροχών.
- Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας έγκειται στο ότι η γερανογέφυρα εξοπλίζεται με λιγότερα μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα τα οποία, στις συμβατικές γερανογέφυρες, αυξάνουν τις πιθανότητες λάθους. Επιπλέον η απουσία αυτή των εξαρτημάτων αυτών συμβάλλει τα μέγιστα στη δραστική μείωση του κόστους συντήρησης, επισκευής και στον περιορισμό των καθυστερήσεων.



Σχήμα 3.3.7: Χρήση ανεστραμμένων τριγωνικών συστημάτων ανάρτησης για την μείωση των ταλαντώσεων

Πηγή: (17)

Γερανογέφυρες για δύο εμπορευματοκιβώτια των 20'

Η πλειονότητα των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών έχει ανυψωτική ικανότητα 40 τόνων, καθώς μπορούν να ανυψώσουν μόνον ένα εμπορευματοκιβώτιο των 20'. Επειδή οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος μπορούν να ανυψώσουν ταυτόχρονα δύο εμπορευματοκιβώτια των 20', η μη συνεργασία τους με αντίστοιχη γερανογέφυρα μεταφοράς επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων.

Το 2002, η ZPMC κατασκεύασε γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών για δύο εμπορευματοκιβώτια των 20' και με ανυψωτική ικανότητα 60 τόνων.

Γερανογέφυρα με δυνατότητα ανύψωσης σε μεγάλο ύψος με ανελκυστήρα

Οι γερανογέφυρες αυτού του είδους που έχουν δυνατότητα στοιβασίας 7 εμπορευματοκιβωτίων και ανύψωσης σε ύψος 24m, εξοπλίστηκαν με ένα μικρό ανελκυστήρα δυο ατόμων, με σκοπό αφενός τη μείωση της καταπόνησης του χειριστή και αφετέρου την ασφάλειά του.



Σχήμα 3.3.8: Γερανογέφυρα με δυνατότητα ανύψωσης σε μεγάλο ύψος με ανελκυστήρα

Πηγή: (17)

Γερανογέφυρα RTG με 16 τροχούς

Η συνεχής αύξηση του ύψους ανύψωσης και της ανυψωτικής ικανότητας των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών, έχει ως συνέπεια την παράλληλη αύξηση του φορτίου στους τροχούς (στον σταθμό ACT του Χονγκ-Κόνγκ το φορτίο είναι 50 τόνοι). Η ZPMC κατασκεύασε για πρώτη φορά RTG με 16 τροχούς, με 8 ή 4 κινητήριους τροχούς. Η καινοτομία αυτή συντείνει στην αύξηση της παραγωγικότητας του τερματικού σταθμού λόγω της δυνατότητας ανύψωσης σε μεγάλο ύψος και διακίνησης δυο εμπορευματοκιβωτίων (60 τόνοι).



Σχήμα 3.3.9: Γερανογέφυρα RTG με 16 τροχούς
Πηγή: (17)

3.3.2. Γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών

3.3.2.1. Τεχνική περιγραφή

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί σιδηροτροχιών (RMG) είναι μεταλλικές κατασκευές μονού ή διπλού πλαισίου. Το ύψος του πλαισίου καθώς και το πλάτος του ανοίγματος αποτελούν τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τον αριθμό των σειρών και το μέγιστο ύψος της στοίβας των εμπορευματοκιβωτίων, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών (βλ. Σχήματα 3.2.5, 3.2.6 και 3.2.7). Η φόρτωση και εκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων γίνεται με τη συνδρομή ελκυστήρων οριζόντιας μεταφοράς και αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV*, τα οποία κινούνται στο εσωτερικό του πλαισίου. Αυτός είναι άλλωστε ο λόγος για τον οποίο κρίνεται επιβεβλημένη η ύπαρξη λωρίδων ή λωρίδων κίνησης των προαναφερθέντων οχημάτων. Σε αυτό τον τύπο γερανογεφυρών είναι συχνή η ύπαρξη περισσότερων λωρίδων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών φέρουν προβόλους αριστερά και δεξιά του πλαισίου, οι οποίοι επιτελούν ένα διπλό ρόλο. Οι πρόβολοι είτε χρησιμεύουν ως λωρίδες κυκλοφορίας των ελκυστήρων που έρχονται να φορτοεκφορτώσουν τα εμπορευματοκιβώτια, είτε

κάτω από αυτούς λαμβάνει χώρα στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων (βλ. Σχήματα 3.2.6 και 3.2.8).

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών είναι και αυτές εξοπλισμένες με ανυψωτικό μηχανισμό και αρπάγη. Η τελευταία χάρη στο σύστημα φορείου που φέρει έχει τη δυνατότητα κάθετης κίνησης, δηλαδή κατά μήκος της δοκού του πλαισίου, ενώ παράλληλα, ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται το εμπορευματοκιβώτιο, μπορεί να περιστρέφεται πλήρως για την προσαρμογή σε αυτό.

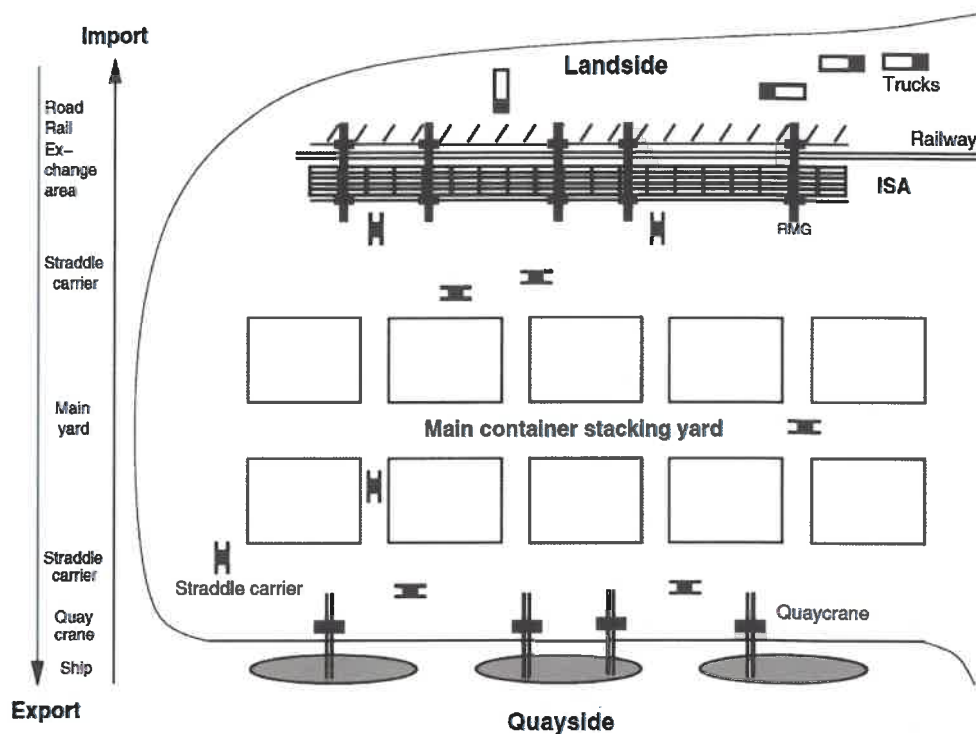
3.3.2.2. Λειτουργικός ρόλος στο σύστημα διακίνησης

Οι πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί ελαστικών τροχών χρησιμοποιούνται για τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων.

Η διάταξη των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να γίνεται κάθετα ή παράλληλα στο κρηπίδωμα, αλλά σε κάθε περίπτωση αυτά διατάσσονται κατά παράλληλες σειρές κάτω από το πλαίσιο της γερανογέφυρας (βλ. Σχήματα 3.3.10).

Υπάρχει η δυνατότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας δύο γερανογεφυρών τέτοιου τύπου ανά ομάδα, όπως επίσης και διάταξης δύο γερανογεφυρών τύπου cross-over. Πρόκειται για δύο γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, η μία από τις οποίες έχει μικρότερο ύψος και πλάτος από την άλλη, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία τους ταυτόχρονα κατά μήκος των σειρών. Ακόμα, οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών εκτός από τον κύριο χώρο στοιβασίας της εγκατάστασης μπορούν να εξυπηρετούν και τη μεταφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων στα χερσαία και οδικά μέσα (18) (βλ. Σχήμα 3.3.11). Οχήματα-πλαίσια ή reach stackers μπορούν να πραγματοποιούν τη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από το χώρο στοιβασίας προς τη γερανογέφυρα (βλ. Σχήμα 3.3.12).

Στην περίπτωση ύπαρξης στην εγκατάσταση και σιδηροδρομικού σταθμού, οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών πραγματοποιούν άμεσα τη φόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων στο συρμό (βλ. Σχήμα 3.3.10).



Σχήμα 3.3.10: Διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων με γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών στον σιδηρόδρομο

Πηγή: (18)

3.3.2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Χαρακτηριστικά πλαισιωτών γερανογεφυρών στοιβάσις

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισιωτών γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών τα οποία παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης είναι:

- Οι διαστάσεις τους. Με τον όρο διαστάσεις εννοούνται τόσο το εσωτερικό πλάτος του ανοίγματος του πλαισίου των γερανογεφυρών, όσο και το εσωτερικό ύψος του. Το πρώτο καθορίζει το μέγιστο αριθμό σειρών που στοιβάζονται υπό το πλαίσιο της γερανογέφυρας, ενώ το δεύτερο καθορίζει το μέγιστο αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων ανά στοιβά. Στην περίπτωση των

γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών με πλευρικούς προβόλους, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το μήκος των προβόλων ώστε να διασφαλίζεται η παράλληλη λειτουργία τους σε δύο γειτονικές ομάδες.

Οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις σε σύγκριση με τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών. Δεδομένου ότι το πλάτος των γερανογεφυρών αυτών κυμαίνεται από 19 έως 45m, ο αντίστοιχος αριθμός σειρών εμπορευματοκιβωτίων είναι 10 και 2 λωρίδες κίνησης οχημάτων. Υπάρχουν γερανογέφυρες με πλάτος που προσεγγίζει τα 65m, κάτι που δικαιολογείται αφού εξυπηρετούν σιδηροδρομικά οχήματα κάτω από τα σκέλη τους.

Το ύψος στοιβάσις των εμπορευματοκιβωτίων κυμαίνεται από 9m έως 47m, ύψος που αντιστοιχεί σε 3 έως και 9 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος. Το μήκος των προβόλων έχει εύρος τιμών από 9 έως 14m περίπου, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που το μήκος κυμαίνεται από 4 έως 25m.

- Η κατά μήκος μέγιστη ταχύτητα κίνησης του πλαισίου με το μέγιστο φορτίο με βάση την οποία εκτιμάται ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή της θέσης της γερανογέφυρας κατά μήκος των στοιβών.

Το εύρος τιμών της ταχύτητας αυτής για τις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών κυμαίνεται από 60 m/min έως και 150m/min. Κατά την έρευνα εντοπίστηκε και γερανογέφυρα με ταχύτητα μέχρι και 240m/min.

- Η μέγιστη ταχύτητα ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων και κάθετης κίνησης της έμφορτης αρπάγης κατά μήκος της δοκού του πλαισίου για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων από και προς τις αντίστοιχες θέσεις των στοιβών.

Η ταχύτητα ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων κυμαίνεται από 10 έως 30m/min. Το εύρος τιμών της μέγιστης ταχύτητας κάθετης κίνησης της αρπάγης σε έμφορτη κατάσταση κυμαίνεται από 50 έως 150m/min, με πιο συνήθη τιμή περί τα 100 m/min.

- Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής της έμφορτης αρπάγης για την εκτίμηση του χρόνου προσαρμογής της πάνω από το προς φόρτωση εμπορευματοκιβώτιο, που ενδεχόμενα δεν βρίσκεται σε κάθετη θέση ως προς την στοίβα των εμπορευματοκιβωτίων.
- Η ανυψωτική ικανότητα της γερανογέφυρας εκφρασμένη σε τόνους σε

συνδυασμό με τον τύπο της αρπάγης που είναι εξοπλισμένη.

Η ανυψωτική ικανότητα των γερανογεφυρών στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί σιδηροτροχιών κυμαίνεται μεταξύ 40 και 50 τόνους. Η διαφορά μεταξύ των ακραίων τιμών έγκειται στο διαφορετικό τύπο αρπάγης που φέρει κάθε γερανογέφυρα. Οι δυο διαθέσιμοι τύποι αρπάγης είναι σταθερού ή προσαρμοσμένου μήκους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια αποτελεί ευρεία πρακτική η εισαγωγή στις γερανογέφυρες συστήματος γεωγραφικού εντοπισμού (GPS), καθώς και η τοποθέτηση συστήματος απαλοιφής ταλαντώσεων (anti-sway technology), με σκοπό την μείωση του χρόνου κύκλου χειρισμού και την αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας.

Για την στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων στο χώρο της εγκατάστασης χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα αυτόματα οχήματα τύπου AGV, οι αυτοματοποιημένες γερανογέφυρες στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων (ASGC's) που είναι ως επί το πλείστον γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών. Το πλάτος του πλαισίου τους έχει το ίδιο εύρος τιμών με αυτό των συμβατικών γερανογεφυρών, αλλά διαφέρει ως προς το ύψος στοιβασίας που μπορεί να φθάσει τα 5 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος. Όλες οι λειτουργίες των γερανογεφυρών είναι αυτοματοποιημένες εκτός της ανύψωσης και του καταβιβασμού των εμπορευματοκιβωτίων από και προς τα αυτοματοποιημένα οχήματα μεταφοράς.



Σχήμα 3.3.11: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών
Πηγή: (16)



Σχήμα 3.3.12: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών
Πηγή: (16)



Σχήμα 3.3.13: Πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών
Πηγή: (16)

Αναλυτικά στοιχεία για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γερανογεφυρών στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων επί σιδηροτροχιών δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα του Παραρτήματος.

3.4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ

3.4.1. Οχήματα-Πλαίσια

3.4.1.1. Τεχνική περιγραφή

Τα οχήματα-πλαίσια είναι τροχοφόρα οχήματα ανοικτής πλαισιωτής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την οριζόντια μεταφορά και την καθ' ύψος στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων. Ο χειρισμός των εμπορευματοκιβωτίων γίνεται με την αρπάγη που αυτά φέρουν. Αυτή κινείται με την βοήθεια ανυψωτικού μηχανισμού που βρίσκεται ενσωματωμένος είτε στην κορυφή είτε στα πλάγια του οχήματος. Η θέση της καμπίνας του χειριστή δεν είναι πάντα σταθερή, συνήθως όμως προτιμάται η κορυφή του οχήματος, καθώς το ύψος αυτού συμβάλλει στη μεγαλύτερη δυνατή ορατότητα.

Μερικές από τις πιο γνωστές εταιρείες κατασκευής οχημάτων-πλαισίων είναι η φιλανδική KALMAR, η γερμανική NOELL, η αγγλική FERRANTI, η ιαπωνική SISU, η αυστραλιανή ISOLOADER και οι ιταλικές CVS Ferrari SpA και Trevolution SpA.

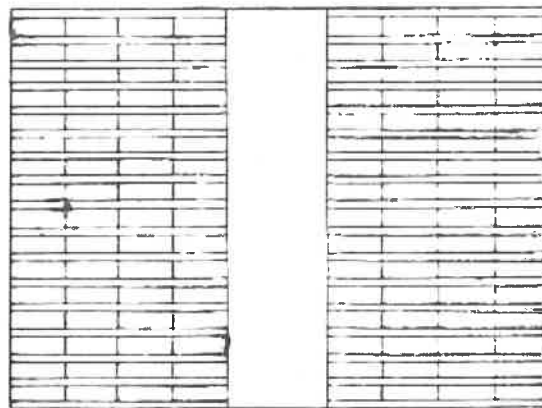
3.4.1.2. Λειτουργικός ρόλος

Οι προαναφερθείσες δυνατότητες των οχημάτων αυτών έχουν ως αποτέλεσμα αυτά να χρησιμοποιούνται ως:

- Οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από την γερανογέφυρα κρηπιδώματος και από τα οδικά και σιδηροδρομικά μέσα μεταφοράς προς το χώρο στοιβασίας (shuttle carrier).
- Οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από τα θαλάσσια, οδικά ή σιδηροδρομικά μέσα και μηχανήματα στοιβασίας τους στο χώρο στοιβασίας. Όταν τα οχήματα-πλαίσια χρησιμοποιούνται σαν οχήματα στοιβασίας, αυτά συνδυάζονται με οικονομικότερα φορτηγά ή ελκυστήρες για την εσωτερική μεταφορά, λόγω του μεγάλου κόστους των οχημάτων-πλαισίων.

Στην περίπτωση ύπαρξης στην εγκατάσταση και σιδηροδρομικού σταθμού, τα οχήματα-πλαίσια δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν άμεσα τη φόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων στο συρμό, αλλά είναι απαραίτητη η χρήση γερανών για τη μεταφόρτωση.

Όταν στο χώρο στοιβασίας για τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιούνται τα οχήματα-πλαίσια τότε η διάταξη της εγκατάστασης έχει τη μορφή του Σχήματος 3.4.1, δηλαδή γραμμικής απόθεσης. Λόγω της μορφολογίας τους δεν μπορεί να γίνει διάταξη σε ομάδες καθώς απαιτείται χώρος δεξιά και αριστερά από τις σειρές των εμπορευματοκιβωτίων για την κίνηση των ελαστικών. Η ικανότητα στοιβασίας ανά εκτάριο είναι για τα οχήματα-πλαίσια της τάξης των 500-750 TEU ανά εκτάριο. (15)



Σχήμα 3.4.1: Διάταξη στοιβασίας για χρήση οχημάτων-πλαisiών
Πηγή: (19)

3.4.1.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Τρεις είναι οι βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα οχήματα-πλαίσια με βασικό παράγοντα διάκρισης την ικανότητα στοιβασίας, δηλαδή το μέγιστο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων που δύνανται να τοποθετήσουν καθ' ύψος. Αυτές είναι:

- i. Οχήματα-πλαίσια με δυνατότητα στοιβασίας δυο εμπορευματοκιβωτίων (1 over 1)
- ii. Οχήματα-πλαίσια με δυνατότητα στοιβασίας τριών εμπορευματοκιβωτίων (1 over 2) και τέλος,

iii. Οχήματα-πλαίσια με δυνατότητα στοιβασίας τεσσάρων εμπορευματοκιβωτίων (1 over 3).

Εδώ πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η αναφερόμενη ως ικανότητα στοιβασίας δεν αντιπροσωπεύει το μέγιστο ύψος στοιβασίας των στοιβών, αλλά τον μέγιστο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων επάνω από τον οποίο μπορεί να κινηθεί οριζόντια το όχημα-πλαίσιο. Η παρατήρηση αυτή γίνεται εύκολα κατανοητή αν αναλογιστεί κανείς ότι κατά τη στοιβασία κατά μήκος των σειρών πρέπει να υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για μπορεί να μετακινηθεί ένα εμπορευματοκιβώτιο στην τελική του θέση επάνω από αυτά τα οποία έχουν ήδη στοιβαχθεί.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων πλαισίων τα οποία παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης είναι:

- Οι διαστάσεις τους. Αποτελούν τον ουσιωδέστερο παράγοντα καθορισμού της διάταξης των στοιβών και του ύψους στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων στο χώρο εναπόθεσης. Οι βασικές διαστάσεις είναι το εσωτερικό και εξωτερικό πλάτος, το ύψος και το ολικό μήκος των οχημάτων-πλαισίων και εκφράζονται σε μέτρα.

Το εσωτερικό πλάτος του οχήματος-πλαισίου είναι 3,5m και επιτρέπει το χειρισμό τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων πλάτους 2,4m. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι επαρκές για τον υποσκελισμό των εμπορευματοκιβωτίων κατά πλάτος.

Για τη μέτρηση του ολικού πλάτους των οχημάτων-πλαισίων συνυπολογίζεται και το πλάτος των ποδών του οχήματος, που κυμαίνεται μεταξύ 0,60-1m. Σε γενικές γραμμές το ολικό πλάτος είναι της τάξης των 4,9-5,3m. Υπογραμμίζεται ότι τόσο το εσωτερικό όσο και το ολικό πλάτος των οχημάτων πλαισίων είναι ανεξάρτητο από την ικανότητα στοιβασίας.

Αντίθετα, η ικανότητα στοιβασίας εξαρτάται άμεσα από το ύψος των οχημάτων-πλαισίων, αφού ανάλογα με αυτό καθορίζεται και το ύψος της στοιβάς που μπορεί το όχημα να υποσκελίσει. Το ύψος των οχημάτων πλαισίων διαφοροποιείται από κατηγορία σε κατηγορία. Αν και οι διαστάσεις διαφέρουν καθώς κάθε εταιρεία υιοθετεί τα δικά της σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι το ύψος των οχημάτων-

πλαισίων της 1ης κατηγορίας κυμαίνεται μεταξύ 7 και 10m, της δεύτερης μεταξύ 12,2 και 13,1m και της τρίτης μεταξύ 15 και 16m (βλ. Σχήμα 3.4.3).

Όσον αφορά τέλος το μήκος των οχημάτων-πλαισίων αυτό είναι της τάξης των 10m.

- Η ελάχιστη ακτίνα στροφής του οχήματος. Επιτρέπει τη διαστασιολόγηση των απαιτούμενων διαδρόμων του εσωτερικού δικτύου κίνησης των οχημάτων στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Η ελάχιστη ακτίνα στροφής κυμαίνεται από 8 έως 10m ανάλογα με το κάθε όχημα, με συνηθέστερες τιμές από 9,2 έως 9,6m.

- Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του οχήματος με φορτίο και χωρίς φορτίο καθώς και η ταχύτητα ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων. Με βάση αυτά τα στοιχεία γίνεται ο υπολογισμός του χρόνου κίνησης και φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων στην εγκατάσταση. Όπως είναι φυσικό, η ισχύς του κινητήρα καθορίζει τις τιμές αυτές. Έτσι, η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του οχήματος με φορτίο είναι 5,5 έως 6,6m/s – υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να περιοριστεί μόλις στα 3m/s, ενώ η μέγιστη ταχύτητα χωρίς φορτίο κυμαίνεται από 6,6 έως 8,3m/s.

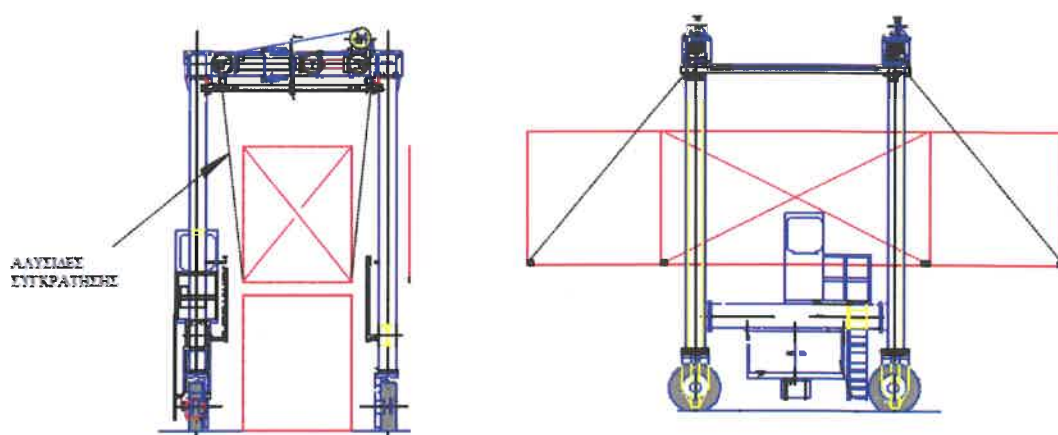
Η ταχύτητα ανύψωσης των εμπορευματοκιβωτίων, η οποία εξαρτάται άμεσα από το βάρος των εμπορευματοκιβωτίων και την ισχύ του ανυψωτικού μηχανισμού, κυμαίνεται γύρω στα 0,4 m/s (σε περίπτωση μεταφοράς 50 τόνων αυτή μειώνεται μέχρι και τα 0,23 m/s).

- η ανυψωτική τους ικανότητα εκφρασμένη σε τόνους σε συνδυασμό με το εύρος της αρπάγης που είναι εξοπλισμένα. Με βάση αυτά τα στοιχεία εκτιμώνται οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων και κατά συνέπεια ο αριθμός που μπορούν να χειριστούν.

Οι αρπάγες που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και τον καταβιβασμό των εμπορευματοκιβωτίων ποικίλουν ανάλογα με το αν έχουν τη δυνατότητα προσαρμογής του μήκους τους ή όχι για τον χειρισμό των εμπορευματοκιβωτίων. Υπάρχουν οι αρπάγες σταθερού μήκους και οι αρπάγες προσαρμοζόμενου μήκους (τηλεσκοπικές αρπάγες). Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα εμπορευματοκιβώτια

συγκρατούνται από αλυσίδες (βλ. Σχήμα 3.4.2). Τα περισσότερα σύγχρονα οχήματα-πλαίσια είναι εξοπλισμένα με τηλεσκοπικές αρπάγες, ώστε να έχουν δυνατότητα χειρισμού τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων 20 και 40 ποδών, ενώ πολλές αρπάγες έχουν δυνατότητα χειρισμού μη τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων των 45 ποδών. Λόγω του τηλεσκοπικού μηχανισμού και ανάλογα με την ανυψωτική ικανότητα υπάρχει δυνατότητα ανύψωσης 2 εμπορευματοκιβωτίων των 20 ποδών ταυτόχρονα. Ο μηχανισμός προσαρμογής του μήκους της αρπάγης μπορεί να είναι χειροκίνητος, ηλεκτρικός, υδραυλικός (σύστημα με πιστόνια) ή ηλεκτροϋδραυλικός. Σημαντικό ακόμη στοιχείο είναι και τα σημεία αρπαγής του εμπορευματοκιβωτίου, τα οποία ανάλογα με τον σχεδιασμό μπορεί να είναι 2 (από ακμή σε ακμή του εμπορευματοκιβωτίου), 4 (διαμορφωμένες κορυφές του εμπορευματοκιβωτίου), ενώ σε μερικούς τύπους αρπάγης απαντώνται ακόμη και 8 σημεία αρπαγής των εμπορευματοκιβωτίων. Η ανυψωτική ικανότητα των οχημάτων-πλαisiών ανάλογα με τον τύπο της αρπάγης κυμαίνεται από 25 έως 60 τόνους. (15)

Για την σύνοψη των χαρακτηριστικών των οχημάτων-πλαisiών συγκεντρώθηκαν στοιχεία από τους κυριότερους κατασκευαστές στην παγκόσμια αγορά. Τα στοιχεία αυτά δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα στο Παράρτημα. Από τις τιμές του πίνακα εξάγονται συμπεράσματα για τα εύρη τιμών για τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων-πλαisiών.



Σχήμα 3.4.2: Διάταξη συγκράτησης εμπορευματοκιβωτίων με αλυσίδες
Πηγή: (20)



Σχήμα 3.4.3: Στοιβάσια 4 εμπορευματοκιβωτίων.
Πηγή: (21)

3.4.2. Περονοφόρα Ανυψωτικά Οχήματα (forklift trucks)

Τα περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα (forklift trucks) μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σπανίως χρησιμοποιούνται πλέον για την διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων στους τερματικούς σταθμούς και έχουν αντικατασταθεί κυρίως από τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσιας (reach stackers).

Όταν χρησιμοποιούνται περονοφόρα οχήματα μεταφοράς, ένα εισαγόμενο εμπορευματοκιβώτιο εκφορτώνεται από το πλοίο και τοποθετείται απευθείας επάνω στο κρηπίδωμα, απ' όπου παραλαμβάνεται από το περονοφόρο όχημα και μεταφέρεται στο χώρο στοιβάσιας των εμπορευματοκιβωτίων. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και διακίνηση ενός εξαγόμενου εμπορευματοκιβωτίου, από τον χώρο στοιβάσιας στο κρηπίδωμα για φόρτωσή στο πλοίο.



Σχήμα 3.4.4: Περονοφόρο ανυψωτικό όχημα (forklift truck) μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Πηγή: (22)

Ένα φορτηγό που φθάνει για να παραλάβει ένα εισαγόμενο εμπορευματοκιβώτιο κατευθύνεται στο καθορισμένο σημείο του χώρου στοιβασίας, όπου το περονοφόρο όχημα σηκώνει το εμπορευματοκιβώτιο από τη στοίβα και θα το τοποθετεί στο φορτηγό. Η διαδικασία είναι η ίδια όταν ένα φορτηγό κάνει την παράδοση ενός εξαγόμενου εμπορευματοκιβωτίου.

3.4.3. Οχήματα Εμπρόσθιας Στοιβάσας (reachstackers)

Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσας (reach-stackers) είναι τα πλέον ευέλικτα μηχανήματα για τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και είναι ιδανικά για να χρησιμοποιηθούν σε έναν μεσαίου μεγέθους τερματικό σταθμό, με την ελάχιστη δυνατή επένδυση. Η χρήση οχημάτων εμπρόσθιας στοιβάσας μπορεί να γίνει ελκυστική για τους φορείς εκμετάλλευσης λιμένων λόγω της σχετικά φθηνής ενοικιάσής τους σε περιπτώσεις χρηματοδοτικής μίσθωσης.



Σχήμα 3.4.5: Οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reach-stackers)
Πηγή: (23)

Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας εκτελούν διαδικασίες στοιβασίας, φόρτωση και εκφόρτωση φορτηγών και οριζόντια μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων σε μικρές αποστάσεις. Το σύστημα λειτουργίας των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας είναι παρόμοιο με εκείνο των περionoφόρων ανυψωτικών οχημάτων. Επίσης τα οχήματα αυτά χρησιμοποιούνται πολύ για την διακίνηση κενών εμπορευματοκιβωτίων.

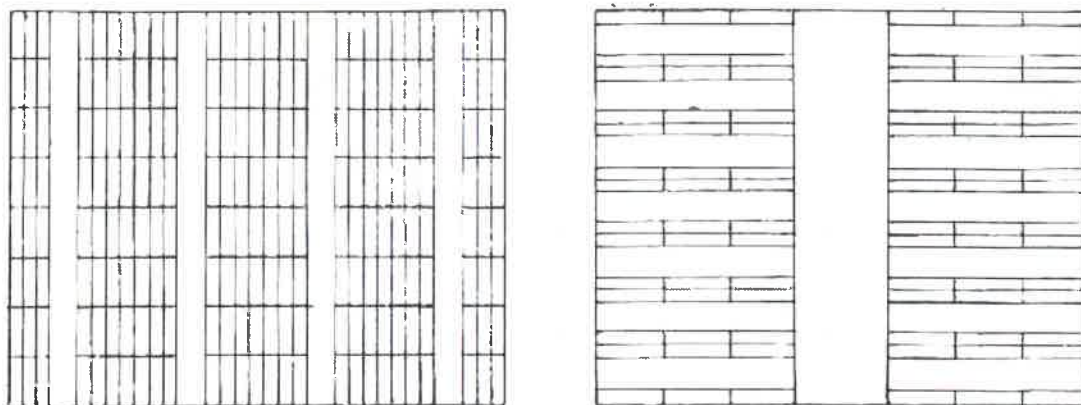
Τα πλεονεκτήματα των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας είναι:

- Το κόστος της αγοράς/χρηματοδοτικής μίσθωσης και εκμετάλλευσής τους είναι σχετικά χαμηλό.
- Εξαιρετικά στο χειρισμό εμπορευματοκιβωτίων με μη τυποποιημένες διαστάσεις και στον χειρισμό εμπορευματοκιβωτίων που έχουν πέσει ή έχουν υποστεί ζημιές.
- Ο χώρος στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Τα μειονεκτήματα των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας είναι:

- Δεν είναι κατάλληλα για οριζόντιες μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων σε μεγάλες αποστάσεις. Στις περιπτώσεις αυτές η μεταφορά γίνεται με ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις, οπότε απαιτείται διπλή διαδικασία για την διακίνηση του κιβωτίου, οπότε μειώνεται η απόδοση.
- Χρήση μικρού μέρους της επιφάνειας του τερματικού σταθμού, δεδομένου ότι τα οχήματα αυτά απαιτούν φαρδείς διαδρόμους για την κυκλοφορία και τους ελιγμούς τους, καθώς και για την διακίνηση των εξωτερικών στοιβών.
- Μειωμένη δυνατότητα επιλογής εμπορευματοκιβωτίων, που αφορά την δυνατότητα να παραδίδει ή να συλλέγει οποιοδήποτε εμπορευματοκιβώτιο.
- Υψηλά φορτία στο άξονα του μηχανήματος (100 τόνοι), στοιχείο που απαιτεί πολυδάπανα δάπεδα βαρέως τύπου.

Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας χρησιμοποιούνται όταν η διάταξη της εγκατάστασης έχει τη μορφή του Σχήματος 3.4.6, δηλαδή γραμμικής απόθεσης.

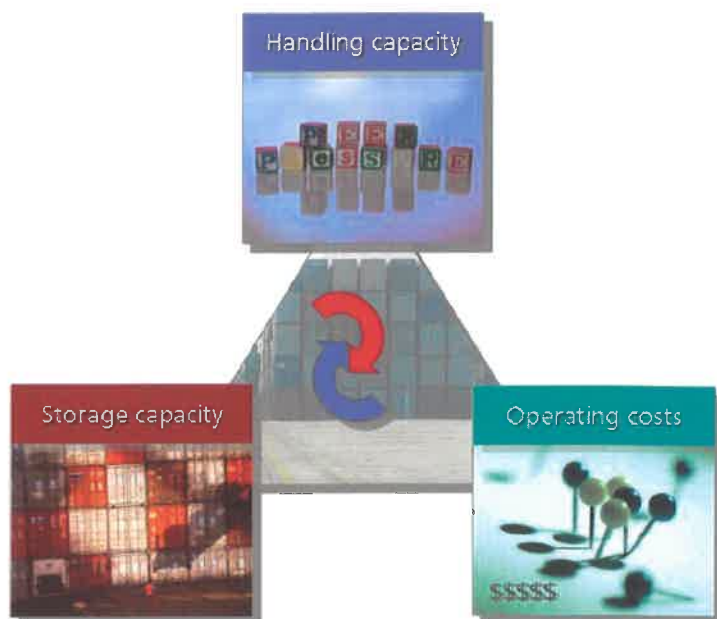


Σχήμα 3.4.6: Διάταξη στοιβασίας για χρήση οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας
Πηγή: (19)

4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ

Η παραγωγικότητα ενός τερματικού λιμενικού σταθμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τους χρόνους εξυπηρέτησης των πλοίων στις θέσεις παραβολής. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου παραβολής αποτελεί ένα βασικό κριτήριο επιλογής του τερματικού σταθμού από την πλοιοκτήτρια εταιρεία, καθώς όσο λιγότερος είναι ο χρόνος που ένα πλοίο παραμένει στο λιμάνι τόσο μεγαλύτερος μπορεί να είναι ο βαθμός αξιοποίησης του πλοίου αφού θα μπορεί να πραγματοποιήσει περισσότερες ναυλώσεις.

Από την άλλη πλευρά, ο διαχειριστής του τερματικού σταθμού έχει σαν βασικό στόχο την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση του “πελάτη” του, δηλαδή του πλοίου με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Συνεπώς επιδίωξή του είναι να συντονίσει όλα τα διαθέσιμα μέσα για την επίτευξη του σκοπού αυτού. Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας στο ένα υποσύστημα της εγκατάστασης – στην φορτοεκφόρτωση των πλοίων - πηγάζει από τον βέλτιστο σχεδιασμό και συντονισμό όλων των υπολοίπων υποσυστημάτων της εγκατάστασης, δηλαδή των γερανογεφυρών στοιβάσις, οχημάτων εσωτερικής μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων κλπ. (βλ. Σχήμα 4.1.1).



Σχήμα 4.1.1: Βέλτιστος σχεδιασμός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων
Πηγή: (24)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ολοκληρωμένη λειτουργία της εγκατάστασης αφορά σε ένα σύνθετο σύστημα και πρέπει να μελετηθεί τόσο σαν σύστημα συνολικά, όσο και τα μέρη που το αποτελούν σαν μονάδες. Για τον λόγο αυτό κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση έγινε μία διάκριση των υπάρχοντων εργασιών σε δύο κύριες κατηγορίες:

(α) εργασίες που αφορούν στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός συγκεκριμένου τύπου μηχανήματος ή συνδυασμού μηχανημάτων, και

(β) εργασίες που συγκρίνουν εναλλακτικά συστήματα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων για μία λιμενική εγκατάσταση.

4.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται προβλήματα που αφορούν στη βελτίωση/βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εξοπλισμού μίας τερματικής εγκατάστασης. Στις σχετικές εργασίες τα μηχανήματα εξετάζονται είτε μεμονωμένα (π.χ. οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών), είτε σε συνδυασμό με άλλα μηχανήματα της εγκατάστασης (π.χ. γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών σε συνδυασμό με ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις).

Μεταξύ των εργασιών που αφορούν στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των οχημάτων και του εξοπλισμού, οι Soriguera, Robuste, Juanola και Lopez-Pita εξέτασαν μέσω προσομοίωσης και θεωρίας αναμονής την περίπτωση χρήσης οχημάτων-πλαisiών και ελκυστήρων με συρόμενη βάση για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι της Βαρκελώνης (25). Το υποσύστημα στο οποίο μελετούν τη λειτουργία των προαναφερθέντων οχημάτων περιλαμβάνει την κίνηση των οχημάτων κατά τη μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από τις ομάδες εμπορευματοκιβωτίων του χώρου στοιβασίας προς το χώρο αναμονής (προσωρινής εναπόθεσης στο κρηπιδώμα) σε συνδυασμό με τη λειτουργία της γερανογέφυρας κρηπιδώματος. Σκοπός της εργασίας είναι να ποσοτικοποιήσει για κάθε τύπο οχήματος και για τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης ξεχωριστά, ανάλογα με τον αριθμό γερανογεφυρών κρηπιδώματος που αυτά εξυπηρετούν, την οικονομική βελτίωση που παρατηρείται στο βελτιστοποιημένο σύστημα σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα από τη λειτουργία του ισπανικού λιμένα. Λαμβάνονται υπόψη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων, όπως η ταχύτητα κίνησής τους (έμφορτα ή άφορτα), οι διανυόμενες αποστάσεις, το μεταφορικό κόστος ανά όχημα και το κόστος για τη στοιβασία, το μέγιστο δυνατό ποσοστό λειτουργίας των οχημάτων και της γερανογέφυρας κρηπιδώματος και το κόστος ανά χρόνο κύκλου ανά όχημα. Ο χρόνος κύκλου των οχημάτων-πλαisiών αποτελείται από το χρόνο κίνησης του οχήματος από το κρηπιδώμα στο χώρο στοιβασίας του κάθε εμπορευματοκιβωτίου, τον απαιτούμενο για τη στοιβασία χρόνο και το χρόνο που απαιτεί το όχημα για να επιστρέψει στη γερανογέφυρα κρηπιδώματος. Αντίθετα ο χρόνος κύκλου των συρόμενων βάσεων δεν περιλαμβάνει χρόνο στοιβασίας εφόσον

δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων. Αρχικά υπολογίζουν τον συντελεστή απασχόλησης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων, για μία, δύο ή τρεις γερανογέφυρες κρηπιδώματος. Στη συνέχεια, μέσω του δείκτη του κόστους αναμονής υπολογίζεται ο βέλτιστος αριθμός οχημάτων κάθε τύπου που τον ελαχιστοποιεί. Σαν κόστος αναμονής του εξοπλισμού ορίζουν το κόστος σε χρηματικές μονάδες του εξοπλισμού που είναι σε αναμονή για να εξυπηρετηθεί, $C_{inactivity} = C_1 * L_q + C_2 * I_s$, όπου C_1 και C_2 τα κόστη των οχημάτων που περιλαμβάνουν και τα λειτουργικά κόστη (συντήρηση, καύσιμα, προσωπικό) και το κόστος αγοράς. L_q και I_s είναι ο αριθμός των οχημάτων και γερανογεφυρών αντίστοιχα που είναι σε αναμονή. Υπολογίζοντας την παραγωγικότητα του κρηπιδώματος σε κινήσεις φορτοεκφόρτωσης ανά ώρα ανάλογα με τον συντελεστή απασχόλησης και τον αριθμό των οχημάτων που την εξυπηρετούν, και γνωρίζοντας το κόστος ανά ώρα λειτουργίας του κάθε μηχανήματος είναι δυνατός ο υπολογισμός του συνολικού κόστους των οχημάτων και των γερανογεφυρών του τερματικού σταθμού. Αυτό το κόστος της βελτιστοποιημένης λειτουργίας του τερματικού σταθμού συγκρίνεται με τα δεδομένα από την πραγματική λειτουργία για τον υπολογισμό των ωφελειών σε χρηματικές μονάδες από τη βελτιστοποίηση.

Η βέλτιστη οργάνωση της εργασίας των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών (RTG) στον χώρο στοιβασίας ως προς τον χώρο και τον χρόνο κίνησής τους εξετάζεται μέσω ενός μοντέλου Μικτού Ακέραιου Προγραμματισμού (26). Μελετήθηκε ο χώρος στοιβασίας ενός τερματικού σταθμού ο οποίος αποτελείται από ομάδες εμπορευματοκιβωτίων, καθεμία από τις οποίες μπορεί να εξυπηρετηθεί από έως δύο γερανογέφυρες σε παράλληλη λειτουργία. Ο προγραμματισμός της λειτουργίας τους γίνεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων (αποκλίσεις από προγραμματισμένο χρόνο εκτέλεσης των εργασιών) ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων στο τέλος της περιόδου μελέτης και συνεπώς την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Επιτρέποντας μόνο μία μετακίνηση γερανογέφυρας από ομάδα σε ομάδα σε κάθε περίοδο λειτουργίας του συστήματος, παρατηρείται ότι ο αριθμός των ομάδων δεν επηρεάζει την συνολική απόδοση των γερανογεφυρών. Αντίθετα αυτή βελτιώνεται όσο πιο ισομερώς είναι κατανεμημένος στις ομάδες ο φόρτος αφού ελαχιστοποιούνται οι κινήσεις των γερανογεφυρών μεταξύ των ομάδων που αποτελούν μη ωφέλιμους χρόνους.

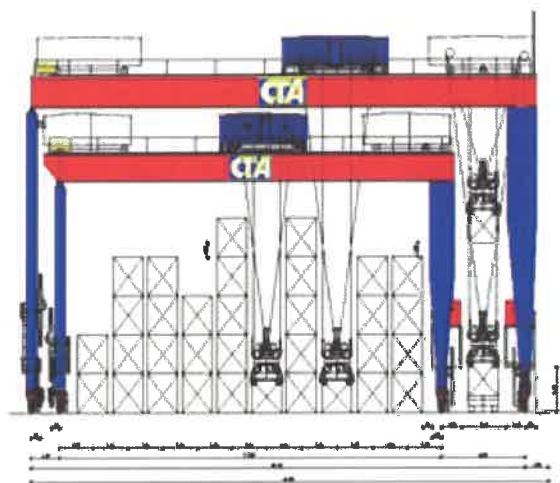
Το ίδιο πρόβλημα εξετάζεται σε μεταγενέστερο άρθρο από άλλους ερευνητές (27) με την ίδια όπως προηγουμένως παράμετρο βελτιστοποίησης συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του αλγορίθμου από λογισμικό LPLEX με τα πραγματικά αποτελέσματα από την λειτουργία του τερματικού σταθμού του Hong Kong. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου καταλήγουν στο ότι η μετακίνηση της γερανογέφυρας σε παρακείμενη ομάδα (μόνον μετά την ολοκλήρωση της εργασίας της στην προηγούμενη) οδηγεί σε μείωση κατά 89% των καθυστερήσεων στην εκτέλεση των εργασιών σε σχέση με τις προγραμματισμένες ανά περίοδο λειτουργίας του συστήματος συγκριτικά με τα πραγματικά στοιχεία λειτουργίας του σταθμού. Σε μετέπειτα στάδιο βελτιστοποίησης εξετάζεται η περίπτωση ανάθεσης διαφορετικών ποσοστών εργασίας ανά περίοδο μελέτης στις δύο γερανογέφυρες της θεωρούμενης ως αρχικής ομάδας με δυνατότητα μετακίνησής της μιας από τις δύο νωρίτερα σε επόμενη, καταλήγοντας σε ακόμα μικρότερα ποσοστά ανεκτέλεστων εργασιών ανά στοίβα.

Σε πιο πρόσφατο άρθρο (28) αναλύεται η συνδυασμένη λειτουργία γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών με ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις εμπορευματοκιβωτίων και με τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος. Χρησιμοποιείται η ίδια με παραπάνω οργάνωση της εγκατάστασης, με δύο γερανογέφυρες ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων και δυνατότητα μετακίνησής τους σε παρακείμενη ομάδα ανάλογα με τις ανάγκες. Για τέσσερις διαφορετικούς συνδυασμούς εγκαταστάσεων ως προς το μέγεθος (μικρές ή μεγάλες), ως προς τον αριθμό του εξοπλισμού (λιγότερος ή περισσότερος) και ως προς τον διακινούμενο όγκο εμπορευματοκιβωτίων εξετάζεται μέσω προσομοίωσης ποιος αλγόριθμος οργάνωσης εργασιών οδηγεί σε μικρότερο χρόνο εξυπηρέτησης της γερανογέφυρας κρηπιδώματος (εκφρασμένος στο μοντέλο σε κινήσεις φορτοεκφόρτωσης/ώρα) και ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής των ελκυστήρων τόσο στο κρηπίδωμα όσο και στο χώρο στοιβασίας. Το συμπέρασμα είναι ότι υπερτερούν οι αλγόριθμοι που δίνουν προτεραιότητα στην φόρτωση των ελκυστήρων από τις γερανογέφυρες στοιβασίας για την φόρτωση του πλοίου σε σχέση με αυτούς που δίνουν προτεραιότητα στη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων που εκφορτώνονται από το πλοίο, αφού παρατηρείται ότι στην διαδικασία της φόρτωσης του πλοίου οφείλεται κυρίως η καθυστέρησή του. Συνεπώς σε περιπτώσεις περισσότερου διαθέσιμου εξοπλισμού

στοιβάσις το πλοίο εξυπηρετείται ταχύτερα αφού τα φορτηγά σχηματίζουν ουρές αναμονής κάτω από τα σκέλη της γερανογέφυρας κρηπιδώματος οπότε και την εξυπηρετούν αμέσως.

Οι Saanen και Valkengoed (29) συγκρίνουν τρία εναλλακτικά, ως προς τα χαρακτηριστικά και την λειτουργία τους, συστήματα στοιβάσις με γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών. Εξετάζεται το σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων που περιλαμβάνει τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος, αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV εμπορευματοκιβωτίων από την κρηπίδωμα στον χώρο στοιβάσις, γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών στον χώρο στοιβάσις και ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από τον χώρο στοιβάσις προς τα χερσαία μέσα. Τα τρία συστήματα γερανογεφυρών, περιλαμβάνουν:

- (α) μία γερανογέφυρα ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων
- (β) δύο γερανογέφυρες ανά ομάδα και τέλος
- (γ) σύστημα γερανογεφυρών τύπου *cross-over* (βλ. Σχήμα 4.1.2).



Σχήμα 4.1.2: Γερανογέφυρα τύπου cross-over
Πηγή: (29)

Για τους τύπους (β) και (γ) οι ομάδες εμπορευματοκιβωτίων που εξετάζονται έχουν το ίδιο μήκος (40 TEU), ύψος στοιβάσις (4 TEU) και πλάτος 10 TEU, ενώ για

τον τύπο (α) εξετάζεται ομάδα (40 TEU), ύψους στοιβασίας (4 TEU) και πλάτος 6 TEU.

Η σύγκρισή τους μέσω προσομοίωσης έδωσε αποτελέσματα για την παραγωγικότητα των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, των γερανογεφυρών στοιβασίας και των ελκυστήρων. Η σύγκριση των τριών διατάξεων έγινε με κριτήρια: (α) το κόστος της επένδυσης, (β) το λειτουργικό κόστος κάθε μίας εναλλακτικής και (γ) την ευελιξία, (δ) τις απαιτήσεις σε γη και (ε) την παραγωγικότητα.

Όσον αφορά στο κόστος της επένδυσης οικονομικότερη εναλλακτική αποδεικνύεται η περίπτωση της μίας γερανογέφυρας ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους αγοράς.

Όσον αφορά στο λειτουργικό κόστος αυτό επηρεάζεται μόνο από το κόστος συντήρησης και ηλεκτροδότησης και το κόστος απόσβεσης. Τα λειτουργικά κόστη (σε κόστος ανά κίνηση) των εναλλακτικών δεν διαφέρουν σημαντικά γιατί μπορεί το σύστημα (α) να απαιτεί περισσότερη ενέργεια για την κίνησή του αλλά τα άλλα δύο όντας πιο βαριά έχουν μεγαλύτερο κόστος συντήρησης.

Το τελικό κόστος ανά κίνηση για τα τρία συστήματα δεν διαφέρει και λόγω του ότι τα συστήματα (β) και (γ) επιτυγχάνουν μεγαλύτερο διακινούμενο όγκο.

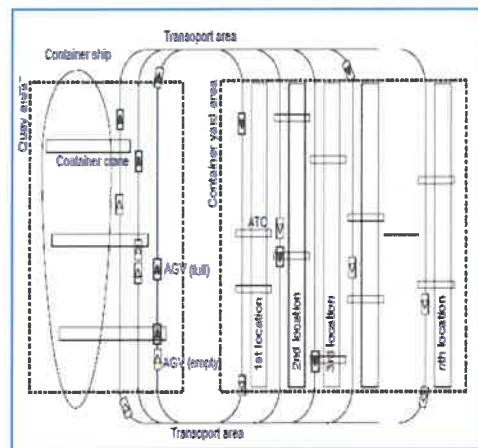
Όσον αφορά στην ευελιξία των τριών εναλλακτικών συστημάτων, ο όρος ευελιξία αναφέρεται στην ικανότητα του κάθε συστήματος να συνεχίσει να λειτουργεί σε περίπτωση βλάβης και μέχρι να αντικατασταθεί ή να επιδιορθωθεί, όπως επίσης και στην δυνατότητα να αντιμετωπίσει ανισορροπία φόρτων εργασίας ανάμεσα στα δύο άκρα κάθε ομάδας, δηλαδή στον διακινούμενο όγκο με τα αυτόματα οχήματα και τα φορτηγά. Η γερανογέφυρα τύπου *cross over* πλεονεκτεί και ως προς τις δύο αυτές παραμέτρους, καθώς σε περίπτωση βλάβης μίας από τις δύο η άλλη μπορεί να συνεχίσει να δουλεύει κανονικά και σε όλο το μήκος της ομάδας.

Όσον αφορά στις απαιτήσεις σε γη, το σύστημα δύο γερανογεφυρών ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων εμφανίζει καλύτερη απόδοση σε περιορισμένη διαθεσιμότητα γης (περισσότερα TEU/περιοχή).

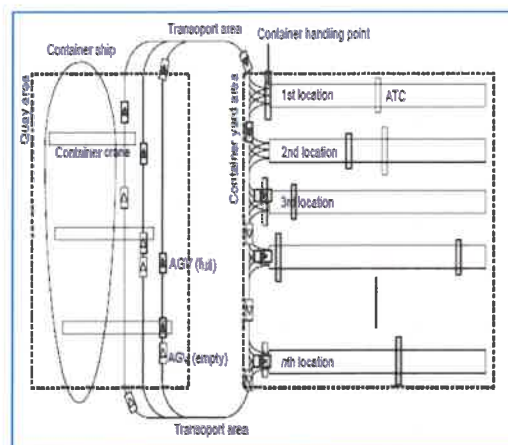
Τέλος, μεγαλύτερη παραγωγικότητα βασισμένη στην ικανότητα στοιβασίας και διακίνησης έχει το σύστημα δύο γερανογεφυρών (β) ανά ομάδα

εμπορευματοκιβωτίων, καθώς εμφανίζει και καλύτερη απόδοση σε περιορισμένη διαθεσιμότητα γης (περισσότερα TEU/περιοχή).

Η λειτουργία αυτοματοποιημένων γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών τύπου *cross-over*, αλλά σε συνδυασμό με αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από την γερανογέφυρα κρηπιδώματος προς τον χώρο στοιβάσεως, μελετάται σε άλλη εργασία ως προς δύο διαφορετικές διατάξεις των εμπορευματοκιβωτίων (30). Οι δύο αυτές διατάξεις φαίνονται στα σχήματα 4.1.3 και 4.1.4 και πρόκειται για μία κάθετη και μία οριζόντια ως προς το κρηπίδωμα διάταξη των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων.



Σχήμα 4.1.3: Διάταξη ομάδων εμπορευματοκιβωτίων παράλληλα στο κρηπίδωμα
Πηγή: (30)



Σχήμα 4.1.4: Διάταξη ομάδων εμπορευματοκιβωτίων κάθετα στο κρηπίδωμα
Πηγή: (30)

Πρέπει να επισημανθεί ότι στην κάθετη προς το κρηπίδωμα διάταξη των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων, η γερανογέφυρα χρειάζεται να μετακινηθεί στο άκρο της ομάδας για να συναντήσει τα οχήματα μεταφοράς, να πραγματοποιήσει τη μεταφορά του εμπορευματοκιβωτίου στο σημείο τοποθέτησής του και την στοιβάση, ενώ στην άλλη διάταξη το όχημα συναντά απευθείας την γερανογέφυρα στο σημείο που θα γίνει η στοιβάση. Αποτέλεσμα είναι η διαφορά στην απόσταση που καλούνται να διανύσουν τα οχήματα μεταφοράς και συνεπώς στον χρόνο κύκλου τους. Σκοπός της μελέτης είναι ο προγραμματισμός των εργασιών των αυτομάτων οχημάτων και γερανογεφυρών βάση της θεωρίας αναμονής και η εύρεση μέσω προσομοίωσης για τον προτεινόμενο τρόπο προγραμματισμού ποια είναι η αποδοτικότερη (σε διακινήθέντα εμπορευματοκιβώτια ανά χρόνο κύκλου) διάταξη της εγκατάστασης. Προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων αυτόματων οχημάτων μεταφοράς *AGV*, τόσο προτιμάται η παράλληλη προς το κρηπίδωμα διάταξη. Αυτό διότι λόγω των διαφορετικών διαδρομών που ακολουθούν τα οχήματα για να εξυπηρετήσουν όλες τις ομάδες κατανέμονται καλύτερα στο χώρο και αφενός δεν σχηματίζονται ουρές αναμονής λόγω περιορισμένου διαδρόμου κίνησης των οχημάτων και αφετέρου λόγω της αναμονής τους για την γερανογέφυρα να έρθει στο άκρο της ομάδας και να τα ξεφορτώσει, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της κάθετης διάταξης.

Δίνονται ποσοτικοποιημένα τα αριθμητικά όρια που καθορίζουν ποια διάταξη είναι βέλτιστη:

- Σε περίπτωση που η αναμονή παρατηρείται στην περιοχή των γερανογεφυρών στοιβάσης και ο αριθμός των γερανογεφυρών είναι μικρότερος από 4 τότε:
 - Όταν ο αριθμός των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς είναι κάτω από 10, καλύτερη είναι η κάθετη στο κρηπίδωμα διάταξη
 - Όταν ο αριθμός των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς είναι πάνω από 10, καλύτερη είναι η παράλληλη προς το κρηπίδωμα διάταξη των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων

- Σε περίπτωση που η αναμονή παρατηρείται στην περιοχή των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και ο αριθμός των γερανογεφυρών είναι μικρότερος από 8 τότε:
 - Όταν ο αριθμός των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς είναι κάτω από 20, καλύτερη είναι η κάθετη στο κρηπίδωμα διάταξη
 - Όταν ο αριθμός των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς είναι πάνω από 20, καλύτερη είναι η παράλληλη στο κρηπίδωμα διάταξη των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων

Σε νεότερες τεχνολογίες για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος στον χώρο στοιβασίας εστιάζουν οι Liu, Jula, Vukadinovic, Ioannou (31). Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης με το οποίο:

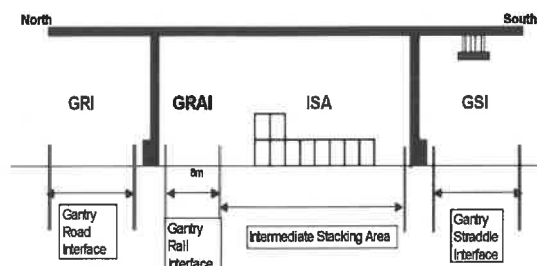
1. Συνέκριναν δύο εναλλακτικά οχήματα μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων, δηλαδή τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* και τους ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις. Η σύγκριση έγινε με κριτήριο την απόδοση σε εμπορευματοκιβώτια/γερανογέφυρα κρηπιδώματος/ώρα. Οι ερευνητές κατέληξαν στο ότι η αυτοματοποίηση βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, καθώς ακόμα και με λιγότερο αριθμό αυτόματων οχημάτων μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση.

2. Εξέτασαν ποια διάταξη των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων, κάθετα ή παράλληλα προς το κρηπίδωμα, είναι αποδοτικότερη (εμπορευματοκιβώτια/γερανογέφυρα κρηπιδώματος/ώρα), όταν κάθε διάταξη εξυπηρετείται από τον ίδιο αριθμό οχημάτων. Βασικό κριτήριο ως προς το οποίο εξετάζουν το σύστημα είναι το ποσοστό του χρόνου αναμονής προς τον συνολικό χρόνο κύκλου, καθώς όσο μικρότερος ο χρόνος κύκλου τόσο μεγαλύτερη η απόδοση σε εμπορευματοκιβώτια/γερανογέφυρα κρηπιδώματος/ώρα. Χρόνος αναμονής για τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος και στοιβασίας είναι ο χρόνος κατά τον οποίον δεν πραγματοποιούν κάποια διαδικασία φορτοεκφόρτωσης, ενώ για τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* ο χρόνος που περιμένουν να εξυπηρετηθούν από τις γερανογέφυρες καθώς και ο χρόνος αναμονής στις διασταυρώσεις με άλλα οχήματα ή για την αποφυγή συγκρούσεων. Εξετάζοντας για κάθε διάταξη τις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό, κατέληξαν στο ότι για

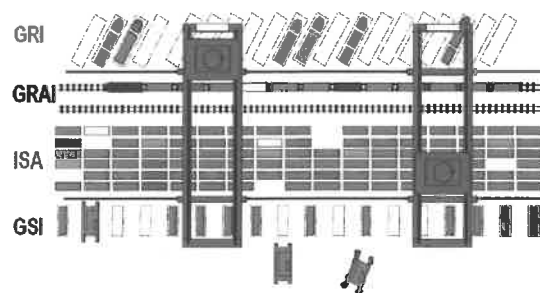
όλες τις διαδικασίες η κάθετη προς την κρηπίδωμα διάταξη είναι αποδοτικότερη σε εμπορευματοκιβώτια/γερανογέφυρα κρηπιδώματος/ώρα και ιδιαίτερα όταν τα αυτόματα οχήματα *AGV* λειτουργούν ταυτόχρονα και στην φόρτωση και εκφόρτωση του πλοίου.

Τέλος για τον υπολογισμό του βέλτιστου αριθμού αυτόματων οχημάτων μεταφοράς *AGV* ανά διάταξη, εφάρμοσαν δύο μεθόδους. Η πρώτη λαμβάνει υπόψη μόνο ένα κριτήριο, την ελαχιστοποίηση των ποσοστών χρόνου αναμονής προς χρόνου κύκλου για τα οχήματα και τις γερανογέφυρες και υπολογίζει τον αριθμό των οχημάτων που την επιτυγχάνουν. Η δεύτερη είναι μία μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης με συντελεστές βαρύτητας, κατά την οποία μορφώνεται ένα κριτήριο που λαμβάνει υπόψη το ποσοστό χρόνου αναμονής προς χρόνου κύκλου με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας για κάθε μηχανήματα και όχημα ανάλογα με τον εκάστοτε σκοπό της βελτιστοποίησης. Με βάση αυτό το κριτήριο υπολογίζεται ο αριθμός των οχημάτων μεταφοράς που το ικανοποιεί.

Μια διαφορετική διάταξη οργάνωσης της εγκατάστασης εξετάζεται από τον Froyland (18). Πρόκειται για ένα σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στο οποίο οχήματα-πλαίσια πραγματοποιούν την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από το κρηπίδωμα στο χώρο στοιβασίας, τη στοιβασία τους και τη μεταφορά τους σε έναν ενδιάμεσο χώρο προσωρινής εναπόθεσης κάτω από τα σκέλη των γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών, οι οποίες τα παραλαμβάνουν από την μία πλευρά τους και τα μεταφορτώνουν στα οδικά οχήματα και τον σιδηρόδρομο που φτάνουν κάτω από το άλλο σκέλος τους, όπως φαίνεται στα σχήματα 4.1.5 και 4.1.6. Η σύγκριση του συστήματος αυτού γίνεται σε σχέση με το σύστημα στο οποίο τα οχήματα-πλαίσια εξυπηρετούν απευθείας τα φορτηγά αλλά όχι τον σιδηρόδρομο.



Σχήμα 4.1.5: Σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (κατά Froyland)
Πηγή: (18)



Σχήμα 4.1.6: Σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (κατά Froyland)
Πηγή: (18)

Εξετάζεται ένας τρόπος οργάνωσης της λειτουργίας στον χώρο και στον χρόνο μέσω ενός μοντέλου ακέραιου προγραμματισμού και επιλύοντάς το με λογισμικό CPLEX. Με σκοπό την επίτευξη ενός δεδομένου επιπέδου εξυπηρέτησης των οχημάτων της χερσαίας πλευράς της εγκατάστασης ελαχιστοποιώντας τον χρόνο αναμονής τους, μελετάται κατά πόσο ο προτεινόμενος τρόπος προγραμματισμού των εργασιών με την ύπαρξη του ενδιαμέσου αυτού χώρου εναπόθεσης ικανοποιεί αυτό το κριτήριο και ποια η επίπτωση στον απαιτούμενο αριθμό οχημάτων πλαισίων. Η μελέτη καταλήγει στο ότι ο προτεινόμενος τρόπος οργάνωσης όχι μόνο οδηγεί σε τήρηση των ελάχιστων δυνατών χρόνων αναμονής των φορτηγών για να εξυπηρετηθούν αλλά και μειώνει τον απαιτούμενο αριθμό οχημάτων πλαισίων από 22 σε 7.

4.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά σε συστήματα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία των άρθρων αφορά στην σύγκριση των αυτοματοποιημένων τεχνολογιών.

Για παράδειγμα οι Yang, Choi και Ha (32) εξετάζουν δύο κατηγορίες οχημάτων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από την γερανογέφυρα κρηπιδώματος στον χώρο στοιβάσias τους. Πιο συγκεκριμένα μελετώνται τα αυτόματα οχήματα

μεταφοράς τύπου *AGV* σε σύγκριση με τα αυτόματα οχήματα τύπου *ALV*. Εξετάζεται η κίνησή τους βασισμένη στον χρόνο κύκλου τους, ο οποίος περιλαμβάνει το χρόνο μετακίνησής τους από τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος προς τις γερανογέφυρες στοιβασίας και αντίστροφα, το χρόνο αναμονής για να εξυπηρετηθούν και το χρόνο φορτοεκφόρτωσής τους. Οι δύο εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται μέσω προσομοίωσης και για την ίδια ταχύτητα κίνησης και για ίδιο χρόνο λειτουργίας, με σκοπό τον καθορισμό του ελάχιστου δυνατού απαιτούμενου αριθμού οχημάτων για την επίτευξη μιας μέγιστης παραγωγικότητας σε κινήσεις/ώρα της γερανογέφυρας κρηπιδώματος. Οι ερευνητές καταλήγουν ότι οι ομάδες των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *ALV*, λόγω της ανυψωτικής τους ικανότητας που τους επιτρέπει να φορτοεκφορτώνουν τα εμπορευματοκιβώτια από τον χώρο προσωρινής τους εναπόθεσης κάτω από τα σκέλη των γερανογεφυρών – κρηπιδώματος ή στοιβασίας - ανεξάρτητα από τους μηχανισμούς φορτοεκφόρτωσης των γερανογεφυρών, μπορούν να πετύχουν το ίδιο αποτέλεσμα με τον μισό αριθμό οχημάτων σε σχέση με τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV* που δαπανούν αρκετό χρόνο αναμένοντας τις γερανογέφυρες για να τα φορτοεκφορτώσουν.

Με την συγκριτική αξιολόγηση των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* και αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV* που κινούνται στο ίδιο υποσύστημα του λιμανιού όπως και προηγουμένως ασχολούνται και οι Vis και Harika (33). Εξετάζουν μέσω προσομοίωσης τους δύο εναλλακτικούς τρόπους μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων ανάμεσα στο κρηπίδωμα και τον χώρο στοιβασίας με σκοπό τον καθορισμό του ελάχιστου απαιτούμενου αριθμού οχημάτων ανά σύστημα, εφόσον θεωρούν σαν βασικό κριτήριο σύγκρισής τους το κόστος αγοράς. Έχοντας σαν βασικό περιορισμό της λειτουργίας της εγκατάστασης την ελαχιστοποίηση του χρόνου εκφόρτωσης των πλοίων εξετάζουν την επιρροή διαφόρων παραμέτρων στον απαιτούμενο αριθμό οχημάτων ανά εναλλακτική.

Αρχικά για δεδομένη εγκατάσταση (δεδομένους χρόνους κύκλου των γερανογεφυρών και διαστάσεις της εγκατάστασης) υπολογίζουν ότι για την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων απαιτούνται 38% λιγότερα αυτόματα οχήματα τύπου *ALV* από ότι αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV*. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στον μικρότερο χρόνο κύκλου των οχημάτων τύπου *ALV*.

Στη συνέχεια μεταβάλλουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων και γερανογεφυρών για να εξετάσουν πόσο αυτά επηρεάζουν τον απαιτούμενο αριθμό των οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλουν είναι τα εξής:

- Η ταχύτητα των άφορτων οχημάτων. Παρατηρείται ότι η αύξηση της ταχύτητας δεν επηρεάζει καθόλου τον αριθμό των αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV* και ελάχιστα τον αριθμό των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV*, συμπεράσμα αναμενόμενο εφόσον μειώνεται ο χρόνος κύκλου που είναι και η κύρια αιτία της απαίτησης για μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων.
- Η δυνατότητα των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* να φέρουν δύο εμπορευματοκιβώτια. Παρατηρείται μία μικρή μείωση του απαιτούμενου αριθμού (από 37 σε 35), αλλά επισημαίνεται ότι για να επιλεγούν τα μηχανήματα αυτού του τύπου πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος κατασκευής τους.
- Ο χρόνος κύκλου των γερανογεφυρών κρηπιδώματος. Η μείωση του χρόνου κύκλου των γερανογεφυρών κρηπιδώματος οδηγεί σε αύξηση του απαιτούμενου αριθμού οχημάτων, γεγονός που οφείλεται στο ότι αυξάνουν οι απαιτήσεις για οχήματα ανά ώρα που εξυπηρετούν τις γερανογέφυρες οι οποίες φορτοεκφορτώνουν περισσότερα εμπορευματοκιβώτια ανά ώρα.

Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ως κριτήριο τον περιορισμό της διαθεσιμότητας της γης, εξετάζεται η επίδραση του μεγέθους των χώρων προσωρινής εναπόθεσης κάτω από τα σκέλη των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και γερανογεφυρών στοιβασίας. Η αύξηση του μεγέθους του χώρου προσωρινής εναπόθεσης μειώνει τον απαιτούμενο αριθμό των αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV* που τους χρησιμοποιούν, αλλά δίνεται προσοχή στο ότι σε κάθε περίπτωση το συγκριτικό κόστος αγοράς των οχημάτων είναι που καθορίζει την απόφαση.

Στην σύγκριση των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* και αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV*, ο Duinkerken (34) εξετάζει ένα ακόμη υποσύστημα εσωτερικής μεταφοράς, τους ελκυστήρες με δυνατότητα μεταφοράς δύο ή και περισσότερων συρόμενων βάσεων (*multi trailer tractors*), σε μία συγκριτική μελέτη για το λιμάνι του Maasvlakte στο Rotterdam. Κριτήρια ως προς τα οποία συγκρίνονται τα συστήματα είναι:

- Το μέγιστο δυνατό επίπεδο εξυπηρέτησης που καθορίζεται από την καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση των τρένων και των πλοίων, και
- Το χαμηλότερο δυνατό κόστος που εξαρτάται από τον αριθμό των οχημάτων και το ποσοστό χρησιμοποίησης του εξοπλισμού (το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο το όχημα εκτελεί μία εργασία προς το συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης που περιλαμβάνει και την χρονική διάρκεια που τα οχήματα είναι ανενεργά)

Η σύγκριση των τριών συστημάτων γίνεται μέσω της μεθόδου της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στη σύγκρισή τους ως προς το επίπεδο εξυπηρέτησης, οι ελκυστήρες με δυνατότητα μεταφοράς δύο ή και περισσότερων συρόμενων βάσεων εμφανίζουν πολύ χαμηλότερη απόδοση από τις άλλες δύο κατηγορίες οχημάτων, ενώ για την επίτευξη του ίδιου επιπέδου εξυπηρέτησης απαιτείται ο διπλάσιος αριθμός αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* από ότι αυτόματα οχήματα τύπου *ALV*. Συγκεκριμένα οι ελκυστήρες εμφανίζουν 8 φορές περισσότερες περιπτώσεις καθυστέρησης στην εξυπηρέτηση των τρένων, σε σχέση με τα αυτόματα οχήματα τύπου *AGV* και 16 σε σχέση με τα *ALV*. Επίσης, προκύπτει ότι το ποσοστό χρησιμοποίησης του εξοπλισμού είναι πολύ μεγαλύτερο για τα αυτόματα οχήματα τύπου *ALV* (85%) από ότι για τα αυτόματα οχήματα τύπου *AGV* (70%) και τους ελκυστήρες (50%). Η τελική απόφαση της επιλογής του καταλληλότερου εξοπλισμού καθορίζεται από το ποιος τύπος οχήματος επιτυγχάνει το μικρότερο κόστος, που περιλαμβάνει τόσο το κόστος αγοράς όσο και τα λειτουργικά κόστη, και το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης,

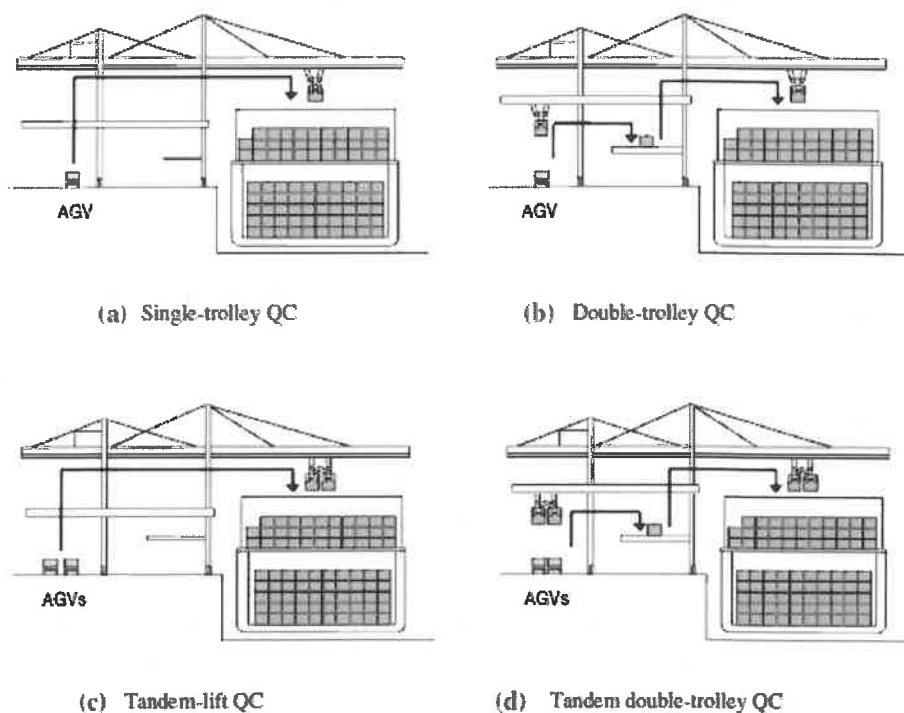
Στις νεότερες τεχνολογίες εστιάζουν οι Henesey, Davidsson και Persson (13) πραγματοποιώντας σύγκριση των αυτόματων οχημάτων πρώτης γενιάς (*T-AGV*), όπως αυτά που μελετήθηκαν στις προαναφερθείσες εργασίες, με έναν νεότερο τύπο (*IPSI AGV*) ο οποίος μπορεί να φέρει μία ή περισσότερες χαλύβδινες πλατφόρμες (cassettes), η καθεμία με δυνατότητα μεταφοράς έως και δύο εμπορευματοκιβωτίων καθ' ύψος. Το πλεονέκτημα του νέου αυτού τύπου οχήματος είναι ότι λόγω της δυνατότητας απεξάρτησης των πλατφόρμων από το κινητό αμάξωμα του αυτόματου οχήματος, μπορούν να λειτουργήσουν σαν προσωρινοί χώροι εναπόθεσης των εμπορευματοκιβωτίων και να φορτοεκφορτωθούν από τις γερανογέφυρες χωρίς την παρουσία του οχήματος. Επίσης έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα μετακίνησης στους διαδρόμους και ικανότητα καθ' ύψος στοιβασίας.

Το υποσύστημα του λιμανιού όπου μελετώνται οι δύο εναλλακτικές, περιλαμβάνει την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων ανάμεσα στις γερανογέφυρες κρηπιδώματος και τις γερανογέφυρες στοιβασίας. Η σύγκριση γίνεται με προσομοίωση των δύο συστημάτων και σκοπός είναι η εύρεση του ελάχιστου αριθμού οχημάτων για την επίτευξη του ελάχιστου λειτουργικού κόστους. Το λειτουργικό κόστος ισούται με το γινόμενο του ωριαίου λειτουργικό κόστους (περιλαμβάνει την απόσβεση, την συντήρηση, το εργατικό δυναμικό και τα καύσιμα) επί τον αριθμό του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού επί το χρόνο εξυπηρέτησης του πλοίου.

Όσον αφορά στο χρόνο εξυπηρέτησης των πλοίων αποδεικνύεται ότι είναι μικρότερος όταν αυτά εξυπηρετούνται από οχήματα τύπου *IPSI*. Πιο συγκεκριμένα για χρήση 3 οχημάτων με 2 ή περισσότερες πλατφόρμες, ο ρυθμός εξυπηρέτησης του πλοίου μεγαλώνει και γίνεται μέγιστος για 4 ή 5 οχήματα με 4 πλατφόρμες. Εξετάζοντας το σύστημα ως προς τα λειτουργικά κόστη, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων και των πλατφόρμων που αυτά φέρουν, τόσο μειώνεται το κόστος μέχρι και για χρήση 3 οχημάτων τύπου *IPSI* με 3 πλατφόρμες. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι είναι καλύτερη για το σύστημα η προσθήκη πλατφόρμων αντί οχημάτων.

Μία ακόμα εργασία που αφορά σε σύγκριση αυτοματοποιημένων τεχνολογιών για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων ανάμεσα στις γερανογέφυρες στοιβασίας και κρηπιδώματος, δηλαδή αυτόματων οχημάτων μεταφοράς τύπου *AGV* και αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV*, εκπονήθηκε από τους Bae et al. (11). Στην εργασία αυτή η σύγκριση γίνεται σε συνδυασμό με τέσσερις διαφορετικούς, ως προς τα τεχνικά και λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, τύπους γερανογέφυρας κρηπιδώματος. Οι γερανογέφυρες που εξετάζονται είναι με απλή αρπάγη, με διπλή αρπάγη και ενδιάμεση πλατφόρμα, με δίδυμη αρπάγη και με δίδυμες αρπάγες και ενδιάμεση πλατφόρμα, έχουν δηλαδή αυξανόμενη παραγωγικότητα σε διακινούμενα εμπορευματοκιβώτια/ώρα (βλ. Σχήμα 4.2.1). Σκοπός είναι ο καθορισμός του ελάχιστου αριθμού οχημάτων για καθεμία από τις δύο εναλλακτικές με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος. Η προσομοίωση καταλήγει στο ότι λόγω της ικανότητας των αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV* να φορτοεκφορτώνουν με δικούς τους μηχανισμούς τα εμπορευματοκιβώτια από τους

χώρους προσωρινής εναπόθεσης κάτω από τα σκέλη των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, μπορούν να επιτύχουν την ίδια παραγωγικότητα με έως και 70% λιγότερα οχήματα από ότι τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV*, όταν κινούνται με την ίδια ταχύτητα. Αποδεικνύεται επίσης ότι σε όλους τους τύπους γερανογεφυρών κρηπιδώματος με αύξηση του αριθμού των αυτόματων οχημάτων μεταφοράς μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγικότητα εκτός από την περίπτωση της γερανογέφυρας με δίδυμες αρπάγες και ενδιάμεση πλατφόρμα οπότε και όσα οχήματα και να προστεθούν στο σύστημα δεν μπορεί να επιτύχει την παραγωγικότητα των αυτόματων οχημάτων τύπου *ALV*. Συνεπώς προκύπτει ότι ο καθορισμός του βέλτιστου αριθμού των μηχανημάτων στις τρεις υπόλοιπες περιπτώσεις που και οι δύο τύποι οχημάτων επιτυγχάνουν την μέγιστη απόδοση απλά με διαφορετικό αριθμό οχημάτων, η τελική επιλογή εξαρτάται από την αρχική επένδυση και το κόστος συντήρησης για την κάθε εναλλακτική. Επίσης παρατηρείται ότι η μεγάλη προσθήκη οχημάτων στο σύστημα μειώνει την απόδοσή του, καθώς είναι η αιτία μεγαλύτερων καθυστερήσεων λόγω αναμονής στους διαδρόμους κυκλοφορίας.



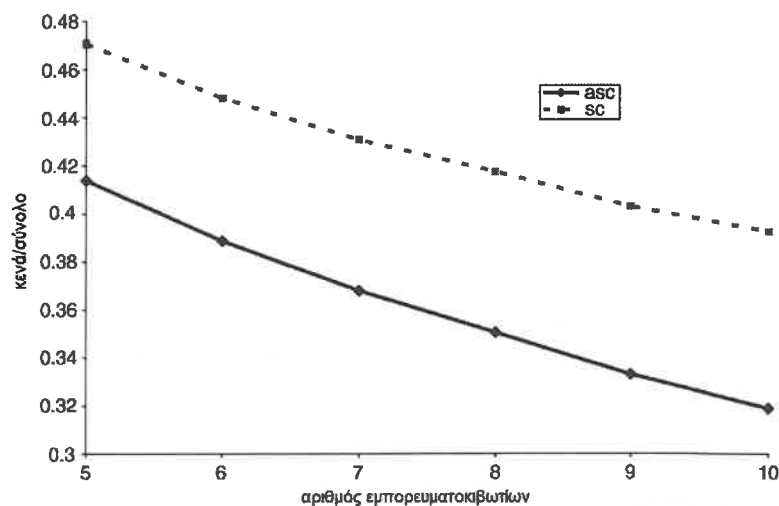
Σχήμα 4.2.1: Διάφοροι τύποι γερανογεφυρών
Πηγή: (35)

Μία συγκριτική αξιολόγηση συμβατικού εξοπλισμού πραγματοποιείται από τον Iris F.A. Vis (36) ο οποίος συγκρίνει οχήματα-πλαίσια και αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών, οι οποίες λειτουργούν για την στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων. Η σύγκριση των δύο τύπων μηχανημάτων γίνεται σε σχέση με την μορφή της διάταξης των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων και τα δύο μηχανήματα συγκρίνονται με βάση τον συνολικό χρόνο κίνησής τους. Αυτός περιλαμβάνει τον χρόνο κατά τον οποίο το μηχάνημα είναι άδειο και γεμάτο, το χρόνο ανύψωσης και τον χρόνο για την αναδιάταξη των εμπορευματοκιβωτίων στην κάθε στοιβα. Η κύρια διαφορά λειτουργίας των δύο αυτών τύπων μηχανημάτων είναι ότι το όχημα πλαίσιο δεν έχει τη δυνατότητα οριζόντιας μετακίνησης κατά πλάτος στις διάφορες σειρές της κάθε ομάδας εμπορευματοκιβωτίων και για να μεταφερθεί σε κάποια γειτονική σειρά μπορεί μόνο από το άκρο κάθε ομάδας εμπορευματοκιβωτίων. Αντίθετα η γερανογέφυρα έχει τη δυνατότητα οριζόντιας μετακίνησης της αρπάγης της και συνεπώς απευθείας κινήσεων κατά το πλάτος της ομάδας. Εξετάζοντας μέσω προσομοίωσης τη λειτουργία των δύο τύπων μηχανημάτων σε ομάδες ίδιων διαστάσεων και για τον ίδιο αριθμό εμπορευματοκιβωτίων, αποδείχθηκε ότι η αυτόματη γερανογέφυρα λειτουργεί κατά 15% γρηγορότερα από ότι το όχημα πλαίσιο. Παρατηρείται ότι ενώ το όχημα πλαίσιο διανύει άδειο πολύ μεγαλύτερη απόσταση από την γερανογέφυρα (της τάξης του 30% επιπλέον μήκους) λόγω της μεγαλύτερης του ταχύτητας κατορθώνει να αντισταθμίσει τον χρόνο που ταξιδεύει άδειο. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος αγοράς των μηχανημάτων, με 25% ακριβότερη την γερανογέφυρα, πρέπει να εξετασθεί κατά πόσο η διαφορά αυτή των χρόνων κίνησης είναι αρκετά μεγάλη ώστε να είναι εκείνη που τελικά θα καθορίσει την επιλογή του εξοπλισμού.

Στη συνέχεια, εξετάζεται πώς επηρεάζεται η επιλογή του εξοπλισμού από τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων που πρέπει να διακινηθούν και από το πλάτος σε εμπορευματοκιβώτια των ομάδων.

- Με αύξηση των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων το ποσοστό του χρόνου κίνησης άδειων μηχανημάτων μειώνεται και για τους δύο τύπους εξοπλισμού και αυτό εξηγείται από το ότι όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα το ζητούμενο να διακινηθεί εμπορευματοκιβώτιο να είναι πιο κοντά στο μηχάνημα. Παρ' όλα

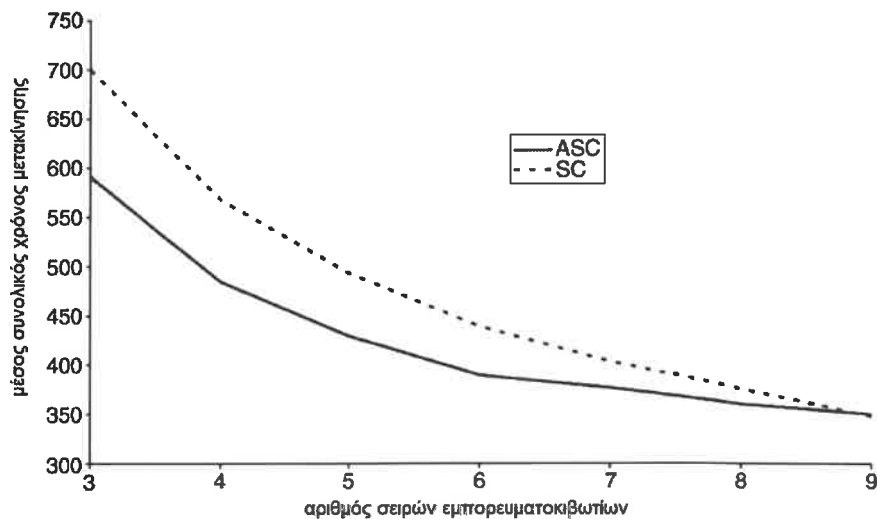
αυτά παρατηρείται ότι η κλίση της γραμμής για τα οχήματα-πλαίσια είναι μικρότερη από ότι για τις γερανογέφυρες (βλ. Σχήμα 4.2.2). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γερανογέφυρα μπορεί να συνδυάσει κινήσεις σε διαφορετικές σειρές με λιγότερο χρόνο να ταξιδεύει άδεια ενώ το όχημα πλαίσιο πρέπει να ολοκληρώσει όλες τις κινήσεις σε μία σειρά για να μεταφερθεί σε επόμενη. Συνεπώς από το διάγραμμα φαίνεται ότι η γερανογέφυρα υπερτερεί του οχήματος πλαισίου.



Σχήμα 4.2.2.: Λόγος μετακινήσεων άδειων μηχανημάτων προς τον συνολικό αριθμό μετακινήσεων για οχήματα-πλαίσια (sc) και αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc)

Πηγή: (36)

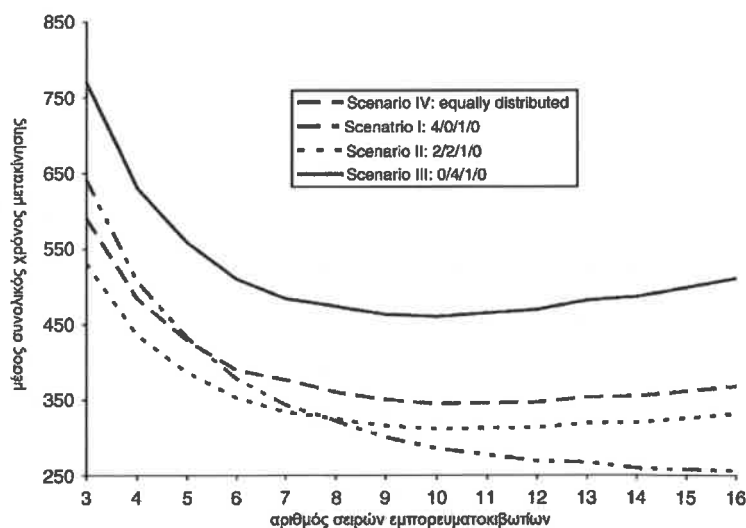
- Ως προς διαφορετικό αριθμό σειρών εμπορευματοκιβωτίων παρατηρήθηκε ότι οι μέσοι συνολικοί χρόνοι μετακίνησης μειώνονται με την αύξηση των σειρών και τον ταυτόχρονο περιορισμό του μήκους (ώστε ο συνολικός διακινούμενος όγκος να είναι ο ίδιος). Το όχημα πλαίσιο φαίνεται να λειτουργεί καλύτερα όσο ο αριθμός των σειρών των ομάδων αυξάνει από 6 μέχρι 9 και για την περίπτωση των 9 σειρών τα δύο μηχανήματα επιτυγχάνουν τον ίδιο χρόνο μετακίνησης (βλ. Σχήμα 4.2.3).



Σχήμα 4.2.3.: Μέσος συνολικός χρόνος μετακίνησης για οχήματα-πλαίσια (sc) και αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc)

Πηγή: (36)

- Τέλος, εξετάζεται πώς επηρεάζεται ο χρόνος κίνησης της γερανογέφυρας για διαφορετικό αριθμό σειρών και διαφορετική κατανομή των αφίξεων των εμπορευματοκιβωτίων. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι αν λάβουμε υπόψη και το μέγιστο δυνατό μέγεθος μιας γερανογέφυρας η ύπαρξη 10 σειρών υπό τα σκέλη της δίνει πολύ καλή απόδοση. Συνδυάζοντάς το με τον χρόνο κίνησης των οχημάτων για 9 σειρές εμπορευματοκιβωτίων, παρατηρείται ότι για πάνω από 9 σειρές η απόδοση και των δύο μηχανημάτων είναι σχεδόν βέλτιστη (βλ. Σχήμα 4.2.4).



Σχήμα 4.2.4.: Μέσος συνολικός χρόνος μετακίνησης για αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (asc) σε 4 διαφορετικά σενάρια.

Πηγή: (36)

Ο απαιτούμενος χώρος στοιβασίας ανά σύστημα εξοπλισμού στοιβασίας εξετάστηκε από τον Ν. Παπανικολάου (15), ο οποίος χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Google Earth Pro υπολόγισε τον απαιτούμενο χώρο ανά σύστημα στοιβασίας για 10 τερματικές εγκαταστάσεις διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα τα συστήματα των οχημάτων πλαισίων, γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών και επί σιδηροτροχιών έδειξαν ότι χρειάζονται 33,85-34,6 m²/TEU, 34,86-36,19 m²/TEU και 33,2-35,6 m²/TEU αντίστοιχα. Επίσης από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι αν και μικρότερου εσωτερικού ανοίγματος, οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών τείνουν να καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο και τους τυχόν περιορισμούς σε διαθέσιμη γη μπορεί να γίνει μία πρώτη επιλογή του καταλληλότερου εξοπλισμού.

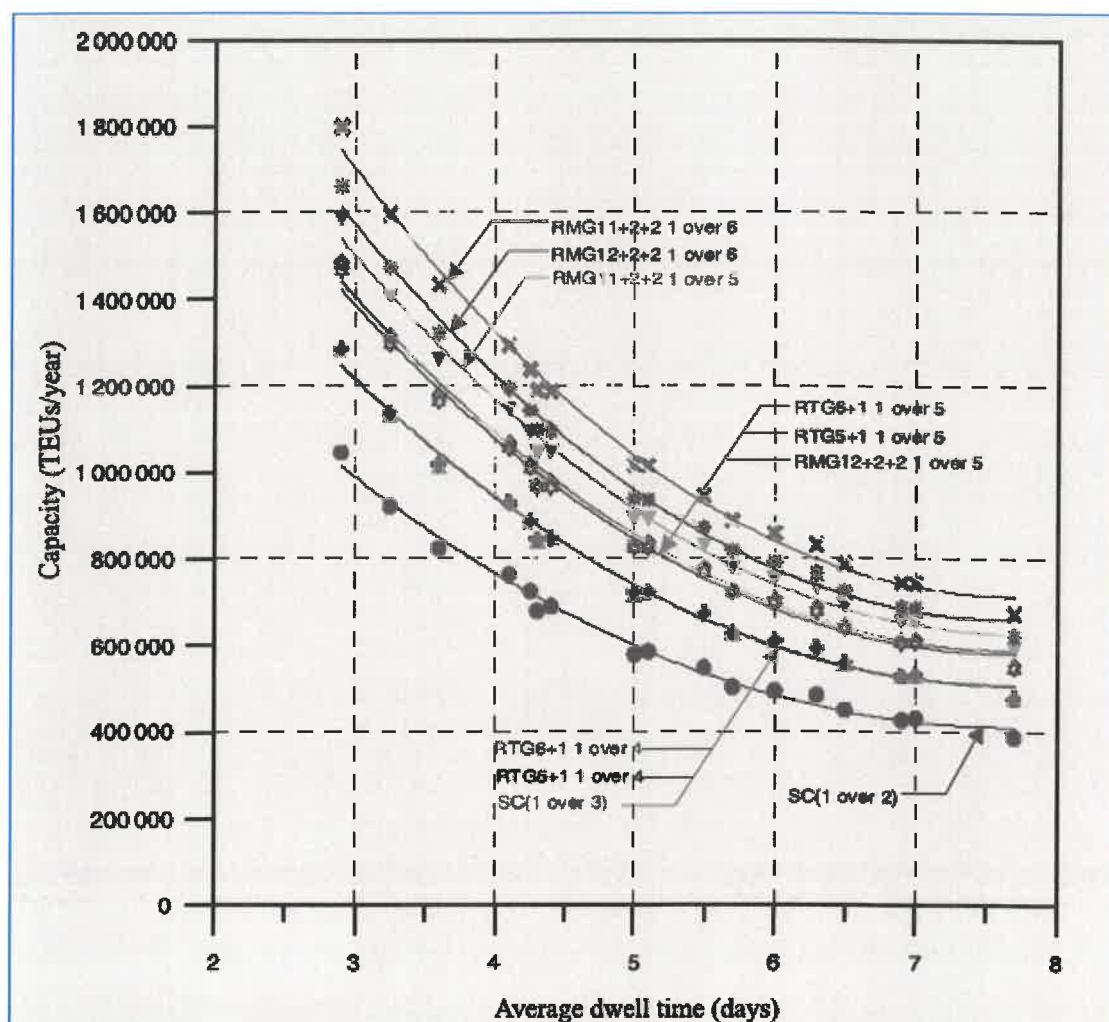
Όταν υπάρχει περιορισμός του απαιτούμενου χώρου για την επίτευξη της μέγιστης χωρητικότητας με την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση, μία λύση είναι η αύξηση του ύψους στοιβασίας. Όμως όσο αυξάνεται το ύψος στοιβασίας τόσο αυξάνονται και οι αναδιατάξεις που τα μηχανήματα πρέπει να πραγματοποιήσουν. Το πρόβλημα αυτό των αναδιατάξεων μελετήθηκε στη ίδια εργασία. Η αύξηση του αριθμού των αναδιατάξεων οδηγεί σε αύξηση του χρόνου φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων και συνεπώς του συνολικού χρόνου κύκλου τους που επηρεάζει διαδοχικά και τον χρόνο κύκλου των οχημάτων μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του απαιτούμενου αριθμού οχημάτων για την ικανοποίηση του ίδιου όγκου εμπορευματοκιβωτίων. Επίσης οι αναδιατάξεις αποτελούν ένα μη αποδοτικό τρόπο εκμετάλλευσης των μηχανημάτων καθώς η χρήσης του εξοπλισμού για τις αναδιατάξεις αυξάνει το κόστος χρήσης και συντήρησης και συνεπώς και το συνολικό λειτουργικό κόστος για κινήσεις για τις οποίες το λιμάνι δεν μπορεί να χρεώσει άμεσα τους πελάτες του.

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Chu και Huang (37) εξετάζοντας μέσω αναλυτικών τύπων τον απαιτούμενο χώρο σε m²/TEU ανά σύστημα στοιβασίας για τους ίδιους με προηγουμένως τύπους εξοπλισμού, δηλαδή οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζουν τον απαιτούμενο χώρο για διάφορα μεγέθη του τερματικού σταθμού (ανάλογα με το διαθέσιμο μήκος κρηπιδώματος και βάθος της εγκατάστασης στην χερσαία πλευρά) και για διάφορους τύπους

μηχανημάτων (ύψος στοιβασίας – εσωτερικό άνοιγμα). Καταλήγουν σε ένα εύρος τιμών απαιτούμενης έκτασης ανά σύστημα στοιβασίας για τα οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και επί σιδηροτροχιών που είναι 32,1-35,1 m²/TEU (285-300 TEU/ha), 35.4-43.3 (231-282) και 32.9-41.2 (250-304) αντίστοιχα. Έδειξαν επίσης ότι σε περίπτωση μίας θέσης παραβολής τα οχήματα-πλαίσια πλεονεκτούν και ότι ναι μεν μεγαλύτερες σε διαστάσεις γερανογέφυρες είναι καταλληλότερες για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αλλά αυτό δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι γερανογέφυρες με μεγαλύτερο εσωτερικό άνοιγμα καταλαμβάνουν και μικρότερο χώρο.

Μία άλλη παράμετρος που οι Chu και Huang εξετάζουν είναι το ποσοστό μεταφόρτωσης σε άλλο πλοίο και η μέση διάρκεια παραμονής των εμπορευματοκιβωτίων στην τερματική εγκατάσταση σε σχέση με την ικανότητα διακίνησης του κάθε τύπου μηχανήματος, σε TEU/έτος. Για διάφορες κατηγορίες μηχανημάτων με διαφορετικά ύψη και πλάτη στοιβασίας, υπολογίζουν ανάλογα με το ποσοστό μεταφόρτωσης για διάφορους χρόνους παραμονής, την ετήσια ικανότητα διακίνησης. Από τα αποτελέσματα παρατηρούνται τα εξής (βλ. Σχήμα 4.2.5):

- Με την αύξηση του ποσοστού των εμπορευματοκιβωτίων που μεταφορτώνεται σε άλλο πλοίο τόσο αυξάνονται για δεδομένες διαστάσεις της εγκατάστασης οι ικανότητες διακίνησης των διαφόρων τύπων μηχανημάτων γιατί η μία θέση TEU στην εγκατάσταση ισούται με 2 TEU όγκου σε όρους ικανότητας φορτοεκφόρτωσης πλοίων.
- Οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν μεγαλύτερες ικανότητες διακίνησης από τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και αυτές με τη σειρά τους μεγαλύτερες από τα οχήματα-πλαίσια.
- Στις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών και επί ελαστικών τροχών, για το ίδιο ύψος στοιβασίας αποδοτικότερη είναι εκείνη με το μικρότερο εσωτερικό άνοιγμα.
- Για τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχιών, για τον ίδιο αριθμό σειρών κάτω από τα σκέλη τους καλύτερη εμφανίζεται εκείνη με το μεγαλύτερο ύψος στοιβασίας
- Το μεγαλύτερο ύψος στοιβασίας εμφανίζεται να οδηγεί σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και τα οχήματα-πλαίσια



Σχήμα 4.2.5: Χρόνος παραμονής εμπορευματοκιβωτίων στην τερματική εγκατάσταση σε σχέση με την ικανότητα διακίνησης κάθε τύπου μηχανήματος

Οι Huang και Chu σε άλλο άρθρο τους (38) υποστηρίζουν ότι η απόφαση για την επιλογή του εξοπλισμού γίνεται σε δύο βήματα. Σε πρώτο βήμα γίνεται ο καθορισμός του μεγέθους του χώρου στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων μαζί με τον εξοπλισμό και την ικανότητα διακίνησης που εξυπηρετούν τον ετήσιο φόρτο. Σε επόμενο στάδιο τα παραπάνω συστήματα που εξυπηρετούν το φόρτο συγκρίνονται με βάση το συνολικό τους κόστος για την επιλογή του πιο οικονομικού. Στην σύγκριση εξετάζονται οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών για την διακίνηση. Για δεδομένη ετήσια ικανότητα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων και χρόνους κύκλου των μηχανημάτων υπολογίζεται ο απαιτούμενος αριθμός τους για κάθε εναλλακτική. Συνεπώς για δεδομένο αριθμό εξοπλισμού, ένα μέγιστο επιθυμητό όγκο διακίνησης, εφαρμόζουν

τον παρακάτω αριθμητικό τύπο για τον υπολογισμό του απαιτούμενου κόστους ανά εναλλακτική.

$$TC_j = CL \cdot A_j \cdot r + CY_j \cdot A_j \cdot (r + ry_j + my_j) + \frac{(Q \cdot nh_j)}{HC_j \cdot (1 - rd_j)} \cdot \{CP_j \cdot (r + rc_j) + CM_j + CO_j + CW_j\} + T_j \cdot Q + CR_j$$

όπου:

TC_j : το συνολικό κόστος σε χρηματικές μονάδες ανά έτος για το σύστημα j

CL : το κόστος ανά μονάδα γης σε χρηματικές μονάδες ανά m^2 ανά έτος

A_j : η απαιτούμενη έκταση για το σύστημα j σε m^2

CY_j : το κόστος κατασκευής του τερματικού σταθμού σε χρηματικές μονάδες ανά m^2 για το σύστημα j

r : το προεξοφλητικό επιτόκιο

ry_j, rc_j : οι συντελεστές απόσβεσης κεφαλαίου της εγκατάστασης και του εξοπλισμού. Ο υπολογισμός τους γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο ζωής της εγκατάστασης (ny_j) και του μηχανήματος (nc_j) αντίστοιχα

Υπολογίζονται από τις εξής σχέσεις: $ry_j = r / (1 - (1 + r)^{-ny_j})$ και $rc_j = r / (1 - (1 + r)^{-nc_j})$

rd_j : το ποσοστό που περιλαμβάνει τις βλάβες του εξοπλισμού και την προγραμματισμένη συντήρηση

my_j : κόστος συντήρησης της γης (υποδομές) σαν ποσοστό της αξίας τους

Άρα $CY_j \cdot A_j \cdot r$: ετήσιο κόστος για την κατασκευή των υποδομών του τερματικού σταθμού για το σύστημα j

$CY_j \cdot A_j \cdot ry_j$: ετήσιο κόστος απόσβεσης της κατασκευής των υποδομών του τερματικού σταθμού για το σύστημα j

$CY_j \cdot A_j \cdot my_j$: το ετήσιο κόστος συντήρησης των υποδομών

Q : ο ετήσια διακινούμενος όγκος εμπορευματοκιβωτίων σε μονάδες ανά έτος

nh_j : ο μέσος αριθμός χειρισμών ανά εμπορευματοκιβώτιο στην εγκατάσταση, συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων φορτοεκφόρτωσης και διαλογής

HC_j : μέσος αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που το κάθε μηχάνημα χειρίζεται ετησίως σε μονάδες ανά έτος

CP_j : το κόστος αγοράς του μηχανήματος σε χρηματικές μονάδες

Άρα $CP_j * r$: το ετήσιο κόστος του κεφαλαίου για το κάθε μηχάνημα

$CP_j * rc_j$: το ετήσιο κόστος απόσβεσης του μηχανήματος j

CO_j : το λειτουργικό κόστος του μηχανήματος σε χρηματικές μονάδες ανά μηχάνημα, που ισούται με το γινόμενο του κόστους για την διακίνηση κάθε εμπορευματοκιβωτίου επί τον αριθμό των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων

CM_j : το ετήσιο κόστος συντήρησης κάθε μηχανήματος ($=CP_j * rm_j$ όπου rm_j είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης του μηχανήματος σαν παρούσα αξία)

$\frac{(Q * nh_j)}{HC_j * (1 - rd_j)}$: ο αριθμός των απαιτούμενων μηχανημάτων

T_j : το μεταφορικό κόστος ανά όχημα, ανάμεσα στο κρηπίδωμα και τον χώρο στοιβασίας ανά διακινούμενη μονάδα, σε χρηματικές μονάδες ανά εμπορευματοκιβώτιο άρα $T_j * Q$ είναι το συνολικό ετήσιο μεταφορικό κόστος από το κρηπίδωμα στον χώρο στοιβασίας και αντίστροφα

CW_j : το ετήσιο κόστος του προσωπικού για τον χειρισμό των μηχανημάτων σε χρηματικές μονάδες ανά έτος

CR_j : το ετήσιο κόστος του υπεύθυνου για τον συντονισμό των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, οχημάτων μεταφοράς και εξοπλισμού στοιβασίας σε χρηματικές μονάδες ανά έτος

Στην παρούσα εργασία μία απλοποιημένη μορφή της παραπάνω εξίσωσης χρησιμοποιείται για την σύγκριση των τριών συστημάτων διακίνησης. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν για τον καθορισμό του τελικού κόστους ανά κατηγορία μηχανήματος είναι οι εξής:

- Το κόστος αγοράς του εξοπλισμού: χρησιμοποιήθηκαν τιμές του 1996 που δείχνουν ότι οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών είναι κατά 50% ακριβότερες από τις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, οι οποίες με την σειρά τους είναι κατά 25% ακριβότερες από τα οχήματα-πλαίσια.
- Ο χρόνος ζωής των μηχανημάτων καθορίστηκε σε 10, 15 και 20 έτη για τα οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών αντίστοιχα.
- Το λειτουργικό κόστος των μηχανημάτων που εξαρτάται από τον αριθμό των διακινούμενων ανά μηχανήμα εμπορευματοκιβωτίων και το κόστος ανά μηχανήμα για την διακίνηση του κάθε εμπορευματοκιβωτίου. Οικονομικότερη στη σύγκριση εμφανίζεται η γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών και ακριβότερο το όχημα-πλαίσιο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα οχήματα-πλαίσια διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις λόγω της αδυναμίας τους να μετακινηθούν και κατά πλάτος των σειρών των εμπορευματοκιβωτίων. Στα λειτουργικά κόστη επίσης περιλαμβάνονται τα κόστη που αφορούν στα καύσιμα τις κίνησης των μηχανημάτων. Αυτό ενδέχεται να εξηγεί το χαμηλότερο κόστος των γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών που συνηθέστερα κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους άλλους δύο τύπους που κινούνται με πετρελαιοκινητήρες.
- Το κόστος για την ανάπτυξη-κατασκευή του χώρου στοιβασίας. Λόγω του μεγάλου αριθμού παραμέτρων που επηρεάζουν το κόστος κατασκευής ενός τερματικού σταθμού στο παρόν άρθρο εξετάζεται μία συγκεκριμένη τοποθεσία κατασκευής του και για καθορισμένη κατασκευή των έργων του κρηπιδώματος. Το διαφορετικό κόστος κατασκευής ανά σύστημα στοιβασίας εξαρτάται από τα δάπεδα που απαιτεί καθένα από αυτά, την ανάγκη για κατασκευή σιδηροτροχιών κίνησης, το βάρος των μηχανημάτων, το εάν και σε ποιο ποσοστό χρειάζεται να ασφαλιστρωθεί η εγκατάσταση. Μεγαλύτερο κόστος εμφανίζει η γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών που είναι κατά 30% ακριβότερη από τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, οι οποίες είναι με την σειρά τους κατά 100% ακριβότερες από τα οχήματα-πλαίσια
- Το κόστος της ετήσιας συντήρησης των μηχανημάτων. Οι τιμές που χρησιμοποιούν οι Huang και Chu προέρχονται από τις τιμές που λαμβάνονται υπόψη από τον τερματικό σταθμό στο λιμάνι της Khaosiung. Προκύπτει ότι το

μεγαλύτερο κόστος συντήρησης εμφανίζουν οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, που ακολουθούνται από τα οχήματα-πλαίσια και με οικονομικότερες τις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών.

- Η ικανότητα διακίνησης των μηχανημάτων (που συναρτάται άμεσα με την παραγωγικότητά τους). Υπολογίζεται χονδροειδώς σε κινήσεις ανά έτος ανάλογα με τον χρόνο κύκλου των μηχανημάτων.
- Το μεταφορικό κόστος για την μεταφορά ανάμεσα στο κρηπίδωμα και τον χώρο στοιβάσεως. Οι διαχειριστές των λιμανιών στην πλειοψηφία των περιπτώσεων πληρώνουν τα φορτηγά που χρησιμοποιούνται κατά την μεταφορά αυτή ανάλογα με τον διακινούμενο όγκο εμπορευματοκιβωτίων, με μία καθορισμένη τιμή ανά εμπορευματοκιβώτιο.
- Το κόστος του προσωπικού. Τα ημερομίσθια που οι διαχειριστές των λιμανιών καλούνται να πληρώσουν εξαρτώνται από τον αριθμό των φυλακών (βάρδιες). Στους χειριστές των μηχανημάτων προστίθεται και ένας υπεύθυνος για τον έλεγχο και συντονισμό των λειτουργιών του χώρου στοιβάσεως και της γερανογέφυρας κρηπιδώματος, και επιπλέον κόστος για τα έξοδα των διοικητικών υπηρεσιών της εγκατάστασης.

Έχοντας ορίσει τις παραμέτρους που επηρεάζουν το τελικό κόστος, μέσω μίας ανάλυσης ευαισθησίας, παρατηρούν πώς οι διάφορες παράμετροι επηρεάζουν το τελικό κόστος. Ο χρόνος κύκλου των μηχανημάτων, ο αριθμός των χειρισμών ανά εμπορευματοκιβώτιο, το κόστος αγοράς και το μέγεθος της εγκατάστασης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του τελικού κόστους. Αντίθετα, το κόστος ανά χειρισμό, το κόστος συντήρησης, το κόστος της ανάπτυξης του τερματικού σταθμού και ο συνολικός διακινούμενος όγκος επηρεάζουν σαφώς λιγότερο το κόστος.

Με βάση τα παραπάνω καταλήγουν στο ότι, όσο οι τιμές των γερανογεφυρών στην αγορά μειώνονται, ο διατιθέμενος χώρος είναι μικρότερος, ο διακινούμενος όγκος αυξάνει με λιγότερους χειρισμούς των εμπορευματοκιβωτίων, τόσο προτιμώνται οι γερανογέφυρες. Επίσης για κόστος αγοράς των γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών μέχρι 150% του κόστους των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών προτιμώνται οι πρώτες.

Το κόστος ως κριτήριο της επιλογής του εξοπλισμού εξετάζει και η UNCTAD (39). Η σύγκριση γίνεται υπολογίζοντας τη συνολική παρούσα αξία για το σύνολο των απαιτούμενων μηχανημάτων ανά κατηγορία εξοπλισμού, που περιλαμβάνει όλα τα έξοδα που συνδέονται με την αγορά και λειτουργία των μηχανημάτων μέχρι το τέλος της περιόδου σχεδιασμού. Τα κόστη περιλαμβάνουν το κόστος αγοράς, το κόστος συντήρησης/επισκευών/καυσίμων - θεωρείται ως ποσοστό του κόστους αγοράς των μηχανημάτων, την υπολειμματική αξία επίσης ως ποσοστό του κόστους αγοράς των μηχανημάτων και το προεξοφλητικό επιτόκιο. Το συνολικό κόστος συνεπώς επηρεάζεται από τον αριθμό των απαιτούμενων μονάδων εξοπλισμού. Στο τέλος το συνολικό κόστος της επένδυσης, σε τιμές του πρώτου έτους της επένδυσης, προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους κοστών για κάθε έτος λειτουργίας.

Μία άλλη παράμετρος που εξετάζεται για την αξιολόγηση μιας προτεινόμενης οργάνωσης των εργασιών του εξοπλισμού σε μια λιμενική εγκατάσταση είναι η βελτιστοποίηση των κερδών. Ενδεικτικό παράδειγμα η εργασία που αφορά στον τερματικό σταθμό La Spezia στην Ιταλία (40), στην οποία μέσω προσομοίωσης εξετάζονται οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι οργάνωσης της λειτουργίας των γερανογεφυρών στον χώρο και στον χρόνο. Σκοπός της βελτιστοποίησης είναι η εύρεση του καλύτερου τρόπου ανάθεσης των εργασιών για την επίτευξη των μεγαλύτερων δυνατών κερδών για το λιμάνι. Η συνάρτηση των κερδών ισούται με την διαφορά των εσόδων από τα έξοδα, όπου τα έσοδα είναι ανάλογα του αριθμού των φορτοεκφορτωμένων εμπορευματοκιβωτίων και τα έξοδα συνάρτηση των χρησιμοποιούμενων πόρων του συστήματος (εξοπλισμός, προσωπικό) και του προστίμου σε περίπτωση καθυστέρησης της εξυπηρέτησης των πλοίων.

5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το πρόβλημα της επιλογής του εξοπλισμού είναι ένα πρόβλημα πολυπαραγοντικό για τον διαχειριστή του κάθε τερματικού σταθμού και συνεπώς και για τον μηχανικό που αναλαμβάνει την επιλογή του εξοπλισμού κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης. Η ύπαρξη πολλών εναλλακτικών τύπων μηχανημάτων με διαφορετικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά δημιουργεί την ανάγκη σύγκρισή τους και επιλογή της καλύτερης λύσης ανάλογα με τον σκοπό και τους περιορισμούς που διέπουν την λειτουργία ή και κατασκευή του τερματικού σταθμού. Το πρόβλημα της επιλογής του εξοπλισμού, όπως παρουσιάστηκε και από την βιβλιογραφική ανασκόπηση του κεφαλαίου 4, εξετάζεται ως προς διάφορα κριτήρια τα οποία είναι:

- Το συνολικό κόστος της επένδυσης για την εκτιμώμενη ζήτηση (κόστος ανά διακινούμενο εμπορευματοκιβώτιο)
- Το κόστος της αγοράς του εξοπλισμού
- Περιορισμοί που αφορούν στην διαθεσιμότητα χώρου/γης
- Ο αριθμός των θέσεων εργασίας
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

5.1. ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΖΗΤΗΣΗ

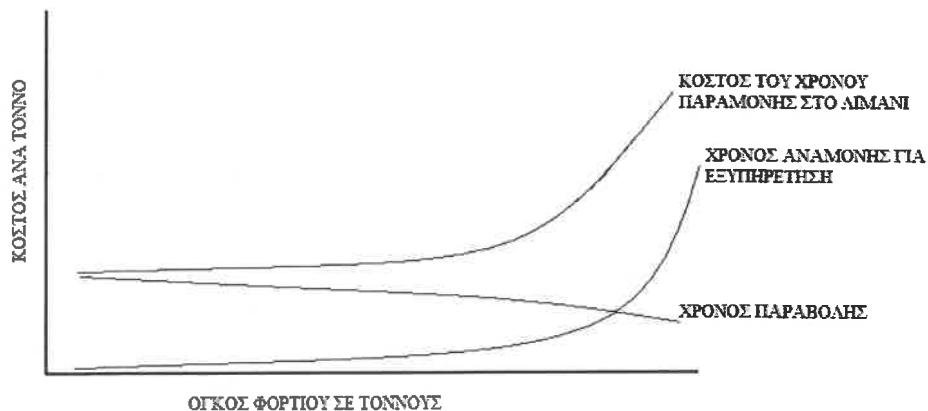
Το κόστος της κάθε εναλλακτικής αποτελεί το κυριότερο κριτήριο που θα καθορίσει την επιλογή του εξοπλισμού. Σκοπός του διαχειριστή του συστήματος είναι η μεγιστοποίηση των κερδών από την λειτουργία της εγκατάστασης. Τα κέρδη ισούνται με την διαφορά των εσόδων από τα έξοδα (40).

Τα έσοδα μιας τερματικής λιμενικής εγκατάστασης είναι ανάλογα του διακινούμενου όγκου εμπορευματοκιβωτίων και τα έξοδα συνάρτηση των χρησιμοποιούμενων πόρων του συστήματος και της αποζημίωσης που καταβάλλεται από τις ναυτιλιακές σε περίπτωση καθυστέρησης της εξυπηρέτησης των πλοίων (όταν αυτό προβλέπεται στη συμφωνία). Συνεπώς σκοπός του σχεδιασμού της εγκατάστασης είναι η επιλογή εξοπλισμού τέτοιου ώστε να μεγιστοποιούνται τα έσοδα και να ελαχιστοποιούνται τα έξοδα (άμεσα συναρτώμενα με το κόστος της κάθε εναλλακτικής).

Τα έσοδα μιας τερματικής λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων είναι συνάρτηση του διακινούμενου όγκου εμπορευματοκιβωτίων. Ο διακινούμενος όγκος εμπορευματοκιβωτίων εξαρτάται από τον αριθμό και την χωρητικότητα των πλοίων που θα εξυπηρετηθούν από την εγκατάσταση. Συνεπώς σκοπός της εγκατάστασης είναι η όσο το δυνατόν ταχύτερη εξυπηρέτηση των πλοίων ώστε μέσα στο έτος να εξυπηρετηθεί ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός τους.

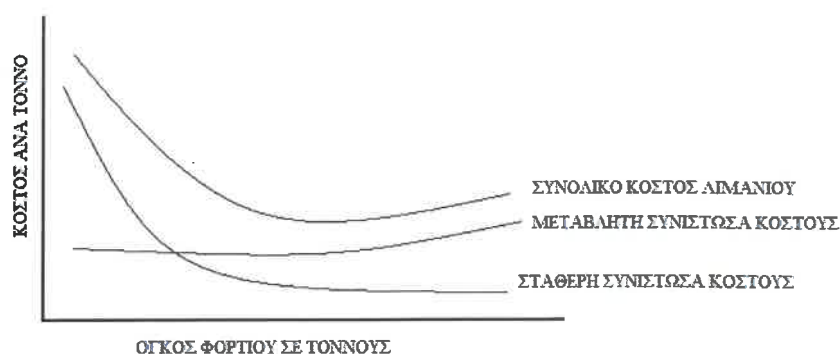
Αναφορικά με την εξυπηρέτηση του πλοίου, όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.1.1, με την αύξηση του χρόνου παραβολής των πλοίων στην προκυμαία αυξάνει και το κόστος για την πλοιοκτήτρια εταιρεία, καθώς το πλοίο είναι κερδοφόρο όσο περισσότερες ναυλώσεις μπορεί να πραγματοποιήσει στον λιγότερο δυνατό χρόνο, δηλαδή περισσότερα ταξίδια. Συνεπώς το ζητούμενο από την πλοιοκτήτρια εταιρεία είναι η άμεση εξυπηρέτηση με την άφιξη (δηλαδή η μη ύπαρξη ουρών αναμονής) και η όσο το δυνατόν ταχύτερη διαδικασία φορτοεκφόρτωσης από τα μέσα φορτοεκφόρτωσης του λιμανιού. Γι αυτό και από τις δύο καμπύλες του διαγράμματος (του χρόνου που ξοδεύει στην προκυμαία και του χρόνου που περιμένει μέχρι να

ελευθερωθεί μία θέση παραβολής) φαίνεται ότι με την αύξηση του διακινηθέντος όγκου φορτίου, ο χρόνος που ξοδεύει το πλοίο για να περιμένει να παραβάλει αυξάνει. Σε περιπτώσεις πολύ μεγάλης κίνησης η αύξηση του χρόνου αυτού φτάνει σε πολύ υψηλά επίπεδα.



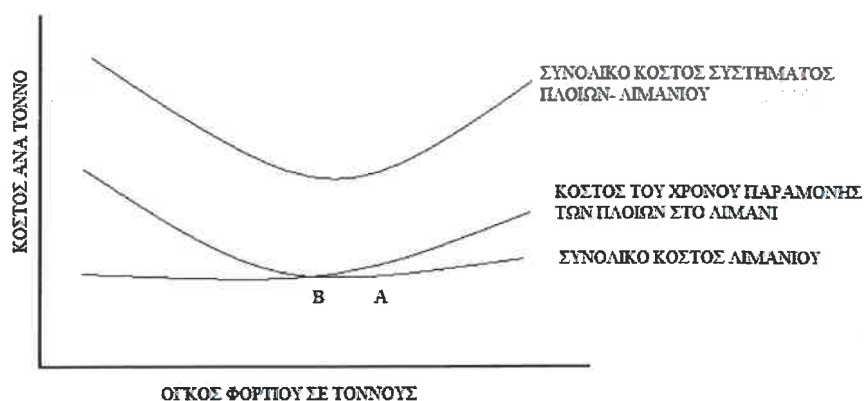
Σχήμα 5.1.1: Επίπτωση χρόνου παραμονής του πλοίου στο λιμάνι στο κόστος

Από την άλλη πλευρά τα έξοδα του λιμένα αποτελούνται από μία σταθερή συνιστώσα που περιλαμβάνει τα αρχικά επενδυτικά κεφάλαια και από μία μεταβλητή συνιστώσα που περιλαμβάνει τα ημερομίσθια του προσωπικού, το κόστος συντήρησης των μηχανημάτων, τα καύσιμα κλπ. Με την αύξηση του διακινούμενου όγκου φορτίου η σταθερή συνιστώσα, εκφρασμένη σε κόστος ανά διακινούμενο τόνο, μειώνεται. Η μεταβλητή συνιστώσα του παράγοντα κόστους, εκφρασμένη και αυτή σε κόστος ανά διακινούμενο τόνο, παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το οριακό σημείο στο οποίο το κρηπίδωμα (σαν έννοια που περιλαμβάνει τον εξοπλισμό φορτοεκφόρτωσης) κάτω από την ανάγκη για διακίνηση μεγαλύτερου φόρτου απαιτεί την χρήση πιο δαπανηρών διαδικασιών και εξοπλισμών οπότε και τα λειτουργικά κόστη παρουσιάζουν αύξηση. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το συνολικό κόστος του λιμανιού (η οποία προέρχεται από το άθροισμα των σταθερών και μεταβλητών συνιστωσών του κόστους) ελαχιστοποιείται όταν ο ρυθμός μείωσης του σταθερού κόστους γίνει ίσος με το ρυθμό αύξησης του μεταβλητού κόστους (ίδια κλίση καμπύλων).



Σχήμα 5.1.2: Κόστος λιμανιού ως συνάρτηση σταθερού και μεταβλητού κόστους

Από την σύνθεση των δύο παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει το συνολικό διάγραμμα που δείχνει συγκριτικά την πορεία των καμπυλών κόστους για το λιμάνι και τους χρήστες και καθιστά εμφανές ότι τα συμφέροντά τους είναι αντικρουόμενα ως προς το αποτέλεσμα της λειτουργίας του τερματικού σταθμού.



Σχήμα 5.1.3: Συνολικό κόστος λιμανιού ως άθροισμα κόστους χρόνου και επένδυσης

Από την μία ο πλοιοκτήτης θέλει να εξυπηρετηθεί όσον το δυνατόν ταχύτερα και από την άλλη ο διαχειριστής του λιμένα σαν ένα μέρος μιας ανταγωνιστικής αγοράς θέλει να ελαχιστοποιήσει το κόστος της εξυπηρέτησης των πλοίων. Ο ολοένα και αυξανόμενος ανταγωνισμός των λιμένων για καθιέρωσή τους σαν στρατηγικά σημεία στον παγκόσμιο ναυτιλιακό χάρτη οδηγεί τους διαχειριστές της εκάστοτε λιμενικής εγκατάστασης στον αγώνα για την απόκτηση ολένα και περισσότερων πελατών-πλοίων. Ο πρωταρχικός σκοπός των διαχειριστών είναι συνεπώς η ανάπτυξη

στρατηγικών για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών τους και της ανταγωνιστικής θέσης του λιμένα στις διεθνείς αγορές. Ο υπεύθυνος για το σχεδιασμό της εγκατάστασης πρέπει να λάβει υπόψη ότι σχεδιάζοντας για το ελάχιστο δυνατό κόστος για το λιμάνι (σημείο Α) μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης του πλοίου αφού αυξάνεται ο χρόνος αναμονής του στο λιμάνι. Ο σχεδιασμός για το ελάχιστο συνολικό κόστος συστήματος πλοίων-λιμανιών, είναι εφικτός μόνο σε περιπτώσεις που η ίδια εταιρεία διαχειρίζεται και τα πλοία και το λιμάνι όπως λόγω χάρη σε περίπτωση εταιρείας μεφοράς μεταλλευμάτων. Όμως κατά κανόνα τα δύο αυτά συστήματα εξυπηρετούν διαφορετικά συμφέροντα, οπότε και μεταβάλλεται επί των καμπυλών του κάθε συστήματος το σημείο στο οποίο θέλουν να δουλεύουν.

Για δεδομένη επένδυση (υποδομές και εξοπλισμός), η βελτιστοποίηση των λειτουργιών διακίνησης από την πλευρά του λιμένα μπορεί να οδηγήσει στη μείωση/ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Οι περισσότεροι ερευνητές (βλέπε κεφ. 4) χρησιμοποιούν την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος ως κριτήριο για τον έλεγχο της απόδοσης του τερματικού σταθμού.

Με δεδομένο τον σκοπό της εγκατάστασης, την επίτευξη του ελάχιστου δυνατού χρόνου κύκλου των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, εξετάζονται οι διάφοροι τύποι μηχανημάτων.

Τα μηχανήματα που εξετάστηκαν είναι τα εξής:

- οχήματα για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από την γερανογέφυρα κρηπιδώματος προς τον χώρο στοιβασίας. Αυτά ήταν αυτόματα οχήματα μεταφοράς, αυτόματα οχήματα τύπου *ALV*, ελκυστήρες με συρόμενη βάση, ελκυστήρες με δυνατότητα μεταφοράς δύο ή περισσότερων βάσεων και αυτόματο όχημα μεταφοράς τύπου *IPSI*.
- Εξοπλισμός στοιβασίας που περιλαμβάνει οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών τύπου *cross-over*.

Το **υποσύστημα της εγκατάστασης** που μελετήθηκε σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις περιλαμβάνει τα οχήματα μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων στα

οποία οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος μεταφορτώνουν τα εμπορευματοκιβώτια από τα πλοία και τον εξοπλισμό στοιβασίας τους στον κύριο χώρο στοιβασίας. Σε μία μόνο περίπτωση μελετάται το διάταξη της εγκατάστασης με οχήματα-πλαίσια να πραγματοποιούν και τη μεταφορά και τη στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων και το υποσύστημα υπό μελέτη περιλαμβάνει την μεταφορά από τα οχήματα-πλαίσια των εμπορευματοκιβωτίων σε γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, οι οποίες τα παραλαμβάνουν από τη μία πλευρά τους και τα μεταφορτώνουν σε οδικά και σιδηροδρομικά οχήματα από την άλλη.

Όσον αφορά το κόστος, σαν κριτήριο επιλογής του εξοπλισμού, αυτό εξετάστηκε από τους Saanen και Valkengoed (29), τους Vis και Harika (33), Duinkerken et al. (34), τους Henesey, Davidsson και Persson (13), οι Bae et al. (11), ο Vis (36), τους Gambardella et al. (40), τους Huang και Chu (38) και την UNCTAD (39).

Σύμφωνα με την προσέγγιση κατά UNCTAD (39), για την βέλτιστη επιλογή του εξοπλισμού, εφαρμόζεται η αρχή της αξίας του χρήματος στον χρόνο (time value of money).

Για την σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων εξοπλισμού χρησιμοποιείται η παρακάτω λογική σειρά ενεργειών:

A) Προσδιορίζονται οι – διαφορετικοί μεταξύ τους – τύποι επενδύσεων που πρέπει να υλοποιηθούν, π.χ. μηχανήματα.

B) Καθορίζεται ο χρονικός ορίζοντας που θα χρησιμοποιηθεί στην οικονομική σύγκριση των εναλλακτικών επενδύσεων. Συνήθως πρόκειται για το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιον των οικονομικών ζών των συγκρινόμενων μηχανημάτων.

Γ) Υπολογίζονται οι χρηματοροές για κάθε εναλλακτική λύση.

Δ) Υπολογίζεται η αξία του χρήματος στον χρόνο. Επιλέγοντας δηλαδή ένα προεξοφλητικό επιτόκιο, οι μελλοντικές χρηματοροές υπολογίζονται σε σημερινές τιμές.

E) Συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

ΣΤ) Γίνεται ανάλυση ευαισθησίας.

Z) Επιλέγεται η βέλτιστη εναλλακτική επένδυση.

Για τη σύγκριση δύο συστημάτων μηχανημάτων στοιβασίας, για τον υπολογισμό και στη συνέχεια την σύγκριση των χρηματοροών, γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- Η απόδοση των συγκρινόμενων συστημάτων στοιβασίας είναι η ίδια
- Δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος απόκτησης της γης
- Το εργατικό κόστος είναι το ίδιο και στις δύο εναλλακτικές (το γινόμενο των αμοιβών των χειριστών επί το πλήθος των μηχανημάτων είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις).

Στον υπολογισμό του κόστους λαμβάνονται κατά συνέπεια υπόψη:

- Το αρχικό κόστος της επένδυσης για την αγορά του αναγκαίου αριθμού μηχανημάτων κάθε εναλλακτικής.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης/επισκευών/καυσίμων/ανταλλακτικών.
- Η υπολειμματική αξία στο τέλος της οικονομικής ζωής του μηχανήματος.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται το κόστος ανά έτος κάθε συστήματος μηχανημάτων και αυτό ανάγεται σε τιμές του αρχικού έτους της επένδυσης, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση δύο συστημάτων μηχανημάτων. Η χαμηλότερη παρούσα αξία οδηγεί στην επιλογή του μηχανήματος.

Δεδομένης της αβεβαιότητας στις τιμές των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη (κόστος αγοράς μηχανήματος στο τέλος της ωφέλιμης ζωής, προεξοφλητικό επιτόκιο, ετήσιος ρυθμός αύξησης του κόστους συντήρησης/επισκευών) είναι απαραίτητο να γίνεται ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή να διερευνάται κατά πόσο επηρεάζονται τα αποτελέσματα των αρχικών υπολογισμών από τις τυχόν μεταβολές των τιμών των παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψη.

Τέλος, για τον καθορισμό της οικονομικής ζωής ενός μηχανήματος και κατά συνέπεια του χρόνου αντικατάστασής του, λαμβάνονται υπόψη τα κόστη που σχετίζονται με την παλαίωση του μηχανήματος (C_j) και βέβαια το κόστος αγοράς (A).

Αν K_n είναι, σε σημερινές τιμές, το κόστος αντικατάστασης του μηχανήματος κάθε n χρόνια, ως άθροισμα των κοστών των επιμέρους τμημάτων/εξαρτημάτων του, τότε

$$K_n = \frac{A + \sum_{j=1}^n C_j / (1+r)^{j-1}}{1 - 1/(1+r)^n}$$

Αν από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι K_n είναι μικρότερο από K_{n+1} , τότε συμπεραίνεται ότι είναι προτιμότερη η αντικατάσταση του μηχανήματος κάθε n χρόνια αντί κάθε $n+1$ και K_n είναι το ποσό που απαιτείται σήμερα για να πληρωθούν όλα τα μελλοντικά κόστη απόκτησης και λειτουργίας του μηχανήματος όταν ανανεώνεται κάθε n χρόνια.

Οι **Huang και Chu** (38) για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ανά σύστημα διακίνησης, χρησιμοποιούν τον παρακάτω τύπο:

$$TC_j = CL \cdot A_j \cdot r + CY_j \cdot A_j \cdot (r + ry_j + my_j) + \frac{(Q \cdot nh_j)}{HC_j \cdot (1 - rd_j)} \cdot \{CP_j \cdot (r + rc_j) + CM_j + CO_j + CW_j\} + T_j \cdot Q + CR_j$$

Στον τύπο αυτό το κόστος διαμορφώνεται από τα εξής επιμέρους κόστη:

- Το κόστος της γης για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος
- Το κόστος για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών κάθε συστήματος
- Το κόστος του εξοπλισμού (αρχικό κόστος κτήσης και λειτουργικό κόστος)
- Το μεταφορικό κόστος ανά σύστημα των μεταφορικών μέσων σύνδεσης του χώρου στοιβασίας με την γερανογέφυρα κρηπιδώματος.

5.1.1. Κόστος της γης

Στον τελικό τύπο υπολογισμού, το κόστος της απαιτούμενης γης για την ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος υπεισέρχεται μέσω του προσθετέου $CL \cdot A_j \cdot r$. Είναι δηλαδή συνάρτηση του κόστους ανά μονάδα γης, της απαιτούμενης έκτασης για το κάθε σύστημα (j) και του προεξοφλητικού επιτοκίου r (κόστος χρήματος).

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι, σε περίπτωση μεγάλου κόστους γης, η απαιτούμενη έκταση ανά τύπο εξοπλισμού καθορίζει το τελικό κόστος. Ο

απαιτούμενος χώρος στοιβασίας ανά εξοπλισμό εξετάστηκε από τον Ν. Παπανικολάου (15) και τους Huang και Chu (37), (38). Ο Ν. Παπανικολάου εξέτασε μέσω του προγράμματος Google Earth Pro τη μέση απαιτούμενη έκταση ανά TEU για τα οχήματα-πλαίσια, γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών. Με υπολογισμό των διαστάσεων τερματικών σταθμών και του αριθμού των διατεταγμένων εμπορευματοκιβωτίων υπολόγισε τη μέση απαιτούμενη έκταση ανά TEU και κατέληξε ότι τον περισσότερο χώρο καταλαμβάνουν συστήματα με γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, ακολουθούν τα συστήματα επί σιδηροτροχιών και τέλος τη λιγότερη έκταση καταλαμβάνουν τα οχήματα-πλαίσια.

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν για τους παραπάνω τύπους μηχανημάτων και οι Huang και Chu μέσω αναλυτικών τύπων για διάφορα μεγέθη του τερματικού σταθμού. Έλαβαν υπόψη μηχανήματα με διαφορετικό ύψος στοιβασίας και εσωτερικό άνοιγμα για να μελετήσουν την επιρροή των χαρακτηριστικών αυτών στην τελική απόδοση του συστήματος. Παρατηρήθηκε ότι παρόλο που οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν μεγαλύτερο εσωτερικό άνοιγμα από τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, δεν απαιτείται και μεγαλύτερος χώρος στοιβασίας ανά TEU. Παρατήρησαν επίσης ότι για τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και επί σιδηροτροχιών, για το ίδιο ύψος στοιβασίας αποδοτικότερη είναι εκείνη με το μικρότερο αριθμό σειρών στο εσωτερικό της άνοιγμα, ενώ τέλος παρατήρησαν ότι μεγαλύτερο ύψος στοιβασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση όλους τους τύπους μηχανημάτων.

Η επιρροή του αριθμού των σειρών ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων στην τελική απόδοση του κάθε συστήματος εξοπλισμού εξετάστηκε και από τον Iris Vis (36) μέσω προσομοίωσης για οχήματα-πλαίσια και αυτοματοποιημένες γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών. Παρατηρήθηκε ότι για την εξυπηρέτηση μέχρι 6 σειρών εμπορευματοκιβωτίων ανά μηχανήμα ομάδας ίδιου μήκους TEU, η γερανογέφυρα παρουσιάζει καλύτερη απόδοση λόγω του μικρότερου χρόνου κύκλου. Με την αύξηση του αριθμού των σειρών και μείωση του μήκους τους, τα οχήματα-πλαίσια μπορούν να επιτύχουν την ίδια απόδοση με τη γερανογέφυρα. Αυτό οφείλεται στο ότι ο **χρόνος κύκλου** τους δεν επηρεάζεται πλέον σε μεγάλο βαθμό από το μήκος της σειράς που πρέπει να διανύσουν για να μεταφερθούν στη διπλανή ενώ η γερανογέφυρα επηρεάζεται από τον μεγαλύτερο αριθμό αναδιατάξεων των εμπορευματοκιβωτίων που έχει να κάνει στις ψηλότερες πια στοίβες.

5.1.2. Κόστος κατασκευής υποδομών

Από τον παραπάνω τύπο υπολογίζεται ως το γινόμενο των $CY_j \cdot A_j \cdot (r + ry_j + my_j)$. Εξαρτάται από το κόστος κατασκευής του τερματικού σταθμού ανά σύστημα, δηλαδή το κόστος που συναρτάται με τις απαραίτητες υποδομές του κάθε συστήματος, το συντελεστή απόσβεσης της εγκατάστασης που λαμβάνει υπόψη το χρόνο ζωής της και το κόστος συντήρησης της γης (υποδομών) σαν ποσοστό της νέας αξίας τους.

Από το άρθρο των Huang και Chu (38) όσον αφορά στο κόστος της ανάπτυξης του χώρου εγκατάστασης για τα οχήματα-πλαίσια, τις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών και τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, έδειξαν ότι το συνολικό κόστος επηρεάζεται περισσότερο από τις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (\$90/ m²) και αυτό γιατί εκτός του μεγάλου βάρους τους, που απαιτεί κατάλληλη φέρουσα ικανότητα του δαπέδου, πρέπει να κατασκευαστεί και η απαραίτητη διάταξη των σιδηροτροχιών. Βέβαια, υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης του χώρου στοιβασίας των εμπορευματοκιβωτίων με χαλίκι αλλά λεπτομέρειες για την επιρροή της αλλαγής αυτής στο συνολικό κόστος δεν ήταν δυνατό να βρεθούν. Ακολουθούν οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (\$70/ m²) λόγω του μεγαλύτερου βάρους τους και κατόπιν τα οχήματα-πλαίσια (\$35/m²).

5.1.3 Το κόστος του εξοπλισμού

Ο προσθετός του συνολικού κόστους που εκφράζει το κόστος του εξοπλισμού είναι ο εξής: $\frac{(Q \cdot nh_j)}{HC_j \cdot (1 - rd_j)} \cdot \{CP_j \cdot (r + rc_j) + CM_j + CO_j + CW_j\}$, όπου:

- Ο όρος $\frac{(Q \cdot nh_j)}{HC_j \cdot (1 - rd_j)}$ αποτελεί μία προσεγγιστική εκτίμηση του αριθμού των απαιτούμενων μηχανημάτων. Στα επόμενα παρουσιάζονται ακριβέστερες μέθοδοι υπολογισμού βασισμένες σε μοντέλα προσομοίωσης και θεωρίες αναμονής.
- CP_j , το κόστος αγοράς του εξοπλισμού
- rc_j , η απόσβεση του εξοπλισμού
- CM_j , το ετήσιο κόστος συντήρησης εξοπλισμού

- CO_j , το λειτουργικό κόστος του μηχανήματος
- CW_j , το κόστος για το απαιτούμενο προσωπικό

Υπολογισμός αριθμού οχημάτων/μηχανημάτων

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, το πρόβλημα του καθορισμού του απαιτούμενου αριθμού εξοπλισμού στοιβασίας και οχημάτων για κάθε σύστημα διακίνησης αποτέλεσε βασικό αντικείμενο σε πολλές ερευνητικές εργασίες, στις οποίες ο αριθμός των απαιτούμενων μηχανημάτων/οχημάτων προσδιορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη και άλλες παραμέτρους όπως:

- Ο χρόνος εξυπηρέτησης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, που συναρτάται με τον χρόνο κύκλου των μηχανημάτων στοιβασίας.
- οι διαστάσεις της εγκατάστασης
- τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων (ταχύτητα, επιτάχυνση)
- η διάταξη των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων
- ο τρόπος κατανομής των εργασιών στις ομάδες μηχανημάτων
- η ευελιξία μετακίνησης από ομάδα σε ομάδα εμπορευματοκιβωτίων.

Στα άρθρα τους, οι Petering (28), Hoshino (30) και Froyland (18), ασχολήθηκαν με την οργάνωση των εργασιών των γερανογεφυρών και των οχημάτων εσωτερικής μεταφοράς μέσω μοντέλων προγραμματισμού, και στη συνέχεια μέσω προσομοίωσης εξέτασαν για τον εκάστοτε προτεινόμενο τρόπο προγραμματισμού των εργασιών ποια είναι η επιρροή του διαθέσιμου αριθμού μηχανημάτων στο χρόνο εξυπηρέτησης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος. Συμπέρασμα αυτών είναι ότι η αύξηση του αριθμού των μηχανημάτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη γρηγορότερη εξυπηρέτηση των πλοίων κατά τη φόρτωσή τους με την προϋπόθεση ότι η αύξηση του αριθμού τους δεν προκαλεί συμφόρηση.

Ο αριθμός των απαιτούμενων γερανογεφυρών στοιβασίας εξετάστηκε επίσης και ως προς την ευελιξία που παρέχει στο σύστημα η δυνατότητα των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών να αλλάζουν ομάδα εργασίας ανάλογα με τις ανάγκες. Τα οχήματα-πλαίσια λόγω και του περιορισμένου σε σχέση με τις γερανογέφυρες μεγέθους τους, είναι αρκετά ευέλικτα καθώς εύκολα μπορούν να

αλλάζουν τόσο στοίβα όσο και ομάδα. Την δυνατότητα αυτή διαθέτουν και οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών αλλά λόγω του μεγάλου μεγέθους τους και της δυσκολίας των χειρισμών που οδηγεί σε χαμένους χρόνους, οι υπερβολικές αυτές κινήσεις αποφεύγονται. Όσον αφορά στις γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών, αν και δεν παρέχεται η δυνατότητα μετακίνησης σε παρακείμενη ομάδα εμπορευματοκιβωτίων, ο τύπος *cross-over* είναι ευέλικτος σε περίπτωση βλάβης της μίας από τις δύο αφού η άλλη μπορεί να συνεχίσει την εργασία της.

Την ευελιξία κίνησης γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών και τη δυνατότητα μετακίνησής τους σε παρακείμενη ομάδα εξέτασαν οι Zang (26) και Linn (27). Οι παραπάνω επίλυσαν το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των μηχανημάτων στις ομάδες μέσω προγράμματος ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων από τον προγραμματισμένο χρόνο εκτέλεσης των εργασιών. Στη διερεύνηση λήφθηκαν υπόψη οι ταχύτητες κίνησης των γερανογεφυρών, και των φορείων τους, ο διαθέσιμος αριθμός τους, ο αριθμός των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων που καλούνται να εξυπηρετήσουν, ο χρόνος μετακίνησης από ομάδα σε ομάδα και ο συνολικός αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που πρέπει να διακινηθεί ανά ομάδα.

Ο απαιτούμενος αριθμός μηχανημάτων στοιβασίας εξαρτάται από τον χρόνο κύκλου τους. Οι Zang (26) και Linn (27) υπολόγισαν τον χρόνο κύκλου σε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας τους, με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Από την διερεύνηση προέκυψε ότι η ελαχιστοποίηση του χρόνου των γερανογεφυρών κρηπιδώματος συναρτάται άμεσα με τον ελάχιστο χρόνο αναμονής των ελκυστήρων στο χώρο στοιβασίας, ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από τον διαθέσιμο αριθμό γερανογεφυρών στοιβασίας (16).

Ο χρόνος κύκλου των μηχανημάτων στοιβασίας και συνεπώς ο απαιτούμενος αριθμός τους για συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης των χερσαίων μέσων μεταφοράς, εξαρτάται επίσης από την ύπαρξη ή όχι ενδιάμεσου χώρου προσωρινής εναπόθεσης κάτω από τα σκέλη των γερανογεφυρών που εξυπηρετούν τα χερσαία μέσα (15).

Η κατανομή των εργασιών στα μηχανήματα, χωρικά και χρονικά, εξετάστηκε μέσω μοντέλου ακέραιου προγραμματισμού.

Ο χρόνος κύκλου που επηρεάζει τον απαιτούμενο αριθμό μηχανημάτων επηρεάζεται με τη σειρά του από τον αριθμό των αναδιατάξεων ανά ομάδα, όπως εξετάζει ο Παπανικολάου (13) μέσω αναλυτικών τύπων.

Τέλος, ο αριθμός των μηχανημάτων μπορεί να υπολογιστεί με αναλυτικούς τύπους, όπως αναφέρουν οι Soriguera (25), οι οποίοι εκφράζουν σε μονάδες κόστους τον χρόνο αναμονής των μηχανημάτων σε ουρά στο κρηπίδωμα σε σχέση με το ποσοστό λειτουργίας των γερανογεφυρών κρηπιδώματος.

Τέλος, στην περίπτωση της ύπαρξης ενός σιδηροδρομικού σταθμού στη λιμενική εγκατάσταση, για τον υπολογισμό των απαιτούμενων οχημάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη η συνδυασμένη χρήση των οχημάτων εσωτερικής μεταφοράς του τερματικού σταθμού.

Το κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης εξετάζεται από τους Huang και Chu (38) κατά την σύγκριση των οχημάτων-πλαisiών, γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών και επί ελαστικών τροχών. Ως προς την συντήρηση η γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών εμφανίζεται να χρειάζεται λιγότερη συντήρηση σε αντίθεση με τις γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και τα οχήματα-πλαίσια τα οποία απαιτούν μεγαλύτερο κόστος για τη συντήρηση. Ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες οικονομικότερα ως προς τα έξοδα συντήρησης εμφανίζονται τα οχήματα-πλαίσια και αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγαλύτερη τριβή των ελαστικών των γερανογεφυρών λόγω του μεγαλύτερου φορτίου ανά ελαστικό.

5.1.4 Μεταφορικό κόστος

Οι Huang και Chu (33) στον υπολογισμό του συνολικού ετήσιου κόστους για κάθε σύστημα στοιβασίας λαμβάνουν υπόψη το μεταφορικό κόστος (T_j), δηλαδή το κόστος μεταφοράς των εμπορευματοκιβωτίων από το κρηπίδωμα στο χώρο στοιβασίας και αντίστροφα. Στην ανάλυσή τους θεωρούν ότι αυτή η υπηρεσία παρέχεται από εξωτερικό υπεργολάβο, ο οποίος αμείβεται με συγκεκριμένη αμοιβή ανά διακινούμενο εμπορευματοκιβώτιο.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας διερευνήθηκαν βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με το παραπάνω κόστος, που σχετίζεται με τους διαφόρους χρησιμοποιούμενους τύπους οχημάτων μεταφοράς από το κρηπιδώμα στο χώρο στοιβασίας και αντίστροφα. Τέτοιου τύπου οχήματα είναι τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου *AGV*, τα αυτόματα οχήματα τύπου *ALV*, ελκυστήρες με περισσότερες από μία συρόμενες βάσεις και ο νεώτερος τύπος οχήματος τύπου *AGV* που φέρει μία ή περισσότερες χαλύβδινες πλατφόρμες (*cassette AGV*).

Η εύρεση του απαιτούμενου αριθμού οχημάτων έγινε μέσω προσομοίωσης με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και κατά συνέπεια των πλοίων. Βασικό στοιχείο καθορισμού του αριθμού των οχημάτων, το οποίο υπεισέρχεται στη διαδικασία προσομοίωσης, είναι ο χρόνος κύκλου των οχημάτων, κενών ή εμφόρτων, ο οποίος εξαρτάται από τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, όπως ταχύτητα κίνησης εμφόρτου (32), (33) ή κενού (33). Επίσης εξετάστηκε μέσω προσομοίωσης και θεωρίας αναμονής η επίπτωση της διάταξης των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων στον χρόνο κύκλου των οχημάτων και συνεπώς στον απαιτούμενο αριθμό τους (31), (30).

Τέλος εξετάστηκε ποια είναι η επίπτωση της ύπαρξης προσωρινού χώρου εναπόθεσης κάτω από τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος (33) και τις γερανογέφυρες που εξυπηρετούν οδικά και σιδηροδρομικά μέσα μεταφοράς (18), στον χρόνο κύκλου και συνεπώς στον απαιτούμενο αριθμό οχημάτων μεταφοράς.

Στην περίπτωση της αναλυτικής προσέγγισης του μεταφορικού κόστους για κάθε ένα τύπο οχημάτων που προαναφέρθηκαν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο κόστος των υποδομών και το κόστος κατασκευής της αναγκαίας, κατά περίπτωση, υποδομής (δάπεδα, εξοπλισμός αυτών) για την λειτουργία του κάθε τύπου μηχανήματος.

5.2. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το κόστος της αρχικής επένδυσης εξετάζεται σαν κριτήριο επιλογής του εξοπλισμού είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους. Οι Saanen και Valkengoed (29), Vis και Harika (33), Duinkerken et al. (34), Bae et al. (11), ο Vis (36), Gambardella et al. (40), Huang και Chu (38) και η UNCTAD (39) τονίζουν

ότι για την λήψη της τελικής απόφασης επιλογής του εξοπλισμού το κόστος αγοράς παίζει σημαντικό ρόλο.

Το κόστος επένδυσης υπολογίζεται ως εξής:

Κόστος επένδυσης = κόστος μηχανήματος * αριθμός απαιτούμενων μηχανημάτων

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι για δεδομένα κόστη αγοράς των μηχανημάτων είναι ο απαιτούμενος αριθμός τους που καθορίζει το τελικό κόστος επένδυσης και συνεπώς την τελική επιλογή. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού μηχανημάτων και οχημάτων υπολογίζεται όπως περιγράφεται στο εδάφιο 5.1.3.

5.3. Η ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΗΣ

Η διαθεσιμότητα της γης μπορεί να αποτελέσει το καθοριστικό κριτήριο επιλογής του εξοπλισμού. Τα διάφορα συστήματα διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων που παρουσιάστηκαν έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε γη για τον ίδιο διακινούμενο όγκο. Η διαθεσιμότητα της γης αναφέρεται στο αν υπάρχει ή όχι η απαιτούμενη ανά σύστημα γη και όχι στο κόστος της γιατί τα θέματα κόστους γης αντιμετωπίζονται από προηγούμενο κριτήριο.

Οι απαιτήσεις σε έκταση για κάθε τύπο εξοπλισμού στοιβασίας εξαρτώνται από:

- Το μέγιστο ύψος στοιβασίας που μπορεί να επιτύχει το κάθε σύστημα στοιβασίας
- Τις διαστάσεις και τη διάταξη των διαδρόμων του εσωτερικού οδικού δικτύου.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1 του Παραρτήματος, ο συνήθης τύπος οχημάτων πλαισίων μπορεί να στοιβάξει μέχρι 3 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος ενώ υπάρχει και η δυνατότητα στοιβασίας και 4. Αντίστοιχα, όπως προκύπτει από τον πίνακα 2 του Παραρτήματος, οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών μπορούν να στοιβάξουν έως και 5 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις

που μπορεί η ικανότητα στοιβασίας τους να φτάσει και τα 6 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος. Ελαφρά υψηλότερες είναι οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών που φτάνουν και μέχρι ικανότητα στοιβασίας 7 εμπορευματοκιβωτίων (πίνακας 3 Παραρτήματος).

Σε περίπτωση συνεπώς που ένα σύστημα π.χ. οχημάτων-πλαisiών απαιτεί χώρο που ξεπερνά το διαθέσιμο δε λαμβάνεται υπόψη σαν εναλλακτική αν και μπορεί να πλεονεκτεί ως προς το κριτήριο κόστος/διακινούμενο εμπορευματοκιβώτιο.

5.4. Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Εκτός από την οικονομική διάσταση των θέσεων εργασίας ανά σύστημα διακίνησης που έχει αποτυπωθεί προηγουμένως στο λειτουργικό κόστος, ο αριθμός των θέσεων εργασίας έχει και μία κοινωνική διάσταση, αυτή της απασχόλησης του εργατικού δυναμικού μιας χώρας. Για παράδειγμα, μία χώρα με πλεονάζον εργατικό δυναμικό και περιορισμένη ή ανύπαρκτη βιομηχανική παραγωγή οχημάτων και μηχανημάτων διακίνησης φορτίων ενδεχομένως να προτιμήσει ένα μη αυτοματοποιημένο σύστημα διακίνησης.

5.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η σύγχρονη τάση για τη σχεδίαση φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών δεν έχει αφήσει ανεπηρέαστο και το χώρο του σχεδιασμού των λιμενικών εγκαταστάσεων. Όμως μια διερεύνηση του κριτηρίου αυτού θα απαιτούσε ειδικές γνώσεις αναφορικά με τις διαθέσιμες τεχνολογίες και τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτές έχουν στο τοπικό και ευρύτερο περιβάλλον. Μία τέτοια ανάλυση όμως ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιλογή του εξοπλισμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων είναι ένα πρόβλημα πολυπαραγοντικό για τον διαχειριστή του τερματικού σταθμού και συνεπώς και για τον μηχανικό που αναλαμβάνει την επιλογή του εξοπλισμού κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης. Η επιλογή του καταλληλότερου εξοπλισμού στοιβασίας και μεταφοράς σε ένα σύστημα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων σε τερματική λιμενική εγκατάσταση καθορίζεται από ένα πλήθος κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά, όπως παρουσιάζονται μέσα στη βιβλιογραφία, αφορούν στο συνολικό κόστος της επένδυσης για την εκτιμώμενη ζήτηση σε κόστος ανά διακινούμενο εμπορευματοκιβώτιο, στο κόστος της αγοράς του εξοπλισμού, σε περιορισμούς που αφορούν στη διαθεσιμότητα της γης, στον αριθμό των θέσεων εργασίας και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα κριτήρια αυτά ποσοτικοποιούνται με τη χρήση αναλυτικών μεθόδων ή/και προσομοίωσης. Τέλος συγκεντρώθηκαν τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που απαιτούνται ως μεταβλητές εισόδου για την σύγκριση των εξοπλισμών ώστε να προκύψει κάποιο αποτέλεσμα ως προς την τελική επιλογή.

7. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Με βάση τα κριτήρια επιλογής εξοπλισμού που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία, θα μπορούσε περαιτέρω να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πολυκριτηριακής ανάλυσης για την επιλογή εξοπλισμού διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων σε ένα τερματικό σταθμό.
- Λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο και την τεχνολογία των χρησιμοποιούμενων μηχανημάτων μεταφοράς και στοιβάσας εμπορευματοκιβωτίων θα μπορούσε να γίνει διερεύνηση των επιπτώσεών τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, με στόχο την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τη λειτουργία του τερματικού σταθμού.
- Η διερεύνηση του κατά πόσο τα κριτήρια που αναλύθηκαν στην εργασία αυτή μπορούν να εφαρμοστούν σε τερματικούς σταθμούς διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στους οποίους εφαρμόζονται πιλοτικά λειτουργικά συστήματα.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.containerhandbuch.de. [Ηλεκτρονικό]
2. The Cronos Slimwall CPC®.
3. **UNCTAD**. *Review of Maritime Transport 2009*. 2009.
4. *Euro Mediterranean Transport Project, Techninal Note 19*. s.l. : European Union, 2005.
5. *ΤΑ ΝΕΑ ΤΟΥ ΣΕΓΜ*. **Ηλιόπουλος, Κ.** Σεπτέμβριος - Οκτώβριος 2009.
6. *Transshipment of containers at a container terminal:an overview*. **Iris F.A. Vis, rene de Kostar**. 147, 2003, Τόμ. European journal of Operational research.
7. **Drewry**. *Mediterranean Container Ports and Shipping*. 2000.
8. **Edward, Henesay Lawrence**. *Multi-agent system for container terminal management. Doctoral Dissertation*. s.l. : Blekinge Institute of Technology, 2006.
9. **Ioannou P.A., Kosmatopoulos E.B., Jala H., Collinge A, C-I. Liu, Asef-Vasiri A.** *Cargo handling Technologies Final Report*. s.l. : Center for Commercial Deployment of Transportation Technologies, 2000.
10. www.paceco.es. [Ηλεκτρονικό]
11. **Bae H.Y., Choe R., Park T., Ryu K.R.** *Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal*. 2009.
12. *Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals*. **Chin-I. Liu, Hossein Jula, and Petros A. Ioannou, Fellow, IEEE**. IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, March 2002, Τόμ. 3, No 1.
13. **Henesey L., Davidsson P., Persson J.** *Evaluation of automated guided vehicle systems for container terminals using multi agent based simulation*. 2009.
14. March 2006. World Cargo News.
15. **N., Παπανικολάου**. *Σχεδιασμός και επιλογή εξοπλισμού για την εξυπηρέτηση της χερσαίας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων*. 2008.
16. www.fantucci.com. [Ηλεκτρονικό]
17. www.zpmc.com. [Ηλεκτρονικό]
18. **Froyland G., Koch Th., Megow N., Duane E., Wren H.** *Optimizing the landside operation of a container terminal*. OR Spectrum 30:53-75, 2007.
19. **Αμπακούμιν, Κ.Γ.** *Μοναδοποιημένα φορτία - συνδυασμένες μεταφορές εμπορευμάτων*. s.l. : Συμμετρία, 1990.

20. www.isolader.com. [Ηλεκτρονικό]
21. www.noellmobilesystems.com. [Ηλεκτρονικό]
22. www.nauticexpo.com. [Ηλεκτρονικό]
23. www.kalmarind.com. [Ηλεκτρονικό]
24. www.tba.nl. [Ηλεκτρονικό]
25. *Optimization of handling equipment in the container terminal of the Port of Barcelona, Spain.* **Soriguera F, Robuste F, Juanola R., Lopez-Pita A.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, s.l. : National Research Council, Washington, D.C., Τόμ. 2006, No 1963.
26. **Zhang Ch., Wan Y., Liu J., Linn R.** Dynamic crane deployment in container storage yards. Transportation Research Part B 36 537-555, 2002.
27. **Linn R., Liu J., Wan Y., Zhang Ch., Murty K.** Rubber tired gantry crane deployment for container yard operation. Computers & Industrial Engineering 45 429-442, 2003.
28. **Petering M., Wu Y., Li W., Goh M., de Souza R.** Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container transshipment terminals. OR Spectrum 31:801-835, 2009.
29. **Saenen Y., Valkengoed M.** Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation. 2005.
30. **Hoshino S., Ota J., Shinozaki A., Hashimoto H.** *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan.* September 28-October 2, 2004.
31. **Liu Ch., Jula H., Vukadinovic K., Ioannou P.** Automated Guided Vehicle system for two containeryard layouts. Transportation Research Part C 12 349-368, 2004.
32. **Yang H.Ch., Choi Y.S., Ha T.Y.** Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automatd container terminals. OR SPECTRUM 26: 149-170, 2004.
33. **Vis F.A.I., Harika I.** Comparison of vehicle types at an automated container terminal. OR Spectrum 26:117-143, 2004.
34. **Duinkereken M., Dekker R., Kurstjens S., Ottjes J., Dellaert N.** Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals. PR Spectrum 28:469-493, 2006.
35. *Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal.* **Hyo Young Bae, Ri Choe, Taejin Park, Kwang Ryel Ryu.** 2009.
36. **Vis, Iris F.A.** A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal. Int. J. Production economics 103 680-693, 2006.

37. **Chu Ch.-Y., Huang W.-Ch.** Determining container terminal capacity on the basis of an adopted yard handling system. *Transport Reviews*. March 2005, Τόμ. 25, 2.
38. **Huang W.- Ch., Chu Ch.-Y.** A selection model for in-terminal container handling. *Journal of Marine Science and Technology*. 2004, Τόμ. 12, 3.
39. **M., Constantinides.** Port development, a handbook for planners in developing countries. *UNCTAD monographs on port management*. 1990.
40. **Gambardella L. M., Rizzoli A., Zaffalon M.** Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. Special Issue on Harbour and Maritime Simulation, 1998.
41. *Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives.* **Vacca I., Bierlaire M., Salani M.** Monte Verita, Ascona : 7th Swiss Transport Research Conference, 2007.
42. *Container terminal productivity: experiences at the port of Los Angeles and Long Beach.* **Le-Griffin H. D., Murphy M.** NUF conference : s.n., February 2006.
43. **Nam Ki-Chan, Ha Won-Ik.** Evaluation of Handling Systems for Container Terminals. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. May/June 2001.
44. **Das S., Spasovic L.** Scheduling material handling vehicles in a container terminal. *Production Planning & Control*. 2003, Τόμ. 14, 7.
45. **Steenken D., Henning A., Freigang S., Voss S.** Routing of straddle carriers at a container terminal with the special aspect of internal moves. *OR Spectrum* 15:167-172. 1993.
46. **Kim K. Y., Kim K. H.** A routing algorithm for a single straddle carrier to load export containers onto a containership. *Int. J. Production Economics* 59: 425-433. 1999.
47. **Sgouridis S., Makris D., Angelides D.** Simulation Analysis for midterm yard planning in container terminal. *Journal of Waterway, Port, Coastal and ocean engineering*. July/August 2003.
48. **Huang W.-Ch., Chu Ch.-Y.** A selection model for in-terminal container handling systems. *Journal of Marine Science and Technology*. 2004, Τόμ. 12, 3.
49. **A. Σταθόπουλος, Π. Καρλαύτης.** *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα : s.n., 2008.
50. *Criteria for selecting innovative technologies for maritime transshipment facilities.* **A. Ballis, A. Stathopoulos.** Επιχειρησιακή Έρευνα/Operational Research. An international journal, 2003, Τόμ. 3, Νο3 .
51. *Containerisation International Yearbook 2009.*
52. *Containerisation International Yearbook 2004.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Οχήματα-πλαίσια

Ικανότητα στοιβασίας	Διαστάσεις					Ανυψωτική Ικανότητα (t)	Ταχύτητες		Βάρος (kg)	Τύπος αρπάγης
	Ολικό ύψος (m)	Εξωτερικό πλάτος (m)	Εσωτερικό πλάτος (m)		Μήκος (m)		Μέγιστη ταχύτητα κίνησης (m/s)	Μέγιστη ταχύτητα ανύψωσης (m/s)		
2 (1 over 1)	7,4	5				35			12,460	προσαρμοζόμενου μήκους
	7,4	5				32			16,460	προσαρμοζόμενου μήκους
	7,41	5				36			11,460	αλυσίδες
	9,18	5				32			14,360	αλυσίδες
	10,13	5,1	3,5	i		40			43,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	10,13	5,1	3,5	i		50			45,000	προσαρμοζόμενου μήκους
3 (1 over 2)	12,24	4,9	3,5	i		40			58,000	
	12,28	5	3,5	i		40			58,000	
	12,3	5,2	4,5	ii		35			31,100	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,3	5,2	4,5	ii		35			31,100	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,3	5,2	4,5	ii		35			33,300	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,3	5,2	4,5	ii		35			33,300	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,3	5,2	4,5	ii		40			34,050	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,3	5,2	4,5	ii		40			34,050	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,5	4,98	4,16	ii	10,3	50*	8,3	0,4**	63,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,5	4,98	4,16	ii	10,3	50*	8,3	0,4**	56,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	12,5	4,98	4,16	ii	9,7	50*	7,7	0,4***	58,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	13,04	4,9	3,5	i		40			60,000	σταθερού μήκους
	13,04	4,9	3,5	i		50			62,000	σταθερού μήκους
	13,08	5	3,5	i		40			60,000	σταθερού μήκους
	13,08	5	3,5	i		50			62,000	σταθερού μήκους
						40	5,5	0,3		
4 (1 over 3)	15,4	4,98	4,16	ii	10,3	50*	6,6	0,4**	67,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	15,4	4,98	4,16	ii	10,3	50*	6,6	0,4**	60,000	προσαρμοζόμενου μήκους
	15,98	4,94	3,5	i		40			66,000	σταθερού μήκους
	15,98	4,94	3,5	i		50			68,000	σταθερού μήκους
	16,01	5	3,5	i		40			66,000	
	16,01	5	3,5	i		50			68,000	
(i) καθαρό εσωτερικό άνοιγμα (ii) απόσταση τροχών * δυνατότητα ανύψωσης μέχρι και 60t ** για την ανύψωση 50t η ταχύτητα φτάνει τα 0,3 m/s *** για την ανύψωση 50t η ταχύτητα φτάνει τα 0,23 m/s										

Σήμ.: Τα παραπάνω δεδομένα προήλθαν από τις εταιρίες Isolader, Noell Mobile, Kalmar και Siemens/Kalmar

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών

Ικανότητα στοιβασίας	Μέγιστο ύψος στοιβασίας (m)	Πλάτος			Ανυψωτική ικανότητα αρπάγης (t)	Πλάτος πλαisiού (m)	Αριθμός τροχών	Ταχύτητες			
		Χ αριθμός σειρών+λωρίδα κίνησης οχημάτων	(m)					αρπάγης κατά την ανύψωση ε/κ (m/min)	ανύψωσης άδειας αρπάγης (m/min)	κίνησης φορείου κατά πλάτος (m/min)	κίνησης πλαisiού (m/min)
3 (1 over 2)		2+1	9,9	(i)							
		4+1			40						
	11	4+1	18	(ii)	41		2*4	15	30	70	120
4 (1 over 3)	12,2	4+1	18		30			15		51	134
		5+1	20	(i)							
	12,24	5+1	21	(ii)	40		2*4	20	40	70	130
	12,34	5+1	21	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
	15,24	6+1	23	(ii)	40		2*4	23	52	70	130
	15,2	6+1	23	(ii)	40		2*2	21			
	12,2	6+1	23	(ii)			4*4	11	22	51	134
		6+1	23	(i)		10,825					
	12,2	6+1	23	(ii)	30,5		4*4	17	34	60	130
		6+1	24	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
	13,4	7+1	26	(ii)	45		4*4	15	25		
		7+1	26	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
		8+1	29	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
5 (1 over 4)	21,04	5+1	21	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
		6+1	23	(i)		10,825					
		6+1	23	(i)		10,825					
	15,2	6+1	22,5		40	10,3	2*2	23	52	70	135
	15	6+1	23	(ii)	35,5	12,3	2*4	12	24	51	90
	18,4	6+1	23	(ii)	40		2*4	23	50	70	130
		6+1	24	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
	15	6+1	24	(ii)	30	8,9	2*2	9	18	50	134
	15	6+1	24	(ii)	40,6	8,9	2*2	9	18	50	134
	15,5	6+1	18	(iii)	40,6		4*4	20	40	70	135
	15,24	6+1	23,4		40		2*4	20	40	70	130
	15,2	6+1	23	(ii)	40		2*4	20	40	70	135
	15,3	7+1	23	(ii)	40		2*4	21	43	75	134
	15,2	7+1	26	(ii)	35		2*4	20	40	60	90
	18,31	7+1	21	(ii)	40		4*4	22,5	45	70	140
		7+1	26	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135
	8+1	29	(ii)	40,6/50,8			26	52	70	135	
6 (1 over 5)	21,04	5+1	21	(ii)	40,6			26	52	70	135
	18,1	6+1	21		61 (a)	24,5	4*4	25	50	63	135
	18,1	6+1	21	(ii)	40,6	24,5	4*4	26	52		
	18	6+1	23	(ii)	40		2*4	20	40	70	130
	18	6+1	23	(ii)	40		2*4	20	40	70	90
	18	6+1	23	(ii)	40,6		2*4	20	40	70	130
	21,04	6+1	24	(ii)	40,6			26	52	70	135
	18,2	7+1	26	(ii)	40		2*4	20	40	70	130
	21,04	7+1	26	(ii)	40,6			26	52	70	135
	21,04	8+1	29	(ii)	40,6			26	52	70	135
		8+1	29	(i)		10,825					
7 (1 over 6)	21,04	5+1	21	(ii)	40,6			26	52	70	135
	21,04	6+1	24	(ii)	40,6			26	52	70	135
	21,04	7+1	26	(ii)	40,6			26	52	70	135
	21,04	8+1	29	(ii)	40,6			26	52	70	135

(i) καθαρό εσωτερικό άνοιγμα

(ii) απόσταση τροχών

(a) για την ανύψωση 2 ε/κ 20'

Σήμ.: Τα παραπάνω δεδομένα προήλθαν από: Noell, Konecrane, PACECO, Rodson Universal, KHIC, ZPMC, Morris, Kalmar

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών

Ικανότητα στοιβάσεως	Μέγιστο ύψος στοιβάσεως (m)	Πλάτος		Ανογνωτική ικανότητα αρπάγης (t)	Υπαρξη Προβόλων	Μήκος Προβόλων ανά πλευρά (m)	Σειρές ε/κ + λωρίδα κίνησης ανά πρόβολο	Ταχύτητες				
		Χ αριθμός σειρών+λωρίδα κίνησης οχημάτων	(m)					αρπάγης κατά την ανύψωση ε/κ (m/min)	ανύψωσης άδειας αρπάγης (m/min)	Κατά μήκος κίνηση πλαίσου (m/min)	Κίνηση γεμάτου φορείου (m/min)	Κίνηση άδειου φορείου (m/min)
3 (1 over 2)	10	3+6	19,3	ii	40	NAI		30	60	100	120	
	10	2+4	24,4	i	40			30	60	100	120	
					50			17	34	110	120	
	9		7	ii	40	NAI		20	40	100	100	
	47,5	6+1	25,5	ii	40,8			25	50	130	100	100
4 (1 over 3)	17	3+6	49	iii	40	NAI		30	60	100	80	
	10,7	6+1	22,6	ii	51	OXI		21,3	42,7	55	153	
			19		έως 50	NAI		30	60	έως 150	έως 240	
								17	34	110	120	
	11,7	6+1	21,3	i	50,8	OXI		21,6	43,2	54	152,4	
5 (1 over 4)		8+2	33	i		NAI	12,9	3,2				
		8+2	33			NAI	12,12	3,3				
		12	36	i		NAI	12,12	2,1+1				
		10	30,6	i		NAI	10,5	1,1+2				
		11	33	i			10,5	1,1+2				
		10	29,25	i		NAI	9,9	2,0+1				
6 (1 over 5)	18,5		20	i	40,8	NAI	10,2		10	40	50	60
	18,5		30	i	40,8	NAI	10,2		35	70	100	100
		12	36	i		NAI	13,2	2,2+1				
		11	35	i		NAI	12,7	2,2+1				
7 (1 over 6)	21,2	9+1	33	ii	41			30	60	120	60	90
	21,5	9+1	34	ii	41			35	70	120	60	120
8 (1 over 7)	24,1	9+1	33	ii	41			30	60	120	60	90
(i) καθαρό εσωτερικό άνοιγμα (ii) απόσταση τροχών (iii) πλάτος συμπεριλαμβανομένων και των προβόλων												

Σήμ.: Τα παραπάνω δεδομένα προήλθαν από τις εταιρίες Konecranes, Noell China, Kalmar και Siemens, Megastar E&C CO.LDT

Συγκριτική Αξιολόγηση Συστημάτων Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων							
Τίτλος Άρθρου	Συγγραφείς	Σύστημα Διακίνησης	Σκοπός της διερεύνησης	Μέθοδος Επίλυσης	Μεταβλητές Εισόδου	Κριτήρια Αξιολόγησης	Αποτελέσματα
Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals	Chang Ho Yang, Yong Seok Choi, Tae Young Ha	αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV σε σύγκριση με τα αυτόματα οχήματα τύπου ALV	καθορισμός του ελάχιστου δυνατού απαιτούμενου αριθμού οχημάτων για την επίτευξη μιας μέγιστης παραγωγικότητας σε κινήσεις/ώρα της γερανογέφυρας κρηπιδώματος	προσομοίωση	ο αριθμός των διαθέσιμων γερανογεφυρών κρηπιδώματος και στοιβασίας, οι ταχύτητες κίνησης και φορτοεκφόρτωσής τους, οι ταχύτητες κίνησης και φορτοεκφόρτωσης των οχημάτων μεταφοράς, οι διαστάσεις της εγκατάστασης, ο αριθμός των ομα δών εμπορευματοκιβωτίων, ο αριθμός των σειρών και στοιβών ανά ομάδα	παραγωγικότητα	τα ALV αποδείχτηκαν πιο παραγωγικά από τα AGV καθώς μειώνονται οι χρόνοι αναμονής στους χώρους προσωρινής εναπόθεσης και συνεπώς ο χρόνος κύκλου τους
						απαιτούμενος αριθμός οχημάτων	ο διπλάσιος αριθμός AGV σε σχέση με τα ALV απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής παραγωγικότητας, μέσα στον επιθυμητό χρόνο και με την ίδια βέλτιστη ταχύτητα
Comparison of vehicle types at an automated container terminal	Iris F. A. Vis, Ismael Harika	αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV σε σύγκριση με τα αυτόματα οχήματα τύπου ALV	η σύγκριση των δύο τύπων οχημάτων και ο καθορισμός του ελάχιστου απαιτούμενου αριθμού οχημάτων για την επίτευξη του ελάχιστου χρόνου εκφόρτωσης των πλοίων	προσομοίωση	ο αριθμός των προς εκφόρτωση εμπορευματοκιβωτίων, ο αριθμός των γερανογεφυρών, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων, οι διαστάσεις της εγκατάστασης, ο χρόνος κύκλου των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και στοιβασίας	απαιτούμενος αριθμός οχημάτων	Για τον ίδιο χρόνο εκφόρτωσης ενός πλοίου απαιτούνται 38% περισσότερα AGV απ'ότι ALV
						κόστος	Προτιμώνται τα ALV λόγω του μικρότερου απαιτούμενου αριθμού τους (αν και σαν μονάδες είναι ακριβότερα)
						διαθεσιμότητα της γης	η αύξηση του μεγέθους του χώρου προσωρινής εναπόθεσης μειώνει τον απαιτούμενο αριθμό των αυτομάτων οχημάτων τύπουALV
Comparing Transportation Systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals	Mark Duinkerken, Rommert Dekker, Stef Kursijens, Jaap Ottjes, Nico Dellaert	αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV, αυτόματα οχήματα τύπου ALV και ελκυστήρες με δυνατότητα μεταφοράς δύο ή και περισσότερων συρόμενων βάσεων (multi trailer tractors)	η σύγκριση τριών συστημάτων εσωτερικής μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στην εγκατάσταση με AGV, ALV και MTS ως προς το μικρότερο κόστος και το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης	προσομοίωση	λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων (ταχύτητα, επιτάχυνση κλπ), η διάταξη της εγκατάστασης, οι προγραμματισμένοι χρόνοι αναχώρησης των τρένων και πλοίων,ο μέγιστος διαθέσιμος αριθμός οχημάτων	κόστος	τα αυτοματοποιημένα συστήματα μεταφοράς επιτυγχάνουν καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης με το μικρότερο κόστος
						επίπεδο εξυπηρέτησης	οι ελκυστήρες εμφανίζουν 8 φορές περισσότερες περιπτώσεις καθυστέρησης στην εξυπηρέτηση των τρένων, σε σχέση με τα αυτόματα οχήματα τύπου AGV και 16 σε σχέση με τα ALV
Evaluation of Automated Guided Vehicle Systems for container Terminals Using Multi Agent Based Simulation	Lawrence Henesey, Paul Davidsson, Jan Persson	αυτόματα οχήματα τύπου AGV πρώτης γενιάς (T-AGV) και ένας νεότερος τύπος (IPSI AGV) ο οποίος μπορεί να φέρει μία ή περισσότερες χαλύβδινες πλατφόρμες (cassettes)	η σύγκριση του παλαιότερου συστήματος με αυτοκαθοδηγούμενα οχήματα AGV με το νεότερο σύστημα αυτοματοποιημένης μεταφοράς με αυτοκαθοδηγούμενα οχήματα φέροντα χαλύβδινη βάση με δυνατότητα μεταφοράς 2 ε/κ (cassette system) και η εύρεση του ελάχιστου αριθμού οχημάτων για την επίτευξη του ελάχιστου λειτουργικού κόστους	προσομοίωση	οι ταχύτητες των οχημάτων άφορτα και έμφορτα, η ικανότητα μεταφοράς σε εμπορευματοκιβώτια, ο αριθμός των γερανογεφυρών κρηπιδώματος, ο αριθμός των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων	κόστος	όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων και των πλατφόρμων που αυτά φέρουν τόσο μειώνεται το λειτουργικό κόστος μέχρι και για χρήση 3 οχημάτων τύπου IPSI με τρεις πλατφόρμες- είναι καλύτερη για το σύστημα η προσθήκη πλατφόρμων αντί οχημάτων
Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal	Hyo Young Bae, Ri Choe, Taejin Park, Kwang Ryel Ryu	αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV, αυτόματα οχήματα τύπου ALV σε συνδυασμό με 4 τύπους γερανογεφυρών κρηπιδώματος (απλή αρπάγης, διπλής αρπάγης με ενδιάμεση πλατφόρμα, δίδυμης αρπάγης, δίδυμες αρπάγες και ενδιάμεση πλατφόρμα) - αυτοματοποιημένη πλαισιωτή γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών	η σύγκριση της παραγωγικότητας των δύο συστημάτων μεταφοράς ε/κ σε συνδυασμό με γερανογέφυρες διαφορετικών παραγωγικότητων ο καθορισμός του ελάχιστου αριθμού οχημάτων για καθεμία από τις δύο εναλλακτικές με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης των γερανογεφυρών κρηπιδώματος	προσομοίωση	οι ταχύτητες των δύο τύπων οχημάτων, ο αριθμός των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων της εγκατάστασης, οι χρόνοι κύκλου και οι παραγωγικότητες ανά ώρα των γερανογεφυρών, οι διαστάσεις της εγκατάστασης, οι θέσεις παραβολής, ο αριθμός των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων	απαιτούμενος αριθμός οχημάτων	με την χρήση έως και 70% λιγότερων ALV το σύστημα επιτυγχάνει την ίδια παραγωγικότητα με τα AGV, η τελική επιλογή εξαρτάται από την αρχική επένδυση και το κόστος συντήρησης για την κάθε εναλλακτική
A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal	Iris F. A. Vis	οχήματα πλαίσια (straddle carriers), αυτόματες γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (automated stacking cranes)	η σύγκριση των δύο εναλλακτικών τύπων εξοπλισμού για την επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής σε σχέση με την μορφή της διάταξης των ομάδων των εμπορευματοκιβωτίων τα δύο μηχανήματα συγκρίνονται με βάση τον συνολικό χρόνο κίνησής τους	προσομοίωση	ο αριθμός των σειρών των εμπορευματοκιβωτίων ανά ομάδα, το πλάτος σε εμπορευματοκιβώτια κάθε ομάδας, τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων, ο διακινούμενος όγκος	απαιτούμενος χώρος	η γερανογέφυρα υπερτερεί του οχήματος πλαισίου με αύξηση των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων, το όχημα πλαίσιο λειτουργεί καλύτερα όσο ο αριθμός των σειρών των ομάδων αυξάνει από 6 μέχρι 9 και για την περίπτωση των 9 σειρών τα δύο μηχανήματα επιτυγχάνουν τον ίδιο χρόνο μετακίνησης, για πάνω από 9 σειρές η απόδοση και των δύο μηχανημάτων είναι σχεδόν βέλτιστη
						χρόνος	με αύξηση των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων το ποσοστό του χρόνου κίνησης άδειων μηχανημάτων μειώνεται

Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Συγκεκριμένου Τύπου Μηχανήματος ή Συνδυασμού Μηχανημάτων							
Τίτλος Άρθρου	Συγγραφείς	Σύστημα Διακίνησης	Σκοπός της διερεύνησης	Μέθοδος Επίλυσης	Μεταβλητές Εισόδου	Κριτήρια Αξιολόγησης	Αποτελέσματα
Handling equipment optimization in th container Terminal of the Port of Barcelona	Soriguera F., Robuste F., Juanola R., Lopez-Pita A.	οχήματα πλαίσια (straddle carriers) και ελκυστήρες με συρόμενη βάση	η εύρεση για καθένα από τους δύο τύπους οχημάτων, ανάλογα με τον αριθμό των γερανογεφυρών προκυμιάς που εξυπηρετούν, του αριθμού που ελαχιστοποιεί το χρόνο αναμονής του εξοπλισμού (οχημάτων και γερανογεφυρών κρηπιδώματος) εκφρασμένου σε μονάδες κόστους (κόστος αναμονής) ή με άλλα λόγια μεγιστοποιεί το βαθμό χρησιμοποίησής τους και η σύγκριση του συνολικού κόστους με το πραγματικό στις τερματικές εγκαταστάσεις της Βαρκελώνης για την εύρεση του κέρδους που προκύπτει από την προτεινόμενη βελτιστοποίηση	θεωρία αναμονής και προσομοίωση	μέγιστο δυνατό ποσοστό λειτουργίας γερανογεφυρών κρηπιδώματος (εξυπηρετούμενες μονάδες/ώρα) ποσοστό λειτουργίας οχημάτων μεταφοράς (αριθμός μεταφερόμενων μονάδων/ώρα), ο χρόνος κύκλου, μοναδιαίο κόστος οχημάτων και γερανογεφυρών (χρηματικές μονάδες/ώρα), ταχύτητες κίνησης έμφορτων και άφορτων οχημάτων, διανυόμενες αποστάσεις, μεταφορικό κόστος ανά όχημα και κόστος στοιβασίας	συντελεστής απασχόλησης	καλύτερη αξιοποίηση των γερανογεφυρών και μεγαλύτερη παραγωγικότητα για 2 ή 3 γερανογέφυρες κρηπιδώματος, οι ελκυστήρες παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα ανά ώρα
						αριθμός οχημάτων	γενικά απαιτούνται και κατά τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης μεγαλύτερος αριθμός ελκυστήρων από ότι οχήματα πλαίσια
						απαιτούμενος χώρος αναμονής (buffer) παρά το κρηπιδώμα	απαιτείται περισσότερος χώρος για τους ελκυστήρες
						διαφορά κόστους βελτιστοποιημένης λειτουργίας από πραγματική	για τον αριθμό τω οχημάτων πλαισίων που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση παρατηρούνται μεγαλύτερες αποκλίσεις του συνολικού τους κόστους από τα πραγματικά κόστη κατά τη λειτουργία του λιμανιού της Βαρκελώνης
Dynamic Crane Deployment in container storage yards	Chuqian Zhang, Yat-wah Wan, Jiyin Liu, Richard Linn	Πλαισιωτές γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG)	Προγραμματισμός της λειτουργίας και κίνησης των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών από ομάδα σε ομάδα με σκοπό την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων και συνεπώς την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων	Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός για την αναπτυξη και κατασκευή του μοντέλου και επίλυσή του με Lagrangian Relaxation	η ικανότητα διακίνησης ανάπερίοδο μελέτης, ταχύτητα κίνησης,ο αριθμός των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων του χώρου στοιβασίας, ο αριθμός των διαθέσιμων γερανογεφυρών, ο μέσος φόρτος εργασίας ανά γερανογέφυρα, η κατανομή του φόρτου εργασίας στις στοίβες	απόκλιση από προγραμματισμένο χρόνο εκτέλεσης των εργασιών	για μία μετακίνηση γερανογέφυρας από ομάδα σε ομάδα ανά περίοδο λειτουργίας του συστήματος, ο αριθμός των ομάδων δεν επηρεάζει την συνολική απόδοση των γερανογεφυρών αλλά αυτή βελτιώνεται όσο πιο ισομερώς είναι κατανεμημένος στις ομάδες ο φόρτος
Rubber Tyred Gantry Crane deployment for container yard operation	Richard Linn, Ji-yin Liu, Yat-wah Wan, Chuqian Zhang, Katta Murty	Πλαισιωτές γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG)	Προγραμματισμός της λειτουργίας των γερανογεφυρών επί ελαστικών τροχών με σκοπό την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων- διερεύνηση της επίπτωσης ανάθεσης διαφορετικών ποσοστών εργασίας ανά περίοδο μελέτης στις δύο γερανογέφυρες της θεωρούμενης ως αρχικής ομάδας με δυνατότητα μετακίνησής της μιας από τις δύο νωρίτερα σε επόμενη	μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός για την κατασκευή του μοντέλου και λογισμικό CPLEX για την επίλυση του προβλήματος του ακέραιου προγραμματισμού	ο διαθέσιμος αριθμός γερανογεφυρών, ο συνολικός φόρτος εργασίας κάθε ομάδας, ο χρόνος μετακίνησης των γερανογεφυρών από μία ομάδα στην πιο κοντινή που τους χρειάζεται, μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός RTG ανά ομάδα και περίοδο μελέτης	απόκλιση από προγραμματισμένο χρόνο εκτέλεσης των εργασιών	89% μείωση των καθυστερήσεων σε σχέση με τον προγραμματισμένο χρόνο λειτουργίας του συστήματος για μετακίνηση της γερανογέφυρας σε παρακείμενη ομάδα μετά την ολοκλήρωση της εργασίας της στην προηγούμενη, συγκριτικά με τα πραγματικά στοιχεία λειτουργίας του σταθμού
Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container trenshipment terminals	Matthew Petering, Yong Wu, Wenkai Li, Mark Goh, Robert de Souza	Πλαισιωτές γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG) σε συνδυασμό με ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις	Τρόπος οργάνωσης των εργασιών που οδηγεί σε μικρότερο χρόνο εξυπηρέτησης της γερανογέφυρας κρηπιδώματος και ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής των ελκυστήρων τόσο στο κρηπιδώμα όσο και στο χώρο στοιβασίας	πρόβλημα προγραμματισμού εργασιών job shop και προσομοίωση	ο αριθμός των εξυπηρετούμενων πλοίων ανά εβδομάδα, ο διακινούμενος όγκος, εμπορευματοκιβωτίων, ο αριθμός των θέσεων παραβολής, ο αριθμός των διαθέσιμων γερανογεφυρών κρηπιδώματος, ο διαθέσιμος εξοπλισμός στοιβασίας, ο αριθμός των ελκυστήρων που εξυπηρετούν τις γερανογέφυρες προκυμιάς, ύψος στοιβασίας, μέγεθος εγκατάστασης σε θέσεις εμπορευματοκιβωτίων, οι διαστάσεις του τερματικού σταθμού, πρόκειται για καθαρά σταθμό μεταφόρτωσης σε άλλα πλοία, δυνατότητα κίνησης	παραγωγικότητα των γερανογεφυρών κρηπιδώματος (κινήσεις/ώρα)	μεγαλύτερη παραγωγικότητα εμφανίζεται μέσω των αλγορίθμων που δίνουν προτεραιότητα στην φόρτωση των ελκυστήρων από τις γερανογέφυρες στοιβασίας
						διαθέσιμος εξοπλισμός στοιβασίας	η αύξηση του αριθμού γερανογεφυρών στοιβασίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την γρηγορότερη εξυπηρέτηση των πλοίων κατά την φόρτωσή τους
Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation	Yvo Saanen, Margaret Valkengoed	πλαισιωτές γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών για τον χώρο στοιβασίας (RMG) σε τρία διαφορετικά συστήματα σε συνδυασμό με αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV	Η σύγκριση τριών εναλλακτικών τερματικών σταθμών που λειτουργούν με τον ίδιο κύριο εξοπλισμό στοιβασίας αλλά με διαφορά ως προς τα χαρακτηριστικά των RMG και την οργάνωσή τους ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων. Σκοπός είναι η ανάδειξη του αποδοτικότερου συστήματος από άποψη παραγωγικότητας, ευελιξίας, απαιτήσεων σε γη και κόστους λειτουργίας	προσομοίωση	χαρακτηριστικά των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων (ύψος στοιβασίας, μήκος, πλάτος), ταχύτητες και χρόνος κύκλου γερανογεφυρών και οχημάτων, αριθμός οχημάτων μεταφοράς τύπου AGV, διακινούμενος όγκος	κόστος επένδυσης	οικονομικότερη εναλλακτική η περίπτωση μίας γερανογέφυρας ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους αγοράς
						λειτουργικό κόστος	παρά το διαφορετικό σχεδιασμό και κόστος επένδυσης των τριών εναλλακτικών το κόστος ανά κίνηση δεν διαφέρει σημαντικά
						ευελιξία	Η γερανογέφυρα τύπου cross over πλεονεκτεί και ως προς τις δύο αυτές παραμέτρους καθώς σε περίπτωση βλάβης μίας από τις δύο η άλλη μπορεί να συνεχίσει να δουλεύει κανονικά και σε όλο το μήκος της ομάδας
						απαιτήσεις σε γη	το σύστημα δύο γερανογεφυρών ανά ομάδα εμπορευματοκιβωτίων εμφανίζει καλύτερη απόδοση σε περιορισμένη διαθέσιμότητα γης (περισσότερα TEU/περιοχή)

Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Συγκεκριμένου Τύπου Μηχήματος ή Συνδυασμού Μηχανημάτων							
Comparison of an AGV Transportation System by using the Queuing Network Theory	Satoshi Hoshino, Jun Ota, Akiko Shinozaki, Hideki Hashimoto	Αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV σε συνδυασμό με αυτοματοποιημένες πλαισιωτές γερανογέφυρες στοιβασίας τύπου cross-over	Προγραμματισμός των εργασιών του εξοπλισμού στο χώρο και στο χρόνο και η εύρεση της καταλληλότερης (παράλληλης ή κάθετης προς το κρηπίδωμα) διάταξης των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων στην εγκατάσταση ανάλογα με τον αριθμό οχημάτων και μηχανημάτων με σκοπό την μεγιστοποίηση του αριθμού των διακινηθέντων εμπορευματοκιβωτίων ανά χρόνο κύκλου	θεωρία αναμονής και προσομοίωση	αριθμός αυτομάτων οχημάτων τύπου AGV, αριθμός γερανογεφυρών, διάταξη των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων, λειτουργικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού	αριθμός εξοπλισμού	Συνεπώς η πρόσθεση επιπλέον γερανών στοιβασίας είναι αποτελεσματική όταν η συμφόρηση παρατηρείται σε κάποιο σημείο του συστήματος στοιβασίας. Ενώ η άσκοπη προσθήκη AGV στο σύστημα συχνά είναι αναποτελεσματική λόγω του ότι προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση στο σύστημα
						θέση των σημείων αναμονής	Η περίπτωση 'κάθετου' μεταφορικού συστήματος είναι χρήσιμη/αποδοτική σε περίπτωση μικρού αριθμού AGV και γερανογεφυρών γιατί η αναμονή παρατηρείται στην περιοχή στοιβασίας των ε/κ, αντίθετα η περίπτωση 'οριζόντιου' συστήματος μεταφοράς ενδείκνυται σε περιπτώσεις μεγαλύτερου αριθμού AGV και γερανογεφυρών γιατί η αναμονή παρατηρείται στην περιοχή των γερανογεφυρών προκυμαίας
Automated guided vehicle system for two container yard layouts	Chin-I Liu, Hossein Jula, Katarina Vukadinovic, Petros Ioannou	Αυτόματα οχήματα μεταφοράς τύπου AGV και ελκυστήρες με συρόμενες βασείς	η σύγκριση των δύο τύπων οχημάτων και η εύρεση του απαιτούμενου αριθμού αυτομάτων οχημάτων και της παραγωγικότητας του συστήματος διακίνησης για δύο διατάξεις των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων (κάθετα ή παράλληλα προς το κρηπίδωμα) ως προς το ποσοστό χρόνου αναμονής προς χρόνου κύκλου	προσομοίωση για τη σύγκριση των δύο διατάξεων και η πολυκριτηριακή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την εύρεση του απαιτούμενου αριθμού αυτόματων οχημάτων ανά διάταξη	οι διαστάσεις της εγκατάστασης, οι ικανότητες στοιβασίας των γερανογεφυρών, οι ταχύτητες κίνησης των οχημάτων, η παραγωγικότητα (σε κινήσεις/ώρα) της γερανογέφυρας κρηπίδωματος, οι διαστάσεις των ομάδων εμπορευματοκιβωτίων	απόδοση συστήματος	η κάθετη ως προς την προκυμαία διάταξη στοιβασίας εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με την παράλληλη διάταξη για τον ίδιο αριθμό AGV
Optimizing the landside operation of a container terminal	Gary Froyland, Thorsten Koch, Nicole Megow, Emily Duane, Howard Wren	πολλαπλές ημιαυτόματες πλαισιωτές γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (semi automated rail-mounted gantry cranes, RMG) για την φορτοεκφόρτωση φορηγών και τρένων στην χερσαία πλευρά της εγκατάστασης σε συνδυασμό με οχήματα πλαίσια στον χώρο στοιβασίας	να εξετάσει κατά πόσο η εξυπηρέτηση των οδικών και σιδηροδρομικών μέσω από RMG με χρήση ενδιάμεσων χώρων προσωρινής εναπόθεσης ελαχιστοποιούν το χρόνο αναμονής των οδικών οχημάτων να εξυπηρετηθούν και επηρεάζουν τον απαιτούμενο αριθμό των οχημάτων πλαισίων	ακέραιος προγραμματισμός και λογισμικό CPLEX για την επίλυσή του	ο αριθμός των RMG, αριθμός διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων, αριθμός διαθέσιμων οχημάτων πλαισίων, ταχύτητες οχημάτων και γερανογεφυρών, χρόνοι άφιξης/οδικών οχημάτων, αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που πρέπει να μεταφρωτωθούν	χρόνος	βελτιστοποίηση τόσο στην χρήση των γερανογεφυρών όσο και στην εξυπηρέτηση των φορηγών με ελάχιστους χρόνους αναμονής και πολύ λίγες μη λειτουργικές κινήσεις για τις πρώτες, στο 97% των περιπτώσεων τα φορηγά είχαν χρόνο αναμονής λιγότερο από 15 λεπτά
						αριθμός οχημάτων	στρατηγική χρήση του ενδιάμεσου χώρου στοιβασίας μπορεί να οδηγήσει στην μείωση του αριθμού των οχημάτων πλαισίων που χρειάζονται από 22 σε 7
A simulation model for straddle carrier operational assesment in a marine container terminal	F.Soriguera, D.Espinet, F.Robuste	οχήματα πλαίσια (SC)	η σύγκριση και η αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών λειτουργίας οχημάτων πλαισίων με σκοπό την βέλτιστη λειτουργία των τριών υποσυστημάτων του σταθμού (χερσαία πλευρά, θαλάσσια πλευρά, χώρος στοιβασίας) όπως επίσης και ο υπολογισμός του βέλτιστου αριθμού οχημάτων πλαισίων	προσομοίωση	οι διάφορες εναλλακτικές λειτουργίας των οχημάτων πλαισίων (απλές διαδρομές, διπλές διαδρομές ή και τετραπλές διαδρομές), οι μη παραγωγικές κινήσεις των μηχανημάτων, ο απαιτούμενος χρόνος ανά όχημα για την ολοκλήρωση μιας εργασίας, α αριθμός των εργασιών που πρέπει να γίνουν, το ελάχιστο επίπεδο εξυπηρέτησης		Δεν υπήρχαν αποτελέσματα μια που η μελέτη δεν είχε ολοκληρωθεί
Simulation and planning of an Intermodal Container Terminal	Luca Maria Gambardella, Andrea Rizzoli, Marco Zaffalon	πλαισιωτές γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (RMG), φορηγά με πλατφόρμα για την μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων από την προκυμαία στον χώρο στοιβασίας, γερανογέφυρες προκυμαίας,	η δημιουργία ενός αλγορίθμου κατανομής των εργασιών στον εξοπλισμό με σκοπό την μεγιστοποίηση των καθαρών κερδών του διαχειριστή του συστήματος (έσοδα-έξοδα) και η σύγκριση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου με την πραγματική κατάσταση στον τερματικό σταθμό La Spezia όπου οι αιωφάσεις λαμβάνονται απευθείας από τους διαχειριστές	Μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός για την μόρφωση και επίλυση του προβλήματος και των αποτελεσμάτων μέσω της προσομοίωσης	η λίστα των αφίξεων των πλοίων, ο εκτιμώμενος χρόνος άφιξής τους, ο προβλεπόμενος αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που θα φορτοεκφορτωθούν, οι περιοχές της εγκατάστασης που θα χρησιμοποιηθούν κατά την φορτοεκφόρτωση	αριθμός μηχανημάτων	Παρατηρήθηκαν σε ποια σημεία του συστήματος χρειάζονται περισσότερες γερανογέφυρες και σε ποια λιγότερες με σκοπό τη βέλτιστη χρησιμοποίηση του ελάχιστου δυνατού αριθμού μηχανημάτων που ικανοποιεί το χρονοδιάγραμμα των πλοίων.