

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

«ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΕΡΑΝΩΝ ΣΕ ΕΝΑ
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΙΚΟ ΛΙΜΑΝΙ»

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΠΟΥΛΑΣ



ΒΟΛΟΣ 2015

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής (Επιβλέπων)	Σαχαρίδης Γιώργος (επιβλέπων), Λέκτορας Επιχειρησιακής Έρευνας και Βιομηχανικής Διοίκησης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος εξεταστής	Λυμπερόπουλος Γιώργος, Καθηγητής Στοχαστικών Μεθόδων στην Διοίκηση Παραγωγής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος εξεταστής	Παντελής Δημήτρης, Επίκουρος Καθηγητής Στοχαστικών Προτύπων Επιχειρησιακής Έρευνας στη Βιομηχανική Διοίκηση, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου κ. Γιώργο Σαχαρίδη για την πολύτιμη βοήθειά του καθώς και για τις συμβουλές του κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Οφείλω να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα δύο μέλη της επιτροπής για την συμμετοχή τους και την ανάγνωση της εργασίας μου. Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στους φίλους μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια και συνεχίζουν να με στηρίζουν.

Κωνσταντίνος Καπούλας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προγραμματισμός των γερανών σ' ένα εμπορευματικό λιμάνι αναφέρεται στην τοποθέτηση των γερανών στην κατάλληλη θέση κατά μήκος του κρηπιδώματος της αποβάθρας με σκοπό την εξυπηρέτηση ενός εμπορευματικού πλοίου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά, περιγράφεται η δομή και οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σ' ένα εμπορευματικό λιμάνι. Στην συνέχεια αναπτύσσονται ορισμένοι τρόποι μοντελοποίησης του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών που αφορούν την κατάλληλη τοποθέτηση των γερανών με σκοπό την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης ενός πλοίου. Τέλος, με τη χρήση των βιβλιοθηκών CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++ επιλύονται παραδείγματα βασισμένα στα προτεινόμενα μοντέλα και παρουσιάζονται τα αριθμητικά τους αποτελέσματα καθώς και συγκρίσεις μεταξύ αυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1	Η δομή και οι δραστηριότητες σ' ένα εμπορευματικό λιμάνι.....	9
1.1	Θαλάσσιες μεταφορές στην σύγχρονη εποχή.....	9
1.2	Το σύγχρονο λιμάνι.....	10
1.3	Βασικές λειτουργίες και δραστηριότητες των λιμανιών.....	13
1.4	Τα εμπορευματοκιβώτια στις θαλάσσιες μεταφορές.....	15
1.4.1	Τύποι εμπορευματοκιβωτίων.....	16
1.4.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της χρήσης εμπορευματοκιβωτίων.....	22
1.5	Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	23
1.6	Δομή εξοπλισμός και λειτουργίες ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων.....	27
1.6.1	Δομή ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων.....	27
1.6.2	Εξοπλισμός ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων.....	30
1.6.2.1	Γερανογέφυρες.....	30
1.6.2.2	Μέσα οριζόντιας μεταφοράς.....	32
1.6.3	Λειτουργίες ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων.....	33
1.6.3.1	Φορτοεκφόρτωση πλοίου.....	35
1.6.3.2	Μεταφορά κρηπιδώματος.....	36
1.6.3.3	Λειτουργία χώρου στοιβασίας.....	36
1.6.3.4	Παραλαβή/Παράδοση.....	37
1.6.4	Συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας σταθμού εμπορευματοκιβωτίων.....	38
Κεφάλαιο 2	Περιγραφή και μοντελοποίηση του προβλήματος.....	41
2.1	Παρουσίαση πρώτης μοντελοποίησης του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών στην αποβάθρα.....	41
2.2	Παρουσίαση δεύτερης μοντελοποίησης του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών στην αποβάθρα.....	44
2.3	Προγραμματισμός γερανών σε αποβάθρα λαμβάνοντας υπ' όψιν την σχέση των θέσεων εργασίας.....	47
Κεφάλαιο 3	Αριθμητικά αποτελέσματα.....	52
3.1	Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την πρώτη μοντελοποίηση.....	52
3.2	Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την δεύτερη μοντελοποίηση.....	53

3.3	Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την τρίτη μοντελοποίηση	55
Κεφάλαιο 4	Συμπεράσματα.....	57
Παράρτημα.....		58
Βιβλιογραφία.....		115

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:	Λιμάνι Αμβέρσας, Βέλγιο.....	11
Εικόνα 2:	Τυπικό εμπορευματοκιβώτιο.....	15
Εικόνα 3:	Ροή εμπορευματοκιβωτίων στα 10 μεγαλύτερα λιμάνια του κόσμου 1993-2001.....	16
Εικόνα 4:	Εμπορευματοκιβώτιο με κατάψυξη.....	17
Εικόνα 5:	Εμπορευματοκιβώτιο που γεμίζει από πάνω.....	18
Εικόνα 6:	Εμπορευματοκιβώτιο επίπεδη επιφάνεια.....	19
Εικόνα 7:	Εμπορευματοκιβώτιο υγρών χύδην φορτίων και συμπιεσμένων αερίων.....	20
Εικόνα 8:	Εμπορευματοκιβώτιο στερεών χύδην φορτίων.....	21
Εικόνα 9:	Το μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Emma Maersk.....	25
Εικόνα 10:	Παραγγελίες πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με βάση τη χωρητικότητά τους (Ιούλιος 2005).....	26
Εικόνα 11:	Σχεδιάγραμμα τυπικού ΣΕΜΠΟ.....	28
Εικόνα 12:	A: Γερανογέφυρα με μονό ή διπλό βαγονέτο. B&Γ: Γερανογέφυρες για στοίβες B: RTG, Γ: RMG.....	31
Εικόνα 13:	Μέσα οριζόντιας μεταφοράς και συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ.....	33
Εικόνα 14:	Παρουσίαση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ.....	34
Εικόνα 15:	Σύνοψη των λειτουργιών του ΣΕΜΠΟ.....	35
Εικόνα 16:	Απεικόνιση γερανού και γραμμής εργασιών.....	41
Εικόνα 17:	Περιγραφή του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών.....	44
Εικόνα 18:	Γερανοί που δουλεύουν σ' ένα πλοίο.....	47
Εικόνα 19:	Παράδειγμα σχεδιασμού στοιβασίας ενός πλοίου.....	48

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:	Ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων από την ανάπτυξη μεταφορικής δραστηριότητας από τα διαφορετικά μέσα μεταφοράς.....	9
Πίνακας 2:	Εκπομπές CO ₂ κατά μέσο μεταφοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	10
Πίνακας 3:	Κατανομή ενεργειακής απόδοσης μεταφορών.....	10
Πίνακας 4:	Διάκριση λιμένων σε διαφορετικές γενιές.....	13
Πίνακας 5:	Διαστάσεις και επιτρεπόμενο συνολικό βάρος των εμπορευματοκιβωτίων κατά ISO....	16
Πίνακας 6:	Γενέες πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	23
Πίνακας 7:	Αριθμός εργασιών και γερανών που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση της μοντελοποίησης 2.1.....	52
Πίνακας 8:	Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.1....	53
Πίνακας 9:	Αριθμός εργασιών και χρονικός ορίζοντας που τέθηκε για την επίλυση της μοντελοποίησης 2.2.....	54
Πίνακας 10:	Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.2....	54
Πίνακας 11:	Αριθμός εργασιών και γερανών που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.3.....	55
Πίνακας 12:	Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.3....	56

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ

- UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development
- Χ/Σ: χώρος στοιβασίας
- Ε/Κ: εμπορευματοκιβώτιο
- TEU: twenty-foot equivalent unit
- ΣΕΜΠΟ: σταθμός εμπορευματοκιβωτίων
- ΚΝ: knot μονάδα μέτρησης της ταχύτητας
- ΑΣΑΕ: αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας εμπορευματοκιβωτίων
- RMG: railmounted yard gantry crane
- RTG: rubber-tired yard gantry crane
- OBC: overhead bridge crane
- AGV: automated guided vehicles
- RO-RO: roll on-roll off

1. Η ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ Σ'ΈΝΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΙΚΟ ΛΙΜΑΝΙ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στις θαλάσσιες μεταφορές στην σύγχρονη εποχή καθώς και στο σύγχρονο λιμάνι πως αυτό εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου και ποιες είναι οι βασικές λειτουργίες και δραστηριότητες που γίνονται σε αυτό. Έπειτα ακολουθεί μία ανάλυση για την χρήση των εμπορευματοκιβωτίων στις θαλάσσιες μεταφορές καθώς και μια περιγραφή για τα πλοία που χρησιμοποιούνται στην μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων. Τέλος περιγράφεται η δομή, ο εξοπλισμός και οι λειτουργίες σ' ένα σύγχρονο σταθμό εμπορευματοκιβωτίων προκειμένου να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν καλύτερα τα μεταφορικά πλοία.

1.1) Θαλάσσιες μεταφορές στην σύγχρονη εποχή

Το εμπόριο αλλά και άλλες οικονομικές δραστηριότητες είναι συνδεδεμένες με τις θαλάσσιες μεταφορές. Καθώς αυξάνονται αυτές οι δραστηριότητες αυξάνονται και οι θαλάσσιες μεταφορές τόσο σε συχνότητα όσο και ποσότητα αλλά και ποικιλότητα. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν το κυρίαρχο κομμάτι των παγκόσμιων μεταφορών ανεξαρτήτως φορτίου. Το 1995 διακινήθηκαν φορτία 800 εκατομμυρίων τόνων μέσω θαλάσσης ενώ μέχρι το 2000 αυτό έχει αυξηθεί στα 6 δισεκατομμύρια τόνους (αύξηση κατά 650%). Κάθε χρόνο, έχει υπολογιστεί, ότι διακινούνται φορτία 25.000×10^9 tons/km μέσω της θάλασσας ενώ μόνο 7000×10^9 tons/km μέσω σιδηροδρόμων και 3000×10^9 tons/km μέσω οδικών μεταφορών. Ο τομέας αυτός των μεταφορών χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- Φιλικότητα προς το περιβάλλον (πίνακας 2),
- Οικονομικό ενεργειακά μέσω μεταφοράς (πίνακας 3),
- Οι νέες λιμενικές υποδομές που απαιτούνται μπορούν να δημιουργηθούν με συγκριτικά χαμηλό περιβαλλοντικό κόστος,
- Σημαντική δυνατότητα ανάπτυξης στα πλαίσια της μετατόπισης της κυκλοφορίας από κορεσμένους χερσαίους δρόμους (πίνακας 1).

	Αερομεταφορές	Σιδηροδρομικές Μεταφορές	Ναυτιλία	Οδικές μεταφορές
Θόρυβος	26%	10%	0%	64%
Χρήση Γης	1%	7%	1%	91%
Υποδομή	2%	37%	5%	56%
Ατυχήματα	1%	1%	0%	98%

Πίνακας 1. Ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων από την ανάπτυξη μεταφορικής δραστηριότητας από τα διαφορετικά μέσα μεταφοράς.

Τρόποι Μεταφοράς	Γραμμάρια/τόνοι χλμ
Οδικές	190
Σιδηροδρομικές	30
Εσωτερική ναυσιπλοΐα	30

Πίνακας 2. Εκπομπές CO₂ κατά μέσο μεταφοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ενεργειακή Απόδοση (συμπεριλαμβανόμενης της ενέργειας για υποδομή)	Megajoules per ton/km
Φορηγό	0.7 – 1.2
Τραίνο (χύδην φορτία)	0.6
Δ/Ξ για παράκτιο εμπόριο	0.3
Πλοία εμπορευματοκιβωτίων	0.12

Πίνακας 3. Κατανομή ενεργειακής απόδοσης μεταφορών

Η αλματώδης ανάπτυξη του τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, οφείλεται σε μία σειρά πλεονεκτημάτων, τα οποία είναι:

- Χαμηλότερο και ανταγωνιστικότερο κόστος σε σχέση με άλλες μεταφορές,
- Μεταφορά κάθε είδους φορτίου αφού υπάρχει χώρος ακόμα και για μεγάλα και ογκώδη αντικείμενα,
- Αποκλειστική μεταφορά επικίνδυνων και εξειδικευμένων φορτίων είτε για λόγους ασφάλειας είτε γιατί δεν επιτρέπεται η διέλευση από συγκεκριμένα κράτη,
- Η μεγάλη ποικιλία τύπων σκαφών που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια τόσο για τους εγχώριους όσο και για τους υπερπόντιους προορισμούς.

Από την άλλη όμως ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία δεν μπορούμε να παραβλέψουμε όπως:

- Αποτελεί την πιο χρονοβόρα διαδικασία σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους μεταφοράς (χερσαίες και εναέριας),
- Ισχυρή εξάρτηση από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες,
- Απαιτήση συνήθως επιπρόσθετου μεταφορικού μέσου για την τελική μεταφορά
- Συχνό φαινόμενο η ασυνέπεια στις αναχωρήσεις.

1.2) Το σύγχρονο λιμάνι

Με τη λέξη λιμένας σήμερα εννοούμε όχι μονάχα τον φυσικό ή τεχνητό λιμένα, δηλαδή την υδάτινη λεκάνη όπου εισπλέουν και εκπλέουν πλοία, με τα ανάλογα βάρη υδάτων, αλλά και τις εγκαταστάσεις του που είναι και το σπουδαιότερο μέρος της σημερινής του συνθέσεως: αποβάθρες, προβλήτες, κρηπιδώματα, αποθήκες, γερανοί ξηράς και πλωτοί, γερανογέφυρες,

σιδηροδρομικές γραμμές στην «ποδιά» των κρηπιδωμάτων για απευθείας φόρτωση και εκφόρτωση, μηχανουργεία, δεξαμενές, μηχανικός εξοπλισμός κ.α.

Το εμπόριο και οι μεταφορές είναι εκείνα που γεννούν δραστηριότητες στα λιμάνια, αλλά επίσης με τη σειρά τους τα λιμάνια σήμερα αποτελούν κύριο συστατικό της διεθνούς αλυσίδας των μεταφορών και του διεθνούς εμπορίου. Η έμφαση στην προώθηση των εξαγωγών έχει προκαλέσει μια σημαντική αύξηση στο εξωτερικό εμπόριο μερικών περιοχών, ενώ ταυτόχρονα έκανε πολύ σημαντική τη στρατηγική σημασία των λιμένων και των καθοριστικό τους ρόλο στην επίτευξη των εθνικών οικονομικών στόχων. Όταν οι διεθνείς οικονομίες, το εμπόριο και οι μεταφορές δεν ήταν ολοκληρωμένες σε ένα ενιαίο σύστημα, η παραγωγή και το εμπόριο θεωρούνταν σαν δύο χωριστά στοιχεία και η μεταφορά διακρινόταν σε διαφορετικές φάσεις. Τα λιμάνια σε μια τέτοια κατάσταση απλά διεκπεραιώναν τις παραδοσιακές τους λειτουργίες – φόρτωση/ εκφόρτωση, προς και από τα πλοία, ανεξάρτητα και μερικές φορές αδιάφορα με το τι γινόταν στην παραγωγή, εμπόριο ή μεταφορά. Αυτή η κατάσταση όμως αλλάζει γρήγορα. Τα λιμάνια είναι τώρα οι καταλύτες που δημιουργούν μεγάλο φάσμα εμπορικών ευκαιριών στις περιοχές που τα περικλείουν και που παρέχουν ένα φάσμα άλλων πρόσθετων υπηρεσιών.



Εικόνα 1. Λιμάνι Αμβέρσας, Βέλγιο

Η UNCTAD το 2002 παρουσίασε τις εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών αποτυπώνοντας τρεις διαφορετικές «γενιές» λιμένων. Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται στα εξής τρία κριτήρια:

- την πολιτική ανάπτυξης του λιμένα, τη στρατηγική και τη «συμπεριφορά του»,
- τους στόχους και την επέκταση των δραστηριοτήτων του λιμένα, ιδιαίτερα στην περιοχή της πληροφορικής,

- την ολοκληρωμένη προσέγγισης των δραστηριοτήτων του λιμένα και της οργάνωσής του.

Έτσι έχουμε τις εξής διαφορετικές κατηγορίες ή γενιές:

1. πριν από το 1990 έχουμε τους λιμένες πρώτης γενιάς των οποίων η χρησιμότητα ήταν να συνδέει τα χερσαία και τα θαλάσσια μεταφορικά μέσα χωρίς όμως να εντάσσονται στο γενικότερο μεταφορικό δίκτυο και χωρίς να καλύπτουν ορισμένες βασικές απαιτήσεις των χρηστών αλλά και της περιοχής που εξυπηρετούν. Έτσι λοιπόν κύρια δραστηριότητά τους ήταν η φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων και ο χειρισμός τους στην λιμενική εγκατάσταση,
2. από την περίοδο 1960-1980 οι λιμένες δεύτερης γενιάς οι οποίοι αναπτύχθηκαν σημαντικά διευρύνοντας τις υπηρεσίες τους καθώς οι διοικήσεις δημιουργούν ισχυρές σχέσεις με τους χρήστες προσδίδοντας έτσι μεγαλύτερη αξία στο προϊόν. Το λιμάνι δεύτερης γενιάς θεωρείται κέντρο μεταφορικών και εμπορικών υπηρεσιών. Έχει τη δυνατότητα να προσφέρει διάφορες εμπορικές υπηρεσίες όχι απαραίτητα στενά συνδεδεμένες με τις παραδοσιακές εργασίες της φορτοεκφόρτωσης. Η δραστηριότητά του επεκτείνεται και σε εμπορικές ή άλλες υπηρεσίες όπως η συσκευασία ή ακόμα και η τυποποίηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις βρίσκονται μέσα στα όρια των λιμανιών, τα οποία επεκτείνονται προς το εσωτερικό της χώρας. Οι κυριότερες βιομηχανικές δραστηριότητες είναι η μεταλλουργία, η κατεργασία αλουμινίου, πετροχημικών, λιπασμάτων, χαρτιού, ενώ σημαντικό μερίδιο έχουν και οι αλευροβιομηχανίες οι βιομηχανίες τροφίμων κλπ,
3. από το 1980 οι λιμένες τρίτης γενιάς παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξειδίκευση λειτουργώντας ως κρίκοι στη συνολική μεταφορική αλυσίδα καλύπτοντας υψηλές απαιτήσεις των χρηστών χρησιμοποιώντας παραγωγικές διαδικασίες υψηλής τεχνολογίας. Αναπτύχθηκαν κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης εμπορευματοκιβωτίων και των συνδυασμένων μεταφορών σε μεγάλη κλίμακα παγκοσμίως. Η λογική της οργάνωσής τους είναι τελείως διαφορετική από αυτή των λιμένων πρώτης και δεύτερης γενιάς. Το λιμάνι θεωρείται ένας δυναμικός κόμβος στο παγκόσμιο δίκτυο παραγωγής-κατανάλωσης. Οι διοικήσεις των λιμένων έχουν αποδεχθεί την παραπάνω αντίληψη και προσαρμόζονται στις σύγχρονες απαιτήσεις για ενεργό συμμετοχή στις εξελίξεις του διεθνούς εμπορίου. Τα σύγχρονα λιμάνια μετατρέπονται σε επιχειρηματικούς-μεταφορικούς κόμβους ως κρίκοι μιας παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Πρόσφατα διατυπώνεται η άποψη για την ύπαρξη λιμένων τέταρτης γενιάς, γεγονός που προδίδει την ταχεία εξέλιξη που σημειώνεται στον κλάδο της λιμενικής βιομηχανίας. Τα λιμάνια αυτά αναπτύσσουν συνεργασίες με άλλους λιμένες για την πραγματοποίηση κοινών δράσεων συμπληρωματικού χαρακτήρα. Θα δημιουργηθούν με τον τρόπο αυτό «λιμενικές κοινότητες». Βασικές προϋποθέσεις των λιμανιών τέταρτης γενιάς είναι η πλήρης αυτοματοποίηση της λειτουργίας των τερματικών σταθμών και η λειτουργία τους ως τμήματα ενός ολοκληρωμένου συστήματος εφοδιαστικής αλυσίδας.

	Λιμάνια πρώτης γενιάς	Λιμάνια δεύτερης γενιάς	Λιμάνια τρίτης γενιάς	Λιμάνια τέταρτης γενιάς
Περίοδος Ανάπτυξης	Πριν το 1960	Μετά το 1960	Μετά το 1980	Μετά το 2000
Τύπος φορτίου	Χύδην συσκευασμένο φορτίο	Ξηρό και υγρό χύδην φορτίο	Χύδην και μοναδοποιημένο φορτίο σε ελκ	Αύξηση της τάσης για μοναδοποίηση του γενικού φορτίου
Συμπεριφορά και στρατηγική ανάπτυξης λιμένα	1. συντηρητική 2. αποβάθρα και λιμενική περιοχή μπροστά στο νερό	1. επεκτατική 2. μεταφορικό, βιομηχανικό και εμπορικό κέντρο	1. εμπορικά προσανατολισμένα 2. κέντρο μεταφορών και πλατφόρμα logistics	1. κέντρο logistics 2. δίκτυα και συνεργασία λιμένων για κοινές δραστηριότητες 3. ανάπτυξη ρόλου στην λιμενική κοινότητα
Χαρακτηριστικά και Δραστηριότητες	(1) Φόρτο-εκφορτώσεις, αποθήκευση, πλοήγηση, προβλήτες	(2)=(1)+ Μεταποίηση φορτίου εμπορικές και ναυτιλιακές υπηρεσίες, επέκταση λιμενικού χώρου	(3)=(2)+ Διανομή φορτίου, Διανομή πληροφοριών, Δραστηριότητες logistics	Λιμένας ως ολοκληρωμένο σύστημα logistics

Πίνακας 4. Διάκριση λιμένων σε διαφορετικές γενιές

1.3) Βασικές λειτουργίες και δραστηριότητες των λιμανιών

Το λιμάνι είναι ένας ιδιαίτερα σύνθετος οργανισμός, στον οποίο αναπτύσσονται διάφορες δραστηριότητες που αφορούν σε τέσσερις άξονες: πλοία, φορτία, χερσαία μέσα μεταφοράς και επιβάτες.

1.) Δραστηριότητες που αφορούν στα πλοία

Η δραστηριότητα αυτή περιλαμβάνει ενέργειες που απαιτούνται για τον χειρισμό του φορτίου από τα αμπάρια του πλοίου στην αποβάθρα και αντίστροφα, είτε με γερανούς του πλοίου είτε με τον κατάλληλο εξοπλισμό της προβλήτας. Στόχος του λιμανιού στη λειτουργία αυτή είναι η όσο το δυνατόν γρηγορότερη απελευθέρωση του πλοίου. Δευτερεύουσες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει στα πλοία ένα λιμάνι είναι:

- Η πλοήγηση,

- Η ρυμούλκηση,
- Η ασφαλής προσόρμιση στο λιμάνι,
- Ο καθορισμός της θέσης και του τρόπου προσόρμισης, αγκυροβόλησης και παραβολής του πλοίου,
- Η χορήγηση νερού δια δικτύου ή πλωτών υδροφόρων,
- Ο εφοδιασμός με τρόφιμα και εφόδια,
- Ο ανεφοδιασμός με καύσιμα,
- Οι δεξαμενισμοί,
- Οι επισκευές των πλοίων,
- Οι σταθμοί υποδοχής καταλοίπων κ.λπ.

2.) Δραστηριότητες που αφορούν στα φορτία

Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει την μεταφορά και την διακίνηση του φορτίου στην αποβάθρα και την αποθήκευσή του. Η διαχείριση του φορτίου στην αποβάθρα ήταν και παραμένει μια πολύπλοκη διαδικασία για τα λιμάνια. Στις διαδικασίες χειρισμού περιλαμβάνονται και δευτερεύουσες υπηρεσίες, όπως έλεγχος φορτίου, ζύγισμα, ταξινόμηση, αναβάθμιση, επιδιόρθωση, οι οποίες πρέπει να παρέχονται ταυτόχρονα.

Η βραχυχρόνια αποθήκευση έχει σαν σκοπό την προστασία του φορτίου από τις καιρικές συνθήκες, τις απώλειες και τις φθορές. Η ανεπάρκεια υπηρεσιών αποθήκευσης αποτελεί συχνά λόγο καθυστέρησης της συνολικής λειτουργίας του λιμανιού και αυξάνει το κόστος για τους χρήστες.

Η μακροχρόνια αποθήκευση δεν αποτελεί μια καθαυτό λιμενική λειτουργία, αλλά εξαιτίας των αποθηκών που υπάρχουν στις περισσότερες λιμενικές βιομηχανικές ζώνες η μακροχρόνια αποθήκευση συχνά διεκπεραιώνεται στους λιμενικούς χώρους. Επιπλέον υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει ένα λιμάνι ως αναφορά τα φορτία μπορεί να είναι:

- Η παράδοση και η παραλαβή του φορτίου από και προς τα χερσαία μέσα μεταφοράς,
- Η διαλογή, συσκευασία και μεταποίηση των εμπορευμάτων.

3.) Δραστηριότητες που αφορούν στα χερσαία μέσα μεταφοράς

- Η υποδοχή και η στάθμευση στους χώρους του λιμανιού,
- Οι ασφαλείς και προσπελάσιμες συνδέσεις με τα χερσαία μεταφορικά δίκτυα.

4.) Λειτουργίες Logistics

Logistics είναι η τεχνική της διατήρησης του ελέγχου μιας παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας που συνδυάζει τη μεταφορά, την αποθήκευση, τη διαχείριση της διανομής και τα πληροφοριακά συστήματα.

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια τα κέντρα διακίνησης φορτίου μετατρέπονται σε κέντρα υπηρεσιών που προσφέρουν ολοκληρωμένες λύσεις για ολόκληρη την αλυσίδα της μεταφορικής διαδικασίας. Μέσα στην ολοκληρωμένη διαδικασία των Logistics το λιμάνι αναλαμβάνει περισσότερα καθήκοντα και παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας.

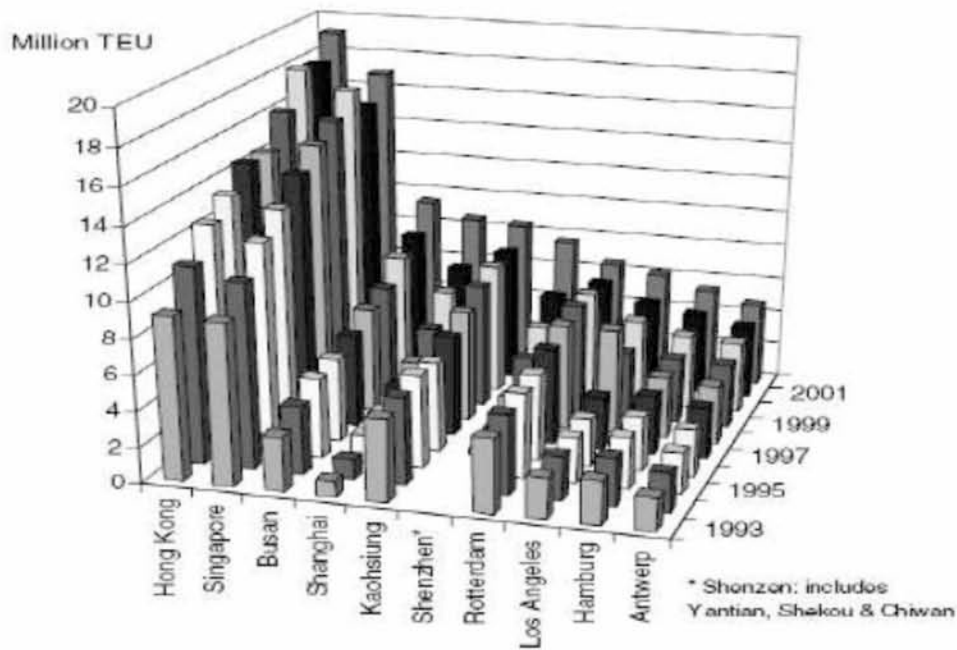
1.4) Τα εμπορευματοκιβώτια στις θαλάσσιες μεταφορές

Με τον ελληνικό όρο εμπορευματοκιβώτιο αποδίδεται ο αγγλικός όρος container. Πρόκειται για ένα μεγάλο κιβώτιο κατασκευασμένο από αλουμίνιο, σίδηρο ή συνδυασμό των υλικών αυτών και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων εμπορευμάτων, παρέχοντας ευκολίες φόρτωσης, εκφόρτωσης και συσκευασίας. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι πως έχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται από διαφορετικά μεταφορικά μέσα, με αποτέλεσμα οι μεταφορές να ενοποιούνται σε μια ολοκληρωμένη συνέχεια, με συνδυασμό φορτηγών αυτοκινήτων, σιδηροδρομικών βαγονιών, φορτηγών πλοίων και αεροπλάνων. Το φορτίο ασφαλίζεται σφραγίζοντας την πόρτα και προστατεύεται από κλοπές και φθορές. Ο σκελετός του είναι κατασκευασμένος από ατσάλι ώστε να είναι αρκετά δυνατός και να αντέχει να στοιβάζονται και άλλα εμπορευματοκιβώτια από πάνω του.



Εικόνα 2. Τυπικό εμπορευματοκιβώτιο

Τα Ε/Κ εμφανίστηκαν ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς προϊόντων, στις θαλάσσιες μεταφορές, τη δεκαετία του 1960. Η χρήση τους εξαπλώθηκε ταχύτατα, με αποτέλεσμα, σήμερα, ποσοστό πάνω από 80% της παγκόσμιας θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευμάτων να πραγματοποιείται με Ε/Κ, ενώ, σε μερικές περιπτώσεις, ειδικά μεταξύ των οικονομικά ισχυρών και ανεπτυγμένων κρατών της υφ'ηλίου, τα προϊόντα που μεταφέρονται μέσω θαλάσσης μέσα σε Ε/Κ, να πλησιάζουν το 100%. Χαρακτηριστικά, ενώ το 1980 βρισκόνταν σε κίνηση περίπου 18 εκατομμύρια Ε/Κ, ο αριθμός αυτός το 2000 ανερχόταν σε 70 εκατομμύρια.



Εικόνα 3. Ροή Ε/Κ στα 10 μεγαλύτερα λιμάνια του κόσμου 1993-2001

1.4.1) Τύποι εμπορευματοκιβωτίων

Τα εμπορευματοκιβώτια έχουν πολλά είδη και μεγέθη όσον αναφορά το μήκος. Τα πιο συνηθισμένα είναι αυτά των 10, 20, 30, 40 ποδών αλλά υπάρχουν και αυτά των 48 και 53 ποδών. Τα εμπορευματοκιβώτια των 53 ποδών χρησιμοποιούνται μόνο στις ΗΠΑ και απαιτούν διαφορετικό πλάτος στις σιδηροδρομικές γραμμές, γεγονός που εμποδίζει την εξάπλωσή τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται, κατά ISO, οι διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων.

Σειρά	Ύψος	Πλάτος	Μήκος	Βάρος	Χωρητικότητα	
					Κυβ. πόδια	Κυβ. μέτρα
ΣΕΙΡΑ I						
IA	8 ή 8,6	8	40	30	2.189	62
IB	8	8	30	25	1.624	46
IC	8	8	20	20	1.077	30.5
ID	8	8	10	10	530	25
IE	8	8	6,66	7	318	9
IF	8	8	5	5		
ΣΕΙΡΑ II						
IA	2.100m	2.300m	2.920m	7		
2B	2.100m	2.100m	2400m	7		
2C	2.100m	2.300m	1.450m	7		

Πίνακας 5. Διαστάσεις και επιτρεπόμενο συνολικό βάρος των εμπορευματοκιβωτίων, κατά ISO

Η ανάπτυξη των Ε/Κ οδήγησε μοιραία στην τυποποίησή τους. Το τυπικό Ε/Κ έχει μήκος 20 πόδια, δηλαδή 1 TEU (twenty-foot equivalent unit). Άλλα, μεγαλύτερα Ε/Κ περιγράφονται με τη βοήθεια αυτού του τυπικού Ε/Κ. Για παράδειγμα, ένα Ε/Κ μήκους 40 ποδιών, εκφράζεται ως 2 TEU. Διάφοροι άλλοι τρόποι, πέραν του μήκους, χρησιμοποιούνται, επίσης, για τη διάκριση των Ε/Κ, όπως το πάχος της εσωτερικής τους επιφάνειας και ο τύπος του φορτίου που μεταφέρουν.

Όσον αφορά το πάχος της εσωτερικής επιφάνειας, το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για ορισμένα φορτία, υπάρχουν οι εξής κύριοι τύποι:

- Εμπορευματοκιβώτια με λεπτή εσωτερική επιφάνεια: είναι τα εμπορευματοκιβώτια γενικού τύπου και δεν προσφέρουν καμία μόνωση όσον αφορά τη θερμοκρασία, απλώς προσφέρουν προστασία από τον καιρό και τις κλοπές. Το εμπόρευμα συσκευάζεται σε χαρτοκιβώτια και αυτά συσκευάζονται μέσα στο εμπορευματοκιβώτιο που διαθέτει εσωτερική επένδυση, βάσεις και αλτήρες για την πρόσδεση και ασφάλεια μέσα στις κυψέλες του αμπαριού ή του καταστρώματος,
- Μονωμένα: τα εμπορευματοκιβώτια αυτά δεν έχουν κανένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας αλλά έχουν παχιά εξωτερική επιφάνεια, έχοντας κάποιο είδος υαλοβάμβακα ή άλλο υλικό που μειώνει την απώλεια ή την αύξηση της θερμοκρασίας ,
- Εμπορευματοκιβώτια με κατάψυξη (refrigerated containers): είναι παρόμοιας κατασκευής με τα προηγούμενα, αλλά έχουν ανεξάρτητη μονάδα ψύξης, έτσι ώστε να μπορούν να ρυθμίζονται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Πρέπει να είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρικό ρεύμα που παρέχεται τόσο από το πλοίο όσο και από τους τερματικούς σταθμούς διαχείρισης των εμπορευματοκιβωτίων. Με αυτά τα εμπορευματοκιβώτια μεταφέρονται κυρίως είδη τροφίμων (κρέατα, γαλακτοκομικά, φρούτα), αλλά και άλλα φορτία όπως φάρμακα, φωτογραφικό υλικό, χημικά με ευαισθησία στην θερμοκρασία κ.ά.



Εικόνα 4. Εμπορευματοκιβώτιο με κατάψυξη

- Εμπορευματοκιβώτια με εξαερισμό (Ventilated containers): ορισμένα προϊόντα απαιτούν την προστασία ενός κλειστού εμπορευματοκιβωτίου και παράλληλα χρειάζονται εξαερισμό. Πατάτες, κρεμμύδια, φιστίκια, κακάο, καφές, συχνά μεταφέρονται με Ε/Κ αυτής της κατηγορίας. Τα πλευρά αυτών των Ε/Κ έχουν ανοίγματα για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Στο άνοιγμα συνήθως έχουν μικρές πόρτες που μένουν ανοικτές κατά τη μεταφορά του φορτίου που απαιτεί εξαερισμό αλλά που μπορούν να κλείσουν για την προστασία προϊόντων που δεν απαιτούν εξαερισμό.

Όσον αφορά τον τύπο του φορτίου που διαχειρίζονται, τον τρόπο πλήρωσης τους και τη μορφή τους έχουμε:

- Εμπορευματοκιβώτια για ξηρά γενικά φορτία (dry goods containers),
- Εμπορευματοκιβώτια που γεμίζουν από πάνω (open top containers). Αυτά χρησιμοποιούνται για τεράστια βαριά και δύσκολα στο χειρισμό φορτία. Η οροφή και η κύρια δοκός πάνω από την πόρτα βγαίνουν και έτσι επιτρέπουν στο φορτίο να μπορεί να εισχωρήσει από την ανοιχτή πόρτα αλλά και από την οροφή,



Εικόνα 5. Εμπορευματοκιβώτιο που γεμίζει από πάνω

- Εμπορευματοκιβώτια επίπεδες επιφάνειες (Flat racks containers). Αυτά είναι σχεδιασμένα για τη μεταφορά αντικειμένων μεγάλου βάρους και όγκου τα οποία δεν μπορούν να στοιβαχτούν στο εσωτερικό ενός συμβατικού Ε/Κ. Χρησιμοποιούνται επίσης για φορτίο υπερβολικού ύψους και πλάτους. Ορισμένα έχουν 4 γωνιακούς δοκούς που εκτείνονται προς τα πάνω από την επίπεδη βάση στην οποία στοιβάζεται το φορτίο. Άλλα έχουν στις άκρες διαφράγματα μεταξύ των δοκών που μπορεί να είναι και πτυσσόμενα. Υπάρχουν ακόμα μερικοί πιο περίτεχνοι τύποι οι οποίοι έχουν μια κινητή δοκό η οποία εκτείνεται κατά μήκος κάθε πλευράς μεταξύ των ψηλότερων γωνιών. Αυτό επιτρέπει την τοποθέτηση μουςαμά στην κορυφή και στα πλευρά για προστασία του φορτίου. Όταν στοιβάζονται φορτία μεγάλου μήκους ή πλάτους, επιτρέπεται να εξέχουν από τη μια ή και τις δύο πλευρές της βάσης. Το φορτίο πρέπει

να ασφαλιζεται ακριβως με τον ιδιο τροπο που απαιτειται σε μια συμβατικη στοιβασια πανω η κατω απο το καταστρωμα ενος πλοιου γενικου φορτιου,



Εικόνα 6. Εμπορευματοκιβώτιο επίπεδη επιφάνεια

- Εμπορευματοκιβώτια πλατφόρμες (Platform containers): Αυτά λειτουργούν σαν πλατφόρμες πάνω στις οποίες βαριά και ογκώδη φορτία στοιβάζονται στο πλοίο. Αυτό το σύστημα δίνει στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τη δυνατότητα να μεταφέρουν φορτία που διαφορετικά δε θα χωρούσαν. Χαρακτηριστικά αντικείμενα που στοιβάζονται με αυτό τον τρόπο είναι λυόμενα σπίτια και διάφορα είδη μηχανών. Αυτές οι πλατφόρμες συνήθως μπορούν να στοιβαχτούν η μια πάνω στην άλλη και να αποτελούν φορτίο για το ταξίδι επιστροφής,
- Εμπορευματοκιβώτια ανοιχτά στα πλάγια (Open side Gates containers): Με αυτά μεταφέρονται ξυλεία, μέταλλα, μηχανήματα,
- Εμπορευματοκιβώτια με κινητά πλευρά (Open with Removable Sides): για τη διακίνηση σιδηρών ελασμάτων και σιδηροσωλήνων,
- Εμπορευματοκιβώτια με μισό ύψος (half-height containers): Αυτά τα εμπορευματοκιβώτια είναι κατασκευασμένα με ανοιχτή οροφή. Η ανοιχτή οροφή διευκολύνει τη φόρτωση βαριών μονάδων στο Ε/Κ με ένα γερανό του λιμανιού. Στο άκρο υπάρχει συνήθως μια πόρτα τέτοια ούτως ώστε το φορτίο να τοποθετείται και με περνοφόρο όχημα. Αυτά τα Ε/Κ χρησιμοποιούνται για βαριά και πυκνά φορτία, όπως ο χάλυβας, τα γεμάτα βαρέλια και οι ράβδοι. Ένα εμπορευματοκιβώτιο με πλήρες ύψος γεμάτο με τέτοια συμπαγή υλικά θα υπερέβαινε το κανονικό βάρος. Ωστόσο η πείρα έχει δείξει ότι μικρή σημασία υπάρχει στο να έχουμε εμπορευματοκιβώτια μισά, οπότε είναι καλύτερα να μισογεμίζεται ένα εμπορευματοκιβώτιο γενικής χρήσης με βαριά προϊόντα στο ταξίδι προορισμού και στο γυρισμό να γεμίζεται ολόκληρο με ελαφρά προϊόντα,

- Εμπορευματοκιβώτια υγρών χύδην φορτίων και συμπιεσμένων αερίων (bulk liquid containers): Αυτά είναι σχεδιασμένα σαν κυλινδρικές δεξαμενές πάνω σε βαρύ ατσάλινο σκελετό διαστάσεων ανάλογων ενός εμπορευματοκιβωτίου 20 ποδών. Κάθε δεξαμενή χρησιμοποιείται για μεταφορά συγκεκριμένου προϊόντος εξαιτίας του υψηλού κόστους που απαιτείται για τον καθαρισμό και της πιθανότητας ότι ένας πλήρης καθαρισμός δεν είναι πάντα εγγυημένος. Οι δεξαμενές υγρού χύδην φορτίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ποικιλία χημικών ή φαγώσιμων προϊόντων. Τα κυριότερα χημικά που μεταφέρονται με αυτό τον τρόπο είναι τα απολυμαντικά, τα απορρυπαντικά, το αιθυλένιο, η γλυκόζη και η αιθανόλη. Μεταφέρονται επίσης με αυτό τον τρόπο και επικίνδυνα φορτία όπως ο μόλυβδος, η υγρή αμμωνία κ.ά., τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα στο χειρισμό και τη στοιβασία τους, τόσο στο πλοίο όσο και στο σταθμό διαχείρισης. Οι δεξαμενές υπό πίεση χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά συμπιεσμένων αερίων. Τα αέρια αυτά θεωρούνται επικίνδυνα και χωρίζονται κυρίως σε εύφλεκτα και μη εύφλεκτα. Κάθε δεξαμενή χρησιμοποιείται πάντα για το ίδιο προϊόν που σημαίνει ότι κάθε μια θα μεταφερθεί κενή προς μια κατεύθυνση.



Εικόνα 7. Εμπορευματοκιβώτιο υγρών χύδην φορτίων και συμπιεσμένων αερίων

- Εμπορευματοκιβώτια στερεών χύδην φορτίων (Dry bulk containers): Αν και μερικά διαθέτουν κατασκευή τύπου δεξαμενής, τα περισσότερα είναι συμβατικής κατασκευής και για τη φόρτωση των χύδην φορτίων δημιουργούνται ένα ή περισσότερα ανοίγματα στην οροφή. Για την ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου και την πλήρη εκμετάλλευση του χώρου του εμπορευματοκιβωτίου απαιτούνται περισσότερα από ένα ανοίγματα. Τα περισσότερα εμπορευματοκιβώτια αυτού του τύπου έχουν στο ένα άκρο τους συμβατικές πόρτες και ένα άνοιγμα στο πάτωμα για την εκφόρτωση του προϊόντος. Στο λιμάνι παράδοσης αυτά τα Ε/Κ συχνά τοποθετούνται σε φορτηγά με ανατρεπόμενη βάση. Στην εκφόρτωση το άνοιγμα ανοίγει και η βάση του φορτηγού ανυψώνεται και το προϊόν ρίχνεται στους σχετικούς

κάδους. Με αυτά τα Ε/Κ διακινούνται τσιμέντα, λιπάσματα αλλά και δημητριακά και άλλα είδη διατροφής,



Εικόνα 8. Εμπορευματοκιβώτιο στερεών χύδην φορτίων

- Εμπορευματοκιβώτια για τη μεταφορά ζώων (Live stock containers). Οι συνθήκες μεταφοράς ζώων πάνω στα πλοία καθορίζονται αυστηρά από τα περισσότερα ναυτιλιακά κράτη. Στα πλοία συμβατικού φορτίου ξύλινα υπόστεγα κατασκευάζονταν στο κατάστρωμα για τη στοιβάση των ζώων. Παράθυρα ανοίγονται μέχρι τη μέση και συρόμενες πόρτες για την παροχή πρόσβασης στο προσωπικό για να ταΐζουν και ποτίζουν τα ζώα. Ανάλογα με τον προσδοκώμενο χρόνο κατά τον οποίο τα ζώα θα είναι στο πλοίο, μια συγκεκριμένη ποσότητα τροφής πρέπει να μεταφέρεται για κάθε ζώο. Η στοιβάση αυτών των εμπορευματοκιβωτίων πάνω στο πλοίο πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να υπάρχει κατάλληλη πρόσβαση για τη σίτιση των ζώων,
- Εμπορευματοκιβώτιο Igloo: Είναι ειδικά σχεδιασμένο για να μεταφέρεται στα κήτη των αεροσκαφών.

1.4.2) Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της χρήσης εμπορευματοκιβωτίων

Τα Ε/Κ προκάλεσαν επανάσταση στις μεταφορές, γιατί συγκρινόμενα με τις παραδοσιακές μεθόδους παρουσιάζουν τα παρακάτω σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Ενιαία μεταφορική μονάδα: Τα Ε/Κ συγκεντρώνουν σε μια μεταφορική μονάδα το φορτίο, που προηγουμένως αποτελείτο από ένα πλήθος μικρών ή μεγαλύτερων πακέτων,

- Χειρισμός: Καθώς το φορτίο είναι μοναδοποιημένο, ο χειρισμός γίνεται ευκολότερος και γρηγορότερος, με αποτέλεσμα να μειώνεται εντυπωσιακά ο χρόνος φόρτωσης και εκφόρτωσης,
- Συσκευασία φορτίου: Η προστασία που παρέχεται από τα Ε/Κ στο φορτίο μειώνει σημαντικά τις ανάγκες συσκευασίας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η δυνατότητα για μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων φορτίου,
- Οικονομία χώρου: Η ταξινόμηση του φορτίου μέσα στο Ε/Κ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του διαθέσιμου χώρου αποθήκευσης ενός πλοίου, βαγονιού ή φορτηγού. Η βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου συνεπάγεται οικονομικότερη μεταφορά,
- Ασφάλεια φορτίου: Το μέγεθος και το βάρος των Ε/Κ καθιστούν δυσχερέστερη την κλοπή των εμπορευμάτων,
- Προστασία φορτίου: Τα τοιχώματα και η μόνωση του Ε/Κ παρέχουν κάλυψη στο φορτίο από τις καιρικές και άλλες δυσμενείς συνθήκες, αλλά και από ζημιές και φθορές κατά τη μεταφορά και ιδιαίτερα κατά τη φορτοεκφόρτωση,
- Μείωση γραφειοκρατίας: Η μοναδοποίηση του φορτίου μειώνει τη γραφειοκρατία, καθώς συνεπάγεται τη χρήση ενός μόνο εγγράφου, που αφορά το σύνολο του περιεχομένου του Ε/Κ, ως μονάδα, και όχι τη χρήση της σειράς των εγγράφων που αναφέρονται σε καθένα από τα προϊόντα, σε περίπτωση που αυτά μεταφέρονταν μεμονωμένα. Δεδομένου, όπως είναι γνωστό, ότι κάθε πράξη μεταφοράς εμπεριέχει σειρά διαδικασιών, είναι αυτονόητο ότι η χρήση Ε/Κ συνεπάγεται πολλαπλασιαστικό όφελος,
- Κόστος ασφάλισης: Η μείωση του κόστους ασφάλισης αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα που προκύπτει από τη μοναδοποίηση του φορτίου κατά τη χρήση Ε/Κ. Οι μεταφορικές εταιρίες ασφαλίζουν, κατά κανόνα, τα Ε/Κ με κόστος χαμηλότερο από το αθροιστικό κόστος ασφάλισης των περιεχομένων προϊόντων.

Η χρήση, βέβαια, των Ε/Κ δεν είναι απαλλαγμένη μειονεκτημάτων. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Κόστος κτήσης: Το κόστος που πρέπει να καταβληθεί για την αγορά ενός Ε/Κ είναι αρκετά υψηλό (περίπου 3.000-4.000 \$),
- Χειρισμός: Ειδικά στις χώρες του τρίτου κόσμου όπου τα λιμάνια δεν έχουν τον απαραίτητο εξοπλισμό, η διαχείριση των Ε/Κ αντιμετωπίζει ανάλογο βαθμού προβλήματα,
- Διαχείριση των κενών: Το κόστος μεταφοράς των Ε/Κ είναι εξ αντικειμένου υψηλό. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα αντικοινωνική τη μεταφορά των κενών Ε/Κ. Ως αποτέλεσμα, πολλές φορές τα Ε/Κ παραμένουν στα ΣΕΜΠΟ για μακρά χρονικά διαστήματα, με συνέπεια οι διοικήσεις των λιμένων να αντιμετωπίζουν συχνά μια

σειρά προβλημάτων που απορρέουν από τη δυσχέρεια βέλτιστης διαχείρισης των χώρων εναπόθεσης.

1.5) Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Τον Απρίλιο του 1956 ξεκίνησε το πρώτο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από τις ΗΠΑ, εγκαινιάζοντας έτσι έναν νέο και επαναστατικό τρόπο μεταφοράς στις θαλάσσιες μεταφορές. Με την εμφάνιση των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων άρχισε η αντίστροφη μέτρηση για τον παραδοσιακό τρόπο μεταφοράς γενικού φορτίου με συμβατικά πλοία και μέσα. Η ανάπτυξη του στόλου ήταν ραγδαία, αφού το 1970 η συνολική χωρητικότητα των πλοίων εμπορευματοκιβωτίων μόλις έφτανε τα 195.372 TEU, το 1980 ανέβηκε στα 1.354.012 TEU, το 1990 έφτασε τα 3.168.294 TEU και το Νοέμβρη του 1998 ξεπέρασε τα 5.878.000 TEU. Η εφαρμογή των τεχνολογικών καινοτομιών στη ναυτιλία με σκοπό τη ναυπήγηση αποτελεσματικότερων πλοίων είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία γενεών πλοίων οι οποίες συνομίζονται στον πίνακα 6.



Πίνακας 6. Γενεές πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Το 1972 εμφανίζεται το πρώτο πλοίο τύπου Panamax 3000 TEU, κυψελοειδές, πετρελαιοκίνητο και ταχύτητας 22 κόμβων. Η ισχυρότερη επιρροή πάνω στην ανάπτυξη του μεγέθους των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ έχει δημιουργηθεί λόγω των περιορισμένων διαστάσεων της διώρυγας του Παναμά. Οποιοδήποτε πλοίο έχει μέγιστο πλάτος 32,32 μέτρα και μήκος 280-290 μέτρα μπορεί να διέλθει τη διώρυγα και ανήκει στην κατηγορία “Panamax”. Η κατηγορία αυτή των πλοίων καθόριζε και την αντίστοιχη κατηγορία των γερανογεφυρών των τερματικών σταθμών.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 οι μεγάλες ναυπηγικές βιομηχανίες παρέμειναν σταθερές στην κατασκευή πλοίων εμπορευματοκιβωτίων 3000 και 3500 TEU. Κάτι ανάλογο συνεχίστηκε και κατά τη διάρκεια τις δεκαετίας του '80. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 το πλοίο 3500/4000 TEU εξελίσσεται σε ένα νέο με αναλογίες 294 μέτρα μήκος, 32,20 μέτρα πλάτος και 13 μέτρα βύθισμα.

Η προσπάθεια για επίτευξη οικονομών κλίμακας οδήγησε στην κατασκευή του πλοίου "Post Panamax". Τα πλοία αυτά χρησιμοποιούνται στα διατλαντικά δρομολόγια (Transatlantic), στα αντίστοιχα του Ειρηνικού (Transpacific) και σε εκείνα μεταξύ Ευρώπης - Άπω Ανατολής μέσω της Μεσογείου. Η ανάπτυξη των πλοίων αυτών άρχισε το 1988, με το πρώτο Post-Panamax να ανήκει στην Αμερικανική εταιρία APL. Μετά από μία περίοδο στάσης αναμονής από τους άλλους μεταφορείς άρχισε η ανάπτυξή τους και η επικράτηση τους στην παγκόσμια αγορά.

Τα πλοία Post Panamax παρουσιάζουν λειτουργικά μειονεκτήματα τα οποία είναι:

- ✓ αδυναμία διέλευσης της δώρυγας του Παναμά,
- ✓ αδυναμία προσέγγισης στα περισσότερα υπάρχοντα λιμάνια

ενώ τα κύρια πλεονεκτήματα είναι:

- ✓ οι χωρητικότητες των πλοίων μεγαλύτερες των 4.500 TEU επιτρέπουν τη μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων φορτίου ανά πλοίο,
- ✓ καλύτερο υδροδυναμικό σχεδιασμό ο οποίος έχει σαν αποτέλεσμα μια βελτιωμένη σχέση μηχανής και παραγωγής ταχύτητας,
- ✓ μεγαλύτερη σταθερότητα και κενούς χώρους στο κατάστρωμα παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία στη στοιβασία του φορτίου και
- ✓ ταχύτερη φόρτωση του πλοίου λόγω της ευελιξίας του.

Τα πρώτα πλοία "Post-Panamax" αρχικά είχαν χωρητικότητα 4.400 TEU και δυνατότητες μεταφοράς μέχρι και 4.900 TEU με ταχύτητα 24 ΚΝ. Τα πλοία αυτά είχαν διαστάσεις 275 μέτρα μήκος (έως 305 μέτρα), 39,4 μέτρα πλάτος και βύθισμα 11 μέτρα. Αυτά τα φαρδύτερα πλοία είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή (πάνω από 23%), καταναλώνουν λιγότερα καύσιμα και έχουν λιγότερους περιορισμούς στη φορτοεκφόρτωσή τους. Από το 1993 και μετά εμφανίζεται μια ραγδαία ανάπτυξη του μεγέθους των πλοίων εμπορευματοκιβωτίων που φτάνουν τα 8000 TEU.

Στις αρχές του 2004 υπήρχαν ήδη περισσότερα από 100 πλοία με χωρητικότητα περί τα 8000 TEU. Η περαιτέρω αύξηση της ζήτησης TEU, προερχόμενη από την αύξηση του διεθνούς εμπορίου και κατά συνέπεια των μεταφορών που υπήρξε τα τελευταία χρόνια, δημιούργησε μεγαλύτερες ανάγκες για την επίτευξη καλύτερης οικονομίας κλίμακας. Έτσι, οδηγήθηκαμε

στην αύξηση του μεγέθους των πλοίων για τη μείωση του ανά μονάδα κόστους και στην εμφάνιση των “Ultra Large Container Ships”.

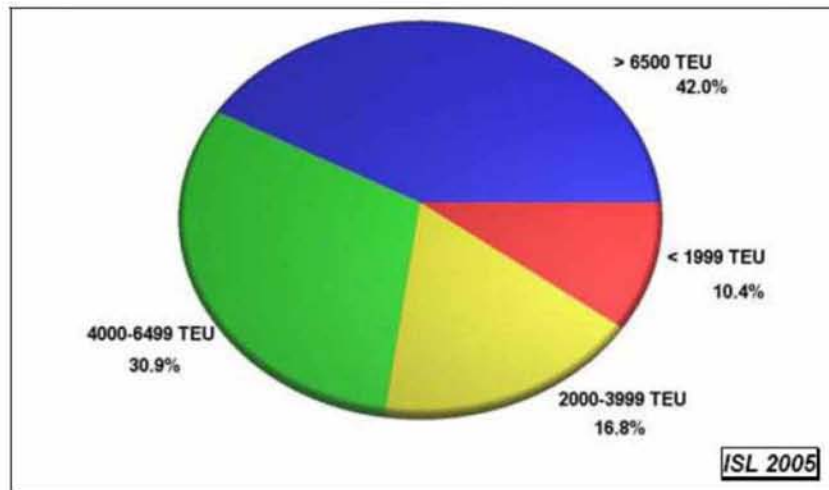


Εικόνα 9. Το μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς E/K, Emma Maersk

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που εμφανίζουν τα Ultra Large Container Ships είναι:

1. Το δεσμευμένο κεφάλαιο: Για ένα σύγχρονο super post-panamax εκτιμάται 66% υψηλότερο κόστος από ότι του συμβατικού panamax, ενώ το κόστος καυσίμου εκτιμάται 63% υψηλότερο συγκριτικά,
2. Ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης: Τα πλοία αυτά δεν μπορούν να έχουν πολλές ανταποκρίσεις σε λιμάνια λόγω του μεγέθους τους και στα λιμάνια που πιάνουν ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης είναι πολύ μεγάλος,
3. Συμφόρηση στο λιμάνι και στα χερσαία δίκτυα: Απαιτούν τεράστιους χώρους αποθήκευσης του φορτίου και είναι πολύ μεγάλη η συμφόρηση που δημιουργείται στο λιμάνι κατά την φορτοεκφόρτωση. Τα χερσαία δίκτυα δεν είναι ικανά να απορροφήσουν εύκολα τόσο μεγάλους όγκους,
4. Κόστος Μεταφόρτωσης: Αφού τα πλοία πιάνουν σε λιγότερα λιμάνια, τα E/K θα διέρχονται από περισσότερα κομβικά σημεία μέχρι την άφιξη τους στον τελικό πελάτη. Έτσι αυξάνεται το κόστος μεταφόρτωσης και ότι κερδίζεται στη θάλασσα χάνεται στο λιμάνι,
5. Αυξημένοι κίνδυνοι ζημιάς και κλοπής των φορτίων: Όσο αυξάνεται η μεταφόρτωση, τόσο πιο ευάλωτο γίνεται το φορτίο, γεγονός που τόσο οι αποστολείς όσο και οι ασφαλιστές δεν επιθυμούν,
6. Καθυστερήσεις: Μια τυχαία ολιγόωρη καθυστέρηση σε μια διαδρομή μπορεί να συνεπάγεται μεγάλο συνολικό χρονικό κόστος από χαμένες ανταποκρίσεις.

7. Τεράστιες Λιμενικές Επενδύσεις: Η εισαγωγή τέτοιων πλοίων απαιτεί τεράστιες λιμενικές και ιδιαίτερα δαπανηρές επενδύσεις για εκβάθυνση των νηοδόχων αλλά και για την προμήθεια ικανού εξοπλισμού, για την ταχεία εξυπηρέτηση των πλοίων θηρίων.



Εικόνα 10. Παραγγελίες πλοίων μεταφοράς Ε/Κ με βάση τη χωρητικότητα τους (Ιούλιος 2005).

Στην εικόνα 10 παρουσιάζονται οι παραγγελίες πλοίων μεταφοράς Ε/Κ όπως είχαν διαμορφωθεί τον Ιούλιο του 2005. Το 42% των παραγγελιών αφορά πλοία με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 6.500 TEU, γεγονός που αποδεικνύει την γρήγορη ανάπτυξη που είχαν τα πλοία αυτά κατά την περίοδο αυτή. Επίσης, άξιο παρατήρησης είναι πως το 72,9% αποτελούν παραγγελίες για πλοία μεγαλύτερα της κατηγορίας Panamax, στοιχείο που αποδεικνύει την τάση για αύξηση του μεγέθους για επίτευξη οικονομικών κλίμακας. Σε αυτό βοήθησαν σημαντικά και οι επενδύσεις που έγιναν σε λιμάνια για την ταχύτερη και καλύτερη διαχείριση των φορτίων, όπως η αγορά σύγχρονου και αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και η βελτίωση της μέσης παραγωγικότητας των γερανών. Από μελέτες που έγιναν διαπιστώθηκε ότι οικονομίες κλίμακας αναπτύσσονται μέχρι τις 6000 TEU, από 6000-7800 παρατηρούνται αρνητικές οικονομίες κλίμακας και από τις 7800 και πάνω εμφανίζονται πάλι θετικές οικονομίες κλίμακας με πολύ χαμηλό κατά μονάδα κόστος.

Σήμερα, παρόλο που οι αρχικές εκτιμήσεις, λόγω της πολύ υψηλής ζήτησης έδειχναν περαιτέρω αύξηση του μεγέθους των πλοίων για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς, το ξέσπασμα της διεθνούς οικονομικής κρίσης ανέκοψε τη ραγδαία ανάπτυξη των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Πολλές νέες παραγγελίες πλοίων ακυρώθηκαν και οι μεταφορές μειώθηκαν. Ακόμα, στην προσπάθεια να γίνουν πιο οικονομικές οι μεταφορές αυτές, γίνονται μελέτες για την κατασκευή νέων τύπων πλοίων μεταφοράς

εμπορευματοκιβωτίων που θα κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες και θα έχουν τελείως διαφορετική λογική σχεδίασης από αυτήν που χρησιμοποιούταν μέχρι σήμερα.

1.6) Δομή, εξοπλισμός και λειτουργίες ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων

1.6.1) Δομή ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων

Σε γενικές γραμμές, οι σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων (ΣΕΜΠΟ) μπορεί να περιγραφούν ως ανοιχτά συστήματα ροής υλικών με δύο σταθμούς εργασίας. Αυτοί είναι το κρηπίδωμα, όπου γίνεται η φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων, και οι χώροι στη χερσαία ζώνη, όπου τα Ε/Κ φορτώνονται και εκφορτώνονται στα/από φορτηγά και βαγόνια. Έπειτα, τα Ε/Κ αποθηκεύονται σε στοιβάδες ανάλογα με τον προορισμό τους. Στην εικόνα 11 φαίνεται ένα σχεδιάγραμμα ενός τυπικού ΣΕΜΠΟ με τα εξής σημεία:

Σημείο Α: περιοχή παράδοσης/παραλαβής,

Σημείο Β: πύλη,

Σημείο C: χώροι στάθμευσης,

Σημείο D: τερματικός σιδηροδρομικός σταθμός,

Σημείο E: κτίριο διοίκησης,

Σημείο F: κέντρο ελέγχου,

Σημείο G: Μηχανουργείο,

Σημείο 1: Κρηπίδωμα,

Σημείο 2: Ράμπα RO-RO,

Σημείο 3: Αυλή Ε/Κ,

Σημείο 4: Δρόμοι διέλευσης/διάδρομοι,

Σημείο 5: Τομέας εξαγωγής,

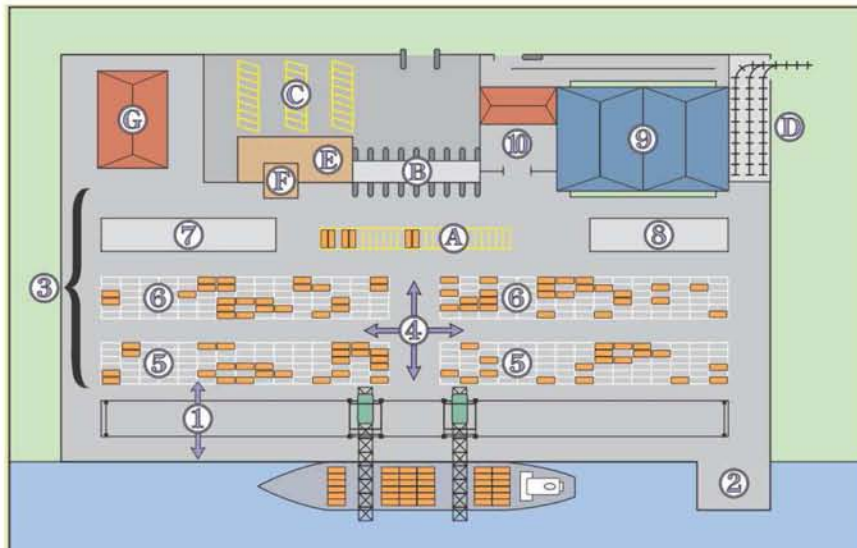
Σημείο 6: Τομέας εισαγωγής,

Σημείο 7: Ειδικοί χώροι (π.χ. ψυγεία),

Σημείο 8: Ειδικοί χώροι μακράς αποθήκευσης,

Σημείο 9: Αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ,

Σημείο 10: Χώροι ελέγχων.



Εικόνα 11. Σχεδιάγραμμα τοπικού ΣΕΜΠΟ

Ακολουθεί στη συνέχεια μια αναλυτικότερη περιγραφή των βασικών περιοχών ενός ΣΕΜΠΟ:

- Περιοχή φορτοεκφόρτωσης (κρηπιδώμα): Η βασική εγκατάσταση του ΣΕΜΠΟ είναι το κρηπιδώμα (Εικόνα 11, Σημείο 1), όπου πλευρίζει το πλοίο για να εκφορτώσει και να φορτώσει το φορτίο του. Το μήκος του κρηπιδώματος και το βάθος των υδάτων πρέπει να είναι κατάλληλα για την υποδοχή των διάφορων τύπων και μεγεθών πλοίων που προσεγγίζουν τακτικά το λιμάνι. Το κρηπιδώμα πρέπει να έχει τέτοιο πλάτος, ώστε να δέχεται μεγάλες γερανογάρυφες κρηπιδώματος που εξυπηρετούν τους περισσότερους ΣΕΜΠΟ στη φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων. Πρέπει να διαθέτει επίσης χώρο για την απόθεση των Ε/Κ, ο οποίος επιπλέον θα δίνει στο μηχάνημα μετακίνησης των Ε/Κ τη δυνατότητα να μανουβράρει, να περισυλλέγει και να αποθέσει τα Ε/Κ ή να προσπερνά άλλα μηχανήματα με ασφάλεια. Χρειάζεται ακόμη χώρος, ώστε τα Ε/Κ να μπορούν να στοιβάζονται προσωρινά στο πίσω μέρος του κρηπιδώματος, σε περίπτωση που συλλέγονται από το πλοίο, ώστε να επιτρέπουν την πρόσβαση σε Ε/Κ στοιβαγμένα κάτω από αυτά. Όταν τα εισερχόμενα Ε/Κ εκφορτωθούν, τα στοιβαγμένα Ε/Κ επαναφορτώνονται,
- Χώρος στοιβασίας (Χ/Σ) ή αυλή: Πίσω από το κρηπιδώμα υπάρχει ένας εκτεταμένος χώρος, που καταλαμβάνει περίπου το 60-70% του συνολικού χώρου του ΣΕΜΠΟ και χρησιμοποιείται κυρίως για τη στοιβασία των Ε/Κ που προορίζονται για περαιτέρω μετακίνηση. Η αυλή είναι χωρισμένη σε σαφώς οριοθετημένους και αριθμημένους τομείς αποθήκευσης, οι οποίοι συνδέονται με δρόμους διέλευσης οχημάτων και διαδρόμους, κατά μήκος των οποίων διέρχονται τα οχήματα και τα μηχανήματα. Συνεπώς, κάθε θέση εδάφους στο Χ/Σ ορίζεται από τον τομέα, τη σειρά, τη στήλη

και το ύψος. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 11 η πρώτη θέση ορίζεται ως «Α-1,1,1». Ορισμένοι τομείς προορίζονται για εξαγωγές (συνήθως στην αυλή προς την πλευρά της θάλασσας) και κάποιοι άλλοι για εισαγωγές (συνήθως στην αυλή από την πλευρά της ξηράς). Η ακριβής χωροταξική διάταξη των τομέων εξαρτάται από τον τύπο των μηχανημάτων μεταφοράς που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ της αυλής και άλλων περιοχών. Ορισμένοι τομείς του Χ/Σ προορίζονται ειδικά για Ε/Κ «ειδικής» χρήσης: Ε/Κ-ψυγεία, Ε/Κ που μεταφέρουν φορτία υπερβολικά μεγάλου ύψους και πλάτους, Ε/Κ που μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία κ.ο.κ. Συνήθως, ένας άλλος χώρος προορίζεται ειδικά για τη στοιβασία κενών Ε/Κ και έχει ιδιαίτερο τρόπο διαχείρισης,

- ΑΣΑΕ: Σε κάποιους ΣΕΜΠΟ υπάρχει μια αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ (ΑΣΑΕ), για την εκκένωση ή πλήρωση Ε/Κ (Εικόνα 11, Σημείο 9),
- Χώροι ελέγχων: Υπάρχουν διάφοροι χώροι στις αυλές Ε/Κ που προορίζονται για ποικίλες λειτουργίες ελέγχων (Εικόνα 11, Σημείο 10). Για παράδειγμα, διατίθεται συνήθως ξεχωριστός υπαίθριος και στεγασμένος αποθηκευτικός χώρος για τον τελωνειακό έλεγχο των Ε/Κ και του περιεχομένου τους,
- Περιοχή παράδοσης/παραλαβής: Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής, είναι το μέρος εκείνο του ΣΕΜΠΟ, στο οποίο επιτρέπεται η πρόσβαση στα οδικά οχήματα για την παράδοση και παραλαβή των Ε/Κ. Υπάρχουν δύο ξεχωριστοί τύποι περιοχών παράδοσης/παραλαβής, ανάλογα με τον τύπο των μηχανημάτων μεταφοράς Ε/Κ που χρησιμοποιούνται στον ΣΕΜΠΟ:
 - α) Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής (Εικόνα 11, Σημείο Α), που αποτελεί ξεχωριστό οριοθετημένο χώρο στάθμευσης (interchange area) εντός της αυλής Ε/Κ. Τα Ε/Κ μεταφέρονται με τα μηχανήματα μεταφοράς από και προς την περιοχή παράδοσης/παραλαβής όπου σταθμεύουν τα οδικά οχήματα μεταφοράς που θα τα παραλάβουν/παραδώσουν,
 - β) Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής (Εικόνα 11, Σημείο 4), που αποτελείται από μια σειρά διαδρόμων κατά μήκος της πλευράς κάθε μπλοκ αποθήκευσης. Τα οδικά οχήματα κατευθύνονται προς την αυλή Ε/Κ και παραλαμβάνουν τα Ε/Κ από θέσεις κατά μήκος των στοιβών, όπου τα μηχανήματα στοιβασίας ανυψώνουν και αποθέτουν τα Ε/Κ,
- Τερματικός σιδηροδρομικός σταθμός: Για τα Ε/Κ που φθάνουν ή αναχωρούν σιδηροδρομικά (Εικόνα 11, Σημείο D), ενδέχεται να υπάρχει τερματικός σταθμός παραλαβής/αποστολής εντός ή εκτός του ΣΕΜΠΟ,

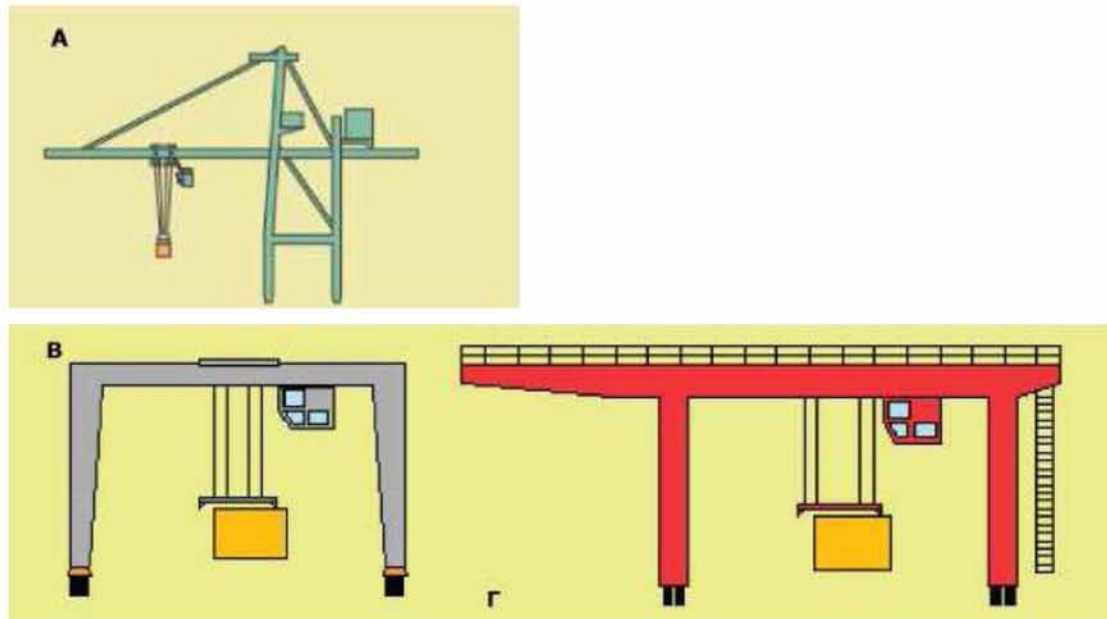
- Διοικητικά γραφεία. Εντός του ΣΕΜΠΟ παρέχονται διοικητικά γραφεία (Εικόνα 11, Σημείο Ε), όπου στεγάζεται το προσωπικό που είναι επιφορτισμένο με τον προγραμματισμό, τις διοικητικές δραστηριότητες και τις διαδικασίες τεκμηρίωσης.
- Μηχανουργείο: Στο ΣΕΜΠΟ υπάρχει εγκατάσταση συντήρησης των ακριβών μηχανημάτων που απαιτούν τακτική συντήρηση και επισκευή (Εικόνα 11, Σημείο Γ), ώστε να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία τους.

1.6.2) Εξοπλισμός ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων

Συνήθως οι ΣΕΜΠΟ περιγράφονται πολύ συγκεκριμένα από τις δυνατότητες του εξοπλισμού τους και τη δυνατότητα αποθήκευσης. Από πλευράς εφοδιαστικής, όμως, οι ΣΕΜΠΟ αποτελούνται από δύο στοιχεία, τα μέσα αποθήκευσης και τα μέσα μεταφοράς. Οι χώροι αποθήκευσης, τα πλοία, τα τρένα και τα φορτηγά θεωρούνται ως μέσα αποθήκευσης. Τα αποθέματα ορίζονται στατικά από την ικανότητα αποθήκευσης Ε/Κ, από τη δυναμική άποψη, όμως, η πράξη είναι αυτή που καθορίζει τον τρόπο και το χώρο της αποθήκευσης. Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά ανάμεσα σ' αυτούς τους τύπους αποθέματος, αλλά μόνο διαφορά στη χωρητικότητα και το περιεχόμενο. Η πορεία και ο προγραμματισμός των πλοίων, των τρένων και των φορτηγών δεν ανήκει στις λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ. Παρόλα αυτά, μπορεί και αυτά να θεωρηθούν ως μέσα αποθήκευσης. Για την ειδική αποθήκευση, τα πλοία και τα τρένα χρειάζονται συγκεκριμένες πληροφορίες, που να ορίζουν τη θέση για κάθε Ε/Κ. Η αλληλουχία των εργασιών μεταφοράς πρέπει να είναι καθορισμένη. Όχι μόνο οι ομοιότητες, αλλά κυρίως οι ιδιαιτερότητες κάθε στοιχείου και εξοπλισμού συνεκτιμώνται με τις μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας και δίνουν πληθώρα προσεγγίσεων και λύσεων.

1.6.2.1) Γερανογέφυρες

Γερανογέφυρες με μονό ή διπλό βαγονέτο: Διαφορετικοί τύποι γερανογεφυρών (Εικόνα 12 Α) χρησιμοποιούνται στους ΣΕΜΠΟ. Οι γερανογέφυρες που χρησιμοποιούνται στις αποβάθρες για τη φορτοεκφόρτωση πλοίων, παίζουν το σημαντικότερο ρόλο. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων γερανογεφυρών, οι γερανογέφυρες με μονό και οι γερανογέφυρες με διπλό βαγονέτο. Τα βαγονέτα κινούνται μαζί με τις γερανογέφυρες και είναι εξοπλισμένα με ειδικές κλίμακες για τη συλλογή των Ε/Κ. Οι σύγχρονες κλίμακες επιτρέπουν την κίνηση δύο Ε/Κ 20 ποδών ταυτόχρονα. Συνήθως στους ΣΕΜΠΟ υπάρχουν γερανογέφυρες μονού βαγονέτου. Μεταφέρουν τα Ε/Κ από τα πλοία στην ακτή και τα τοποθετούν στην αποβάθρα ή σε κάποιο όχημα (αντιστρόφως για τον κύκλο φόρτωσης).



Εικόνα 12. Α: Γερανογέφυρα με μονό ή διπλό βαγονέτο. Β και Γ: γερανογέφυρες για τις σιτοίβες Β: RTG, Γ: RMG

Οι γερανογέφυρες με ένα βαγονέτο είναι χειροκίνητες. Οι διπλού βαγονέτου γερανογέφυρες αποτελούν καινοτομία και χρησιμοποιούνται μόνο σε ορισμένους σταθμούς. Το κύριο βαγονέτο μεταφέρει το Ε/Κ από το πλοίο σε μια πλατφόρμα, ενόσω το δεύτερο βαγονέτο παίρνει το Ε/Κ από την πλατφόρμα και το πηγαίνει στην ακτή. Το πρώτο είναι χειροκίνητο, ενώ το δεύτερο αυτόματο. Στις σύγχρονες γερανογέφυρες και στους δύο τύπους, ο οδηγός υποστηρίζεται μ' ένα ημιαυτόματο οδηγητικό σύστημα. Η μέγιστη επίδοση των γερανογεφυρών εξαρτάται από τον τύπο τους. Η θεωρητική επίδοσή τους κυμαίνεται στα 50-60 κιβώτια/ώρα, ενώ στην πράξη η επίδοση είναι της τάξης των 22-30 κιβώτια/ώρα,

Γερανογέφυρες για τις σιτοίβες: Μια άλλη κατηγορία είναι οι γερανογέφυρες που απευθύνονται στις σιτοίβες, των οποίων υπάρχουν τρεις τύποι: οι γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (railmounted yard gantry crane, RMG), οι ελαστικοφόρες γερανογέφυρες (rubber-tired yard gantry crane, RTG) (Εικόνα 12 Β και Γ) και οι εναέριες γερανογέφυρες (overhead bridge crane, OBC). Οι ελαστικοφόρες είναι πιο ευέλικτες λειτουργικά, οι γερανογέφυρες αποβάθρας είναι πιο σταθερές και οι εναέριες ανυψώνουν μπετόν και ασφάλινες κολώνες. Για να αποφεύγονται λειτουργικές διαταραχές και για να αυξάνεται η παραγωγικότητα και η αξιοπιστία, συνήθως δύο γερανογέφυρες αποβάθρας απασχολούνται παράλληλα ανά τομέα αποθήκευσης.

Τα Ε/Κ που πρέπει να μεταφερθούν από τη μια πλευρά της περιοχής στην άλλη, πρέπει να προφυλάσσονται στη μεταβατική περιοχή. Τα συστήματα διπλού RMG είναι μια καινοτομία. Αποτελούνται από δύο RMG διαφορετικών διαστάσεων, που έχουν τη δυνατότητα να αντικαθιστά το ένα το άλλο. Αποτέλεσμα αυτού είναι μια ελαφρώς αυξημένη

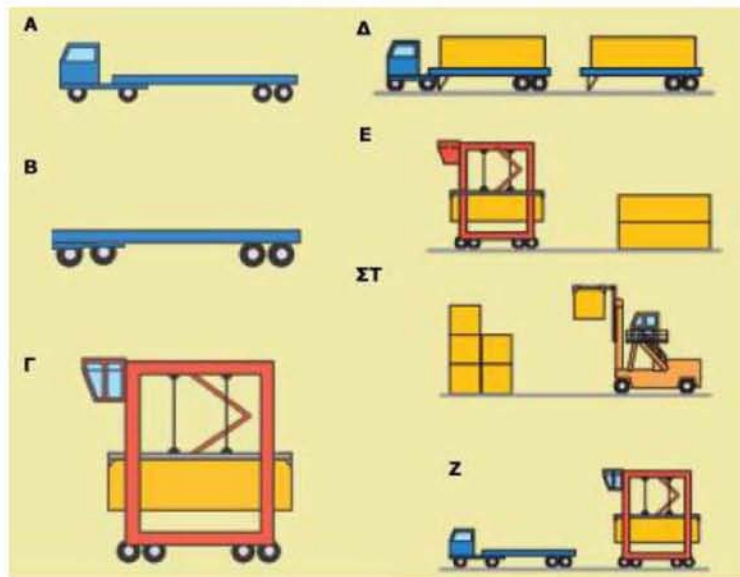
παραγωγικότητα του συστήματος. Παρόλο που οι περισσότερες γερανογέφυρες είναι χειροκίνητες, υπάρχει η τάση, τα τελευταία χρόνια, για αυτοματισμό στην οδήγηση. Η θεωρητική επίδοση των γερανογεφυρών είναι περίπου 20 κινήσεις/ώρα.

Μερικές γερανογέφυρες χρησιμοποιούνται για τη φορτοεκφόρτωση τρένων και έχουν άνοιγμα βραχίονα μερικές γραμμές (περίπου έξι). Τα Ε/Κ, που είναι για μεταφόρτωση από και προς τα βαγόνια, προ-αποθηκεύονται σε έναν προστατευμένο χώρο κοντά στην περιοχή αποθήκευσης, ενώ άλλα μηχανικά μέσα χρησιμοποιούνται για να στοιβάζουν ελαφριά Ε/Κ, ιδίως τα κενά.

1.6.2.2) Μέσα οριζόντιας μεταφοράς

Πληθώρα οχημάτων απασχολούνται για την οριζόντια μεταφορά, τόσο για τη μεταφορά και αποθήκευση σε πλοία, όσο και για τις διαδικασίες στον υπόλοιπο χώρο του ΣΕΜΠΟ. Τα μέσα οριζόντιας μεταφοράς διακρίνονται σε παθητικά και σε ενεργά (Εικόνα 13).

Παθητικά μέσα οριζόντιας μεταφοράς: Πρόκειται για μεταφορικά μέσα που δεν είναι ικανά να ανυψώσουν Ε/Κ από μόνα τους. Η φορτοεκφόρτωσή τους γίνεται με γερανογέφυρες. Φορτηγά με ρυμούλκες, πολυ-ρυμούλκικά και αυτόματα ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Τεχνολογικά εξελγμένο είδος παθητικών φορτηγών είναι τα ρομποτικά φορτηγά (automated guided vehicles, AGV), τα οποία είναι ικανά να κινούνται σε οδικό δίκτυο που υπάρχουν ηλεκτρικές γραμμές ή ράγες μεταφοράς στο έδαφος, για να ελέγχουν τη θέση τους. Κάθε AGV μπορεί να φορτώσει ένα 40'/45' Ε/Κ ή δύο 20' Ε/Κ, είναι δηλαδή ικανό για πιθανές λειτουργίες πολλαπλής φόρτωσης. Τα συστήματα με AGV απαιτούν εγκαταστάσεις υψηλού κόστους και συνεπώς η λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι συμφέρουσα σε περιοχές όπου το εργατικό κόστος είναι υψηλό. Σήμερα, είναι σε λειτουργία στο Ρότερνταμ και στο Αμβούργο, σε συνδυασμό με αυτόματες γερανογέφυρες,

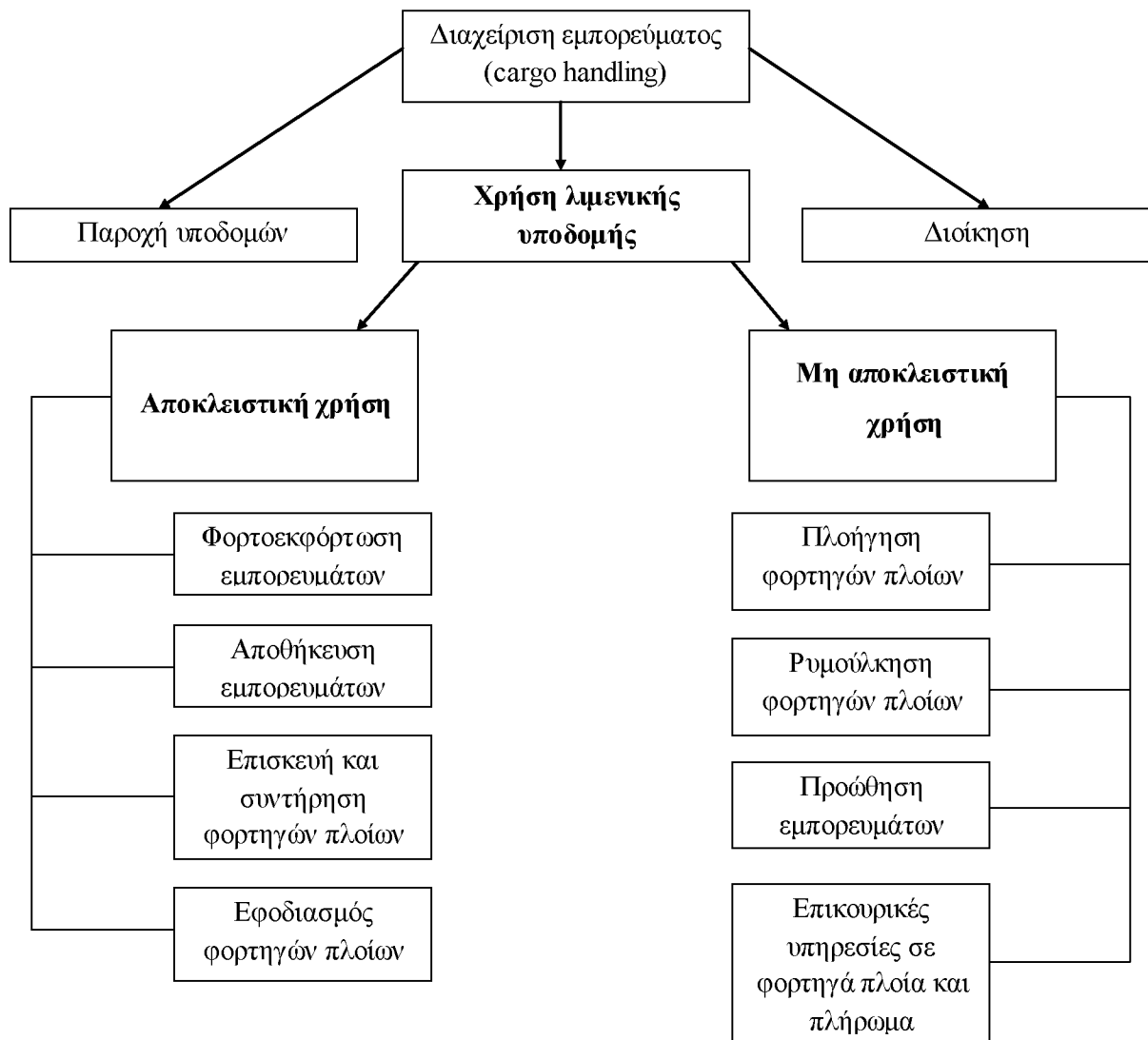


Εικόνα 13. Μέσα οριζόντιας μεταφοράς και συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ. Α: Παθητικό φορτηγό, Β: AGV, Γ: Διασκελετικός μεταφορέας σε διαδικασία μεταφοράς, Δ: Επικαθίμενο ρυμουλκούμενο (σασί), Ε: Διασκελετικός μεταφορέας σε διαδικασία στοιβάξης, ΣΤ: Ανυψωτικό μηχάνημα, Ζ: Σύστημα ανταπόκρισης διασκελετικών μεταφορέων.

Ενεργά μέσα οριζόντιας μεταφοράς. Πρόκειται για μεταφορικά μέσα που, εκτός της μεταφοράς, είναι ικανά να ανυψώνουν Ε/Κ. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν οι διασκελετικοί μεταφορείς και τα περονοφόρα οχήματα. Οι διασκελετικοί μεταφορείς (straddle carriers) είναι τα σημαντικότερα μέσα οριζόντιας μεταφοράς. Δεν μεταφέρουν Ε/Κ μόνο, αλλά μπορούν και να τα στοιβάξουν στο χώρο στοιβασίας. Επίσης, μπορούν να θεωρηθούν ως «γερανοί», με την ευρεία έννοια, αφού έχουν ελεύθερη πρόσβαση στα Ε/Κ, ανεξάρτητα από τη θέση τους στην προκυμαία. Οι διασκελετικοί μεταφορείς επιτρέπουν τη μεταφορά Ε/Κ ακόμα και 20° ή 40°, και είναι επίσης ικανοί για ταυτόχρονη μεταφορά και στοιβασία δύο Ε/Κ 20°. Εξαιτίας των εξαρτημάτων τους, είναι πολύ ευέλικτοι και δυναμικοί και υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία. Συνήθως, είναι χειροκίνητοι και ικανοί να στοιβάξουν 2 ή 3 Ε/Κ σε ύψος, και να μετακινήσουν ένα Ε/Κ πάνω από 2 ή 3 άλλα.

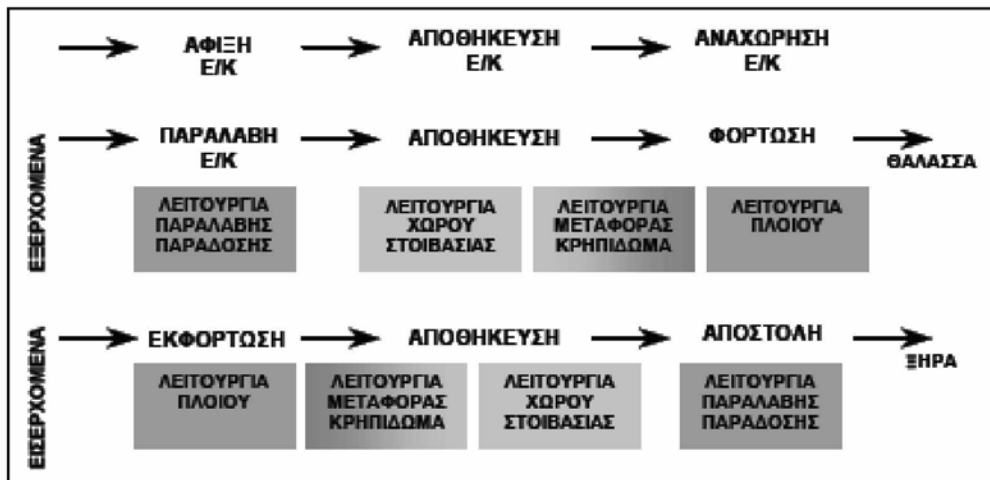
1.6.3) Λειτουργίες ενός σταθμού εμπορευματοκιβωτίων

Στην εικόνα 14 παρουσιάζονται οι τυπικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ, όπως αυτές μπορούν να διακριθούν ανάλογα με το βαθμό αποκλειστικότητας της χρήσης των λιμενικών υποδομών.



Εικόνα 14. Παρουσίαση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ

Τα στοιχεία που συνθέτουν τη λειτουργία του ΣΕΜΠΟ, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις αλληλουχίες δραστηριοτήτων, άφιξη, αποθήκευση και αναχώρηση Ε/Κ, οι οποίες στην πραγματικότητα, αντιστοιχούν σε τέσσερα βασικά συστήματα λειτουργιών, που αναλύονται στη συνέχεια (Εικόνα 15)



Εικόνα 15. Σύνοψη των λειτουργιών του ΣΕΜΠΟ

1.6.3.1) Φορτοεκφόρτωση πλοίου

Η φορτοεκφόρτωση του πλοίου συνίσταται στη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ του κρηπιδώματος και του πλοίου. Για ένα *εισερχόμενο* Ε/Κ, η λειτουργία αρχίζει με τη γερανογέφυρα του κρηπιδώματος να χαμηλώνει και να προσαρτά το πλαίσιο ανάρτησής του (spreader) στο πάνω μέρος του Ε/Κ, όπως αυτό βρίσκεται στη θέση στοιβασίας του επί του πλοίου. Το πλαίσιο ανάρτησης ασφαλίσει πάνω στο Ε/Κ και, στη συνέχεια, απομακρύνεται από τη στοιβασία πάνω από την πλευρά του πλοίου προς το κρηπίδωμα. Τοποθετείται είτε πάνω σε ρυμουλκούμενο που αναμένει κάτω από τη γερανογέφυρα, είτε πάνω στην επιφάνεια του κρηπιδώματος.

Για ένα *εξερχόμενο* Ε/Κ, η φορτοεκφόρτωση συνίσταται στην προσάρτηση του πλαισίου ανάρτησης στο Ε/Κ, όπως αυτό βρίσκεται στο κρηπίδωμα (απευθείας ή πάνω σε ρυμουλκούμενο), στην ανύψωση του Ε/Κ πάνω στο πλοίο και στην τοποθέτησή του στη θέση στοιβασίας, από την οποία θα μπορεί, εν ευθέτω χρόνο, να εκφορτωθεί γρήγορα και εύκολα. Καθώς το πλοίο μπορεί να προσεγγίσει πολλούς λιμένες πριν από την άφιξή του στο συγκεκριμένο λιμένα εισαγωγής, το Ε/Κ πρέπει να στοιβαχτεί σε θέση που δεν θα παρεμποδίζεται από επακόλουθη έλευση Ε/Κ. Για ένα πλοίο Ro-Ro (φόρτωση/εκφόρτωση με χρήση ράμπας, roll-on-roll-off), φυσικά, η φορτοεκφόρτωση δεν απαιτεί γερανογέφυρα. Αντιθέτως, τα Ε/Κ μεταφέρονται στο πλοίο με τη βοήθεια ράμπας από το κρηπίδωμα, με ρυμουλκούμενο ή παρόμοιο μηχάνημα. Το Ε/Κ μπορεί να στοιβαχτεί στο πλοίο, ακόμη και όταν βρίσκεται επάνω στο ρυμουλκούμενο ή σε οδικό όχημα ή μπορεί να συλλεχθεί από το ρυμουλκούμενο και να στοιβαχτεί στο κατάστρωμα.

1.6.3.2) Μεταφορά κρηπιδώματος

Η μεταφορά κρηπιδώματος συνίσταται στη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ του κρηπιδώματος και της αυλής. Για τα *εισερχόμενα* Ε/Κ, η μεταφορά ξεκινά με την ανύψωση του Ε/Κ, που βρίσκεται στην επιφάνεια του κρηπιδώματος κάτω από τη γερανογέφυρα, από τα μηχανήματα μεταφοράς ή με την απόθεση του κιβωτίου από τη γερανογέφυρα κατευθείαν πάνω στο ρυμουλκούμενο. Τα μηχανήματα, στη συνέχεια, μεταφέρουν το Ε/Κ, ακολουθώντας μια προκαθορισμένη διαδρομή, στον κατάλληλο τομέα της αυλής Ε/Κ. Τα μηχανήματα μεταφοράς στοιβάζουν το Ε/Κ στη θέση αποθήκευσης ή σταματούν σε κάποιο σημείο παράδοσης/παραλαβής, ώστε να επιτραπεί στα μηχανήματα στοιβασίας να ανυψώσουν το Ε/Κ και να εκτελέσουν την τελική αυτή κίνηση στη στοιβία.

Για τα *εξερχόμενα* Ε/Κ, η εργασία ξεκινά με την ανύψωση του Ε/Κ από τη θέση στοιβασίας, από τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος ή από άλλη συσκευή ανύψωσης, η οποία τα αποθέτει επάνω στο ρυμουλκούμενο. Η διαδρομή μεταφοράς προς την πλευρά του κρηπιδώματος είναι, στην ιδανική περίπτωση, μια ξεχωριστή διαδρομή από αυτή που χρησιμοποιείται για τις εισαγωγές, προς αποφυγή επικίνδυνων διασταυρώσεων. Τέλος, το Ε/Κ τοποθετείται στην επιφάνεια του κρηπιδώματος κάτω από τους πυλώνες του γερανού ή ανυψώνεται κατευθείαν από το ρυμουλκούμενο μεταφοράς από τη γερανογέφυρα.

1.6.3.3) Λειτουργία χώρου στοιβασίας

Το κομμάτι της λειτουργίας αυτής που αφορά την αποθήκευση Ε/Κ είναι κατά βάση μια μη ενεργός λειτουργία, αφού αφορά απλώς την ασφαλή κράτηση των Ε/Κ μέχρι να είναι έτοιμα για μετακίνηση με σκοπό την αποστολή ή την φόρτωση. Στην πράξη, μπορεί να υπάρχει μηχανήματα που να προορίζεται αποκλειστικά για την αυλή Ε/Κ, προκειμένου να μεταφέρει Ε/Κ από και προς τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος. Στην περίπτωση αυτή, η στοιβασία και η αποστοιβασία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν στοιχεία της λειτουργίας της αυλής Ε/Κ. Σε άλλα συστήματα, τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος μπορεί να εισέρχονται απευθείας στις στοιβές, αποθέτοντας και ανυψώνοντας τα Ε/Κ στην αρχή και στο τέλος της μεταφοράς τους, από και προς την πλευρά του κρηπιδώματος. Στην περίπτωση αυτή, η στοιβασία και αποστοιβασία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν μέρος της λειτουργίας μεταφοράς μέσω κρηπιδώματος.

Ωστόσο, όποιο σύστημα στοιβασίας κι αν χρησιμοποιείται, υπάρχουν ακόμα μετακινήσεις Ε/Κ εντός της στοιβίας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στα Ε/Κ που είναι αποθηκευμένα κάτω από τις επάνω στρώσεις και η επαναδιευθέτησή τους πριν από την άφιξη του πλοίου. Αυτές οι «μετακινήσεις Ε/Κ εντός του Χ/Σ » αποτελούν σημαντικά στοιχεία της λειτουργίας της αυλής Ε/Κ.

1.6.3.4) Παραλαβή/Παράδοση

Η λειτουργία παραλαβής/παράδοσης αποτελείται από δύο ξεχωριστά, αλληλεξαρτώμενα υποσυστήματα. Για παράδειγμα, για ένα εισερχόμενο Ε/Κ που αναχωρεί από το ΣΕΜΠΟ οδικώς, πραγματοποιείται πρώτα μετακίνησή του από τη θέση στοιβασίας του στην αυλή προς την περιοχή παραλαβής/παράδοσης, είτε κατά μήκος της στοίβας (στην οποία οδηγείται το φορτηγό), είτε κοντά στην πύλη (στην οποία μεταφέρεται το Ε/Κ από το μηχάνημα μεταφοράς). Το Ε/Κ τοποθετείται στο ρυμουλκούμενο του φορτηγού στην περιοχή παραλαβής/παράδοσης και, στη συνέχεια, οδηγείται στην επόμενη λειτουργία, που αφορά την κίνηση του φορτηγού μέσω της πύλης. Οι δραστηριότητες εκεί περιλαμβάνουν την επιθεώρηση των Ε/Κ, τον έλεγχο σφραγίδας της πύλης και τις διαδικασίες τεκμηρίωσης που αφορούν την αποστολή του Ε/Κ. Για ένα εξερχόμενο Ε/Κ, οι δραστηριότητες τεκμηρίωσης και επιθεώρησης στην πύλη προηγούνται. Στη συνέχεια, ακολουθεί η μετακίνηση στην περιοχή παραλαβής/παράδοσης, η ανύψωση του Ε/Κ από το ρυμουλκούμενο του φορτηγού και η μεταφορά και εναπόθεσή του στο χώρο στοιβασίας. Αντίστοιχες λειτουργίες υπάρχουν για τα Ε/Κ που φθάνουν και αναχωρούν σιδηροδρομικώς (στον τερματικό σιδηροδρομικό σταθμό) και μέσω εσωτερικής πλωτής οδού (σε τερματικό σταθμό φορτηγίδων). Όλες αυτές οι δραστηριότητες που συνθέτουν τις διάφορες λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ, δεν είναι ανεξάρτητες. Συσχετίζονται και αλληλεξαρτώνται στενά μεταξύ τους και, κατά συνέπεια, πρέπει να συντονίζονται προσεκτικά για την αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία του ΣΕΜΠΟ. Αν οι δραστηριότητες αποσυντονιστούν, δηλαδή κάποια λειτουργία εκτελείται με πιο αργούς ρυθμούς από τις υπόλοιπες, τότε αυτή η λειτουργία μπορεί να παρεμποδίσει ή να καθυστερήσει κάποια άλλη. Οι λειτουργίες θα χάσουν την ισορροπία τους και η απόδοση του χειρισμού των Ε/Κ θα είναι χαμηλή. Για παράδειγμα, αν έχουν διατεθεί πολύ λίγα μηχανήματα για τη μεταφορά εξερχόμενων Ε/Κ από την αυλή Ε/Κ στο κρηπίδωμα, η λειτουργία της μεταφοράς κρηπιδώματος δεν θα συμβαδίζει με τις δραστηριότητες των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και η φορτοεκφόρτωση του πλοίου θα καθυστερήσει. Κατά συνέπεια, το πλοίο θα παραμείνει στο λιμένα περισσότερο από τον προγραμματισμένο χρόνο. Αν παρατηρηθεί τέτοιου είδους ανισορροπία, μπορούν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, όπως, για παράδειγμα, να μεταφερθούν μηχανήματα από άλλο σημείο του ΣΕΜΠΟ, για να επισπευσθεί η λειτουργία της μεταφοράς κρηπιδώματος και να συμβαδίσει με τη λειτουργία των γερανογεφυρών κρηπιδώματος.

Σε ΣΕΜΠΟ όπου η στοιβασία των Ε/Κ στην αυλή πραγματοποιείται με ξεχωριστά μηχανήματα από εκείνα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά κρηπιδώματος, η άμεση συνέπεια έλλειψης μηχανημάτων στοιβασίας έχει ως αποτέλεσμα την παρακώλυση της λειτουργίας μεταφοράς κρηπιδώματος. Τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος θα περιμένουν στην αυλή για την απομάκρυνση των εισερχόμενων εμπορευματοκιβωτίων ή την παράδοση των εξερχόμενων.

Τα προβλήματα όμως, δεν σταματούν εδώ. Η επιβράδυνση του ρυθμού μεταφοράς κρηπιδώματος θα προκαλέσει πολύ γρήγορα καθυστερήσεις στη φορτοεκφόρτωση του πλοίου. Επίσης, θα προκαλέσει δυσκολίες στις δραστηριότητες παραλαβής/παράδοσης, καθώς τα χερσαία μεταφορικά οχήματα θα περιμένουν τα μηχανήματα, προκειμένου να παραλάβουν από αυτά τα εξερχόμενα Ε/Κ και να τα στοιβάξουν στα μπλοκ εξαγόμενων ή να τους παραδώσουν τα εισερχόμενα.

Επίσης, μεγάλες είναι οι επιπτώσεις στη λειτουργία του σταθμού, όταν υπάρχουν καθυστερήσεις στη λειτουργία παραλαβής/παράδοσης. Για παράδειγμα, αν τα εισαγόμενα Ε/Κ δεν παραληφθούν από τον ΣΕΜΠΟ μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την εκφόρτωσή τους από το πλοίο, θα δημιουργηθεί συμφόρηση στους χώρους αποθήκευσης. Οι στοίβες θα μεγαλώνουν και τα Ε/Κ θα πρέπει να μετατοπίζονται συνέχεια, για να παρέχουν πρόσβαση σε εκείνα που απαιτείται, με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερος χρόνος για την ανάκτηση του επιθυμητού Ε/Κ και να καθυστερεί η χερσαία μεταφορά.

Σοβαρές είναι οι συνέπειες της ανεπάρκειας προσωπικού ή εγκαταστάσεων στην πύλη, όταν αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης των οδικών οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, πολύ γρήγορα, τα οδικά οχήματα δημιουργούν ουρές περιμένοντας να περάσουν από τις διατυπώσεις ελέγχου για την παράδοση/παραλαβή Ε/Κ. Κατ' αναλογία, σχηματίζονται ουρές μέσα από την πύλη, από τα οδικά οχήματα που περιμένουν να εξέλθουν του ΣΕΜΠΟ. Αυτές οι καθυστερήσεις δυσχεραίνουν την εξυπηρέτηση των χρηστών του ΣΕΜΠΟ, είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και καταλήγουν εξαιρετικά δαπανηρές. Όταν σχηματίζονται ουρές εντός του ΣΕΜΠΟ, μπορεί επίσης να παρεμποδίζεται η μετακίνηση των μηχανημάτων και οι λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ. Υπάρχει, ακόμη, περίπτωση τα μηχανήματα στοιβασίας να παραμένουν αδρανή, περιμένοντας την άφιξη των οδικών οχημάτων στις περιοχές παραλαβής/παράδοσης. Ανάλογα, είναι προφανές ότι χρειάζεται περισσότερο προσωπικό για τις λειτουργίες της πύλης και περισσότεροι διαθέσιμοι διάδρομοι για την επίτευξη της λειτουργίας παραλαβής/παράδοσης.

1.6.4) Συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας σταθμού εμπορευματοκιβωτίων

Στους ΣΕΜΠΟ απαντώνται τέσσερα συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας, τα οποία εξαρτώνται από τον τύπο του εξοπλισμού μεταφοράς που χρησιμοποιούν.

Σύστημα μεταφοράς με πλατφόρμες (σασί): Στο σύστημα αυτό (Εικόνα 13 Δ), το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική, τα Ε/Κ μεταφέρονται από και προς το ΣΕΜΠΟ με τη χρήση ειδικής πλατφόρμας (wheeled road chassis). Τα εισερχόμενα Ε/Κ εκφορτώνονται απευθείας στα εγκεκριμένα για οδική κυκλοφορία ρυμουλκούμενα, που ονομάζονται *επικαθήμενα ρυμουλκούμενα* (σασί). Στη συνέχεια, μετακινούνται στον αποθηκευτικό χώρο επί του επικαθήμενου ρυμουλκούμενου και παραμένουν εκεί όση ώρα

βρίσκονται στο ΣΕΜΠΟ. Όταν το Ε/Κ παραλαμβάνεται, το επικαθήμενο ρυμουλκούμενο προσαρτάται σε μια καμπίνα τράκτορα και μεταφέρεται σύσσωμο στον προορισμό του Ε/Κ. Ομοίως, τα εξαγόμενα κιβώτια φθάνουν στο λιμένα σε ρυμουλκούμενα. Οι οδικοί τράκτορες αποσυνδέονται κατά την παραμονή των Ε/Κ πάνω στα ρυμουλκούμενα στον αποθηκευτικό τους χώρο, μέχρι να μετακινηθούν από τράκτορες του ΣΕΜΠΟ προς την πλευρά του κρηπιδώματος, για ανύψωση από τα ρυμουλκούμενα και για την τοποθέτησή τους στη στοίβα. Ένα τέτοιου είδους αμγές σύστημα μεταφοράς με πλατφόρμες ή ρυμουλκούμενα δεν απαιτεί τη χρήση άλλων μηχανημάτων χειρισμού.

Άμεσο σύστημα με διασκελετικούς μεταφορείς (straddle carrier direct system): Στο σύστημα αυτό (Εικόνα 13 Ε), οι διασκελετικοί μεταφορείς μετακινούν τα Ε/Κ μεταξύ της πλευράς του κρηπιδώματος και της αυλής Ε/Κ. Είναι επίσης επιφορτισμένα με τη στοιβασία και αποστοιβασία στην αυλή, καθώς και με τη συλλογή και παράδοση από και προς τα σημεία παραλαβής/παράδοσης. Σε ένα τέτοιο σύστημα, όλες οι μετακινήσεις μεταφοράς κρηπιδώματος, αυλής Ε/Κ και παραλαβής/παράδοσης εκτελούνται με συνέπεια από το συγκεκριμένο τύπο μηχανήματος. Ο Χ/Σ είναι χωρισμένος σε τομείς που αποτελούνται από γραμμές και στήλες. Έτσι, κάθε θέση εδάφους ορίζεται από τον τομέα-γραμμή-στήλη-ύψος. Το μέγιστο ύψος εξαρτάται από τον τύπο του διασκελετικού μεταφορέα. Συνήθως, το ύψος είναι δύο Ε/Κ, γιατί οι μεταφορείς τύπου 2+1 είναι πιο γρήγοροι στη μεταφορά, λόγω του χαμηλότερου κέντρου βάρους τους. Ένα από τα προτερήματα του συστήματος αυτού είναι ότι τα Ε/Κ μπορούν να μεταφερθούν στην προκουμαία κάτω από τη γερανογέφυρα και να τα αφήσουν χωρίς να περιμένουν την κίνηση της γερανογέφυρας.

Σύστημα με ανυψωτικά μηχανήματα: Το σύστημα αυτό (Εικόνα 13 ΣΤ) λειτουργεί πολύ αποτελεσματικά σε μικρότερους ΣΕΜΠΟ. Το μηχανήμα, είτε είναι φορτωτής πρόσθιας φόρτωσης είτε γερανοφόρο εμπρόσθιας στοιβασίας, ανυψώνει, μεταφέρει και στοιβάζει Ε/Κ σε όλα τα στάδια της λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ: στις γερανογέφυρες, στην αυλή Ε/Κ και στα σημεία παραλαβής/παράδοσης. Οι βασικοί περιορισμοί του συστήματος είναι ότι οι ταχύτητες μεταφοράς δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές και ότι τα μηχανήματα χρειάζονται διαδρόμους με μεγάλο πλάτος για να στρίβουν. Το σύστημα δεν είναι πολύ κατάλληλο για μεγάλους ΣΕΜΠΟ μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς μέσω κρηπιδώματος και υψηλής διακίνησης.

Σύστημα ανταπόκρισης διασκελετικών μεταφορέων: Στο σύστημα αυτό (Εικόνα Ζ), συνήθως τράκτορες-ρυμουλκούμενα μετακινούν Ε/Κ μεταξύ της αυλής Ε/Κ και της πλευράς του κρηπιδώματος ή άλλων χώρων, όπως η ΑΣΑΕ, ενώ διασκελετικοί μεταφορείς ανυψώνουν τα Ε/Κ από τα σημεία παραλαβής/παράδοσης και τα στοιβάζουν στην αυλή. Η παραλαβή/παράδοση, οδικώς ή σιδηροδρομικώς, πραγματοποιείται μέσω άλλων, ξεχωριστών

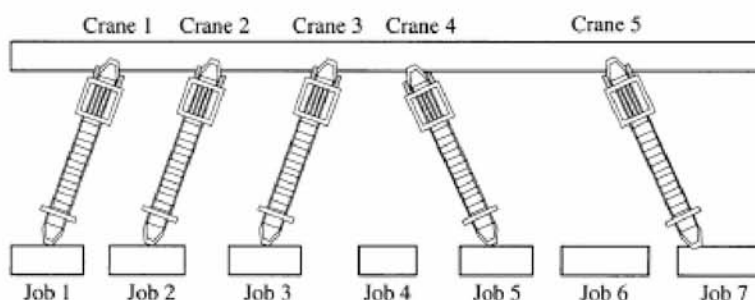
σημείων παραλαβής/παράδοσης, στα οποία οι διασκελετικοί μεταφορείς επιφορτίζονται με την ανύψωση και απόθεση των Ε/Κ από και προς τις στοίβες.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΕΡΑΝΩΝ

Ξεκινώντας, στην ενότητα 2.1, πραγματοποιείται η περιγραφή του πρώτου μοντέλου το οποίο προτάθηκε από τους Y. Zhu και A. Lim και αφορά τον προγραμματισμό της λειτουργίας των γερανών στην αποβάθρα με περιορισμό την μη διασταύρωση των γερανών (non-crossing constraint) όπου τα πλοία χωρίζονται σε αμπάρια-εργασίες και σε κάθε γερανό ανατίθεται μία εργασία. Στο κεφάλαιο 2.2 παρουσιάζεται το πρόβλημα του προγραμματισμού των γερανών σε αποβάθρα λαμβάνοντας υπ' όψιν το χρόνο μετακίνησης του γερανού όπως αυτό προτάθηκε από τους Guan Y, Yang K-H, και Zhou Z. Τέλος στο κεφάλαιο 2.3 παρουσιάζεται ένα μοντέλο προγραμματισμού γερανών στην αποβάθρα το οποίο λαμβάνει υπ' όψιν του την σχέση των θέσεων εργασίας και προτάθηκε από τους Kim H. K. και Park Y-M.

2.1) Παρουσίαση πρώτης μοντελοποίησης του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών στην αποβάθρα

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετήσουμε το πρόβλημα του προγραμματισμού των γερανών το οποίο αφορά την ανάθεση εργασίας σε γερανό με σκοπό την ελαχιστοποίηση του τελευταίου χρόνου ολοκλήρωσης μεταξύ όλων των εργασιών. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιείται ο περιορισμός μη διασταύρωσης των γερανών (non-crossing constraint). Επιπλέον γίνεται η υπόθεση ότι τα πλοία είναι χωρισμένα σε «αμπάρια» (holds) ή εργασίες και οι γερανοί μπορούν να μετακινηθούν από αμπάρι σε αμπάρι ή εργασία αλλά μόνο ένας γερανός αναλαμβάνει μια εργασία και δεν σταματά μέχρι η εργασία αυτή να ολοκληρωθεί.



Εικόνα 16. Απεικόνιση γερανού και γραμμής εργασιών

Για το πρόβλημα αυτό θα κάνουμε τις εξής παραδοχές:

- Όλες οι εργασίες έχουν διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας αλλά ο ρυθμός εργασίας του γερανού είναι σταθερός.

- Μόλις ο γερανός αρχίσει να κάνει μία δουλειά, πρέπει να την τελειώσει χωρίς παύση ή μετακίνηση,
- Δύο γερανοί δεν μπορούν να κάνουν δύο δουλειές ταυτόχρονα αν οι βραχίονες τους διασταυρώνονται. Οι γερανοί από την μία πλευρά της αποβάθρας πάνω σε ράγες ενώ οι εργασίες αναφέρονται στα πλοία που βρίσκονται αγκυροβολημένα στην άλλη πλευρά της αποβάθρας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη:

Δείκτες:

i, j : Ο αριθμός των εργασιών

k, l : Ο αριθμός των γερανών

Παράμετροι:

m : Ο αριθμός των γερανών

n : Ο αριθμός των εργασιών

p_i : Ο χρόνος επεξεργασίας της εργασίας i ($1 \leq i \leq n$)

$BigM$: Ένας μεγάλος ακέραιος αριθμός

Μεταβλητές απόφασης:

c_i : Ακέραια μεταβλητή η οποία αναπαριστά τον χρόνο ολοκλήρωσης της εργασίας i ($1 \leq i \leq n$)

C_{max} : Ακέραια μεταβλητή η οποία αναπαριστά τον τελευταίο χρόνο ολοκλήρωσης μεταξύ όλων των εργασιών

x_{ik} : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν και μόνο αν η εργασία i ανατίθεται στον γερανό k ($1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m$), και 0 αν όχι

y_{ij} : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν και μόνο αν η εργασία i ολοκληρωθεί πριν από την εκκίνηση της εργασίας j που σημαίνει $c_i \leq c_j - p_j$ ($1 \leq i, j \leq n$), και 0 αν όχι

z_{ijkl} : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν και μόνο αν η εργασία ανατίθεται στο γερανό k και η εργασία j ανατίθεται στο γερανό l , και 0 αν όχι

Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου, σύμφωνα με τους Y. Zhu και A. Lim είναι η εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση:

$$\text{Min } C_{\max} \quad (1)$$

Περιορισμοί:

$$C_{\max} \geq c_i \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

$$c_i - p_i \geq 0 \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ik} = 1 \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

$$z_{ijkl} \leq x_{ik} \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \quad (5)$$

$$z_{ijkl} \leq x_{jl} \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \quad (6)$$

$$x_{ik} + x_{jl} - 1 \leq z_{ijkl} \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \quad (7)$$

$$c_i - (c_j - p_j) + y_{ij} * \text{BigM} \geq 0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq n \quad (8)$$

$$c_i - (c_j - p_j) - (1 - y_{ij}) * \text{BigM} \leq 0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq n \quad (9)$$

$$y_{ij} + y_{ji} \geq z_{ijkk} \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, i \neq j, \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (10)$$

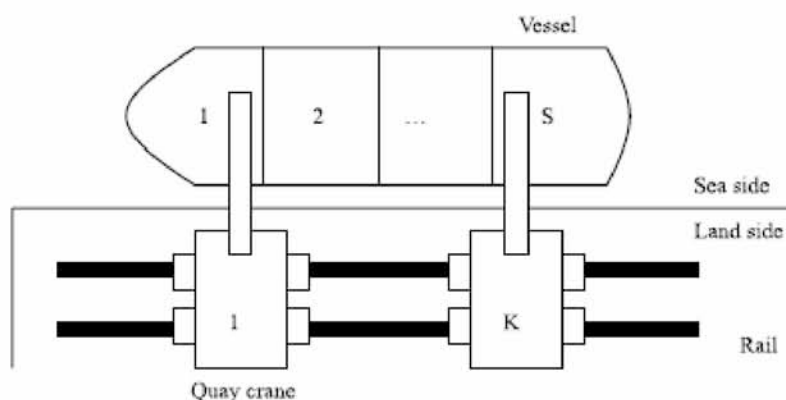
$$y_{ij} + y_{ji} \geq z_{ijkl} \quad \forall 1 \leq i < j \leq n, \quad \forall 1 \leq l < k \leq m \quad (11)$$

Στην παραπάνω αριθμητική μελέτη η εξίσωση (1) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση και προσδιορίζει την ελαχιστοποίηση του χρόνου ολοκλήρωσης όλων των εργασιών. Οι εξισώσεις (2) και (3) καθορίζουν τις ιδιότητες των μεταβλητών C_{\max} και c_i . Η εξίσωση (4) εξασφαλίζει ότι μια εργασία ανατίθεται σε ακριβώς ένα γερανό. Οι εξισώσεις (5), (6) και (7) καθορίζουν την μεταβλητή z . Οι εξισώσεις (8) και (9) προσδιορίζουν την τιμή της μεταβλητής y : ο περιορισμός (8) υποδεικνύει ότι $y_{ij}=1$ αν $c_i \leq (c_j - p_j)$ το οποίο σημαίνει ότι $y_{ij}=1$ όταν η εργασία i ολοκληρωθεί πριν από την εκκίνηση της εργασίας j και ο περιορισμός (9) υποδεικνύει ότι $y_{ij}=0$ αν $c_i > (c_j - p_j)$ το οποίο σημαίνει ότι $y_{ij}=0$ όταν η εργασία i ολοκληρωθεί μετά από την εκκίνηση της εργασίας j . Ο περιορισμός (10) εξασφαλίζει ότι οι

εργασίες που ανατίθενται σε ένα γερανό δεν μπορούν να καλυφθούν από αλλού. Τέλος ο περιορισμός (11) καθορίζει ότι αν η εργασία i που ανατίθεται στο γερανό k και η εργασία j που ανατίθεται στο γερανό l ταυτόχρονα, τότε $i < j$ αν και μόνο αν $k < l$.

2.2) Παρουσίαση δεύτερης μοντελοποίησης του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών στην αποβάθρα

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα μοντέλο προγραμματισμού των γερανών στην αποβάθρα όπου εκτός από τον περιορισμό μη διασταύρωσης λαμβάνεται υπ' όψιν και ο χρόνος μετακίνησης του γερανού. Για την καλύτερη κατανόηση του μοντέλου θεωρούμε ένα πλοίο όπως φαίνεται στην εικόνα 16 το οποίο βρίσκεται στην προβλήτα και ένα συγκεκριμένο αριθμό γερανών ο οποίος έχει ανατεθεί στο πλοίο αυτό. Οι γερανοί προκειμένου να φορτώσουν/ξεφορτώσουν το πλοίο μετακινούνται πάνω σε ράγες. Μόλις ένας γερανός τελειώσει την εργασία στο κομμάτι που του έχει ανατεθεί περιμένει μέχρι την επόμενη ανάθεση. Εάν δεν υπάρχει επιπλέον ανάθεση ο γερανός παραμένει στο συγκεκριμένο κομμάτι. Το καράβι αναχωρεί από την προβλήτα μόλις ολοκληρωθούν όλες οι εργασίες των γερανών.



Εικόνα 17. Περιγραφή του προβλήματος προγραμματισμού των γερανών

Οι παραδοχές που κάνουμε για το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι οι ακόλουθες:

- Ο συνολικός φόρτος εργασίας διακρίνεται σε N μονάδες εργασίας και το καράβι μπορεί να χωριστεί σε S χώρους. Υπάρχουν W_j μονάδες εργασίας για κάθε χώρο $j=1,2,3,\dots,S$. Ο διαχωρισμός βασίζεται συνήθως στην απόσταση ασφαλείας που απαιτείται από κάθε γερανό ενώ εργάζεται, το οποίο εξαρτάται από τον τύπο του γερανού. Σημειώνεται ότι κάθε μονάδα εργασίας μπορεί να περιέχει ένα σύνολο από containers,
- Σε κάθε χώρο μπορεί να εργαστεί μόνο ένας γερανός τη φορά. Για παράδειγμα δεν μπορούν να εργαστούν δύο γερανοί στον ίδιο χώρο την ίδια στιγμή,

- Δεν επιτρέπεται να επιλέξουν οι γερανοί που θα εργαστούν. Για παράδειγμα, μόλις ο γερανός αρχίσει να εργάζεται σε ένα χώρο δεν θα σταματήσει μέχρι να δουλεύει σε ένα χώρο δεν θα σταματήσει μέχρι να τελειώσει το φόρτωμα/ξεφόρτωμα όλων των container αυτού του χώρου,
- Ένας γερανός μπορεί να κινηθεί από τον ένα χώρο στον άλλο πάνω σε ράγες. Οπότε και θεωρείται ο χρόνος μετακίνησης μεταξύ δύο συνεχόμενων χώρων ένας σταθερός αριθμός (σημειώνεται ως ν). Υποτίθεται ότι κάθε μονάδα του χρόνου είναι ίση με ν ,
- Κανένας γερανός δεν μπορεί να προσπεράσει τον άλλον αφού κινούνται πάνω σε ράγες,
- Όλοι οι γερανοί έχουν τον ίδιο χρόνο εξυπηρέτησης μ . Για παράδειγμα υπάρχουν μ μονάδες εργασίας που εξυπηρετούνται στην μονάδα του χρόνου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την μελέτη:

Δείκτες:

i, j : Χώρος

k, l : Χρόνος

Παράμετροι:

S : Πλήθος των εργασιών

T_{\max} : Χρονικός ορίζοντας που τέθηκε κατά τον σχεδιασμό

m : Ρυθμός εξυπηρέτησης του κάθε γερανού

W_l : Μονάδα εργασίας του χώρου l

b_j : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν υπάρχει από την αρχή ο γερανός στο χώρο $j=1, \dots, S$ στην αρχή της χρονικής περιόδου και 0 αν όχι

M : Ένας μεγάλος ακέραιος αριθμός

Μεταβλητές απόφασης:

$z_{j,j'}^{t,t+1}$: Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν υπάρχουν γερανοί που μετακινούνται από το χώρο j στο j' και 0 αν όχι

$y_{j,j}^{t,t+1}$: Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν υπάρχουν γερανοί που εργάζονται στο χώρο j κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου t και 0 αν όχι

x_{jt} : Δυαδική μεταβλητή η οποία ισούται με 1 αν έμεινε φόρτος εργασίας στον χώρο j στην αρχή της χρονικής περιόδου t και 0 αν όχι

w_{jt} : μεταβλητή η οποία παριστάνει το παραμένον φορτίο εργασίας στον χώρο j στην αρχή της χρονικής περιόδου t

$mspan$: Ο χρόνος που χρειάζεται να τελειώσει η τελευταία διεργασία

Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου είναι η εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{Min } mspan \quad (12)$$

Περιορισμοί:

$$t * x_{jt} \leq mspan \quad j = 1, \dots, S \quad t = 1, \dots, T_{max} \quad (13)$$

$$w_{jt} - M * x_{jt} \leq 0 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 1, \dots, T_{max} \quad (14)$$

$$w_{j,t-1} - m y_{j,j}^{t-1,t} \leq w_{jt} \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} \quad (15)$$

$$z_{j,j+1}^{t,t+1} + z_{j,j-1}^{t,t+1} + z_{j,j}^{t,t+1} = b_j \quad j = 1, \dots, S \quad t = 1 \quad (16)$$

$$z_{j-1,j}^{t-1,t} + z_{j,j}^{t-1,t} + z_{j+1,j}^{t-1,t} - z_{j,j+1}^{t,t+1} - z_{j,j-1}^{t,t+1} - z_{j,j}^{t,t+1} = 0 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} - 1 \quad (17)$$

$$z_{j-1,j}^{t-1,t} + z_{j,j}^{t-1,t} + z_{j+1,j}^{t-1,t} = z_{j,1}^{t,t+1} \quad j = 1, \dots, S \quad t = T_{max} \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^S z_{j,1}^{t-1,t} = \sum_{j=1}^S b_j \quad t = T_{max} + 1 \quad (19)$$

$$z_{j-1,j}^{t-1,t} + z_{j,j}^{t-1,t} + z_{j+1,j}^{t-1,t} \leq 1 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} \quad (20)$$

$$z_{j-1,j}^{t-1,t} + z_{j,j-1}^{t-1,t} \leq 1 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} \quad (21)$$

$$y_{j,j}^{t-1,t} - z_{j,j}^{t-1,t} \leq 0 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} \quad (22)$$

$$y_{j,j}^{t-1,t} + x_{jt} - y_{j,j}^{t,t+1} \leq 1 \quad j = 1, \dots, S \quad t = 2, \dots, T_{max} - 1 \quad (23)$$

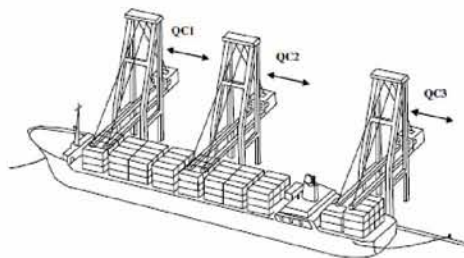
$$w_{jt} \geq 0 \quad (24)$$

$$w_{j1} = W_1 \quad (25)$$

Στην παραπάνω αριθμητική μελέτη η εξίσωση (12) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος και προσδιορίζει την ελαχιστοποίηση του χρόνου που χρειάζεται να τελειώσει και η τελευταία διεργασία. Η εξίσωση (13) καθορίζει τον χρόνο ολοκλήρωσης της τελευταίας διεργασίας. Η εξίσωση (14) δηλώνει αν έχει μείνει φόρτος εργασίας στο χώρο j την χρονική στιγμή t ενώ η εξίσωση (15) εξασφαλίζει την ισορροπία της ροής του φόρτου εργασίας. Οι εξισώσεις (16) έως (19) εξασφαλίζουν την διατήρηση της ροής του δικτύου. Η εξίσωση (20) υποδεικνύει ότι σε κάθε μονάδα του χρόνου ο κάθε χώρος μπορεί να απασχολήσει μόνο ένα γερανό την φορά. Η εξίσωση (21) εξασφαλίζει ότι οι γερανοί δεν μπορούν να περάσουν ο ένας τον άλλον ενώ η εξίσωση (22) ότι ένας γερανός μπορεί να παύσει να εργάζεται λόγω έλλειψης έργου κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου t . Η εξίσωση (23) αναπαριστά τον περιορισμό για την αποφυγή προτεραιότητας δηλαδή ένας γερανός εκεί που θα αρχίσει να δουλεύει εκεί και θα τελειώσει πριν μετακινηθεί σε άλλο χώρο. Τέλος ο περιορισμός (24) δηλώνει ότι πρέπει να υπάρχει ένα αρχικό πλήθος μονάδων εργασίας για να ξεκινήσει το έργο, ενώ ο περιορισμός (25) εξασφαλίζει ότι το παραμένον φορτίο θα είναι θετικός αριθμός.

2.3) Προγραμματισμός γερανών σε αποβάθρα λαμβάνοντας υπ' όψιν την σχέση των θέσεων εργασίας

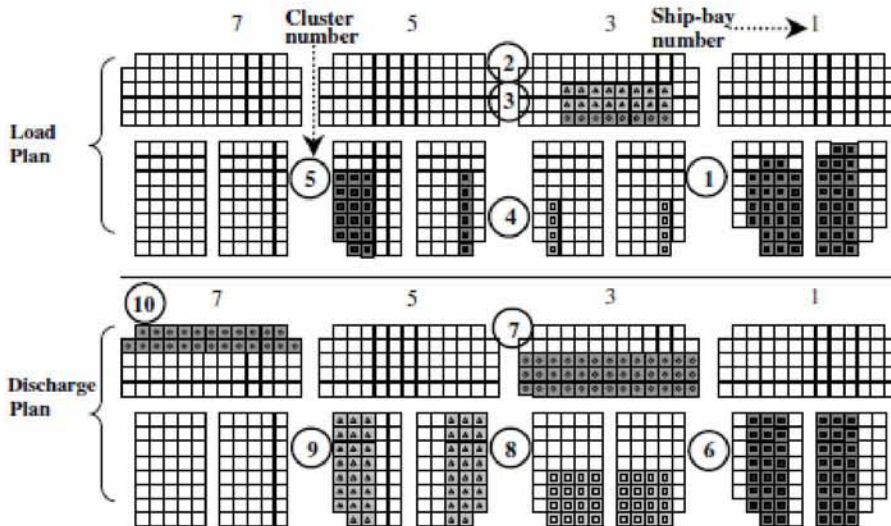
Στόχος του συγκεκριμένου μοντέλου είναι να καθορίσει την αλληλουχία των διεργασιών φορτώματος/ξεφορτώματος που θα εκτελέσει ο γερανός με σκοπό την μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης των διεργασιών.



Εικόνα 18. Γερανοί που δουλεύουν σ' ένα πλοίο

Στην εικόνα 18 παρουσιάζεται το σχέδιο στοιβάσις ενός πλοίου. Το συγκεκριμένο σχέδιο χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα τα οποία αριθμούνται από το 1 έως το 7. Κάθε ένα μικρότερο κομμάτι αναπροσωπεύει μια «slot». Τα γραμμοσκιασμένα κομμάτια αναφέρονται σε συστάδες οι οποίες πρέπει να φορτωθούν/ξεφορτωθούν. Στην εικόνα 18 φαίνονται τέσσερις

ομάδες container που πρέπει να ξεφορτωθούν από 5 συστάδες των «slots» και τέσσερις ομάδες από container θα πρέπει να φορτωθούν σε 5 συστάδες των «slots».



Εικόνα 19. Παράδειγμα σχεδίου στοιβασίας ενός πλοίου

Στο συγκεκριμένο μοντέλο ορίζεται ως εργασία η διαδικασία φορτώματος/ξεφορτώματος μιας συστάδας. Υποθέτουμε ότι όταν ένας γερανός αρχίσει να φορτώνει/ξεφορτώνει container σε/από μία συστάδα των «slots» θα συνεχίσει μέχρι τα «slots» της συστάδας να είναι άδεια/γεμάτα. Όταν η διαδικασία φορτώματος και ξεφορτώματος συμβαίνει στο ίδιο πλοίο τότε το ξεφόρτωμα προηγείται της διαδικασίας φορτώματος. Όταν πραγματοποιείται η διαδικασία ξεφορτώματος σ' ένα πλοίο τότε πρώτα ξεφορτώνεται το κατάστρωμα και έπειτα το αμπάρι του πλοίου. Το αντίθετο συμβαίνει κατά την διαδικασία φόρτωσης. Για τον λόγο αυτό δημιουργούνται σχέσεις προτεραιότητας ανάμεσα στις συστάδες. Ορισμένα ζευγάρια εργασιών δεν μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα όταν οι θέσεις των δύο συστάδων που αφορούν μια εργασία είναι πολύ κοντά κι αυτό γιατί δύο γειτονικοί γερανοί θα πρέπει να χωρίζονται μεταξύ τους κατά ένα τμήμα προκειμένου να εκτελούν ταυτόχρονα την εργασία τους χωρίς παρεμβολές. Επιπλέον αν τα containers από δύο διαφορετικές εργασίες, που εκτελούνται από δύο διαφορετικούς γεραμούς, πρέπει να τοποθετηθούν στην ίδια θέση οι εργασίες δεν μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα γιατί αυτό θα δημιουργήσει θέμα στους γεραμούς. Έτσι λόγω των παραπάνω στο συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Κάθε γερανός λειτουργεί μόλις γίνει διαθέσιμος,
- Οι γερανοί κινούνται πάνω στις ίδιες ράγες και γι αυτό το λόγο δεν μπορούν να προσπεράσουν ο ένας τον άλλον,

- Κάποιες εργασίες πρέπει να προηγηθούν κάποιον άλλων,
- Υπάρχουν εργασίες οι οποίες δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την μελέτη:

Δείκτες:

i, j : Αριθμός διεργασιών που πρέπει να γίνουν

k : Αριθμός των γερανών

Ω : Το σύνολο όλων των εργασιών

Ψ : Το σύνολο των εργασιών που δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα. Όταν μια εργασία i και μία εργασία j δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα τότε $(i, j) \in \Psi$

Φ : Το σύνολο των εργασιών με σχέση προτεραιότητας. Όταν η εργασία i πρέπει να προηγηθεί της εργασίας j τότε $(i, j) \in \Phi$

Παράμετροι:

r_i : Χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διεργασίας i

r_k : Ο συντομότερος διαθέσιμος χρόνος του γερανού k

l_i : Η τοποθεσία της διεργασίας i

l_{0k} : Η θέση εκκίνησης του γερανού k

l_{Tk} : Η τελική θέση του γερανού k

t_{ij} : Χρόνος μετακίνησης του γερανού από την τοποθεσία διεργασίας i στην τοποθεσία διεργασίας j

M : Ένας μεγάλος ακέραιος αριθμός

Μεταβλητές απόφασης:

X_{ijk} : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν ο γερανός k θα κάνει την διεργασία j ακριβώς μετά την διεργασία i και 0 αν όχι

Y_k : Χρόνος ολοκλήρωσης του γερανού k

D_i : Χρόνος ολοκλήρωσης της εργασίας i

W : Ο χρόνος ολοκλήρωσης όλων των εργασιών

Z_{ij} : Δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 αν η διεργασία j ξεκινά μετά τον χρόνο ολοκλήρωσης της διεργασίας i και 0 αν όχι

Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου είναι η εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\text{Min } W + \sum_{k=1}^{kmax} Y_k \quad (26)$$

Περιορισμοί:

$$Y_k \leq W \quad \forall k = 1, \dots, kmax \quad (27)$$

$$\sum_{j \in \Omega} x_{k0j} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, kmax \quad (28)$$

$$\sum_{i \in \Omega} x_{kiT} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, kmax \quad (29)$$

$$\sum_k^{kmax} \sum_{i \in \Omega} x_{kij} = 1 \quad \forall j \in \Omega \quad (30)$$

$$\sum_j x_{kij} - \sum_j x_{kji} = 0 \quad \forall k = 1, \dots, kmax, \quad \forall i \in \Omega \quad (31)$$

$$D_i + t_{ij} + p_j - D_j \leq M(1 - x_{kij}) \quad \forall i, j \in \Omega \quad k = 1, \dots, kmax \quad (32)$$

$$D_i + p_j \leq D_j \quad \forall i, j \in \Phi \quad (33)$$

$$D_i - D_j + p_j \leq M(1 - Z_{ij}) \quad \forall i, j \in \Omega \quad (34)$$

$$Z_{ij} + Z_{ji} = 1 \quad \forall i, j \in \Psi \quad (35)$$

$$D_j + t_{kjT} - Y_k \leq M(1 - x_{kij}) \quad \forall j \in \Omega, \quad \forall k = 1, \dots, kmax \quad (36)$$

$$r_k - D_j + t_{k0j} + p_j \leq M(1 - x_{k0j}) \quad \forall j \in \Omega, \quad \forall k = 1, \dots, kmax \quad (37)$$

$$Y_k, D_i \geq 0 \quad \forall i \in \Omega \quad k = 1, \dots, kmax \quad (38)$$

$$\sum_{k=1}^{kmax} \sum_{i=0}^{imax} X_{ijk} + \sum_{k=1}^{kmax} \sum_{i=0}^{imax} X_{jik} \leq M(Z_{ij} - Z_{ji}) \quad \forall i, j \in \Omega, l_i < l_j, k = 1, \dots, kmax \quad (39)$$

Στην παραπάνω αριθμητική μελέτη η εξίσωση (26) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος και προσδιορίζει την ελαχιστοποίηση του χρόνου που χρειάζεται για να τελειώσει και η τελευταία εργασία. Ο περιορισμός (27) δηλώνει ότι ο χρόνος διεκπεραίωσης όλων των εργασιών θα είναι μεγαλύτερος από το χρόνο ολοκλήρωσης του κάθε γερανού. Οι περιορισμοί (28) και (29) επιλέγουν την πρώτη και την τελευταία εργασία για κάθε γερανό. Ο περιορισμός (30) διασφαλίζει ότι κάθε εργασία εκτελείται από ένα γερανό ενώ ο περιορισμός (31) διασφαλίζει την ισορροπημένη ροή, δηλαδή όλες οι εργασίες γίνονται με σωστή αλληλουχία. Ο περιορισμός (32) καθορίζει τον χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας, ενώ ο περιορισμός (33) υποδηλώνει ότι η εργασία i ολοκληρώνεται πριν την εργασία j . Ο περιορισμός (34) καθορίζει το Z_{ij} , ενώ ο περιορισμός (35) εξασφαλίζει ότι η εργασία i και η εργασία j δεν θα γίνουν ταυτόχρονα όταν $(i,j) \in \Psi$. Ο περιορισμός (36) προσδιορίζει τον χρόνο ολοκλήρωσης του κάθε γερανού, ενώ ο περιορισμός (37) εξασφαλίζει ότι ο γερανός δεν θα ξεκαθήσει να δουλεύει νωρίτερα από τον προκαθορισμένο χρόνο εκκίνησης. Ο περιορισμός (38) εξασφαλίζει την θετικότητα των μεταβλητών Y_k και D_i . Τέλος ο περιορισμός (39) εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρξουν παρεμβολές μεταξύ των γερανών δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι οι εργασίες i και j θα συμβούν ταυτόχρονα με $i \leq j$. Αυτό σημαίνει ότι $Z_{ij} + Z_{ji} = 1$. Σημειώνεται ότι οι γερανοί και οι εργασίες έχουν την ίδια αύξουσα σειρά στην ίδια κατεύθυνση με τα μέρη στα οποία έχει χωριστεί το πλοίο. Υποθέτουμε για $k_1 \leq k_2$ ότι ο γερανός k_1 θα εκτελέσει την εργασία j και ο γερανός k_2 την εργασία i . Αυτό συνεπάγεται παρεμβολή μεταξύ των γερανών. Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση $\sum_{k=1}^{kmax} \sum_{i=0}^{imax} X_{ijk} + \sum_{k=1}^{kmax} \sum_{i=0}^{imax} X_{jik} = 1$ το οποίο δεν επιτρέπεται λόγω του περιορισμού (39) άρα $Z_{ij} + Z_{ji} = 0$

Στο επόμενο κεφάλαιο που ακολουθεί, οι μοντελοποιήσεις που παρουσιάστηκαν επιλύονται και γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τα μοντέλα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2 επιλύονται αριθμητικά σε αυτήν την ενότητα. Η επίλυση όλων των παρακάτω παραδειγμάτων έγινε στο εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε ήταν τα εξής:

- Επεξεργαστής: Intel(R) Core(TM) i5-3330 CPU @3.00GHz,
- Εγκατεστημένη μνήμη: 16.00 GB,
- Λογισμικό: Windows 7 Professional 64-bit.

Χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και σε γραφικό περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2010.

3.1) Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την πρώτη μοντελοποίηση

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 7 για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.1, που αφορά την ελαχιστοποίηση του τελευταίου χρόνου ολοκλήρωσης μεταξύ όλων των εργασιών λαμβάνοντας υπ' όψιν τον περιορισμό μη διασταύρωσης για τους γερανούς, επιλύθηκαν εννέα παραδείγματα. Τα παραδείγματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες:

- Μικρού μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 1, 2 και 3 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[10,40]$,
- Μεσαίου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 4, 5 και 6 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[10,50]$,
- Μεγάλου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 7, 8 και 9 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[50,150]$.

	Αριθμός εργασιών n	Αριθμός γερανών m
Παράδειγμα 1	10	3
Παράδειγμα 2	8	4
Παράδειγμα 3	11	4
Παράδειγμα 4	13	4
Παράδειγμα 5	14	3
Παράδειγμα 6	15	4
Παράδειγμα 7	30	5
Παράδειγμα 8	50	3

Παράδειγμα 9	70	5
---------------------	----	---

Πίνακας 7. Αριθμός εργασιών και γερανών που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.1

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 8, που αφορά την πρώτη μοντελοποίηση, παρατηρούμε ότι και για τα εννιά παραδείγματα δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στον χρόνο επίλυσής τους.

	Χρόνος επίλυσης (sec)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης
Παράδειγμα 1	0.03	38
Παράδειγμα 2	0.02	38
Παράδειγμα 3	0.03	28
Παράδειγμα 4	0.03	48
Παράδειγμα 5	0.02	28
Παράδειγμα 6	0.03	36
Παράδειγμα 7	0.03	141
Παράδειγμα 8	0.03	141
Παράδειγμα 9	0.06	145

Πίνακας 8. Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.1

3.2) Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την δεύτερη μοντελοποίηση

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 9 για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.2, που αφορά την ελαχιστοποίηση του χρόνου όλων των διεργασιών σ' ένα πλοίο λαμβάνοντας υπ' όψιν και τον περιορισμό μη διασταύρωσης αλλά και το χρόνο μετακίνησης των γερανών, επιλύθηκαν εννέα παραδείγματα. Τα συγκεκριμένα παραδείγματα και σε αυτή την περίπτωση χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Μικρού μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 1, 2 και 3 όπου ο αριθμός των εργασιών στο πλοίο είναι μικρός $S \leq 11$
- Μεσαίου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 4, 5 και 6 όπου ο αριθμός των εργασιών στο πλοίο είναι $11 \leq S \leq 15$
- Μεγάλου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 7, 8 και 9 όπου ο αριθμός των εργασιών στο πλοίο είναι $30 \leq S \leq 70$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα είναι διακριτού χρόνου και το T_{max} αφορά τον χρονικό ορίζοντα μέσα στον οποίο θέλουμε να γίνουν οι εργασίες. Ουσιαστικά αποτελεί ένα άνω όριο για την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

	Πλήθος χώρων εργασίας S	Αριθμός γερανών	Χρονικός ορίζοντας T_{max}
Παράδειγμα 1	10	3	10
Παράδειγμα 2	8	4	10
Παράδειγμα 3	11	4	10
Παράδειγμα 4	13	4	10
Παράδειγμα 5	14	3	10
Παράδειγμα 6	15	4	10
Παράδειγμα 7	30	5	20
Παράδειγμα 8	50	3	20
Παράδειγμα 9	70	5	20

Πίνακας 9. Αριθμός εργασιών, αριθμός γερανών και χρονικός ορίζοντας που τέθηκε για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.2

Όπως παρατηρούμε στον πίνακα 10 που αφορά τα αποτελέσματα της δεύτερης μοντελοποίησης ο χρόνος επίλυσης των παραδειγμάτων (ανεξαρτήτως μεγέθους παραδείγματος) δεν διαφέρει σημαντικά.

	Χρόνος επίλυσης (sec)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης
Παράδειγμα 1	0.01	9
Παράδειγμα 2	0.01	9
Παράδειγμα 3	0.02	9
Παράδειγμα 4	0.02	9
Παράδειγμα 5	0.02	9
Παράδειγμα 6	0.03	9
Παράδειγμα 7	0.03	19
Παράδειγμα 8	0.05	19
Παράδειγμα 9	0.06	19

Πίνακας 10. Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.2

3.3) Παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων για την τρίτη μοντελοποίηση

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 11 για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.3, που αφορά την ελαχιστοποίηση του χρόνου όλων των διεργασιών σ' ένα πλοίο λαμβάνοντας υπ' όψιν την σχέση των θέσεων εργασίας επιλύθηκαν εννέα παραδείγματα. Τα παραδείγματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες:

- Μικρού μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 1, 2 και 3 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[10,40]$,
- Μεσαίου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 4, 5 και 6 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[10,50]$,
- Μεγάλου μεγέθους: αφορά τα παραδείγματα 7, 8 και 9 όπου ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε εργασίας $p[i]$ παίρνει τιμές στο σύνολο $[50,150]$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για το συγκεκριμένο μοντέλο τα επιπλέον δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυσή του είναι:

- t_k : αφορά τον συντομότερο διαθέσιμο χρόνο του γερανού και οι τιμές που δόθηκαν ανήκουν στο σύνολο $[0.90, 0.99]$,
- l_{0k}, l_{Tk} : αφορά την αρχική και τελική θέση του γερανού αντίστοιχα και οι τιμές που δόθηκαν είναι ακέραιοι αριθμοί που ανήκουν στο σύνολο $[1,7]$ όσες είναι και οι «slots» που χωρίσαμε την επιφάνεια του πλοίου,
- l_i : αφορά την τοποθεσία της κάθε διεργασίας και οι τιμές που δόθηκαν είναι ακέραιοι αριθμοί που ανήκουν στο σύνολο $[1,7]$ όσες είναι και οι «slots» που χωρίσαμε την επιφάνεια του πλοίου,
- t_{ij} : αφορά τον χρόνο μετακίνησης του γερανού και στα συγκεκριμένα παραδείγματα $t_{ij}=1$

	Αριθμός εργασιών n	Αριθμός γεραμών m
Παράδειγμα 1	10	3
Παράδειγμα 2	8	4
Παράδειγμα 3	11	4
Παράδειγμα 4	13	4
Παράδειγμα 5	14	3
Παράδειγμα 6	15	4
Παράδειγμα 7	30	5
Παράδειγμα 8	50	3

Παράδειγμα 9	70	5
---------------------	----	---

Πίνακας 11. Αριθμός εργασιών και γερανών που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση της μοντελοποίησης της ενότητας 2.3

Όπως παρατηρούμε στον πίνακα 12 που αφορά τα αποτελέσματα της τρίτης μοντελοποίησης ο χρόνος επίλυσης των παραδειγμάτων δεν διαφέρει σημαντικά κυρίως για τα παραδείγματα 1, 2, 3 (μικρά) και τα παραδείγματα 3,4 και 5 (μεσαία). Παρατηρούμε μια μικρή αύξηση του χρόνου επίλυσης για τα παραδείγματα 7,8 και 9 (μεγάλα) λόγω της αύξησης των τιμών που δώσαμε στα δεδομένα μας.

	Χρόνος επίλυσης (sec)	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης
Παράδειγμα 1	0.03	1376
Παράδειγμα 2	0.03	1335
Παράδειγμα 3	0.03	1405
Παράδειγμα 4	0.05	2885
Παράδειγμα 5	0.03	2500
Παράδειγμα 6	0.05	2525
Παράδειγμα 7	0.09	24540
Παράδειγμα 8	0,13	27640
Παράδειγμα 9	0,36	50030

Πίνακας 12. Παρουσίαση αριθμητικών αποτελεσμάτων για την μοντελοποίηση της ενότητας 2.3

Σύγκριση μεταξύ των τριών μοντέλων δεν είναι εφικτή κι αυτό γιατί κάθε ένα από τα τρία μοντέλα λαμβάνουν υπ' όψιν τους διαφορετικές παραδοχές. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω το πρώτο μοντέλο λαμβάνει υπ' όψιν του τον περιορισμό μη διασταύρωσης για τους γερανούς, το δεύτερο τον περιορισμό μη διασταύρωσης αλλά και το χρόνο μετακίνησης των γερανών ενώ το τρίτο την σχέση των θέσεων εργασίας. Θα μπορούσαμε όμως να πούμε, παρατηρώντας τα αποτελέσματα που βρίσκονται στους πίνακες 8, 10 και 12, ότι το μοντέλο 1 παρουσιάζει καλύτερους χρόνους επίλυσης και χαμηλότερες τιμές στην αντικειμενική συνάρτηση (πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι για το μοντέλο 2 οι τιμές της αντικειμενικής εξαρτώνται από το Tmax) ενώ το μοντέλο 3 παρουσιάζει αρκετά μεγάλες τιμές αντικειμενικής σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα. Τέλος στο μοντέλο τρία για τα παραδείγματα 7, 8 και 9 (μεγάλα παραδείγματα) οι χρόνοι επίλυσης είναι λίγο πιο μεγάλοι σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά, έγινε μια περιγραφή της εξέλιξης καθώς και της λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ, της χρήσης των εμπορευματοκιβωτίων στις θαλάσσιες μεταφορές και έγινε ανάλυση της δομής του εξοπλισμού καθώς και των λειτουργιών που γίνονται σ' ένα ΣΕΜΠΟ. Ακολούθησε η περιγραφή των τριών μοντέλων που αφορούν των προγραμματισμό των γερανών σ' ένα λιμάνι και έπειτα επιλύθηκαν διάφορα παραδείγματα με την χρήση της Cplex. Και οι τρεις μοντελοποιήσεις επιτυγχάνουν την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης ενός πλοίου. Η πρώτη λαμβάνοντας υπ' όψιν το περιορισμό μη διασταύρωσης των γερανών. Η δεύτερη λαμβάνοντας υπ' όψιν και το χρόνο μετακίνησης του γερανού και δίνοντας μας την δυνατότητα να ορίσουμε εμείς τον μέγιστο χρόνο όλων των διεργασιών ενώ η τρίτη λαμβάνοντας υπ' όψιν την σχέση των θέσεων εργασίας. Και οι τρεις μοντελοποιήσεις μας έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα για το αριθμητικό μέγεθος των παραδειγμάτων που επιλύθηκαν. Τέλος, επειδή σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν μπορεί να γίνει λόγω της διαφορετικότητας των μοντέλων, έγινε ένας σχολιασμός για τους χρόνους και τις τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κώδικες που δημιουργήθηκαν για την επίλυση των τριων μοντελοποιήσεων.

1^η μοντελοποίηση (γερανοί 3 – εργασίες 10)

```
#include <ilcplex/ilocplex.h>
```

```
ILOSTLBEGIN
```

```
int i,j,k,l;
```

```
const int m=3; //plithos geranwn
```

```
const int n=10; //plithos ergasiwn
```

```
const int BigM=100000;
```

```
int
```

```
main (int argc, char **argv)
```

```
{
```

```
double p[n]; //xronos epeksergasias ergasias i
```

```
for (i=0;i<n;i++){
```

```
    p[i]=0;
```

```
}
```

```
p[0]=17.0;
```

```
p[1]=26.5;
```

p[2]=37.5;

p[3]=16.6;

p[4]=27.4;

p[5]=32.7;

p[6]=37.3;

p[7]=34.8;

p[8]=21.3;

p[9]=25.8;

IloEnv env;

try {

IloModel model (env);

typedef IloArray<IloNumArray> IloNumMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumMatrix2x2> IloNumMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumMatrix3x3> IloNumMatrix4x4;

typedef IloArray<IloNumVarArray> IloNumVarMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix2x2> IloNumVarMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix3x3> IloNumVarMatrix4x4;

typedef IloArray<IloRangeArray> IloRangeMatrix2x2;

typedef IloArray<IloRangeMatrix2x2> IloRangeMatrix3x3;

```
typedef IloArray<IloRangeMatrix 3x3> IloRangeMatrix4x4;
```

```
IloCplex cplex(env);
```

```
//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Ci -----
```

```
IloNumVarArray Ci(env,0);
```

```
for (i=0;i<n;i++){
```

```
    char Completion_Time_Job_i[90];
```

```
    sprintf(Completion_Time_Job_i,"Ci(i%d)",i);
```

```
    IloNumVar C(env,0,1000000,ILOINT,Completion_Time_Job_i);
```

```
    Ci.add(C);
```

```
}
```

```
//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ CMAX -----
```

```
//IloNumVarArray CMAXi(env,0);
```

```
//for (i=0;i<n;i++){
```

```
    char Latest_completion_time[90];
```

```
    sprintf(Latest_completion_time,"CMAXi(i%d)",i);
```

```
    IloNumVar CMAX(env,0,1000000,ILOINT,Latest_completion_time);
```

```
// CMAXi.add(CMAX);
```

```
//}
```

```

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Xik -----
IloNumVarMatrix2x2 Xik(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloNumVarArray Xk(env,0);

    for (k=0;k<m;k++){

        char Job_i_assigned_Crane_k[90];

        sprintf(Job_i_assigned_Crane_k,"Xik(i%d,k%d)",i,k);

        IloNumVar X(env,0,1,ILOINT,Job_i_assigned_Crane_k);

        Xk.add(X);

    }

    Xik.add(Xk);

}

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Yij -----
IloNumVarMatrix2x2 Yij(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloNumVarArray Yj(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        char Job_i_starts_before_job_j[90];

        sprintf(Job_i_starts_before_job_j,"Yij(i%d,j%d)",i,j);

        IloNumVar Y(env,0,1,ILOINT,Job_i_starts_before_job_j);

        Yj.add(Y);

    }

    Yij.add(Yj);

}

```



```

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Zijkl -----

IloNumVarMatrix4x4 Zijkl(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloNumVarMatrix3x3 Zjkl(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        IloNumVarMatrix2x2 Zkl(env,0);

        for (k=0;k<m;k++){

            IloNumVarArray Zl(env,0);

            for (l=0;l<m;l++){

                char Which_Job_which_crane[90];

                sprintf(Which_Job_which_crane,"Zijkl(i%d,j%d,k%d,l%d)",i,j,k,l);

                IloNumVar Z(env,0,1,ILOINT,Which_Job_which_crane);

                Zl.add(Z);

            }

            Zkl.add(Zl);

        }

        Zjkl.add(Zkl);

    }

    Zijkl.add(Zjkl);

}

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ -----

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 1 -----
IloRangeArray C1i(env,0);

    for (i=0;i<n;i++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=CMAX-Ci[i];

        char Constraint1[90];

        sprintf(Constraint1,"C1(i%d)",i);

        float LB=0,UB=IloInfinity;

        IloRange C1(env,LB,expr,UB,Constraint1);

        model.add(C1);

        C1i.add(C1);

        expr.end();

    }

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 2 -----

IloRangeArray C2i(env,0);

    for (i=0;i<n;i++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Ci[i];

        char Constraint2[90];

        sprintf(Constraint2,"C2(i%d)",i);

        float LB=p[i],UB=IloInfinity;

        IloRange C2(env,LB,expr,UB,Constraint2);

```

```

        model.add(C2);

        C2i.add(C2);

        expr.end();

    }

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 3 -----

IloRangeArray C3i(env,0);

    for (i=0;i<n;i++){

        IloExpr expr(env,0);

        for (k=0;k<m;k++){

            expr+=Xik[i][k];

        }

        char Constraint3[90];

        sprintf(Constraint3,"C3(i%d)",i);

        int LB=1,UB=1;

        IloRange C3(env,LB,expr,UB,Constraint3);

        model.add(C3);

        C3i.add(C3);

        expr.end();

    }

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 4 -----

IloRangeMatrix4x4 C4ijkl(env,0);

```

```

for (i=0;i<n;i++){

    IloRangeMatrix3x3 C4jkl(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        IloRangeMatrix2x2 C4kl(env,0);

        for (k=0;k<m;k++){

            IloRangeArray C4l(env,0);

            for (l=0;l<m;l++){

                IloExpr expr(env,0);

                expr=Zijkl[i][j][k][l]-Xik[i][k];

                char Constraint4[90];

                sprintf(Constraint4,"C4ijkl(i%d,j%d,k%d,l%d)",i,j,k,l);

                float LB=-IloInfinity,UB=0;

                IloRange C4(env,LB,expr,UB,Constraint4);

                model.add(C4);

                C4l.add(C4);

                expr.end();

            }

            C4kl.add(C4l);

        }

        C4jkl.add(C4kl);

    }

    C4ijkl.add(C4jkl);

}

```

//-----

```

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 5 -----
IloRangeMatrix4x4 C5ijkl(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloRangeMatrix3x3 C5jkl(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        IloRangeMatrix2x2 C5kl(env,0);

        for (k=0;k<m;k++){

            IloRangeArray C5l(env,0);

            for (l=0;l<m;l++){

                IloExpr expr(env,0);

                expr=Zijkl[i][j][k][l]-Xik[j][l];

                char Constraint5[90];

                sprintf(Constraint5,"C5ijkl(i%d,j%d,k%d,l%d)",i,j,k,l);

                float LB=-IloInfinity,UB=0;

                IloRange C5(env,LB,expr,UB,Constraint5);

                model.add(C5);

                C5l.add(C5);

                expr.end();

            }

            C5kl.add(C5l);

        }

        C5jkl.add(C5kl);

    }

    C5ijkl.add(C5jkl);

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 6 -----
IloRangeMatrix4x4 C6ijkl(env,0);
for (i=0;i<n;i++){
    IloRangeMatrix3x3 C6jkl(env,0);
    for (j=0;j<n;j++){
        IloRangeMatrix2x2 C6kl(env,0);
        for (k=0;k<m;k++){
            IloRangeArray C6l(env,0);
            for (l=0;l<m;l++){
                IloExpr expr(env,0);
                expr=Xik[i][k]-Xik[j][l]-1-Zijkl[i][j][k][l];
                char Constraint6[90];
                sprintf(Constraint6,"C6ijkl(i%d,j%d,k%d,l%d)",i,j,k,l);
                float LB=-IloInfinity,UB=0;
                IloRange C6(env,LB,expr,UB,Constraint6);
                model.add(C6);
                C6l.add(C6);
                expr.end();
            }
            C6kl.add(C6l);
        }
        C6jkl.add(C6kl);
    }
}

```



```

C6ijkl.add(C6jkl);

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 7 -----

IloRangeMatrix2x2 C7ij(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloRangeArray C7j(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Ci[i]-(Ci[j]-p[j])+Yij[i][j]*BigM;

        char Constraint7[90];

        sprintf(Constraint7,"C7ij(i%d,j%d)",i,j);

        float LB=0,UB=IloInfinity;

        IloRange C7(env,LB,expr,UB,Constraint7);

        model.add(C7);

        C7j.add(C7);

        expr.end();

    }

    C7ij.add(C7j);

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 8 -----

IloRangeMatrix2x2 C8ij(env,0);

```

```

for (i=0;i<n;i++){
    IloRangeArray C8j(env,0);
    for (j=0;j<n;j++){
        IloExpr expr(env,0);
        expr=Ci[i]-(Ci[j]-p[j])-(1-Yij[i][j])*BigM;
        char Constraint8[90];
        sprintf(Constraint8,"C8ij(i%d,j%d)",i,j);
        float LB=-IloInfinity,UB=0;
        IloRange C8(env,LB,expr,UB,Constraint8);
        model.add(C8);
        C8j.add(C8);
        expr.end();
    }
    C7ij.add(C8j);
}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 9 -----

IloRangeMatrix3x3 C9ijk(env,0);
for (i=0;i<n;i++){
    IloRangeMatrix2x2 C9jk(env,0);
    for (j=0;j<n;j++){
        IloRangeArray C9k(env,0);
        for (k=0;k<m;k++){
            IloExpr expr(env);

```

```

        if (i!=j){
            expr=Yij[i][j]+Yij[j][i]-Zijkl[i][j][k][k];
        }

        char Constraint9[60];

        sprintf(Constraint9,"C9ijk(i%d,j%d,k%d)",i,j,k);

        float LB=0,UB=IloInfinity;

        IloRange C9(env,LB,expr,UB,Constraint9);

        model.add(C9);

        C9k.add(C9);

        expr.end();
    }

    C9jk.add(C9k);
}

C9ijk.add(C9jk);
}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 10 -----

IloRangeMatrix4x4 C10ijkl(env,0);

for (i=0;i<n;i++){

    IloRangeMatrix3x3 C10jkl(env,0);

    for (j=0;j<n;j++){

        IloRangeMatrix2x2 C10kl(env,0);

        for (k=0;k<m;k++){

            IloRangeArray C10l(env,0);

```

```

for (l=0;l<m;l++){

    IloExpr expr(env,0);

    if (i<j && l<k){

        expr=Yij[i][j]+Yij[j][i]-Zijkl[i][j][k][l];

    }

    char Constraint10[90];

    sprintf(Constraint10,"C10ijkl(i%d,j%d,k%d,l%d)",i,j,k,l);

    float LB=0,UB=IloInfinity;

    IloRange C10(env,LB,expr,UB,Constraint10);

    model.add(C10);

    C10l.add(C10);

    expr.end();

}

C10kl.add(C10);

}

C10jkl.add(C10kl);

}

C5ijkl.add(C10jkl);

}

//-----ANTIKEIMENIKH SYNAPTHSH-----

//-----

IloExpr expr1(env);

//for (i=0;i<n;i++){

```

```

        expr1=CMAX;

//}

model.add(IloMinimize(env, expr1));

expr1.end();

cplex.extract(model);

cplex.exportModel("QCSP-NON-CROSS.lp");

cplex.solve();

for (i=0;i<n;i++){

    int g = cplex.getValue(Ci[i]);

    if(g!=0) cout<<"Ci"<<"(" <<i<<")"<<"="<<g<<endl;

}

//for (i=0;i<n;i++){

    int g = cplex.getValue(CMAX);

    if(g!=0) cout<<"CMAX"<<"="<<g<<endl;

//}

for (i=0;i<n;i++){

```

```

for (k=0;k<m;k++){

    int g = cplex.getValue(Xik[i][k]);

    if(g!=0) cout<<"Xik"<<"("<<i<<","<<k<<)"<<"="<<g<<endl;

}

}

for (i=0;i<n;i++){

    for (j=0;j<n;j++){

        int g = cplex.getValue(Yij[i][j]);

        if(g!=0) cout<<"Yij"<<"("<<i<<","<<j<<)"<<"="<<g<<endl;

    }

}

for (i=0;i<n;i++){

    for (j=0;j<n;j++){

        for (k=0;k<m;k++){

            for (l=0;l<m;l++){

                int g = cplex.getValue(Zijkl[i][j][k][l]);

                if(g!=0)

cout<<"Zijkl"<<"("<<i<<","<<j<<","<<k<<","<<l<<)"<<"="<<g<<endl;

            }

        }

    }

}

```

```

}

catch ( IIOException& e){

    cerr << "concert exception caught:"<<e<<endl;

}

catch (...){

    cerr<<"Unknown exception caught" <<endl;

}

env.end();

return 0;

} //End main

```

2^η μοντελοποίηση (γάρτοι εργασίας S=10 – γερανοί=3 – χρονικός ορίζοντας Tmax=10)

```
#include <ilcplex/ilocplex.h>
```

```
ILOSTLBEGIN
```

```
int j,t,i,c;
```

```
const int S=10; //Plithos Xwrwn Ergasias gia to peras twn metafortwsewn
```

```
const int Tmax=10; //Xronikos Orizontas pou theloume
```

```
const float m=1; //Ruthmos Eksipiretisis
```

```
const int W1=1; //Oposdipote 1 monada ergasias stin arxi
```

```
const int bigM=100000;
```

```
int
main (int argc, char **argv)
{
double b[S];

for (j=0;j<S;j++){
    b[j]=0;
}

b[0]=1;
b[1]=1;
b[2]=0;
b[3]=1;
b[4]=0;
b[5]=0;
b[6]=0;
b[7]=0;
b[8]=0;
b[9]=0;
```

```
    IloEnv env;
```

```
    try {
```



```
IloModel model (env);
```

```
typedef IloArray<IloNumArray> IloNumMatrix2x2;
```

```
typedef IloArray<IloNumMatrix2x2> IloNumMatrix3x3;
```

```
typedef IloArray<IloNumMatrix3x3> IloNumMatrix4x4;
```

```
typedef IloArray<IloNumVarArray> IloNumVarMatrix2x2;
```

```
typedef IloArray<IloNumVarMatrix2x2> IloNumVarMatrix3x3;
```

```
typedef IloArray<IloNumVarMatrix3x3> IloNumVarMatrix4x4;
```

```
typedef IloArray<IloRangeArray> IloRangeMatrix2x2;
```

```
typedef IloArray<IloRangeMatrix2x2> IloRangeMatrix3x3;
```

```
typedef IloArray<IloRangeMatrix3x3> IloRangeMatrix4x4;
```

```
IloCplex cplex(env);
```

```
//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Wjt -----
```

```
IloNumVarMatrix2x2 wjt(env,0);
```

```
for (j=0;j<S;j++){
```

```
    IloNumVarArray wt(env,0);
```

```
    for (t=0;t<Tmax;t++){
```

```

        char DV_w[70];

        sprintf(DV_w,"wjt(j%d,t%d)",j,t);

IloNumVar w(env,0,3,ILOINT,DV_w);

wt.add(w);

        }

        wjt.add(wt);

    }

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ mspan -----

char Makespan[90];

sprintf(Makespan,"mspan");

IloNumVar mspan(env,0,1000000,ILOINT,Makespan);

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Xjt -----

IloNumVarMatrix2x2 xjt(env,0);

    for (j=0;j<S;j++){

        IloNumVarArray xt(env,0);

        for (t=0;t<Tmax;t++){

            char DV_x[70];

            sprintf(DV_x,"xjt(j%d,t%d)",j,t);

IloNumVar x(env,0,1,ILOINT,DV_x);

xt.add(x);

            }

        xjt.add(xt);

    }

```

```
//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Z -----
```

```
IloNumVarMatrix4x4 Zicjt(env,0);
```

```
for (i=0;i<S;i++){
```

```
    IloNumVarMatrix3x3 Zcjt(env,0);
```

```
    for (c=0;c<Tmax;c++){
```

```
        IloNumVarMatrix2x2 Zjt(env,0);
```

```
        for (j=0;j<S;j++){
```

```
            IloNumVarArray Zt(env,0);
```

```
            for (t=0;t<Tmax;t++){
```

```
                char DV_Z[70];
```

```
                sprintf(DV_Z,"Zicjt(i%d,c%d,j%d,t%d)",i,c,j,t);
```

```
                IloNumVar Z(env,0,1,ILOINT,DV_Z);
```

```
                Zt.add(Z);
```

```
            }
```

```
            Zjt.add(Zt);
```

```
        }
```

```
        Zcjt.add(Zjt);
```

```
    }
```

```
    Zicjt.add(Zcjt);
```

```
}
```

```
//----- ΜΕΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Y -----
```

```

IloNumVarMatrix4x4 Yicjt(env,0);

for (i=0;i<S;i++){

    IloNumVarMatrix3x3 Ycjt(env,0);

    for (c=0;c<Tmax;c++){

        IloNumVarMatrix2x2 Yjt(env,0);

        for (j=0;j<S;j++){

            IloNumVarArray Yt(env,0);

            for (t=0;t<Tmax;t++){

                char DV_Y[70];

                sprintf(DV_Y,"Yicjt(i%d,c%d,j%d,t%d)",i,c,j,t);

                IloNumVar Y(env,0,1,ILOINT,DV_Y);

                Yt.add(Y);

            }

            Yjt.add(Yt);

        }

        Ycjt.add(Yjt);

    }

    Yicjt.add(Ycjt);

}

//-----
//-----ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ-----
//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 1 -----

IloRangeMatrix2x2 C1_jt(env,0);

```

```

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C1_t(env,0);

    for (t=1;t<Tmax;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= t*xjt[j][t]-mspan;

        char Determine_time_last_work_unit[90];

        sprintf(Determine_time_last_work_unit,"C1_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C1(env,LB,expr,UB,Determine_time_last_work_unit);

        model.add(C1);

        C1_t.add(C1);

        expr.end();

    }

    C1_jt.add(C1_t);

}

```

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 2 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C2_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C2_t(env,0);

    for (t=1;t<Tmax;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= wjt[j][t]-bigM*xjt[j][t]; //2h allagi

        char Workload_or_not[90];

```

```

    sprintf(Workload_or_not,"C2_jt(j%d,t%d)",j,t);

    float LB=-IloInfinity,UB=0;

    IloRange C2(env,LB,expr,UB,Workload_or_not);

    model.add(C2);

    C2_t.add(C2);

    expr.end();

}

C2_jt.add(C2_t);

}

```

//-----

//----- ΠΕΠΙΟΡΙΣΜΟΣ 3 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C3_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C3_t(env,0);

    for (t=2;t<Tmax;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= wjt[j][t-1]-m*Y icjt[j][t-1][j][t]-wjt[j][t];

        char Flow_balance_workload[90];

        sprintf(Flow_balance_workload,"C3_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C3(env,LB,expr,UB,Flow_balance_workload);

        model.add(C3);

        C3_t.add(C3);

        expr.end();
    }
}

```

```

    }

    C3_jt.add(C3_t);
}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 4 -----

IloRangeArray C4_j(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloExpr expr(env,0);

    if (j+1>=S){

        expr= Zicjt[j][1][S-1][2]+Zicjt[j][1][j-1][2]+Zicjt[j][1][j][2]-
b[j];

    }else{

        expr= Zicjt[j][1][j+1][2]+Zicjt[j][1][j-1][2]+Zicjt[j][1][j][2]-
b[j];

    }

    char Flow_maintenance_c4[90];

    sprintf(Flow_maintenance_c4,"C4_jt(j%d,1)",j);

    float LB=0,UB=0;

    IloRange C4(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c4);

    model.add(C4);

    C4_j.add(C4);

    expr.end();

}

//-----

```

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 5 -----

```
IloRangeMatrix2x2 C5_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C5_t(env,0);

    for (t=2;t<Tmax-1;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        if (j+1>=S){

            expr=Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j][t]+Zicjt[S-1][t-1][j][t]-Zicjt[j][t][S-1][t+1]-Zicjt[j][t][j-1][t+1]-Zicjt[j][t][j][t+1];

        }else{

            expr=Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j][t]+Zicjt[j+1][t-1][j][t]-Zicjt[j][t][j+1][t+1]-Zicjt[j][t][j-1][t+1]-Zicjt[j][t][j][t+1];

        }

        char Flow_maintenance_c5[90];

        sprintf(Flow_maintenance_c5,"C5_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=0,UB=0;

        IloRange C5(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c5);

        model.add(C5);

        C5_t.add(C5);

        expr.end();

    }

    C5_jt.add(C5_t);

}
```

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 6 -----


```

IloRangeArray C6_j(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloExpr expr(env,0);

    for (t=Tmax;t<Tmax;t++){

        if (j+1>=S && t+1>=Tmax){

            //expr=          Zicjt[j-1][Tmax-2][j][Tmax-
1]+Zicjt[j][Tmax-2][j][Tmax-1]+Zicjt[j+1][Tmax-2][j][Tmax-1]-Zicjt[j][Tmax-2][1][1];

            expr=  Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j][t]+Zicjt[S-
1][t-1][j][t]-Zicjt[j][t][1][1];

        }else{

            expr=          Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-
1][j][t]+Zicjt[j+1][t-1][j][t]-Zicjt[j][t][1][1];

        }

    }

}

char Flow_maintenance_c6[90];

sprintf(Flow_maintenance_c6,"C6_jt(j%d,Tmax)",j);

float LB=0,UB=0;

IloRange C6(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c6);

model.add(C6);

C6_j.add(C6);

expr.end();

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 7 -----

```

```

IloRangeArray C7_t(env,0);

```

```

for (t=Tmax;t<Tmax+1;t++){

    IloExpr expr(env,0);

    IloExpr expr1(env,0);

    IloExpr expr2(env,0);

    for (j=1;j<S;j++){

        expr1 += Zicjt[j][Tmax-1][1][1];

    }

    for (j=1;j<S;j++){

        expr2 += b[j];

    }

    expr=expr1-expr2;

    char Flow_maintenance_c7[90];

    sprintf(Flow_maintenance_c7,"C7_jt(j%d,Tmax%d)",j);

    float LB=0,UB=0;

    IloRange C7(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c7);

    model.add(C7);

    C7_t.add(C7);

    expr.end();

}

```

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 8 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C8_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C8_t(env,0);

```

```

for (t=2;t<Tmax;t++){
    IloExpr expr(env,0);
    if (j+1>=S){
        expr = Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j][t]+Zicjt[S-1][t-
1][j][t];
    }else{
        expr = Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j][t]+Zicjt[j+1][t-
1][j][t];
    }

    char One_QC_at_the_place_per_time[90];
    sprintf(One_QC_at_the_place_per_time,"C8_jt(j%d,t%d)",j,t);
    float LB=-IloInfinity,UB=1;
    IloRange C8(env,LB,expr,UB,One_QC_at_the_place_per_time);
    model.add(C8);
    C8_t.add(C8);
    expr.end();
}
C8_jt.add(C8_t);
}

```

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 9 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C9_jt(env,0);
for (j=1;j<S;j++){
    IloRangeArray C9_t(env,0);
    for (t=2;t<Tmax;t++){

```

```

        IloExpr expr(env,0);

        expr= Zicjt[j-1][t-1][j][t]+Zicjt[j][t-1][j-1][t];

        char QC_do_not_pass_each_other[90];

        sprintf(QC_do_not_pass_each_other,"C9_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=-IloInfinity,UB=1;

        IloRange C9(env,LB,expr,UB,QC_do_not_pass_each_other);

        model.add(C9);

        C9_t.add(C9);

        expr.end();

    }

    C9_jt.add(C9_t);

}

```

//-----

//----- ΠΕΠΙΟΠΙΣΜΟΣ 10 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C10_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C10_t(env,0);

    for (t=2;t<Tmax;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= Yicjt[j][t-1][j][t]-Zicjt[j][t-1][j][t];

        char Flow_maintenance_c10[90];

        sprintf(Flow_maintenance_c10,"C10_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C10(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c10);
    }
}

```

```

        model.add(C10);

        C10_t.add(C10);

        expr.end();

    }

    C10_jt.add(C10_t);

}

```

//-----

//----- ΠΕΠΙΟΡΙΣΜΟΣ 11 -----

```

IloRangeMatrix2x2 C11_jt(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloRangeArray C11_t(env,0);

    for (t=2;t<Tmax-1;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= Yicjt[j][t-1][j][t]+xjt[j][t]-Yicjt[j][t][j][t+1];

        char Flow_maintenance_c11[90];

        sprintf(Flow_maintenance_c11,"C11_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=-IloInfinity,UB=1;

        IloRange C11(env,LB,expr,UB,Flow_maintenance_c11);

        model.add(C11);

        C11_t.add(C11);

        expr.end();

    }

    C11_jt.add(C11_t);

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 12 -----

IloRangeArray C12_j(env,0);

for (j=1;j<S;j++){

    IloExpr expr(env,0);

    expr= wjt[j][1];

    char Constraint12[90];

    sprintf(Constraint12,"C13_j(j%d)",j);

    float LB=W1,UB=W1;

    IloRange C12(env,LB,expr,UB,Constraint12);

    model.add(C12);

    C12_j.add(C12);

    expr.end();

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 13 -----

IloRangeMatrix2x2 C13_jt(env,0);

for (j=0;j<S;j++){

    IloRangeArray C13_t(env,0);

    for (t=0;t<Tmax;t++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr= wjt[j][t];

        char Constraint13[90];

```

```

        sprintf(Constraint13,"C14_jt(j%d,t%d)",j,t);

        float LB=0,UB=IloInfinity;

        IloRange C13(env,LB,expr,UB,Constraint13);

        model.add(C13);

        C13_t.add(C13);

        expr.end();

    }

    C13_jt.add(C13_t);

}

```

```

//-----
//-----
//----- ANTIKEIMENIKH SYNAPTHΣH -----
//-----

```

```

IloExpr expr1(env);

```

```

expr1=mspan;

```

```

model.add(IloMinimize(env, expr1));

```

```

expr1.end();

```

```

cplex.extract(model);

```

```

cplex.exportModel("QSCP2-v5.lp");

```

```
cplex.solve();
```

```
if (!cplex.solve ()) {  
    env.error()<<"Failed to optimize LP."<<endl;  
    throw(-1);  
}
```

```
env.out()<<"Solution status = " <<cplex.getStatus()<<endl;  
env.out()<<"Solution value = " <<cplex.getObjValue()<<endl;
```

```
for (j=1;j<S;j++){  
    for (t=1;t<Tmax;t++){  
        int g = cplex.getValue(xjt[j][t]);  
        if(g!=0) cout<<"xjt"<<"("<<j<<" , "<<t<<" )"<<"="<<g<<endl;  
    }  
}
```



```

int g = cplex.getValue(mspan);

if(g!=0) cout<<"Makespan"<<"="<<g<<endl;

for (j=1;j<S;j++){
    for (t=1;t<Tmax;t++){
        int g = cplex.getValue(wjt[j][t]);
        if(g!=0) cout<<"wjt"<<"("<<j<<","<<t<<)"<<"="<<g<<endl;
    }
}

}

catch ( IloException& e){
    cerr<<"Concert exception caught:"<<e<<endl;
}

catch (...){
    cerr<<"Unknown exception caught"<<endl;
}

env.end();

return 0;

} //End main

```

3^η μοντελοποίηση (εργασίες 10 - γερανοί 3)

```
#include <ilcplex/ilocplex.h>
```

```
ILOSTLBEGIN
```

```

int i,j,k;

const int imax=10;

const int jmax=10;

const int kmax=3;

const int ts=1;

const int tf=3;

const int BigM=100000;

int
main (int argc, char **argv)
{

double p[imax];

double r[kmax];

double l1[imax];

double l2[ts][kmax];

double l3[tf][kmax];

double t[imax][jmax];

for (i=0;i<imax;i++){

        p[i]=0;

}

```

```
for (k=1;k<kmax;k++){  
    r[k]=0;  
}
```

```
for (i=0;i<imax;i++){  
    l1[i]=0;  
}
```

```
for (i=0;i<ts;i++){  
    for (k=0;k<kmax;k++){  
        l2[i][k]=0;  
    }  
}
```

```
for (i=0;i<tf;i++){  
    for (k=0;k<kmax;k++){  
        l3[i][k]=0;  
    }  
}
```

```
for (i=0;i<imax;i++){  
    for (j=0;j<jmax;j++){  
        t[i][j]=1;  
    }  
}
```

}

p[0]=11;

p[1]=11;

p[2]=24;

p[3]=38;

p[4]=46;

p[5]=49;

p[6]=17;

p[7]=35;

p[8]=40;

p[9]=14;

r[0]=0.99;

r[1]=0.98;

r[2]=0.97;

l1[0]=2;

l1[1]=1;

l1[2]=3;

l1[3]=4;

l1[4]=6;

l1[5]=5;

```
l1[6]=7;
```

```
l1[7]=6;
```

```
l1[8]=3;
```

```
l1[9]=2;
```

```
l2[0][0]=0;
```

```
l2[0][1]=1;
```

```
l2[0][2]=2;
```

```
l3[2][0]=4;
```

```
l3[2][1]=2;
```

```
l3[2][2]=0;
```

```
IloEnv env;
```

```
try {
```

```
    IloModel model (env);
```

```

typedef IloArray<IloNumArray> IloNumMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumMatrix2x2> IloNumMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumMatrix3x3> IloNumMatrix4x4;

typedef IloArray<IloNumVarArray> IloNumVarMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix2x2> IloNumVarMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix3x3> IloNumVarMatrix4x4;

typedef IloArray<IloRangeArray> IloRangeMatrix2x2;

typedef IloArray<IloRangeMatrix2x2> IloRangeMatrix3x3;

typedef IloArray<IloRangeMatrix3x3> IloRangeMatrix4x4;

IloCplex cplex(env);

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ X -----

IloNumVarMatrix3x3 Xk_i_j(env,0);

for (k=0;k<kmax;k++){

    IloNumVarMatrix2x2 Xi_j(env,0);

    for (i=0;i<imax;i++){

        IloNumVarArray Xj(env,0);

        for (j=0;j<jmax;j++){

            char DV_X[90];

            sprintf(DV_X,"Xk_i_j(k%d,i%d,j%d)",k,i,j);

```

```

IloNumVar X(env,0,1,ILOINT,DV_X);

Xj.add(X);

        }

        Xi_j.add(Xj);

    }

    Xk_i_j.add(Xi_j);

}

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Z -----

IloNumVarMatrix2x2 Zi_j(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

    IloNumVarArray Zj(env,0);

        for (j=0;j<jmax;j++){

            char DV_Z[90];

            sprintf(DV_Z,"Zi_j(i%d,j%d)",i,j);

            IloNumVar Z(env,0,1,ILOINT,DV_Z);

            Zj.add(Z);

        }

    Zi_j.add(Zj);

}

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ Y -----

IloNumVarArray Yk(env,0);

        for (k=0;k<kmax;k++){

```

```

char DV_Y[90];

sprintf(DV_Y,"Yk(k%d)",k);

IloNumVar Y(env,0,1000000,ILOINT,DV_Y);

Yk.add(Y);

}

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ D -----

IloNumVarArray Di(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

char DV_D[90];

sprintf(DV_D,"Di(i%d)",i);

IloNumVar D(env,0,10000000,ILOINT,DV_D);

Di.add(D);

}

//----- ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ W -----

char DV_W[90];

sprintf(DV_W,"W(i%d)",i);

IloNumVar W(env,0,1000000,ILOINT,DV_W);

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ -----

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 1 -----

```



```

IloRangeArray C1_k(env,0);

    for (k=1;k<kmax;k++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Yk[k] - W;

        char Con1[90];

        sprintf(Con1,"C1_k(k%d)",k);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C1(env,LB,expr,UB,Con1);

        model.add(C1);

        C1_k.add(C1);

        expr.end();

    }

```

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 2 -----

```

IloRangeArray C2_k(env,0);

for (k=0;k<kmax;k++){

    IloExpr expr(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        expr+=Xk_i_j[k][0][j];

    }

    char Con2[90];

    sprintf(Con2,"C2_k(k%d)",k);

    int LB=1,UB=1;

    IloRange C2(env,LB,expr,UB,Con2);

```

```

        model.add(C2);

        C2_k.add(C2);

        expr.end();

    }

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 3 -----

IloRangeArray C3_k(env,0);

for (k=1;k<kmax;k++){

    IloExpr expr(env,0);

    for (i=0;i<imax;i++){

        for (j=0;j<jmax;j++){

            expr+=Xk_i_j[k][i][j];

        }

    }

    char Con3[90];

    sprintf(Con3,"C3_k(k%d)",k);

    float LB=1,UB=1;

    IloRange C3(env,LB,expr,UB,Con3);

    model.add(C3);

    C3_k.add(C3);

    expr.end();

}

//-----

```

```
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 4 -----
```

```
IloRangeArray C4_k(env,0);  
  
for (j=1;j<jmax;j++){  
  
    IloExpr expr(env,0);  
  
    for (k=0;k<kmax;k++){  
  
        for (i=0;i<imax;i++){  
  
            expr+=Xk_i_j[k][i][j];  
  
        }  
  
    }  
  
    char Con3[90];  
  
    sprintf(Con3,"C3_k(k%d)",k);  
  
    float LB=1,UB=1;  
  
    IloRange C3(env,LB,expr,UB,Con3);  
  
    model.add(C3);  
  
    C3_k.add(C3);  
  
    expr.end();  
  
}
```

```
//-----
```

```
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 5 -----
```

```
IloRangeMatrix2x2 C5_ki(env,0);  
  
for (k=0;k<kmax;k++){  
  
    IloRangeArray C5_i(env,0);  
  
    for (i=0;i<imax;i++){  
  
        IloExpr expr(env,0);
```

```

    for (j=0;j<jmax;j++){
        expr+=Xk_i_j[k][i][j]-Xk_i_j[k][j][i];
    }

    char Con5[90];

    sprintf(Con5,"C5_ki(k%d,i%d)",k,i);

    float LB=0,UB=0;

    IloRange C5(env,LB,expr,UB,Con5);

    model.add(C5);

    C5_i.add(C5);

    expr.end();

}

C5_ki.add(C5_i);

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 6 -----

```

```

IloRangeMatrix3x3 C6_ijk(env,0);

for (i=1;i<imax;i++){

    IloRangeMatrix2x2 C6_jk(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        IloRangeArray C6_k(env,0);

        for (k=0;k<kmax;k++){

            IloExpr expr(env,0);

            expr=Di[i]+t[i][j]+p[j]-Di[i-1]-BigM*(1-Xk_i_j[k][i][j]);//

            char Con6[90];

```

```

        sprintf(Con6,"C6_ijk(i%d,j%d,k%d)",i,j,k);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C6(env,LB,expr,UB,Con6);

        model.add(C6);

        C6_k.add(C6);

        expr.end();

    }

    C6_jk.add(C6_k);

}

C6_ijk.add(C6_ijk);

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 7 -----

```

```

IloRangeMatrix2x2 C7_ij(env,0);

for (i=1;i<imax;i++){

    IloRangeArray C7_j(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Di[i]+p[j]-Di[i-1];

        char Con7[90];

        sprintf(Con7,"C7_ij(i%d,j%d)",i,j);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C7(env,LB,expr,UB,Con7);
    }
}

```

```

        model.add(C7);

        C7_j.add(C7);

        expr.end();

    }

    C7_ij.add(C7_j);

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 8 -----

IloRangeMatrix2x2 C8_ij(env,0);

    for (i=1;i<imax;i++){

        IloRangeArray C8_j(env,0);

        for (j=0;j<jmax;j++){

            IloExpr expr(env,0);

            expr=Di[i]+p[j]-Di[i-1]-BigM*(1-Zi_ij[i][j]);

            char Define_Z_C8[90];

            sprintf(Define_Z_C8,"C8_ij(i%d,j%d)",i,j);

            float LB=-IloInfinity,UB=0;

            IloRange C8(env,LB,expr,UB,Define_Z_C8);

            model.add(C8);

            C8_j.add(C8);

            expr.end();

        }

        C8_ij.add(C8_j);

}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 9 -----
IloRangeMatrix2x2 C9_ij(env,0);
    for (i=1;i<imax;i++){
        IloRangeArray C9_j(env,0);
        for (j=0;j<jmax;j++){
            IloExpr expr(env,0);
            if(i!=j){ expr=Zi_[i][j]+Zi_[j][i];
            char Con9[90];
            sprintf(Con9,"C9_ij(i%d,j%d)",i,j);
            float LB=1,UB=1;
            IloRange C9(env,LB,expr,UB,Con9);
            model.add(C9);
            C9_j.add(C9);
            expr.end();}
        }
        C9_ij.add(C9_j);
    }
}

```

```

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 10 -----
IloRangeMatrix3x3 C10_ijk(env,0);
for (i=0;i<imax;i++){
    IloRangeMatrix2x2 C10_jk(env,0);

```

```

for (j=0;j<jmax;j++){

    IloRangeArray C10_k(env,0);

    for (k=0;k<kmax;k++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Di[j]+t[i][j]-Yk[k]-BigM*(1-Xk_i_j[k][i][j]);

        char Con10[90];

        sprintf(Con10,"C10_ijk(i%d,j%d,k%d)",i,j,k);

        float LB=-IloInfinity,UB=0;

        IloRange C10(env,LB,expr,UB,Con10);

        model.add(C10);

        C10_k.add(C10);

        expr.end();

    }

    C10_jk.add(C10_k);

}

C10_ijk.add(C10_jk);

}

//-----

//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 11 -----

IloRangeMatrix2x2 C11_jk(env,0);

for (j=0;j<jmax;j++){

    IloRangeArray C11_k(env,0);

    for (k=1;k<kmax;k++){

        IloExpr expr(env,0);

```



```

    for (i=0;i<imax;i++){
        expr=r[k]-Di[j]+t[i][j]+p[j]-BigM*(1-Xk_i_j[k][i][j]);
    }

    char Con11[90];

    sprintf(Con11,"C11_jk(j%d,k%d)",j,k);

    float LB=-IloInfinity,UB=0;

    IloRange C11(env,LB,expr,UB,Con11);

    model.add(C11);

    C11_k.add(C11);

    expr.end();
}

C11_jk.add(C11_k);
}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 12 -----

IloRangeMatrix2x2 C12_ik(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

    IloRangeArray C12_k(env,0);

    for (k=1;k<kmax;k++){

        IloExpr expr(env,0);

        expr=Yk[k];

        char Con12[90];

        sprintf(Con12,"C12_jk(j%d,k%d)",j,k);

        float LB=0,UB=IloInfinity;

```

```

        IloRange C12(env, LB, expr, UB, Con12);

        model.add(C12);

        C12_k.add(C12);

        expr.end();

    }

    C12_ik.add(C12_k);

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 13 -----

IloRangeMatrix2x2 C13_ik(env, 0);

    for (i=0; i<imax; i++){

        IloRangeArray C13_k(env, 0);

        for (k=1; k<kmax; k++){

            IloExpr expr(env, 0);

            expr=Di[i];

            char Con13[90];

            sprintf(Con13, "C12_jk(j%d,k%d)", j, k);

            float LB=0, UB=IloInfinity;

            IloRange C13(env, LB, expr, UB, Con13);

            model.add(C13);

            C13_k.add(C13);

            expr.end();

        }

        C13_ik.add(C13_k);

```

```

}

//-----
//----- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ 14 -----

IloRangeMatrix3x3 VI_ijk(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

    IloRangeMatrix2x2 VI_jk(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        IloRangeArray VI_k(env,0);

        for (k=0;k<kmax;k++){

            IloExpr expr(env);

            if (II[i]<II[j]){

                expr+=Xk_i_j[k][i][j]+Xk_i_j[k][j][i]-BigM*(Zi_j[i][j]-
Zi_j[j][i]);

            }

            char Valid_Inequality[60];

            sprintf(Valid_Inequality,"VI_ijk(i%d,j%d,k%d)",i,j,k);

            float LB=-IloInfinity,UB=0;

            IloRange VI(env,LB,expr,UB,Valid_Inequality);

            model.add(VI);

            VI_k.add(VI);

            expr.end();

        }

        VI_jk.add(VI_k);

    }

}

```

```

VI_ijk.add(VI_jk);

}

//-----Objective Function-----
//-----

IloExpr expr1(env);

for(k=0;k<kmax;k++){
    expr1+=Yk[k];
}

expr1+=W;

model.add(IloMinimize(env, expr1));
expr1.end();

cplex.extract(model);
cplex.exportModel("QCSP3.lp");

cplex.solve();

```

```

        if (!cplex.solve ()) {

            env.error() << "Failed to optimize LP." << endl;

            throw(-1);

        }

        env.out() << "Solution status = " << cplex.getStatus() << endl;

        env.out() << "Solution value = " << cplex.getObjValue() << endl;

for (k=0;k<kmax;k++){

    for (i=0;i<imax;i++){

        for (j=0;j<jmax;j++){

            int g = cplex.getValue(Xk_i_j[k][i][j]);

            if(g!=0)

cout<<"Xk_i_j"<< "("<<k<< ", "<<i<< ", "<<j<< ")"<< "="<<g<<endl;

        }

    }

}

for (i=1;i<imax;i++){

    for (j=0;j<jmax;j++){

        int g = cplex.getValue(Zi_j[i][j]);

```

```

        if(g!=0) cout<<"Zi_j" << "(" << i << ", " << j << ")" << "=" << g << endl;
    }
}

for (k=0;k<kmax;k++){
    int g = cplex.getValue(Yk[k]);
    if(g!=0) cout<<"Yk" << "(" << k << ")" << "=" << g << endl;
}

for (i=0;i<imax;i++){
    int g = cplex.getValue(Di[i]);
    if(g!=0) cout<<"Di" << "(" << i << ")" << "=" << g << endl;
}

int g = cplex.getValue(W);
if(g!=0) cout<<"W" << "=" << g << endl;

} catch (IloException& e){
    cerr << "Concert exception caught:" << e << endl;
}
catch (...){
    cerr<<"Unknown exception caught" <<endl;
}

```

```
}  
env.end();  
return 0;
```

```
} //End main
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bierwirth C., Meisel F., 2009. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research* Τόμ. 202, 615 - 627
- Lim A., Rodrigues B., Xu Z., 2004. Solving the Crane Scheduling Problem Using Intelligent Search Schemes. *Principles and practice of constraint programming* pp. 747–751.
- Lim A., Rodrigues B., Xiao F., Zhu Y., 2003. Crane Scheduling with Spatial Constraints *Naval Res Logist* 51 pp 386-406.
- Stahlbock R., Voß S., 2008. Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*, 30, pp1–52.
- Daganzo C., 1989. The crane scheduling problem *Transportation Res* 23B: 159-175.
- Tang Q, Tan Y., Shi Y., Tan K. C., 2010. A Quay Crane Scheduling Model in Container Terminals. *Advances in swarm intelligence* pp. 283–290.
- Zhu Y. and Lim A., 2006. Crane Scheduling with Non-Crossing Constraint. *The Journal of the Operational Research Society* pp 1464-1471.
- Guan Y., Yang K. H., Zhou Z., 2010. The crane scheduling problem: models and solution approaches DOI 10.1007/s10479-010-0765-3.
- Kim K. H., Park Y. M., 2003. A crane scheduling method for port container terminals *European Journal of Operational Research* 156 (2004) pp 752–768.
- Aykagan A., 2008. Berth and quay crane scheduling: problems, models and solution methods, Georgia Institute of Technology
- Καρακάρη Δ., 2012. Ποσοτική ανάλυση και προσομοιωτική μελέτη της διαδικασίας φορτοεκφόρτωσης στον τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, Α.Π.Θ. Διπλωματική εργασία.
- Μαυρόγιαννη Β., 2010. Βελτιστοποίηση της σειράς προσόρμισης πλοίων και της ταξινόμησης των γερανογεφυρών σε Container Terminal, Ε.Μ.Π, Διπλωματική εργασία.
- Πανοπούλου Β., 2010. Διαχείριση εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι του Πειραιά. Προβληματισμοί και προοπτικές, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Διπλωματική εργασία.
- Μπίκου Σ., 2011. Περιβαλλοντική διαχείριση λιμενικών δραστηριοτήτων: πλαίσιο, εργαλεία εφαρμογής και αποτίμησης πραγματικότητας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς Διπλωματική εργασία.
- Πετρογκώνας Ν., 2008. Ανάλυση της διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων υπό το πρίσμα του κώδικα ISPS και άλλων κανονισμών ασφαλείας, Ε.Μ.Π, Διπλωματική εργασία.
- Τσιτσάμης Δ., 2009. Σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων λιμένων: προσομοιωτικά μοντέλα και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Διδακτορική διατριβή

- Διαμάντη Κ., 2010. Θαλάσσιες μεταφορές και θαλάσσια ρύπανση στη Μεσόγειο. Οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Διπλωματική εργασία.
- Stahlbock R., Voß S., 2008. Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*, 30, pp1–52.