



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ LOGISTICS
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΣΟΡΜΙΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ

**“A Study on Allocating Berthing Areas of Port Terminal
applied on a Case Study of Port of Piraeus”**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ

ΣΟΦΑΝΤΖΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Διοίκησης Logistics του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην

Βιομηχανική Διοίκηση & Τεχνολογία

Πειραιάς, Μάρτιος 2022

Δήλωση

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η θεωρητική, η μαθηματική παρουσίαση και επίλυση ενός επαναλαμβανόμενου και πολύπλοκου προβλήματος βελτιστοποίησης προγραμματισμού προσδρόμησης πλοίων για φορτοεκφόρτωση φορτίου.

Λειτουργικές- επιχειρησιακές αποφάσεις για δραστηριότητες προγραμματισμού για αγκυροβόλιο πλοίων καθορίζονται σε καθημερινή βάση και έχουν ισχυρό αντίκτυπο στο συνολικό κόστος της αλυσίδας εφοδιασμού. Στην πράξη, οι πραγματικοί χρόνοι άφιξης και οι χρόνοι χειρισμού των σκαφών αποκλίνουν από τις αναμενόμενες ή εκτιμώμενες τιμές τους, γεγονός που μπορεί να διαταράξει το αρχικό σχέδιο προγραμματισμού προσδρόμησης και πιθανώς να το καταστήσει ανέφικτο.

Η πρόκληση είναι να αναπτυχθεί ένα βέλτιστο πρόγραμμα χαμηλού κόστους με υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας.

Στη δική μας μελέτη περίπτωσης, περιγράφουμε αρχικώς και αναλύουμε τις μεθόδους υπολογισμού και προγραμματισμού προσδρόμησης πλοίων που χρησιμοποιούνται από τον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά. Ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά διαθέτει 2 προβλήτες με 10 συνολικά θέσεις για προσδρόμηση. Φυσικοί και εξωγενείς παράγοντες λειτουργούν ως περιορισμοί στην εύκολη διατύπωση και λύση του προβλήματος. Σκοπός είναι μέσω του προγραμματισμού του ελλιμενισμού και δεδομένου των φυσικών περιορισμών (διαστάσεις πλοίου, χωρητικότητα σε φορτίο, βυθίσματα πλοίων, διαστάσεις προβλήτας λιμανιού κ.α) να γίνεται η καλύτερη αντιστοίχιση πλοίου – προβλήτας αλλά και εν συνεχεία γερανογεφυρών ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης του φορτίου.

Ξεκινώντας στο κεφάλαιο Πρώτο, επιδιώκεται μια σύνδεση της ναυτιλίας και της Επιχειρησιακής Έρευνας (ΕΕ) με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της αλληλεξάρτησης που υπάρχει, τονίζοντας τα σημεία που η ΕΕ καθίσταται ιδιαίτερος βοηθητική. Στα επόμενα δύο κεφάλαια, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση των λειτουργιών ενός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων καθώς και των τύπων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αλλά και των ειδών εμπορευματοκιβωτίων.

Στο κεφάλαιο Τέσσερα, δίνεται ο ορισμός του προς εξέταση προβλήματος, του προβλήματος κατανομής θέσης σε προβλήτα –Berth Allocation Problem και παρουσιάζεται το βιβλιογραφικό υπόβαθρο και οι μελέτες που έχουν γίνει σχετικά καθώς και οι συνήθεις μέθοδοι επίλυσης τους. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται οι ευρετικές μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης (Heuristic optimization), διαδικασία η οποία παρά τα γρήγορα αποτελέσματα που παράγει, διακρίνεται από την χρήση αντισταθμιστικών παραγόντων οδηγώντας πολλές φορές σε αποτελέσματα ανακριβή και ανεπαρκή με άμεσο αποτέλεσμα η απόφαση που θα ληφθεί να μην είναι η βέλτιστη ή η καλύτερη.

Στο κεφάλαιο Πέντε, παρουσιάζεται η μεθοδολογία πίσω από τον προγραμματισμό προσδρόμησης που χρησιμοποιείται από το τερματικό λιμένας Πειραιώς. Οι δύο πιο

διαδεδομένες μορφές προγραμματισμού για θέση σε προβλήτα είναι η μέθοδος First Come First Served καθώς και τα Rendezvous για τα πλοία μεγάλης χωρητικότητας εμπορευματοκιβωτίων (mother vessels).

Στο κεφάλαιο Έξι, παρουσιάζουμε το πρόβλημα της κατανομής των πλοίων αρχικά ως πρόβλημα αντιστοίχισης και στην συνέχεια ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού. Στην πρώτη συνθήκη, άμεσος στόχος είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής θέσης στα εισερχόμενα πλοία βάσει των αριθμών των εμπορευματοκιβωτίων που έχουν να φορτοεκφορτώσουν ενώ στην δεύτερη συνθήκη είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου παραμονής των πλοίων στο λιμάνι βάσει αρχικά της εκτιμώμενης ώρας άφιξης τους και ύστερα των εμπορευματοκιβωτίων που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Καταλήγουμε με τα συμπεράσματα της έρευνας / μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος.

Abstract

The aim of this thesis is the theoretical, the mathematical presentation and solution of a complex and repetitive problem of optimizing ship's berthing schedule for loading and unloading cargo operations.

Operational decisions for ship berth planning activities are established on a daily basis and have a strong impact on the overall costs of the supply chain. In practice, actual arrival times and vessel handling times deviate from their expected or estimated values, which may disrupt the initial landing planning plan and possibly make it unfeasible.

The challenge is to develop a cost-optimal program with a high level of reliability.

In our own case study, we initially describe and analyze the methods of calculating and planning the accommodation of ships used by the Piraeus Container Terminal. Piraeus Container station has 2 piers with a total of 10 berths for landing. Physical factors act as constraints on the easy formulation and solution of the problem. The aim is to optimize ship-pier pairing, given the physical constraints (ship dimensions, cargo capacity, depths, port pier dimensions, etc.), and to minimize the time of loading and unloading of cargo, by means of port planning.

Starting from Chapter One, a link between shipping and Operational Research (OR) is sought in order to better understand the interdependence that exists, highlighting the points that the OR is becoming particularly helpful. In the following two chapters, a brief presentation is given of the functions of a Piraeus Container Terminal, as well as the types of container ships and the types of container units.

Chapter Four defines the problem to be considered, the problem of Berth Allocation Problem and presents the bibliographical background and the studies that have been done on them as well as the usual methods of solving them. Most commonly used are the Heuristic optimization, a process which despite the rapid results it produces, is distinguished by the use of compensatory factors, often leading to inaccurate and inadequate results, with immediate effect that the decision to be taken is not optimal.

In Chapter Five, the methodology behind the customization programming used by the Piraeus Port terminal is presented. The two most common forms of planning for pier placement are the method of First Come First Served as well as the Rendezvous method for large container ships (Mother vessels).

In Chapter Six, we present the problem of ship allocation first as an assignment problem and then as a problem of integrated planning. In the first method, the immediate aim is to optimize the allocation of berths for incoming vessels based on the numbers of containers same have to load and unload and in the second method to minimize the overall residence time of vessels in port based on their estimated time of arrival and then of containers they have to load and unload.

We conclude with the results of the above research carried out as well as the proposals for future research and further investigation of the problem.

Ευχαριστίες

Η περίοδος εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας είναι μια περίοδος διαβάσματος , έρευνας , πολλών σκέψεων ακόμα και όταν “δεν γράφεις” , είναι μία δύσκολη περίοδος.

Καμία από τις παρακάτω γραμμές δεν θα είχε νόημα και αξία βέβαια χωρίς την πολύτιμη βοήθεια από τους παρακάτω ανθρώπους, οι οποίοι βάζοντας ο καθένας το λιθαράκι του, κατέστη από μέρους μου εφικτή την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην καθηγήτρια κα. Σοφianoπούλου Στυλιανή. Οι βαθιές γνώσεις του αντικειμένου της επιχειρησιακής έρευνας και η μεταδοτικότητα της στο πλαίσιο του μαθήματος ήταν ένας από τους λόγους που ζήτησα, χωρίς καν να υπάρχει δεύτερη σκέψη στο μυαλό μου, την επίβλεψη της και την βοήθεια της στην παρούσα εργασία. Η συμβολή σας τόσο στην διπλωματική μου εργασία όσο και στον τρόπο σκέψης μου είναι εμφανής.

Ευχαριστώ πολύ τον Σταθμό Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά για τις πληροφορίες που μου παρείχαν καθώς και για τον χρόνο που μου διέθεσαν.

Ένα ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου από το μεταπτυχιακό για την ηθική συμπαράστασή τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την υπομονή , αγάπη και κατανόηση τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Λίστα εικόνων & σχημάτων.....	9
Συνοτομογραφίες.....	10
Κεφάλαιο Ένα: Επιχειρησιακή Έρευνα και Ναυτιλία.....	11
Κεφάλαιο Δύο : Τύποι Πλοίων μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων και είδη Εμπορευματοκιβωτίων.....	16
2.1 Τύποι Πλοίων μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων και η εξέλιξη τους.....	16
2.2 Εμπορευματοκιβώτια.....	19
2.2.1 Η τεχνική της εμπορευματοκιβωτοποίησης.....	19
2.2.2 Τύποι εμπορευματοκιβωτίων.....	19
Κεφάλαιο Τρία : Λειτουργία και Δομή Τερματικών Σταθμών Εμπορευματοκιβωτίων.....	22
Κεφάλαιο Τέσσερα: Βιβλιογραφικό Υπόβαθρο προβλήματος κατανομής θέσεων.....	28
Κεφάλαιο Πέντε : Μελέτη Περίπτωσης: ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά.....	36
5.1 Το λιμάνι του Πειραιά – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά (Σ.ΕΜΠΟ).....	36
5.2 Σχεδιασμός λειτουργίας λιμένος.....	37
5.3 Προγραμματισμός πλάνου ελλειμνισμού – Berth Planning.....	38
5.3 Πρόγραμμα Catos ERP.....	42
Κεφάλαιο ΕΞΙ : Μοντελοποίηση προβλήματος προσόρμισης.....	45
6.1 Μοντελοποίηση ΒΑΡ ως πρόβλημα Αντιστοίχισης.....	47
6.1.1 Αριθμητικά αποτελέσματα και Ανάλυση.....	50
6.2 Μοντελοποίηση ΒΑΡ με Ακέραιο Προγραμματισμό.....	62
6.2.1 Αριθμητικά αποτελέσματα και Ανάλυση.....	64
Κεφάλαιο ΕΠΤΑ : Συμπεράσματα και μελέτη για το μέλλον.....	76
Βιβλιογραφία.....	79

Λίστα εικόνων & σχημάτων

Εικόνα 1 : Λειτουργίες τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων	σελ. 14
Εικόνα 2 : Η εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	σελ. 17
Εικόνα 3 : Τα 20 πιο πολυάσχολα λιμάνια για το 2020	σελ. 18
Εικόνα 4 : Τύποι εμπορευματοκιβωτίων	σελ. 21
Εικόνα 5 : Ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά	σελ. 24
Εικόνα 6 : Όχημα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	σελ. 27
Εικόνα 7 : Γερανοί γυάρδας	σελ. 28
Εικόνα 8 : Κατανομή πλοίων και γερανών σε θέση προσόρμισης	σελ. 35
Εικόνα 9 : Το λιμάνι του Πειραιά (αεροφωτογραφία)	σελ. 38
Εικόνα 10 : Σχεδιασμός σειράς προσόρμισης	σελ. 41
Εικόνα 11 : Σχεδιασμός πλάνου προσόρμισης	σελ. 44
Εικόνα 12 : Catos ERP interface	σελ. 46
Εικόνα 13 : Το πρόβλημα της αντιστοίχισης	σελ. 49
Σχήμα 1 : Δομή τερματικού σταθμού	σελ. 26
Σχήμα 2 : Απεικόνιση του προβλήματος κατανομής θέσης	σελ. 29
Σχήμα 3 : Χρονολογική σειρά ερευνών για το ΒΑΡ	σελ. 31

Συντομογραφίες

ΕΕ	Επιχειρησιακή Έρευνα
ΕΚ	Εμπορευματοκιβώτιο
ΓΠ	Γραμμικός Προγραμματισμός
BAP	Berth Allocation Problem
DBAP	Dynamic Berth Allocation Problem
DDBAP	Dynamic Discrete Berth Allocation Problem
QCSP	Quay Crane Scheduling Problem
QCAP	Quay Crane Assignment Problem
MILP	Mixed Integer Linear Programming
FCFS	First Come First Serve
ETA	Estimated Time of Arrival
PCT	Piraeus Container Terminal
SBAP	Static Berth Allocation Problem
TEU	Twenty Equivalent Unit

Κεφάλαιο Ένα: Επιχειρησιακή Έρευνα και Ναυτιλία

Από την ανακάλυψη του και την πρωτοπορία που εισήγαγε στα τέλη της δεκαετίας του 60', το εμπορευματοκιβώτιο οδήγησε την ναυτιλιακή βιομηχανία σε πρωτόγνωρη ευκολία μεταφοράς εμπορευμάτων και κυριάρχησε στις διηπειρωτικές μεταφορές. Στη σημερινή εποχή, τα πλοία που εκτελούν τέτοιες θαλάσσιες διαδρομές μπορούν και μεταφέρουν πάνω από 10.000 TEUs (TEU = 1 20 ποδών εμπορευματοκιβώτιο) κατά μέσο όρο όπου και πάλι σε κάποια λιμάνια και με συγκεκριμένα πλοία ο αριθμός αυτός αυξάνεται σημαντικά (βλ. κεφάλαιο Τρία). Σύμφωνα με προβλέψεις διαφόρων ερευνητών, λαμβάνοντας ως δεδομένα την αυξανόμενη ανταγωνιστικότητα τόσο στους διαχειριστές λιμένων όσο και στις ναυτιλιακές εταιρείες, την αυτοματοποίηση και την τεχνολογική ανάπτυξη, πως ο αριθμός πλοίων μεταφοράς Ε/Κ αλλά και ο όγκος Ε/Κ προς διαχείριση θα αυξηθεί με σημαντικούς ρυθμούς.

Η αύξηση αυτή προσδίδει μεγαλύτερη πίεση στους τερματικούς σταθμούς διαχείρισης Ε/Κ αλλά και στους διαχειριστές τους ώστε να αυξήσουν την αποδοτικότητα τους και να χειρίζονται τον αυξανόμενο αριθμό όσο πιο ομαλά γίνεται εν μέσω επιπλέον μεγάλης ανταγωνιστικότητας.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε εν συντομία την κύρια συμβολή της Επιχειρησιακής Έρευνας στην ναυτιλιακή βιομηχανία.

Θα μπορούσαμε να διαχωρίσουμε τα προβλήματα που ανακύπτουν σε δυο κατηγορίες, ανάλογα από την πλευρά που καλείται να δώσει απάντηση σε αυτά. Από την μία πλευρά είναι η διοίκηση των τερματικών σταθμών από την άλλη η διοίκηση της πλοιοκλήτριας/διαχειρίστριας εταιρείας. Και από τις δύο οπτικές, η χρήση της επιχειρησιακής έρευνας ως εργαλείο επίλυσης των παρακάτω προβλημάτων είναι καθοριστική.

Μεταξύ των προβλημάτων που πρέπει να επιλυθούν, υπάρχει η χωρική κατανομή εμπορευματοκιβωτίων στην γιάρδα του τερματικού σταθμού, η βελτιστοποίηση των θαλάσσιων διαδρομών, η κατανομή των πλοίων σε θέσεις ελλιμενισμού με την χρήση των ανάλογων γερανών και η κατανομή φορτίου σε πλοία προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι επιδόσεις βάσει οικονομικών και χρονικών δεικτών.

Ξεκινώντας από τα τερματικά εμπορευματοκιβωτίων , με την βοήθεια της επιχειρησιακής έρευνας και βελτιστοποίησης αντιμετωπίζονται τα εξής προβλήματα:

Πρόβλημα Προσόρμισης πλοίων σε προβλήτα (Berth Allocation Problem – BAP):

Ως BAP αναφέρεται το πρόβλημα διάθεσης θέσης στην προβλήτα του λιμανιού στο επερχόμενο πλοίο έτσι ώστε ο συνολικός χρόνος παραμονής και εργασίας του πλοίου στο λιμάνι να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

Με την λογική ότι και τα mother vessels αλλά και τα feeders vessels προσεγγίζουν τα λιμάνια, θα περίμενε κανείς η προτεραιότητα που δίνεται να είναι της μεθόδου First Come First Serve – FCFS. Η συγκεκριμένη στρατηγική παρόλα αυτά δεν είναι η πλέον χρήσιμη καθώς σημαντικό ρόλο στον συνολικό χρόνο παραμονής του πλοίου

δεμένο παίζει τόσο αρχικά η θέση της προβλήτας που θα δέσει όσο και ο αριθμός των Ε/Κ που έχει να φορτοεκφορτώσει το πλοίο άρα και ο αριθμός των γερανογεφυρών που πρέπει να του ανατεθούν.

Παρακάτω , στα κεφάλαια 4, 5 & 6 , θα επιχειρήσουμε να αναλύσουμε εκτενέστερα το παραπάνω πρόβλημα , δίνοντας ως μελέτη περιπτώσής το λιμάνι του Πειραιά και θα προχωρήσουμε στην προτεινόμενη λύση.

Πλάνου φόρτωσης πλοίου (Stowage Plan):

Η σχεδίαση και επεξεργασία πλάνου φόρτωσης του πλοίου πραγματεύεται την φόρτωση και τοποθέτηση των Ε/Κ σε συγκεκριμένες θέσεις στο πλοίο.

Ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων πιάνει αρκετά λιμάνια μέσα στην καθορισμένη διαδρομή του (route) και σε κάθε λιμάνι ξεφορτώνει και φορτώνει Ε/Κ. Η τοποθέτηση των containers σε θέσεις μέσα ή επί του καταστρώματος ενός πλοίου είναι πρόβλημα το οποίο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως αρχικά το βάρος του Ε/Κ για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του πλοίου, η ύπαρξη επικίνδυνου φορτίου, η ύπαρξη ψυγείου container κ.ά.

Βασικός στόχος είναι αρχικά να μην επηρεαστεί η ευστάθεια και η συνολική αντοχή του πλοίου. Τα πιο βαριά Ε/Κ πηγαίνουν συνήθως μέσα στα αμπάρια του πλοίου και ύστερα ακολουθούν τα πιο ελαφριά.

Στη συνέχεια , πρέπει να διασφαλιστεί η ασφάλεια του πλοίου, συνήθως λόγω της ύπαρξης Ε/Κ με επικίνδυνο εμπόρευμα. Τα συγκεκριμένα συνήθως τοποθετούνται σε χώρους όσο το δυνατόν μακριά από τα υπόλοιπα Ε/Κ.

Έπειτα, τα container ψυγεία θα πρέπει να τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις όπου υπάρχουν κοντά πρίζες για να διασφαλιστεί η αδιάκοπη λειτουργία τους. Και πάλι όμως θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την τοποθέτηση το βάρος των υπολοίπων Ε/Κ που θα μπουν από κάτω είτε από πάνω τους.

Τέλος και σε συνέχεια των παραπάνω τεχνικών περιορισμών, το πλάνο φόρτωσης θα πρέπει να φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί ότι σε κάθε λιμάνι θα εκφορτωθούν και αντίστοιχα θα φορτωθούν, τα σωστά Ε/Κ και δεν θα υπάρξουν καθυστερήσεις αλλά και επιπλέον έξοδα λόγω περιττών κινήσεων από τις γερανογέφυρες.

Πρόβλημα κατανομής γερανογεφυρών (Quay Crane Allocation Problem – QCAP):

Όπως είδαμε παραπάνω , οι φορτοεκφορτώσεις γίνονται βάσει του πλάνου φόρτωσης που έχει εκπονηθεί τόσο από την εταιρεία / πλοίο όσο και από το αντίστοιχο τμήμα του τερματικού σταθμού.

Όστοςο για την αποδοτικότερη λειτουργία του πλοίου τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε λειτουργικό, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θέση προσόρμισης του πλοίου , σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο αριθμός των γερανογεφυρών που θα ανατεθούν στο εκάστοτε πλοίο.

Το πρόβλημα κατανομής γερανογεφυρών απασχολεί το τερματικό σταθμό ως προς τον αριθμό των γεφυρών που θα πρέπει να αναθέσουν σε ένα πλοίο ώστε να

διαμοιράσουν τις κινήσεις φορτοεκφόρτωσης του μειώνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο παραμονής του στις θέσεις προσόρμισης.

Συνήθως τα προβλήματα της θέσης προσόρμισης και της κατανομής εξετάζονται μαζί και επιχειρείται να δοθεί συνδυαστική λύση.

Πρόβλημα Στοιβασίας E/K στη γιάρδα (Stacking problem):

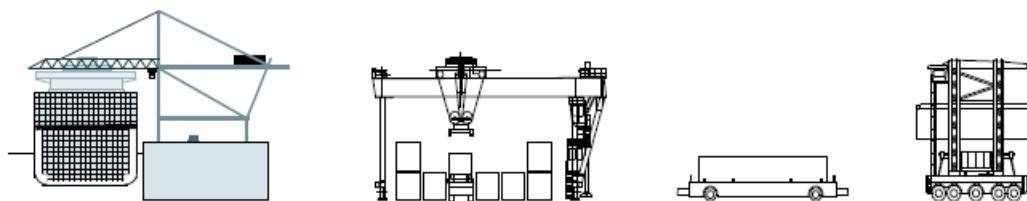
Το πρόβλημα αυτό είναι ένα ακόμα περίπλοκο πρόβλημα το οποίο απασχολεί έναν τερματικό σταθμό E/K. Οι “ντάνες” με τα E/K όπως συνηθίζεται να λέγεται η στοιβασία στους ειδικούς χώρους της γιάρδας όπου τοποθετούνται τα E/K, κενά ή έμφορτα - για εισαγωγή ή εξαγωγή - τοπικά ή για μεταφόρτωση, επιτρέπουν την λειτουργία όλων των μεταφορικών δραστηριοτήτων να πραγματοποιούνται αυτόνομα η μία από την άλλη.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα αρχικά είναι απόρροια του γενικότερου σχεδιασμού του λιμανιού. Θέματα που αναδεικνύονται από την ανάλυση του προβλήματος της στοιβασίας είναι:

- Σε ποιο τμήμα του λιμανιού θα βρίσκεται; Θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στις θέσεις παραβολής ώστε να είναι πιο γρήγορα προσβάσιμες από τα οχήματα και άρα και από τα πλοία ή δημιουργεί επιπλέον κυκλοφοριακή συμφόρηση;
- Πόσες σειρές από E/K θα τις αποτελούν ώστε να είναι εύκολα διαχειρίσιμες από τους υπάρχοντες γερανούς;
- Τι είδους E/K θα περιέχει κάθε ντάνα; Θα αποτελείτε μόνο από κενά, από E/K που οδηγούνται σε εξαγωγή ή από ένα μεικτό σύστημα;
- Τα προς εξαγωγή E/K που καταφθάνουν με φορτηγά που θα τοποθετούνται; Το παραπάνω βέβαια είναι σε συνάρτηση με το πότε θα είναι διαθέσιμο το πλάνο φόρτωσης του πλοίου.

Όπως μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό, όλα τα παραπάνω προβλήματα έχουν άμεσο αντίκτυπο στο πλοίο και στην πλοιοκτήτρια/διαχειρίστρια εταιρεία του.

Στη παρακάτω εικόνα 1, δίνονται και σχηματικά κάποια από τα παραπάνω προβλήματα.



Εικόνα 1

πηγή : Operations Research supports container handling, Meersmans, 2001

Από την πλευρά της πλοιοκτήτριας/διαχειρίστριας εταιρείας, τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται με την βοήθεια της επιχειρησιακής έρευνας είναι τα παρακάτω:

Πρόβλημα προγραμματισμού δρομολόγησης πλοίου (Ship routing scheduling problem):

Το πρόβλημα αυτό συναντάται όχι μόνο στην ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά και όλες τις μεταφορικές βιομηχανίες , αεροπορικές & τρένου αλλά με κυριότερη αυτή της οδικής. Το πρόβλημα στη γενική του μορφή ονομάζεται Vehicle Routing and Scheduling Problem – VRP .

Στόχος της επιχειρησιακής έρευνας αναφορικά με το πρόβλημα είναι να δοθεί το βέλτιστο δρομολόγιο, αποφασίζοντας την ιδανική σειρά των λιμένων που θα πιάσει το κάθε πλοίο , το πόσες φορές θα πρέπει να ακολουθήσει την συγκεκριμένη διαδρομή αλλά και την ιδανική ποσότητα φορτίου που θα πρέπει να φορτώνει σε κάθε λιμάνι έτσι ώστε η εταιρεία να μεγιστοποιήσει το κέρδος της, να μεγιστοποιήσει το προσδοκώμενο αποτέλεσμα ως προς την εξυπηρέτηση πελατών της και να ελαχιστοποιήσει το κόστος λειτουργίας του πλοίου πάντα εντός ενός χρονικού ορίζοντα.

Πρόβλημα μεταφόρτωσης φορτίου (Transshipment problem):

Το πρόβλημα μεταφόρτωσης συναντάται κυρίως στη ναυτιλία τακτικών γραμμών όπου το κύριο χαρακτηριστικό του είναι πως τα Ε/Κ ξεφορτώνονται σε λιμάνι που δεν είναι ο τελικός τους προορισμό περιμένοντας την άφιξη πλοίου που εξυπηρετεί το τελικό τους λιμάνι ώστε να φορτωθούν σε αυτό.

Ένα από τις πιο βασικές απαιτήσεις για το πρόβλημα της μεταφόρτωσης είναι μια εκ των προτέρων γνώση του σε πιο πλοίο εξυπηρετεί ώστε να φορτωθούν τα Ε/Κ καθώς και το κόστος ανταπόκρισης για αυτή τη φόρτωση. Αυτό που δυσχεραίνει το πρόβλημα είναι ότι υπάρχουν αρκετά πλοία που μπορούν να εξυπηρετήσουν το ανάλογο τελικό λιμάνι καθώς και πολλά πιθανά λιμάνια.

Το πρόβλημα της μεταφόρτωσης είναι η προέκταση του προβλήματος μεταφοράς.

Για την επίλυση των προβλημάτων στις λιμενικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται τεχνικές που έχουν ως βάση μαθηματικά μοντέλα. Οι τεχνικές αυτές αποτελούν αντικείμενο της Επιχειρησιακής Έρευνας και λειτουργούν ως εργαλείο για τη λήψη ορθολογικότερων αποφάσεων τόσο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού όσο και της λειτουργίας.

Τα μαθηματικά μοντέλα ταξινομούνται σε 4 μεγάλες κατηγορίες:

1. Γραμμικός προγραμματισμός (Linear Programming –LP): ίσως η πιο ευρέως γνωστή και χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία της ΕΕ κατάλληλη για επίλυση προβλημάτων που αφορούν την βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων για την επίτευξη του “άριστου” αποτελέσματος. Ο ΓΠ μπορεί να υποστηρίξει την διαδικασία λήψης αποφάσεων παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για την πληρέστερη οικονομική ανάλυση του προβλήματος.

2. Μη-Γραμμικός Προγραμματισμός (Non-Linear Programming – NLP): Είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού. Αντιμετωπίζουν γενικώς όλες τις περιπτώσεις όπου η αντικειμενική συνάρτηση ή μερικοί από τους περιορισμούς είναι μη γραμμικές συναρτήσεις.
3. Ακέραιος Προγραμματισμός (Integer Programming – IP): Τα προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού αποτελούν ειδική περίπτωση των προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Δεν διαφέρουν από τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού αλλά στα προβλήματα αυτά υπάρχει ο περιορισμός ότι όλες ή κάποιες μεταβλητές πρέπει να είναι ακέραιες. Οι περιπτώσεις που δεν είναι όλες οι μεταβλητές ακέραιες οδηγούν στα προβλήματα «Μικτού Ακέραιου Προγραμματισμού» (Mixed Integer Programming – MIP).
4. Δυναμικός Προγραμματισμός (Dynamic Programming – DP): Κύριος στόχος του ΔΠ είναι να καταταμηθεί ένα σχετικά μεγάλο και πολύπλοκο πρόβλημα σε μικρότερα τα οποία μπορούν να αντιμετωπισθούν ως ξεχωριστά προβλήματα βέλτιστου σχεδιασμού.

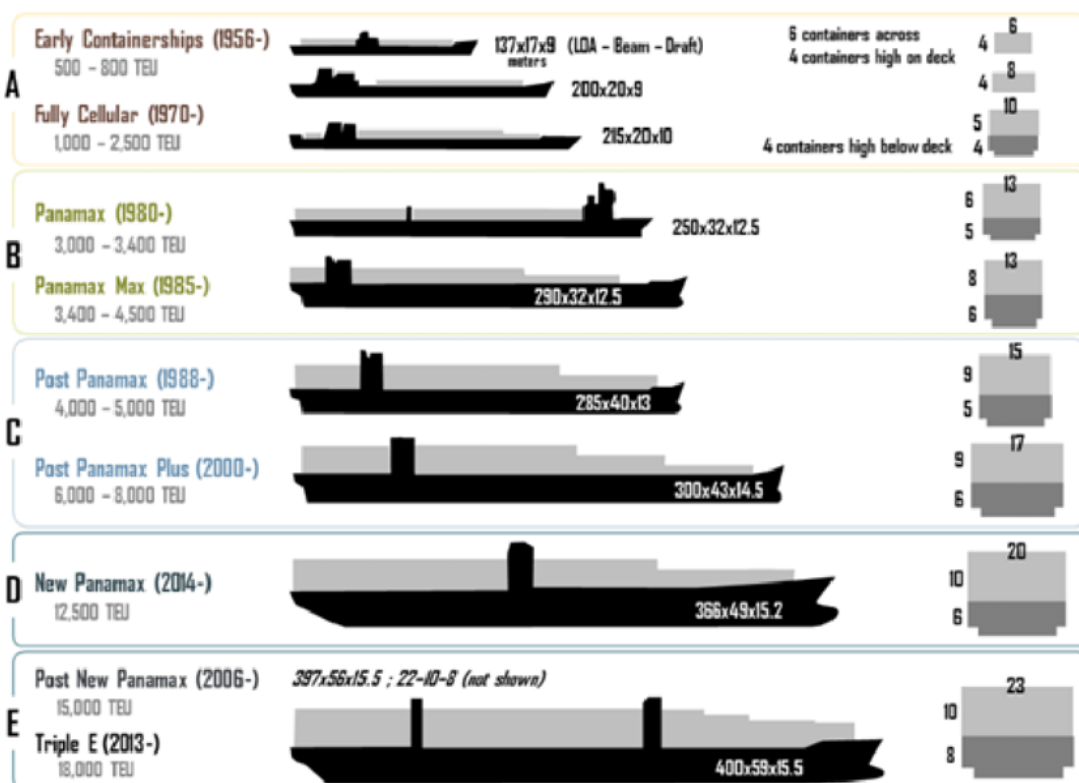
Κεφάλαιο Δύο : Τύποι Πλοίων μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων και είδη Εμπορευματοκιβωτίων

2.1 Τύποι Πλοίων μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων και η εξέλιξη τους

Ήταν τον Απρίλιο του 1926 όταν το Ideal-X, το πρώτο πλοίο που μετέφερε εμπορευματοκιβώτια, απέπλευσε από το Newark, λιμάνι της Αμερικής. Τυπικά το Ideal-X ήταν ένα τάνκερ, μετασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταφέρει και τα 58 πρώτα εμπορευματοκιβώτια, πέρα από το συμβατικό του υγρό φορτίο για την μεταφορά του οποίου είχε ναυλωθεί.

Η ιδέα της παραπάνω μετατροπής και μεταφοράς ήρθε από τον έναν οδηγό φορτηγών και μετέπειτα ιδρυτή της ναυτιλιακής εταιρείας SeaLand, Malcom McLean (1914-2001) στην προσπάθεια του να μειώσει το κόστος και τον χρόνο φορτοεκφόρτωσης των εμπορευμάτων από και προς το πλοίο.

Αλλάζοντας το modus operandi που επικρατούσε μέχρι εκείνη τη στιγμή στο χώρο της ναυτιλίας και δη της ναυτιλιακής αγοράς τακτικών γραμμών (liners) κατάφερε να φέρει μια επανάσταση που θα άλλαζε την παγκόσμια ναυτιλιακή σκηνή. Πλέον, και μετά από μόλις 50 χρόνια, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships) έχουν εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό, που μπορούμε πλέον να μιλάμε για 5 γενιές containerships όπως φαίνεται παρακάτω.



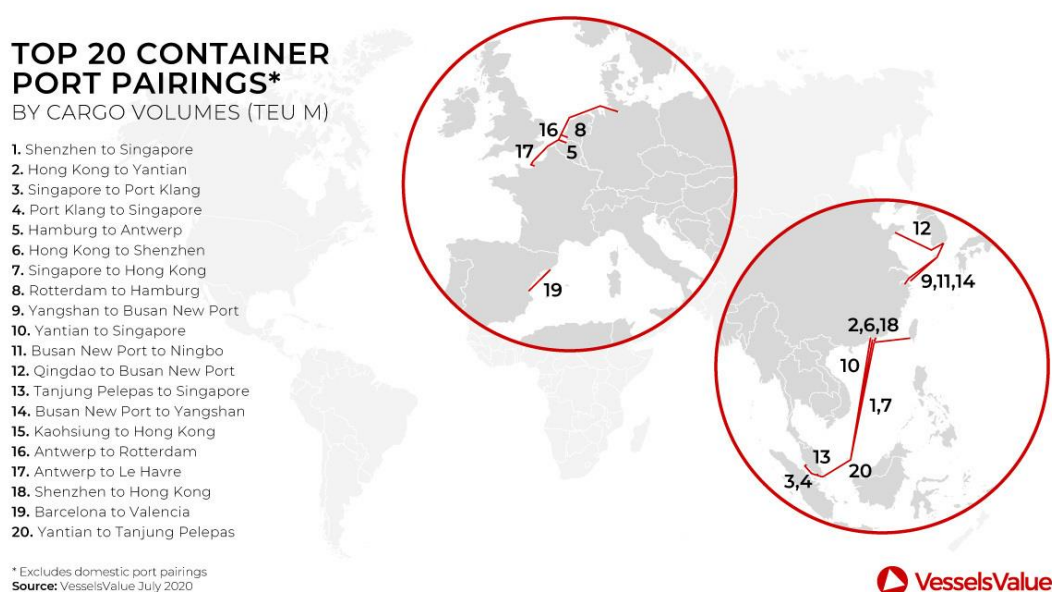
Εικόνα 2

πηγή: Port Investment and Container Shipping Markets (DP 2014-03)

Σύμφωνα με τα στοιχεία των Ηνωμένων Εθνών (UNCTAD, 2019), τόσο η χωρητικότητα των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όσο και ο μεταφερόμενος όγκος κατά την περίοδο 1980-2020 αυξήθηκε κατά 577 % παγκοσμίως. Παρομοίως ανάλογη ήταν η αύξηση του όγκου εμπορευματοκιβωτίων (φορτοεκφορτώσεις) που είχαν να διαχειριστούν οι λιμενικοί τερματικοί σταθμοί.

Έρευνα που εκπονήθηκε το 2005 από Διεθνούς Εμπορικού Επιμελητηρίου (ICC) σχετικά με την διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων στα μεγαλύτερα λιμάνια του κόσμου, είχε εκτιμηθεί ανάπτυξη με ρυθμό περίπου 10% ετησίως και σε κάποιες χώρες πιθανώς και μεγαλύτερη.

Παρακάτω φαίνονται τα 20 μεγαλύτερα λιμάνια για την χρονιά 2020 μετρούμενα σε μεταφερόμενο όγκο TEU (20' container = 1 TEU).



Εικόνα 3 πηγή: vessels value

Όπως γίνεται κατανοητό, η ραγδαία ανάπτυξη του θαλασσίου εμπορίου είχε ως άμεσο αποτέλεσμα την ανάπτυξη και εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ. Η παγκόσμια ναυτιλία μέσω των εταιρειών που την απαρτίζουν εξελίσσεται συνεχώς ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες που οδηγούν σε κάλυψη όλων και περισσότερων αναγκών τόσο των ιδίων των εταιρειών όσο και των καταναλωτών αυτής της υπηρεσίας. Κατασκευάζονται πιο ασφαλή πλοία με μεγαλύτερη ευστάθεια, μεγαλύτερη χωρητικότητα και δυνατότητα πλεύσης με ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα. Παράλληλα τα ανυψωτικά μηχανήματα, γερανογέφυρες και ASC αρχίζουν να καλύπτουν όλο και μεγαλύτερο φάσμα στο εύρος χρησιμότητας τους.

Οι τύποι πλοίων που μπορούν να μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Mother vessels: Ως μητρικά πλοία ονομάζονται τα μεγάλης χωρητικότητας πλοία 3000 και πάνω TEUS, τα οποία πραγματοποιούν ταξίδια μεταξύ ηπείρων.

Απευθύνονται κυρίως στα μεγάλα εμπορικά λιμάνια αλλά και στα λιμάνια που λειτουργούν και ως συνδετικά για τα υπόλοιπα κοντινά τους λιμάνια.

2. Feeder vessels ή πλοία πολλαπλών χρήσεων: Για τη μεταφορά των εμπορευμάτων από τα λιμάνια σύνδεσης προς τα μικρότερα κοντινά τους λιμάνια, γίνεται χρήση πλοίων μικρότερης χωρητικότητας, τα οποία ονομάζονται feeders. Η χωρητικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 50 και 500 TEUS.

3. Ro-Ro: Τα Ro-Ro αποτελούν σύγχρονα πλοία που μεταφέρουν φορτία τα οποία μπορούν να φορτωθούν αυτόματα. Τέτοια φορτία αποτελούν κυρίως τα τροχοφόρα όπως αυτοκίνητα και φορτηγά. Τα φορτία, οχήματα ή εμπορευματοκιβώτια, ρυμουλκούνται με χρήση ελκυστήρων εντός του πλοίου από ειδικό καταπέλτη. Ιδιαίτερο πλεονέκτημά τους αποτελεί η ταχύτατη διαδικασία φόρτωσης.

4. Πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου: Τέτοια πλοία χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η χρήση των mother vessels ή των feeders.

Στην διάρκεια των 70 χρόνων παρουσίας των containerships επήλθαν σημαντικές αλλαγές στην αγορά των θαλάσσιων μεταφορών Ε/Κ, κυρίως όσον αφορά το μέγεθος το πλοίων και τον ανταγωνισμό.

- Μέγεθος containerships: Το σημερινό μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς Ε/Κ (το HMM ALGECIRAS χωρητικότητας 24.000 TEUs) μπορεί να μεταφέρει περίπου 380 φορές περισσότερα εμπορευματοκιβώτια από ότι το Ideal-X. Αυτή η αύξηση του μεγέθους είναι άμεση απόρροια της μείωσης κόστους ανά Ε/Κ (κυρίως εν πλω) και των οικονομιών κλίμακας σε κόστη κεφαλαίου και λειτουργικά κόστη (κόστη πληρώματος, εφοδιασμού, κατανάλωσης). Αντιθέτως, ανοικονομίες κλίμακας μπορεί να προκύψουν στα λιμάνια, καθώς η υποδομή τους (γερανοί, χώρος αποθήκευσης, κλπ) δεν είναι έτοιμη να εξυπηρετήσει τα πλοία αυτά με αποδοτικό τρόπο.
- Ανταγωνισμός: Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί η είσοδος ανεξάρτητων εταιριών (εκτός κοινοπραξίας) στην αγορά. Επίσης, σύγχρονες μεγάλες εταιρίες liner, που αρχικά ήταν οργανωμένες σε κοινοπραξίες, αποσχίστηκαν από τις κοινοπραξίες και έγιναν ανεξάρτητες (βλ., Maersk, Evergreen). Παρά το όποιο ρεύμα ανταγωνισμού, η αγορά containerships παρουσιάζει μια αξιοσημείωτη συγκέντρωση, με τις 10 μεγαλύτερες εταιρίες να κατέχουν περίπου το 89% της παγκόσμιας αγοράς μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

2.2 Εμπορευματοκιβώτια

2.2.1 Η τεχνική της εμπορευματοκιβωτοποίησης

Η ιστορία της εμπορευματοκιβωτοποίησης ξεκινά παράλληλα περίπου με την είσοδο στον χώρο της ναυτιλίας των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ, το 1953. Εμπνευστής τους ο οδηγός φορτηγών Malcom McLean.

Πριν από το Ε/Κ, η μεταφορά αγαθών και εμπορευμάτων από και προς το πλοίο, εκτελούνταν σχεδόν χειρωνακτικά από τους λιμενεργάτες. Τα εμπορεύματα έρχονταν με όχημα στην αποθήκη του λιμανιού όπου και ξεφορτώνονταν αναμένοντας την άφιξη του πλοίου. Με την άφιξη του πλοίου, συσκευάζονταν και μεταφέρονταν από τους λιμενεργάτες από τους οποίους και φορτωνόταν. Σε όλη αυτή τη καθυστέρηση, θα πρέπει να συνυπολογιστούν και οι καθυστερήσεις που θα συναντούσε το πλοίο και στα υπόλοιπα λιμάνια που θα έπιανε.

Οι πολλαπλοί αυτοί χειρισμοί και οι καθυστερήσεις καθιστούσαν τις μεταφορές δαπανηρές, χρονοβόρες και αναξιόπιστες.

Η μέθοδος μεταφοράς με Ε/Κ (containerization) υπήρξε καταλύτης της παγκοσμιοποίησης του εμπορίου, καθώς επιτάχυνε την μεταφορά των αγαθών, μείωσε το συνολικό κόστος μεταφοράς και παρείχε αυξημένη προστασία από ανεπιθύμητες ενέργειες.

Τα Ε/Κ έχουν τυποποιημένες διαστάσεις. Μπορούν να φορτώνονται και εκφορτώνονται, στοιβάζονται, μεταφέρονται αποτελεσματικά σε μεγάλες αποστάσεις, και μεταφέρονται από τον ένα μέσο μεταφοράς στο άλλο, χωρίς να ανοιχθούν. Το σύστημα χειρισμού είναι εντελώς μηχανοποιημένο, έτσι ώστε όλα χειρισμός της φορτοεκφόρτωσης να γίνεται με γερανούς και ειδικά ανυψωτικά. Όλα τα εμπορευματοκιβώτια είναι αριθμημένα και παρακολουθούνται με τη χρήση μηχανογραφικών συστημάτων.

2.2.2 Τύποι εμπορευματοκιβωτίων

Με βάση τον κανονισμό του ISO 6346, καθορίστηκε ένα διεθνές σύστημα αναγνώρισης για κάθε Ε/Κ, το οποίο περιλαμβάνει ένα μοναδικό αριθμό-κωδικό, το μέγεθος του, το τύπο του, το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος που μπορεί να φορτωθεί καθώς και κάποια πιθανά χαρακτηριστικά του που αφορούν την κατηγορία εξοπλισμού και μεταφοράς του.

Κάθε κωδικός αποτελείται από τέσσερα κεφαλαία γράμματα (τρία για τον κωδικό ιδιοκτήτη και ένα ως χαρακτηρισμός κατηγορίας, τα οποία δίνονται από τον ιδιοκτήτη) και επτά ψηφία (έξι που καθορίζονται από τον ιδιοκτήτη και ένα ψηφίο ελέγχου). Αυτός ο μοναδικός 11ψήφιος κωδικός αριθμός απαιτείται για την παρακολούθηση του εμπορευματοκιβωτίου και είναι η ταυτότητα του.

Το σύστημα ελέγχεται από το International Container Bureau (BIC). Πολλές φορές αναφερόμαστε στο ISO 6346 ως κώδικα BIC.

Το ISO 6346 αναγνωρίζει πέντε **μήκη** εμπορευματοκιβωτίων (σε πόδια): 20', 40', 45', 48', 53', διαστάσεις οι οποίες είναι αποδεκτές από όλες τις χώρες ως

κατασκευαστικό πρότυπο για κάθε τύπο Ε/Κ και μπορούν εύκολα να μεταφέρονται από κράτος σε κράτος αλλά και από ένα μεταφορικό μέσο σε ένα άλλο.

Η παραπάνω τυποποίηση των εμπορευματοκιβωτίων ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις σε θέματα κατασκευής. Οι απαιτήσεις αυτές διαχωρίζονται συνήθως ως προς ποιο είναι το μεταφερόμενο είδος και ύστερα στο μέγεθος τους. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να διακρίνουμε τα Ε/Κ ως εξής:

Διαχωρισμός με βάση το είδος εμπορεύματος

Τα εμπορευματοκιβώτια διακρίνονται σε **ξηρά** (dry containers), σε ψυγεία (refrigerated containers , «reefers») και σε υγρού φορτίου (tank containers).

Τα **ξηρά** Ε/Κ αποτελούν το πλειοψηφία των χρησιμοποιούμενων Ε/Κ εφόσον μπορούν να μεταφέρουν μια πλειάδα διαφορετικών κατηγοριών εμπορευμάτων. Σε αυτή την κατηγορία μπορούμε να εντάξουμε και τα παλετοφόρα Ε/Κ (pallet wide containers) , τα ανοιχτής οροφής (Open Top) και τις πλατφόρμες (platforms) με την αντίστοιχη χρησιμότητα τους στην μεταφορά ξηρού φορτίου.

Τα ψυγεία containers μεταφέρουν κυρίως τρόφιμα όπως το κρέας, τα φρούτα και τα λαχανικά.

Τέλος τα Ε/Κ δεξαμενές όπου καθιστούν εφικτή την μεταφορά υγρών στοιχείων όπως νερό, πετρέλαιο, υγροποιημένες χημικές και επικίνδυνες ουσίες κ.ά.

Διαχωρισμός με βάση το μέγεθος

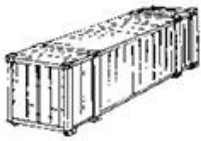
Διεθνώς αναγνωρισμένο μέγεθος αναφοράς για τα Ε/Κ είναι το TEU (Twenty feet equivalent unit).

Η χωρητικότητα ενός 20' εμπορευματοκιβωτίου είναι ίση με 1 TEU και θεωρείται η βάση της μέτρησης. Αντίστοιχα η χωρητικότητα ενός 40' Ε/Κ θα είναι ίση με 2 TEUs.

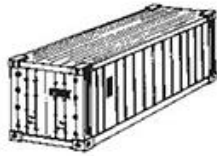
Με τον παραπάνω τρόπο μπορεί να υπολογισθεί εύκολα και η συνολική χωρητικότητα του εκάστοτε πλοίου φόρτωσης καθώς και άλλων μεγεθών υπεύθυνων για τις σωστές στρατηγικές αποφάσεις που θα κληθεί να πάρει η εταιρεία.

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνονται οι τύποι εμπορευματοκιβωτίων σύμφωνα με τις ναυτικούς όρους που χρησιμοποιούνται.

OCEAN CONTAINERS



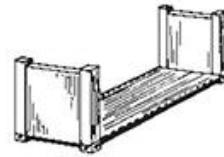
45' High Cube Dry



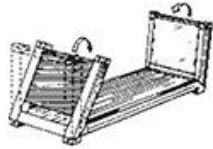
40' Dry Freight



40' Open Top



40' Flat Rack



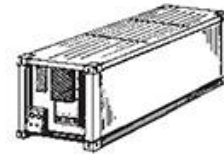
40' Collapsible Flat Rack



40' Platform



40' Reefer



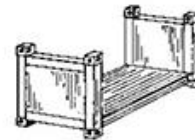
40' High Cube Reefer



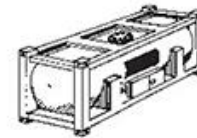
20' Dry Freight



20' Open Top



20' Flat Rack



20' Tank

Εικόνα 4

πηγή: google

Κεφάλαιο Τρία : Λειτουργία και Δομή Τερματικών Σταθμών Εμπορευματοκιβωτίων

Λειτουργίες τερματικών σταθμών

Επιχειρώντας να αποτυπώσουμε τον ορισμό ενός λιμένος σε μία γραμμή θα ήταν ο εξής: Λιμάνι είναι η πύλη μέσω της οποίας οι θαλάσσιες τερματικές εγκαταστάσεις μεταφέρουν φορτίο και επιβάτες μεταξύ πλοίων και χερσαίων μεταφορών. Ορίζεται, λοιπόν, ως την περιοχή όπου υπάρχουν οι υποδομές για την προσόρμιση και την αγκυροβόληση των πλοίων καθώς και ο απαραίτητος εξοπλισμός για την μεταφορά φορτίων από το πλοίο προς την ακτή και σε μέσα μεταφοράς τους και το αντίστροφο.

Με την πάροδο των χρόνων και την μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη που υφίσταται μέχρι την σημερινή εποχή, τα λιμάνια δεν περιορίζονται στους φυσικούς περιορισμούς τους (φυσικό ή τεχνητό λιμάνι) αλλά πλέον λογίζονται ως λειτουργικές οντότητες, χαρακτηριστικό που τους αποδίδεται λόγω των συνδυασμένων δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στα πλαίσια των τερματικών σταθμών όπως την μεταφορά Ε/Κ και αγαθών αλλά και το σύνολο των εγκαταστάσεων που τις τελειοποιούν όπως οι αποθήκες, ο μηχανολογικός εξοπλισμός – γερανοί, οι αποβάθρες κ.ά.

Ο τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων, αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής, μπορεί να λογιστεί ως ένα ανοικτό σύστημα ροής με δύο εξωτερικές διεπαφές: το μέρος του λιμανιού (προκυμαία) όπου τα εμπορευματοκιβώτια φτάνουν με πλοία εταιρειών τακτικών γραμμών και μεταφέρονται με την χρήση γερανογεφυρών από τα πλοία στην στεριά σε φορτηγά και τρένα για την έξοδο τους από το λιμάνι και τη γυάρδα, το μέρος εκείνο όπου τα Ε/Κ μεταφέρονται με ειδικά διαμορφωμένα φορτηγά προς αποθήκευση σε χώρο του λιμανιού ή και προς φόρτωση σε άλλο πλοίο. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνονται οι προαναφερθείσες προβλήτες προσόρμισης πλοίων, οι γερανογέφυρες, οι στοίβες με τα Ε/Κ (λεγόμενες container yards) από όπου συλλέγονται τα προς φόρτωση containers καθώς και μια γενικότερη εικόνα του σταθμού εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά.



Εικόνα 5

Πηγή: PCT.gr

Οι τερματικοί σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων τείνουν να αποτελούν μέρος ενός μεγαλύτερου λιμένα και οι μεγαλύτεροι τερματικοί σταθμοί αυτού του τύπου βρίσκονται γύρω από τα μεγάλα λιμάνια ενώ οι εσωτερικοί τερματικοί σταθμοί που εξυπηρετούν εμπορευματοκιβώτια τείνουν να βρίσκονται σε ή κοντά σε μεγάλες πόλεις, με καλές σιδηροδρομικές συνδέσεις με τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων.

Αν και οι τερματικοί σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων μπορούν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στον τύπο εξοπλισμού που χρησιμοποιούν και σίγουρα διαφέρουν σε σχέση με το μέγεθος, τη γεωγραφική διάταξη και τη χωροταξία τους, όσον αφορά τις διαδικασίες και τις λειτουργίες ως τερματικός σταθμός έχουν αρκετές κοινές πτυχές, που μπορούν περιγραφούν με λίγα λόγια παρακάτω:

- A) Διαδικασία Παραλαβής Ε/Κ
- B) Αποθήκευση
- Γ) Φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων σε Ε/Κ
- Δ) Διαδικασία Εξόδου Ε/Κ από το λιμάνι
- Ε) Φόρτωση Ε/Κ σε μέσα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων
- ΣΤ) Ο καθορισμός θέσης προσόρμισης

Πιο συγκεκριμένα:

A) Η παραλαβή περιλαμβάνει άφιξη εμπορευματοκιβωτίων στο τερματικό, είτε ως εισαγωγή ή εξαγωγή, καταγραφή της άφιξής του, ανάκτηση σχετικών δεδομένων εφοδιαστικής και προσθήκη του στο τρέχον απόθεμα.

B) Η αποθήκευση είναι η λειτουργία της τοποθέτησης του δοχείου σε μια γνωστή και καταγεγραμμένη τοποθεσία, ώστε να μπορεί να ανακτηθεί όταν χρειαστεί.

Γ) Για την φορτοεκφόρτωση των Ε/Κ υπάρχουν αποθήκες όπου πραγματοποιούνται τέτοιες εργασίες. Συχνότερα γίνεται εκφόρτωση ενός Ε/Κ και η παραλαβή του περιεχομένου του με φορητά από τον παραλήπτη του. Για την φόρτωση, υπάρχει ειδικός χώρος, παραχωρημένος σε εταιρείες με αντικείμενο την ομαδοποιημένη μεταφορά (groupage) ώστε να συγκεντρώνεται το εμπόρευμα και να φορτώνεται στα προς εξαγωγή Ε/Κ.

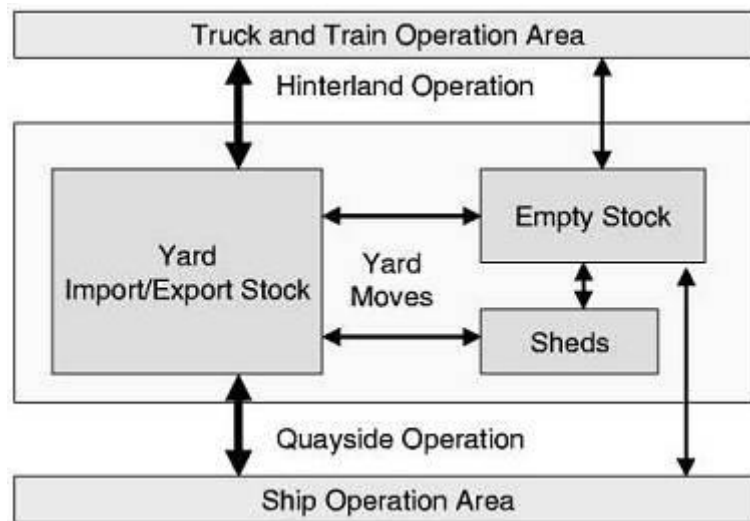
Δ) Η διαδικασία εξόδου είναι η λειτουργία της προετοιμασίας ενός εμπορευματοκιβωτίου για έξοδο από το τερματικό. Με άλλα λόγια, τα Ε/Κ που πρόκειται να εξαχθούν ταυτοποιούνται και οργανώνονται έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η διαδικασία φόρτωσης. Τα Ε/Κ εισαγωγής ακολουθούν παρόμοιες διαδικασίες. Εξάιρεση αποτελεί μια ομάδα εμπορευματοκιβωτίων που εξέρχονται από τον τερματικό σταθμό μέσω σιδηροτροχιάς.

Ε) Η λειτουργία της φόρτωσης περιλαμβάνει την τοποθέτηση του σωστού εμπορευματοκιβωτίου στο πλοίο, στο φορητό ή σε άλλο μέσο μεταφοράς. Σε αυτή τη διαδικασία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εσωτερική αλυσίδα εφοδιαστικής του τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίου (δηλ. πλοίο – φορητό / τρένο – γιάρδα και η αντίθετη κατεύθυνση αντίστοιχα).

ΣΤ) Ο καθορισμός θέσης προσόρμισης των πλοίων είναι μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες ενός τερματικού σταθμού και θα αναλυθεί σχολαστικότερα στα παρακάτω κεφάλαια. Εν συντομία, η λειτουργία αυτής της υπηρεσίας είναι να θέσει σε θέσεις προσόρμισης τα εισερχόμενα στο λιμάνι πλοία προσμετρώντας πολλά δεδομένα όπως οι κινήσεις που έχει να κάνει κάθε πλοίο (αναφερόμαστε στον συνολικό αριθμό Ε/Κ έχει να φορτώσει και να ξεφορτώσει) ώστε να του θέσει και τον ανάλογο αριθμό γερανογεφυρών, το βύθισμα του πλοίου, τις διαστάσεις του (μήκος, πλάτος) το εκτόπισμα του κ.ά.

Δομή τερματικών σταθμών

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα λιμάνια αποτελούν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα σε δύο διεπαφές, την προβλήτα και τον χώρο αποθήκευσης και διακίνησης των Ε/Κ. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε μια τυπική δομή ενός τερματικού σταθμού Ε/Κ και τη ροή που ακολουθεί η διακίνηση ενός Ε/Κ είτε από το πλοίο προς την έξοδο από το λιμάνι είτε το αντίστροφο.



Σχήμα 1

πηγή: Vinalogs Co L.T.D.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε τα εξής:

- 1) *Περιοχή Προσόρμισης Πλοίου (Ship Operation Area)* : Είναι η περιοχή όπου γίνεται η προσόρμιση του πλοίου. Εκεί εκτελείται η φορτοεκφόρτωση των Ε/Κ από τις γερανογέφυρες του λιμένα βάσει του πλάνου φόρτωσης που έχει εκπονηθεί από την εταιρεία και το τερματικό σταθμό. Βασικοί παράγοντες που προσμετρώνται ώστε να δοθεί η εκάστοτε θέση σε πλοίο είναι το μήκος και το βάθος της προβλήτας, το βύθισμα του πλοίου – απόρροια του μεταφερόμενου φορτίου – καθώς και το άνοιγμα των γερανογεφυρών.
- 2) *Γιάρδα / χώρος αποθήκευσης Ε/Κ (Container Yard)* : Η συγκεκριμένη περιοχή καταλαμβάνει περίπου το 60- 70% του συνολικού εμβαδού του τερματικού σταθμού. Βρίσκεται πίσω αλλά κοντά στις θέσεις πρόσδεσης των πλοίων ώστε η πρόσβαση σε αυτές να είναι γρήγορη και εύκολη. Χωρίζεται σε 5 τμήματα :
 - το τμήμα όπου στοιβάζονται τα Ε/Κ που μόλις ξεφορτώθηκαν από το πλοίο ώστε να εξαχθούν από το λιμάνι,
 - το τμήμα όπου στοιβάζονται τα Ε/Κ που έχουν εισαχθεί στο λιμάνι και επρόκειτο να φορτωθούν άμεσα σε πλοίο,
 - το τμήμα όπου βρίσκονται τα διαμετακομιστικά Ε/Κ που έχουν ξεφορτωθεί από ένα πλοίο αλλά δεν έχουν ως τελικό λιμάνι προορισμού τους το

συγκεκριμένο λιμάνι και θα φορτωθούν σε επερχόμενο πλοίο για να φτάσουν τον προορισμό τους,

- το τμήμα για τα επικίνδυνα Ε/Κ και τέλος
- το τμήμα για τα κενά Ε/Κ.

Στην περιοχή αυτή μεταφέρονται τα Ε/Κ με την βοήθεια των ειδικών αυτόματων ή επανδρωμένων οχημάτων GV – Guided Vehicles, όπου και στοιβάζονται. Αυτές οι στοίβες αποτελούνται από έναν αριθμό λωρίδων και τα Ε/Κ μπορούν να αποθηκευτούν για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτές οι λωρίδες εξυπηρετούνται από αυτόματους ή επανδρωμένους ελεγχόμενους γερανούς στοίβαξης (ASC).

Όταν ένα GV φτάνει σε μια λωρίδα, το ASC βγάζει το κοντέινερ από το GV και το αποθηκεύει στη στοίβα. Μετά από μια ορισμένη περίοδο, τα εμπορευματοκιβώτια ανακτώνται από τη στοίβα από τα ASC και μεταφέρονται από τα GV στο πλοίο προς φόρτωση. Αυτή η διαδικασία εκτελείται επίσης με αντίστροφη σειρά, για τη φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων σε πλοίο.



Εικόνα 6

πηγή: google



Εικόνα 7

πηγή: google

- 3) *Περιοχή παραλαβής και παράδοσης Ε/Κ (Truck and Train Operation Area) :*
Τέλος, τα Ε/Κ θα πρέπει να μεταφερθούν από το χώρο αποθήκευσης στο χώρο παραλαβής τους για την φόρτωση τους σε μέσα μεταφοράς και την έξοδο τους από το λιμάνι. Η διαδικασία αυτή είναι απόρροια εξωτερικής ζήτησης, δηλαδή ένας εξωτερικός συνεργάτης / φορτωτής της εταιρείας έχει ζητήσει την έξοδο του Ε/Κ από το λιμάνι.
Σε αυτή τη διαδικασία μεγάλη επίδραση έχει η μορφολογία και η οργάνωση της εκάστοτε γιάρδας καθώς παίζει σημαντικό ρόλο πόσες κινήσεις πρέπει να γίνουν από τα ASC ώστε να ελευθερωθεί το προς ζήτηση Ε/Κ , αυξάνοντας έτσι τόσο το λειτουργικό κόστος των γερανών όσο και τον χρόνο αναμονής του φορτηγού (π.χ. αν υπάρχουν 3 Ε/Κ πάνω από το ενδιαφερόμενο Ε/Κ, ο γερανός θα πρέπει να εκτελέσει 7 συνολικά κινήσεις – 6 για να βγάλει και να βάλει τα 3 πρώτα στις θέσεις τους και 1 για να φορτώσει το Ε/Κ που μας ενδιαφέρει- άρα και μεγαλύτερο κόστος) .
Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή της εισόδου ενός Ε/Κ στο χώρο παραλαβής, και πάλι παίζει σημαντικό ρόλο η μορφολογία και η οργάνωση της γιάρδας αλλά περισσότερο στην χρησιμοποίηση του κατάλληλου γερανού.

Επιπλέον λειτουργίες που πράττονται σε έναν τερματικό σταθμό είναι η παροχή υπηρεσιών προς τα πλοία όπως η πλοήγηση για την είσοδο και την έξοδο τους από το λιμάνι, ο γενικός εφοδιασμός τους σε τρόφιμα και καύσιμα , οι διάφορες εργασίες για επισκευές στο πλοίο, οι διαδικασίες τελωνειακών πράξεων , η φύλαξη καθώς και η γενικότερη διοίκηση του τερματικού σταθμού.

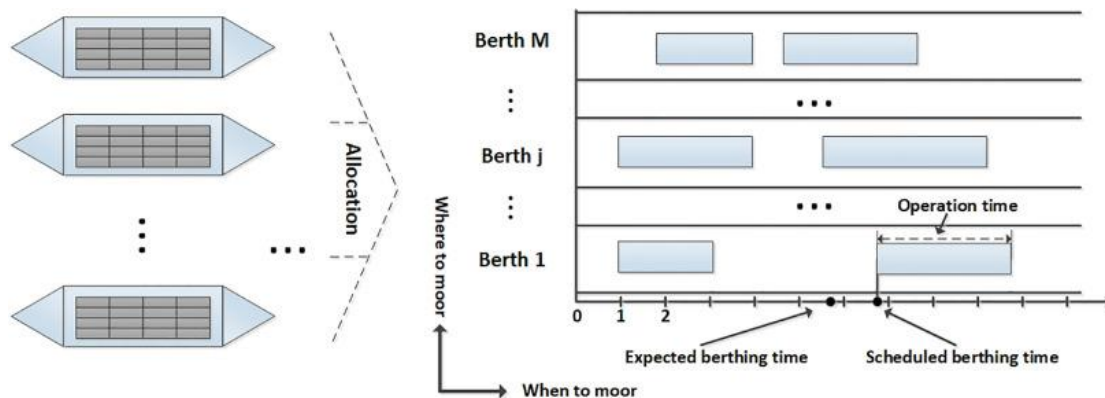
Κεφάλαιο Τέσσερα: Βιβλιογραφικό Υπόβαθρο προβλήματος κατανομής θέσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα λιμάνια και συγκεκριμένα οι τερματικοί σταθμοί είναι περίπλοκες βιομηχανίες που επιτυγχάνουν αποτελεσματικές λειτουργίες στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη είσοδο του πλοίου στο λιμάνι, την φορτοεκφόρτωση του, τον ανεφοδιασμό του και τελικώς την έξοδο του από το λιμάνι.

Στόχος του κάθε τερματικού σταθμού είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους που επιτυγχάνεται από την εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων πλοίων (λιμενικά τέλη αλλά και οι ανάλογες χρεώσεις για την φορτοεκφόρτωση των Ε/Κ είναι μερικές από τις πηγές εσόδων) στις θέσεις ελλιμενισμού του αλλά και λιγότερης αναμονής των πλοίων προς εξυπηρέτηση.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα, λοιπόν, που αντιμετωπίζει ο διαχειριστής των τερματικών σταθμών είναι η κατανομή των εισερχόμενων πλοίων στις προβλήτες του λιμανιού γνωστό ως Berth Allocation Problem (BAP).

Η διαδικασία αυτή είναι συνάρτηση αρκετών παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν όπως οι διαστάσεις τόσο των πλοίων όσο και των προβλητών, ο αριθμός των Ε/Κ που έχει να φορτοεκφορτώσει άρα και το αριθμός των γερανογεφυρών που θα χρειαστεί, αν πρόκειται για mother vessel ή feeder, η θέση στη γιάρδα που βρίσκονται τα Ε/Κ προς φόρτωση κ.ά.



Σχήμα 2

πηγή: google

Διαχρονικά το πρόβλημα αυτό έχει μελετηθεί εκτενώς λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες παραμέτρους προς εξέταση όπως την προτεραιότητα των εισερχόμενων πλοίων στο λιμάνι, την σχεδίαση του λιμένα (layout), τον περιορισμό χρονικού ορίου εργασιών, την επίδραση που έχει στους πελάτες της εταιρείας οι διάφορες χρονικές καθυστερήσεις που υφίστανται στο λιμάνι κ.ά.

Οι, τόσων ειδών, έρευνες φανερώνουν και τη σημασία που έχει το συγκεκριμένο ζήτημα αναλογιζόμενος κανείς ότι οι θέσεις πλεύρισης είναι περιορισμένες αλλά αντιθέτως ο αριθμός των πλοίων που καταφθάνουν καθημερινώς στο λιμάνι είναι μεγάλος και αυξανόμενος.

Βάσει της βιβλιογραφίας μπορούμε να συνοψίσουμε στο ότι το πρόβλημα χαρακτηρίζεται αρχικά από δύο είδη περιορισμών: τον *χωρικό περιορισμό* και τον *χρονικό περιορισμό*.

Οι *χωρικοί* περιορισμοί σχετίζονται με τις διαστάσεις του λιμανιού, το μέγεθος των πλοίων, το βάθος του λιμανιού και τη διαίρεση σε θέσεις της προβλήτας. Οι *χρονικοί* περιορισμοί σχετίζονται κυρίως με την ημερομηνία άφιξης του σκάφους και την ημερομηνία ελλιμενισμού.

Με βάση τους *χωρικούς* περιορισμούς, οι κύριοι τύποι ΒΑΡ είναι:

- 1) ΒΑΡ με διακριτή διάταξη (DBΑΡ)
- 2) ΒΑΡ με συνεχή διάταξη (CBΑΡ)
- 3) ΒΑΡ με υβριδική διάταξη (HBΑΡ)

Στο DBΑΡ η περιοχή ελλιμενισμού χωρίζεται σε τμήματα που ονομάζονται *θέσεις/κουκέτες*, όπου μόνο ένα σκάφος μπορεί να δέσει σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τηρώντας τον περιορισμό ότι το μήκος του σκάφους δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το μήκος της θέσης. Το λιμάνι σε αυτή την περίπτωση έχει πεπερασμένη χωρητικότητα σε θέσεις ελλιμενισμού. Δεδομένου της διαφορετικότητας, σε μήκη, των πλοίων που εισέρχονται στο λιμάνι, ένας διαχωρισμός της προβλήτας σε τέτοιες θέσεις/τμήματα είναι δύσκολος. Μια ορατή λύση είναι να γίνει ο διαχωρισμός είτε σε μεγαλύτερου μήκους τμήματα είτε σε μικρότερου αλλά ενέχει μεγάλα περιθώρια ρίσκου και οδηγεί σε αδυναμία εξυπηρέτησης πολλών πλοίων.

Ως λύση του παραπάνω, παρουσιάστηκαν τα μοντέλα του συνεχούς ελλιμενισμού (CBΑΡ). Στα μοντέλα αυτά, η προβλήτα παρουσιάζεται ως ενιαίος χώρος όπου τα εισερχόμενα πλοία μπορούν να καταλάβουν οποιοδήποτε τμήμα της.

Τέλος στο HBΑΡ υπάρχει επίσης μια χωρισμένη περιοχή στις κουκέτες, ωστόσο, υπάρχει η πιθανότητα ότι ένα μεγαλύτερο σκάφος καταλαμβάνει περισσότερα από μία κουκέτα, και επίσης ένα αγκυροβόλιο μπορεί να καταληφθεί από περισσότερα από ένα σκάφη.

Με βάση τους χρονικούς περιορισμούς, το ΒΑΡ ταξινομείται σε:

- 1) Στατική Άφιξη
- 2) Δυναμική Άφιξη

Στη *στατική* άφιξη, θεωρείται ότι όλα τα σκάφη βρίσκονται στην περιοχή αγκυροβόλησης έτοιμα να εισέλθουν στις θέσεις προσόρμισης και επομένως η ημερομηνία άφιξης όλων των σκαφών είναι ίση και μπορεί να αγνοηθεί. Αντίθετα, κατά τη *δυναμική* άφιξη, τα πλοία έχουν διαφορετικές ημερομηνίες άφιξης σε ορίζοντα προγραμματισμού και ως εκ τούτου δεν μπορούν να εισέλθουν και να δέσουν πριν από την ημερομηνία άφιξής τους στο λιμάνι. Το ΒΑΡ με *δυναμική* άφιξη αντιπροσωπεύει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ανάγκες της διαχείρισης λιμένων.

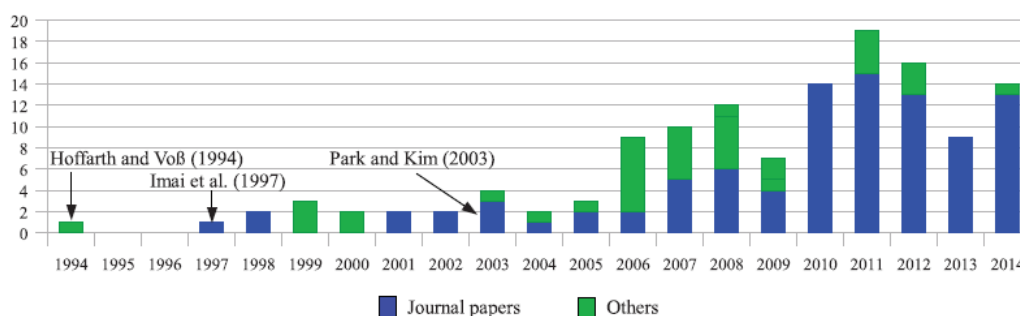
Στη συνέχεια, διακρίνουμε 3 επίπεδα σχεδιασμού και ελέγχου: το *στρατηγικό*, το *τακτικό* και το *επιχειρησιακό* επίπεδο.

Στο *στρατηγικό* επίπεδο, ο αριθμός και το μήκος των διαθέσιμων προβλητών και άρα και των θέσεων τους καθώς και ο αριθμός των γερανών που θα είναι διαθέσιμοι είναι καθορισμένος. Τυπικά αυτό γίνεται είτε κατά την αρχική σχεδίαση του τερματικού σταθμού είτε κατά τα σχέδια επέκτασής του.

Στο *τακτικό* επίπεδο, λαμβάνονται μεσοπρόθεσμες αποφάσεις και συνήθως αφορούν προ-καθορισμό θέσεων για mother vessels containerships.

Τέλος, σε *επιχειρησιακό* επίπεδο δημιουργείται ένα πλάνο προσόρμισης πλοίων για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα που συνήθως δεν ξεπερνά τις 10 μέρες.

Στη σχετική βιβλιογραφία εντοπίστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν παραπάνω από 90 άρθρα που αναφέρονται στο ΒΑΡ με έναν μεγάλο αριθμό από αυτά να έχουν εκδοθεί από το 2010 και μετά όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3

πηγή: C. Bierwirth, F. Meisel / European Journal of Operational Research 244 (2015)

Παρακάτω παρουσιάζουμε την ταξινόμηση και μια σε βάθος βιβλιογραφική επισκόπηση των δημοσιευμάτων που αφορούν το πρόβλημα της κατανομής των θέσεων ελλιμενισμού (BAP) που δημοσιεύθηκαν μεταξύ 2001 και 2020. Συμπεριλαμβάνουμε επίσης άρθρα που συνδυάζουν το BAP με το Quay Crane Assignment Problem και το Quay Crane Scheduling Problem παρόλο που δεν μελετούνται στην παρούσα διπλωματική έτσι ώστε να γίνει κατανοητό εις βάθος το μέγεθος των προβλημάτων που έχουν να επιλύσουν οι διαχειριστές τερματικών σταθμών.

Οι [Pasquale Legato](#) και [Rina M. Mazza \(2001\)](#) εξέτασαν ένα μοντέλο δικτύου αναμονής ουράς (Queuing Network Model) δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας σχετικά με τις διαδικασίες άφιξης, πρόσδεσης και αναχώρησης πλοίων σε τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων. Βασίστηκαν στην παραδοχή πως οι μη τυποποιημένοι σταθμοί εξυπηρέτησης, οι χρόνο-εξαρτώμενοι μηχανισμοί προτεραιότητας και οι σύνθετες πολιτικές κατανομής πόρων εμποδίζουν τη χρήση αναλυτικών προσεγγίσεων στη λύση του προβλήματος. Ως λύση ανέπτυξαν ένα μοντέλο προσομοίωσης σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Slam στην οποία η προσομοίωση διακριτού αποτελέσματος επιτυγχάνεται με περιορισμένη προσπάθεια. Τα καλά αποτελέσματα επικύρωσης, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα απόκρισης σε ένα πραγματικό σύστημα, λαμβάνονται με τη χρήση συγκεντρωτικών δεδομένων που σχετίζονται με έναν πεπερασμένο χρονικό ορίζοντα. Τα παραπάνω αποτελέσματα απεικονίζουν τη χρήση του μοντέλου για μια προσέγγιση βελτιστοποίησης «what if» στο πρόβλημα προγραμματισμού θέσης.

Οι [Jim Dai](#), [Wuqin Lin](#), [Rajeeva Moorthy](#) και [Chung-Piaw Teo \(2004\)](#) μελέτησαν το στατικό πρόβλημα ελλιμενισμού (SBAP). Το παρουσίασαν ως ένα πρόβλημα σακιδίου (packing problem) με περιορισμούς τον χρόνο τερματισμού των εργασιών του πλοίου και χρησιμοποίησαν έναν τοπικής αναζήτησης αλγόριθμο (Local neighborhood search algorithm) που χρησιμοποιεί την έννοια του “ζεύγους ακολουθιών” για να ορίσει την επιθυμητή “περιοχή” για την επίλυσή του. Με την ενσωμάτωση του αλγορίθμου αυτού σε ένα, πραγματικών δεδομένων, σύστημα προγραμματισμού θέσεων κατανομής επηρέασαν και εξέτασαν θέματα όπως το χρονικό περιθώριο προγραμματισμού (πόσο μελλοντικά μπορούμε να προγραμματίσουμε) και τον στόχο που εκάστοτε ζητείται να καλυφθεί (ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής ή μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης των πόρων του λιμανιού). Τέλος, παρατήρησαν πως σε πλοία με μερικό φόρτο εργασίας, ο αλγόριθμος τοποθετεί να πλοία στις προτεινόμενες θέσεις με την άφιξη τους ενώ αντίθετα σε πλοία με μεγάλο φόρτο άρα και μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στο λιμάνι δίνεται ως προτεινόμενη λύση η σκόπιμη καθυστέρηση ελλιμενισμού ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη αποδοτικότητα.

Οι [Cordeau et al. \(2005\)](#) αναλογιζόμενοι τη διάταξη των λιμένων (layout), ανέπτυξαν δύο μοντέλα με τις αντίστοιχες μεθόδους επίλυσης (ένα ευρετικό αλγόριθμο βασισμένο στην έρευνα των Imai et al. 2001 και ένα αλγόριθμο επίλυσης του προβλήματος ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων πολλαπλών αποθηκών-MDVRP) για την *διακριτή διάταξη* και έναν ευρετικό αλγόριθμο για την *συνεχή διάταξη*. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι ευρετικοί αλγόριθμοι μπορούν να

ανταποκριθούν σε πραγματικά δεδομένα λαμβάνοντας υπόψιν χρονικά περιθώρια , επιθυμητές θέσεις προσόρμισης κ.ά.

Οι [Moorthy & Teo \(2006\)](#) προτείνουν ένα πλαίσιο για την αντιμετώπιση του προβλήματος προγραμματισμού θέσης στο προτύπου της γενεαλογικής προβλήτας (Home Berth , δηλαδή το πρόβλημα της κατανομής της προτιμώμενης θέσης ελλιμενισμού σε ένα σύνολο σκαφών που προγραμματίζεται να προσεγγίζουν στον τερματικό σταθμό σε εβδομαδιαία βάση. Στο πλαίσιο αυτό αναλύονται οι οικονομικές επιπτώσεις και αναφέρεται ο συσχετισμός μεταξύ των δύο διαστάσεων της υπηρεσίας ενός τερματικού σταθμού, εκφραζόμενος ως χρόνος αναμονής για πλοία, και του λειτουργικού κόστους που προκύπτει από τις μετακινήσεις εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ προβλήτας και γυάρδας. Σημειώνεται επίσης το πρόβλημα των στοχαστικών αποκλίσεων των αναμενόμενων χρόνων άφιξης που έχουν ως αποτέλεσμα τον εκ νέου σχεδιασμό της τελευταίας στιγμής, που οδηγούν σε εκτεταμένα αποθέματα ασφαλείας και πρόσθετους πόρους, αντίστοιχα. Η προσέγγιση αποσκοπεί στη δημιουργία ισχυρών προτύπων ελλιμενισμού με αποτέλεσμα καλύτερα επίπεδα υπηρεσιών, καθώς επίσης καλύτερη διαχείριση πόρων. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης δύο κριτηρίων μοντελοποιείται ως ένα πρόβλημα συσκευασίας σε έναν κύλινδρο (Packing Problem on a cylinder). Λύνεται από έναν αλγόριθμο SA που βασίζεται σε ζεύγη ακολουθιών και αποδεικνύεται αποτελεσματικός σε εκτεταμένα υπολογιστικά πειράματα. Τα αποτελέσματα που αντλούν καταδεικνύουν ότι η δυναμική επίδραση της στοχαστικότητας μπορεί να μετρηθεί αποτελεσματικά.

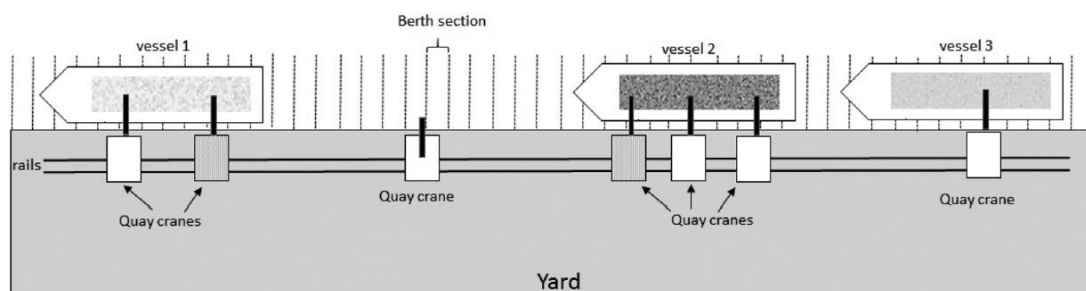
Από το 2011 και μετά παρατηρήθηκε μια αξιοσημείωτη αύξηση ερευνητικών άρθρων που ασχολήθηκαν με το BAP είτε μεμονωμένα σε ένα μοντέλο του είτε σε συνδυασμό μοντέλων για την αποτελεσματικότερη κάλυψη του προβλήματος.

Με άρθρο τους οι [Ching-Jung Ting, Kun-Chih Wu & Hao Chou \(2013\)](#) επικεντρώνονται στο πρόβλημα ελλιμενισμού με διακριτή διάταξη και δυναμική άφιξη πλοίων το οποίο ελαχιστοποιεί το συνολικό χρόνο αναμονής και χρόνων χειρισμού για όλα τα πλοία διατυπώνοντας το πρόβλημα με ένα μοντέλο μικτού ακέραιου προγραμματισμού (MIP). Δεδομένου όμως πως το BAP είναι πρόβλημα NP-hard, προσεγγίσεις διαδοχικών λύσεων δεν μπορούν να δώσουν βέλτιστη λύση σε ρεαλιστικές συνθήκες εντός εύλογου χρόνου, έτσι προτείνουν ως λύση μια προσέγγιση βελτιστοποίησης σωματιδίων (Particle Swarm Optimization- PSO). Συγκρίνοντας το προτεινόμενο μοντέλο με μοντέλα από την σχετική βιβλιογραφία παρατήρησαν πως το PSO είναι ικανό να βρει την βέλτιστη λύση σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Οι [Ahmed Simrin και Ali Diabat \(2015\)](#) μελετούν το δυναμικό πρόβλημα κατανομής θέσης – DBAP. Αρχικά το πρόβλημα διατυπώθηκε ως μοντέλο μη γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού στο οποίο ενσωματώθηκαν τεχνικές (linearization) για την μετατροπή του σε μοντέλο μικτού ακέραιου προγραμματισμού (MIP). Ανέπτυξαν έναν ευρετικό γενετικό αλγόριθμο (GA) και τον εφάρμοσαν σε διαφορετικές περιπτώσεις προβλημάτων και υπολογιστικών πειραμάτων. Ο αλγόριθμος λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες συνθήκες όπως ότι το πλοίο ενδέχεται να μην εισέλθει στη θέση με την άφιξη του, ότι μια θέση δεν μπορεί να καταληφθεί ταυτόχρονα από άλλο πλοίο και πως ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης διαφέρει από θέση σε θέση, στοχεύει

στην ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου διαχείρισης όλων των πλοίων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι.

Οι [Çagatay Iris, Dario Pacino](#) και [Stefan Ropke \(2017\)](#) στην έρευνα τους να βρεθεί βέλτιστη λύση του συνδυασμένου προβλήματος κατανομής θέσης και γερανογεφυρών σε πλοία, εστίασαν στην εύρεση της κατάλληλης ώρας του ελλιμενισμού και της αντίστοιχης κατάλληλης θέσης ελλιμενισμού για κάθε πλοίο στον χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού. Θεώρησαν τον χρόνο αναχώρησης του πλοίου από το λιμάνι ως συνάρτηση του αριθμού των καθορισμένων σε αυτό γερανογεφυρών. Εισάγοντας έναν ευρετικό αλγόριθμο Προσαρμοστικής Αναζήτησης Μεγάλης Γειτονιάς (Adaptive large Neighborhood Search – ALNS) με ορισμένες τροποποιήσεις κατάφεραν να εξάγουν υψηλής ποιότητας αποτελέσματα σε σημαντικά μικρότερο χρόνο συγκριτικά με άλλους ευρετικούς αλγορίθμους ακόμα και για μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων. Στην αντικειμενική τους συνάρτηση εξέτασαν έναν συνδυασμό κόστους που εξαρτάται από το χρόνο και το κόστος εκχώρησης QC. Το κόστος που εξαρτάται από το χρόνο σχετίζεται με την ώρα έναρξης και λήξης του ελλιμενισμού ενώ το κόστος που εξαρτάται από το QC είναι μια συνάρτηση των πόσων QC αντιστοιχίζονται σε ένα πλοίο.



Εικόνα 7 πηγή:

Μια από τις λίγες έρευνες που πραγματεύεται το Υβριδικό Πρόβλημα προσόρμισης διεξήχθη από τους [Nataša Kovač, Tatjana Davidović & Zorica Stanimirović \(2018\)](#). Αυτή η μελέτη εξετάζει το *δυναμικό* Πρόβλημα Κατανομής Υβριδικού Ελάχιστου Κόστους (DMCHBAP) με σταθερούς χρόνους χειρισμού των πλοίων. Η αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί αποτελείται από τρία στοιχεία: το κόστος τοποθέτησης στη θέση προσόρμισης, το κόστος αναμονής και κόστος καθυστέρησης της ολοκλήρωσης των εργασιών για όλα τα πλοία. Έχοντας κατά νου ότι η ταχύτητα εξεύρεσης λύσεων υψηλής ποιότητας είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού και αξιόπιστου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, οι μετα-ευρετικές μέθοδοι αντιπροσωπεύουν τη φυσική επιλογή αντιμετώπισης του DMCHBAP. Χρησιμοποιείται η απλή και αποτελεσματική μέθοδος του Variable Neighborhood Search (VNS) που βασίζεται στην διαδικασία τοπικής αναζήτησης, σε 4 παραλλαγές της. Απόρροια των υπολογιστικών πειραμάτων που έγιναν, παρατηρήθηκε πως και οι 4 παραλλαγές της

VNS μεθόδου επιτυγχάνουν βέλτιστη λύση σε πολύ μικρό χρόνο και πως έχουν προφανείς δυνατότητες επίλυσης του DMCHBAP και άλλων σχετικών προβλημάτων.

Ένα από τα πιο πρόσφατα άρθρα έρχεται από τους [Issam El Hammoutia, Azza Lajjamb & Mohamed El Merouania \(2020\)](#) οι οποίοι χρησιμοποιώντας ένα sailfish-based αλγόριθμο (SFA) και την σύγκριση του με έναν εμπορικό solver (CPLEX) εξέτασαν τα *δυναμικά* μοντέλα BAP ως προς την διάταξη του λιμένα (Διακριτή, Συνεχής και Υβριδική - DDBAP, DCBAP & DHAP) με απώτερο στόχο να διαπιστώσουν ποιο από τα παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στάνταρ μοντέλο ανεξαρτήτως μορφολογίας λιμανιού και ταυτόχρονα ποιο παράγει την καλύτερη λύση στην ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης των πλοίων. Αρχικά αναπτύσσεται ένα μοντέλο Μεικτού Ακέραιου Προγραμματισμού για κάθε μοντέλο ξεχωριστά ώστε να εκφραστεί η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου παραμονής των πλοίων στο λιμάνι. Στη συνέχεια αναπτύσσεται ο μετα-ευρετικός sailfish αλγόριθμος για την υβριδική και διακριτή διάταξη. Μέσω των υπολογιστικών πειραμάτων που διεξήγαγαν παρατηρήθηκε πως το μοντέλο Δυναμικού Υβριδικού BAP (DHBAP) ανταποκρίνεται καλύτερα από τα άλλα 2 και μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τερματικούς σταθμούς.

Μία διαφορετική προσέγγιση ακολούθησαν οι [Luigi Pio Prencipe και Mario Marinelli \(2020\)](#) για την επίλυση του *διακριτού* και *δυναμικού* προβλήματος κατανομής θέσης (DDBAP). Πρότειναν μια νέα μαθηματική διατύπωση που εκφράζεται ως Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (Mixed Integer Linear Programming - MILP). Επιπρόσθετα, υιοθέτησαν μια μετα-ευρετική προσέγγιση βασισμένη στην μέθοδος βελτιστοποίησης της αποικίας μελισσών (Bee Colony Optimization- BCO) για την επίλυση μεγάλου αριθμού δεδομένων. Έχοντας ως μελέτη περίπτωσης το λιμάνι του Λιβόρνο εξέτασαν το προτεινόμενο μοντέλο διαπιστώνοντας την αποτελεσματικότητά του για σχεδόν βέλτιστες λύσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Ταυτόχρονα προχώρησαν και στην σύγκριση του με τον μετα-ευρετικό αλγόριθμο της αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization – ACO) με τα ίδια αποτελέσματα.

Αναλογιζόμενοι τέλος τη σημασία των στρατηγικών αποφάσεων που καλείται να λάβει ο τερματικός σταθμός για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πόρων του στην εξυπηρέτηση των πελατών του (πλοία ναυτιλιακών εταιρειών), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχουν 3 επίπεδα πάνω στα οποία μοντελοποιείται το BAP: το *τακτικό*, το *επιχειρησιακό* και το *στρατηγικό*.

Οι [Henese et al. \(2004\)](#) προτείνουν ένα σύστημα διαχείρισης της κατανομής των θέσεων ελλιμενισμού για την προσομοίωση και την αξιολόγηση των πολιτικών κατανομής των θέσεων ελλιμενισμού σε ένα τερματικό εμπορευματοκιβωτίων. Διαφορετικά σενάρια με διάφορα μήκη αποβάθρας, μήκη απόστασης ελλιμενισμού και αλληλουχίες άφιξης πλοίων αντιμετωπίζονται με δύο πολιτικές ανάθεσης ελλιμενισμού («συντομότερος χρόνος αναμονής» και «θέση ελλιμενισμού πιο κοντά στη στοίβα»). Το σύστημα βοηθά στην ανάλυση του αντίκτυπου των αποφάσεων εκχώρησης στους πόρους, όπως οι θέσεις και οι γερανοί. Οι πολιτικές αξιολογούνται ως προς τον χρόνο αναμονής των σκαφών και την απόσταση που διανύουν τα GV's.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων προσομοίωσης δείχνουν ότι μια ενημερωμένη επιλογή της πολιτικής τοποθέτησης σε θέσεις ελλιμενισμού μπορεί να μειώσει τον χρόνο αναμονής και να βελτιώσει τη χρήση των GVs. Έτσι, η απόδοση ενός τερματικού μπορεί να αυξηθεί χωρίς διαρθρωτικές αλλαγές που επιβαρύνουν το κόστος.

Το 2014 οι [Pasquale Legato, Rina Mary Mazza, & Daniel Gullì](#) παρουσίασαν το άρθρο τους ενσωματώνοντας 2 μοντέλα λήψης αποφάσεων σε ένα πλαίσιο προσομοίωσης –βελτιστοποίησης: ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού σε τακτικό επίπεδο και ένα μοντέλο προσομοίωσης σε επιχειρησιακό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιεί μια ευρέτικη δέσμη αναζήτησης (beam search heuristics) για να λάβει ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα προσόρμησης σε τακτικό επίπεδο ακολουθούμενο από ένα μοντέλο αναζήτησης βασισμένο σε προσομοίωση ([simulated annealing based search](#)) για την προσαρμογή των αποφάσεων κατανομής θέσης σε επιχειρησιακό επίπεδο.

Συμπληρώντας τα παραπάνω, ο [Evrin Ursavas \(2015\)](#) εξέτασε το πρόβλημα κατανομής θέσεων υπο την σκοπιά της σειράς προτεραιότητας για την είσοδο στο λιμάνι των πλοίων εν αναμονή. Πολύ συχνά η προτεραιότητα δεν λαμβάνεται ως προαπαιτούμενο στην διαδικασία επιλογή θέσης. Έτσι, η έρευνα αυτή παρουσίασε ένα σύστημα υποβοήθησης λήψης αποφάσεων (Decision Support System –DSS) κατασκευασμένο από ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης διακριτών συμβάντων ενσωματωμένο με ένα εργαλείο βελτιστοποίησης που καθορίζει τους ελέγχους προτεραιότητας για την κατανομή θέσεων στα εισερχόμενα πλοία. Για να καταδείξει την πρακτική εφαρμογή του DSS, χρησιμοποιεί ως μελέτη περίπτωσης το λιμάνι του Izmir στη Τουρκία και το λιμάνι του Ρότερνταμ. Η έρευνα καταλήγει στην ευελιξία που παρέχει στους υπεύθυνους για την κατανομή θέσεων μέσω της εύκολης παραμετροποίησης που επιδέχεται, επιτρέποντας την μελέτη και ανάλυση εις βάθος διαφορετικών σεναρίων.

Κεφάλαιο Πέντε : Μελέτη Περίπτωσης: ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά

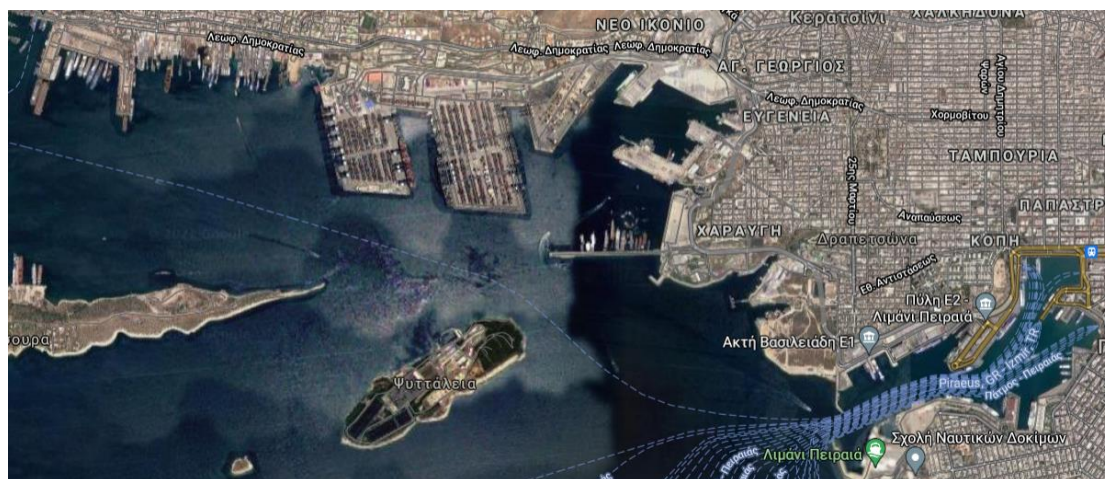
5.1 Το λιμάνι του Πειραιά – Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά (Σ.ΕΜΠΙΟ)

Το λιμάνι του Πειραιά είναι από την αρχαιότητα το κύριο λιμάνι της Ελλάδος και κατ' επέκταση της Αθήνας αλλά και από τα αρχαιότερα λιμάνια της Μεσογείου.

Λόγω της γεωγραφικής του θέσης κατέχει μία στρατηγική θέση στην Ανατολική Μεσόγειο, γεγονός που αποτελεί και ένα κρίσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Βρίσκεται κοντά σε μεγάλους θαλάσσιους διαδρόμους και συνδέει τρεις ηπείρους (Ευρώπη, Ασία και Αφρική). Εδώ και πολλούς αιώνες ήταν λιμάνι εισαγωγής/εξαγωγής και συνδέεται άμεσα με την πόλη της Αθήνας, την πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, το λιμάνι του Πειραιά βρίσκεται στη νοτιοδυτική ακτή της Αττικής στον όρμο του Σαρωνικού κόλπου, με ακριβείς συντεταγμένες $37^{\circ}57'23''\text{N}$ $23^{\circ}35'21''\text{E}$.

Διακρίνεται σε τρία μεγάλα λιμενικά τμήματα :

- 1) τον εμπορικό λιμένα Δραπετσώνας - Ν.Ικονίου όπου διακινείται το μεγαλύτερο ποσοστό συμβατικών και μοναδοποιημένων φορτίων
- 2) τον κεντρικό λιμένα από τον μώλο Θεμιστοκλέους (προσήνεμος) μέχρι και το μώλο Κράκαρη (υπήνεμο) που εξυπηρετεί σχεδόν αποκλειστικά την επιβατική και τουριστική κίνηση και
- 3) την ευρύτερη περιοχή της ναυπηγοεπισκευαστικής ζώνης Περάματος όπου λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο ποσοστό δεξαμενισμών και επισκευών.



Εικόνα 9

πηγή: PCT.gr

Το 2017, το λιμάνι ήταν το 6ο μεγαλύτερο στην Ευρώπη (ανάμεσα στα 20 μεγαλύτερα) ως προς τον αριθμό διέλευσης των επιβατών, το 3ο μεγαλύτερο στην Ευρώπη και το 38ο μεγαλύτερο στην κόσμο ως προς τον ετήσιο όγκο των εμπορευματοκιβωτίων.

Από το 2020, το λιμάνι του Πειραιά ανήκει κατά πλειοψηφία στην COSCO με 67% των μετοχών (16% σε μεσεγγυητικές μετοχές). Το Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας του Δημοσίου (ΤΑΙΠΕΔ) έχει το 7,14% των μετοχών. Το υπόλοιπο 25,86% ανήκει σε μη θεσμικούς επενδυτές.

Οι εγκαταστάσεις του λιμένος περιλαμβάνουν 3 προβλήτες (piers) με συνολικό επιχειρησιακό μήκος 3.635 μέτρα (Pier I : 1150m, Pier II : 1.485m & Pier III : 1000m) και βάθος που κυμαίνεται από 14.5 έως 19.5 μέτρα ανάλογα την θέση προσόρμισης στις προβλήτες.

Η χωρητικότητα της προβλήτας II , με βάση τα πιο πρόσφατα στοιχεία , είναι 3,2 εκατ. TEUs (1 TEU = 1x20' Container) και της προβλήτας III είναι 2.3 εκατ. TEUs.

Οι δύο προβλήτες είναι εξοπλισμένες με 31 γερανογέφυρες ικανές να εξυπηρετήσουν και mega ships χωρητικότητας μεγαλύτερης των 20.000 TEUs. Και οι δύο προβλήτες διαχειρίζονται μόνο Ε/Κ ως εμπόρευμα εν αντιθέσει με την προβλήτα I, η οποία έχει χωρητικότητα 1,1 εκατ. TEUs, ικανή να εξυπηρετήσει πλοία χωρητικότητας έως 16.000 TEUs και εμπόρευμα τόσο εμπορευματοκιβώτια όσο και αυτοκίνητα. Οι προβλήτες βρίσκονται σε έκταση συνολικού εμβαδού 700.000 m., η οποία είναι ικανή να εξυπηρετήσει 54.000 εμπορευματοκιβώτια προς φόρτωση.

5.2 Σχεδιασμός λειτουργίας λιμένος

Έχει γίνει κατανοητό το πόσο περίπλοκες βιομηχανίες είναι οι λιμένες και το πόσο εξαρτημένες είναι από την σωστή οργάνωση των αλυσίδων εφοδιασμού.

Διασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχει καθυστέρηση του πλοίου που εισέρχεται στο λιμάνι, έχοντας φορτώσει ή εκφορτώσει το φορτίο του, έχοντας ανεφοδιαστεί και τελικά απομακρυνθεί από το αγκυροβόλιο, αυτά τα λιμάνια επιτρέπουν σε χώρες σε όλο τον κόσμο να ασκήσουν ζωτικό εμπόριο.

Ο προγραμματισμός της λειτουργίας των λιμένων μπορεί , σε μία γενική εικόνα, να ταξινομηθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- ∞ Στον στρατηγικό σχεδιασμό όπου ασχολείται με μακροπρόθεσμα ζητήματα, όπως οι στρατηγικές συμμαχίες με ναυτιλιακές γραμμές, ανάπτυξη υποδομών για την υποστήριξη της αύξησης του διαχειριζόμενου όγκου κ.ά.
Μία σημαντική πρόκληση στην φάση του στρατηγικού σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός της σωστής κατανομής των μεγάλων πλοίων (mothers) και των μικρότερων (feeders) είτε σε διαφορετικούς τερματικούς σταθμούς είτε σε διάφορα τμήματα εντός ενός τερματικού σταθμού για την εξασφάλιση της μέγιστης αποδοτικότητας εργασιών και της μεταφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων σε σύντομα χρονικά διαστήματα.
- ∞ Στον τακτικό σχεδιασμό που αφορά κυρίως ζητήματα αποβάθρας και χωροταξίας της γυάρδας. Συνήθως σχεδιάζεται ένα πρότυπο αγκυροβόλησης και ένα σχετικό πρότυπο γυάρδας ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις ελλιμενισμού και συμφόρησης. Τα πλάνα αυτά ακολουθούν τις γενικές κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται στον στρατηγικό σχεδιασμό και αποτελούν την βάση για την φάση επιχειρησιακού σχεδιασμού.

- ∞ Τέλος, στον επιχειρησιακό σχεδιασμό όπου περιλαμβάνει μία πιο λεπτομερή ανάλυση σχετικά με τον εξοπλισμό και το ανθρώπινο δυναμικό λαμβάνοντας υπόψη και λειτουργικούς περιορισμούς πραγματικού χρόνου.

5.3 Προγραμματισμός πλάνου ελλιμενισμού – Berth Planning

Από τα παραπάνω διακρίνεται πως η αποτελεσματικότητα των διεργασιών βασίζεται στην ροή και στη διαχείριση της πληροφορίας και στην ορθολογική κατανομή των διαθέσιμων πόρων του λιμανιού. Η πληροφορία προέρχεται από την συλλογή δεδομένων από τους διαχειριστές των πλοίων σχετικά με τα πλοία και τα φορτία τους καθώς και από το ίδιο το λιμάνι σχετικά με τον διαθέσιμο χώρο και τα διαθέσιμα οχήματα. Η κατανομή των πόρων αποτελεί λογική συνέχεια της διαχείρισης των πληροφοριών.

Η διαδικασία του ελλιμενισμού είναι ιδιαίτερος πολύπλοκη και αποτελεί άρρηκτο τμήμα του γενικότερου σχεδιασμού του λιμανιού.

Ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα του λιμανιού είναι το τμήμα προγραμματισμού ελλιμενισμού (berth planning). Σκοπός του είναι ο προγραμματισμός των θέσεων που θα λάβει κάθε εισερχόμενο πλοίο ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος παραμονής του στο λιμάνι. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται μέσω των *πλάνων ελλιμενισμού*.

Πρόκειται για λεπτομερή έγγραφα που συντάσσονται σχετικά με την πλήρη κατανομή πόρων για ένα λιμάνι και τις γύρω εγκαταστάσεις. Συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με τα εισερχόμενα προγραμματισμένα πλοία εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου και με την εισαγωγή τους στο σύστημα, το λιμάνι μοντελοποιείται και η υπεύθυνη ομάδα αναλύει το πιο αποτελεσματικό σχέδιο ελλιμενισμού.

Ορισμένες παράμετροι που επηρεάζουν τα πλάνα ελλιμενισμού είναι:

- ∞ Τα περισσότερα λιμάνια χρησιμοποιούν την ίδια πλωτή οδό για την είσοδο και έξοδο των πλοίων στο λιμάνι οπότε ένας ανεπαρκής σχεδιασμός μεταξύ εγκαταστάσεων μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητη κίνηση και σημεία συμφόρησης εντός του λιμένα. Επομένως, οι συνολικές εγκαταστάσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σύνταξη του σχεδίου ελλιμενισμού.
- ∞ Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη το μέγεθος και το βάθος της εκάστοτε θέσης προσόρμισης, το μέγεθος του πλοίου και το βύθισμα του, η χωρητικότητα και η απαίτηση του σε καύσιμα, η αλλαγή πληρώματος εάν απαιτείται και ο αριθμός ρυμουλκών που απαιτούνται για καθοδήγηση του στο λιμάνι.
- ∞ Ο αναμενόμενος χρόνος άφιξης (Estimated Time of Arrival – ETA)
- ∞ Ο αναμενόμενος χρόνος αναχώρησης (Estimated Time of Departure – ETD)
- ∞ Ο εκτιμώμενος χρόνος διάρκειας εργασιών
- ∞ Ο εκτιμώμενος αριθμός κινήσεων της γερανογέφυρας ανά πλοίο
- ∞ Η ύπαρξη επικίνδυνων φορτίων επί του πλοίου

∞ Τέλος , απροσδόκητοι παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες.

No	Vessel name	E.T.A	TEUS	
		Date-time	Load	Discharge
1	Vessel A	06/01/2016 00:00	150	150
2	Vessel B	06/01/2016 08:00	421	379
3	Vessel C	07/01/2016 00:00	205	90
4	Vessel D	09/01/2016 00:00	14	186
5	Vessel E	1/12/2016 1:16	54	66
6	Vessel F	13/01/2016 11:00	732	468
7	Vessel G	14/01/2016 08:00	164	136
8	Vessel H	16/01/2016 00:30	100	100
9	Vessel I	18/01/2016 19:00	148	152
10	Vessel J	20/01/2016 08:00	420	340
11	Vessel K	22/01/2016 08:00	290	10
12	Vessel L	24/01/2016 20:00	10	190
13	Vessel M	26/01/2016 00:00	242	108
14	Vessel N	27/01/2016 08:00	486	294
15	Vessel O	29/01/2016 07:00	163	137

Εικόνα 10

πηγή : marineinsight.com

Με βάση τα παραπάνω, το τμήμα ελλιμενισμού του λιμένος Πειραιά (berth planning department) προετοιμάζει και υλοποιεί το πλάνο ελλιμενισμού με τις εξής μεθόδους:

- ∞ *Πρόγραμμα πλοίων (Vessels Schedule)* : Οι υπεύθυνοι διαχείρισης του πλοίου (το τμήμα επιχειρήσεων της ναυτιλιακής επιχείρησης) είναι επιφορτισμένοι με το να ενημερώνουν καθημερινώς το τμήμα ελλιμενισμού (berth planning) στέλνοντας ένα πρόγραμμα πλοίων. Σε αυτό περιέχονται πληροφορίες σχετικά με την άφιξη όλων των πλοίων της εταιρείας τόσο κοντινής ημερομηνίας όσο και περίπου δύο εβδομάδων μπροστά. Δύναται έτσι το τμήμα ελλιμενισμού να υλοποιήσει ένα *προσχέδιο ελλιμενισμού* το οποίο θα είναι και αυτό που τελικά θα τηρηθεί αν δεν υπάρξουν αλλαγές στην ώρα και ημέρα άφιξης των πλοίων.
- ∞ *Προγραμματισμός με Ραντεβού (Rendezvous)* : Οι υπεύθυνοι για το πλοίο υποβάλλουν στο τμήμα ελλιμενισμού του λιμένα αιτήσεις για κατοχύρωση θέσης στις προβλήτες του λιμένος. Οι απαιτούμενες αιτήσεις είναι τρεις : 5

ημέρες πριν την άφιξη του πλοίου , 54 ώρες πριν την άφιξη και 36 ώρες πριν την άφιξη και αφορούν μόνο μεγάλα πλοία που ταξιδεύουν σε υπερατλαντικά ταξίδια (Mother vessels). Με την μέθοδο αυτή - το τερματικό λαμβάνει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες (μέγεθος πλοίου, συνολικό αριθμό ΕΚ που επρόκειτο να φορτώσει και να ξεφορτώσει, το βύθισμα του κατά τον κατάπλου και απόπλου, τη διαδρομή πλοίου – service / route κ.ά.) και κατοχυρώνει την κατάλληλη, για το συγκεκριμένο πλοίο, θέση ελλιμενισμού δεσμεύοντας παράλληλα ακόμα και πριν την άφιξη του το 30% των διαθέσιμων γερανών. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το πλοίο εισέρχεται σε θέση προσόρμισης με την άφιξη του στο λιμάνι. Γίνεται κατανοητό πως δεδομένου αρχικά του όγκου τους και ύστερα του όγκου ΕΚ που μεταφέρουν καθώς και της διαμοίρασης ΕΚ που πρέπει να γίνει στα μικρότερα πλοία (feeders), τα mother vessels προηγούνται για θέση στην προβλήτα από τα υπόλοιπα πλοία.

- ∞ *Αίτημα για εργασία (Operations Request)* : Η αίτηση αυτή παρέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται το τμήμα ελλιμενισμού για τον προγραμματισμό θέσης όπως τον ακριβή αριθμό ΕΚ προς φόρτωση και εκφόρτωση και συνολικά τον αριθμό κινήσεων που πρέπει να γίνουν από τους γερανούς, την ακριβή ημέρα και ώρα άφιξης καθώς και την επιθυμητή ώρα εισόδου στο λιμάνι και έναρξης επιχειρήσεων. Η παραπάνω αίτηση γίνεται από το αρμόδιο τμήμα της ναυτιλιακής επιχείρησης έως και 16 ώρες πριν την άφιξη του πλοίου και είναι ιδιαίτερος απαραίτητη καθώς παρέχει ένα είδος επιβεβαίωσης της ώρας άφιξης στο λιμάνι.
- ∞ *Προγραμματισμός με την μέθοδο FCFS (First Come First Serve)* : Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την μέθοδο της προτεραιότητας και είναι από τις πιο συνήθεις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στα λιμάνια και ειδικά στο λιμάνι του Πειραιά. Όποιο πλοίο φτάσει πρώτο στο λιμάνι θα είναι και το πρώτο στην ουρά για να εισέλθει στο λιμάνι και να εξυπηρετηθεί. Αντίστοιχα το επόμενο πλοίο που θα φτάσει θα είναι δεύτερο και ούτω καθεξής. Στην μέθοδο αυτή εξαιρούνται τα μεγάλα πλοία (mother vessels) τα οποία λειτουργούν κατά κύριο λόγο με την μέθοδο των ραντεβού. Βασικές προϋποθέσεις για την κατοχύρωση της προτεραιότητας αποτελούν να έχει γίνει η απαιτούμενη αίτηση για εργασία (Operations request) και το πλοίο να φτάσει στην ήδη προαναγγελμένη ώρα άφιξης του ή σε ένα αποδεκτό χρονικό παράθυρο .
- ∞ *Προγραμματισμός βάσει συμφωνιών* : Στα τερματικά πολλαπλών χρηστών (Multi-User Terminals – MUT), όπως το λιμάνι του Πειραιά, οι θέσεις ελλιμενισμού κατανέμονται δυναμικά στα πλοία που καταφθάνουν είτε με τη μέθοδο FCFS είτε με ραντεβού. Παρέχεται επίσης και η δυνατότητα συμφωνίας για προκαθορισμένη θέση όπως συνηθίζεται στα ειδικά τερματικά (Dedicated Terminals). Υπο αυτή τη συνθήκη, τα πλοία της ναυτιλιακής επιχείρησης λαμβάνουν θέση στην προβλήτα με την άφιξη τους καθώς και

έναν σταθερό αριθμό γερανογεφυρών που ενδέχεται να αυξηθεί σε περίπτωση διαθεσιμότητας. Η συμφωνία αυτή συνήθως είναι συνάρτηση της δυναμικότητας της εν λόγω ναυτιλιακής μετρημένη σε όγκο μεταφοράς ΕΚ καθώς και της συχνότητας που θα πιάνουν τα πλοία της το συγκεκριμένο λιμάνι. Δεδομένου του μεγάλου ανταγωνισμού μεταξύ λιμένων και υπο το φόβο να χαθούν κορυφαίοι πελάτες, οι διαχειριστές των τερματικών αναγκάζονται να λειτουργούν τις θέσεις προσόρμισης με στρατηγικές συμφωνίες.

Σχεδίαση ενός Πλάνου Ελλιμενισμού

Η σχεδίαση ενός Πλάνου Ελλιμενισμού ξεκινάει αρκετό καιρό πριν από την πραγματική άφιξη του εκάστοτε πλοίου στο λιμάνι (ακόμα και 6 μήνες πριν, ειδικά στα mother vessels) έτσι ώστε να περιοριστούν ή ακόμα καλύτερα να προβλεφθούν τυχόν απροσδόκητες διακυμάνσεις στο πρόγραμμα. Η διαδικασία σχεδιασμού μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία επίπεδα ανάλογα με τον χρονικό ορίζοντα σχεδιασμού:

Α) Μηνιαίος σχεδιασμός: στέλνονται από τη διαχειρίστρια εταιρεία προς το τερματικό τα φυσικά χαρακτηριστικά του πλοίου, μήκος – πλάτος – βύθισμα - σημαία και τα διάφορα πιστοποιητικά του καθώς και μια αρχική εκτίμηση των προς φόρτωση και εκφόρτωση ΕΚ και του επιθυμητού χρόνου παραμονής του πλοίου στο λιμάνι. Τα στοιχεία αυτά παίρνονται στο CATOS (βλ. παρακάτω) δίνοντας μια αρχική εκτίμηση θέσης.

Β) Εβδομαδιαίος σχεδιασμός: η εκτιμώμενη ώρα άφιξης και η ώρα αναχώρησης των πλοίων ενημερώνονται από τις ναυτιλιακές εταιρείες. Το τμήμα ελλιμενισμού εκχωρεί σε κάθε σκάφος έναν αριθμό αγκυροβόλιου χωρίς τον ακριβή χρόνο έναρξης και λήξης της ελλιμενισμού. Βάσει των καθορισμένων αριθμών αγκυροβόλιου, μπορεί να διεξαχθεί ο σχεδιασμός της γυάρδας.

Γ) Ημερήσιος σχεδιασμός: οι ναυτιλιακές γραμμές στέλνουν τον σχετικά ακριβή χρόνο άφιξης καθώς και τον ακριβή αριθμός φόρτωσης και εκφόρτωσης ΕΚ στο τμήμα ελλιμενισμού, ο οποίος θα αποφασίσει την πραγματική θέση ελλιμενισμού, καθώς και την ώρα έναρξης και λήξης της ελλιμενισμού. Επιπλέον, σε αυτό το κρίσιμο βήμα αποφασίζονται επίσης οι αναθέσεις των γερανογεφυρών στα πλοία.

Ένα πλάνο ελλιμενισμού στο χαρτί θα έμοιαζε με ένα πίνακα. Οι πρώτες παρατηρήσεις που μπορούμε να αντλήσουμε από το παρακάτω σχέδιο είναι ότι οι σειρές και οι στήλες εμφανίζουν μια λεπτομερή αναφορά για το πλοίο και το παράθυρο ελλιμενισμού. Η στήλη ώρας χωρίζεται σε χρονικά διαστήματα 6 ωρών, δηλαδή, η ημέρα χωρίζεται σε 4 ίσα μέρη για ευκολία διαχείρισης.

Η σειρά NAME εμφανίζει το όνομα του πλοίου και η σειρά CRANES υποδεικνύει τον αριθμό των γερανών που θα ανατεθούν στο πλοίο. Κατά μήκος του πεδίου αυτού υπάρχουν δύο αριθμοί. Πρόκειται για σημείωση που δηλώνει 3 γεραμούς στο πίσω μέρος και 1 γερανό στο μπροστινό μέρος στην περίπτωση του πλοίου 1.

Τα πλοία μπορούν να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις γερανού ανάλογα με το μέγεθος και τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων. Η τελευταία σειρά σε ένα τμήμα ελλιμενισμού εξετάζει τον αριθμό των ΕΚ που πρέπει να εκφορτωθούν, επισημαίνονται ως αρνητικά και τον αριθμό των ΕΚ που θα φορτωθούν επισημαίνονται ως θετικά.

Τέλος, τα πλοία εμφανίζονται ως ορθογώνια σχήματα και καταλαμβάνουν τον χώρο στον πίνακα ανάλογα με την θέση προσόρμισης και την αναμενόμενη ώρα πρόσδεσης του στην προβλήτα.

	DAY 1		DAY 2	
TIME SLOTS	0000 – 0600	1200 – 1800	0000 – 0600	1200 – 1800
	0600 – 1200	1800 – 2400	0600 – 1200	1800 – 2400
BERTHS				
BERTH 1	NAME	VESSEL 1	VESSEL 2	
	IMO no	9284575	9124532	
	CRANES	1 3	2 2	
	CNT. FLUX	-430 / + 1050	-500 / +440	
BERTH 2	NAME	VESSEL 3		
	IMO no	9364898		
	CRANES	1 2		
	CNT. FLUX	-200 / +530		
BERTH 3	NAME	VESSEL 4		
	IMO no	9526465		
	CRANES	2 1		
	CNT. FLUX	-530 / +200		

Εικόνα 11

πηγή: marineinsight.com

5.3 Πρόγραμμα Catos ERP

Για πολλά χρόνια, η σχεδίαση του πλάνου γινόταν με χειροκίνητο τρόπο. Μέσω της Επιχειρησιακής Έρευνας, η λειτουργία του λιμάνι μοντελοποιείτο με μαθηματικά μοντέλα ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης και εν συνεχεία λυνόταν. Ο συνδυασμός εισερχόμενων πλοίων στο λιμάνι και η ανάθεση των κατάλληλων πόρων σε αυτά ήταν ένα πρόβλημα που δυνητικά είχε πολλές λύσεις ενώ έπρεπε να λυθεί πολλές φορές ώστε να προκύψει λύση κοντά στην βέλτιστη. Το παραπάνω καθιστούσε την σχεδίαση ιδιαίτερα δαπανηρή και πολλές φορές μη αξιόπιστη.

Πλέον, η ύπαρξη μεγάλου αριθμού λογισμικών αποτρέπει αυτή την καθυστέρηση παρέχοντας την δυνατότητα της μοντελοποίησης με μεγάλη ακρίβεια.

Η ομάδα ελλιμενισμού για το λιμάνι του Πειραιά χρησιμοποιεί το λογισμικό CATOS (Computer Automated Terminal Operating System) τόσο για τον προγραμματισμό

των θέσεων ελλιμενισμού όσο και για την γενικότερη επιτήρηση του λιμανιού και των δυναμικών αλλαγών που συμβαίνουν σε αυτό.

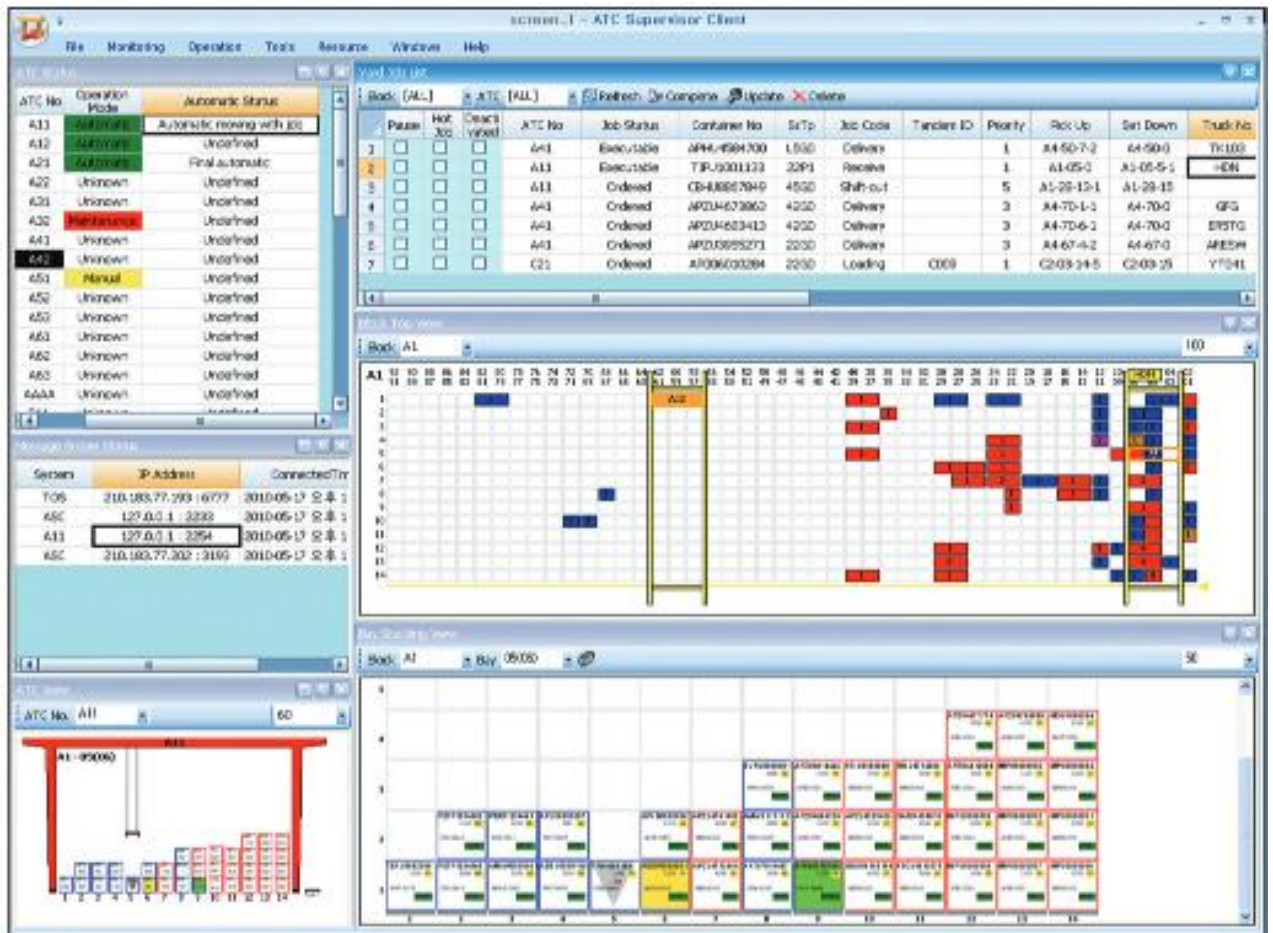
Η λειτουργία του είναι ιδιαιτέρως απλή - πριν φτάσει ένα πλοίο στο λιμάνι (συνήθως 16-24 ώρες πριν την άφιξη του πλοίου και αφού έχει ζητηθεί OPS request), το τμήμα ελλιμενισμού αρχίζει να επεξεργάζεται το πλάνο για το συγκεκριμένο πλοίο.

Εισάγονται οι πόροι που έχουν ορισθεί όπως θέση προσόρμισης, γερανογέφυρες, ανθρώπινο δυναμικό και άλλες πληροφορίες που πιθανόν να χρειάζονται και στην συνέχεια άμεσα με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, εμφανίζεται το χρονοδιάγραμμα ελλιμενισμού για την χρονική περίοδο που έχει οριστεί.

Τέτοιου είδους υπολογιστικά συστήματα όπως το CATOS καταγράφουν τα χρονοδιαγράμματα των πλοίων και την πληρότητα στις θέσεις ελλιμενισμού ώστε ο υπεύθυνος σχεδιασμού να μπορεί να αποφασίζει για την καταλληλότερη θέση ελλιμενισμού για ένα εισερχόμενο πλοίο. Τα συστήματα αυτά παρέχουν στήριξη για τη λήψη τέτοιων αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό κινήσεων ανά πλοίο και τη διαθεσιμότητα των γερανών. Μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχεδιασμού έως και δύο εβδομάδες στο μέλλον αλλά και βραχυπρόθεσμα εφόσον ζητηθεί από το χειριστή στην αντιμετώπιση κάποια έκτακτης κατάστασης. Σε περιπτώσεις όπως ανεπιθύμητες καιρικές συνθήκες - βλάβες εξοπλισμού - επαναπρογραμματισμός πλοίων κ.λπ. , ένα αναθεωρημένο χρονοδιάγραμμα μπορεί να παραχθεί άμεσα. Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού ωστόσο, δεν χρειάζεται να αποδεχθούν αυτήν την αναθεώρηση και μπορούν να ζητήσουν μια άλλη λύση η οποία, αν και δεν είναι η βέλτιστη σχετικά με χρόνο εξυπηρέτησης του πλοίου (service time), μπορεί να είναι πιο αποδεκτή από την πολιτική υπηρεσιών του τερματικού.

Να σημειωθεί εδώ πως το τμήμα ελλιμενισμού συνεργάζεται στενά και λαμβάνει πληροφορίες και από δύο ακόμα σημαντικά τμήματα του λιμανιού , το τμήμα σχεδιασμού αποβάθρας (yard planning) και το τμήμα σχεδιασμού φορτοεκφόρτωσης των πλοίων (ship planning). Το πρώτο είναι υπεύθυνο για την μετακίνηση των σωστών εμπορευματοκιβωτίων από τα πλοία προς αποθήκευση στην γυάρδα και το αντίθετο ενώ το δεύτερο είναι υπεύθυνο για την οργάνωση και τον έλεγχο των προς φορτοεκφόρτωση ΕΚ στο πλοίο.

Μερικές πληροφορίες που βοηθούν ιδιαίτερα το τμήμα ελλιμενισμού είναι για παράδειγμα αν και σε ποια προβλήτα υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να εκφορτωθούν από το πλοίο τα ΕΚ (yard planning), που βρίσκονται τα προς φόρτωση ΕΚ (yard planning), αν φορτώνει ή εκφορτώνει ΕΚ με επικίνδυνο φορτίο ή αν χρειάζεται ειδικό μηχάνημα για τη φόρτωση ή εκφόρτωση του ΕΚ (ship planning) κ.ά



Εικόνα 12 πηγή: Total Soft Bank

Κεφάλαιο ΕΞΙ : Μοντελοποίηση προβλήματος προσόρμισης

Από τα παραπάνω κεφάλαια και ειδικότερα τα κεφάλαια 4 & 5 γίνεται ιδιαιτέρως κατανοητό το πόσο σύνθετα προβλήματα καλούνται να διαχειριστούν κυρίως οι διαχειριστές τερματικών σταθμών.

Τα προβλήματα αντιστοίχισης πλοίων σε αποβάθρα και εκχώρησης γερανογεφυρών (BAP & QCAP) είναι προβλήματα βελτιστοποίησης με σκοπό την επίτευξη του καλύτερου σχεδίου προσόρμισης με το μικρότερο δυνατό κόστος για ένα σύνολο πλοίων που πρέπει να δέσουν σε θέσεις σε μια προβλήτα και στα οποία πρέπει να διατεθεί ο καλύτερος δυνατός αριθμός γερανογεφυρών για να εξυπηρετηθούν στο συντομότερο χρονικό διάστημα.

Για την παρακάτω μοντελοποίηση, επιλέξαμε να μελετήσουμε την έκδοση του προβλήματος που αντιμετωπίζει την προβλήτα ως μια υβριδική αποβάθρα με διακριτές θέσεις (πεπερασμένους και γνωστού μήκους όπως είναι αυτή του Πειραιά) και όπου ο αριθμός των γερανών που ανατίθεται στα πλοία παραμένει σταθερός υπό την ύπαρξη του ελάχιστου καθορισμένου αριθμού για την εξασφάλιση της ελάχιστης παραγωγικότητας του πλοίου.

Πολύ συχνά, στα προβλήματα επιχειρησιακής έρευνας, είμαστε αναγκασμένοι να κάνουμε ορισμένες υποθέσεις, οι οποίες θα καταστήσουν τα προβλήματα αυτά λιγότερα περίπλοκα για να λυθούν διαφορετικά η λύση τους θα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκη ή και ανέφικτη, ακόμα και με την χρήση ενός ειδικού λογισμικού.

Τέτοια προβλήματα συνήθως απαιτούν σχετικά γρήγορη λήψη αποφάσεων από τους διαχειριστές, αλλά σύνθετες διατυπώσεις μπορεί να καθυστερήσουν αυτήν τη διαδικασία.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω, οι υποθέσεις που κάναμε παρατίθενται παρακάτω:

- Τα πλοία φτάνουν ακριβώς στην ΕΤΑ τους. Επιπλέον, οι προγραμματισμένες κινήσεις τους είναι ίσες με τις τελευταίες.
- Δεν υπάρχουν προτεραιότητες μεταξύ των πλοίων. Στον πραγματικότητα, ανάλογα με τις συμβάσεις που υπογράφονται μεταξύ της ναυτιλιακής γραμμής και του λιμένα κατάπλου, ορισμένα πλοία μπορεί να αγκυροβολήσουν αμέσως μετά την άφιξή τους, αφήνοντας άλλα που έφτασαν νωρίτερα, να περιμένουν περισσότερο στο δρόμο.
- Με εξαίρεση μια πλήρως κατειλημμένη αποβάθρα, δεν υπάρχει άλλο είδος χρόνου αναμονής κοντά στο λιμάνι, δηλαδή, όταν ένα πλοίο καταφθάνει και υπάρχει ελεύθερος χώρος στην αποβάθρα, θα μετακινηθεί στην καθορισμένη θέση πρόσδεσης το συντομότερο δυνατό, αλλά όχι πάντα άμεσα. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα δύο πλοία του ίδιου μεγέθους φθάσουν σχεδόν το ίδιο χρονικό διάστημα, αλλά το δεύτερο απαιτεί λιγότερο χρόνο για να εξυπηρετηθεί, πιθανότατα θα αγκυροβολήσει πρώτα, έτσι ώστε ο μέσος χρόνος υπηρεσίας να ελαχιστοποιηθεί. Κανονικά, κάποια πλοία επιθεωρούνται από κρατικές υπηρεσίες ή εταιρίες εξετάσεων, κάτι που οδηγεί σε επιπλέον, απροσδόκητο χρόνο αναμονής.

- Το λιμάνι λειτουργεί 24/7, πράγμα που ισχύει στην πραγματικότητα. Οι επιχειρήσεις δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, τις απεργίες, τα Σαββατοκύριακα, τις αργίες ή τα διαλείμματα των εργαζομένων.
- Δεν γίνεται διάκριση μεταξύ του μεγέθους των εμπορευματοκιβωτίων. Θεωρούνται ότι έχουν όλα το ίδιο μήκος πχ 1x40' (2 TEUs).
- Παρόλο που δεν ασχολούμαστε με το QCAP, υποθέτουμε πως κάθε θέση έχει ένα σταθερό αριθμό QC γεγονός που βέβαια δεν διαφέρει πολύ από αυτό που γίνεται στην πραγματικότητα. Εκμεταλλευόμενοι αυτό το δεδομένο, μετρήσαμε τον χρόνο χειρισμού των πλοίων.
Σε πραγματικές συνθήκες υπάρχει ένας σταθερός αριθμός γερανών σε κάθε προβλήτα. Σε κάθε πλοίο που προσδένει ανατίθεται ένας αριθμός γερανών ανάλογα με τον συνολικό αριθμό κινήσεων που έχει να εκτελέσει. Κατά την διάρκεια των υπηρεσιών ενδέχεται να μετακινηθεί ένας ή περισσότεροι γερανοί από το ένα πλοίο στο άλλο επηρεάζοντας έτσι άμεσα την συνολική δραστηριότητα της προβλήτας και των χρόνων παραμονής των πλοίων στο λιμάνι.
- Δεν υπάρχουν καθυστερήσεις λόγω συμβάντων ή συντηρήσεων βλάβης του εξοπλισμού, γεγονός που θα περιέπλεκε εξαιρετικά τη λειτουργία των εταιρειών τερματικών. Για το λόγο αυτό, η απόδοση του QC παραμένει σταθερή και είναι η ίδια για όλους τους γερανούς, για τον χρόνο που ερευνάται. Αν και αυτή η επίδοση διαφέρει μεταξύ των δραστηριοτήτων φόρτωσης και εκφόρτωσης, χρησιμοποιήσαμε μια μέση τιμή για αυτή.
- Η καθορισμένη θέση του σκάφους είναι μόνιμη και δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της παραμονής του εκεί.
- Κάθε θέση σε κάθε αποβάθρα μπορεί να φιλοξενήσει το πολύ ένα πλοίο τη φορά.
- Η απόσταση για την ασφαλή πρόσδεση των πλοίων περιλαμβάνεται στο μήκος των σκαφών. Γενικά, για σκάφη μήκους άνω των 130 μέτρων, η απόσταση αυτή αντιστοιχεί στο 10% του μήκους του σκάφους. Για τα μικρά σκάφη, η ελάχιστη απόσταση είναι 10m.
- Γνωρίζουμε εξ αρχής το συνολικό μήκος των θέσεων στις προβλήτες όπως και το μήκος των εισερχόμενων πλοίων

6.1 Μοντελοποίηση BAP ως πρόβλημα Αντιστοίχισης

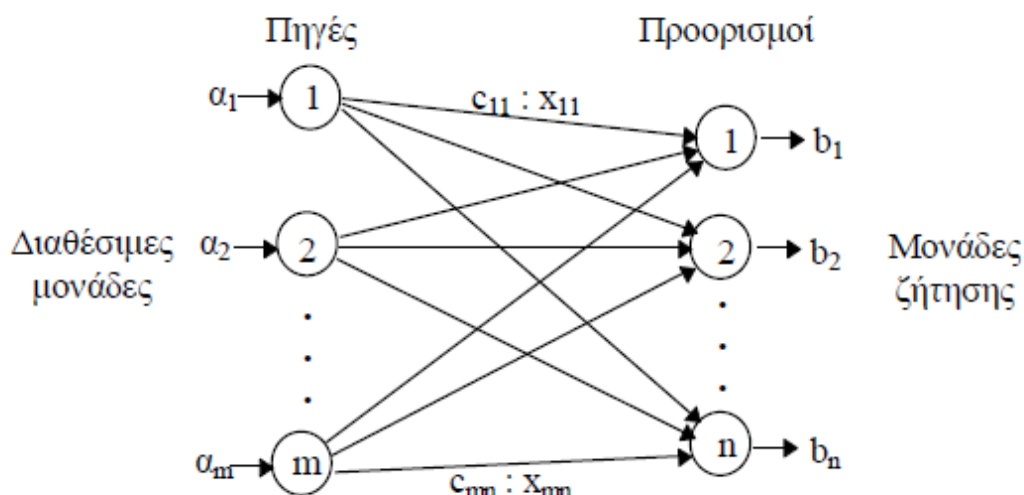
Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν οι μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με το πρόβλημα της κατάταξης πλοίων σε θέσης προσόρμισης στο λιμάνι καθώς και οι προτεινόμενες λύσεις του. Παρατηρήθηκε πως για την επίλυση των προβλημάτων αυτών, χρησιμοποιούνται σύνθετες μαθηματικές έννοιες, αλγόριθμοι και συναρτήσεις.

Ύστερα από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας παρατηρήθηκε πως κανένα άρθρο δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα στην αρχική του μορφή – αυτή της αντιστοίχισης. Αυτό παρουσιάζουμε παρακάτω προσθέτοντας ορισμένες επιπλέον παραμέτρους ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό πρόβλημα που συναντάται στο λιμάνι του Πειραιά και εν συνεχεία το επιλύουμε με την βοήθεια του Excel Solver.

Τα προβλήματα ανάθεσης αφορούν την κατανομή m πόρων σε n δραστηριότητες έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος ή να μεγιστοποιείται το όφελος υπό τους περιορισμούς :

- Ένας πόρος/ παραγωγικό μέσο να χρησιμοποιηθεί σε μία μόνο δραστηριότητα σε κάθε χρονική περίοδο
- Σε κάθε δραστηριότητα να χρησιμοποιείται μόνο ένας πόρος/ παραγωγικό μέσο

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το μοντέλο του προβλήματος της αντιστοίχισης ως ένα δίκτυο με m πηγές και n προορισμούς.



Εικόνα 13

Πηγή: Operation Research, Hamdy A. Taha

Στη συνέχεια ορίζουμε τις μεταβλητές μας:

- V : ο δείκτης των εισερχόμενων πλοίων όπου για κάθε πλοίο $i \in V$
- I : ο δείκτης που συμβολίζει τα πλοία όπου $I = 1, 2, 3, \dots, m$
- J : ο δείκτης που συμβολίζει τις θέσεις προσόρμισης στις προβλήτες όπου $J = 1, 2, 3, \dots, n$
- $x_{ij} = 1$ όταν το πλοίο i καταλάβει την θέση προσόρμισης j , όπου $I = 1, 2, \dots, m$ και $j = 1, 2, \dots, n$
- c_{ij} : οι συντελεστές κόστους όταν το πλοίο i καταλάβει τη θέση j
- D_j : το βύθισμα σε θέση προσόρμισης j
- d_i : το βύθισμα του πλοίου i
- H : ο συνολικός χρονικός ορίζοντας εργασιών εκφρασμένος σε ώρες
- h_i : ο χρόνος εργασιών του πλοίου i
- μ_i : το μήκος του πλοίου i
- L : το συνολικό μήκος των θέσεων προσόρμισης
- Q : ο αριθμός ΓΓ που μπορούν να επιχειρήσουν στο πλοίο
- M, N : Μεγάλοι αριθμοί

Δεδομένου πως ο χρόνος εργασιών επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο αριθμός των ΓΓ που επιχειρούν στο πλοίο και από τον συνολικό αριθμό κινήσεων φορτοεκφόρτωσης, μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο με την εξής φόρμουλα:

Χρόνος εργασιών = συνολικές σχεδιασμένες κινήσεις / μέση παραγωγικότητα γερανών ανά βάρδια

Στη συνέχεια προσδιορίζουμε την παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Με περιορισμούς :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$$

$$\forall I = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1$$

$$\forall J = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (3)$$

$$x_{ij} * \mu_i \leq l_j \quad \forall I = 1, 2, \dots, m \ \& \ J = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$d_i * x_{ij} \leq D_j \quad \forall I = 1, 2, \dots, m \ \& \ J = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$0 \leq d_i \leq 19.5 \quad \forall I = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Ο σκοπός της παραπάνω αντικειμενικής συνάρτησης είναι η εκχώρησης θέσης στην προβλήτα βάσει κόστους θέσης.

Οι περιορισμοί (1) – (2) ορίζουν την συνθήκη πως κάθε θέση προσόρμισης είτε καταλαμβάνεται από ένα και μόνο πλοίο είτε όχι και πως κάθε πλοίο μπορεί να καταλάβει μόνο μία θέση προσόρμισης.

Ο περιορισμός (3) δηλώνει την δυαδικότητα της μεταβλητής x .

Οι περιορισμός (4) ορίζει την συνθήκη πως το μήκος του πλοίου δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το μήκος της θέσης προσόρμισης.

Επίσης, προσθέσαμε τους περιορισμούς (5) – (6) όπου παραμετροποιεί το βύθισμα του εκάστοτε εισερχόμενου πλοίου. Βάσει χαρακτηριστικών του λιμανιού (βλ. κεφ. 5) και της δεδομένης ασφάλειας που θα πρέπει να λογίζεται σε κάθε απόφαση, βάλαμε ως μέγιστο βύθισμα τα 19.5 m.

6.1.1 Αριθμητικά αποτελέσματα και Ανάλυση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται τα αριθμητικά - ποσοτικά αποτελέσματα που αντλήθηκαν από τον παραπάνω αλγόριθμο.

Για την παραπάνω μελέτη και ανάλυση του προβλήματος, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα που αντλήθηκαν από την σελίδα της PCT (Piraeus Container Terminal) και πιο συγκεκριμένα από τη σελίδα “ Πλοία σε Αναμονή” όπου αναφέρονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία προς συμπλήρωση του παραπάνω μοντέλου.

Ως λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα εργασίας του excel όπως και παρουσιάζονται παρακάτω. Δοκιμάσαμε το παραπάνω μοντέλο σε διαφορετικές συνθήκες και δεδομένα θέτοντας ως μέγιστο χρόνο «τρεξίματος» τα 600 δευτερόλεπτα.

Το κύριο δεδομένο που αποτελεί την βάση μας για την παραπάνω ανάλυση είναι οι κινήσεις φορτοεκφόρτωσης του καθενός από τα πλοία που εισέρχονται στο λιμάνι. Οι κινήσεις αποστέλλονται στο τερματικό σταθμό πριν από τον κατάπλου του κάθε πλοίου ως εντολή εργασιών (βλ. κεφ. 5). Έτσι ενημερώνεται ο διαχειριστής του λιμανιού ώστε να είναι σε θέση να προγραμματίσει την σειρά προτεραιότητας που θα εισέλθουν τα πλοία , την ακριβή θέση πλαγιοδέτησής τους καθώς και την κατάλληλη κατανομή των γερανογεφυρών στις θέσεις αυτές αλλά και των υπόλοιπων μέσων που συμμετέχουν στις φορτοεκφορτώσεις (GVs) και αποθηκευτικές εργασίες.

Τέλος να σημειώσουμε πως η σειρά εισόδου και εξυπηρέτησης στο λιμάνι που αναφέρεται στο παραπάνω αλγόριθμο αντιστοίχισης είναι βασισμένη στην βέλτιστη επιλογή με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους για την εξεταζόμενη περίοδο κα ταυτόχρονα την μεγιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Τυχόν συμφωνίες προτεραιότητας εξυπηρέτησης μεταξύ των ναυτιλιακών εταιρειών και του τερματικού σταθμού δεν έχουν ληφθεί υπόψιν.

Επιλογή πλοίων FEEDERS με 1200 κινήσεις ως μέγιστο αριθμό φορτοεκφορτώσεων

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης,

10 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1	[Length: 134m, Draft: 8.7m] → berth 9	[Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 2	[Length: 133m, Draft: 8.3m] → berth 7	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 3	[Length: 175m, Draft: 10.7m] → berth 10	[Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 4	[Length: 122m, Draft: 6.5m] → berth 3	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 5	[Length: 168m, Draft: 8.8m] → berth 4	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 6	[Length: 165m, Draft: 10.6m] → berth 5	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 7	[Length: 184m, Draft: 9.9m] → berth 1	Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 8	[Length: 170m, Draft: 8.3m] → berth 6	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 9	[Length: 189m, Draft: 10m] → berth 2	[Length: 240m, Draft: 14.5m]

vessel 10 [Length: 132m, Draft: 7.1m] → berth 8 [Length: 180m, Draft: 18.5m]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 2 cranes
vessel 2 → 2 cranes
vessel 3 → 5 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 4 cranes
vessel 7 → 3 cranes
vessel 8 → 3 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 1 crane

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης του είναι:

vessel 1 → 185,6 €
vessel 2 → 159,09 €
vessel 3 → 108,62 €
vessel 4 → 105,37 €
vessel 5 → 91,73 €
vessel 6 → 134,29 €
vessel 7 → 163,50 €
vessel 8 → 175,70 €
vessel 9 → 145,07 €
vessel 10 → 91,43 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα,

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος χρόνο εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **1.360,38 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,25 δευτερόλεπτα κάνοντας 1 διαδοχική προσέγγιση και βρίσκοντας 2 δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 134m, Draft: 8.7m] → berth 1 [Length: 240m, Draft:14.5]
vessel 2 [Length: 133m, Draft: 8.3m] → berth 3 [Length: 240m, Draft:14.5]
vessel 3 [Length: 175m, Draft: 10.7m] → virtual berth 11 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 4 [Length: 122m, Draft: 6.5m] → berth 7 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 5 [Length: 168m, Draft: 8.8m] → virtual berth 13 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 6 [Length: 165m, Draft: 10.6m] → virtual berth 11 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 7 [Length: 184m, Draft: 9.9m] → *berth* 10 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 8 [Length: 170m, Draft: 8.3m] → *berth* 4 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 9 [Length: 189m, Draft: 10m] → berth 5 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 10 [Length: 132m, Draft: 7.1m] → berth 8 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 11 [Length: 184m, Draft: 6.5m] → berth 9 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 12 [Length: 149m, Draft: 7.8m] → berth 6 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 13 [Length: 200m, Draft: 9.8m] → berth 2 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 14 [Length: 150m, Draft: 10.2m] → virtual berth 14 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 3 cranes
vessel 2 → 2 cranes
vessel 3 → 0 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 0 cranes
vessel 6 → 0 cranes
vessel 7 → 5 cranes
vessel 8 → 6 cranes
vessel 9 → 4 cranes
vessel 10 → 1 crane
vessel 11 → 2 cranes
vessel 12 → 3 cranes
vessel 13 → 3 cranes
vessel 14 → 0 cranes

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης του είναι:

vessel 1 → 123.73 €

vessel 2 → 159.09 €

vessel 3 → 0 €

vessel 4 → 105.37 €

vessel 5 → 0 €

vessel 6 → 0 €

vessel 7 → 98,10 €

vessel 8 → 87,85 €

vessel 9 → 108,08 €

vessel 10 → 91,43 €

vessel 11 → 51,89 €

vessel 12 → 129,52 €

vessel 13 → 117,33 €

vessel 14 → 0 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα,

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Τα πλοία 3, 5, 6 & 14 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που θα αφήσει.

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **1.073,11 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,39 δευτερόλεπτα κάνοντας 205 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

Επιλογή MOTHER size πλοίων

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

10 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 334m, Draft: 11.6m] → berth 8
vessel 2 [Length: 366m, Draft: 12m] → berth 3
vessel 3 [Length: 368m, Draft: 12.4m] → berth 2
vessel 4 [Length: 366m, Draft: 16.8m] → berth 5
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.4m] → berth 7
vessel 6 [Length: 400m, Draft: 16m] → berth 6
vessel 7 [Length: 366m, Draft: 17.2m] → berth 10
vessel 8 [Length: 350m, Draft: 15.5m] → berth 1
vessel 9 [Length: 400m, Draft: 19.2m] → berth 4
vessel 10 [Length: 368m, Draft: 12.9m] → berth 9

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 6 cranes
vessel 2 → 8 cranes
vessel 3 → 8 cranes
vessel 4 → 10 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 6 cranes
vessel 7 → 7 cranes
vessel 8 → 8 cranes
vessel 9 → 10 cranes
vessel 10 → 7 cranes

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης του είναι:

vessel 1 → 1.608,30 €
vessel 2 → 1.139,20 €
vessel 3 → 1.540,80 €
vessel 4 → 814,10 €
vessel 5 → 2.168,15 €
vessel 6 → 3.156,27 €
vessel 7 → 1.525,12 €
vessel 8 → 2.033,07 €
vessel 9 → 1.445,90 €
vessel 10 → 708,16 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος χρόνο εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Η παραπάνω συνθήκη που μελετήσαμε δεν είναι ρεαλιστική. Χρησιμοποιήθηκε μονάχα για την καλύτερη μελέτη του μοντέλου.

Όλα τα εξεταζόμενα πλοία έχουν μήκος που ξεπερνούν το μήκος μίας μόνο θέσης, οπότε προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο ή και τρεις θέσεις στο λιμάνι. Τυπικά χωρίσαμε το λιμάνι σε 4 μεγάλες θέσεις.

Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως οι θέσεις 1, 2 & 3 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 8 / 3 / 2 , οι θέσεις 4 & 5 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 9 / 4 , οι θέσεις 6, 7 & 8 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 6 / 5 / 1 και τέλος οι θέσεις 9 & 10 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 7 / 10.

Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των υπολοίπων πλοίων λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **16.139,07 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,172 δευτερόλεπτα κάνοντας 105 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 334m, Draft: 11.6m] → berth 8
vessel 2 [Length: 366m, Draft: 12m] → berth 3
vessel 3 [Length: 368m, Draft: 12.4m] → berth 2
vessel 4 [Length: 366m, Draft: 16.8m] → virtual berth 11
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.4m] → berth 6
vessel 6 [Length: 400m, Draft: 16m] → berth 10
vessel 7 [Length: 366m, Draft: 17.2m] → virtual berth 13
vessel 8 [Length: 350m, Draft: 15.5m] → berth 4
vessel 9 [Length: 400m, Draft: 19.2m] → virtual berth 12
vessel 10 [Length: 368m, Draft: 12.9m] → berth 7
vessel 11 [Length: 368m, Draft: 13m] → berth 9
vessel 12 [Length: 366m, Draft: 14.5m] → berth 1
vessel 13 [Length: 400m, Draft: 18m] → virtual berth 14
vessel 14 [Length: 366m, Draft: 15.1m] → berth 5

Από πόσους γεραμούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 6 cranes
vessel 2 → 8 cranes
vessel 3 → 8 cranes
vessel 4 → 0 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 7 cranes
vessel 7 → 0 cranes
vessel 8 → 10 cranes
vessel 9 → 0 cranes
vessel 10 → 6 crane
vessel 11 → 7 cranes
vessel 12 → 8 cranes
vessel 13 → 0 cranes
vessel 14 → 10 cranes

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης του είναι:

vessel 1 → 1.608,30 €
vessel 2 → 1.139,20 €
vessel 3 → 1.540,80 €
vessel 4 → 0 €
vessel 5 → 2.168,15 €
vessel 6 → 1.205,12 €
vessel 7 → 0 €
vessel 8 → 726,10 €
vessel 9 → 0 €
vessel 10 → 1.854,70 €
vessel 11 → 769,92 €
vessel 12 → 1,606,40 €
vessel 13 → 0 €
vessel 14 → 610,29 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα,

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γεραμών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Η παραπάνω συνθήκη που μελετήσαμε δεν είναι ρεαλιστική. Χρησιμοποιήθηκε μονάχα για την καλύτερη μελέτη του μοντέλου.

Όλα τα εξεταζόμενα πλοία έχουν μήκος που ξεπερνούν το μήκος μίας μόνο θέσης, οπότε προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο ή και τρεις θέσεις στο λιμάνι. Τυπικά χωρίσαμε το λιμάνι σε 4 μεγάλες θέσεις.

Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως οι θέσεις 1, 2 & 3 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 12 / 3 / 2 , οι θέσεις 4 & 5 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 8 / 14 , οι θέσεις 6, 7 & 8 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 5 / 10 / 1 και τέλος οι θέσεις 9 & 10 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 6 / 11.

Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των υπολοίπων πλοίων λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Τα πλοία 4, 7, 9 & 13 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που θα αφήσει. Στην παραπάνω περίπτωση , Θεωρούμε πως θα εξυπηρετηθούν πρώτα τα πλοία στα οποία το μοντέλο έχει δώσει θέση και ύστερα αυτά με την εικονική θέση.

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **13.228,98 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,172 δευτερόλεπτα κάνοντας 236 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

Επιλογή πραγματικών δεδομένων βάσει ημερομηνίας προσέλευσης στο λιμάνι (ETA)

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

10 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 210m, Draft: 11.2m] → berth 9 (Large number)	[M (Large number), Draft: N
vessel 2 [Length: 168m, Draft: 8.6m] → berth 6	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 3 [Length: 175m, Draft: 9.1m] → berth 1	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 4 [Length: 129m, Draft: 6.2m] → berth 3	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → berth 5	[Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 6 [Length: 369m, Draft: 15.4m] → berth 4	[Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 7 [Length: 134m, Draft: 5.8m] → berth 7	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 8 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → berth 10	[Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 9 [Length: 149m, Draft: 6.6m] → berth 2	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 10 [Length: 121m, Draft: 6m] → berth 8	[Length: 180m, Draft: 18.5m]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 7 cranes
vessel 2 → 3 cranes
vessel 3 → 3 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 10 cranes
vessel 6 → 10 cranes
vessel 7 → 2 cranes
vessel 8 → 7 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 1 cranes

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης είναι:

vessel 1 → 189,44 €
vessel 2 → 187,12 €
vessel 3 → 192,61 €
vessel 4 → 157,49 €
vessel 5 → 215,24 €
vessel 6 → 337,33 €
vessel 7 → 57,37 €
vessel 8 → 524,16 €
vessel 9 → 111,24 €
vessel 10 → 111,54 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα,

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος χρόνο εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Για τα πλοία 5, 6 & 8 όπου το μήκος τους ξεπερνάει το μήκος μίας μόνο θέσης, προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο θέσεις στο λιμάνι. Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως το πλοίο 6 θα καταλάβει τις θέσεις 4 & 5, ενώ το πλοίο 8 θα καταλάβει τις θέσεις 9 & 10. Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των πλοίων 5 και 1 λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν. Με το πέρας των εργασιών τους τα πλοία 5 και 1 θα καταλάβουν τις θέσεις 4-5 και 9-10 αντίστοιχα (ουσιαστικά θα δέσουν στις θέσεις των πλοίων 6 και 8).

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **2.083,54 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,328 δευτερόλεπτα κάνοντας 8 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 12 δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 210m, Draft: 11.2m] → berth 7 [Length: M (Large number),
Draft: N (Large number)]
vessel 2 [Length: 168m, Draft: 8.6m] → berth 10 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 3 [Length: 175m, Draft: 9.1m] → berth 4 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 4 [Length: 129m, Draft: 6.2m] → berth 3 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → berths 6,7 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 6 [Length: 369m, Draft: 15.4m] → virtual berth 12 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 7 [Length: 134m, Draft: 5.8m] → berth 9 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 8 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → virtual berth 13 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 9 [Length: 149m, Draft: 6.6m] → berth 2 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 10 [Length: 396m, Draft: 13m] → virtual berth 11 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 11 [Length: 121m, Draft: 6m] → berth 8 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 12 [Length: 175m, Draft: 9.3m] → berth 5 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 13 [Length: 145m, Draft: 7.9m] → berth 1 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 14 [Length: 180m, Draft: 12.8m] → virtual berth 14 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 5 cranes
vessel 2 → 5 cranes
vessel 3 → 6 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 5 cranes
vessel 6 → 0 cranes
vessel 7 → 2 cranes
vessel 8 → 0 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 0 cranes
vessel 11 → 1 crane
vessel 12 → 4 cranes
vessel 13 → 3 cranes
vessel 14 → 0 cranes

Το κόστος εργασιών κάθε πλοίου στην θέση προσόρμισης του είναι:

vessel 1 → 225,52 €

vessel 2 → 112,27 €

vessel 3 → 96,30 €

vessel 4 → 157,49 €

vessel 5 → 430,48 €

vessel 6 → 0 €

vessel 7 → 57,37 €

vessel 8 → 0 €

vessel 9 → 111,24 €

vessel 10 → 0 €

vessel 11 → 111,54 €

vessel 12 → 136,69 €

vessel 13 → 143,24 €

vessel 14 → 0 €

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα,

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και το κόστος εργασιών του κάθε πλοίου ανάλογα την θέση πρόσδεσης του στο λιμάνι.

Για το πλοίο 5 όπου το μήκος του ξεπερνάει το μήκος μίας μόνο θέσης, προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε το συγκεκριμένο πλοίο να μπορεί να καταλάβει δύο θέσεις στο λιμάνι. Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως το πλοίο 5 θα καταλάβει τις θέσεις 6 & 7. Για την προτεραιότητα πρόσδεσης του έναντι του πλοίου 1 λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχει να φορτοεκφορτώσει. Με το πέρας των εργασιών του το πλοίο 1 θα καταλάβει τη θέση 7 (λόγω του ότι το μήκος του καλύπτεται από το μήκος της θέσης).

Τα πλοία 6, 8 & 10 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που θα αφήσει. Στην παραπάνω περίπτωση, θεωρούμε πως θα εξυπηρετηθούν πρώτα τα πλοία στα οποία το μοντέλο έχει δώσει θέση και ύστερα αυτά με την εικονική θέση.

Το συνολικό κόστος είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **1,582,14 €**.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 2,734 δευτερόλεπτα κάνοντας 22 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 498 δευτερεύοντα προβλήματα.

Στις παραπάνω δοκιμές όπου ο αριθμός των πλοίων ήταν μεγαλύτερος από τον αριθμό των θέσεων, είχαμε να επιλύσουμε ένα μη ισορροπημένο πρόβλημα αντιστοίχισης. Δεδομένου πως και στις πραγματικές συνθήκες ελάχιστες φορές συμβαίνει τα πλοία που περιμένουν να μπουν στο λιμάνι, προχωρήσαμε με την παρακάτω συνθήκη:

Στον ορισμό του προβλήματος της εκχώρησης κάναμε την υπόθεση ότι ο αριθμός m των παραγωγικών μέσων είναι ίσος με τον αριθμό n των δραστηριοτήτων. Καθώς η συνθήκη αυτή σπάνια ικανοποιείται, ο κανόνας είναι $m \neq n$. Η περίπτωση $m \neq n$ αντιμετωπίζεται με πολύ απλό τρόπο και δεν δημιουργείται κανένα ουσιαστικό πρόβλημα:

- Αν $m > n$ τότε προστίθενται οι $n+1, n+2, \dots, m$ εικονικές δραστηριότητες και τίθεται $c_{ij} = 0$ για $i = 1, 2, \dots, m$, και $j = n+1, n+2, \dots, m$.
- Αν $m < n$ τότε προστίθενται οι $m+1, m+2, \dots, n$ εικονικά άτομα και τίθεται $c_{ij} = 0$ για $i = m+1, m+2, \dots, n$, και $j = 1, 2, \dots, n$.

6.2 Μοντελοποίηση ΒΑΡ με Ακέραιο Προγραμματισμό

Για την σχεδίαση του μοντέλου, βασιστήκαμε στο μοντέλο των **Xinxin Yan, Hanping Hou, Jianliang Yang, Chenyang Zhao, Xuehui Wang, Xue Li (2018)** και προτείνουμε τον παρακάτω *Γραμμικό Ακέραιο Προγραμματισμό (ILP – Integer Linear Programming)* ως λύση του προβλήματος. Για να μπορέσουμε να προσαρμόσουμε το μοντέλο στα δικά μας δεδομένα, ορισμένοι παράμετροι προστέθηκαν και έγιναν ορισμένες αλλαγές στο μοντέλο.

Αρχικά ορίσαμε τις μεταβλητές μας:

- V : ο δείκτης των εισερχόμενων πλοίων όπου για κάθε πλοίο $i, j \in V$
- L : το συνολικό μήκος των θέσεων προσόρμισης
- H : ο συνολικός χρονικός ορίζοντας εργασιών εκφρασμένος σε ώρες
- B : οι θέσεις προσόρμισης
- μ_i : το μήκος του πλοίου i
- a_i : ο χρόνος άφιξης του πλοίου i
- h_i : ο χρόνος εργασιών του πλοίου i
- x_i : η θέση προσόρμισης του πλοίου i
- t_i : η ώρα προσόρμισης του πλοίου i
- D : το βύθισμα σε θέση προσόρμισης
- d_i : το βύθισμα του πλοίου i
- M, N : Μεγάλοι αριθμοί
- Q : ο αριθμός ΓΓ που μπορούν να επιχειρήσουν στο πλοίο
- $x_{ij} \in \{0,1\}$: δυαδική μεταβλητή η οποία ισούται με 1 αν το πλοίο I εξυπηρετείται σε θέση προσόρμισης ή 0 διαφορετικά.

Δεδομένου πως ο χρόνος εργασιών επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο αριθμός των ΓΓ που επιχειρούν στο πλοίο και από τον συνολικό αριθμό κινήσεων φορτοεκφόρτωσης, μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο με την εξής φόρμουλα:

- Χρόνος εργασιών = συνολικές σχεδιασμένες κινήσεις / μέση παραγωγικότητα γερανών ανά βάρδια

Στη συνέχεια προσδιορίσαμε την παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς μας:

$$\text{Min } \sum \sum (t_i - a_i + h_i) x_{ij}$$

με περιορισμούς

$$0 \leq t_i - a_i \leq H \quad \forall i \in V \quad (1)$$

$$x_{ij} * \mu_i \leq L \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$0 \leq d_i * x_i \leq D_j \quad \forall i, j \in V \quad (4)$$

$$0 \leq d_i \leq 19.5 \quad \forall i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{qmin}^{qmax} x_{ij} * t_i = 1 \quad \forall i \in V \quad (6)$$

$$t_i, x_{ij}, h_i, a_i, \mu_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (7)$$

Ο σκοπός της παραπάνω αντικειμενικής συνάρτησης είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των εισερχόμενων πλοίων συμπεριλαμβανομένου και του αρχικού χρόνου αναμονής.

Οι περιορισμός (1) ορίζει την συνθήκη πως ο χρόνος άφιξης και εκκίνησης εργασιών του πλοίου δεν θα υπερβαίνει τον ορισμένο συνολικό χρονικό ορίζοντα. Ο περιορισμός (2) ορίζει πως το μήκος του πλοίου και το μήκος της θέσης προσόρμισης δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το συνολικό μήκος των προβλητών. Ο περιορισμός (3) ορίζει την συνθήκη πως κάθε θέση προσόρμισης θα καταληφθεί από ένα και μόνο πλοίο έτσι ώστε να εξασφαλιστεί πως δεν θα υπάρχει κενή θέση με πλοία να αναμένουν στο λιμάνι.

Επιπλέον, προσθέσαμε τους περιορισμούς (4) – (5) που αφορούν το επιτρεπτό βύθισμα του εκάστοτε εισερχόμενου πλοίου. Βάσει χαρακτηριστικών του λιμανιού (βλ. κεφ. 5) και της δεδομένης ασφάλειας που θα πρέπει να λογίζεται σε κάθε απόφαση, βάλαμε ως μέγιστο βύθισμα τα 19.5 m.

Τέλος, ορίσαμε με τον περιορισμό (6) ώστε να δηλώνει πως η εργασία του πλοίου ξεκινά μία φορά και συνεχίζει αδιάκοπα την ολοκλήρωση των εργασιών του (δεν έχουμε υπολογίσει τυχόν προβλήματα όπως μηχανικές βλάβες σε γερανούς ή ατυχήματα) διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ύπαρξη έστω ενός ελάχιστου αριθμού γερανών.

6.2.1 Αριθμητικά αποτελέσματα και Ανάλυση

Μελετώντας το πρόβλημα προσόρμισης πλοίων στο λιμάνι (BAP) ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού, στοχεύουμε στην συμπλήρωση του μοντέλου αντιστοίχισης ως προς τον χρονικό ορίζοντα (με την αντιστοίχιση καλύψαμε το χωρικό ορίζοντα).

Εφαρμόσαμε στο μοντέλο τα ίδια δεδομένα με το μοντέλο της αντιστοίχισης αναζητώντας ως βέλτιστη λύση την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων στο λιμάνι.

Αντίστοιχα με το 6.1.1, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα που αντλήθηκαν από την σελίδα της PCT (Piraeus Container Terminal) και πιο συγκεκριμένα από τη σελίδα “ Πλοία σε Αναμονή” όπου αναφέρονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία προς συμπλήρωση του παραπάνω μοντέλου.

Ως λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα εργασίας του excel. Πρέπει να κάνουμε μια αναφορά στους αριθμούς του excel που χρησιμοποιήθηκαν για την καλύτερη κατανόηση των παρακάτω αναλύσεων. Για το excel, ο αριθμός «1» είναι ίσος με μία ημέρα αλλά επίσης αντιπροσωπεύει την ημερομηνία 1/1/1900 00:00. Μία ώρα είναι ισοδύναμη με το 1/24 (1 ημέρα έχει 24 ώρες) = 0,041666667 και ένα λεπτό 1/1,440 (μία ημέρα έχει 1,440 λεπτά) = 0,0006944444, αντίστοιχα. Όλες οι άλλες ημερομηνίες εκφράζονται σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς. Ως παράδειγμα, θεωρούμε πως η ημερομηνία 1/2/2022 12:00:00 πμ θα αναγνωριστεί από το excel ως 44593 (44593 ημέρες μετά 1/1/1900). Αυτό το είδος της μετατροπής είναι πολύ χρήσιμο όταν προσπαθούν να εισάγουν ημερομηνίες σε άλλο λογισμικό που μπορεί να αναγνωρίσει μόνο αριθμούς χωρίς μια συγκεκριμένη μορφή.

Επιλογή πλοίων FEEDERS με 1200 κινήσεις ως μέγιστο αριθμό φορτοεκφορτώσεων

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

10 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1	[Length: 134m, Draft: 8.7m] → berth 9	[Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 2	[Length: 133m, Draft: 8.3m] → berth 3	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 3	[Length: 175m, Draft: 10.7m] → berth 10	[Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 4	[Length: 122m, Draft: 6.5m] → berth 7	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 5	[Length: 168m, Draft: 8.8m] → berth 4	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 6	[Length: 165m, Draft: 10.6m] → berth 5	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 7	[Length: 184m, Draft: 9.9m] → berth 1	Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 8	[Length: 170m, Draft: 8.3m] → berth 6	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 9	[Length: 189m, Draft: 10m] → berth 2	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 10	[Length: 132m, Draft: 7.1m] → berth 8	[Length: 180m, Draft: 18.5m]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 2 cranes
vessel 2 → 2 cranes
vessel 3 → 5 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 4 cranes
vessel 7 → 3 cranes
vessel 8 → 3 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 1 crane

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 5.8 hrs
vessel 2 → 4.9 hrs
vessel 3 → 3.3 hrs
vessel 4 → 3.2 hrs
vessel 5 → 2.8 hrs
vessel 6 → 4.1 hrs
vessel 7 → 5.1 hrs
vessel 8 → 5.4 hrs
vessel 9 → 4.5 hrs
vessel 10 → 2.8 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι, δεδομένο που θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε βάσει θέσεως προσόρμισης, θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **42,40** ώρες.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,172 δευτερόλεπτα κάνοντας 115 διαδοχικές προσεγγίσεις και χωρίς να βρίσκει δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 134m, Draft: 8.7m] → berth 1 [Length: 240m, Draft:14.5]
vessel 2 [Length: 133m, Draft: 8.3m] → berth 3 [Length: 240m, Draft:14.5]
vessel 3 [Length: 175m, Draft: 10.7m] → virtual berth 13 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 4 [Length: 122m, Draft: 6.5m] → berth 7 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 5 [Length: 168m, Draft: 8.8m] → virtual berth 12 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 6 [Length: 165m, Draft: 10.6m] → virtual berth 11 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 7 [Length: 184m, Draft: 9.9m] → berth 10 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 8 [Length: 170m, Draft: 8.3m] → berth 4 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 9 [Length: 189m, Draft: 10m] → berth 5 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 10 [Length: 132m, Draft: 7.1m] → berth 8 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 11 [Length: 184m, Draft: 6.5m] → berth 9 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 12 [Length: 149m, Draft: 7.8m] → berth 6 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 13 [Length: 200m, Draft: 9.8m] → berth 2 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 14 [Length: 150m, Draft: 10.2m] → virtual berth 14 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 3 cranes
vessel 2 → 2 cranes
vessel 3 → 0 cranes
vessel 4 → 2 cranes
vessel 5 → 0 cranes
vessel 6 → 0 cranes
vessel 7 → 5 cranes
vessel 8 → 6 cranes
vessel 9 → 4 cranes
vessel 10 → 1 crane
vessel 11 → 2 cranes
vessel 12 → 3 cranes
vessel 13 → 3 cranes
vessel 14 → 0 cranes

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 3.8 hrs
vessel 2 → 4.9 hrs
vessel 3 → 0 hrs
vessel 4 → 3.3 hrs
vessel 5 → 0 hrs
vessel 6 → 0 hrs
vessel 7 → 3 hrs
vessel 8 → 2.7 hrs
vessel 9 → 3.4 hrs
vessel 10 → 2.8 hrs
vessel 11 → 1.6 hrs
vessel 12 → 4 hrs
vessel 13 → 3,6 hrs
vessel 14 → 0 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα. Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Τα πλοία 3, 5, 6 & 14 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που θα αφήσει.

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **33,49** ώρες. Ο λόγος που ο συνολικός χρόνος των 14 υπο εξέταση πλοίων είναι μικρότερος από αυτόν των 10 πλοίων είναι η ύπαρξη των 4 εικονικών θέσεων προσόρμισης στις οποίες τα πλοία που έχουν ανατεθεί εκεί δεν δουλεύουν.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,359 δευτερόλεπτα κάνοντας 249 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

Επιλογή MOTHER size πλοίων

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσδόρμισης

10 vessels, 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 334m, Draft: 11.6m] → berths 6,7,8
vessel 2 [Length: 366m, Draft: 12m] → berths 1,2,3
vessel 3 [Length: 368m, Draft: 12.4m] → berths 1,2,3
vessel 4 [Length: 366m, Draft: 16.8m] → berths 4,5
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.4m] → berths 6,7,8
vessel 6 [Length: 400m, Draft: 16m] → berths 6,7,8
vessel 7 [Length: 366m, Draft: 17.2m] → berths 9,10
vessel 8 [Length: 350m, Draft: 15.5m] → berths 1,2,3
vessel 9 [Length: 400m, Draft: 19.2m] → berths 4,5
vessel 10 [Length: 368m, Draft: 12.9m] → berth 9,10

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 6 cranes
vessel 2 → 8 cranes
vessel 3 → 8 cranes
vessel 4 → 10 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 6 cranes
vessel 7 → 7 cranes
vessel 8 → 8 cranes
vessel 9 → 10 cranes
vessel 10 → 7 cranes

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσδόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 4.5 hrs
vessel 2 → 3.8 hrs
vessel 3 → 5.1 hrs
vessel 4 → 6.1 hrs
vessel 5 → 6.1 hrs
vessel 6 → 8.9 hrs
vessel 7 → 9.7 hrs
vessel 8 → 6.8 hrs
vessel 9 → 10.8 hrs
vessel 10 → 4.5 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Η παραπάνω συνθήκη που μελετήσαμε δεν είναι ρεαλιστική. Χρησιμοποιήθηκε μονάχα για την καλύτερη μελέτη του μοντέλου.

Όλα τα εξεταζόμενα πλοία έχουν μήκος που ξεπερνούν το μήκος μίας μόνο θέσης, οπότε προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο ή και τρεις θέσεις στο λιμάνι. Τυπικά χωρίσαμε το λιμάνι σε 4 μεγάλες θέσεις.

Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως οι θέσεις 1, 2 & 3 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 8 / 3 / 2, οι θέσεις 4 & 5 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 9 / 4, οι θέσεις 6, 7 & 8 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 6 / 5 / 1 και τέλος οι θέσεις 9 & 10 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 7 / 10.

Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των υπολοίπων πλοίων λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **66,56** ώρες.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,203 δευτερόλεπτα κάνοντας 110 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels, 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 334m, Draft: 11.6m] → berths 6,7,8
vessel 2 [Length: 366m, Draft: 12m] → berths 9,10
vessel 3 [Length: 368m, Draft: 12.4m] → berths 1,2,3
vessel 4 [Length: 366m, Draft: 16.8m] → virtual berth 11
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.4m] → berths 6,7,8
vessel 6 [Length: 400m, Draft: 16m] → berths 9,10
vessel 7 [Length: 366m, Draft: 17.2m] → virtual berth 13
vessel 8 [Length: 350m, Draft: 15.5m] → berths 4,5
vessel 9 [Length: 400m, Draft: 19.2m] → virtual berth 12
vessel 10 [Length: 368m, Draft: 12.9m] → berths 6,7,8
vessel 11 [Length: 368m, Draft: 13m] → berths 1,2,3
vessel 12 [Length: 366m, Draft: 14.5m] → berths 1,2,3
vessel 13 [Length: 400m, Draft: 18m] → virtual berth 14
vessel 14 [Length: 366m, Draft: 15.1m] → berths 4,5

Από πόσους γεραμούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 6 cranes
vessel 2 → 8 cranes
vessel 3 → 8 cranes
vessel 4 → 0 cranes
vessel 5 → 6 cranes
vessel 6 → 7 cranes
vessel 7 → 0 cranes
vessel 8 → 10 cranes
vessel 9 → 0 cranes
vessel 10 → 6 crane
vessel 11 → 7 cranes
vessel 12 → 8 cranes
vessel 13 → 0 cranes
vessel 14 → 10 cranes

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 4.5 hrs
vessel 2 → 3.8 hrs
vessel 3 → 5.1 hrs
vessel 4 → 0 hrs
vessel 5 → 6.1 hrs
vessel 6 → 7.6 hrs
vessel 7 → 0 hrs
vessel 8 → 5.4 hrs
vessel 9 → 0 hrs
vessel 10 → 5.2 hrs
vessel 11 → 4.9 hrs
vessel 12 → 5.3 hrs
vessel 13 → 0 hrs
vessel 14 → 4.5 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γεραμών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Η παραπάνω συνθήκη που μελετήσαμε δεν είναι ρεαλιστική. Χρησιμοποιήθηκε μονάχα για την καλύτερη μελέτη του μοντέλου.

Όλα τα εξεταζόμενα πλοία έχουν μήκος που ξεπερνούν το μήκος μίας μόνο θέσης, οπότε προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο ή και τρεις θέσεις στο λιμάνι. Τυπικά χωρίσαμε το λιμάνι σε 4 μεγάλες θέσεις.

Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως οι θέσεις 1, 2 & 3 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 12 / 3 / 2 , οι θέσεις 4 & 5 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 8 / 14 , οι θέσεις 6, 7 & 8 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 5 / 10 / 1 και τέλος οι θέσεις 9 & 10 θα καταληφθούν με σειρά προτεραιότητας από τα πλοία 6 / 11.

Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των υπολοίπων πλοίων λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Τα πλοία 4, 7, 9 & 13 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που θα αφήσει. Στην παραπάνω περίπτωση , Θεωρούμε πως θα εξυπηρετηθούν πρώτα τα πλοία στα οποία το μοντέλο έχει δώσει θέση και ύστερα αυτά με την εικονική θέση.

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **52,82** ώρες. Ο λόγος που ο συνολικός χρόνος των 14 υπο εξέταση πλοίων είναι μικρότερος από αυτόν των 10 πλοίων είναι η ύπαρξη των 4 εικονικών θέσεων προσόρμισης στις οποίες τα πλοία που έχουν ανατεθεί εκεί δεν δουλεύουν.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,453 δευτερόλεπτα κάνοντας 238 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 0 δευτερεύοντα προβλήματα.

Επιλογή πραγματικών δεδομένων βάσει ημερομηνίας προσέλευσης στο λιμάνι (ETA)

10 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

10 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1	[Length: 210m, Draft: 11.2m] → berth 2	[Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 2	[Length: 168m, Draft: 8.6m] → berth 5	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 3	[Length: 175m, Draft: 9.1m] → berth 4	[Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 4	[Length: 129m, Draft: 6.2m] → berth 6	[Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 5	[Length: 369m, Draft: 14.2m] → berths 7,8	[Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 6	[Length: 369m, Draft: 15.4m] → berths 9,10	[Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]

vessel 7 [Length: 134m, Draft: 5.8m] → berth 3 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 8 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → berth 9,10 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]
vessel 9 [Length: 149m, Draft: 6.6m] → berth 1 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 10 [Length: 121m, Draft: 6m] → berth 7,8 [Length: M (Large number), Draft: N (Large number)]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 3 cranes
vessel 2 → 4 cranes
vessel 3 → 6 cranes
vessel 4 → 3 cranes
vessel 5 → 3 cranes
vessel 6 → 7 cranes
vessel 7 → 2 cranes
vessel 8 → 7 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 3 cranes

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 2.8 hrs
vessel 2 → 4.4 hrs
vessel 3 → 3 hrs
vessel 4 → 3.3 hrs
vessel 5 → 5.4 hrs
vessel 6 → 3.6 hrs
vessel 7 → 1.8 hrs
vessel 8 → 3.3 hrs
vessel 9 → 3.5 hrs
vessel 10 → 8 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Για τα πλοία 5, 6, 8 & 10 όπου το μήκος τους ξεπερνάει το μήκος μίας μόνο θέσης, προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε αυτά τα πλοία να μπορούν να καταλάβουν δύο θέσεις στο λιμάνι. Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως το πλοίο 10 θα καταλάβει τις θέσεις 7 & 8 , ενώ το πλοίο 6 θα καταλάβει τις θέσεις 9 & 10. Για την προτεραιότητα πρόσδεσης τους έναντι των πλοίων 5 και 8 λογίζεται ο αριθμός των

ΕΚ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν. Με το πέρας των εργασιών τους τα πλοία 5 και 8 θα καταλάβουν τις θέσεις 7-8 και 9-10 αντίστοιχα (ουσιαστικά θα δέσουν στις θέσεις των πλοίων 10 και 6).

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **39,10** ώρες.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 536,609 δευτερόλεπτα κάνοντας 29 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 72810 δευτερεύοντα προβλήματα.

14 πλοία σε 10 διαθέσιμες θέσεις προσόρμισης

14 vessels , 10 berths, 31 cranes

Σε ποια θέση θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 [Length: 210m, Draft: 11.2m] → berth 3 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 2 [Length: 168m, Draft: 8.6m] → berth 10 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 3 [Length: 175m, Draft: 9.1m] → berth 4 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 4 [Length: 129m, Draft: 6.2m] → berth 7 [Length: M (Large number),
Draft: N (Large number)]
vessel 5 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → berth 6 [Length: M (Large number),
Draft: N (Large number)]
vessel 6 [Length: 369m, Draft: 15.4m] → virtual berth 12 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 7 [Length: 134m, Draft: 5.8m] → berth 9 [Length: 200m, Draft: 19.5m]
vessel 8 [Length: 369m, Draft: 14.2m] → virtual berth 14 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 9 [Length: 149m, Draft: 6.6m] → berth 1 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 10 [Length: 396m, Draft: 13m] → virtual berth 13 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]
vessel 11 [Length: 121m, Draft: 6m] → berth 8 [Length: 180m, Draft: 18.5m]
vessel 12 [Length: 175m, Draft: 9.3m] → berth 5 [Length: 330m, Draft: 16.5m]
vessel 13 [Length: 145m, Draft: 7.9m] → berth 2 [Length: 240m, Draft: 14.5m]
vessel 14 [Length: 180m, Draft: 12.8m] → virtual berth 11 [Length: M (Large
number), Draft: N (Large number)]

Από πόσους γερανούς θα εξυπηρετηθεί το κάθε πλοίο:

vessel 1 → 2 cranes
vessel 2 → 5 cranes
vessel 3 → 6 cranes
vessel 4 → 5 cranes
vessel 5 → 5 cranes
vessel 6 → 0 cranes

vessel 7 → 2 cranes
vessel 8 → 0 cranes
vessel 9 → 3 cranes
vessel 10 → 0 cranes
vessel 11 → 1 crane
vessel 12 → 4 cranes
vessel 13 → 3 cranes
vessel 14 → 0 cranes

Ο χρόνος εργασιών σε κάθε πλοίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

Συνολικός χρόνος = εκτιμώμενες κινήσεις φορτοεκφόρτωσης / (αριθμό ΓΓ στην θέση προσόρμισης * μέσο αριθμό κινήσεων ΓΓ ανά ώρα)

vessel 1 → 4.2 hrs
vessel 2 → 5.8 hrs
vessel 3 → 3.6 hrs
vessel 4 → 4.9 hrs
vessel 5 → 0 hrs
vessel 6 → 0 hrs
vessel 7 → 1.8 hrs
vessel 8 → 0 hrs
vessel 9 → 3.4 hrs
vessel 10 → 0 hrs
vessel 11 → 3.4 hrs
vessel 12 → 4.2 hrs
vessel 13 → 4.4 hrs
vessel 14 → 3.8 hrs

Στην πρώτη σειρά φαίνονται τα βασικά στοιχεία που εισήγαμε στο πρόβλημα.

Έπειτα, παρουσιάζεται η αντιστοίχιση θέσης – πλοίου, ο αριθμός των γερανών που του ανατίθεται ανάλογα με την θέση καθώς και ο χρόνος εργασιών του κάθε πλοίου στο λιμάνι.

Για το πλοίο 5 όπου το μήκος του ξεπερνάει το μήκος μίας μόνο θέσης, προσαρμόσαμε το μοντέλο έτσι ώστε το συγκεκριμένο πλοίο να μπορεί να καταλάβει δύο θέσεις στο λιμάνι. Έτσι, για τα παραπάνω δεδομένα, εκτιμούμε πως το πλοίο 5 θα καταλάβει τις θέσεις 6 & 7. Για την προτεραιότητα πρόσδεσης του έναντι του πλοίου 4 λογίζεται ο αριθμός των ΕΚ που έχει να φορτοεκφορτώσει. Με το πέρας των εργασιών του το πλοίο 4 θα καταλάβει τη θέση 7 (λόγω του ότι το μήκος του καλύπτεται από το μήκος της θέσης).

Τα πλοία 6, 8, 10 & 14 όπου παρουσιάζονται στο μοντέλο να καταλαμβάνουν εικονικές θέσεις, στην πραγματικότητα δεν εξυπηρετούνται από κάποια θέση και βρίσκονται σε αναμονή εκχώρησης θέσης. Ο χρόνος αναμονής είναι συνάρτηση του πλοίου που θα ολοκληρώσει πρώτο της εργασίες του και του μήκους της θέσης που

θα αφήσει. Στην παραπάνω περίπτωση , θεωρούμε πως θα εξυπηρετηθούν πρώτα τα πλοία στα οποία το μοντέλο έχει δώσει θέση και ύστερα αυτά με την εικονική θέση.

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων στο λιμάνι θα είναι το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης δηλαδή **33,38** ώρες. Ο λόγος που ο συνολικός χρόνος των 14 υπο εξέταση πλοίων είναι μικρότερος από αυτόν των 10 πλοίων είναι η ύπαρξη των 4 εικονικών θέσεων προσόρμισης στις οποίες τα πλοία που έχουν ανατεθεί εκεί δεν δουλεύουν.

Ο χρόνος λύσης του παραπάνω προβλήματος υπολογίστηκε στα 0,188 δευτερόλεπτα κάνοντας 9 διαδοχικές προσεγγίσεις και βρίσκοντας 8 δευτερεύοντα προβλήματα.

Κεφάλαιο ΕΠΤΑ : Συμπεράσματα και μελέτη για το μέλλον

Στην εργασία αυτή, μελετήσαμε το πρόβλημα της κατανομής θέσεων προσόρμισης σε εισερχόμενα πλοία στο λιμάνι γνωστό ως Berth Allocation Problem.

Λόγω της ιδιαίτερης αύξησης της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων ανά τον κόσμο καθώς και της ζήτησης για μεταφορές, η οποία εξακολουθεί να αυξάνεται κατά τουλάχιστον 10% ετησίως, οι τερματικοί σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων είναι μια σημαντική πύλη για τη διευκόλυνση της ομαλής ροής εμπορευματοκιβωτίων και της γενικότερης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στο πρώτο μέρος, επιδιώκεται αρχικά μια σύνδεση της ναυτιλίας και της Επιχειρησιακής Έρευνας (ΕΕ) με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της αλληλεξάρτησης που υπάρχει, τονίζοντας τα σημεία που η ΕΕ καθίσταται ιδιαίτερω βοηθητική. Διεξάγουμε μια λεπτομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση των λειτουργιών και της δομής ενός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων, των πλοίων μεταφοράς Ε/Κ και της εξέλιξης τους καθώς και μια ανασκόπηση στο αντικείμενο μελέτης που είναι το εμπορευματοκιβώτιο.

Στο δεύτερο μέρος, συνεχίζουμε με την βιβλιογραφική ανασκόπηση του βασικού προβλήματος που συναντάται στους τερματικούς σταθμούς – το πρόβλημα κατανομής θέσης σε πλοία. Επισημαίνουμε ορισμένες από τις κυριότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί με τις μεθόδους επίλυσης που έχουν δοθεί. Τα προβλήματα προγραμματισμού θέσεων μπορούν να διατυπωθούν ως διαφορετικά προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης ανάλογα με τους συγκεκριμένους στόχους και περιορισμούς που πρέπει να τηρούνται. Για παράδειγμα, αναφέρουμε τη δυνατότητα μοντελοποίησης του σχεδιασμού θέσεων ελλειμνισμού μέσω του προβλήματος προγραμματισμού με περιορισμό πόρων (scheduling problem with resources constrains). Οι περιορισμοί μπορεί να αναφέρονται σε ειδικό εξοπλισμό που απαιτείται για ορισμένες εργασίες, όπως συμβαίνει, π.χ., για μη διαθεσιμότητα λόγω συντήρησης ή για πλοία RoRo όπου απαιτούνται τα ρυμουλκούμενα να οδηγηθούν μέσα στο πλοίο.

Ακολούθως, παρουσιάζεται ως μελέτη περίπτωσης ο τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά – Σ.ΕΜΠΟ. Σε αυτή τη μελέτη, γίνονται γνωστά αρχικά τα χαρακτηριστικά του τερματικού και στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία πίσω από τον προγραμματισμό προσόρμισης που χρησιμοποιείται. Λειτουργικές- επιχειρησιακές αποφάσεις για δραστηριότητες προγραμματισμού για αγκυροβόλιο πλοίων καθορίζονται σε καθημερινή βάση και έχουν ισχυρό αντίκτυπο στο συνολικό κόστος της αλυσίδας εφοδιασμού. Στην πράξη, οι πραγματικοί χρόνοι άφιξης και οι χρόνοι χειρισμού των σκαφών αποκλίνουν από τις αναμενόμενες ή εκτιμώμενες τιμές τους, γεγονός που μπορεί να διαταράξει το αρχικό σχέδιο προγραμματισμού προσόρμισης και πιθανώς να το καταστήσει ανέφικτο.

Τέλος, παρουσιάζουμε και εξετάζουμε το πρόβλημα της κατανομής πλοίων σε θέσεις προσόρμισης αρχικά ως πρόβλημα αντιστοίχισης και στην συνέχεια ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού. Στην πρώτη συνθήκη, άμεσος στόχος είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής θέσης στα εισερχόμενα πλοία βάσει των αριθμών των εμπορευματοκιβωτίων που έχουν να φορτοεκφορτώσουν ενώ στην δεύτερη συνθήκη είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου παραμονής των πλοίων στο λιμάνι

βάσει αρχικά της εκτιμώμενης ώρας άφιξης τους και ύστερα των εμπορευματοκιβωτίων που έχουν να φορτοεκφορτώσουν.

Το πρόβλημα της κατανομής θέσης προσόρμισης είναι ένα σύνθετο πρόβλημα προγραμματισμού εργασιών σε μηχανές. Ως μηχανές λογίζονται οι θέσεις προσόρμισης με βασική διαφοροποίηση τους τον αριθμό γερανογεφυρών που βρίσκονται σε αυτές. Ως εργασίες λογίζονται τα πλοία και διαφοροποιούνται βάση των συνολικών κινήσεων που έχουν να εκτελέσουν και του μήκους τους. Και οι δύο παράγοντες επιδρούν σε ποια θέση μπορεί να εξυπηρετηθεί το πλοίο.

Στην μελέτη των δύο παραπάνω μοντέλων, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα έτσι ώστε η σύγκριση αποτελεσμάτων να είναι εφικτή.

Στο μοντέλο της αντιστοίχισης παρατηρήθηκε πως η βέλτιστη λύση δίνεται σε χρονικό διάστημα δευτερολέπτων και με πολύ καλό αποτέλεσμα όσον αφορά τις αντιστοιχίσεις πλοίων – θέσεων. Τρέξαμε το μοντέλο σε διαφορετικές συνθήκες λιμανιού και δεδομένου ότι η βάση των περιορισμών είναι ο αριθμός των Ε/Κ που έχουν να φορτοεκφορτώσουν, παρατηρήθηκε πως ο χρόνος που χρειάστηκε για την βέλτιστη λύση το μοντέλο δεν ξεπερνάει τα 0,39s. Ακόμα και τις περιπτώσεις όπου έχουμε χρησιμοποιήσει εικονικές θέσεις προσόρμισης για να ισοσταθμίσουμε το πρόβλημα (14 εισερχόμενα πλοία - 10 θέσεις προσόρμισης), ο χρόνος για την βέλτιστη λύση δεν ξεπερνάει τα 0,25s με ιδιαίτερος ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στο μοντέλο του ακέραιου προγραμματισμού παρατηρήθηκε η σημασία της εκτιμώμενης ώρας άφιξης πλοίων στο μοντέλο για τον προγραμματισμό θέσης προσόρμισης που αφενός να καλύπτει το παράθυρο ελλιμενισμού και αφετέρου να ελαχιστοποιεί το χρόνο παραμονής του πλοίου στο λιμάνι βάσει θέσης. Αντίστοιχα και σε αυτό το μοντέλο, η βέλτιστη λύση δίνεται σε χρονικό διάστημα δευτερολέπτων και με πολύ καλό αποτέλεσμα όσον αφορά τις αντιστοιχίσεις πλοίων – θέσεων. Στις περιπτώσεις που χρειάστηκε να ισοσταθμίσουμε το πρόβλημα, ο χρόνος τρεξίματος δεν ξεπέρασε τα 0,469s. Αντιθέτως παρατηρήθηκε μόνο στη συνθήκη του έχει το λιμάνι να διαχειριστεί mother vessels και πιο συγκεκριμένα 10 εισερχόμενα πλοία – 10 θέσεις πως ο χρόνος που χρειάστηκε για την βέλτιστη λύση το μοντέλο είναι αισθητά μεγαλύτερος. Αυτό εξηγείται λόγω του ότι τροποποιήσαμε το μοντέλο έτσι ώστε να μπορούν τα μεγάλα πλοία να καταλάβουν περισσότερες από μία θέσεις.

Σήμερα υπάρχει πληθώρα προγραμμάτων που επιλύουν το ΒΑΡ για πολύ μεγαλύτερο αριθμό πλοίων. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούν σύνθετες μαθηματικές σχέσεις και αλγορίθμους με πολύ καλά αποτελέσματα. Η ιδιαιτερότητα της δικής μας έρευνας επικεντρώνεται αρχικά στην μελέτη του προβλήματος στην αρχική του μορφή, μελέτη η οποία δεν είχε πραγματοποιηθεί. Αντλήσαμε πραγματικά δεδομένα από το λιμάνι του Πειραιά και τροποποιήσαμε έτσι τα μοντέλα ώστε η εφαρμογή τους να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές δραστηριότητες προγραμματισμού. Χρησιμοποιώντας επίσης το excel solver ως εργαλείο επίλυσης, ήμασταν σε θέση να επεμβαίνουμε στο μοντέλο με τρόπο τέτοιο ώστε να λαμβάνει υπόψιν περισσότερα στοιχεία του προβλήματος.

Σε πολλά λιμάνια, όπως ο τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά, η σειρά προσόρμισης των πλοίων αποφασίζεται αυθαίρετα. Γίνεται λοιπόν προφανές πως ένα εργαλείο όπως το παραπάνω θα ήταν χρήσιμο για τους διαχειριστές καθώς για προβλήματα μικρού μεγέθους παίρνουμε άμεσα βέλτιστες λύσεις.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατασκευή και μελέτη μοντέλου και προγράμματος για την επίλυση του δυναμικού προβλήματος άφιξης των πλοίων, καθώς αυτά θα φτάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η μελέτη τέτοιων προγραμμάτων είναι σαφώς πιο σύνθετη αλλά ανταποκρίνεται στις καταστάσεις που αντιμετωπίζουν τα λιμάνια ιδιαίτερα στην όλο και αυξανόμενη αύξηση της ζήτησης για μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων.

Βιβλιογραφία

- [1] An Introduction to Optimization: Foundations and Fundamental Algorithms - Niclas Andr´easson, Anton Evgrafov, Michael Patriksson – 2005
- [2] A novel mathematical formulation for solving the dynamic and discrete berth allocation problem by using the Bee Colony Optimisation algorithm - Luigi Pio Prencipe & Mario Marinelli – 2020
- [3] A System for Queuing in Ports – Erik Røsæg, Torgeir Hovden, Torgeir Willumsen – 2009
Priority control of berth allocation problem in container terminals - Evrim Ursavas - 2015
- [4] A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals - Christian Bierwirth, Frank Meisel – 2009
Integrating tactical and operational berth allocation decisions via Simulation–Optimization - Pasquale Legato, Rina Mary Mazza, Daniel Gulli – 2014
- [5] Assignment problems: A golden anniversary survey - David W. Pentico – 2005
- [6] Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation – Pasquale Regato, Rina Mary Mazza – 2001
- [7] Berth Allocation Planning Optimization in Container Terminal - Jim Dai, Wuqin Lin, Rajeeva Moorthy, Chung-Piaw Teo – 2004
- [8] Berth management in container terminal: the template design problem - Moorthy R, Teo C-P – 2006
- [9] Comparison of Planning Models for Dynamic Berth Allocation problem using a sailfish-based algorithm - Issam El Hammoutia, Azza Lajjam, Mohamed El Merouani – 2020
- [10] Daily berth planning in a tidal port with channel flow control - Lu Zhen, Zhe Liang, Dan Zhuge, Loo Hay Lee, Ek Peng Chew – 2017
- [11] Developing Liner Service Networks in Container Shipping - César Ducruet, Theo Notteboom - 2012
- [12] Henesey L, Davidsson P, Persson JA (2004) Using simulation in evaluating berth allocation at a container terminal. Paper presented at the third international EuroConference on computer applications and information technology in the maritime industries, COMPIT’04, Siguënza, 9–12 May 2004
- [13] Improved formulations and an Adaptive Large Neighborhood Search heuristic for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem - Çagatay Iris , Dario Pacino, Stefan Ropke – 2017
- [14] Models and Tabu Search Heuristics for the Berth Allocation Problem - Jean Francois Cordeau, Gilbert Laporte, Pasquale Legato, Luigi Moccia – 2005
- [15] Optimisation methods of operational research: Brief notes to accompany the lectures. Prepared by A. E. Kyprianou ,Department of Mathematical Sciences, The University of Bath
- [16] Operations Research: An introduction , Tenth Edition – Hamdy A. Taha

- [17] Operations Research In Maritime Transport And Freight Logistics - Shubham Tuslyan, Shubham Saxena, Suravi Aggarwal, Tanay Siroya – 2017
- [18] Operations Research supports Container Handling – Patrick J.M. Meersmans, Rommert Dekker - 2001
- [19] Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem – Ching Jung Ting , Kun Chih Wu, Hao Chou – 2013
- [20] Port Mangement and Operations – Maria F. Burns - 2015
- [21] Port investment and container shipping markets, Discussion Paper No. 2014-03, International Transport Forum – Mary R. Brooks, Thanos Pallis, Stephen Perkins – 2014
- [22] Seaside operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions - Héctor J. Carlo, Iris F.A. Vis, Kees Jan Roodbergen – 2015
- [23] Study on the Continuous Berth Allocation Problem - Xinxin Yan, Hanping Hou, Jianliang Yang, Chenyang Zhao, Xuehui Wang, Xue Li – 2018
- [24] The Dynamic Berth Allocation Problem: A Linearized formulation - Ahmed Simrin, Ali Diabat – 2015
- [25] Variable Neighborhood Search Methods for the Dynamic Minimum Cost Hybrid Berth Allocation Problem – Natasa Kovac, Tatjana Davidovic, Zorica Stanimirovic – 2018
- [26] Διπλωματική εργασία : Τεχνολογικές εξελίξεις στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων – Κωνσταντίνος Λευΐτικος – 2017

Internet sites

- [1] <https://www.porteconomics.eu>
- [2] <https://www.marineinsight.com>
- [3] <https://www.naftikachronika.gr>
- [4] <https://www.pct.com.gr>
- [5] <http://www.tsb.co.kr/en>
- [6] <http://www.wikipedia.gr>
- [7] <http://www.maritime.gr/ports>
- [8] <https://www.shippingandfreightresource.com>
- [9] <https://www.freightos.com>
- [10] <https://www.oocl.com/greece/eng>
- [11] <https://www.vesselsvalue.com>

