

Ένα Μοντέλλο Φόρτωσης Οχημάτων Σε Επιβατηγά/Οχηματαγωγά Πλοία

Από τον
Ιωάννη Μπότση

Εργασία που υποβλήθηκε ως μερική
εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
στο

Πολυτεχνείο Κρήτης



Ιούνιος 2009

© Copyright Ιωάννης Μπότσης, 2009

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα
Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Οι παρακάτω υπογράφωντες βεβαιώνουν ότι διάβασαν και εισηγούνται στην Επιτροπή Μεταπτυχιακών Σπουδών για αποδοχή την Μεταπτυχιακή Εργασία με τίτλο **‘Ένα Μοντέλλο Φόρτωσης Οχημάτων Σε Επιβατηγά/Οχηματαγωγά Πλοία’** του **Ιωάννη Μπότση** ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**.

Υποβλήθηκε: Ιούνιος 2009

Επιβλέπων Καθηγητής:	Βασίλης Σαμολαδάς Επίκουρος Καθηγητής Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
----------------------	--

Αναγνώστες:	Μιχαήλ Λαγουδάκης Επίκουρος Καθηγητής Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
-------------	--

Βασίλης Μουστάκης Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
--

Πολυτεχνείο Κρήτης

Ημερομηνία: Ιούνιος 2009

Συγγραφέας: Ιωάννης Μπότσης

Τίτλος: Ένα Μοντέλλο Φόρτωσης Οχημάτων Σε
Επιβατηγά/Οχηματαγωγά Πλοία

Τμήμα: Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών

Πτυχίο: Μ.Δ.Ε. Υποβλήθηκε: Ιούνιος Έτος: 2009

Με το παρόν παρέχεται η άδεια στο Πολυτεχνείο Κρήτης να διανείμει και να αντιγράψει για σκοπό μη κερδοσκοπικό, κατά την κρίση του, τον παραπάνω τίτλο όταν ζητηθεί από ιδιώτες ή άλλα Ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Υπογραφή Συγγραφέως

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σε όλους αυτούς που δεν σταματούν ποτέ να προσπαθούν....

Περιεχόμενα

Πίνακας Περιεχομένων	v
Κατάλογος Πινάκων	viii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Περίληψη	xi
Abstract	xii
Ευχαριστίες	xiii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο	1
1.2 Τι ισχύει σήμερα	1
1.3 Περιγραφή Προβλήματος	2
1.4 Ζητούμενο	3
1.5 Η δική μας προσέγγιση	3
1.6 Συνεισφορά Διατριβής	4
1.7 Οργάνωση Διατριβής	5
2 Επισκόπηση Σχετικής Έρευνας	6
2.1 Κατηγορίες προβλημάτων κοπής και πλήρωσης	7
2.2 NP-Completeness	11
2.3 Πλήρωση δοχείου (Bin Packing)	13
2.4 Συσκευασία Λωρίδας Strip packing (with rotation, without rotation) . .	13
2.5 2D packing	14
2.6 3D packing	16
2.7 Approximation Algorithms	17
3 Ανάλυση Προβλήματος	19
3.1 Ορολογία	19
3.2 Οντότητες - Περιγραφή και Χαρακτηριστικά	20

3.2.1	Πλοίο	20
3.2.2	Δρομολόγιο	20
3.2.3	Χώρος Στάθμευσης Οχημάτων (Garage G)	21
3.2.4	Όχημα	22
3.3	Φόρτωση	24
3.3.1	Παρατηρήσεις	25
3.3.2	Αρχές Φόρτωσης	26
3.3.3	Κανονισμοί Φόρτωσης	27
3.3.4	Τρόποι Φόρτωσης	27
4	Μοντελοποίηση	29
4.1	Οργάνωση τμημάτων γκαράζ	29
4.2	Γεωμετρικοί Περιορισμοί	31
4.3	Προσανατολισμός στο πλοίο	33
4.4	Διατύπωση του προβλήματος	34
4.5	Περιγραφή Μοντέλου	35
4.6	Στατική δομή του συστήματος	35
4.7	Αναπαράσταση Γκαράζ	36
4.8	Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης	38
5	Αλγόριθμοι Φόρτωσης	40
5.1	Μελέτη του προβλήματος	40
5.2	Αλγόριθμοι Μοντέλο Φόρτωσης Οχημάτων (ΜΦΟ)	42
5.2.1	Άπληστος Αλγόριθμος (greedy)	44
5.2.1.1	Είσοδος του αλγορίθμου	44
5.2.1.2	Περιγραφή του αλγορίθμου	45
5.2.1.3	Έξοδος του αλγορίθμου	46
5.2.1.4	Ορθότητα αποτελέσματος	47
5.2.1.5	Υπολογιστική Πολυπλοκότητα	47
5.2.2	Αλγόριθμος Best_Fit	47
5.2.2.1	Είσοδος του αλγορίθμου	50
5.2.2.2	Περιγραφή του αλγορίθμου	50
5.2.2.3	Εξοδος του αλγορίθμου	52
5.2.2.4	Τερματισμός	52
5.2.2.5	Ορθότητα αποτελέσματος	54
5.2.2.6	Υπολογιστική Πολυπλοκότητα	54
6	Πειραματική Αξιολόγηση	55
6.1	Πείραμα με παραγματικά δεδομένα	55
6.1.1	Ανάλυση Δεδομένων	57
6.1.2	Πείραμα με τον Άπληστο αλγόριθμο	63
6.1.3	Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο	65
6.2	Πείραμα με συνθετικά δεδομένα	67

6.2.1	Γκαράζ ΛΑΤΩ, οριακή φόρτωση	68
6.2.1.1	Πείραμα με τον Άπληστο αλγόριθμο	68
6.2.1.2	Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο	68
6.2.2	Τυχάιο Γκαράζ, με οριακή φόρτωση	70
6.2.2.1	Πείραμα με τον άπληστο αλγόριθμο	70
6.2.2.2	Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο	70
7	Συμπεράσματα - Μελλοντική Εργασία	75
	Βιβλιογραφία	77
	Παραρτήματα	79
	Α' Συντομογραφίες	79
	Β' Τεχνολογία Πλοίου	80
	Γ' Αναγνώριση Χώρου - Πλοίο ΛΑΤΩ	82
	Δ' Σενάρια Φόρτωσης πλοίου ΛΑΤΩ	86
	Ε' Πίνακες Βάσης Δεδομένων	87
	Ϝ' Πηγαίος κώδικας	89

Κατάλογος Πινάκων

2.1	Κατηγοριοποίηση Dyckhoff [7]	8
2.2	G. Wascher et al. Intermediate problem types: output maximisation [5]	10
2.3	G. Wascher et al. Intermediate problem types: input minimisation [5] .	11
3.1	Χαρακτηριστικά Δρομολογίου	21
3.2	Χαρακτηριστικά Τμήματος γκαράζ	22
3.3	Χαρακτηριστικά οχημάτων	23
6.1	Δρομολόγια Ελέγχου	56
6.2	Επιπλέον οχήματα	67
Γ'.1	Τεχνικά Χαρακτηριστικά πλοίου ΛΑΤΩ	82
Γ'.2	Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά επιφανειών γκαράζ πλοίου ΛΑΤΩ	84
Γ'.3	Πίνακας κατηγοριών οχημάτων	85
Δ'.1	Σενάρια Φόρτωσης πλοίου ΛΑΤΩ	86
Ε'.1	Βασικός πίνακας δεδομένων δρομολογίων	87
Ε'.2	Πίνακας δεδομένων γκαράζ	87
Ε'.3	Πίνακας ΓΣΦΟ! (ΓΣΦΟ!)	88
Ε'.4	Πίνακας δεδομένων οχημάτων	88

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	G. Wascher et al. Basic problem types [5]	9
4.1	Σχηματική Αναπαράσταση Γκαράζ	30
4.2	Σχηματική Αναπαράσταση Τμημάτων Γκαράζ	36
4.3	Γράφος Γκαράζ	37
5.1	Άπληστος Αλγόριθμος	45
5.2	Αλγόριθμος Best_Fit(1)	49
5.3	Αλγόριθμος Best_Fit(2)	53
6.1	Κατανομή κατηγοριών οχημάτων	58
6.2	Κατανομή IX οχημάτων με βάση το μήκος τους (Κατηγ:IX1)	58
6.3	Κατανομή IX οχημάτων με βάση το ύψος τους (Κατηγ:IX1)	59
6.4	Κατανομή IX οχημάτων με βάση το πλάτος τους (Κατηγ:IX1)	59
6.5	Κατανομή τμημάτων με βάση το μήκος τους	61
6.6	Κατανομή οχημάτων με βάση το μήκος τους	61
6.7	Δείγμα δεδομένων δομών G, A, V	62
6.8	Αποτελέσματα για την 01-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)	63
6.9	Αποτελέσματα για την 04-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)	64
6.10	Αποτελέσματα για την 13-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)	64
6.11	Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 01-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)	65
6.12	Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 04-08-2004 09:00:00 (greedy)	66
6.13	Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 13-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)	66
6.14	Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 01-08-2004 09:00:00 (Best_Fit)	67
6.15	Αποτελέσματα του (Άπληστου) για οχήματα == γκαράζ	69
6.16	Αποτελέσματα του (Best_Fit) για οχήματα == γκαράζ	71

6.17 Κατανομή τμημάτων με βάση το μήκος τους	72
6.18 Κατανομή οχημάτων με βάση το μήκος τους	72
6.19 Αποτελέσματα του άπληστου	73
6.20 Αποτελέσματα του (Best_Fit)	74
B'.1 Μέρη του πλοίου (γενικό σχέδιο)	80
Γ'.1 Κάτοψη χώρου (KG) γκαράζ ΛΑΤΩ	83
Γ'.2 Κάτοψη χώρου (IG1) γκαράζ ΛΑΤΩ	83
Γ'.3 Κάτοψη χώρου (IG2) γκαράζ ΛΑΤΩ	84
Γ'.4 Κάτοψη χώρου (IG3) γκαράζ ΛΑΤΩ	84
ζ'.1 Συνάρτηση best_fit	89
ζ'.2 Συνάρτηση best_length	90
ζ'.3 Συνάρτηση full_fit	90
ζ'.4 Άπληστος Αλγόριθμος	91
ζ'.5 Αλγόριθμος Best_Fit	92
ζ'.6 Αλγόριθμος Best_Fit	93
ζ'.7 Αλγόριθμος Best_Fit	94
ζ'.8 Αλγόριθμος Best_Fit	95

Περίληψη

Η φόρτωση επιβατηγών και φορτηγών οχημάτων σε πλοία που λειτουργούν δρομολογιακές γραμμές γίνεται ακολουθώντας συγκεκριμένους κανόνες που έχουν να κάνουν περισσότερο με την ασφάλεια του πλου και λιγότερο με την αποτελεσματική εκμετάλλευση του χώρου στάθμευσης των οχημάτων στο πλοίο. Οι ναυπηγοί των πλοίων προσπαθούν να προσφέρουν όσο γίνεται περισσότερο χώρο στάθμευσης χωρίς όμως να προτείνουν κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία φόρτωσης. Οι πλοιοκτήτριες εταιρείες προσπαθούν να εκμεταλλευτούν όσο γίνεται καλύτερα το χώρο στάθμευσης οχημάτων στα πλοία που λειτουργούν αξιοποιώντας την εμπειρία του προσωπικού του επιφορτισμένου με την εργασία αυτή.

Στην διατριβή αυτή μελετάμε το πρόβλημα φόρτωσης οχημάτων σε επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία. Το πρόβλημα αυτό είναι μια ειδίκευση του προβλήματος συσκευασίας (Packing) και συγκεκριμένα ταιριάζει στην περίπτωση της συσκευασίας λωρίδας (Strip Packing). Είναι από τη φύση του ένα πρόβλημα συνδυαστικής και μάλιστα ανήκει στη κλάση των NP-Hard προβλημάτων. Παρουσιάζουμε βασικές έννοιες από το θεωρητικό υπόβαθρο του προβλήματος και στη συνέχεια αναλύουμε τα συστατικά μέρη με τις ιδιότητες τους, που επηρεάζουν την διαδικασία της φόρτωσης. Μοντελοποιούμε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας συνδυαστική προσέγγιση και στη συνέχεια αναπτύσσουμε και προτείνουμε αλγόριθμους για την επίλυση του.

Αναπτύσσουμε ένα άπληστο αλγόριθμο ο οποίος προσομοιώνει την διαδικασία φόρτωσης που ακολουθείται σήμερα και στη συνέχεια προτείνουμε ένα ευριστικό αλγόριθμο ο οποίος εκμεταλλεύεται τις γεωμετρικές ιδιότητες των οχημάτων και του χώρου στάθμευσης προσπαθώντας να ταιριάζει περισσότερα οχήματα σ' αυτόν. Με πραγματικά και συνθετικά δεδομένα μελετάμε την συμπεριφορά των αλγορίθμων και συγκρίνουμε τα αποτελέσματά τους.

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλης Σαμολαδάς

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,
Πολυτεχνείο Κρήτης

Abstract

The procedure of loading vehicles and trucks up to car and passenger ships takes place by following up specific rules which are best correlated with the safety of the sailing, rather than the effective exploitation of the parking area in the ship. The ship builders are trying to render as much parking area as possible without though suggesting any concrete loading methodology. The shipmaster companies are making an effort to exploit in the best way the parking area of the vehicles of the ships by utilizing the experience of the staff that is in charge of that occupation.

In this dissertation we are looking into the issue of loading vehicles onto car ferries. This issue is a specialization of the general problem of Packing and specifically it fits with the case of Strip Packing. It is in its nature of things a problem of combinatorics and certainly it belongs to the status of NP-Hard issues. We introduce basic notions of the theoretical background of this problem and then we analyze the components with their traits which can influence the procedure of loading. We suggest a combinatorial modeling approach and then we develop and recommend algorithms for its settlements. We develop a greedy algorithm which simulates the procedure of loading which is being followed today and then we suggest an heuristic algorithm which exploits the geometrical characteristics of the vehicles and the parking area by trying to match more vehicles into it. By combining real and composit data we examine the algorithms' attitude and we compare their results.

Supervisor:

Vasilis Samoladas

Assistant Professor, Dept. of Electronics and Computer Eng.

Technical University of Crete

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλη Σαμολαδά για την ηθική και επιστημονική του συμπαράσταση. Οι συμβουλές του ήταν καίριες και οι παρατηρήσεις του εύστοχες και ακριβείς. Η συνεργασία μαζί του σ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής ήταν πάντα ευχάριστη και εποικοδομητική. Επίσης ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής κ.κ. Μ. Λαγουδάκη και Β. Μουστάκη για την υπομονή τους να διαβάσουν και να αξιολογήσουν την εργασία αυτή. Επίσης ευχαριστώ τον πλοίαρχο Ε.Ν. Νίκο Βαλαβάνη για τις πολύτιμες πληροφορίες και παρατηρήσεις του σχετικά με το πρακτικό αντικείμενο της εργασίας αυτής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της ΓΣ του Τμήματος ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης που μου έδωσαν την δυνατότητα μέσω αυτής της διατριβής να εκφράσω τις ιδέες και απόψεις μου για το θέμα που αυτή πραγματεύεται.

Ιωάννης Μπότσης

Χανιά Κρήτης

18 Ιουνίου 2009

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο

Μεγάλο μέρος των εσόδων των Ναυτιλιακών Εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα και λειτουργούν γραμμές εξυπηρέτησης επιβατών και οχημάτων προέρχεται από την εκμετάλλευση των χώρων στάθμευσης οχημάτων (garage) των πλοίων.

Έντονος προβληματισμός και αναπάντητο ερώτημα για τα διευθυντικά στελέχη των εταιρειών αυτών, το κατά πόσο γίνεται με σωστό και αποδοτικό τρόπο η εκμετάλλευση του γκαράζ των πλοίων. Πιο συγκεκριμένα στα δρομολόγια αιχμής, όπου πολλές φορές οχήματα δεν επιβιβάζονται, γίνεται σωστά η κατάληψη του χώρου στα γκαράζ έτσι ώστε να επιβιβαστεί ο μέγιστος αριθμός οχημάτων;

1.2 Τι ισχύει σήμερα

Οι λύσεις που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα από τους αναλυτές συστημάτων των εταιρειών και έχουν υλοποιηθεί στα συστήματα κρατήσεων θέσεων στηρίζονται στη καθημερινή πρακτική και εμπειρία των ανθρώπων που φορτώνουν τα πλοία και λειτουργούν με βάση τη λογική του χωρισμού του χώρου στάθμευσης οχημάτων σε μονάδες οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό κάθε φορά που γίνεται κράτηση ενός οχήματος αφαιρούνται από τον συνολικό αριθμό μονάδων τόσες όσες αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο όχημα.

1.3 Περιγραφή Προβλήματος

Στην πραγματικότητα υπεισέρχονται κι άλλοι παράγοντες που χαρακτηρίζουν το χώρο στάθμευσης των οχημάτων. Οι παράγοντες αυτοί έχουν να κάνουν με την γεωμετρία του χώρου του πλοίου (ύψος, πλάτος και μήκος), την αντοχή των υλικών (βάρος ανά άξονα οχήματος που μπορεί να δεχθεί η επιφάνεια του γκαράζ) και την ασφάλεια η οποία επηρεάζεται από το βάρος του φορτίου σε σχέση με το σημείο στάθμευσης του στο πλοίο (stability) [1]. Αν κάποια βαριά οχήματα σταθμεύσουν σε ένα σημείο του γκαράζ χωρίς να αντισταθμιστεί το βάρος τους από άλλα οχήματα τότε προκειμένου να ευθυγραμμισθεί το πλοίο θα πρέπει η αντιστάθμιση να γίνει με σαβούρα (θαλασσινό νερό). Στην περίπτωση αυτή επηρεάζεται η ευστάθεια του πλοίου και κατ' επέκταση η ασφάλεια πλου. Επιπλέον με την προσθήκη περιττού βάρους μειώνεται η ταχύτητα και αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο σύνθετο αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι η κράτηση θέσης, ειδικά για ιδιωτικής χρήσεως επιβατηγά οχήματα γίνεται αρκετό καιρό πριν την έναρξη φόρτωσης του πλοίου, η δε σειρά με την οποία γίνεται η τελική φόρτωση και η τοποθέτηση των οχημάτων στην επιφάνεια του γκαράζ δεν είναι ίδια με τη σειρά κατάληψης θέσης στο πλάνο του πλοίου κατά την κράτηση.

Επιπλέον υπάρχουν οι ακυρώσεις κρατήσεων και τα μη εμφανισθέντα οχήματα. Αυτό σημαίνει ότι από την ανακοίνωση του δρομολογίου και την δημιουργία της αντίστοιχης πληροφοριακής οντότητας (πλάνο) μέχρι την έναρξη του, η εικόνα των κρατήσεων αλλάζει συνεχώς.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που περιπλέκει το πρόβλημα είναι τα ενδιάμεσα λιμάνια σε ένα δρομολόγιο, όπου γίνεται εκφόρτωση και φόρτωση οχημάτων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει πρόβλεψη τόσο στο πρώτο λιμάνι αναχώρησης του πλοίου όσο και στα ενδιάμεσα έτσι ώστε κάθε φορά να είναι ανεμπόδιστη η έξοδος των οχημάτων που αποβιβάζονται σε ενδιάμεσους σταθμούς.

Οι κατηγορίες των προς φόρτωση οχημάτων δεν είναι ίδιες σε όλα τα δρομολόγια. Επιπλέον, ανάλογα με τις ανάγκες και την χρονική περίοδο, δίνεται προτεραιότητα σε επιβατηγά ή φορτηγά οχήματα.

Όλα τα παραπάνω προβλήματα οδηγούν τους υπεύθυνους των εταιρειών να υποεκτιμούν με διάφορους τρόπους την χωρητικότητα του γκαράζ προκειμένου να μη βρεθεί η εταιρεία εκτεθειμένη στους πελάτες της.

1.4 Ζητούμενο

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ανάπτυξη ενός συστήματος φόρτωσης πλοίων θα πρέπει σίγουρα να ανταποκρίνεται στο επιχειρηματικό ζητούμενο. Αυτό, σύμφωνα με την παρουσίαση που έγινε μέχρι τώρα, είναι να φορτωθεί το πλοίο με τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό οχημάτων, κατανεμημένα στο χώρο του γκαράζ ανάλογα με το βάρος τους με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην επηρεάζουν την ευστάθεια του πλοίου και συνεπώς την ασφάλεια και την κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον θα πρέπει ο συνδυασμός των οχημάτων που θα φορτωθεί (ιδιωτικής χρήσεως επιβατηγά και φορτηγά) να αποφέρει στην εταιρεία το μεγαλύτερο δυνατόν κέρδος.

1.5 Η δική μας προσέγγιση

Στη παρούσα εργασία επικεντρώσαμε την προσοχή μας στη φόρτωση του πλοίου με τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό οχημάτων αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα στατικά. Σκοπός μας είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επιλυθεί ως πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Θεωρούμε ότι όλα τα οχήματα είναι διαθέσιμα στην είσοδο του πλοίου και επιλέγουμε κάθε φορά αυτά τα οποία τοποθετούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στην επιφάνεια του γκαράζ.

Για την αξιολόγηση των τεχνικών που αναπτύξαμε σε πραγματικές συνθήκες, επιλέχθηκε

το πλοίο ΛΑΤΩ της εταιρείας ANEK LINES και χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα τα στοιχεία των ταξιδιών που πραγματοποίησε το πλοίο το 2004.

Από τα στοιχεία αυτά επιλέχθηκαν τα ταξίδια κατά τα οποία το πλοίο 'γέμισε' με οχήματα έτσι ώστε να μελετηθεί το πρόβλημα κάτω από οριακές συνθήκες φόρτωσης.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στο σχεδιασμό του συστήματος περιλαμβάνει την μελέτη διαφορετικών επιμέρους ζητημάτων. Τα σημαντικότερα από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Συλλογή στοιχείων, έλεγχος και κανονικοποίηση αυτών.
- Μοντελοποίηση και ορισμός οντοτήτων.
- Ανάπτυξη αλγορίθμων τοποθέτησης οχημάτων στο γκαράζ.
- Έλεγχος ορθότητας αλγορίθμων με την αξιοποίηση πραγματικών δεδομένων.

1.6 Συνεισφορά Διατριβής

Την τελευταία εικοσαετία έχει γίνει πολύ μεγάλη ερευνητική δουλειά για την εύρεση αποδοτικών λύσεων σε προβλήματα που απασχολούν διάφορους κλάδους της βιομηχανίας στο τομέα της φόρτωσης. Στο ναυτιλιακό χώρο και συγκεκριμένα σε ότι αφορά την φόρτωση οχημάτων σε επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία δεν έχει βρεθεί μέχρι στιγμής κάποια σχετική δουλειά. Ως εκ τούτου, η συνεισφορά της παρούσης διατριβής, εκτός από ερευνητικό ενδιαφέρον, δίνει και κάποιες προτάσεις σχετικά με την τυποποίηση της ορολογίας και των διαδικασιών στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Η συνεισφορά αυτής της διατριβής συνοψίζεται επιγραμματικά στα εξής:

- Ανάλυση των προδιαγραφών του προβλήματος φόρτωσης.
- Μοντελοποίηση του προβλήματος ως προβλήματος βελτιστοποίησης.
- Ανάπτυξη αλγορίθμων για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης.

1.7 Οργάνωση Διατριβής

Η εργασία αυτή είναι οργανωμένη σε επτά κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι η παρούσα εισαγωγή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται μια σύντομη επισκόπηση του θεωρητικού υπόβαθρου του αντικειμένου που μελετάμε.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής ανάλυση του προβλήματος, εισαγωγή στην ορολογία και περιγραφή των διαδικασιών που ακολουθούνται κατά την διάρκεια της φόρτωσης.

Επίσης γίνεται μια τυπική περιγραφή των οντοτήτων του προβλήματος μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η μοντελοποίηση του προβλήματος ως πρόβλημα διακριτής βελτιστοποίησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τους αλγόριθμους, επιπλέον στοιχεία που έχουν να κάνουν με την ανάλυση του προβλήματος και τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τον έλεγχο των αλγορίθμων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε πειραματικά αποτελέσματα από την εφαρμογή των αλγορίθμων με πραγματικά και συνθετικά δεδομένα και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζουμε τα συμπεράσματα της εργασίας και αναφερόμαστε σε μελλοντικές επεκτάσεις της.

Κεφάλαιο 2

Επισκόπηση Σχετικής Έρευνας

Το πρόβλημα που προσπαθούμε να λύσουμε ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των προβλημάτων **Κοπής και πλήρωσης (Cutting and Packing problems)** και εμφανίζεται στη βιβλιογραφία με μεγάλη ποικιλία ονομάτων ανάλογα με το αντικείμενο που πραγματεύεται όπως, **πλήρωσης δοχείου, φόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων, τεμαχισμού υλικών, κλπ (bin packing, pallet or container loading, partitioning etc)**. Τέτοιου είδους προβλήματα σύμφωνα με την θεωρία υπολογιστικής πολυπλοκότητας είναι συνδυαστικά NP-hard προβλήματα.

Με τη στενή έννοια του όρου στα προβλήματα κοπής μεγάλα αντικείμενα από συμπαγή υλικά κόβονται σε επιμέρους στοιχεία κομμάτια. Τα υλικά αυτά συνήθως είναι χαρτί, μέταλλα, γυαλί, πλαστικό, ξύλο, δέρμα, και ύφασμα. Αντικειμενικός σκοπός σ' αυτή την περίπτωση είναι η ελαχιστοποίηση των υπολειμμάτων, έτσι μπορούμε να μιλάμε για trim loss problems. Ενώ στα προβλήματα πλήρωσης και φόρτωσης με τη στενή έννοια του όρου, μεγάλα αντικείμενα ορίζονται σαν άδειος ωφέλιμος χώρος (οχήματα, εμπορευματοκιβώτια, σωλήνες κλπ) μέσα στα οποία μικρά επιμέρους στοιχεία-αντικείμενα πρέπει να συσκευαστούν έτσι ώστε να καταλάβουν τον μικρότερο δυνατό χώρο. Και στην περίπτωση αυτή ο κενός χώρος πρέπει να είναι ο μικρότερος δυνατός.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές αυτού του είδους των προβλημάτων, όπως 2D packing, linear packing, packing by weight, by cost, by length κ.λ.π. Έχουν δε πολλές εφαρμογές, όπως γέμισμα εμπορευματοκιβωτίων, φόρτωση φορτηγών, φόρτωση οχημάτων και

δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας σε αφαιρούμενα μέσα.

Όντας NP-hard, οι πιο γνωστοί αποδοτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν ευριστικές (heuristics) μεθόδους για να επιτύχουν αποτελέσματα τα οποία, αν και είναι καλά τις περισσότερες των περιπτώσεων, εν τούτοις δεν αποτελούν, πάντοτε την βέλτιστη λύση. Για παράδειγμα ο αλγόριθμος first fit δίνει μια απλή και γρήγορη λύση, αλλά πολύ συχνά μη βέλτιστη. Έχει ως προϋπόθεση την τοποθέτηση κάθε αντικειμένου στον πρώτο διαθέσιμο χώρο στον οποίο ταιριάζει. Απαιτεί $\Theta(n \log n)$ χρόνο. Ο αλγόριθμος αυτός θα μπορούσε να είναι πιο αποτελεσματικός, αν πρώτα γινόταν ταξινόμηση στη λίστα με τα αντικείμενα κατά φθίνουσα σειρά. Αν και αυτό δεν εγγυάται βέλτιστη λύση, για μεγάλες λίστες τείνει να αυξάνει σημαντικά το χρόνο εκτέλεσης του αλγόριθμου.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα κάνουμε μια σύντομη γενική επισκόπηση στην ερευνητική περιοχή των αλγορίθμων παρουσιάζοντας κάποιες θεωρητικές έννοιες που έχουν σχέση με το αντικείμενο που εξετάζουμε, εν συντομία θα αναφέρουμε κάποιες βασικές αρχές σχετικά με την ερευνητική δουλειά που έχει γίνει μέχρι σήμερα, και θα εξετάσουμε και θα συγκρίνουμε μεταξύ τους κάποιους αλγόριθμους οι οποίοι θα ταίριαζαν με την φύση του δικού μας προβλήματος. Τέλος, θα δούμε γιατί στην περίπτωση του δικού μας προβλήματος ο αλγόριθμος που προτείνουμε αποτελεί μια αποδοτικότερη λύση απ' αυτές που μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί.

2.1 Κατηγορίες προβλημάτων κοπής και πλήρωσης

Το θέμα της κοπής και πλήρωσης χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι προβλήματα τα οποία ουσιαστικά έχουν την ίδια λογική δομή, εμφανίζονται με διαφορετικά ονόματα στην βιβλιογραφία, όπως π.χ.

- cutting and trim loss problems,
- bin packing, dual bin packing, strip packing, vector packing, and knapsack problems,

- vehicle loading, pallet loading, container loading, and car loading problems
- assortment, depletion, design, dividing, layout, nesting and partitioning problems
- capital budgeting, change making, line balancing, memory allocation and multiprocessor scheduling problems.

και όχι μόνο αυτό αλλά και σε διαφορετικούς τομείς επιστημονικής γνώσης, όπως Διοίκηση, Μηχανική, Πληροφορική, Μαθηματικά και Επιχειρησιακή Έρευνα.

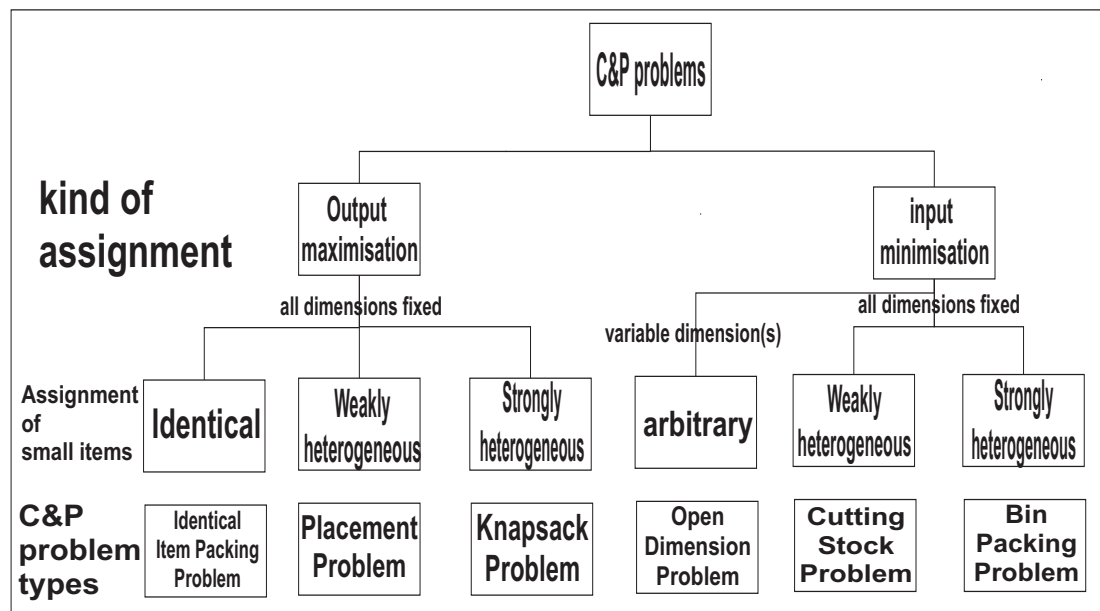
Τα τελευταία 50 περίπου χρόνια έχει γίνει σοβαρή και τεράστια επιστημονική δουλειά στο συγκεκριμένο θέμα. Αξιοποιώντας στοιχεία της μαθηματικής επιστήμης τα προβλήματα cutting and packing έχουν περάσει στο στάδιο της απεικόνισης τους με μαθηματικούς όρους και της θεμελίωσης των κατάλληλων προϋποθέσεων για την αποδοτική επίλυση τους.

	Notions assigned to corresponding combined types	
	Notion	Belongs to type
1. Dimensionality		
(1) One-dimensional	(Classical) knapsack problem	1/B/O/
(2) Two-dimensional	Pallet loading problem	2/B/O/C
(3) Three-dimensional	More-dimensional knapsack problem	/B/O/
(N) N-dimensional with $N > 3$.	Dual bin packing problem	1/B/O/M
2. Kind of assignment	Vehicle loading problem	1/V/I/F, or 1/V/I/M
(B) All objects and a selection of items.	Container loading problem	3/V/I/, or 3/B/O/
(V) A selection of objects and all items.		
3. Assortment of large objects		
(O) One object.	(Classical) bin packing problem	1/V/I/M
(I) Identical figure.	Classical cutting stock problem	1/V/I/R
(D) Different figures.	2-dimensional bin packing problem	2/V/D/M
	Usual 2-dimensional cutting stock problem	2/V/I/R
	General cutting stock or trim loss problem	1///. or 2///, or 3///
4. Assortment of small items		
(F) Few items (of different figures).		
(M) Many items of many different figures.		
(R) Many items of relatively few different. (non-congruent) figures.	Assembly line balancing problem	1/V/I/M
	Multiprocessor scheduling problem	1/V/I/M
(C) Congruent figures.	Memory allocation problem	1/V/I/M
	Change making problem	1/B/O/R
	Multi-period capital budgeting problem	n/B/O/

Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίηση Dyckhoff [7]

Στην εργασία "A typology of cutting and packing problems" [7] παρουσιάστηκε το 1988 από τον Dyckhoff η πρώτη συστηματική προσπάθεια ολοκλήρωσης και ομαδοποίησης των

προβλημάτων αυτών αναλύοντας τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους. Ο Dyckhoff πρότεινε ένα σύστημα από 96 δυνατούς συνδυασμένους τύπους προβλημάτων, συνδυάζοντας κάποιες περιπτώσεις από τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά (Dimensionality, Kind of assignment, Assortment of large objects, Assortment of small items) των προβλημάτων αυτών. Στον πίνακα 2.1 δίνεται συνοπτικά η ολοκλήρωση που έκανε ο Dyckhoff για τα cutting and packing προβλήματα. Στο αριστερό μέρος διακρίνουμε τα τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά των προβλημάτων με τις περιπτώσεις κωδικοποιημένες, ενώ στο δεξιό μέρος διακρίνουμε κάποια από τα προβλήματα με την ανάλογη κωδικοποίηση.



Σχήμα 2.1: G. Wascher et al. Basic problem types [5]

Για αρκετά χρόνια η δουλειά του Dyckhoff αποτέλεσε σημαντικό εργαλείο για την οργάνωση και κατηγοριοποίηση της υπάρχουσας και νέας βιβλιογραφίας που αναφερόταν στο cutting and packing πρόβλημα. Εν τούτοις με το πέρασμα του χρόνου και με την σημαντική αύξηση των δημοσιεύσεων στο χώρο κάποιες αδυναμίες της ομαδοποίησης αυτής έγιναν εμφανείς με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανταποκριθεί στις σύγχρονες εξελίξεις.

Στην εργασία "An improved typology of cutting and packing problems" [5] οι Wascher, Haubner και Schumann εντόπισαν τις αδυναμίες της εργασίας του Dyckhoff και έδωσαν ένα πιο εξειδικευμένο μοντέλο κατηγοριοποίησης των cutting and packing προβλημάτων. Στη εργασία αυτή οι συγγραφείς προσπάθησαν να κρατήσουν σε μεγάλο βαθμό την ορολογία Dyckhoff, διαφοροποιήθηκαν όμως σημαντικά ως προς το κριτήριο Kind of assignment. Εδώ εισήγαγαν τις έννοιες output (value) maximisation, input (value) minimisation αντίστοιχα για την κωδικοποίηση B, V (κριτήριο 2, σχήμα 2.1).

characteristics of large objects		assortment of small items		
		Identical	weakly heterogeneous	strongly heterogeneous
all dimensions fixed	one large object	Identical Item Packing Problem IIPP	Single Large Object Placement Problem SLOPP	Single Knapsack Problem SKP
	Identical		Multiple Identical Large Object Placement Problem MILOPP	Multiple Identical Knapsack Problem MIKP
	heterogeneous		Multiple Heterogeneous Large Object Placement Problem MHLOPP	Multiple Heterogeneous Knapsack Problem MHKP

Πίνακας 2.2: G. Wascher et al. Intermediate problem types: output maximisation [5]

Στο σχήμα 2.1, και στους πίνακες 2.2 και 2.3 δίνεται παραστατικά η νέα ομαδοποίηση. Με τον τρόπο αυτό περιπτώσεις όπου προβλήματα με την ομαδοποίηση Dyckhoff εμφανιζόταν σε παραπάνω από μια κλάση, τώρα προσδιορίζονται ακριβώς. Επιπλέον, είναι εύκολο να προστεθούν νέες κατηγορίες έτσι ώστε να μπορούν να ενταχθούν νέα προβλήματα ή περιπτώσεις προβλημάτων. Μια επιπλέον σημαντική δουλειά που έγινε στην παρουσίαση των G. Wascher et al. ήταν και η κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων/εργασιών που ήταν γνωστές μέχρι τότε σε σχέση με το πρόβλημα που πραγματεύονται. Τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένας αρχικός, σύντομος και επαρκής προσανατολισμός για τους ερευνητές και επαγγελματίες που ασχολούνται με το πρόβλημα του cutting and

packing.

characteristics of large objects \ assortment of small items		weakly heterogeneous	strongly heterogeneous
all dimensions fixed	identical	Single Stock Size Cutting Stock Problem SSSCSP	Single Bin Size Bin Packing Problem SBSBPP
	weakly heterogeneous	Multiple Stock Size Cutting Stock Problem MSSCSP	Multiple Bin Size Bin Packing Problem MBSBPP
	strongly heterogeneous	Residual Cutting Stock Problem RCSP	Residual Bin Packing Problem RBPP
one large object variable dimension(s)		Open Dimension Problem ODP	

Πίνακας 2.3: G. Wascher et al. Intermediate problem types: input minimisation [5]

Στις επόμενες παραγράφους θα παραθέσουμε μερικά στοιχειώδη θέματα τα οποία σήμερα αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο των προβλημάτων αυτών.

2.2 NP-Completeness

Σύμφωνα με την θεωρία υπολογιστικής πολυπλοκότητας τα προβλήματα για τα οποία ζητείται βέλτιστος αλγόριθμος επίλυσης τους εντάσσονται σε γενικές γραμμές σε τρεις κλάσεις πολυπλοκότητας. Οι κλάσεις αυτές έχουν να κάνουν με τους υπολογιστικούς πόρους που χρειάζονται οι αλγόριθμοι για την εκτέλεση τους. (π.χ., χρόνος εκτέλεσης, μνήμη).

Η P είναι μία από τις πιο βασικές κλάσεις. Περιέχει όλα τα προβλήματα αποφάσεως τα οποία μπορούν να επιλυθούν από μια ντετερμινιστική μηχανή Turing σε πολυωνυμικό χρόνο.

Η NP είναι η πιο βασική από τις κλάσεις πολυπλοκότητας. Η συντομογραφία NP σημαίνει 'Non-deterministic Polynomial time'. Διαισθητικά, η NP περιέχει όλα τα προβλήματα αποφάσεως για τα οποία μια υποψήφια λύση μπορεί να ελεγχθεί εύκολα αν οδηγεί σε θετική απάντηση 'ΝΑΙ'. Για να είμαστε πιο ακριβείς, αυτές οι αποδείξεις πρέπει να είναι

επιβεβαιώσιμες σε πολυωνυμικό χρόνο από μια ντετερμινιστική μηχανή Turing. Ισοδύναμα θα μπορούσε να πει κανείς σε ένα πιο τυπικό ορισμό, η NP είναι το σύνολο των προβλημάτων απόφασης τα οποία επιλύονται σε πολυωνυμικό χρόνο από μια μη ντετερμινιστική μηχανή Turing.

Η κλάση πολυπλοκότητας P περιέχεται στην NP , η NP όμως περιέχει πολλά σημαντικά προβλήματα τα οποία ονομάζονται NP -complete. Για τα προβλήματα αυτά δεν υπάρχουν γνωστοί αλγόριθμοι που να τα επιλύουν σε πολυωνυμικό χρόνο. Ένα μεγάλο και σημαντικό ερώτημα που απασχολεί την ακαδημαϊκή κοινότητα είναι αν υπάρχουν αλγόριθμοι που να επιλύουν τα NP -complete προβλήματα, το $P = NP$ πρόβλημα.

Το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των NP -complete προβλημάτων είναι ότι δεν είναι γνωστή κάποια πολυωνυμική γρήγορη λύση. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος που χρειάζεται για να λυθεί ένα πρόβλημα χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε γνωστό αλγόριθμο, αυξάνει πολύ γρήγορα (υπερπολυωνυμικά) όσο το μέγεθος του προβλήματος μεγαλώνει.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για να επιλύσουν υπολογιστικά προβλήματα, οι οποίες συχνά δίνουν αφορμή για ουσιαστικά γρήγορους αλγόριθμους. Τέτοιες τεχνικές είναι επιγραμματικά:

- **Approximation** : Αντί για την βέλτιστη λύση, προσεγγίζουμε μια 'σχεδόν' βέλτιστη.
- **Randomization** : Χρησιμοποιεί την τύχη για να έχει μικρότερο μέσο χρόνο εκτέλεσης και επιτρέπει στον αλγόριθμο να αποτύχει με μικρή πιθανότητα.
- **Restriction** : Με περιορισμό της εισόδου του αλγόριθμου σε στιγμιότυπα με συγκεκριμένη δομή, είναι δυνατόν να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης.
- **Parameterization** : Αν κάποιες παράμετροι εισόδου διατηρηθούν σταθερές, συχνά ο χρόνος τρεξίματος του αλγόριθμου μειώνεται.
- **Heuristic** : Είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος δουλεύει 'λογικά καλά' στις περισσότερες περιπτώσεις. Δεν μπορεί να πει κανείς όμως με σιγουριά ότι είναι πάντα

γρήγορος και δίνει πάντα καλά αποτελέσματα.

2.3 Πλήρωση δοχείου (Bin Packing)

Στη γενική του μορφή προσδιορίζει, το πως μπορεί να τοποθετηθεί ο μέγιστος αριθμός μικρών αντικειμένων (items) στον μικρότερο δυνατό αριθμό δοχείων (bins) σταθερού μεγέθους. Το πρόβλημα που προσπαθούμε να λύσουμε ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία αυτών των προβλημάτων. Η επιστημονική κοινότητα όπως είδαμε και στις προηγούμενες παραγράφους, τα τελευταία 40 χρόνια ασχολείται συστηματικά με τα προβλήματα αυτής της κατηγορίας. Εκτός από το μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν η επίλυση τους έχει να κάνει επιπλέον με την σωστή και αποδοτική λειτουργία καθημερινών προβλημάτων.

Ορισμός : Δοθέντος ενός θετικού ακεραίου C και ενός συνόλου $I = \{1, 2, \dots, n\}$ από n μικρά αντικείμενα, καθένα από τα οποία έχει μέγεθος ένα ακέραιο s_i ($i = 1, \dots, n$) για τον οποίο ισχύει $s_i \leq C$, το bin packing πρόβλημα είναι να βρεθεί ο μικρότερος ακέραιος m έτσι ώστε να υπάρχει διαμερισμός $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ του συνόλου I έτσι ώστε το άθροισμα των μεγεθών σε κάθε B_j να μην υπερβαίνει τον αριθμό C .

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές όπως 2D, 3D, συσκευασία κατ' όγκο, κατά βάρος, ελαχιστοποίηση όγκου, μεγιστοποίηση αξίας, αντικείμενα σταθερού σχήματος κλπ. Στη παράγραφο 2.1 δόθηκε μια συνοπτική παρουσίαση τέτοιων προβλημάτων.

2.4 Συσκευασία Λωρίδας Strip packing (with rotation, without rotation)

Μια άλλη μορφή συσκευασίας αντικειμένων η οποία προσεγγίζει ακόμα πιο πολύ το πρόβλημά μας είναι η συσκευασία σε λωρίδες ή ταινίες (strip packing). Ένας γενικός ορισμός αυτής της μεθόδου είναι:

Ορισμός : Ένα σύνολο από ορθογώνια παραλληλόγραμμα πρέπει να συσκευαστεί σε μια λωρίδα πλάτους 1, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το χρησιμοποιούμενο ύψος και οι πλευρές

των να είναι παράλληλες με τις πλευρές της λωρίδας. Τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα δεν πρέπει να επικαλύπτονται ή να περιστρέφονται. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, το ύψος των ορθογωνίων παραλληλογράμων είναι το πολύ 1.

Αν γνωρίζουμε όλα τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα πριν αρχίσουμε τη συσκευασία, τότε το πρόβλημα είναι offline ή στατικό. Σε αντίθεση αν τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα έρχονται το ένα μετά το άλλο και η απόφαση για την τοποθέτηση του τρέχοντος ορθογωνίου παραλληλογράμου παίρνεται πριν την εμφάνιση του επόμενου, τότε το πρόβλημα είναι online ή δυναμικό.

Όταν ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμα τοποθετηθεί στη λωρίδα δεν ξαναμετακινείται. Είναι πασίγνωστο ότι το strip packing είναι μια γενίκευση του bin packing. Ειδικότερα αν υποθέσουμε ότι όλα τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα έχουν το ίδιο ύψος τότε το strip packing είναι ισοδύναμο με το bin packing. Έτσι οτιδήποτε αρνητικό ισχύει για το bin packing ισχύει και για το strip packing. Ειδικότερα, το strip packing είναι ισχυρά (strongly) NP-hard.

Δύο είναι οι βασικές παραλλαγές του strip packing, με περιστροφή, χωρίς περιστροφή. Στη πρώτη περίπτωση τα αντικείμενα προς τοποθέτηση μπορούν να περιστρέφονται κατά 90° . Στο [12] παρουσιάζεται μια προσεγγιστική μέθοδος strip packing με περιστροφή. Η περιστροφή κάνει το πρόβλημα ακόμα πιο περίπλοκο, αφού ο αριθμός των πιθανών τοποθετήσεων είναι κατά 2^n μεγαλύτερος

2.5 2D packing

Προβλήματα συσκευασίας ορθογωνίων δύο διαστάσεων (2D packing) τα οποία συναντάμε σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας είναι στην ουσία υποπροβλήματα του προβλήματος κοπής - πλήρωσης.

Η στοίβαξη δισδιάστατων (2D) ορθογωνίων μπορεί να ορισθεί σαν πρόβλημα ανάθεσης ενός συνόλου μικρών αντικειμένων σε ένα μεγάλο αντικείμενο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κατειλημμένος χώρος. Συνήθως, ο αντικειμενικός σκοπός τέτοιων προβλημάτων

είναι να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των μικρών αντικειμένων και συνεπώς να ελαχιστοποιηθεί ο χώρος που 'περισεύει'.

Το πρόβλημα αυτό έχει πολλές εφαρμογές στη υφαντουργική βιομηχανία, στη βιομηχανία ξύλου και χάρτου, γυαλιού, μετάλλου κ.α. Οι παρακάτω υποθέσεις ισχύουν:

- Ο χώρος συσκευασίας έχει σταθερό πλάτος και άπειρο ύψος.
- Κάθε μικρό αντικείμενο έχει σταθερό πλάτος και ύψος.
- Μπορεί να υπάρχουν πανομοιότυπα μικρά αντικείμενα.
- Τα μικρά αντικείμενα μπορεί να έχουν μεταβλητές διαστάσεις.
- Τα μικρά αντικείμενα μπορεί να περιστρέφονται κατά 90° .

Επιπλέον μια εφικτή λύση του προβλήματος πρέπει να εξασφαλίζει ότι τα μικρά αντικείμενα δεν θα επικαλύπτονται μεταξύ τους. Μέχρι σήμερα, πολλοί ευριστικοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί για το δισδιάστατο πρόβλημα στοίβαξης ορθογωνίων παραλληλογράμμων [8], [18]. Υπάρχουν επίσης και μερικοί βέλτιστοι αλγόριθμοι [13]. Εν τούτοις δεν είναι πρακτικοί για προβλήματα μεγάλου μεγέθους.

Οι περισσότερες παραλλαγές αυτής της κατηγορίας προβλημάτων είναι NP-hard, αφού εμπεριέχουν σαν ειδική περίπτωση το bin-packing πρόβλημα το οποίο είναι, όπως ήδη γνωρίζουμε NP-hard. Τοπική αναζήτηση (Local Search) και μεταευριστικοί (metaheuristic) αλγόριθμοι έπαιξαν σημαντικό ρόλο για την εύρεση καλών προσεγγιστικών λύσεων για πρακτική χρήση. Πολλοί από αυτούς τους αλγόριθμους περιέχουν υποπροβλήματα τα οποία ζητούν να συσκευαστούν τα μικρά αντικείμενα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, εφόσον ικανοποιούν κάποιους επιπλέον περιορισμούς (π.χ. ομοιόμορφη κατανομή βάρους, αντικείμενα που δεν μπορούν να είναι μαζί στον ίδιο χώρο κ.λ.π.). Τέτοιου είδους υποπροβλήματα λύνονται με τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού (δυναμικός, γραμμικός και αχέραιος προγραμματισμός).

2.6 3D packing

Το τρισδιάστατο (3D-packing) πρόβλημα πλήρωσης μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

Δοθέντος ενός συνόλου n παραλληλεπίπεδων (αντικείμενα με ομοιογενή πυκνότητα) και ενός παραλληλεπίπεδου χώρου D , πρέπει να τοποθετηθούν μέσα στο χώρο D τα περισσότερα δυνατά από τα αντικείμενα του n , και να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- κάθε επιφάνεια κάθε μικρού παραλληλεπίπεδου πρέπει να είναι παράλληλη με την επιφάνεια του παραλληλεπίπεδου χώρου D (συνθήκες ορθογωνιότητας)
- κάθε μικρό παραλληλεπίπεδο πρέπει να περιέχεται στο χώρο D (συνθήκες χώρου)
- τα μικρά παραλληλεπίπεδα δεν πρέπει να επικαλύπτονται.

Το πρόβλημα του 3D-Packing έχει πάρα πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία και κυρίως στη φόρτωση οχημάτων και εμπορευματοκιβωτίων με κιβώτια. Και στη περίπτωση των τριών διαστάσεων το πρόβλημα ανήκει στη κλάση NP-hard. Λόγω της μεγάλης του πρακτικής εφαρμογής ευριστικοί και προσεγγιστικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση των προβλημάτων στη πράξη. Το 3D-Packing πρόβλημα αναφέρεται στη βιβλιογραφία και σαν Container loading problem λόγω της μεγάλης πρακτικής εφαρμογής που έχει στο χώρο αυτό. Ο Pisinger [3] δίνει μια καλή περιγραφή των διαφόρων παραλλαγών του προβλήματος και προτείνει ευριστικό αλγόριθμο για την λύση του. Ο Eley [15] δίνει την δική του ευριστική πρόταση με την διευθέτηση του χώρου αποθήκευσης σε τμήματα όπου χωράνε ομοειδή μικρά κιβώτια. Όπως θα δούμε και στη παράγραφο 5.2.2 αυτή ήταν η βασική ιδέα για την δική μας πρόταση.

Στη πράξη ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα προβλήματα στα οποία εκτός από τους γεωμετρικούς περιορισμούς (M, Υ, Π) , περιορισμοί που έχουν να κάνουν με το βάρος των αντικειμένων και συνεπώς με την ευστάθεια των εμπορευματοκιβωτίων ή των οχημάτων, ή και ακόμα χρονικοί περιορισμοί που έχουν να κάνουν με την διανομή των προϊόντων από φορτωμένα

οχήματα, αποκτούν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Οι Bischoff [4] και Delaitre et al. [14] δίνουν ευριστικούς αλγόριθμους για την επίλυση αυτών των προβλημάτων.

2.7 Approximation Algorithms

Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι [17] έχουν γίνει δημοφιλείς για την επίλυση μη πειθήνιων συνδυαστικών προβλημάτων. Αυτοί οι αλγόριθμοι επιτυγχάνουν αποδοτικούς χρόνους τρεξίματος, χρειάζονται λίγη μνήμη και δίνουν υψηλής ποιότητας (σε σχέση με την βέλτιστη) λύσεις. Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές για αρκετές κλάσεις μη πειθήνιων προβλημάτων. Σε αντίθεση με τους ευριστικούς αλγόριθμους εκτός από μια καλή και αποδοτική λύση προσφέρουν εγγύηση στην ποιότητα της λύσης.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ένας προσεγγιστικός αλγόριθμος είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος επιλύει ένα συνδυαστικό πρόβλημα σε πολυωνυμικό χρόνο και δίνει λύση η οποία εγγυημένα είναι κοντά στη βέλτιστη λύση. Το 'κοντά' είναι τυπικά προσδιορισμένο και ονομάζεται εγγύηση απόδοσης.

Στη συνέχεια θα δώσουμε μια τυπική περιγραφή των προσεγγιστικών αλγορίθμων.

Ας υποθέσουμε ότι i είναι ένα στιγμιότυπο ενός προβλήματος βελτιστοποίησης το οποίο έχει μεγάλο αριθμό εφικτών λύσεων. Επιπλέον έστω $c(i)$ είναι το κόστος της λύσης που δίνεται από ένα προσεγγιστικό αλγόριθμο και $c^*(i)$ είναι το κόστος μιας βέλτιστης λύσης.

Για προβλήματα ελαχιστοποίησης, ενδιαφερόμαστε να βρούμε μια λύση για την περίπτωση i στο σύνολο των εφικτών λύσεων, έτσι ώστε η τιμή $(\frac{c(i)}{c^*(i)})$ να είναι όσο γίνεται μικρότερη.

Από την άλλη μεριά για προβλήματα μεγιστοποίησης, ενδιαφερόμαστε να βρούμε μια λύση στο σύνολο των εφικτών λύσεων έτσι ώστε η τιμή $(\frac{c^*(i)}{c(i)})$ να είναι όσο γίνεται μικρότερη.

Ένα προσεγγιστικός αλγόριθμος για μια δοσμένη περίπτωση i ενός προβλήματος, έχει **όριο αναλογίας** (ratio bound) $p(n)$, αν για κάθε είσοδο n , το κόστος c της λύσης που παράγεται από τον προσεγγιστικό αλγόριθμο είναι ανάλογο κατά $p(n)$ από το κόστος c^* της βέλτιστης λύσης. Έτσι έχουμε:

$$\max\left(\frac{c(i)}{c^*(i)}, \frac{c^*(i)}{c(i)}\right) \leq p(n) \quad (2.7.1)$$

Ο ορισμός αυτός ισχύει και για προβλήματα μεγιστοποίησης και για προβλήματα ελαχιστοποίησης.

Εναλλακτικά προς το ανωτέρω όριο αναλογίας χρησιμοποιείται και το **σχετικό σφάλμα** προσεγγίσεως, το οποίο, όταν φράσσεται από ένα πραγματικό αριθμό $\epsilon(n)$, έτσι ώστε:

$$\frac{|c^*(i) - c(i)|}{c^*(i)} \leq \epsilon(n) \quad (2.7.2)$$

χαρακτηρίζει τον προσεγγιστικό αλγόριθμο ως διαθέτοντα όριο σχετικού σφάλματος $\epsilon(n)$, ή ϵ -προσεγγιστικό.

Τα NP-hard προβλήματα ποικίλουν αρκετά ως προς την προσεγγισσιμότητα τους. Μερικά όπως το bin packing πρόβλημα μπορεί να προσεγγιστεί με όριο αναλογίας μεγαλύτερο από 1. Μια τέτοια οικογένεια προσεγγιστικών αλγορίθμων συχνά καλείται πολυωνυμικού χρόνου προσεγγιστικό σχήμα (**P**olynomial-time **a**pproximation **s**cheme (PTAS)).

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση Προβλήματος

Σ' αυτό το κεφάλαιο, καταρχήν θα δώσουμε κάποιους ορισμούς σε έννοιες που χρησιμοποιούνται συχνά και θα παραθέσουμε τις αρχές (νομοθεσία - κανονισμοί) που ακολουθούνται κατά την διαδικασία φόρτωσης οχημάτων σε ένα Επιβατηγό/Οχηματαγωγό (Ε/Ο) πλοίο προκειμένου να κατανοήσουμε τα ζητήματα και τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε και να δείξουμε γιατί είναι σημαντικό να αναπτύξουμε ένα τέτοιο σύστημα.

3.1 Ορολογία

Προκειμένου να υπάρχει συνέπεια και συνέχεια στην παρουσίαση του προβλήματος αλλά και πληρέστερη κατανόηση του, παρατίθενται κάποιοι όροι-έννοιες που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο χώρο εργασίας.

Επιβατηγό/Οχηματαγωγό (Ε/Ο): Πλοίο [2] το οποίο εκτελεί δρομολόγια και μεταφέρει επιβάτες και οχήματα.

Δρομολόγιο : Μια εταιρία μεταφοράς οργανώνει τις υπηρεσίες της με ένα πρόγραμμα δρομολογίων. Ένα δρομολόγιο αντιστοιχίζεται σε μια μετακίνηση ενός πλοίου από ένα λιμάνι σε ένα άλλο. Ένα δρομολόγιο ξεκινάει μια δεδομένη χρονική στιγμή από το λιμάνι αφετηρίας, διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα, πιθανόν να περνάει από μερικά ενδιάμεσα λιμάνια και καταλήγει στον λιμάνι προορισμού.

Πλάνο : Εννοιολογικά είναι η φυσική αναπαράσταση των κρατημένων θέσεων (επιβατών και οχημάτων) ενός δρομολογίου. Αναπαριστά κάθε χρονική στιγμή τις κρατημένες θέσεις επιβατών και οχημάτων για ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο.

Computer Reservation System (CRS): Είναι το πληροφοριακό σύστημα που διαχειρίζεται τις κρατήσεις θέσεων επιβατών και οχημάτων σε ένα Ε/Ο πλοίο.

3.2 Οντότητες - Περιγραφή και Χαρακτηριστικά

Στην ενότητα αυτή προσδιορίζουμε τις οντότητες από τις οποίες αποτελείται το αντικείμενο που θα μελετήσουμε σ' αυτή την εργασία. Στην συνέχεια αναλύουμε και μελετάμε τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες αυτών των οντοτήτων σε συνδυασμό με τις συνθήκες και διαδικασίες φόρτωσης οχημάτων σε ένα πλοίο.

3.2.1 Πλοίο

Είναι μια φυσική οντότητα για το σύστημα μας τα χαρακτηριστικά της οποίας δεν ενδιφέρουν την παρούσα εργασία. Σε ένα CRS γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των χαρακτηριστικών του. Η γενική τεχνολογία του πλοίου παρουσιάζει κάποιο ενδιαφέρον ειδικά όσον αφορά την ορολογία και παρατίθεται στο Παράρτημα Β' με στοιχειώδεις λεπτομέρειες και ορισμούς.

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής πρέπει να γνωρίζουμε ότι η είσοδος των οχημάτων στο πλοίο γίνεται από την ίδια πόρτα για κάθε λιμάνι προσέγγισης.

3.2.2 Δρομολόγιο

Είναι μια εννοιολογική οντότητα όπως ορίστηκε στην § 3.1 με γενικά χαρακτηριστικά όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Τα στοιχεία του δρομολογίου παρέχονται από το σύστημα κρατήσεων θέσεων CRS και η διαχείρισή τους δεν αφορά την παρούσα εργασία. Αναφέρονται απλά σαν συνδετικός κρίκος μεταξύ των δύο συστημάτων.

Πλοίο
Ημερομηνία Αναχώρησης
Ώρα Αναχώρησης
Ημερομηνία Άφιξης
Ώρα Άφιξης
Λιμάνι Αναχώρησης
Λιμάνι Προορισμού

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά Δρομολογίου

3.2.3 Χώρος Στάθμευσης Οχημάτων (Garage G)

Ο χώρος στάθμευσης οχημάτων ή γκαράζ [2] αποτελεί την πρώτη φυσική και κύρια οντότητα του συστήματος μας. Είναι ο χώρος στον οποίο σταθμεύουν/τοποθετούνται τα οχήματα που εισέρχονται στο πλοίο με σκοπό να αποβιβαστούν σε ένα λιμάνι προορισμού. Όπως θα δούμε και παρακάτω αποτελείται από μια ή περισσότερες επίπεδες επιφάνειες συγκεκριμένων γεωμετρικών διαστάσεων και χαρακτηριστικών αντοχής. Μπορεί να βρίσκεται ενιαία στον ίδιο επίπεδο (κατάστρωμα, deck) του πλοίου ή κατακερματισμένη σε διαφορετικά επίπεδα (καταστρώματα). Ο χώρος στάθμευσης εν γένει διαφέρει από πλοίο σε πλοίο. Ακόμα και αν βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο (κατάστρωμα) τις περισσότερες φορές τόσο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του όσο και η αντοχή του διαφέρουν.

Δεδομένου ότι η επιφάνεια G του γκαράζ ενός πλοίου δεν είναι ομοιογενής ως προς τα χαρακτηριστικά της, μπορεί αυτή να θεωρηθεί σαν άθροισμα μικρότερων επιφανειών, τμημάτων, με κοινά μεταξύ τους χαρακτηριστικά.

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \quad (3.2.1)$$

Όπου n είναι ο αριθμός ο οποίος δηλώνει το πλήθος των τμημάτων στα οποία έχει χωριστεί το γκαράζ. Το g_i είναι η επιφάνεια σε m^2 του i -στού ομοιογενούς τμήματος της συνολικής επιφάνειας τους γκαράζ με κοινά χαρακτηριστικά.

Τα χαρακτηριστικά κάθε τμήματος g_i του γκαράζ παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.2.

gl_i	είναι το μήκος του g_i τμήματος της επιφάνειας του γκαράζ σε m μέτρα.
gw_i	είναι το πλάτος του g_i τμήματος της επιφάνειας του γκαράζ σε m μέτρα.
gh_i	είναι το ύψος του g_i τμήματος της επιφάνειας του γκαράζ σε m μέτρα. Παράλληλα προσδιορίζει το μέγιστο ύψος οχήματος που μπορεί να σταθμεύσει στην συγκεκριμένη επιφάνεια.
gwt_i	είναι το μέγιστο βάρος που μπορεί να δεχτεί η συγκεκριμένη επιφάνεια σε χιλιόγραμμα.
gd_i	Προσδιορίζει το κατάστρωμα του πλοίου στο οποίο βρίσκεται ο χώρος στάθμευσης ως προς τον κατακόρυφο άξονα.
go_i	Δηλώνει τη θέση του τμήματος στάθμευσης στο ίδιο κατάστρωμα και προσδιορίζεται από το διάνυσμα OK όπως αυτό περιγράφεται στη § 4.3.
ga_i	Προσδιορίζει την προσβασιμότητα μιας κατηγορίας οχήματος στο συγκεκριμένο τμήμα της επιφάνειας του γκαράζ. $ga_i \leftarrow vc$ όπου vc είναι η κατηγορία οχήματος.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά Τμήματος γκαράζ

Εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και την αντοχή κάθε τμήματος του γκαράζ, υπάρχουν και κάποια μεγέθη τα οποία δηλώνουν τη θέση του τμήματος κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Στον Πίνακα 3.2 αναφέρονται σαν go_i, gd_i αντίστοιχα. Το κάθε τμήμα του γκαράζ μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο μέσα στο οποίο πρέπει να σταθμεύσει ένα όχημα, έτσι ώστε ο χώρος που δεν θα καταληφθεί απ' αυτό να είναι ο ελάχιστος δυνατός, συμπεριλαμβανομένων και των νόμιμων αποστάσεων που πρέπει να τηρούνται μεταξύ των οχημάτων. Σε μια ακραία περίπτωση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το γκαράζ του πλοίου είναι χωρισμένο σε τόσα τμήματα, όσα και τα οχήματα που θα φορτωθούν σ' αυτό.

3.2.4 Όχημα

Το όχημα [2] είναι η δεύτερη φυσική και κύρια οντότητα του συστήματος μας. Στη παρούσα εργασία θα μας απασχολήσουν τα φυσικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οχημάτων και κυρίως οι γεωμετρικές τους διαστάσεις και το βάρος τους. Ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως μάρκα, μοντέλο δεν μας ενδιαφέρουν στην παρούσα φάση, αν και βάσει αυτών μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες οχημάτων τα οποία επιβιβάζονται σε Ε/Ο πλοία.

- **Επιβατηγά οχήματα**

Είναι όλα τα ιδιωτικής χρήσεως επιβατηγά οχήματα τυποποιημένων διαστάσεων γνωστών από το εργοστάσιο κατασκευής.

- **Φορτηγά οχήματα**

Οχήματα μεταφοράς εμπορευμάτων με μήκος που ποικίλλει από τύπο σε τύπο. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι το βάρος τους.

- **Αυτοκινούμενα Μηχανήματα**

Είναι βαρέως τύπου οχήματα τα οποία εκτός των διαστάσεων τους βασικό χαρακτηριστικό τους είναι το μεγάλο βάρος.

Για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες οχημάτων μπορεί να υπάρχουν και υποκατηγορίες. Για παράδειγμα, στην κατηγορία των επιβατηγών είναι δυνατόν να έχουμε υποκατηγορίες όπως τροχόσπιτα, μπαγκαζιέρες κ.λ.π. Επίσης στην κατηγορία των φορτηγών μπορούμε να έχουμε κατηγορίες όπως λεωφορεία, ρυμουλκούμενες καρότσες κ.λ.π.

Τα χαρακτηριστικά των οχημάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.3.

vl	είναι το μήκος του οχήματος σε m μέτρα.
vw	είναι το πλάτος του οχήματος σε m μέτρα.
vh	είναι το ύψος του οχήματος σε m μέτρα.
$vw t$	είναι το βάρος του οχήματος σε kg χιλιόγραμμα.
vu	είναι η αξία του ναύλου του οχήματος σε € .
vd	Προσδιορίζει το κατάστρωμα του πλοίου στο οποίο θα φορτωθεί το όχημα, ως προς τον κατακόρυφο άξονα.
vo	Δηλώνει τη θέση στάθμευσης του οχήματος στο ίδιο κατάστρωμα και προσδιορίζεται από το διάνυσμα OK όπως αυτό περιγράφεται στη § 4.3.
vp	είναι το λιμάνι αποβίβασης του οχήματος. $vp \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ όπου p είναι το πλήθος των λιμανιών που προσεγγίζει το πλοίο.
vc	δηλώνει την κατηγορία οχήματος σύμφωνα με την παραπάνω γενική περιγραφή. $vc \in \{1, 2, 3\}$

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά οχημάτων

Όπως και για τα τμήματα του γκαράζ έτσι και για τα οχήματα, εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το βάρος τους υπάρχουν και μεγέθη που δηλώνουν τη θέση στάθμευσης μέσα στο πλοίο ως προς τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Στον Πίνακα 3.3 αναφέρονται σαν uo_i , vd_i αντίστοιχα.

Στην εργασία αυτή μας ενδιαφέρει κύρια η φυσική υπόσταση που προσδίδουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οχήματος σ' αυτό. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε το όχημα σαν ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο το οποίο πρέπει να 'χωρέσει' σε συγκεκριμένο χώρο ανάλογου σχήματος αφήνοντας τον λιγότερο δυνατό ανεχμετάλλευτο χώρο.

3.3 Φόρτωση

Φόρτωση σε ένα Ε/Ο πλοίο είναι η διαδικασία επιβίβασης επιβατών και οχημάτων σ' αυτό. Ξεκινάει συγκεκριμένη χρονική στιγμή πριν την αναχώρηση του πλοίου και ολοκληρώνεται την ώρα αναχώρησης του. Όσον αφορά τα οχήματα η φόρτωση αφορά την τοποθέτηση τους κατά την οριζόντιο έννοια και με ίδια μέσα στο χώρο του γκαράζ σε συγκεκριμένο σημείο ανάλογα με την κατηγορία οχήματος και τον διαθέσιμο χώρο.

Η φόρτωση ενός πλοίου είναι μια διαδικασία η οποία διέπεται από αυστηρούς κανόνες και αρχές μόνο σε ότι έχει να κάνει με την ασφάλεια του πλου. Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια εισαγωγική γενική εικόνα αυτών των αρχών.

Όσον αφορά την αξιοποίηση του χώρου προκειμένου να στοιβαχτεί ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός οχημάτων, μέχρι σήμερα, δεν έχει παρουσιαστεί κάποια ειδική μελέτη στην οποία να λαμβάνονται υπόψιν οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται στη φόρτωση ενός πλοίου με οχήματα. Η επιφορτισμένη με την αρμοδιότητα φόρτωσης ομάδα στο πλοίο ενεργεί βάσει εμπειρίας ακολουθώντας πάντα τους κανόνες ασφαλείας για την αποδοτική τοποθέτηση των οχημάτων στο γκαράζ του πλοίου.

Για την φόρτωση σαν φυσική διαδικασία είναι υπεύθυνος στο πλοίο ο Έπαρχος, πάντοτε βέβαια με την εποπτεία και τον έλεγχο του πλοιάρχου. Αυτός με μια ομάδα ναυτών συντονίζουν και είναι αρμόδιοι για ό,τι έχει σχέση με την επιβίβαση των οχημάτων στο

πλοίο.

Στη πράξη η φόρτωση του πλοίου ξεκινά ιδεατά με την δημιουργία του πλάνου για ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο. Κάθε φορά που γίνεται μια κράτηση θέσης για ένα όχημα το CRS αναλαμβάνει την τακτοποίηση του στον διαθέσιμο χώρο του γκαράζ. Μέχρι την έναρξη του δρομολογίου η εικόνα του πλάνου αλλάζει συνεχώς είτε λόγω νέων κρατήσεων θέσεων, είτε λόγω ακυρώσεων κάποιων ήδη κρατημένων θέσεων.

Στη συνέχεια αυτής της εργασίας όποτε αναφερόμαστε στην έννοια φόρτωση θα εννοείται φόρτωση πλοίου με οχήματα.

3.3.1 Παρατηρήσεις

Κατά την διάρκεια της φόρτωσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το λιμάνι προορισμού του κάθε οχήματος, έτσι ώστε αν αυτό είναι ενδιάμεσο λιμάνι προσέγγισης του πλοίου τότε το όχημα να τοποθετηθεί σε τμήμα του γκαράζ με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εξέλθει χωρίς πρόβλημα. Πρέπει δηλ. από το τμήμα του γκαράζ στο οποίο στάθμευσε το όχημα να υπάρχει απρόσκοπτη διέλευση προς τη πόρτα εξόδου (*e*) ή να έχει πρόσβαση σ' αυτήν και να μην εμποδίζεται από άλλα οχήματα τα οποία δεν ξεφορτώνονται στο λιμάνι αυτό. Αν το πλοίο διαθέτει παραπάνω από μία εξόδους τότε πρέπει να προσδιοριστεί από ποια έξοδο θα γίνει το ξεφόρτωμα του γκαράζ.

Σε συγκεκριμένα μέρη του πλοίου υπάρχουν δεξαμενές οι οποίες γεμίζουν ή αδειάζουν με θαλασσινό νερό κατά την διάρκεια της φόρτωσης και κατά την διάρκεια του ταξιδιού προκειμένου το πλοίο να έχει σωστή ευστάθεια στην επιφάνεια του νερού. Η θέση των δεξαμενών αυτών προσδιορίζεται από το διάνυσμα *OK* όπως αυτό περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4 § 4.3. Το ίδιο ισχύει και για τις δεξαμενές των καυσίμων και πόσιμου νερού του πλοίου. Κατά την διάρκεια του ταξιδιού αυτές αδειάζουν με αποτέλεσμα να χρειάζεται σαβούρα σε κάποια άλλη δεξαμενή προκειμένου να ευσταθεί το πλοίο.

3.3.2 Αρχές Φόρτωσης

Υπάρχουν τρεις βασικές αρχές οι οποίες ακολουθούνται από τον πλοίαρχο κατά την διάρκεια της φόρτωσης του γκαράζ σε ένα E/O πλοίο.

- Οι τεχνικές προδιαγραφές του χώρου φόρτωσης και του πλοίου γενικότερα οι οποίες ορίζονται κατά την σχεδίαση και κατασκευή του.

Συγκεκριμένα αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του γκαράζ όπως αυτά αναλυτικά περιγράφηκαν παραπάνω (§ 3.1), επιπλέον έχουν να κάνουν με την αντοχή του πλοίου (βλ. Παράρτημα Β') στις κάμψεις κατά τον διαμήκη άξονα του (πλώρη, πρύμνη) και την ευστάθεια του κατά τον εγκάρσιο άξονα (δεξιά, αριστερά).

Για κάθε πλοίο υπάρχει ένα τεχνικό εγχειρίδιο το οποίο ορίζει αναλυτικά τα τμήματα του γκαράζ και τα μέγιστα φορτία που μπορούν να φορτωθούν έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν επικίνδυνες στρεβλώσεις στο σκελετό του πλοίου.

- Οι γενικές προδιαγραφές ασφαλείας που εκδίδονται από διεθνείς οργανισμούς International Maritime Organization (IMO) και τοπικές αρχές Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ) [2] προκειμένου τα οχήματα να φορτωθούν με ασφάλεια επί του πλοίου, έχουν να κάνουν κυρίως με το είδος του φορτίου των οχημάτων και τις αποστάσεις που πρέπει να τηρούνται μεταξύ αυτών, προκειμένου να μην δημιουργούνται προβλήματα κατά την διάρκεια του ταξιδιού.
- Η εμπορική πολιτική της πλοιοκτήτριας εταιρείας η οποία έχει να κάνει με την κράτηση θέσεων οχημάτων σύμφωνα με τις παραπάνω προδιαγραφές έτσι ώστε να εξυπηρετηθούν οι πελάτες της και να αποκομίσει το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος από την μεταφορά των οχημάτων.

Η εμπορική πολιτική της πλοιοκτήτριας εταιρείας μέσω του συστήματος κρατήσεων θέσεων και της ζήτησης ενός δρομολογίου καθορίζει το πλήθος των οχημάτων που θα φορτωθούν στο πλοίο. Ο αριθμός που δηλώνει το πλήθος αυτό δεν είναι σταθερός για

όλα τα δρομολόγια, ακόμα και για το ίδιο πλοίο. Το ίδιο ισχύει και για τις κατηγορίες των οχημάτων. Σε κάθε δρομολόγιο φορτώνονται οχήματα διαφόρων κατηγοριών.

3.3.3 Κανονισμοί Φόρτωσης

Όσον αφορά την ασφάλεια πλου υπάρχουν κάποιοι κανονισμοί που τηρούνται ως προς τον τρόπο αίχμασης των οχημάτων. Συγκεκριμένα:

- Το μέγιστο βάρος ανά άξονα οχήματος είναι 12.000Kgr
- Κατά μήκος των επιφανειών φόρτωσης (πρύμνη, πλώρη) πρέπει να υπάρχουν τρεις διάδρομοι πλάτους 0.5 μέτρου ο καθένας για την διέλευση του πληρώματος και των επιβατών. Δύο δεξιά και αριστερά (τοιχώματα πλοίου) και ένας ενδιάμεσα. Για τα Ιδιωτικής Χρήσεως (ΙΧ) αυτοκίνητα και τα δίκυκλα δεν υπάρχουν περιορισμοί στην απόσταση μεταξύ τους. Αφήνονται αποστάσεις κατά μήκος 0.05m και κατά πλάτος 0.10m μεταξύ τους.
- Φορτηγά πάσης φύσεως και μηχανήματα στοιβάζονται σε διαδρόμους πλάτους 3m . Κατά μήκος των διαδρόμων 0.20m απόσταση αφήνεται μεταξύ των οχημάτων αυτών εκτός αν είναι ψυγεία οπότε η απόσταση που αφήνεται είναι 0.40m .

Με dl δηλώνουμε την απόσταση που πρέπει να κρατείται μεταξύ των οχημάτων κατά μήκος και dw την αντίστοιχη απόσταση κατά πλάτος.

3.3.4 Τρόποι Φόρτωσης

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι που ακολουθούνται κατά την διάρκεια φόρτωσης οχημάτων σ' ένα πλοίο, ο *Κανονικός*, κατά την διάρκεια του οποίου τηρούνται αυστηρά όλες οι αρχές και οι κανονισμοί φόρτωσης όπως αναλυτικά περιγράψαμε στις προηγούμενες παραγράφους (§ 3.3.2 & § 3.3.3) και ο *Στριμωγμένος*, ο οποίος ακολουθείται κατά παρέκκλιση των κανονισμών που σχετίζονται με τις αποστάσεις ασφαλείας και σε ειδικές περιπτώσεις (περιόδους διακοπών). Όταν ακολουθείται αυτός ο τρόπος τα οχήματα σταθμεύουν με

την ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ τους (σχεδόν κολλητά). Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό, με την ανοχή των αρχών, είναι για να εξυπηρετηθεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός πελατών.

Κεφάλαιο 4

Μοντελοποίηση

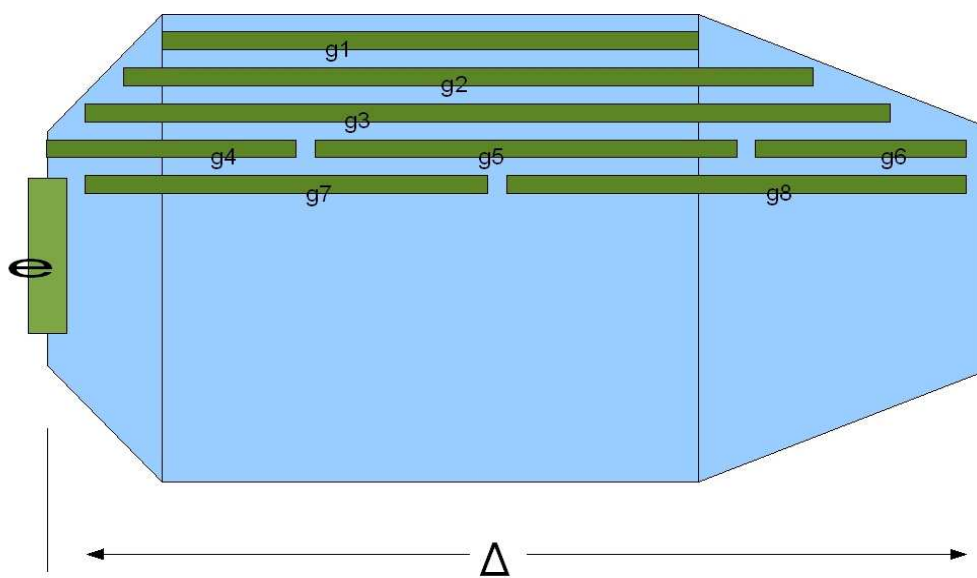
Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάσαμε όλα εκείνα τα στοιχεία και ορίσαμε τις βασικές έννοιες που εμπλέκονται στη φόρτωση ενός πλοίου με οχήματα. Δώσαμε επίσης μια πλήρη περιγραφή του προβλήματος και τους παράγοντες που επηρεάζουν την φόρτωση του πλοίου.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τεχνικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την υλοποίηση του συστήματος. Τέτοια ζητήματα αφορούν στους γεωμετρικούς περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν μεταξύ των οντοτήτων που εμπλέκονται στο σύστημα και στη μοντελοποίηση των καθώς και στην ανάπτυξη και διαχείριση αποθηκευτικών και υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται για την υλοποίηση.

4.1 Οργάνωση τμημάτων γκαράζ

Πριν διατυπώσουμε αυστηρούς ορισμούς για τις οντότητες τις οποίες θα μοντελοποιήσουμε θα παρουσιάσουμε ένα ακόμα βασικό κομμάτι του προβλήματος της φόρτωσης το οποίο μας απασχόλησε σ' αυτή την εργασία. Αυτό έχει να κάνει με τον τρόπο τακτοποίησης των οχημάτων στα τμήματα του γκαράζ. Όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 2 στα προβλήματα που ασχολούνται με την τακτοποίηση/συσκευασία αντικειμένων με βάση τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά σε συγκεκριμένο χώρο, πάντα θεωρείται ότι αυτή γίνεται με κάποιο μηχανικό τρόπο, ή με ανθρώπινη επέμβαση. Εργασία η οποία να θεωρεί ότι η τακτοποίηση των αντικειμένων γίνεται με ίδια μέσα δεν έχει παρουσιαστεί μέχρι σήμερα.

Το αντικείμενο στην περίπτωση μας είναι το όχημα, το οποίο με τον χειρισμό του οδηγού του καταλήγει μετά από τους απαραίτητους χειρισμούς στο τελικό χώρο στάθμευσης του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στη διαδικασία φόρτωσης του πλοίου να υπεισέρχονται δύο ακόμα παράμετροι που κάνουν το πρόβλημα ακόμα πιο δύσκολο.



Σχήμα 4.1: Σχηματική Αναπαράσταση Γκαράζ

Η μία παράμετρος είναι ο χώρος και η άλλη ο χρόνος. Είναι δε άμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους και αλληλοεξαρτώμενες. Ένα όχημα για να σταθμεύσει σ' ένα χώρο χρειάζεται να κάνει χειρισμούς. Δηλαδή εκτός από τον τελικό χώρο που θα καταλάβει χρειάζεται και αρκετό επιπλέον χώρο για τους χειρισμούς του. Το πλοίο όσο μεγάλο κι αν είναι δεν διαθέτει απεριόριστο χώρο για τους χειρισμούς του οχήματος. Όσο γεμίζει το πλοίο με οχήματα τόσο ελαττώνεται ο χώρος για τους χειρισμούς του οχήματος. Όσο μικραίνει ο χώρος για χειρισμούς τόσο αυξάνει ο χρόνος γι' αυτούς. Ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης του πλοίου είναι ιδιαίτερα μικρός σε περιόδους αιχμής όπου το πλοίο μετά την άφιξη σε λιμάνι έχει άμεση αναχώρηση.

Τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι:

Τα οχήματα πρέπει να φορτώνονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην μεταβάλλεται πολύ η διεύθυνση πορείας του οχήματος σε σχέση με την διεύθυνση εισόδου του στο πλοίο. Πιο γενικά να μην μεταβάλλεται πολύ η διεύθυνση στάθμευσης του οχήματος κατά τον διαμήκη άξονα του ως προς την διεύθυνση κατά την οποία το όχημα κατευθύνεται στον τελικό χώρο στάθμευσης του.

Με τους περιορισμούς που θα δούμε παρακάτω σ' αυτό το κεφάλαιο (βλ. § 4.2 και § 4.3) σε συνδυασμό με τις αρχές, τους κανονισμούς φόρτωσης (βλ. § 3.3.2 και § 3.3.3) και την εκάστοτε εμπορική πολιτική της εταιρείας πιστεύουμε ότι η οργάνωση του γκαράζ σε τμήματα παίζει σημαντικό ρόλο στη φόρτωση και πρέπει να γίνεται στο βαθμό που αυτό είναι δυνατόν αμέσως μετά την δημιουργία του πλάνου ενός δρομολογίου. Για την καλύτερη κατανόηση όλων αυτών που αναλύσαμε σ' αυτή την παράγραφο δίνουμε στο σχήμα 4.1 μια απλή γραφική αναπαράσταση ενός μέρους του καταστρώματος γκαράζ κατά τον διαμήκη άξονα (Δ) του πλοίου, χωρισμένο στοιχειωδώς σε οκτώ τμήματα $(g_1, g_2, \dots, g_8)$, e είναι η είσοδος/έξοδος του γκαράζ.

4.2 Γεωμετρικοί Περιορισμοί

Στο προηγούμενο κεφάλαιο για κάθε οντότητα του συστήματος φόρτωσης, ορίσαμε ένα σύνολο από ιδιότητες που εκφράζουν χαρακτηριστικά της κάθε οντότητας. Ένας περιορισμός (constraint) προσδιορίζει μια συνθήκη για μια ιδιότητα οντότητας του συστήματος φόρτωσης. Συγκεκριμένα, ένας περιορισμός ορίζει ένα πεδίο τιμών για μια ιδιότητα και όταν εφαρμόζεται σε μια οντότητα ελέγχει αν η τιμή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας ανήκει σ' αυτό το πεδίο τιμών.

Στη συνέχεια θα δώσουμε τους γενικούς περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν μεταξύ των χαρακτηριστικών των οντοτήτων του συστήματος φόρτωσης προκειμένου να φορτωθούν

τα οχήματα στα τμήματα του γκαράζ. Συχνά στη συνέχεια αυτής της εργασίας οι περιορισμοί αυτοί θα αναφέρονται και σαν γεωμετρικοί περιορισμοί. Ο λόγος είναι ότι μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι διαστάσεις των οντοτήτων που περιγράψαμε, δηλαδή τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά.

Αν k_i είναι ο αριθμός που δηλώνει το πλήθος των οχημάτων που πρόκειται να φορτωθούν στο i -στο τμήμα του γκαράζ τότε ισχύει

$$\sum_{j=1}^{k_i} vwt_{i_j} \leq gwt_i \quad (4.2.1)$$

Γενικότερα αν k είναι ο αριθμός που δηλώνει το πλήθος των οχημάτων που πρόκειται να φορτωθούν στο πλοίο και n το πλήθος των τμημάτων που είναι χωρισμένο το γκαράζ τότε ισχύει

$$\sum_{j=1}^k vwt_j \leq \sum_{i=1}^n gwt_i \quad (4.2.2)$$

Είναι δυνατόν ένα όχημα να μην επιτρέπεται να φορτωθεί σε ένα τμήμα άσχετα αν ικανοποιείται η παραπάνω σχέση. Στη περίπτωση αυτή το βάρος ανά άξονα του οχήματος είναι τέτοιο που απαγορεύει τη φόρτωση του στο συγκεκριμένο τμήμα. Στη περίπτωση αυτή πρέπει να ισχύει επιπλέον η σχέση $vc \leq ga_i$

Για ένα όχημα που πρόκειται να φορτωθεί στο i -στο τμήμα του γκαράζ θα πρέπει να ισχύει

$$vh \leq gh_i \quad (4.2.3)$$

Αν k_i είναι ο αριθμός που δηλώνει το πλήθος των οχημάτων που πρόκειται να φορτωθούν στο i -στο τμήμα του γκαράζ τότε ισχύει

$$\sum_{j=1}^{k_i} vl_j + (k_i + 1)dl \leq gl_i \quad (4.2.4)$$

Χωρίς βλάβη της γενικότητας και προκειμένου να έχουμε μια πρώτη και απλή προσέγγιση της λύσης του προβλήματος θεωρούμε ότι τα τμήματα του γκαράζ είναι διάδρομοι σχήματος ορθογωνίου παραλληλόγραμμου όπου τα οχήματα σταθμεύουν σ' αυτούς μόνο κατά μήκος. Έτσι για κάθε όχημα που σταθμεύει στο i -στο τμήμα του γκαράζ ισχύει

$$\max(uw) \leq gw_i \quad (4.2.5)$$

4.3 Προσανατολισμός στο πλοίο

Μέχρι τώρα με τις έννοιες και τους ορισμούς που έχουμε παρουσιάσει μπορούμε να δούμε εύκολα τι σημαίνει η τοποθέτηση ενός οχήματος σε ένα τμήμα του γκαράζ βάσει των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών (διαστάσεων). Μας ενδιαφέρει όμως και η τοποθέτηση του οχήματος σε τέτοια θέση έτσι ώστε να μην μεταβληθεί σημαντικά η ευστάθεια του πλοίου λόγω του βάρους του. Η ευστάθεια του πλοίου είτε κατά τον διαμήκη είτε κατά τον εγκάρσιο άξονα μεταβάλλεται όταν κάποια βαριά οχήματα τοποθετηθούν σε σημείο τέτοιο ώστε το βάρος τους να δημιουργήσει ροπή δυνάμεων σε σχέση με το "κέντρο" του πλοίου. Μας ενδιαφέρει λοιπόν η απόσταση του κέντρου βάρους του οχήματος από το "κέντρο" του πλοίου.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ακριβής θέση των διαφόρων σημείων του γκαράζ καθώς και η τελική θέση στάθμευσης ενός οχήματος θεωρούμε ορθοκανονικό σύστημα αξόνων xOy όπου O είναι το "κέντρο" του πλοίου. Ο άξονας $y'y$ (τεταγμένων) συμπίπτει με τον διαμήκη άξονα του πλοίου. Ως εκ τούτου ο θετικός ημιάξονας Oy δηλώνει τα προωρά τμήματα του πλοίου και ο αρνητικός ημιάξονας Oy' δηλώνει τα πρυμναία τμήματα του πλοίου. Ο θετικός ημιάξονας Ox δηλώνει την δεξιά πλευρά του πλοίου και ο αρνητικός Ox' την αριστερή πλευρά του πλοίου. Χωρίς βλάβη της γενικότητας τα τμήματα του γκαράζ καθώς και τα οχήματα μπορούν να θεωρηθούν σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου του οποίου οι δύο απέναντι πλευρές είναι παράλληλες με τον άξονα yy' και οι άλλες δύο με τον xx' . Έστω $ABCD$ τμήμα του γκαράζ ή όχημα. Η θέση του προσδιορίζεται από

τις συντεταγμένες των σημείων A, B, C, D . Αν $A(x_1, y_1), B(x_2, y_1), C(x_2, y_2), D(x_1, y_2)$, τότε το σημείο τομής K των διαγωνίων AC και BD προσδιορίζει το κέντρο του τμήματος ή του οχήματος στο οποίο είναι συγκεντρωμένο όλο το βάρος του. Ισχύει

$$K\left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2}\right) \quad (4.3.1)$$

και

$$OK = \sqrt{\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_1 + y_2}{2}\right)^2} \quad (4.3.2)$$

4.4 Διατύπωση του προβλήματος

Με τα στοιχεία που έχουμε αναλύσει μέχρι τώρα είμαστε σε θέση να δώσουμε ένα τυπικό ορισμό της φόρτωσης και να διατυπώσουμε με αυστηρό τρόπο το πρόβλημα. Ορίζουμε την φόρτωση ενός πλοίου με οχήματα ως μια διαδικασία κατά την οποία ένα όχημα v επιβιβάζεται επί του πλοίου και τοποθετείται με ίδια μέσα σε συγκεκριμένο τμήμα g_i του γκαράζ. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας διαδικασίας είναι ένα ή περισσότερα σχέδια-σενάρια φόρτωσης, δεδομένου ότι ένα όχημα μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε τμήμα του γκαράζ εφόσον ικανοποιούνται

- οι γεωμετρικοί περιορισμοί της § 4.2.
- τα βαρέα οχήματα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην μεταβάλλεται η ευστάθεια του πλοίου.

Ένα σχέδιο φόρτωσης μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο τμημάτων γκαράζ που είναι διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε:

- τα οχήματα που είναι στοιβαγμένα στο τμήμα i του γκαράζ και προσορισμό το λιμάνι (λ) να έχουν απρόσκοπτη πρόσβαση στην έξοδο e του πλοίου όταν αυτό προσεγγίσει στο λιμάνι (λ) .

- μετά το τέλος της φόρτωσης και εφόσον το πλοίο έχει γεμίσει με οχήματα να μην υπάρχει ακάλυπτο τμήμα, ή ο αριθμός των τμημάτων με ακάλυπτο χώρο να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

4.5 Περιγραφή Μοντέλου

Αυτό που θεωρούμε ως μοντέλο στο πρόβλημα της φόρτωσης ενός πλοίου με οχήματα αποτελείται από το γκαράζ και τα οχήματα. Στο εξής για συντομία θα αναφέρουμε Μοντέλο Φόρτωσης Οχημάτων (ΜΦΟ). Η δομή του μοντέλου ορίζεται από τις βασικές του οντότητες (βλέπε § 3.2). Ωστόσο πολλές από αυτές τις οντότητες επηρεάζονται από δυναμικούς παράγοντες και μπορούν να μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα, το πλήθος των οχημάτων αλλά και η κατηγορία τους μεταβάλλεται συνεχώς από τη στιγμή της δημιουργίας του δρομολογίου μέχρι την εκκίνηση του. Μόνο λίγες ώρες, ακόμα και μερικά λεπτά πριν την έναρξη του δρομολογίου μπορούμε να πούμε με μεγάλη σιγουριά για το πλήθος και τις κατηγορίες των οχημάτων που θα επιβιβαστούν.

4.6 Στατική δομή του συστήματος

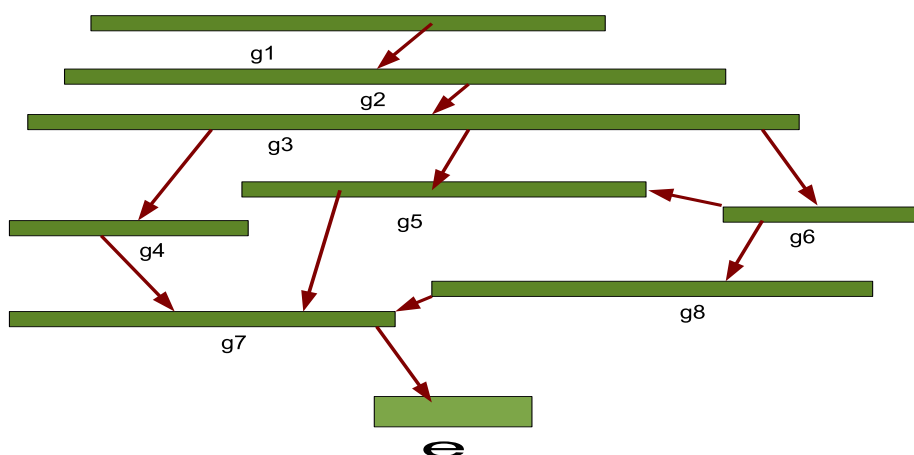
Θα τυποποιήσουμε τις βασικές οντότητες του μοντέλου με μαθηματικούς ορισμούς ακολουθώντας την μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο [16]:

- G είναι το σύνολο των τμημάτων του γκαράζ.
- $Q(G)$ είναι το σύνολο των ιδιοτήτων-χαρακτηριστικών κάθε τμήματος στο G όπως αυτές περιγράφτηκαν στον πίνακα 3.2.
- V είναι το σύνολο των οχημάτων που επιβιβάστηκαν στο πλοίο.
- $Q(V)$ είναι το σύνολο των ιδιοτήτων-χαρακτηριστικών κάθε οχήματος στο V όπως αυτές περιγράφτηκαν στον πίνακα 3.3.

4.7 Αναπαράσταση Γκαράζ

Μέχρι τώρα έχουμε προσδιορίσει όλες τις έννοιες και έχουμε ορίσει όλες τις οντότητες που μας είναι απαραίτητες προκειμένου να μοντελοποιήσουμε το σύστημα μας. Αναζητούμε μια δομή δεδομένων με την οποία θα μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε τη βασική οντότητα του συστήματος μας, το γκαράζ του πλοίου με όλες του τις ιδιότητες και χαρακτηριστικά έτσι όπως τα περιγράψαμε μέχρι τώρα.

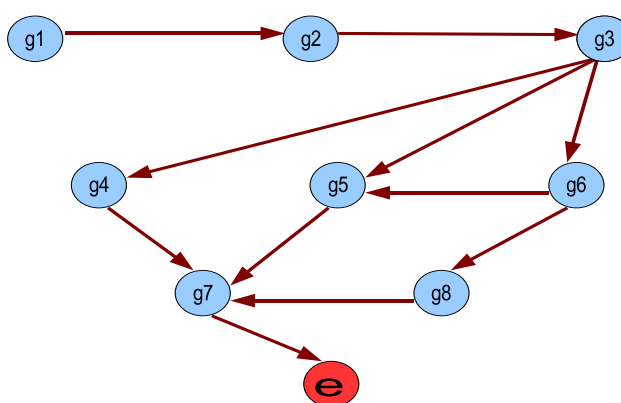
Στην § 4.1 αναλύσαμε γιατί είναι αναγκαίο να χωρίσουμε το γκαράζ σε τμήματα ($g_1, g_2, \dots, g_8$) (σχ. 4.1, επίσης στην § 4.4 είδαμε ότι πρέπει από κάθε τμήμα του γκαράζ να υπάρχει πρόσβαση είτε κατευθείαν είτε μέσω άλλων τμημάτων στην έξοδο e του πλοίου. Οι συλλογισμοί αυτοί μας οδηγούν αφαιρετικά στο συμπέρασμα ότι για κάθε τμήμα του γκαράζ πρέπει να υπάρχει ένα μονοπάτι το οποίο είτε μέσω άλλων τμημάτων είτε κατευθείαν να συνδέει το τμήμα αυτό με την έξοδο e του πλοίου η οποία και αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί τμήμα του γκαράζ χωρίς όμως συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες.



Σχήμα 4.2: Σχηματική Αναπαράσταση Τμημάτων Γκαράζ

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση των τμημάτων του γκαράζ με τα μονοπάτια που είναι δυνατόν να τα συνδέουν προκειμένου ένα όχημα από οποιοδήποτε

τμήμα να μπορεί να κατευθυνθεί στην έξοδο του πλοίου. Από τα παραπάνω οδηγούμαστε εύκολα στο συμπέρασμα ότι η πιο κατάλληλη δομή δεδομένων με την οποία μπορούμε να αναπαραστήσουμε το γκαράζ του πλοίου είναι ο κατευθυνόμενος γράφος (directed graph) (βλ. σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Γράφος Γκαράζ

Συμπερασματικά για την αναπαράσταση του γκαράζ του πλοίου θα χρησιμοποιήσουμε έναν κατευθυνόμενο γράφο (DG) κάνοντας τις τέσσερις παρακάτω συμβάσεις:

- Οι κόμβοι $g_1, g_2, \dots, g_n$ του γράφου αναπαριστούν τα τμήματα στα οποία είναι χωρισμένο το γκαράζ, με αρχή του γράφου το κόμβο e , που όπως είδαμε στην § 3.2.1 είναι η έξοδος/είσοδος του πλοίου.
- Οι ακμές του γράφου αναπαριστούν την προσβασιμότητα ενός τμήματος του γκαράζ στο άλλο.
- Αν υπάρχει μονοπάτι από τον κόμβο g_i μέχρι τον κόμβο e , $(g_i \rightarrow e)$ τότε υπάρχει προσβασιμότητα από το τμήμα g_i του γκαράζ προς την έξοδο του πλοίου e .

- Για κάθε όχημα που αποβιβάζεται σε ενδιαμέσο λιμάνι (λ) να υπάρχει μονοπάτι τέτοιο ώστε σε κάθε κόμβο του μονοπατιού όλα τα οχήματα να έχουν λιμάνι αποβίβασης που προηγείται του (λ).

4.8 Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης

Για την αναπαράσταση ενός μοντέλου φόρτωσης ΜΦΟ, με γράφο πρέπει να επεκτείνουμε τους ορισμούς για τους γράφους έτσι ώστε να λάβουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των οντοτήτων του συστήματος. Έτσι ορίζουμε το Γράφο Μοντέλου Φόρτωσης Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης Οχημάτων (ΓΜΦΟ) στη θέση του κατευθυνόμενου γράφου και το Μονοπάτι Γράφου Μοντέλου Φόρτωσης στη θέση του μονοπατιού ενός κατευθυνόμενου γράφου.

Ορισμός : Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης

Ορίζουμε την τριάδα $ΓΜΦΟ = (G, V, VP)$ ως Γράφο Μοντέλου Φόρτωσης, όπου :

$G = \{G_i = GP_i | 1 \leq i \leq n, GP_i \in GP\}$ είναι το σύνολο των τμημάτων του γκαράζ (κόμβοι) του Συστήματος Φόρτωσης. Κάθε κόμβος αναπαρίσταται από ένα διάνυσμα. Ένα τέτοιο διάνυσμα αναπαριστά τις διαφορετικές ιδιότητες που έχουν οριστεί για έναν κόμβο. Το n είναι το πλήθος των κόμβων του Μοντέλου Φόρτωσης.

$GP = \{GP_i | 1 \leq i \leq n \wedge GP_i = \langle GP_{i_1}, \dots, GP_{i_p} \rangle\}$ είναι ένα σύνολο διανυσμάτων τέτοια ώστε, κάθε διάνυσμα αναπαριστά το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουμε ορίσει για έναν κόμβο. Το n είναι το συνολικό πλήθος των τμημάτων του γκαράζ και p είναι το πλήθος των διαφορετικών ιδιοτήτων που ορίζονται για έναν κόμβο.

$V = \{V_{k_i} = \langle D_i, VP_k \rangle | 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq k \leq m\}$ είναι το σύνολο των οχημάτων που φορτώθηκαν στο πλοίο. Το διατεταγμένο ζεύγος $\langle D_i, VP_k \rangle$ το οποίο συμβολίζεται για απλότητα V_{k_i} δηλώνει ότι το υπ' αριθμό k όχημα φορτώθηκε στο υπ' αριθμό i

τμήμα του γκαράζ. Το n είναι το πλήθος των κόμβων του Μοντέλου Φόρτωσης και m είναι το συνολικό πλήθος των οχημάτων που φορτώνονται στο πλοίο.

$VP = \{VP_i | 1 \leq i \leq m \wedge VP_i = \langle VP_{i_1}, \dots, VP_{i_q} \rangle\}$ είναι ένα σύνολο διανυσμάτων τέτοια ώστε, κάθε διάνυσμα αναπαριστά το σύνολο των ιδιοτήτων που έχουμε ορίσει για ένα όχημα, m είναι το συνολικό πλήθος των οχημάτων που φορτώνονται στο πλοίο και q είναι το πλήθος των διαφορετικών ιδιοτήτων που ορίζονται για ένα όχημα.

Σε ένα γράφο ΜΦΟ, ένας κόμβος προσδιορίζεται και από ένα σύνολο ιδιοτήτων. Επιπλέον, ένα όχημα, εκτός από το τμήμα του γκαράζ στο οποίο θα φορτωθεί προσδιορίζεται από ένα σύνολο ιδιοτήτων οχήματος. Για λόγους απλότητας, στη συνέχεια θα συμβολίζουμε έναν γράφο ΜΦΟ ως $ΓΜΦΟ = (G, V)$ εννοώντας την ύπαρξη των ιδιοτήτων των τμημάτων του γκαράζ και των οχημάτων.

Ορισμός : Μονοπάτι γράφου Συστήματος Φόρτωσης

Ορίζουμε το διάνυσμα $ΓΜΦΟΡ_{ij} = \langle D_{k_1}, D_{k_2}, \dots, D_{k_l} \rangle$ ως μονοπάτι γράφου μοντέλου φόρτωσης όπου, $D_{k_r} \in D, 1 \leq r \leq l$ και $\exists VP_t \in VP | \langle D_{k_w}, D_{k_{w+1}}, VP_t \rangle \in V, 1 \leq w \leq l - 1$. Τα $D_i = D_{k_1}, D_j = D_{k_j}$, είναι η αφετηρία και ο προορισμός του μονοπατιού, αντίστοιχα. Δηλαδή, ένα μονοπάτι γράφου μοντέλου φόρτωσης είναι μια ακολουθία κόμβων τέτοια ώστε για κάθε δύο συνεχόμενους κόμβους να υπάρχει πρόσβαση από τον ένα στον άλλο και ξεκινώντας από ένα κόμβο διαδοχικά να καταλήγουμε στον κόμβο που αναπαριστά την έξοδο e του πλοίου.

Κεφάλαιο 5

Αλγόριθμοι Φόρτωσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε όλα εκείνα τα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την μεθοδολογία και τον τρόπο υλοποίησης αλγορίθμων για συστήματα φόρτωσης οχημάτων. Πριν προχωρήσουμε όμως στην παρουσίαση των αλγορίθμων αυτών θα ασχοληθούμε με την ακριβή περιγραφή της λειτουργίας της φόρτωσης στη πράξη.

5.1 Μελέτη του προβλήματος

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. § 3.3 σελ. 24) η φόρτωση του πλοίου με οχήματα ξεκινά ιδεατά από την χρονική στιγμή που θα δημιουργηθεί το πλάνο (βλ. § 3.1 σελ. 19) για ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο. Από την χρονική στιγμή της ανακοίνωσης του δρομολογίου και κατά συνέπεια της δημιουργίας του πλάνου μέχρι την ώρα έναρξης της φόρτωσης του πλοίου το πλάνο μεταβάλλεται συνεχώς. Το χρονικό διάστημα αυτό δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από την εμπορική πολιτική της εταιρείας. Μπορεί να κυμαίνεται από ένα έτος έως και μερικές ώρες ακόμα. Η τελευταία αυτή περίπτωση είναι ακραία και συνήθως έχει να κάνει με απρόβλεπτα ή έκτακτα γεγονότα (π.χ. καιρικές συνθήκες).

Όλο αυτό το χρονικό διάστημα δηλ. από την δημιουργία του πλάνου μέχρι την έναρξη της φόρτωσης το πλάνο ενημερώνεται μέσω του CRS από τις κρατήσεις ή ακυρώσεις θέσεων. Σημαντικό ρόλο σ' αυτή την διαδικασία παίζει η εμπορική πολιτική της εταιρείας. Η εμπορική πολιτική της εταιρείας έχει να κάνει με τις κατηγορίες οχημάτων που θα φορτωθούν

στο πλοίο. Συνήθως μέσω της εμπορικής πολιτικής καθορίζεται ο αριθμός των επαγγελματικών οχημάτων (φορτηγών) σε σχέση με τον αριθμό ΙΧ οχημάτων. Σε δρομολόγια τα οποία πραγματοποιούνται την περίοδο των διακοπών συνήθως δίνεται προτεραιότητα σε ΙΧ οχήματα. Σε τέτοια δρομολόγια ο αριθμός φορτηγών αυτοκινήτων που φορτώνεται στο πλοίο είναι μηδενικός ή το πολύ 4-5 φορτηγά. Στην εργασία αυτή θα μας απασχολήσουν κατά κύριο λόγο δρομολόγια όπου στο πλοίο φορτώνονται μόνο ΙΧ οχήματα. Ο λόγος όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο είναι η μεγάλη ποικιλία σε διαστάσεις που προσφέρουν αυτά τα οχήματα με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η επιλογή και τοποθέτηση τους με μεγαλύτερη ευελιξία στα τμήματα του γκαράζ.

Η διαδικασία φόρτωσης του πλοίου κάτω από κανονικές συνθήκες ξεκινάει 4-5 ώρες πριν την αναχώρηση του πλοίου. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει άνεση στη φόρτωση του πλοίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποδοτικότερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου του γκαράζ. Βέβαια όπως θα δούμε και αργότερα στην παρουσίαση των αλγορίθμων η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα οχήματα είναι τυχαία και δεν έχει καμία σχέση με την σειρά με την οποία κρατήθηκαν από το CRS στο πλάνο του δρομολογίου.

Υπάρχουν όμως και δρομολόγια κατά τα οποία το διάστημα μεταξύ άφιξης του πλοίου στο λιμάνι και αναχώρησης του να διαρκεί τόσο χρόνο όσο χρειάζεται η εκφόρτωση του πλοίου και η φόρτωση του. Τέτοια δρομολόγια πραγματοποιούνται κυρίως την περίοδο των διακοπών. Σ' αυτές τις περιπτώσεις τα προς φόρτωση οχήματα περιμένουν όλα έξω από το πλοίο σταθμευμένα στο λιμάνι, και είναι στη διάθεση της ομάδας φόρτωσης προκειμένου να τοποθετηθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στο γκαράζ. Βέβαια σε τέτοιες περιπτώσεις η πίεση του χρόνου είναι μεγάλη και η στάθμευση των οχημάτων στα τμήματα του γκαράζ δεν γίνεται πάντα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Σημαντικό ρόλο σε τέτοιες περιπτώσεις παίζει η εμπειρία των ανθρώπων που εμπλέκονται στη διαδικασία της φόρτωσης και ειδικά αυτή του Υπάρχου. Ο Υπάρχος είναι αρμόδιος να συντονίσει την ομάδα φόρτωσης και εποπτεύει από την είσοδο του πλοίου την όλη διαδικασία. Πρακτικά ο Υπάρχος γνωρίζοντας καλά τα τμήματα του γκαράζ κατευθύνει προς αυτά τα οχήματα

που περιμένουν έξω από το πλοίο για φόρτωση και ταιριάζουν καλύτερα όσον αφορά τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά.

Στο σημείο αυτό ένα πληροφοριακό σύστημα το οποίο θα λειτουργούσε συμβουλευτικά, προτείνοντας κάθε φορά πια οχήματα να επιβιβαστούν θα αποτελούσε ένα σημαντικό εργαλείο για την φόρτωση του πλοίου. Επιπλέον ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να αξιοποιήσει αποδοτικά τον ιδεατό χώρο του γκαράζ, το πλάνο του δρομολογίου κατά την χρονική περίοδο που αυτό είναι διαθέσιμο για κρατήσεις θέσεων.

5.2 Αλγόριθμοι ΜΦΟ

Στο κεφάλαιο 4 μοντελοποιήσαμε ένα σύστημα φόρτωσης οχημάτων ως ένα διατεταγμένο σύνολο σεναρίων ή για να χρησιμοποιήσουμε την ορολογία που εισάγαμε στην οντολογία για το μοντέλο φόρτωσης, ως ένα μονοπάτι φόρτωσης. Ένα όχημα που φορτώνεται στο πλοίο μέσω ενός μονοπατιού καταλήγει στο τμήμα του γκαράζ όπου τελικά θα σταθμεύσει. Το ενδιαφέρον σε μια τέτοια αναζήτηση είναι ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα διαφορετικά μονοπάτια φόρτωσης που συνδέουν τους κόμβους στους οποίους πιθανόν να σταθμεύσει το όχημα. Αυτή η ποικιλότητα οφείλεται στα χαρακτηριστικά πολύτροπικότητας που παρουσιάζει ένα μοντέλο φόρτωσης. Συνεπώς ένα όχημα που θα κατευθυνθεί μέσω ενός μονοπατιού σε ένα τμήμα του γκαράζ θα πρέπει να εκτελέσει μια πολύπλοκη αναζήτηση μεταξύ διαφορετικών σεναρίων φόρτωσης σε ένα πολύτροπικό σύστημα φόρτωσης.

Από τα διαφορετικά μονοπάτια φόρτωσης που μπορεί να ακολουθήσει, ένα όχημα, ένα ή ορισμένα από αυτά ικανοποιούν τους γεωμετρικούς περιορισμούς που βάλουμε στη § 4.2.

Δεδομένων της εισόδου e του πλοίου, του τελικού τμήματος στάθμευσης και ενός συνόλου χαρακτηριστικών ενός οχήματος, ο στόχος ενός μοντέλου φόρτωσης είναι να εντοπίσει εκείνο ή εκείνα τα μονοπάτια φόρτωσης που να ανταποκρίνονται κατά το δυνατόν καλύτερα στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

του οχήματος.

Στο κεφάλαιο 4 μοντελοποιήσαμε ένα σύστημα φόρτωσης ως ένα γράφο μοντέλου φόρτωσης. Στις επόμενες παραγράφους σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε αλγόριθμους εύρεσης μονοπατιών σε γράφους μοντέλων φόρτωσης με βάση τους γεωμετρικούς περιορισμούς των οχημάτων.

Η φόρτωση οχημάτων στο πλοίο είναι ένα δύσκολο πρόβλημα συνδυαστικής (NP-hard). Αυστηροί περιορισμοί προστίθενται στο πρόβλημα με την έννοια ότι αυξάνουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Ο πρώτος περιορισμός όπως είδαμε στη § 4.2 έχει να κάνει με τους γεωμετρικούς περιορισμούς, ένας άλλος περιορισμός έχει να κάνει με τον χρόνο εξόδου ενός οχήματος από το πλοίο. Αν το πλοίο προσεγγίζει παραπάνω από ένα λιμάνια τότε τα οχήματα που εξέρχονται στα ενδιαμέσχα λιμάνια πρέπει να στοιβάζονται σε τμήμα(τα) του γκαράζ που να έχει πρόσβαση στην έξοδο του πλοίου όταν αυτό προσεγγίζει το αντίστοιχο λιμάνι. Ένας άλλος περιορισμός έχει να κάνει με την μεγιστοποίηση του κέρδους της εταιρείας.

Εκ φύσεως, δεν υπάρχουν γρήγοροι αλγόριθμοι, που να επιτρέπουν την ακριβή επίλυση του προβλήματος. Επομένως περιοριζόμαστε σ' αυτή την εργασία στην εύρεση αποδοτικών μεθόδων για τον προσδιορισμό μιας καλής λύσης του προβλήματος (τοπικά βέλτιστη), π.χ. μια λύση για την οποία τίποτα δεν εγγυάται συνολικά μαθηματική βελτιστοποίηση, αλλά σύμφωνα με τα πειράματα, είναι στατιστικά κοντά στο βέλτιστο. Το ενδιαφέρον με τέτοιες μεθόδους είναι ότι είναι δυνατόν να υπολογιστούν γρήγορα λύσεις πολύ καλής ποιότητας. Παρουσιάζουμε στη συνέχεια δύο αλγόριθμους. Ο πρώτος (greedy) στην ουσία τοποθετεί τα οχήματα στα τμήματα του γκαράζ με τυχαίο τρόπο με στόχο την επαλήθευση των πραγματικών δεδομένων που είχαμε στη διάθεση μας. Ο δεύτερος (BestFit) θεωρεί όλα τα οχήματα διαθέσιμα για φόρτωση (όπως αυτό άλλωστε ισχύει και στην πραγματικότητα, στα δρομολόγια αιχμής) και προσπαθεί να ταιριάζει σε κάθε τμήμα του γκαράζ οχήματα των οποίων το μήκος τους διαιρεί ακριβώς το μήκος του τμήματος. Σε κάθε περίπτωση βέβαια ικανοποιούνται και οι υπόλοιποι γεωμετρικοί περιορισμοί.

5.2.1 Άπληστος Αλγόριθμος (greedy)

Ο άπληστος αλγόριθμος που περιγράφουμε σ' αυτή τη παράγραφο είναι πολύ απλός και υλοποιήθηκε κύρια για την επαλήθευση του δείγματος πραγματικών δεδομένων. Χρησιμοποιεί σαν είσοδο ένα γράφο μοντέλου φόρτωσης οχημάτων και μία λίστα με οχήματα τα οποία για τις ανάγκες του συστήματος μας εμφανίζονται με τυχαίο τρόπο το ένα μετά το άλλο στην είσοδο του πλοίου.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο greedy. Για κάθε όχημα v από τη λίστα οχημάτων V αναζητάμε μία θέση σε κάποιο τμήμα g του γκαράζ έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί της § 4.2. Αν ικανοποιούνται οι περιορισμοί τότε το όχημα v τοποθετείται στο τμήμα g του γκαράζ και ελέγχουμε για το επόμενο όχημα. Μπορούμε τελικά να πούμε ότι ο αλγόριθμος πραγματοποιεί μια **κατά βάθος διάσχιση** του γράφου υπό περιορισμούς.

Όπως είπαμε και σε προηγούμενες παραγράφους η φόρτωση του πλοίου γίνεται από τον Ύπαρχο του πλοίου με εμπειρικό τρόπο ακολουθώντας τις αρχές και τους κανονισμούς που ισχύουν κάθε φορά (βλ. § 3.3). Ο άπληστος αλγόριθμος προσομοιώνει σε μεγάλο βαθμό το τρόπο σκέψης του Υπάρχου και των συνεργατών του. Βέβαια αυτό που ανακαλύψαμε μετά από πολλές συζητήσεις και αρκετή παρατήρηση της διαδικασίας σε πραγματικές συνθήκες είναι ότι αν ο Ύπαρχος παραμείνει αρκετό καιρό στο ίδιο πλοίο τότε με την εμπειρία που αποκτά είναι σε θέση να επιλέγει εν μέρει τα οχήματα που περιμένουν για φόρτωση έτσι ώστε να τα κατευθύνει στο τμήμα του γκαράζ που ταιριάζουν καλύτερα βάσει των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών.

5.2.1.1 Είσοδος του αλγορίθμου

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.1 η είσοδος του άπληστου αλγόριθμου είναι ο γράφος μοντέλου φόρτωσης G έτσι όπως ορίστηκε στην § 4.8, και μία λίστα V οχημάτων ταξινομημένα κατά τυχαίο τρόπο ως προς το μήκος και την κατηγορία τους.

Algorithm Greedy(**graph** G , **list** V)

Input: Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης $G = (G, V, VP)$, Λίστα οχημάτων V

Output: Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης $G = (G, V, VP)$

```

1.  for  $v$  in  $V$                                      //  $V$  λίστα οχημάτων
2.    for  $g$  in  $G$  {                                   //  $g$  τμήμα γκαράζ
3.      if  $v\_cat$  in  $g\_cat$  and compare_and_arange( $v, g$ )
4.        break
5.      if  $g\_cat$  is empty and compare_and_arange( $v, g$ )
6.        break
7.    }
8.
9.  if  $V$  not empty                                  // φόρτωση υπόλοιπων οχημάτων
10.   for  $v$  in  $V$ 
11.     for  $g$  in  $G$ 
12.       if 'PPP' not in  $g\_cat$  and compare_and_arange( $v, g$ )
13.         break
14.   return  $G$ 

1.  function compare_and_arange( $listv, g$ )
2.    if ( $v\_length + v\_ldist$ ) <=  $g\_length$  // Αν οι διατάσεις του οχήματος
3.    if ( $v\_height < g\_height$ )           // ( $l, h, w$ ) είναι μικρότερες από
4.    if ( $v\_width < g\_width$ ) {           // αυτές του τμήματος
5.      put  $v$  in  $g$                        // τοποθετεί το όχημα  $v$  στο τμήμα  $g$ 
6.       $g\_length = g\_length - (v\_length + v\_ldist)$ 
7.      pop  $v$                              // αφαιρεί το όχημα  $v$  από τη λίστα  $V$ 
8.      return true
9.    }
10.   else:
11.     return false

```

Σχήμα 5.1: Άπληστος Αλγόριθμος

5.2.1.2 Περιγραφή του αλγορίθμου

Κατά την εκκίνηση της διαδικασίας *Greedy* εξετάζεται η λίστα οχημάτων V . Όσο η λίστα αυτή περιέχει οχήματα v , επιθεωρούνται οι κορυφές (τμήματα) g του γράφου G (γκαράζ) και ελέγχεται αν το όχημα v από τη λίστα οχημάτων ικανοποιεί τους γεωμετρικούς περιορισμούς για να τοποθετηθεί στο τμήμα g (βλ. σχήμα 5.1). Αναλυτικά, στη γραμμή 3 ελέγχεται αν η κατηγορία του οχήματος (v_cat) ανήκει στο σύνολο των κατηγοριών

οχημάτων (`g_cat`), που μόνο αυτές επιτρέπεται να φορτωθούν στο συγκεκριμένο τμήμα. Στη ίδια γραμμή μέσω της συνάρτησης `compare_and_arange` ελέγχεται αν ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί (μήκος, πλάτος, ύψος). Αν ικανοποιούνται το μήκος του οχήματος μαζί με την απόσταση ασφαλείας αφαιρούνται από το μήκος του τμήματος και επίσης αφαιρείται το όχημα από την λίστα οχημάτων. Στη γραμμή 5 αν δεν υπάρχει περιορισμός στις κατηγορίες οχημάτων που επιτρέπεται να φορτωθούν στο τμήμα και ικανοποιούνται οι γεωμετρικοί περιορισμοί, το μήκος του οχήματος μαζί με την απόσταση ασφαλείας αφαιρούνται από το μήκος του τμήματος και επίσης αφαιρείται το όχημα από την λίστα οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό δίνουμε την δυνατότητα σε τμήματα που προορίζονται για συγκεκριμένες κατηγορίες οχημάτων (μεγάλα οχήματα) να μην καταλαμβάνονται από μικρά. Τα οχήματα που δεν ικανοποίησαν τα κριτήρια (γρ. 3 και γρ. 5) και υπάρχει χώρος να φορτωθούν στο πλοίο ελέγχονται και 'φορτώνονται' στο τέλος (γρ. 9 - 13). Στην πράξη κάποια τμήματα του γκαράζ κάτω από οριακές χρονικές συνθήκες παραμένουν κλειστά. Αυτά χαρακτηρίζεται ότι δέχονται μόνο την κατηγορία οχημάτων 'PPP' η οποία στην πραγματικότητα είναι ανύπαρκτη. Συνεπώς, τα τμήματα αυτά δεν ελέγχονται για φόρτωση (γρ. 12).

Παρατήρηση: Ο έλεγχος των γεωμετρικών περιορισμών γίνεται με τη συνάρτηση `compare_and_arange` η οποία χρησιμοποιείται και στον αλγόριθμο `BestFit`.

Στο Παράρτημα 5' στο σχήμα 5'.4 δίνεται ο κώδικας του άπληστου αλγόριθμου σε Python.

5.2.1.3 Έξοδος του αλγορίθμου

Μετά το τέλος της εκτέλεσης η διαδικασία *Greedy* μας δίνει πάλι τον γράφο G του μοντέλου φόρτωσης όπου στις κορυφές (τμήματα) του είναι πλέον τοποθετημένα τα οχήματα της λίστας V με τις ιδιότητές τους. Έτσι έχουμε πάρει σαν αποτέλεσμα ένα σενάριο φόρτωσης. Με κάθε τρέξιμο του αλγόριθμου έχουμε και ένα διαφορετικό σενάριο φόρτωσης, δεδομένου ότι τα οχήματα επιλέγονται με τυχαίο τρόπο κάθε φορά.

5.2.1.4 Ορθότητα αποτελέσματος

Μια κατά βάθος αναζήτηση σε έναν γράφο μοντέλου φόρτωσης χωρίς την εφαρμογή κανενός περιορισμού, εγγυάται ότι κάθε κόμβος του γράφου θα προσεγγιστεί και κατά συνέπεια όλα τα οχήματα που είναι δυνατόν να χωρέσουν στο πλοίο θα φορτωθούν. Οι γεωμετρικοί περιορισμοί εξασφαλίζουν ότι κάποια από τα οχήματα προς φόρτωση ταιριάζουν γεωμετρικά με κάποιο τμήμα του γκαράζ. Συνεπώς, ο αλγόριθμος αυτός θα μας δώσει ένα νόμιμο σενάριο φόρτωσης.

5.2.1.5 Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Ένας αλγόριθμος κατά βάθος αναζήτησης έχει γραμμική πολυπλοκότητα ανάλογη του πλήθους των κόμβων και των συνδέσμων του γράφου (αν υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε μια δομή δεδομένων στην οποία για κάθε κόμβο διατηρούμε μια λίστα των γειτονικών του). Ωστόσο στον άπληστο αλγόριθμο υπάρχουν ιδιαιτερότητες που αυξάνουν πολύ την πολυπλοκότητά του. Μια κατά βάθος αναζήτηση, επισκέπτεται κάθε κόμβο του γράφου μία μόνο φορά. Ο άπληστος μπορεί να επισκεφτεί έναν κόμβο τόσες φορές όσο και το πλήθος των οχημάτων.

Στη χειρότερη λοιπόν περίπτωση ο αλγόριθμος θα επισκεφτεί κάθε κόμβο τόσες φορές όσο και το πλήθος n των οχημάτων, έτσι η υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγόριθμου είναι $O(n \cdot |G|)$.

5.2.2 Αλγόριθμος Best_Fit

Ο άπληστος αλγόριθμος που είδαμε στην § 5.2.1 φαίνεται να παρουσιάζει ένα καλύτερο αποτέλεσμα σε σχέση με τον εμπειρικό τρόπο φόρτωσης, αφήνει όμως μεγάλα ακάλυπτα μέρη στα τμήματα του γκαράζ όπως θα αναλύσουμε και θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο. Είδαμε στις § 3.3.3 και 5.1 ότι τα μεγάλα οχήματα τοποθετούνται σε τμήματα του γκαράζ πλάτους $3m$ και ότι σε περιόδους αιχμής τα οχήματα αυτά είναι πολύ λίγα (4-5). Έπίσης είδαμε ότι στα δρομολόγια αιχμής όπου το γκαράζ του πλοίου γεμίζει με οχήματα, τα προς

φόρτωση οχήματα είναι διαθέσιμα όλα κατά την διάρκεια της φόρτωσης στην είσοδο του γκαράζ.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να ταξινομήσουμε τα οχήματα κατά κατηγορία και κατά μήκος έτσι ώστε να μπορούμε να τα χειριστούμε καλύτερα κατά την διάρκεια της φόρτωσης και να τα κατευθύνουμε σε τμήματα που ταιριάζουν καλύτερα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες τους. Για το σκοπό αυτό δημιουργούμε δύο λίστες οχημάτων, η μία περιέχει τα οχήματα ταξινομημένα κατά κατηγορία και η άλλη κατά μήκος. Η ταξινόμηση αυτή μας οδηγεί να χωρίσουμε το γράφο φόρτωσης σε δύο υπογράφους. Ο ένας περιέχει τους κόμβους με τμήματα γκαράζ πλάτους $3m$ για την φόρτωση των μεγάλων οχημάτων και ο άλλος τους κόμβους με τμήματα γκαράζ πλάτους $2m$ για την φόρτωση των μικρών οχημάτων.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τον αλγόριθμο Best.Fit ο οποίος προσπαθεί να γεμίσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα τμήματα του γκαράζ αξιοποιώντας τα εξής δεδομένα:

1. Τα οχήματα είναι όλα διαθέσιμα στην είσοδο του πλοίου.
2. Η κατανομή των μηκών των διαφόρων κατηγοριών οχημάτων δίνει την δυνατότητα να τοποθετήσουμε οχήματα σε τμήματα του γκαράζ για τα οποία το μήκος τους είναι πολλαπλάσιο του μήκους των οχημάτων.

Συγκεκριμένα έχοντας ταξινομήσει τα οχήματα με βάση το μήκος τους μπορούμε να επιλέγουμε εκείνο το μήκος -και κατά συνέπεια οχήματα με αυτό το μήκος - στο οποίο αν προσθέσουμε και το μήκος της απόστασης μεταξύ των οχημάτων, τότε το συνολικό αυτό μήκος να διαιρεί ακριβώς το μήκος κάποιου τμήματος του γκαράζ. Έστω v_length το μήκος του οχήματος v_ldist η απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των οχημάτων και g_length το μήκος του τμήματος του γκαράζ. Τότε θα πρέπει να ισχύει

$$n * (v_length + v_ldist) = g_length \quad (5.2.1)$$

Algorithm Best-Fit(**graph** Gb, Gl, **list** Vb, Vl, SV)

Input: Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης Gb = (Gb, Vb, VPb), Λίστα οχημάτων Vb
 Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης Gl = (Gl, Vl, VPl), Λίστα οχημάτων Vl
 Ταξινομημένη Λίστα μηκών και κατηγοριών οχημάτων SV

Output: Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης G = (G, V, VP)

```

1. while(Vb not empty) and (Gb not empty)
2.   g = Gb[0]           // επιλογή του πρώτου τμήματος για γέμισμα
3.   if g.length < minimum_vehicle_length:
4.     pop g           // το τμήμα g γέμισε και αφαιρείται από τη λίστα
5.     continue       // συνεχίζει με το επόμενο τμήμα
6.   if g.length in SV // αν το μήκος του τμήματος υπάρχει στη ταξινομημένη
7.     v = SV[g.length][0] // λίστα μηκών επιλέγει το πρώτο όχημα
8.   else:
9.     v = best_fit(g, Vb, SV) // επιστρέφει το όχημα που χωράει καλύτερα
                             // στο τμήμα του γκαράζ
10.  if v > 0 and compare_and_arange(v, g)
11.    pop SV[v] // αφαιρεί το όχημα από την ταξινομημένη λίστα SV
12.    pop v     // αφαιρεί το όχημα από την λίστα οχημάτων
13.  else:
14.    hsg = g           // αν το τμήμα του g δεν γέμισε μεταφέρεται
15.    pop g             // στο τέλος της λίστας για επανέλεγχο
16.    Gb.append(hsg)

```

Σχήμα 5.2: Αλγόριθμος Best_Fit(1)

Όπου n είναι το πλήθος των οχημάτων με ίδιο μήκος που καλύπτουν ακριβώς το τμήμα g του γκαράζ ή το εναπομείναν τμήμα. Η μέθοδος αυτή στον αλγόριθμο Best_Fit υλοποιείται με την συνάρτηση full_fit. Για την αποδοτικότερη αξιοποίηση του χώρου των τμημάτων στον αλγόριθμο Best_Fit χρησιμοποιούμε ακόμα δύο μεθόδους για την επιλογή των οχημάτων που θα τοποθετηθούν σ' αυτά. Η πρώτη επιλέγει οχήματα των οποίων το μήκος είναι τέτοιο ώστε αν το όχημα τοποθετηθεί στο τμήμα τότε το εναπομείναν μήκος του τμήματος να είναι μικρότερο από το μήκος του μικρότερου οχήματος. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται με την συνάρτηση best_fit. Η δεύτερη μέθοδος η οποία υλοποιείται με την συνάρτηση best_lengt αναζητά στη λίστα μηκών οχημάτων, το μεγαλύτερο μήκος που είναι μικρότερο από το μήκος του τμήματος, οπότε επιλέγεται ένα όχημα με αυτό το

μήκος.

5.2.2.1 Είσοδος του αλγορίθμου

Σαν είσοδο ο αλγόριθμος έχει τους δύο υπογράφους Gb για τα μεγάλα οχήματα και Gl για τα μικρά οχήματα. Η λίστα Vb περιέχει αντίστοιχα τα μεγάλα οχήματα και η Vl τα μικρά. Η λίστα SV είναι μια ταξινομημένη λίστα από λίστες. Στοιχεία κλειδιά της λίστας είναι όλα τα διαφορετικά μήκη των οχημάτων που πρόκειται να φορτωθούν στο πλοίο. Για κάθε μήκος οχήματος υπάρχει μια υπολίστα με τα οχήματα που έχουν αυτό το μήκος. Έτσι έχουμε

- Υπογράφοι συστήματος φόρτωσης

$$\Gamma M\Phi O = \begin{cases} Gb = (Gb, Vb, VPb), \\ Gl = (Gl, Vl, VPl) \end{cases} \quad (5.2.2)$$

- Λίστες με τα οχήματα $Vb[]$, $Vl[]$
- Λίστα με τα ταξινομημένα μήκη και τις κατηγορίες οχημάτων $SV[]$

5.2.2.2 Περιγραφή του αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος τρέχει σε τρία βασικά βήματα. Στο πρώτο τοποθετούνται τα μεγάλα οχήματα, αυτά που σταθμεύουν σε τμήματα πλάτους $3m$, και στο δεύτερο βήμα τοποθετούνται τα υπόλοιπα οχήματα, αυτά που σταθμεύουν σε τμήματα πλάτους $2m$. Τα τμήματα του γκαράζ που δεν θα γεμίσουν από το πρώτο πέρασμα αξιοποιούνται στο δεύτερο και στο τρίτο βήμα. Η διαδικασία αυτή σε γενικές γραμμές ακολουθείται και στη πράξη από κάποιους υπάρχουσες οι οποίοι προσπάθησαν να σχεδιάσουν λίγο πιο τυπικά την διαδικασία φόρτωσης, αξιοποιώντας την εμπειρία τους και την προσεχτική μελέτη του χώρου του γκαράζ.

Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2. Δεδομένου του μικρού αριθμού οχημάτων (4-5) τα οποία τοποθετούνται στα τμήματα του γκαράζ με αυτό το τρόπο,

θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον άπληστο αλγόριθμο. Εκμεταλευόμαστε όμως το γεγονός της ύπαρξης της ταξινομημένης λίστας μηκών οχημάτων και ελέγχουμε (γραμμή 6) αν το μήκος του τμήματος υπάρχει σ' αυτή τη λίστα. Στη περίπτωση αυτή επιλέγουμε το πρώτο όχημα με μήκος όσο του τμήματος. Σε διαφορετική περίπτωση επιλέγουμε το όχημα που ταιριάζει καλύτερα στο μήκος του τμήματος με την συνάρτηση `best_fit` (γραμμή 9). Αν βρεθεί όχημα που να ικανοποιεί όλους τους γεωμετρικούς περιορισμούς (γραμμή 10) αφαιρείται από το μήκος του τμήματος του γκαράζ το μήκος του οχήματος και η απόσταση ασφαλείας και από τις αντίστοιχες λίστες το όχημα και το μήκος του. Και εδώ χρησιμοποιούμε την ίδια συνάρτηση με τον άπληστο αλγόριθμο, την `compare_and_arange`. Αν δεν βρεθεί όχημα που να ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια ψάχνουμε στα επόμενα τμήματα.

Το δεύτερο βήμα του αλγόριθμου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3. Το βήμα αυτό εκτελείται όσο η ταξινομημένη λίστα μηκών (*SV*) έχει στοιχεία και υπάρχουν άδεια τμήματα (γραμμές 1 – 29). Ξεκινάμε με το πρώτο τμήμα και ελέγχουμε αν το μήκος του είναι μικρότερο από το μικρότερο μήκος διαθέσιμου προς φόρτωση οχήματος (γραμμή 3 – 5). Αν ισχύει θεωρούμε ότι το τμήμα γέμισε με οχήματα, το αφαιρούμε από τη λίστα τμημάτων και συνεχίζουμε με το επόμενο τμήμα. Στις γραμμές 7 – 8 ελέγχουμε αν στη ταξινομημένη λίστα μηκών υπάρχει μήκος ίσο με το μήκος τμήματος και πέρνουμε το πρώτο όχημα της αντίστοιχης λίστας μηκών. Αν το μήκος του τμήματος είναι μικρότερο ή ίσο από το μεγαλύτερο μήκος οχήματος προς φόρτωση τότε μέσω της συνάρτησης `best_length` επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος οχήματος που είναι μικρότερο από το μήκος του τμήματος (γραμμές 9 – 14) διαφορετικά η συνάρτηση `best_fit` μας δίνει το όχημα *v* που ταιριάζει καλύτερα στο τμήμα *g*.

Στις γραμμές 15 – 24 ελέγχουμε αν το μήκος του τμήματος είναι μικρότερο ή ίσο από το γινόμενο του μέγιστου μήκους οχήματος επί τον αριθμό *o* οποίος δίνει το μέγιστο πλήθος οχημάτων (βλ. σχέση 5.2.3 και γραμμή 6) που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στο τμήμα.

$$mult = int(\frac{g_length}{min_vehicle_length}) \quad (5.2.3)$$

Αν ισχύει η συνθήκη αυτή τότε καλείται αναδρομικά η συνάρτηση `full_fit` το πολύ `mult` φορές προκειμένου να τοποθετήσει `mult` οχήματα στο τμήμα αφού ικανοποιούνται όλοι οι γεωμετρικοί περιορισμοί. Αν η `full_fit` αποτύχει επιλέγεται όχημα που ταιριάζει καλύτερα στο τμήμα χρησιμοποιώντας τις `best_length` και `best_fit`.

Αν κανένα από τα παραπάνω κριτήρια δεν ικανοποιείται επιλέγουμε το όχημα v που ταιριάζει καλύτερα στο τμήμα g με την `best_fit` (γραμμή 26). Τέλος αν το όχημα ικανοποιεί όλους τους γεωμετρικούς περιορισμούς τοποθετείται στο τμήμα g και αφαιρείται από την ταξινομημένη λίστα μηχανών και οχημάτων (γραμμές 27-29).

Στο τρίτο τμήμα του αλγόριθμου (γραμμή 30) καλείται η άπληστη διαδικασία για να τακτοποιήσει τα οχήματα που τυχόν δεν ικανοποίησαν όλους τους γεωμετρικούς περιορισμούς.

5.2.2.3 Εξοδος του αλγορίθμου

Μετά το τέλος της εκτέλεσης η διαδικασία *Best_Fit* μας δίνει πάλι τον γράφο G του μοντέλου φόρτωσης όπου στις κορυφές (τμήματα) του είναι πλέον τοποθετημένα τα οχήματα της λίστας V με τις ιδιότητες τους. Έτσι έχουμε πάρει σαν αποτέλεσμα ένα σενάριο φόρτωσης. Σε αντίθεση με τον άπληστο ο αλγόριθμος *Best_Fit* μας δίνει πάντα το ίδιο σενάριο φόρτωσης. Για οικονομία χώρου και καλύτερη κατανόηση, ο πηγαίος κώδικας του αλγόριθμου *Best_Fit* σε Python και των συναρτήσεων που καλούνται δίνεται στο Παράρτημα 5' στα σχήματα 5'.5, 5'.6, 5'.7 και 5'.8.

5.2.2.4 Τερματισμός

Γενικά, ο αλγόριθμος τερματίζει όταν γεμίσουν όλα τα τμήματα g_i του γκαράζ. Αυτό δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι θα φορτωθούν όλα τα οχήματα στο πλοίο.

Στη χειρότερη περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες που περιγράφονται στα δύο πρώτα βήματα του αλγόριθμου (βλ. Σχήματα 5.2 και 5.3) ο αλγόριθμος θα τερματίσει

```

1. while (SV not empty) and (G1 not empty)
2.     g = G1[0] // επιλογή του πρώτου τμήματος για γέμισμα
3.     if g_length < minimum_vehicle_length:
4.         pop g // το τμήμα g γέμισε και αφαιρείται από τη λίστα
5.         continue // συνεχίζει με το επόμενο τμήμα
6.     mult = int(g_length / min_vehicle_length)
7.     if g_length in SV
8.         v = SV[g_length][0]
9.     elif g_length <= maximum_vehicle_length
10.        d = best_length(g, Gb, SV, 1)
11.        if d in SV
12.            v = SV[d][0]
13.        else:
14.            v = best_fit(g, Vb, SV)
15.    elif g_length <= (mult * maximum_vehicle_length)
16.        v = full_fit(g, mult)
17.        if v == -1
18.            continue
19.        else:
20.            d = best_length(g, Gb, SV, mult)
21.            if d in SV
22.                v = SV[d][0]
23.            else:
24.                v = best_fit(g, Vb, SV)
25.    else:
26.        v = best_fit(g, Vb, SV)
27.    if v > 0 and compare_and_arange(v, g)
28.        pop v // αφαιρεί το όχημα από την λίστα οχημάτων
29.        pop SV[v] // αφαιρεί το όχημα από την ταξινομημένη λίστα SV
30. Greedy(G1, V1)
31. return G

```

Σχήμα 5.3: Αλγόριθμος Best_Fit(2)

φορτώνοντας τα εναπομείναντα οχήματα με την μέθοδο greedy (βλ. Σχήμα 5.3, γραμμή 30). Το πρώτο τμήμα του αλγόριθμου τερματίζει όταν εξαντληθούν τα οχήματα ή γεμίσουν όλα τα τμήματα. Η επανάληψη θα τερματίσει το πολύ σε τόσα βήματα όσα είναι το άθροισμα των οχημάτων και των τμημάτων. Στο δεύτερο βήμα του αλγόριθμου (βλ. Σχήμα 5.3) αν κάποιο από τα κριτήρια ένταξης ενός οχήματος σε κάποιο τμήμα του γκαράζ

δεν ικανοποιηθεί τότε το όχημα μπαίνει σε ειδική λίστα προκειμένου να τοποθετηθεί στο τελευταίο βήμα το οποίο στην ουσία δουλεύει όπως ο άπληστος.

5.2.2.5 Ορθότητα αποτελέσματος

Ο αλγόριθμος Best_Fit στηρίζεται στην απλή ιδιότητα των αριθμών και συγκεκριμένα του ακέραιου πολλαπλάσιου που κάθε αριθμός μπορεί να έχει. Στην περίπτωση μας το μήκος κάθε τμήματος του γκαράζ μπορεί να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους μιας συγκεκριμένης κατηγορίας οχημάτων. Εναλλακτικά όπως φαίνεται αναλυτικά και στην παρουσίαση του αλγόριθμου αν το εναπομείναν ακάλυπτο μέρος ενός τμήματος του γκαράζ είναι μικρότερο από το μήκος του μικρότερου οχήματος που θα επιβιβαστεί στο πλοίο πάλι έχουμε ένα πολύ καλό αποτέλεσμα του αλγόριθμου. Όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 6 ο αλγόριθμος Best_Fit αφήνει τα λιγότερα και μικρότερα ακάλυπτα τμήματα του γκαράζ.

5.2.2.6 Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Στη περίπτωση του αλγόριθμου Best_Fit έχουμε κατ' αρχήν την ταξινόμηση των οχημάτων κατά μήκος και κατηγορία. Επιπλέον έχουμε τον χωρισμό του γράφου συστήματος φόρτωσης σε δύο υπογράφους. Αν m είναι ο αριθμός των οχημάτων που φορτώνονται στο πλοίο και n ο αριθμός των τμημάτων στο οποίο χωρίζεται το γκαράζ τότε έχουμε ένα αρχικό κόστος $m + n$. Μετά την ταξινόμηση και τον χωρισμό του γράφου έχουμε αντίστοιχα $m_1 + m_2$ οχήματα και $n_1 + n_2$ τμήματα.

Κι εδώ ισχύει ότι και στην περίπτωση του άπληστου αλγόριθμου δηλ.

$$O(m_1 \cdot n_1 + m_2 \cdot n_2) \approx O(n \cdot m).$$

Κεφάλαιο 6

Πειραματική Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα που πήραμε μετά από την εκτέλεση των δύο αλγορίθμων με διαφορετικά δεδομένα εισόδου.

Για την αξιολόγηση με πραγματικά δεδομένα, χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που αφορούν ημερομηνίες ταξιδιού του πλοίου ΛΑΤΩ το καλοκαίρι του 2004.

Για την αξιολόγηση με συνθετικά δεδομένα, χρησιμοποιήσαμε ένα υποθετικό πλοίο το οποίο χωρίσαμε σε τυχαία τμήματα που το συνολικό μήκος τους είναι ίσο με το συνολικό μήκος των οχημάτων.

6.1 Πείραμα με πραγματικά δεδομένα

Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε πραγματικά δεδομένα από δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν σε ημερομηνίες αιχμής την περίοδο των διακοπών και θεωρούνται οριακά από απόψεως φόρτωσης, με την έννοια ότι το πλοίο φορτώθηκε εμπειρικά με τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό οχημάτων.

Στις επόμενες παραγράφους θα δείξουμε ότι με τον τρόπο φόρτωσης που προτείνουμε υπάρχει δυνατότητα για επιπλέον οχήματα και αυτό αποδεικνύεται από το σωστό αποτέλεσμα που δίνουν και οι δύο αλγόριθμοι, όταν αυξάνουμε τον αριθμό των οχημάτων.

Στα δρομολόγια που επιλέξαμε, το πλήθος των οχημάτων όπως θα φανεί παρακάτω στα δεδομένα εισόδου, στην συντριπτική του πλειοψηφία αφορά ΙΧ επιβατηγά οχήματα. Αυτά άλλωστε παρουσιάζουν μεγάλο επιχειρηματικό ενδιαφέρον και στις πραγματικές συνθήκες

φόρτωσης την περίοδο των διακοπών.

Όλα τα δρομολόγια που επιλέξαμε πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της ημέρας στη γραμμή Χανιά-Πειραιά-Χανιά. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των δρομολογίων είναι ο περιορισμένος χρόνος φόρτωσης, δεδομένου ότι το πλοίο αφού προσεγγίσει στο λιμάνι ξεφορτώνει, φορτώνει και αναχωρεί αμέσως για το λιμάνι προορισμού του δρομολογίου.

Σε όλα τα δρομολόγια η οργάνωση των τμημάτων του γκαράζ διατηρήθηκε η ίδια όπως αυτή περιγράφεται στο Παράρτημα Γ'. Ο χώρος του γκαράζ Κατάμπαρο (KG), δεν χρησιμοποιήθηκε επειδή η πρόσβαση σ' αυτόν είναι χρονοβόρα.

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες των οχημάτων και τα συνολικά μήκη αυτών σε μέτρα κατά ημερομηνία ταξιδιού.

	BGT	CRM	DK1	DK2	FRK	FRT	IX1	Σύνολο
01-08-2004		2	25	13	5	6	492	543
(<i>m</i>)		11.00	18.75	13.00	34.00	71.00	2061.20	2208.95
04-08-2004	2	1	14	4	2	6	495	524
(<i>m</i>)	4.00	5.50	10.50	4.00	17.00	63.00	2087.20	2191.20
13-08-2004	1		36	27	1	4	500	569
(<i>m</i>)	2.00		27.00	27.00	4.00	46.00	2093.60	2199.60

Πίνακας 6.1: Δρομολόγια Ελέγχου

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας έγινε χωρισμός του γκαράζ του πλοίου ΛΑΤΩ σε τμήματα με τέτοιο τρόπο ώστε να καλυφθούν δρομολόγια αιχμής, οριακά σε πληρότητα, όπου η συντριπτική πλειοψηφία των οχημάτων ήταν ΙΧ. Στα σχήματα (Γ'.1, Γ'.2, Γ'.3, Γ'.4) στο Παράρτημα Γ' παρουσιάζεται αυτός ο χωρισμός. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών των τμημάτων και οι υπόλοιπες ιδιότητες τους για τις ανάγκες του συστήματός μας αποθηκεύονται σε πίνακα της σχεσιακής βάσης δεδομένων MySQL (βλ. Πίνακα Ε'.2 Παράρτημα Ε').

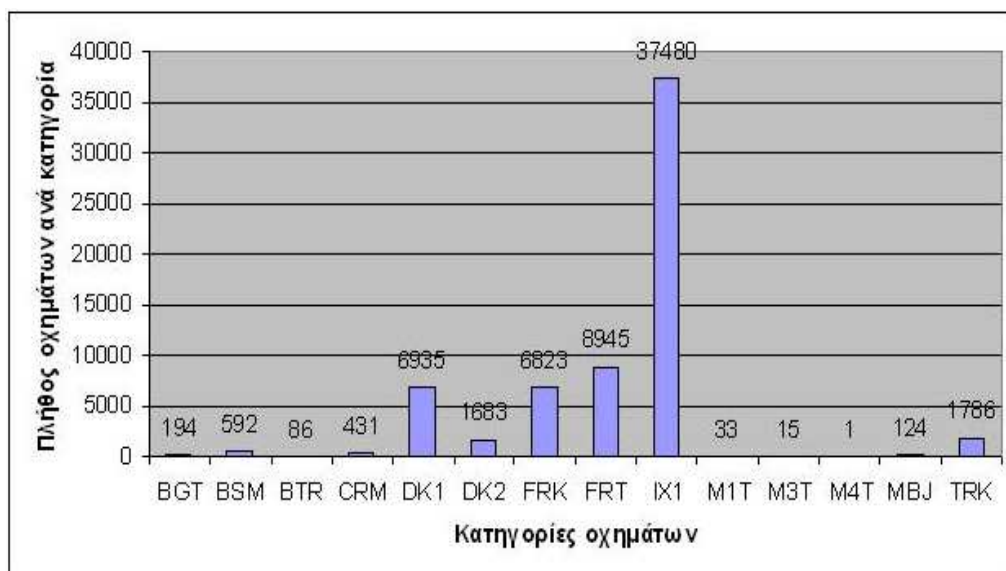
6.1.1 Ανάλυση Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή την εργασία για την υλοποίηση και τον έλεγχο των αλγορίθμων παραχωρήθηκαν από την εταιρεία ANEK LINES και περιλαμβάνουν αναλυτική πληροφορία για όλα τα δρομολόγια που εκτέλεσε το πλοίο ΛΑΤΩ κατά το χρονικό διάστημα από 01/01/2004 – 31/12/2004. Τα δεδομένα παραδόθηκαν σε αρχείο Excel και για να ελεγχθούν και να αξιοποιηθούν από το σύστημα που αναπτύξαμε μεταφέρθηκαν σε Πίνακα της σχεσιακής βάσης δεδομένων MySQL (βλ. Πίνακα Ε'.1 Παράρτημα Ε').

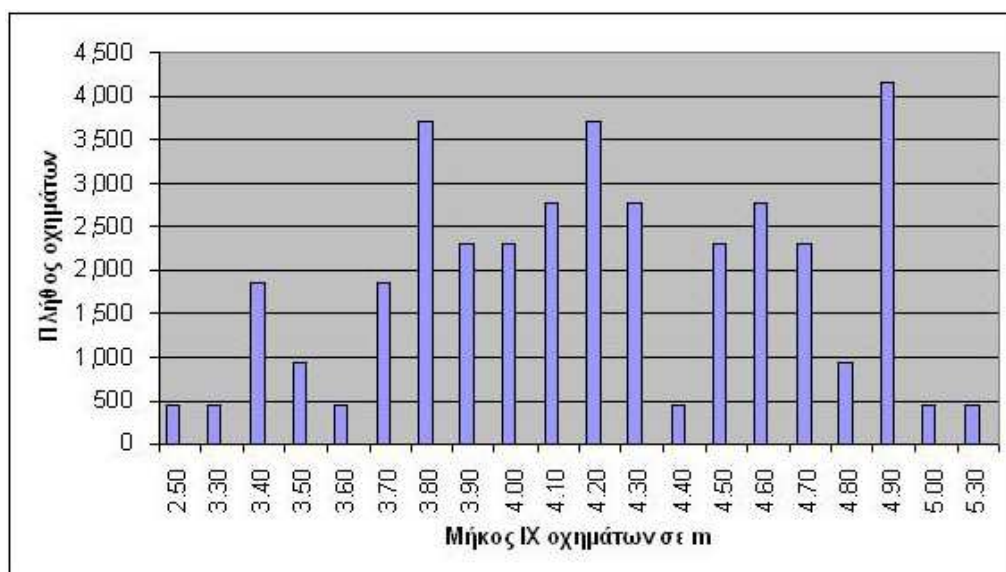
Ο τρόπος με τον οποίο γίνονται σήμερα οι κρατήσεις θέσεων και στη συνέχεια η φόρτωση του γκαράζ από τα CRS των εταιρειών δεν προϋποθέτει την καταγραφή όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οχημάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για τις μικρές κατηγορίες οχημάτων και κυρίως για τα ΙΧ οχήματα να μην υπάρχουν στοιχεία για το μήκος, πλάτος, ύψος και βάρος. Για τις μεγάλες κατηγορίες οχημάτων τα επαγγελματικά οχήματα επειδή ο ναύλος υπολογίζεται από το μήκος και το βάρος, στοιχεία για τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά υπάρχουν. Για λόγους πληρότητας και για να είναι κατανοητή η έννοια κατηγορία οχήματος στο παράρτημα Ε' Πίνακας Γ'.3 παραθέτουμε τις κατηγορίες οχημάτων έτσι όπως αυτές χρησιμοποιούνται από τα CRS των εταιρειών. Στη τρίτη στήλη του πίνακα φαίνεται το πλήθος των οχημάτων της αντίστοιχης κατηγορίας που φορτώθηκε στο πλοίο κατά την διάρκεια του 2004. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η κατανομή ανά κατηγορία των οχημάτων που φορτώθηκαν στο πλοίο ΛΑΤΩ την χρονική περίοδο από 01/01/2004 – 31/12/2004.

Τα χαρακτηριστικά των οχημάτων που δεν ήταν διαθέσιμα αναπληρώθηκαν με τον εξής τρόπο.

Στις κατηγορίες ('FRK','FRT','TRK','M1T','M3T','M4T') δόθηκε πλάτος 2.8m το οποίο ανταποκρίνεται απόλυτα στη πραγματικότητα. Άλλωστε όπως είδαμε και στην § 3.3.3 γι' αυτές τις κατηγορίες οχημάτων οι κανονισμοί απαιτούν στοίβαξη σε διαδρόμους πλάτους 3m. Στα υπόλοιπα οχήματα δόθηκε πλάτος από 1.40m μέχρι 2.00m. Ειδικά

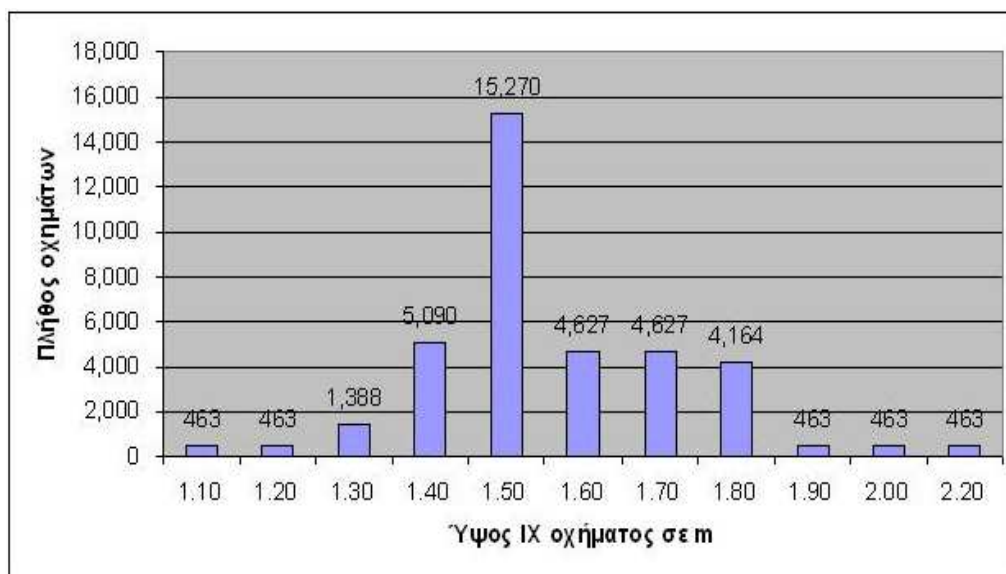


Σχήμα 6.1: Κατανομή κατηγοριών οχημάτων

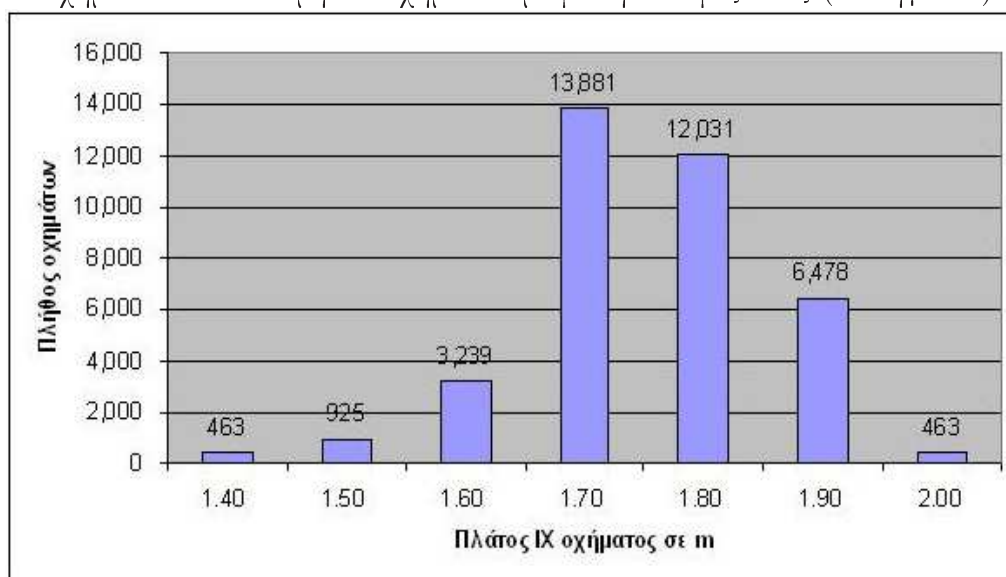


Σχήμα 6.2: Κατανομή ΙΧ οχημάτων με βάση το μήκος τους (Κατηγ:ΙΧ1)

για τα δίκυκλα οχήματα ('DK1','DK2') επειδή το μήκος τους δεν υπερβαίνει τα 2.00m θεωρήσαμε το μήκος τους πλάτος, επειδή είναι δυνατόν να στοιβαχτούν κατά πλάτος στα τμήματα του γκαράζ.



Σχήμα 6.3: Κατανομή ΙΧ οχημάτων με βάση το ύψος τους (Κατηγορία IX1)



Σχήμα 6.4: Κατανομή ΙΧ οχημάτων με βάση το πλάτος τους (Κατηγορία IX1)

Για τα ΙΧ οχήματα ('IX1') τα οποία και αποτελούν τον κύριο όγκο οχημάτων (βλ. Σχήμα 6.1) ακολουθήσαμε την εξής μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών. Από το περιοδικό Τέσσερις Τροχοί [10] σε ένα δείγμα 81 μοντέλων ευρείας κυκλοφορίας όλων των εταιρειών, μετρήσαμε τα μήκη των οχημάτων.

Την ίδια κατανομή που είχαν τα μήκη του δείγματος των 81 οχημάτων κάναμε και στα μήκη του σύνολο των 37.480 ΙΧ οχημάτων που ταξίδεψαν με το πλοίο ΛΑΤΩ από 01/01/2004 – 31/12/2004. Η κατανομή αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.

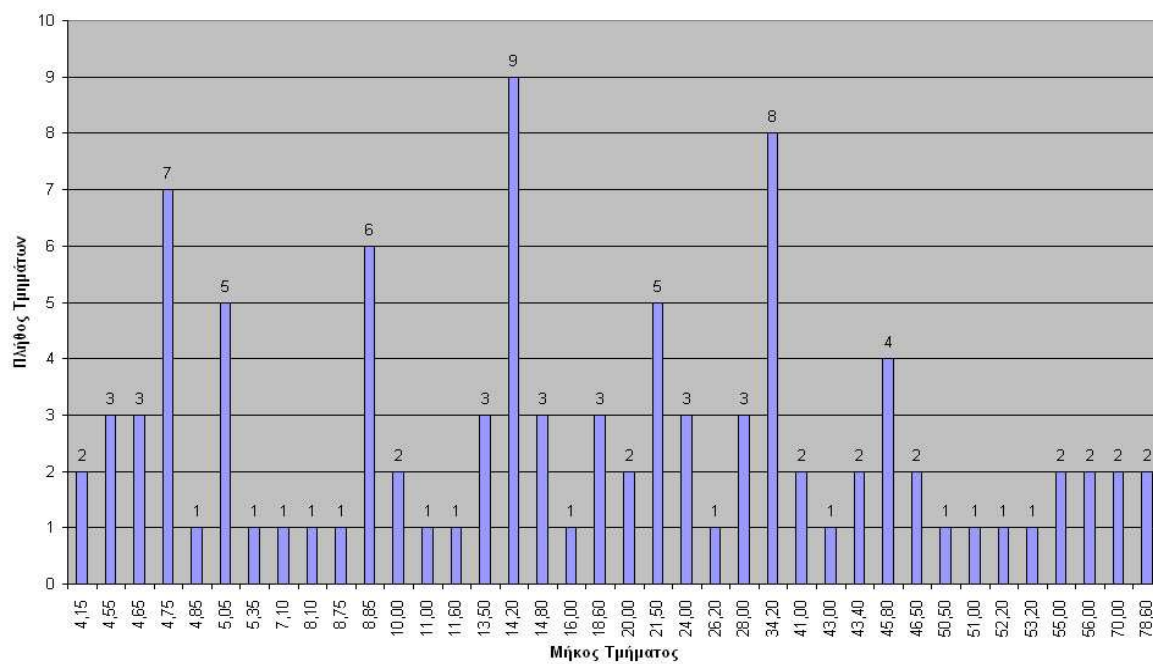
Στο ύψος των οχημάτων αυτής της κατηγορίας δόθηκαν τιμές από 1.10m μέχρι 2.20m ανάλογα με το μήκος τους. Η κατανομή αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.3. Αντίστοιχα στο πλάτος δόθηκαν τιμές από 1.40m μέχρι 2.00m ανάλογα με το μήκος τους. Η κατανομή αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.4.

Τα μεγέθη αυτά σύμφωνα και με την εμπειρία των ανθρώπων που ασχολούνται με τη φόρτωση φαίνεται να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

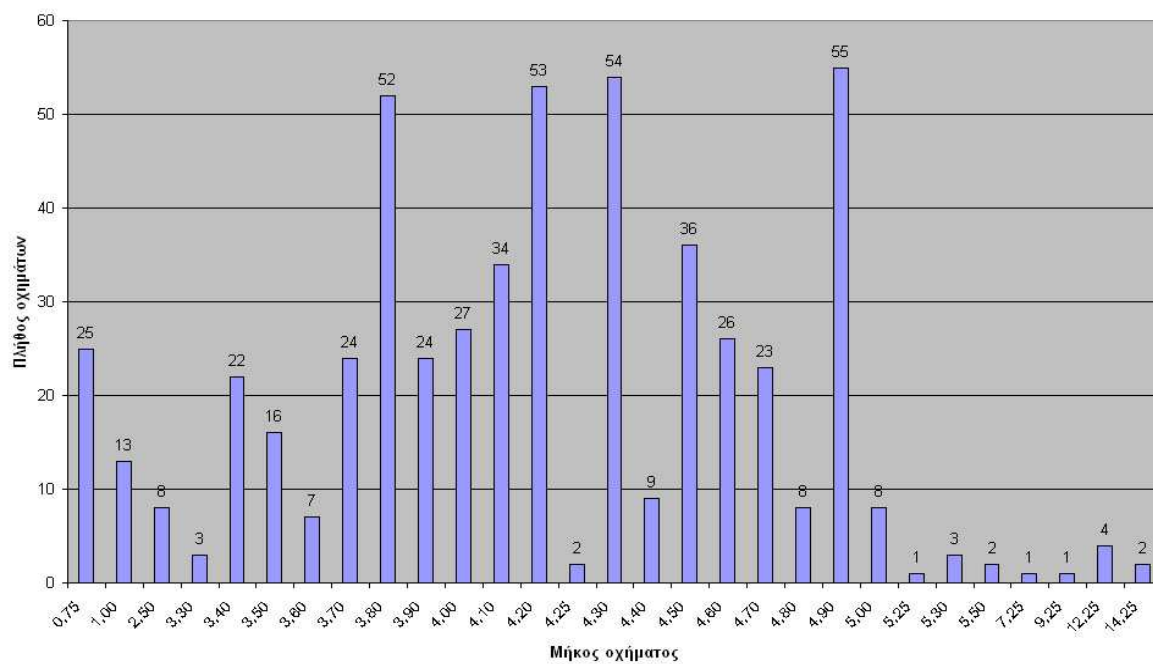
Με ανάλογο τρόπο προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που δεν ήταν διαθέσιμα και για τις υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων. Για να είναι πιο πλήρης η εικόνα των μεγεθών που περιγράφηκαν σ' αυτή την παράγραφο, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οχημάτων του δείγματος δεδομένων μετά την κανονικοποίηση που περιγράφηκε παραπάνω και εφαρμόστηκε σ' αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Πίνακα Γ'.3, Παράρτημα Γ'.

Το γκαράζ του πλοίου χωρίστηκε σε 107 τμήματα με αρίθμηση από 1 – 107. Το 107ο τμήμα είναι η έξοδος e του πλοίου. Από τα τμήματα αυτά τα (98, 99, 100, 101) είναι πλάτους 3m και προορίζονται κατ' αρχήν για την φόρτωση φορτηγών οχημάτων. Το μήκος τους είναι 159.20m. Τα υπόλοιπα τμήματα προορίζονται για την φόρτωση ΙΧ οχημάτων και έχουν μήκος 2250.65m. Το συνολικό μήκος των τμημάτων που θα προσπαθήσουμε να γεμίσουμε είναι 2326.15m. Όπως είπαμε και προηγουμένως κάποια από τα τμήματα του γκαράζ τα οποία καθυστερούν την φόρτωση δεν θα χρησιμοποιηθούν. Στο σχήμα 6.5 φαίνεται η κατανομή των μηκών των τμημάτων του γκαράζ που θα χρησιμοποιήσουμε για τα πειράματά μας. Επίσης στο σχήμα 6.6 φαίνεται η κατανομή των μηκών των οχημάτων που θα προσπαθήσουμε να φορτώσουμε στα τμήματα του γκαράζ.

Ο ΓΜΦΟ υλοποιείται στο σύστημα μας από δύο δομές dictionary ($G = \{\}, A = \{\}$) της Python [6]. Στο Παράρτημα Ε' οι πίνακες Ε'.2 και Ε'.3 περιέχουν τα δεδομένα για την υλοποίηση του ΓΜΦΟ. Η δομή G περιέχει τις κορυφές του γράφου (τμήματα του γκαράζ)



Σχήμα 6.5: Κατανομή τμημάτων με βάση το μήκος τους



Σχήμα 6.6: Κατανομή οχημάτων με βάση το μήκος τους

οι ακμές από κάθε κορυφή δείχνουν προς την κορυφή την πλησιέστερη προς την έξοδο e του πλοίου. Η δομή A περιέχει τις ιδιότητες των τμημάτων του γκαράζ.

Section Graph

1	:	[6L]	95	:	[101L]
2	:	[6L]	96	:	[102L]
3	:	[6L]	97	:	[103L]
4	:	[6L]	98	:	[100L]
5	:	[6L]	99	:	[101L]
6	:	[95L]	100	:	[102L]
7	:	[6L]	101	:	[62L]
8	:	[11L]	102	:	[104L]
9	:	[11L]	103	:	[105L]
10	:	[11L]	104	:	[107L]
11	:	[13L]	105	:	[107L]
12	:	[15L]	106	:	[103L]

Graph Attributes

1	:	{'v_loaded': [], 's_height': 3.6, 's_cat': ['PPP'], 's_length': 12.5, 's_width': 2.12, 's_deck': 'KG', 's_orientation': 'CL', 'sv_weight': 12000.0, 's_name': 'section 001', 's_weight': 99999.99, 's_distance': 0.05}
2	:	{'v_loaded': [], 's_height': 3.6, 's_cat': ['PPP'], 's_length': 12.5, 's_width': 2.12, 's_deck': 'KG', 's_orientation': 'CL', 'sv_weight': 12000.0, 's_name': 'section 002', 's_weight': 99999.99, 's_distance': 0.05}

Vehicles List

1	:	{'v_ldist': 0, 's_descr': '', 'v_wdist': 0.25, 'v_fare': 0.0, 'v_height': 1.7, 'v_width': 1.8, 'v_length': 4.65, 'v_weight': 1250.0, 'cat_cd': 'IX1'}
2	:	{'v_ldist': 0, 's_descr': '', 'v_wdist': 0.40, 'v_fare': 87.9, 'v_height': 3.20, 'v_width': 2.80, 'v_length': 7.30, 'v_weight': 5084.0, 'cat_cd': 'FRK'}

Σχήμα 6.7: Δείγμα δεδομένων δομών G, A, V

Η λίστα οχημάτων V υλοποιείται κι αυτή με μια δομή dictionary $V = \{\}$ της Python. Τα δεδομένα των οχημάτων περιέχονται στον πίνακα Ε'4 στο Παράρτημα Ε'. Στο Σχήμα 6.7 δίνεται μια εικόνα των δεδομένων που περιγράφηκαν παραπάνω, έτσι όπως αναπαρίστανται από τις δομές που ορίστηκαν.

6.1.2 Πείραμα με τον Άπληστο αλγόριθμο

Θα δοκιμάσουμε τον άπληστο αλγόριθμο με τα δεδομένα των ημερομηνιών 01-08-2004 09:00:00, 04-08-2004 09:00:00, 13-08-2004 09:00:00. Στα σχήματα 6.8, 6.9 και 6.10 φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που έδωσε ο αλγόριθμος και μια εκτίμηση του ακάλυπτου χώρου.

-INPUT DATA 01-08-2004 09:00:00

-Vehicles found				-OUTPUT DATA Vehicles loaded			
-----				-----			
CRM	-->	2	11.00	CRM	-->	2	11.00
DK1	-->	25	18.75	DK1	-->	25	18.75
DK2	-->	13	13.00	DK2	-->	13	13.00
FRK	-->	5	34.00	FRK	-->	5	34.00
FRT	-->	6	71.00	FRT	-->	6	71.00
IX1	-->	492	2061.20	IX1	-->	492	2061.20
-----				-----			
		543	2208.95			543	2208.95
Section/Totals			2326.15 meters length				
Vehicles/Totals(543)			2238.85 meters length				

Diff			87.30 meters length				

Σχήμα 6.8: Αποτελέσματα για την 01-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.11 η μέθοδος αυτή αφήνει πολλά ακάλυπτα διαστήματα με μικρό μήκος σε κάθε τμήμα στα οποία δεν είναι δυνατόν να σταθμεύσει όχημα. Τα τμήματα που καλύφθηκαν πλήρως είναι 9. Βέβαια όπως θα δούμε και αργότερα στο ίδιο κεφάλαιο, όταν στο ίδιο δρομολόγιο προσθέσουμε επιπλέον οχήματα τα τμήματα αυτά αυξάνουν περισσότερο.

-INPUT DATA 04-08-2004 09:00:00

-Vehicles found			-OUTPUT DATA Vehicles loaded		
-----			-----		
BGT	-->	2 4.00	BGT	-->	2 4.00
CRM	-->	1 5.50	CRM	-->	1 5.50
DK1	-->	14 10.50	DK1	-->	14 10.50
DK2	-->	4 4.00	DK2	-->	4 4.00
FRK	-->	2 17.00	FRK	-->	2 17.00
FRT	-->	6 63.00	FRT	-->	6 63.00
IX1	-->	495 2087.20	IX1	-->	495 2087.20
-----			-----		
		524 2191.20			524 2191.20

Section/Totals 2326.15 meters length

Vehicles/Totals(524) 2219.40 meters length

Diff 106.75 meters length

Σχήμα 6.9: Αποτελέσματα για την 04-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)

-INPUT DATA 13-08-2004 09:00:00

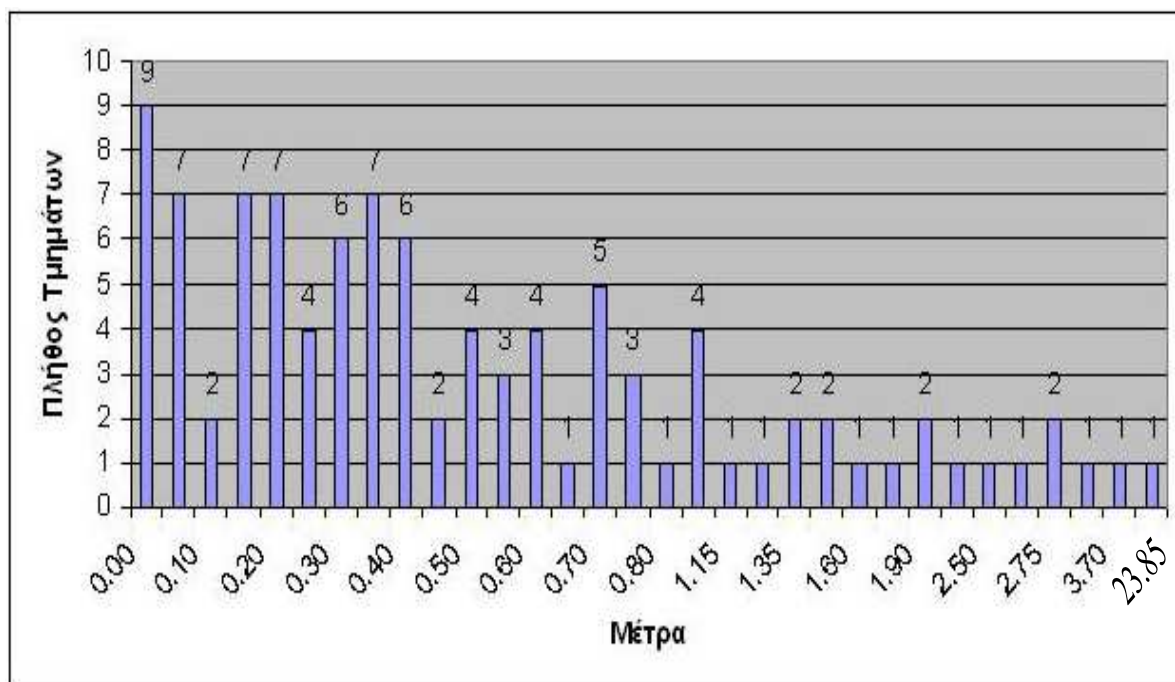
-Vehicles found			-OUTPUT DATA Vehicles loaded		
-----			-----		
BGT	-->	1 2.00	BGT	-->	1 2.00
DK1	-->	36 27.00	DK1	-->	36 27.00
DK2	-->	27 27.00	DK2	-->	27 27.00
FRK	-->	1 4.00	FRK	-->	1 4.00
FRT	-->	4 46.00	FRT	-->	4 46.00
IX1	-->	500 2093.60	IX1	-->	500 2093.60
-----			-----		
		569 2199.60			569 2199.60

Section/Totals 2326.15 meters length

Vehicles/Totals(569) 2229.30 meters length

Diff 96.85 meters length

Σχήμα 6.10: Αποτελέσματα για την 13-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)



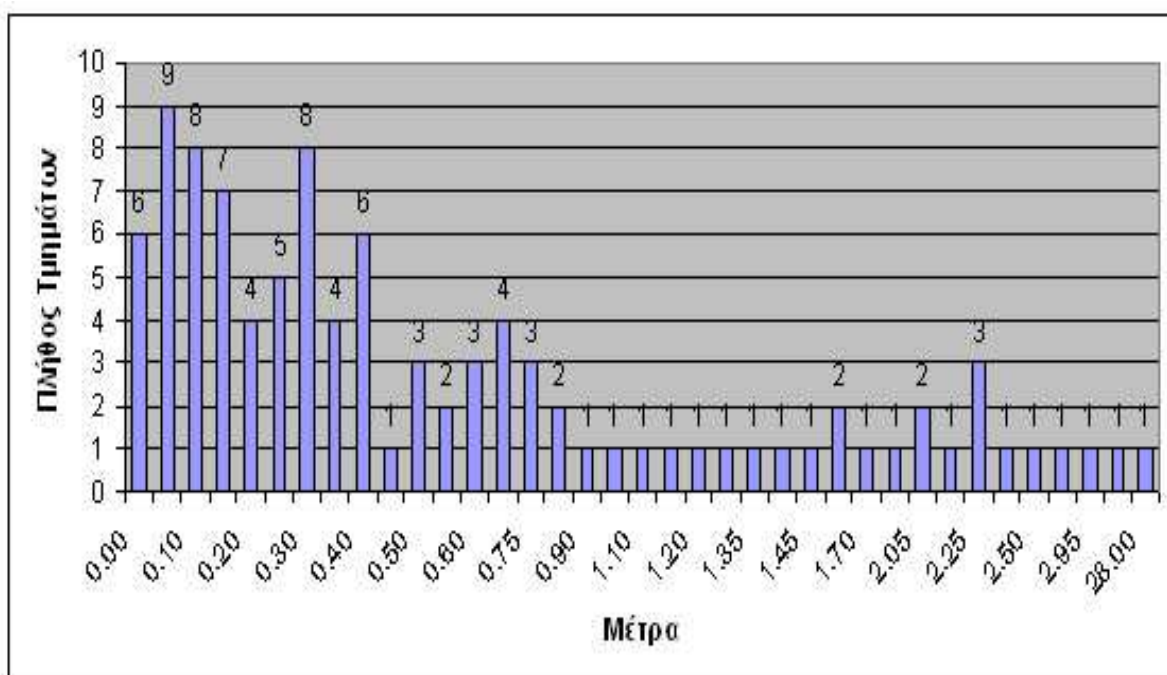
Σχήμα 6.11: Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 01-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)

6.1.3 Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο

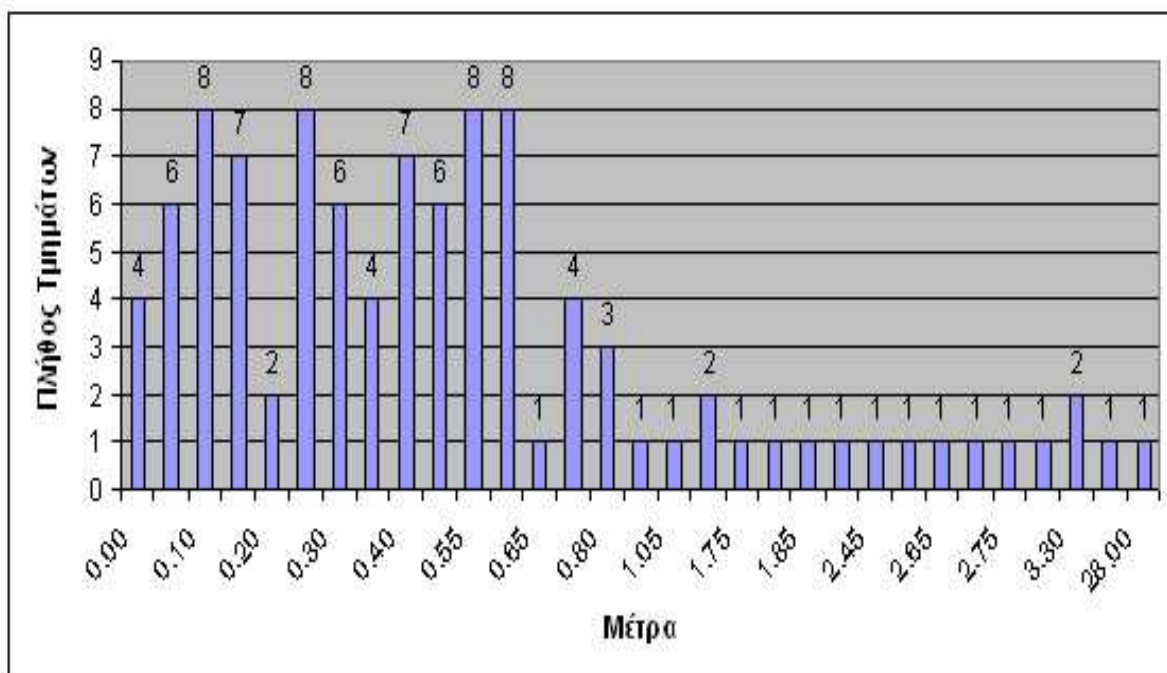
Δοκιμάζουμε αντίστοιχα τον αλγόριθμο Best_Fit με τα δεδομένα των ημερομηνιών 01-08-2004 09:00:00, 04-08-2004 09:00:00, 13-08-2004 09:00:00. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά της περίπτωσης του άπληστου αλγόριθμου και φαίνονται αναλυτικά στα Σχήματα 6.8, 6.9 και 6.10.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.14 τα ακάλυπτα διαστήματα των τμημάτων μειώθηκαν σημαντικά και επίσης αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των τμημάτων που καλύφθηκαν πλήρως, από 9 στη μέθοδο του άπληστου σε 50 τώρα. Και στα άλλα δύο δρομολόγια τα αποτελέσματα είναι τα ίδια.

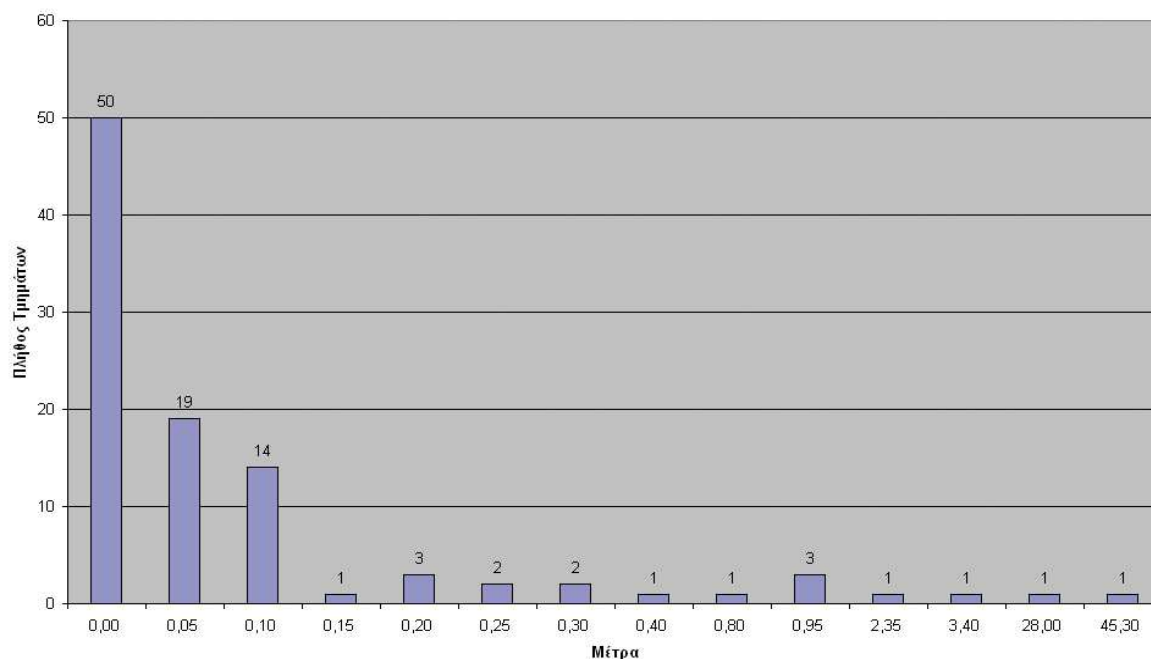
Συγκρίνοντας μεταξύ τους, τα Σχήματα 6.11 και 6.14 παρατηρούμε ότι τα τμήματα τα οποία αφήνουν ακάλυπτο διάστημα μικρότερο από το μήκος του μικρότερου οχήματος μειώνονται απότομα στην μέθοδο Best_Fit, ενώ τα τμήματα που καλύπτονται πλήρως φτάνουν σε ποσοστό $\simeq 30\%$ των τμημάτων που είναι χωρισμένο το γκαράζ.



Σχήμα 6.12: Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 04-08-2004 09:00:00 (greedy)



Σχήμα 6.13: Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 13-08-2004 09:00:00 (Άπληστος)



Σχήμα 6.14: Κατανομή ακάλυπτων μηκών τμημάτων της 01-08-2004 09:00:00 (Best_Fit)

Στο δρομολόγιο της 01 – 08 – 2004 προσπαθήσαμε να προσθέσουμε κι άλλα οχήματα προκειμένου να καλύψουμε τα κενά τμήματα και να δούμε τα όρια των αλγορίθμων που παρουσιάσαμε. Για να είναι συγκρίσιμα τα στοιχεία προσθέσαμε οχήματα απο τις κατηγορίες DK1, DK2 και IX1. Στον Πίνακα 6.2 δίνεται για κάθε μία απο τις μεθόδους το πλήθος των οχημάτων που χωράνε επιπλέον στο πλοίο.

01-08-2004 09:00:00	DK1, DK2	IX1
Άπληστος	27	5
Best_Fit	22	11

Πίνακας 6.2: Επιπλέον οχήματα

6.2 Πείραμα με συνθετικά δεδομένα

Στη παράγραφο αυτή θα δοκιμάσουμε και τους δύο αλγόριθμους με συνθετικά δεδομένα. Θα δημιουργήσουμε ένα εικονικό πλοίο και θα χωρίσουμε το γκαράζ του σε τμήματα

τυχαίου μήκους. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να γεμίσουμε το γκαράζ με ένα αριθμό οχημάτων των οποίων το συνολικό μήκος θα είναι ίσο με το συνολικό μήκος των τμημάτων του γκαράζ.

6.2.1 Γκαράζ ΛΑΤΩ, οριακή φόρτωση

Πριν όμως θα δούμε πως συμπεριφέρονται οι αλγόριθμοι που παρουσιάσαμε όταν προσπαθούμε να φορτώσουμε στο γκαράζ του πλοίου ΛΑΤΩ οχήματα των οποίων το συνολικό μήκος είναι ίσο ή πολύ κοντά με το συνολικό μήκος των τμημάτων του γκαράζ.

6.2.1.1 Πείραμα με τον Άπληστο αλγόριθμο

Πειραματιζόμαστε με τον άπληστο αλγόριθμο δίνοντας επιπλέον αριθμό οχημάτων προς φόρτωση από τα οχήματα που είχαμε στο δρομολόγιο της 01/08/2004 09 : 00 : 00. Προσπαθούμε να δούμε την συμπεριφορά του αλγορίθμου όταν το συνολικό μήκος των προς φόρτωση οχημάτων είναι σχεδόν ίσο με το συνολικό μήκος των τμημάτων του γκαράζ. Στο σχήμα 6.15 φαίνονται τα αποτελέσματα από το τρέξιμο του άπληστου αλγόριθμου όταν δώσουμε οχήματα των οποίων το συνολικό μήκος (2326.65m) είναι πολύ κοντά στο συνολικό μήκος των τμημάτων του γκαράζ (2326.15m). Δώσαμε επιπλέον 28 οχήματα κατηγορίας 'IX1' και από αυτά φορτώθηκαν μόνο 6. Παρατηρούμε ότι δεν χώρεσαν αρκετά οχήματα, ενώ το ακάλυπτο μέρος του γκαράζ είναι αρκετά μεγάλο 62.10m. Στο σχήμα 6.15 παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία εισόδου και εξόδου και η κατανομή των ακάλυπτων τμημάτων. Μπορούμε να συγκρίνουμε με τα πραγματικά δεδομένα και το αποτέλεσμα που έδωσε ο άπληστος αλγόριθμος στα σχήματα 6.8 και 6.11

6.2.1.2 Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο

Χρησιμοποιούμε και εδώ για να δοκιμάσουμε σε οριακές συνθήκες τον Best_Fit αλγόριθμο τα ίδια στοιχεία εισόδου που χρησιμοποιήσαμε και για τον άπληστο. Στο σχήμα 6.16 φαίνονται τα αποτελέσματα από το τρέξιμο του άπληστου αλγορίθμου όταν δώσουμε οχήματα των οποίων το συνολικό μήκος (2326.65m) είναι πολύ κοντά στο συνολικό μήκος

-INPUT DATA Vehicles found				-OUTPUT DATA Vehicles loaded			
CRM	-->	2	11.00	CRM	-->	2	11.00
DK1	-->	25	18.75	DK1	-->	25	18.75
DK2	-->	13	13.00	DK2	-->	13	13.00
FRK	-->	5	34.00	FRK	-->	5	34.00
FRT	-->	6	71.00	FRT	-->	6	71.00
IX1	-->	520	2178.90	IX1	-->	498	2086.10
		571	2326.65			549	2233.85

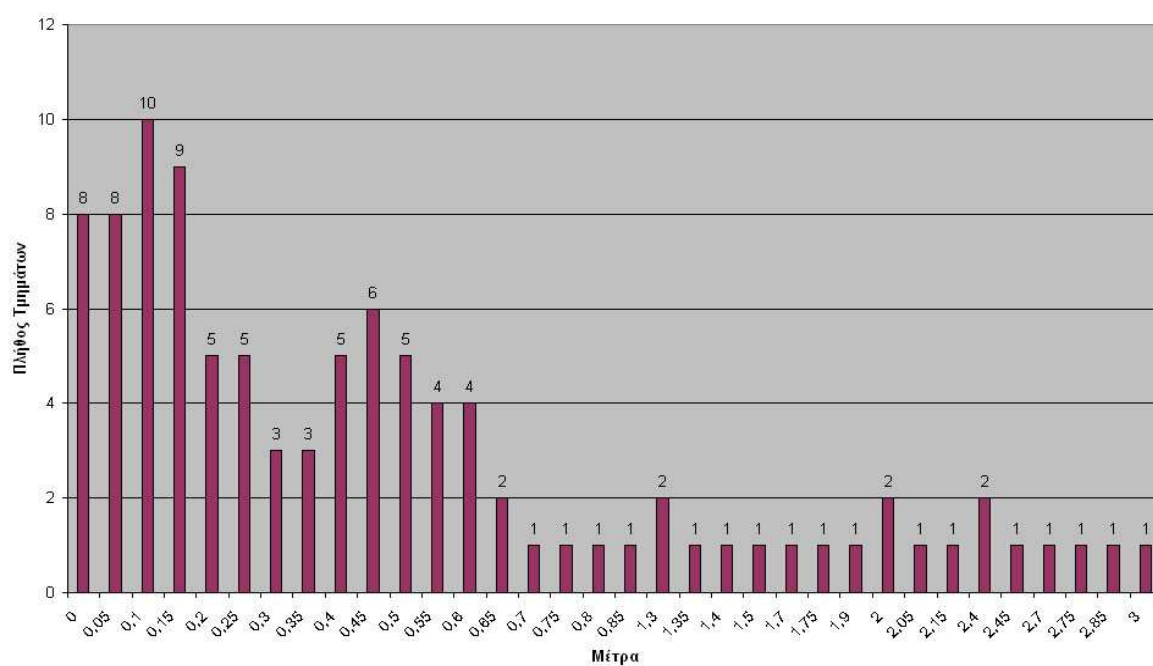
TRUCKS Lanes 167.95 meters length

PAX Lanes 2158.20 meters length

Section/Totals 2326.15 meters length

Vehicles/Totals(549) 2264.05 meters length

Diff 62.10 meters length



Σχήμα 6.15: Αποτελέσματα του (Άπληστου) για οχήματα == γκαράζ

των τμημάτων του γκαράζ (2326.15m). Δώσαμε επιπλέον 28 οχήματα όπως και στον άπληστο κατηγορίας 'IX1' και από αυτά φορτώθηκαν 18, 12 παραπάνω απ' ότι στον άπληστο, ενώ το ακάλυπτο μέρος του γκαράζ μειώθηκε σημαντικά από 62.10m σε 18.20m. Στο σχήμα 6.16 παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία εισόδου και εξόδου και η κατανομή των ακάλυπτων τμημάτων. Μπορούμε να συγκρίνουμε με τα πραγματικά δεδομένα και το αποτέλεσμα που έδωσε ο άπληστος αλγόριθμος στα σχήματα 6.8 και 6.14

6.2.2 Τυχαίο Γκαράζ, με οριακή φόρτωση

Δημιουργούμε ένα νέο διαμερισμό τμημάτων γκαράζ με τυχαία μήκη και ένα πλήθος οχημάτων τέτοιο ώστε το άθροισμα των μηκών τους να είναι ίσο με το άθροισμα των μηκών των τμημάτων του γκαράζ. Στα σχήματα 6.17 και 6.18 αντίστοιχα παρουσιάζεται η κατανομή των μηκών των τμημάτων και των οχημάτων.

6.2.2.1 Πείραμα με τον άπληστο αλγόριθμο

Πειραματιζόμαστε με τον νέο τυχαίο διαμερισμό τμημάτων γκαράζ που φτιάξαμε και διαφορετικό πλήθος οχημάτων των οποίων το συνολικό μήκος είναι ίσο με το συνολικό μήκος των τμημάτων του γκαράζ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.19 με τον άπληστο αλγόριθμο έμειναν εκτός γκαράζ 15 οχήματα. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η κατανομή των ακάλυπτων τμημάτων του γκαράζ όπου διαπιστώνουμε όπως και στις άλλες περιπτώσεις του άπληστου αλγόριθμου ότι υπάρχουν αρκετά ακάλυπτα τμήματα με σημαντικό μήκος.

6.2.2.2 Πείραμα με τον Best_Fit αλγόριθμο

Πειραματιζόμαστε με τα ίδια δεδομένα όπως και στην προηγούμενη παράγραφο. Στο σχήμα 6.20 βλέπουμε τα αποτελέσματα από το τρέξιμο του Best_Fit αλγόριθμου με τα νέα συνθετικά δεδομένα. Παρατηρούμε ότι και σ' αυτή την περίπτωση έμειναν εκτός τμημάτων μόνο 5 οχήματα, σημαντικά λιγότερα όμως σε σχέση με τον άπληστο αλγόριθμο. Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε και την κατανομή των ακάλυπτων τμημάτων, τα οποία στη συντριπτική τους πλειοψηφία το μήκος τους είναι μικρότερο από αυτό του οχήματος με το μικρότερο

-INPUT DATA Vehicles found				-OUTPUT DATA Vehicles loaded			
CRM	-->	2	11.00	CRM	-->	2	11.00
DK1	-->	25	18.75	DK1	-->	25	18.75
DK2	-->	13	13.00	DK2	-->	13	13.00
FRK	-->	5	34.00	FRK	-->	5	34.00
FRT	-->	6	71.00	FRT	-->	6	71.00
IX1	-->	520	2178.90	IX1	-->	510	2129.40
571 2326.65				561 2277.15			

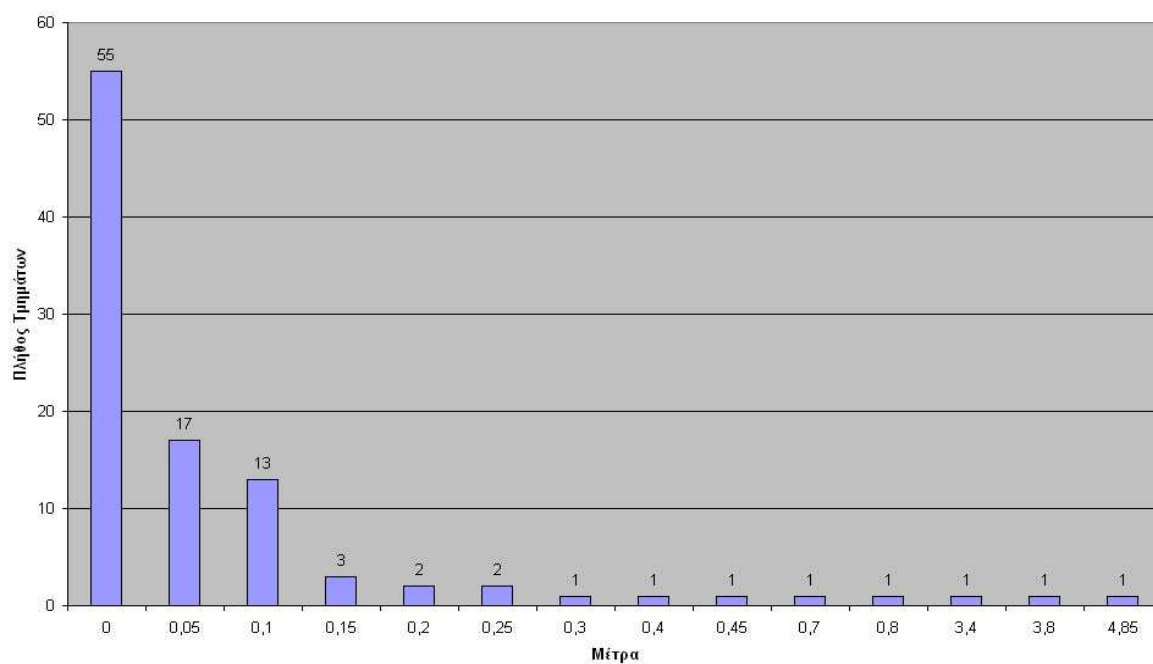
TRUCKS Lanes 167.95 meters length

PAX Lanes 2158.20 meters length

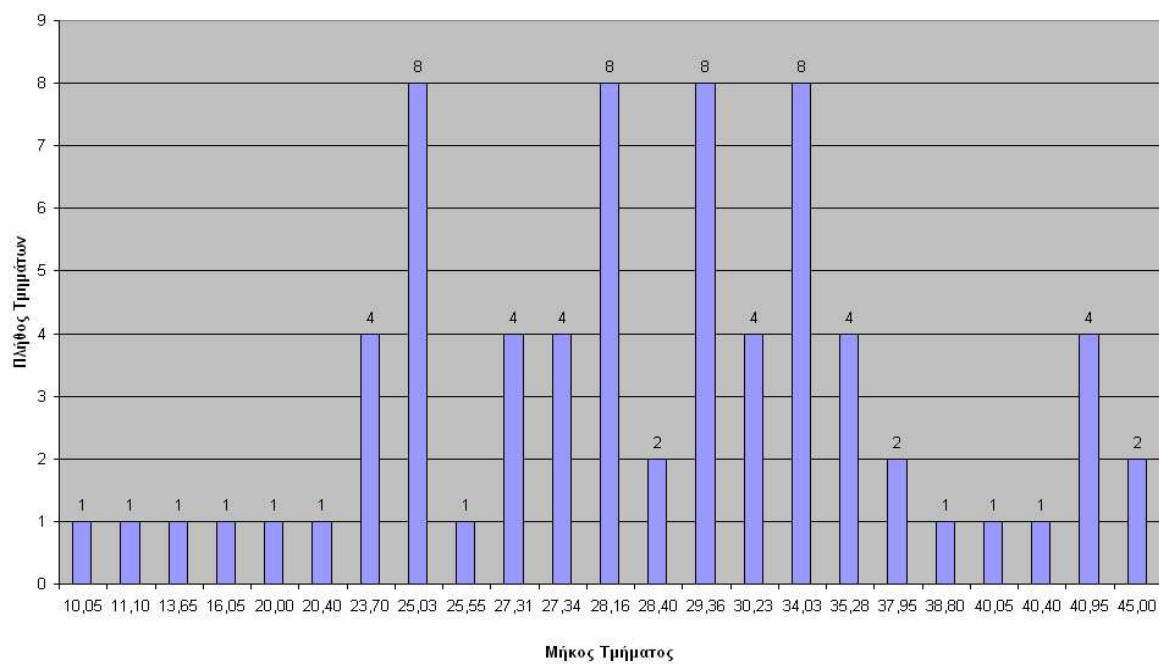
Section/Totals 2326.15 meters length

Vehicles/Totals(557) 2307.95 meters length

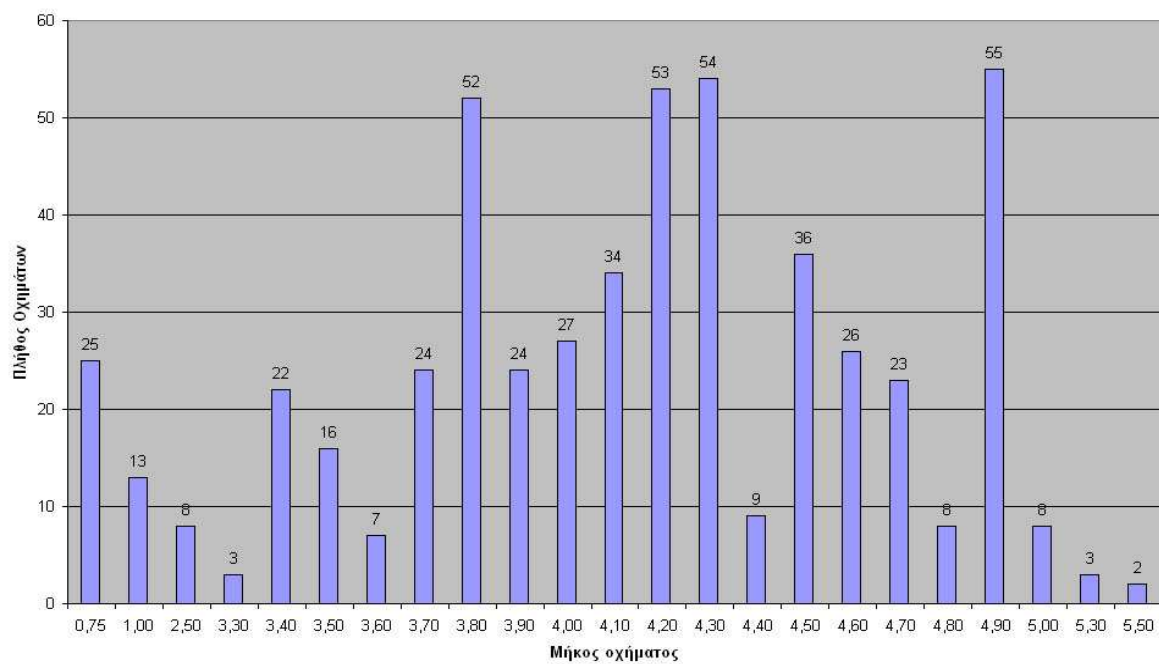
Diff 18.20 meters length



Σχήμα 6.16: Αποτελέσματα του (Best_Fit) για οχήματα == γκαράζ



Σχήμα 6.17: Κατανομή τμημάτων με βάση το μήκος τους

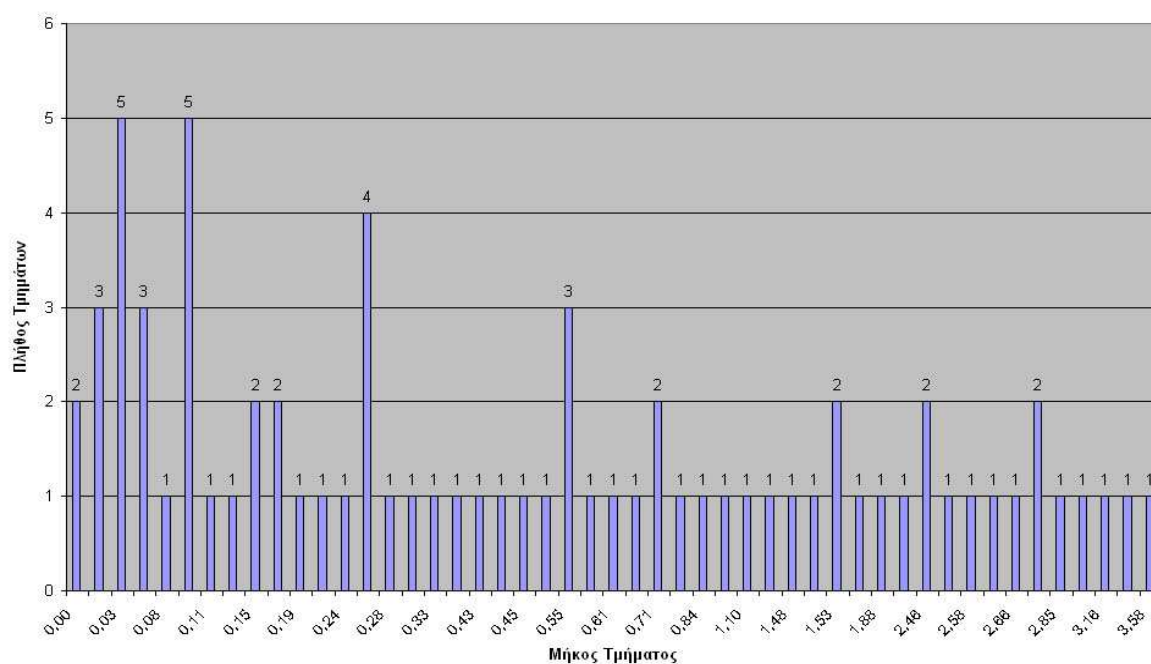


Σχήμα 6.18: Κατανομή οχημάτων με βάση το μήκος τους

-INPUT DATA Vehicles found				-OUTPUT DATA Vehicles loaded			
CRM	-->	2	11.00	CRM	-->	2	11.00
DK1	-->	25	18.75	DK1	-->	25	18.75
DK2	-->	13	13.00	DK2	-->	13	13.00
IX1	-->	492	2061.20	IX1	-->	477	2000.90
		532	2103.95			517	2039.15

Section/Totals 2130.63 meters length
Vehicles/Totals(517) 2065.00 meters length

Diff 65.63 meters length



Σχήμα 6.19: Αποτελέσματα του άπληστου

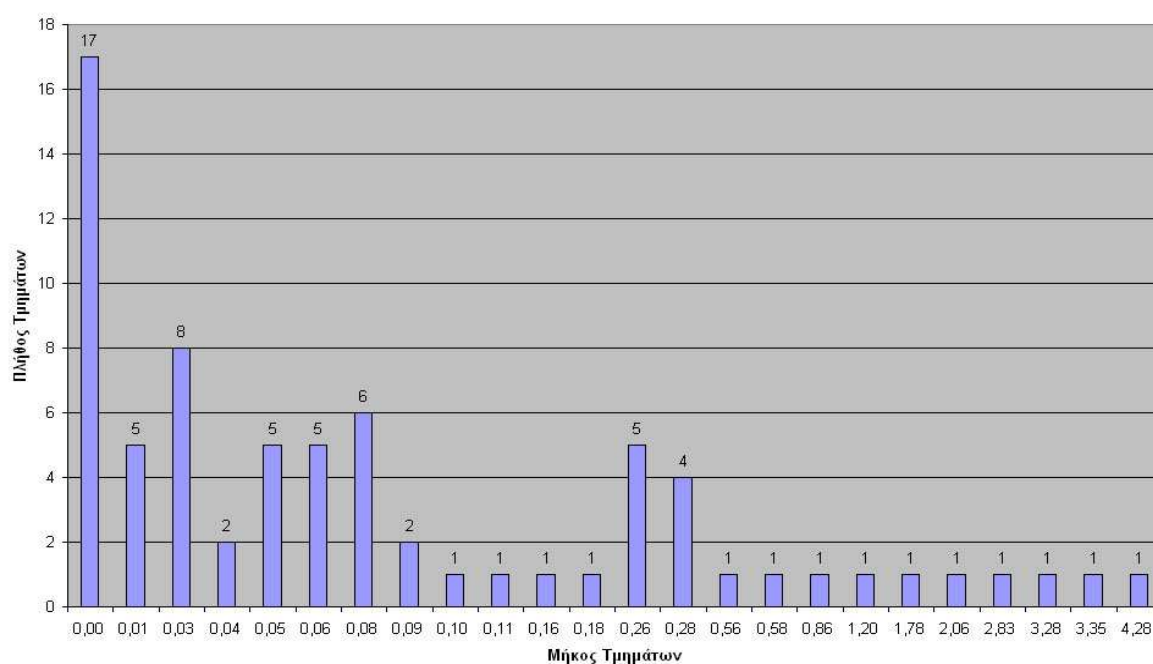
μήκος (0.85m).

-INPUT DATA Vehicles found				-OUTPUT DATA Vehicles loaded			
CRM -->	2	11.00		CRM -->	2	11.00	
DK1 -->	25	18.75		DK1 -->	25	18.75	
DK2 -->	13	13.00		DK2 -->	13	13.00	
IX1 -->	492	2061.20		IX1 -->	487	2036.20	
	532	2103.95			527	2078.95	

Section/Totals 2130.63 meters length

Vehicles/Totals(527) 2105.30 meters length

Diff 25.33 meters length



Σχήμα 6.20: Αποτελέσματα του (Best_Fit)

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα - Μελλοντική Εργασία

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προέκυψαν καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος φόρτωσης οχημάτων που περιγράψαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ένα βασικό συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε τελειώνοντας αυτή την εργασία είναι ότι το πρόβλημα της φόρτωσης ενός πλοίου με οχήματα είναι σύνθετο και πολύ-παραμετρικό. Μια ολοκληρωμένη θεώρηση του προβλήματος απαιτεί τη μελέτη και την αντιμετώπιση πλήθους πολύπλοκων ζητημάτων. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετήσαμε ορισμένα από τα ζητήματα που εμπλέκονται στο πρόβλημα και προσπαθήσαμε να δώσουμε ικανοποιητικές λύσεις. Ορισμένα από τα ζητήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν παραμένουν ανοιχτά ενώ για τα άλλα είναι πιθανόν σε μερικές περιπτώσεις να υπάρχουν δυνατότητες για καλύτερη αντιμετώπιση.

Τα θέματα που πρέπει να αναπτυχθούν για μελλοντική εργασία είναι:

- Βελτίωση μαθηματικού υπόβαθρου μοντελοποίησης.
- Προσθήκη στους αλγόριθμους time window τεχνικής για την φόρτωση οχημάτων με διαφορετικά λιμάνια αποβίβασης.
- Ομοιόμορφη κατανομή οχημάτων κατά βάρος.
- Μοντελοποίηση της οργάνωσης των τμημάτων του γκαράζ.

- Εύρεση δυναμικού αλγόριθμου για την οργάνωση των τμημάτων του γκαράζ.

Βιβλιογραφία

- [1] ΣΠ. ΖΟΛΩΤΑΣ, *Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου*, ΓΡ. ΦΟΥΝΤΑΣ, 1985.
- [2] ΥΕΝ ΦΕΚ Β 5 14/01, *ΓΕΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΑ 14*, Εθνικό Τυπογραφείο, 1997.
- [3] David Pisinger, *Heuristics for the container loading problem*, European Journal of Operational Research 141, 2002.
- [4] E.E. Bischoff, *Three-dimensional packing of items with limited load bearing strength*, European Journal of Operational Research 168, 2006.
- [5] Gerhard Wascher, Heike Haubner, Holger Schumann, *An improved typology of cutting and packing problems*, European Journal of Operational Research 183, 2005.
- [6] Guido van Rossum, *Python Reference Manual*, Fred L. Drake, Jr., 2006.
- [7] Harald Dyckhoff, *A typology of cutting and packing problems*, European Journal of Operational Research 44, 1990.
- [8] Hopper,E., Turton B.C.H., *An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem*, European Journal of Operational Research 128, p34-57, 2001.
- [9] <http://el.wikipedia.org>, *Τεχνολογία πλοίου*.

- [10] <http://www.4troxoi.gr>, *Τεχνικά Τιμές*.
- [11] <http://www.anek.gr>, *Στόλος*.
- [12] Klaus Jansen, Rob van Stee, *On Strip Packing With Rotation*, ACM, 2005.
- [13] Leung, T.W., Yung, C.H., Troutt, M.D., *Applications of genetic search and simulated annealing to the two-dimensional non-guillotine cutting stock problem*, Computers and Industrial Engineering 40, p201-214 Issue 3, 2001.
- [14] Loic Delaitre, Anjali Awasthi, Hugues Molet, Dominique Breuil, *A MULTIPLE CONTAINER LOADING PROBLEM BASED ALGORITHM FOR EFFICIENT ALLOCATION OF GOODS TO VEHICLES*, Proceedings of the 18th IASTED International Conference MODELING AND SIMULATION, 2007.
- [15] Michael Eley, *Solving container loading problems by block arrangement*, European Journal of Operational Research 141, 2002.
- [16] Thomas Dean and Lloyd Greenwald, *A Formal Description of the Transportation Problem*, CS, Brown University, 1992.
- [17] Vijay V. Vazirani, *Approximation Algorithms*, Springer, 2001.
- [18] Zhang, D., Kang, Y. and Deng, A., *A new heuristic recursive algorithm for the strip rectangular packing problem*, Computers and Operations Research 33, p2209-2217, 2006.

Παράρτημα Α΄

Συντομογραφίες

CRS Computer Reservation System

IMO International Maritime Organization

ΓΜΦΟ Γράφος Μοντέλου Φόρτωσης Οχημάτων

Ε/Ο Επιβατηγό/Οχηματαγωγό

ΙΧ Ιδιωτικής Χρήσεως

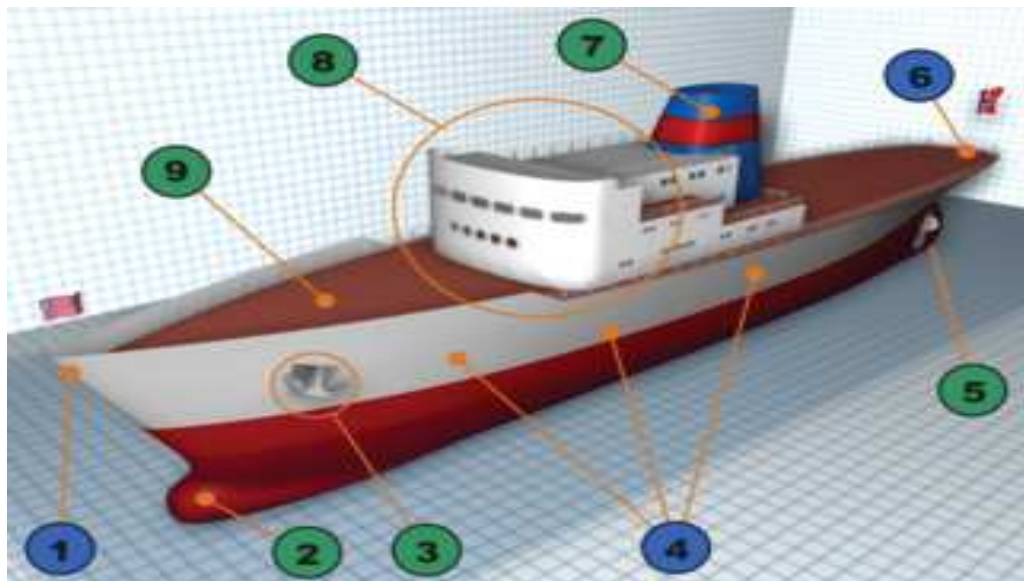
ΜΦΟ Μοντέλο Φόρτωσης Οχημάτων

ΥΕΝ Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας

Παράρτημα Β΄

Τεχνολογία Πλοίου

Το κύριο σώμα του πλοίου [9] σκάφος (hull) διακρίνεται σε τρία μέρη: Το μπροστινό καλούμενο πλώρη (fore), το μεσαίο και μεγαλύτερο καλούμενο μέσο (admit) και το πίσω μέρος καλούμενο πρύμνη (aft) (βλέπε σχήμα Β΄.1).



Σχήμα Β΄.1: Μέρη του πλοίου (γενικό σχέδιο)

1:Πλώρη, 2:Βολβοειδής πλώρη, 3:άγκυρα, 4:Έξαλα πλοίου, 5:Έλικας και Πηδάλιο, 6:Πρύμνη, 7:Καπνοδόχος, 8:Μεσόστεγο ή Γέφυρα πλοίου, και 9:Κατάστρωμα

Η γραμμή περιφερειακά του πλοίου όπου ακριβώς και η επιφάνεια της θάλασσας, όταν αυτό πλέει ασφαλώς, καλείται ίσαλος γραμμή ή ίσαλος (water line). Όλα τα ορατά μέρη του πλοίου δηλ. από την ίσαλο και πάνω λέγονται έξαλα (freeboard) σε αντίθεση με τα υπό την ίσαλο μέρη του πλοίου καλούμενα ύφαλα (bottom). Η πλευρική επιφάνεια των εξάλων προς τη πλώρη που καμπυλώνει (εσωκοίλωμα), καλείται παρειά ή μάσκα (bow) ενώ η αντίστοιχη στη πρύμνη λέγεται ισχίο ή γοφός (quarter).

Διαμήκης γραμμή (central line) λέγεται η νοητή εκείνη που χωρίζει το πλοίο σε δύο ίσα μέρη από πλώρη μέχρι πρύμη, το δεξιό (starboard) και το αριστερό (port) και έτσι νοείται και ο όρος **διαμήκης άξονας**. Ναυπηγικά τα δύο αυτά μέρη - πλευρές ενώνονται στο κάτω μέρος την τρύπιδα ή καρένα (keel) η οποία στη μεν πλώρη καταλήγει στη στείρα ή κοράκι εις δε τη πρύμη στο ποδόστημα (stern). Ευκολονόητο ότι η διαμήκης ενώνει τα άνω ακραία σημεία της στείρας και του ποδοστήματος. Έπ' αυτής της διαμήκους οριζόμενη επιφάνεια καλείται κατάστρωμα ή κουβέρτα (deck) διακρινόμενο σε κατώτατο (lower deck), μέσο (middle deck), κύριο (main deck), και ανώτατο (upper deck) (όχι απαραίτητα όλα σε ένα πλοίο). Όλες οι κατασκευές από το ανώτατο ή κύριο κατάστρωμα καλούνται **υπερκατασκευές** (superstructures). Η υπερκατασκευή στη πλώρη ονομάζεται **πρόστεγο** (forecastle). Η υπερκατασκευή στο μέσον ονομάζεται **γέφυρα** (bridge) και εκείνη της πρύμης **επίστεγο** (poop).

Το εσωτερικό του πλοίου, ανάλογα με το τύπο του, χωρίζεται σε κύτη ή αμπάρια (holds) ή σε δεξαμενές (tanks) για φορτίο, σε δεξαμενές για εφόδια (π.χ. καύσιμα, νερό, έρμα κλπ), στο μηχανοστάσιο (engine room), στο λεβητοστάσιο (stokehold), στο αντλιοστάσιο (pumps room) μόνο για δεξαμενόπλοια και στα διαμερίσματα του πληρώματος (crew quarters). Επίσης για λόγους ασφαλείας υπάρχουν οι δεξαμενές ζυγοστάθμισης πλώρης (fore-peak tank) και πρύμης (after-peak tank). Το κατώτατο μέρος του πλοίου εσωτερικά ονομάζεται πυθμένας ή γάστρα (bottom) και για λόγους επίσης ασφαλείας τα περισσότερα πλοία είναι διπύθμενα (double bottoms) δηλ. με δύο πυθμένες. Στην υπερκατασκευή της γέφυρας φέρονται σχεδόν το σύνολο των Ναυτιλιακών οργάνων, το διαμέρισμα του Πλοιάρχου και των Αξιωματικών του πλοίου, οι τραπεζαρίες και η κουζίνα του πλοίου.

Τέλος τα πλοία φέρουν διάφορους μηχανισμούς όπως πηδαλιουχίας (steering gear), φορτοεκφορτώσεων (cargo winches), αγκυροβολίας (capstan), σωστικούς, ιστιοφορικούς, πτερύγια κ.ά

Παράρτημα Γ΄

Αναγνώριση Χώρου - Πλοίο ΛΑΤΩ

Το πλοίο ΛΑΤΩ [11] ναυπηγήθηκε στο SETODA της Ιαπωνίας και μετασκευάστηκε πλήρως το 1989. Διαθέτει δύο κύριες μηχανές. Είναι πλήρως αυτοματοποιημένο με τα πιο σύγχρονα μέσα ασφαλούς πλοήγησης. Στους χώρους του μεταφέρει 1.800 επιβάτες και 850 οχήματα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου παρουσιάζονται στον πίνακα Γ΄.1.

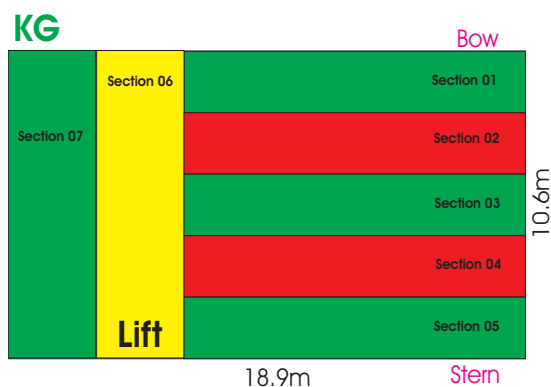


Μήκος	:188,00m
Πλάτος	: 24,00m
Βύθισμα	: 7,20m

Πίνακας Γ΄.1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά πλοίου ΛΑΤΩ

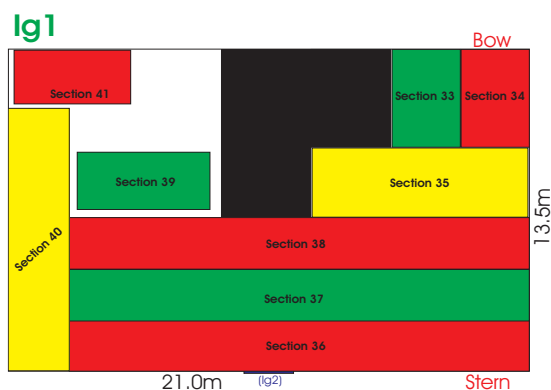
Ο χώρος στάθμευσης οχημάτων στο πλοίο ΛΑΤΩ αποτελείται από συνολική επιφάνεια $6659.13m^2$ χωρισμένη σε τέσσερις βασικές και ανεξάρτητες μεταξύ τους επιφάνειες. Συγκεκριμένα:

- Κυρίως Γκαράζ ή Wagon Deck (**WG**) το οποίο εκτείνεται σε όλη την οριζόντια επιφάνεια του πλοίου. Στο πίσω μέρος της επιφάνειας αυτής το οποίο βρίσκεται στη πρύμνη του πλοίου είναι η κεντρική είσοδος-έξοδος οχημάτων στο πλοίο. Χρησιμοποιείται κυρίως ως χώρος στάθμευσης μεγάλων οχημάτων.
- Πάνω Γκαράζ στο D Deck (**DG**) ακριβώς πάνω από το κυρίως γκαράζ καταλαμβάνοντας συνολικά τα $\frac{2}{3}$ της οριζόντιας επιφάνειας του πλοίου. Η πρόσβαση στο χώρο αυτό γίνεται από το κάτω γκαράζ μέσω κεκλιμένης διόδου από το κυρίως γκαράζ. Χρησιμοποιείται ανάλογα με την χρονική περίοδο ως χώρος στάθμευσης μικρών και μεγάλων οχημάτων.
- Κατάμπαρα, (**KG**) (βλ. σχήμα Γ΄.1) χώρος που βρίσκεται στο μέσον του πλοίου και αριστερά, κάτω από το κυρίως γκαράζ. Η πρόσβαση στο χώρο αυτό γίνεται με ασανσέρ από το κυρίως γκαράζ και χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης μικρών ασυνόδευτων οχημάτων. Επειδή η φορτοεκφόρτωση του χώρου αυτού είναι χρονοβόρα λόγω του ασανσέρ χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχει αρκετός χρόνος μεταξύ άφιξης και αναχώρησης του πλοίου από το λιμάνι.



Σχήμα Γ'.1: Κάτοψη χώρου (KG) γκαράζ ΛΑΤΩ

- Γκαράζ μικρών επιβατηγών αυτοκινήτων (**IG**), χώρος που βρίσκεται στο μέσον του πλοίου πρύμνη. Εκτείνεται σε δύο διαδοχικά επίπεδα, κατακόρυφα κάτω από το κυρίως γκαράζ. Η πρόσβαση στο χώρο αυτό γίνεται με κεκλιμένη διάδο από το κυρίως γκαράζ προς το πρώτο επίπεδο (**IG1,IG2**) (βλ. σχήμα Γ'.2 και Γ'.3) και με κεκλιμένη διάδο από το πρώτο επίπεδο προς το δεύτερο (**IG3**) (βλ. σχήμα Γ'.4). Χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης μικρών και χαμηλών οχημάτων.



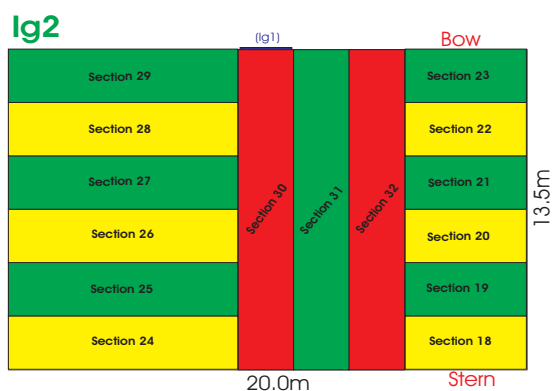
Σχήμα Γ'.2: Κάτοψη χώρου (IG1) γκαράζ ΛΑΤΩ

Στον πίνακα Γ'.2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών του γκαράζ του πλοίου ΛΑΤΩ.

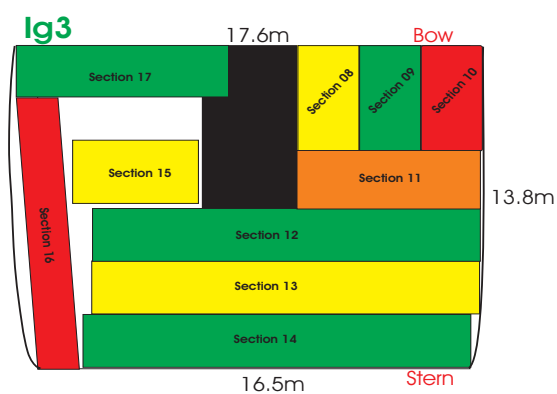
Το κυρίως γκαράζ (WG) και το πάνω γκαράζ (DG) όταν φορτώνονται με φορτηγά αυτοκίνητα δημιουργούνται 7 διάδρομοι φόρτωσης, ενώ όταν φορτώνονται με ΙΧ αυτοκίνητα δημιουργούνται 9 διάδρομοι φόρτωσης.

		Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Υψος (m)	Επιφάνεια (m ²)
WG	1	50,00	21,00	4,60	1.050,00
	2	117,00	21,00	4,40	2.457,00
DG		103,00	21,00	4,40	2.163,00
KG		18,90	10,60	3,60	200,34
IG	1	13,50	21,00	2,00	283,50
	2	13,50	20,00	2,00	270,00
	3	13,80	17,05	2,00	235,29
Σύνολο					6.659.13

Πίνακας Γ'.2: Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά επιφανειών γκαράζ πλοίου ΛΑΤΩ



Σχήμα Γ'.3: Κάτοψη χώρου (IG2) γκαράζ ΛΑΤΩ



Σχήμα Γ'.4: Κάτοψη χώρου (IG3) γκαράζ ΛΑΤΩ

Κωδικός Κατηγορίας	Περιγραφή	Πλήθος 2004	Μέσο Βάρος	Μακ. Βάρος	Μεγ. Βάρος	Μέσο Μήκος	Μακ. Μήκος	Μεγ. Μήκος	Μακ. Ύψος	Μεγ. Ύψος
BGT	Ρυμολκούμενα αποσκευών	194	357,24	175,30	523,40	2,00	2,00	2,00	1,50	1,50
BSM	Λεωφορεία	592	13.353,40	3.646,50	14.999,30	11,45	4,00	12,00	3,50	3,50
BTR	Ρυμολκούμενα σκάφη	86	525,55	353,40	700,00	6,00	6,00	6,00	1,80	1,80
CRM	Λεωφορεία μέχρι 5,5m	431	3.254,98	3.000,70	3.499,80	5,50	5,50	5,50	2,50	2,50
DK1	Δίκυκλα < 250cc	6.935	120,44	81,00	161,00	0,75	0,75	0,75	1,20	1,20
DK2	Δίκυκλα > 250cc	1.683	275,13	175,10	374,90	1,00	1,00	1,00	1,60	1,60
FRK	Φορτηγά Άδεια	6.823	6.895,85	2.800,00	17.279,00	9,49	4,00	24,00	3,20	3,20
FRT	Φορτηγά	8.945	10.808,11	2.826,00	25.323,00	9,92	4,00	18,00	3,20	4,00
IX1	IX αυτοκίνητα	37.480	1.250,00	1.250,00	1.250,00	4,21	2,50	5,30	1,10	2,20
M1T	Μηχανήματα μέ- χρι 1000K gr/m	33	749,15	563,20	989,80	3,00	3,00	3,00	1,40	2,70
M3T	Μηχανήματα μέ- χρι 3000K gr/m	15	1.833,05	1.074,90	2.948,90	10,83	3,50	15,50	1,80	3,50
M4T	Μηχανήματα > 3000K gr/m	1	13.513,50	13.513,50	13.513,50	19,10	19,10	19,10	3,60	3,60
MBJ	Μεγάλα ΙΧ αυ- τοκίνητα JEEP	124	2.339,47	2.006,10	2.696,90	6,50	6,50	6,50	2,50	2,50
TRK	Ρυμολκούμενα φορτηγών	1.786	7.314,83	2.804,00	11.400,00	10,09	4,00	16,00	3,20	3,20

Πίνακας Γ'.3: Πίνακας κατηγοριών οχημάτων

Παράρτημα Δ΄

Σενάρια Φόρτωσης πλοίου ΛΑΤΩ

Το προσωπικό που είναι επιφορτισμένο με την φόρτωση του πλοίου και ειδικά ο επικεφαλής της υπηρεσίας αυτής, ο Ύπαρχος απο την καθημερινή εμπειρία στη φόρτωση είναι σε θέση να γνωρίζει κατά προσέγγιση τον αριθμό των οχημάτων που μπορούν να σταθμεύσουν σε κάθε τμήμα του γκαράζ του πλοίου.

Έτσι για κάθε πλοίο υπάρχουν πίνακες που αναφέρουν τον αριθμό και την κατηγορία των οχημάτων που μπορούν να σταθμεύσουν σε κάθε χώρο του γκαράζ.

Οι πίνακες αυτοί είναι ενδεικτικοί έτσι ώστε το προσωπικό που θα ασχοληθεί με την φόρτωση να έχει κάποια γενική εικόνα της κατάστασης.

Τα διάφορα σενάρια που παρουσιάζονται σε τέτοιους πίνακες έχουν να κάνουν και με την εποχή στην οποία γίνεται η φόρτωση. Οι αριθμοί που αναφέρονται είναι ενδεικτικοί και συνήθως δηλώνουν τη μέγιστη χωρητικότητα χωρίς αυτό να είναι απόλυτο μιας και αυτή επηρεάζεται απο παράγοντες όπως είναι το μέγεθος των οχημάτων και η διάρκεια φόρτωσης.

Στο πίνακα Δ΄.1 παρουσιάζονται μερικά ενδεικτικά σενάρια φόρτωσης για το πλοίο ΛΑΤΩ.

		WG	DG	KG	JG
1	Μόνο IX	315	160	20	70
2	Τυπική Καλοκαιρινή Φόρτωση	Μόνο Φορτηγά	150IX	–	70
3	Συννηθισμένη Φόρτωση	≈ 89 Φορτηγά		20	70

Πίνακας Δ΄.1: Σενάρια Φόρτωσης πλοίου ΛΑΤΩ

Παράρτημα Ε΄

Πίνακες Βάσης Δεδομένων

f_lato		
	trip_dt	(Ημερομηνία Ταξιδιού)
	trip_tm	(Ώρα Αναχώρησης)
	port_fr	(Λιμάνι Αναχώρησης)
	port_to	(Λιμάνι Προορισμού)
	cat_cd	(Κατηγορία Οχήματος)
	fare_pay	(Ναύλος σε €)
	height	(Ύψος οχήματος)
	lgth_real	(Μήκος οχήματος)
	weight	(Βάρος οχήματος)
	width	(Πλάτος οχήματος)
index f_lato_indx (trip_dt, trip_tm, port_fr, port_to, cat_cd)		

Πίνακας Ε΄.1: Βασικός πίνακας δεδομένων δρομολογίων

garage		
PK	g_section_id	(ΑΑ τμήματος)
	g_section	(Όνομα τμήματος)
	g_deck	(Κατάστρωμα)
	g_orient	(Προσανατολισμός)
	g_length	(Μήκος σε <i>m</i>)
	g_height	(Ύψος σε <i>m</i>)
	g_width	(Πλάτος σε <i>m</i>)
	g_sec_dist	()
	g_weight	(Αντοχή σε <i>Kgr</i>)
	g_weight_veh	(Αντοχή ανά άξονα σε <i>Kgr</i>)

Πίνακας Ε΄.2: Πίνακας δεδομένων γκαράζ

g_graph		
PK	g_section_id	(AA τμήματος)
	g_section_succ_id	(AA τμήματος προς <i>e</i>)

Πίνακας Ε'.3: Πίνακας ΓΣΦΟ!

fdate		
PK	icode	(AA οχήματος)
	g_descr	(Τμήμα γκαράζ)
	cat_cd	(Κατηγορία οχήματος)
	length_real	(Μήκος σε <i>m</i>)
	weight	(Βάρος σε <i>Kgr</i>)
	height	(Ύψος σε <i>m</i>)
	width	(Πλάτος σε <i>m</i>)
	fare	(Ναύλος)

Πίνακας Ε'.4: Πίνακας δεδομένων οχημάτων

Παράρτημα ɛ'

Πηγαίος κώδικας

Επιστρέφει το όχημα *bfv* που ταιριάζει καλύτερα στο τμήμα *g* του γκαράζ. Αν δεν υπάρχει τότε επιστρέφει την τιμή -1

```
def best_fit(g, lv, v, a, vcl):
    mn = a[g]['s_length']
    bfv = -1
    for i in lv:
        t = a[g]['s_length'] - v[i]['v_length']
        if a[g]['s_length'] == v[i]['v_length']:
            bfv = i
            return bfv
        if t in (0, 1,05):
            bfv = i
            return bfv
        if t > 0 and t < mn:
            mn = t
            bfv = i
    return bfv
```

Σχήμα ɛ'.1: Συνάρτηση `best_fit`

```

def best_length(g, wa, wvcl, div):
    lo = copy.deepcopy(wvcl.keys())
    lo.sort()
    d = 0
    for ff in lo:
        if ff > (wa[g]['s_length']/div):
            break
        d = ff
    return d

```

Σχήμα 4'.2: Συνάρτηση best_length

```

def full_fit(s, mul):
    v = 0
    if mul == 0:
        return v
    if WVCL.has_key(WA[s]['s_length']/mul):
        if len(WVCL[WA[s]['s_length']/mul]) > (mul - 1):
            m = 0
            uplv = []
            while len(uplv) <= (mul - 1):
                if attr_compare(WV, WA, WVCL[WA[s]['s_length']/mul][m], s):
                    uplv.append(WVCL[WA[s]['s_length']/mul][m])
                    m += 1
            for v in uplv:
                section_db_update(v, s)
                rest_update(v, s)
            return -1
        else:
            mul = mul - 1
            v = full_fit(s, mul)
    return v

```

Σχήμα 4'.3: Συνάρτηση full_fit

```

def section_db_update():
    WA[g]['s_length'] = WA[g]['s_length'] - WV[i]['v_length']
    t = WV[i]['cat_cd'], i
    WA[g]['v_loaded'].append(t)
    del WV[i]

def attr_compare(v, a, i, g):
    lr = v[i]['v_length'] <= a[g]['s_length']
    hr = v[i]['v_height'] < a[g]['s_height']
    wr = v[i]['v_width'] < a[g]['s_width']
    return (lr and hr and wr)

for i in WV.keys():
    for g in G.keys():
        if WV[i]['cat_cd'] in WA[g]['s_cat']:
            if attr_compare(WV, WA, i, g):
                section_db_update()
                break
        if WA[g]['s_cat'] == []:
            if attr_compare(WV, WA, i, g):
                section_db_update()
                break

if len(WV) > 0:
    for i in WV.keys():
        for g in G.keys():
            if 'PPP' not in WA[g]['s_cat']:
                if attr_compare(WV, WA, i, g):
                    section_db_update()
                    break

```

Σχήμα 4.4: Άπληστος Αλγόριθμος

```

def section_db_update(v,s):
    WA[s]['s_length'] = WA[s]['s_length'] - WV[v]['v_length']
    if WA[s]['s_length'] < 0:
        WA[s]['s_length'] = 0.0
    t = WV[v]['cat_cd'], v
    WA[s]['v_loaded'].append(t)
    del WV[v]

def attr_compare(v, a, i, g):
    lr = v[i]['v_length'] <= a[g]['s_length']
    hr = v[i]['v_height'] < a[g]['s_height']
    wr = v[i]['v_width'] < a[g]['s_width']
    return (lr and hr and wr)

def rest_update(v,s): # is used with best_fit()
    del wlv[wlv.index(v)]
    del WVCD[V[v]['cat_cd']] [WVCD[V[v]['cat_cd']].index(v)]
    del WVCL[V[v]['v_length']] [WVCL[V[v]['v_length']].index(v)]
    if len(WVCD[V[v]['cat_cd']]) == 0:
        del WVCD[V[v]['cat_cd']]
    if len(WVCL[V[v]['v_length']]) == 0:
        del WVCL[V[v]['v_length']]

sv = []
sg = []
rg = []
for g in WG.keys():
    if WA[g]['s_cat'] not in (['PPP'], []):
        sg.append(g)
        if sv <> WA[g]['s_cat']:
            sv += WA[g]['s_cat']
    elif len(WA[g]['s_cat']) == 0:
        rg.append(g)

lv = []
for vc in sv:
    if VCD.has_key(vc):
        for i in VCD[vc]:
            lv.append(i)

```

Σχήμα 5.5: Αλγόριθμος Best_Fit

```

wsg = copy.deepcopy(sg)
wlv = copy.deepcopy(lv)

empty = 0
while len(wlv) > 0 and empty < (len(lv) + len(sg)):
    g = wsg[0]
    if WVCL.has_key(WA[g]['s_length']):
        i = WVCL[WA[g]['s_length']][0]
    else:
        i = best_fit(g, wlv, WV, WA, WVCL)
    if i > 0 and WV[i]['cat_cd'] in WA[g]['s_cat'] and attr_compare(WV, WA, i):
        section_db_update(i, g)
        rest_update(i, g)
    else:
        hsg = wsg[0]
        del wsg[0]
        wsg.append(hsg)
    empty += 1

lv = copy.deepcopy(WV.keys())
sg += rg
sg.sort()

wsg = copy.deepcopy(sg)
wlv = copy.deepcopy(lv)

```

Σχήμα 7.6: Αλγόριθμος Best_Fit

```

badlv = []
while WVCL.keys() and len(wsg) > 0:
    g = wsg[0]
    if WA[g]['s_length'] < min(WVCL.keys()):
        del wsg[0]
        continue
    mult = int(WA[g]['s_length'] / min(WVCL.keys()))
    if WVCL.has_key(WA[g]['s_length']):
        i = WVCL[WA[g]['s_length']][0]
    elif WA[g]['s_length'] <= max(WVCL.keys()):
        d = best_length(g, WA, WVCL, 1)
        if WVCL.has_key(d):
            i = WVCL[d][0]
        else:
            i = best_fit(g, wlv, WV, WA, WVCL)
    elif WA[g]['s_length'] <= (mult * max(WVCL.keys())):
        i = full_fit(g, mult)
        if i == -1:
            continue
        else:
            d = best_length(g, WA, WVCL, mult)
            if WVCL.has_key(d):
                i = WVCL[d][0]
            else:
                i = best_fit(g, wlv, WV, WA, WVCL)
    else:
        i = best_fit(g, wlv, WV, WA, WVCL)
    if i > 0 and attr_compare(WV, WA, i, g):
        section_db_update(i, g)
        rest_update(i, g)
    else:
        badlv.append(i)
        rest_update(i, g)

```

Σχήμα 4.7: Αλγόριθμος Best_Fit

```

if len(badlv) > 0:
    min_len = 1000
    for i in badlv:
        if WV[i]['v_length'] < min_len:
            min_len = WV[i]['v_length']

    wlv = copy.deepcopy(badlv)
    wsg = []

    for i in WA.keys():
        if WA[i]['s_length'] >= min_len and WA[i]['s_cat'] <> ['PPP']:
            wsg.append(i)

    while len(wlv) > 0 and len(wsg) > 0:
        i = wlv[0]
        g = wsg[0]
        min_len = 1000
        for k in wlv:
            if WV[k]['v_length'] < min_len:
                min_len = WV[k]['v_length']
        if WA[g]['s_length'] < min_len:
            del wsg[0]
            continue
        if attr_compare(WV, WA, i, g):
            section_db_update(i, g)
            del wlv[wlv.index(i)]
        else:
            hlv = wsg[0]
            del wsg[0]
            wsg.append(hlv)
            hlv = wlv[0]
            del wlv[0]
            wlv.append(hlv)

```

Σχήμα 4.8: Αλγόριθμος Best_Fit