



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών**  
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ: ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΩΝ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Δημήτρης Ι. Χάλκος

Αθήνα, Μάιος 2008





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών**  
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

## **ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ: ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΩΝ**

### **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Δημήτρης Ι. Χάλκος

**Συμβουλευτική Επιτροπή:**

Καθηγήτρια Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγητής Εμμανουήλ Πρωτονοτάριος  
Καθηγητής Μιχαήλ Θεολόγου

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 7<sup>η</sup> Μαΐου 2008

.....  
Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια

.....  
Μιχαήλ Θεολόγου  
Καθηγητής

.....  
Γεώργιος Στασινόπουλος  
Καθηγητής

.....  
Βασίλειος Λούμος  
Καθηγητής

.....  
Ιωάννης Ψαράς  
Καθηγητής

.....  
Γεώργιος Σταμούλης  
Καθηγητής

.....  
Δημήτριος Ασκούνης  
Επικ. Καθηγητής

Αθήνα, Μάιος, 2008

.....  
**Δημήτριος Ι. Χάλκος, 2008**

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © **Δημήτριος Ι. Χάλκος, 2008**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

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

# Πρόλογος

*Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.*

*Η διατριβή αυτή αποτέλεσε αφορμή για να ασχοληθώ με εξαιρετικά ενδιαφέροντα ερευνητικά θέματα τα οποία περιστρέφονται γύρω από την επιχειρησιακή έρευνα στον τομέα της ναυτιλίας. Η ενασχόλησή μου αυτή με εφοδίασε με πολύτιμες εμπειρίες και γνώσεις.*

*Στη διαδρομή αυτή βρήκα πολύτιμο οδηγό και συμπαραστάτη την καθηγήτριά μου κα Θεοδώρα Βαρβαρίγου την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου για τις πολύτιμες συμβουλές και τη στήριξη που μου παρείχε. Ομοίως, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν, τους υπόλοιπους καθηγητές της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ.κ. Εμμανουήλ Πρωτονοτάριο και Μιχαήλ Θεολόγου.*

*Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου στην ερευνητική ομάδα με τους οποίους συνεργάστηκα άψογα και επιτυχώς όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερες ευχαριστίες ωστόσο θα ήθελα να απευθύνω στους στενούς μου συνεργάτες Κωνσταντίνο Τσερπέ, Αντώνιο Λίτκε, Κωστή Χριστογιάννη, Αναστάσιο και Νικόλαο Δουλάμη, Ανδρέα Μενύχτα, Κωσταντίνο Λάλο, Στάθη Καραναστάση και Δημοσθένη Κυριαζή με τους οποίους μοιράστηκα πολλές ώρες ερευνητικής εργασίας και ανέπτυξα στενές σχέσεις φιλίας.*

*Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους δικούς μου ανθρώπους που με στήριξαν σε αυτήν την πορεία και ιδιαίτερα στους γονείς μου στους οποίους οφείλω όσα έχω καταφέρει μέχρι σήμερα.*

*Δημήτριος Ι. Χάλκος*

*Μάιος 2008*



# Περιεχόμενα

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Περιεχόμενα.....                                                        | IV  |
| Πίνακες .....                                                           | X   |
| Εικόνες.....                                                            | XII |
| Περίληψη .....                                                          | XIV |
| Abstract.....                                                           | XVI |
| 1 Εισαγωγή .....                                                        | 1   |
| 1.1 Αντικείμενο – Στόχος Διατριβής.....                                 | 1   |
| 1.2 Οργάνωση Διατριβής .....                                            | 2   |
| 2 Ανάλυση Ναυτιλιακής Αγοράς.....                                       | 5   |
| 2.1 Κατηγοριοποίηση Ναυλαγοράς .....                                    | 5   |
| 2.1.1 Διάκριση Βάση Είδους Παρεχόμενης Μεταφορικής Υπηρεσίας.....       | 6   |
| 2.1.2 Διάκριση Βάση Τύπου & Μεγέθους Πλοίου .....                       | 8   |
| 2.1.3 Διάκριση με κριτήριο τη φύση και το είδος του φορτίου .....       | 13  |
| 2.1.4 Διάκριση με κριτήριο το τύπο ναύλωσης .....                       | 20  |
| 2.2 Πρόσωπα της ναυλαγοράς .....                                        | 26  |
| 2.2.1 Κύριος πλοίου –πλοιοκτήτης -εφοπλιστής .....                      | 27  |
| 2.2.2 Ναυλωτής.....                                                     | 27  |
| 2.2.3 Φορτωτής .....                                                    | 28  |
| 2.2.4 Διαχειριστής.....                                                 | 28  |
| 2.2.5 Μεσίτης.....                                                      | 29  |
| 2.2.6 Πράκτορας .....                                                   | 30  |
| 2.3 Διαδικασία Διαχείρισης Στόλου.....                                  | 31  |
| 2.3.1 Διαδικασία επιλογής φορτίων.....                                  | 32  |
| 2.3.2 Διαδικασία δρομολόγησης στόλου για την μεταφορά φορτίων .....     | 37  |
| 2.3.3 Υπάρχοντα ηλεκτρονικά εργαλεία υποστήριξης .....                  | 39  |
| 3 Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Πλοίων.....                              | 43  |
| 3.1 Ιδιαιτερότητες Προβλήματος .....                                    | 43  |
| 3.2 Set Partitioning Μοντελοποίηση Προβλήματος .....                    | 46  |
| 3.2.1 Εύρεση εφικτών δρομολογίων ανά πλοίο.....                         | 47  |
| 3.2.2 Βέλτιστη ανάθεση δρομολογίων στα πλοία.....                       | 49  |
| 3.3 Σχετικές Ερευνητικές Εργασίες .....                                 | 53  |
| 3.3.1 Εργασίες με εφαρμογή και στον τομέα της ελεύθερης ναυτιλίας ..... | 55  |
| 3.3.2 Εργασίες με εφαρμογή στον τομέα της βιομηχανικής ναυτιλίας .....  | 59  |
| 3.3.3 Επισκόπηση Μεθόδων Δημιουργίας Δρομολογίων.....                   | 63  |
| 3.3.4 Πρόβλημα τοποθέτησης φορτίων .....                                | 68  |
| 4 Αλγόριθμος δημιουργίας εφικτών δρομολογίων πλοίου .....               | 73  |
| 4.1 Περιορισμοί.....                                                    | 75  |
| 4.2 Μοντελοποίηση προβλήματος .....                                     | 77  |
| 4.3 Αναπαράσταση Δρομολογίου .....                                      | 82  |
| 4.4 Δεδομένα εισόδου .....                                              | 84  |
| 4.5 Δημιουργία Δρομολογίων .....                                        | 88  |
| 4.5.1 Έλεγχος εκφόρτωσης φορτίου .....                                  | 96  |
| 4.5.2 Έλεγχος & διαγραφή προγόνων.....                                  | 99  |
| 4.5.3 Έλεγχος φόρτωσης φορτίου.....                                     | 100 |
| 4.5.4 Υπολογισμός κόστους.....                                          | 105 |





|       |                                                                                                         |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.5 | Υπολογισμός εσόδων .....                                                                                | 108 |
| 4.6   | Παράδειγμα εκτέλεσης αλγορίθμου .....                                                                   | 109 |
| 5     | Συγκριτικά & πειραματικά αποτελέσματα αλγορίθμου .....                                                  | 113 |
| 5.1   | Αλγόριθμοι σύγκρισης .....                                                                              | 113 |
| 5.2   | Πειραματικά αποτελέσματα .....                                                                          | 117 |
| 5.2.1 | Στοιχεία Πειραματικών Εκτελέσεων .....                                                                  | 118 |
| 5.2.2 | Πειράματα & Αποτελέσματα .....                                                                          | 123 |
| 5.3   | Συμπεράσματα .....                                                                                      | 133 |
| 5.3.1 | Σύγκριση με εξαντλητική μέθοδο .....                                                                    | 133 |
| 5.3.2 | Σύγκριση με αλγόριθμο Fagerholt, Christiansen .....                                                     | 136 |
| 5.3.3 | Συμπεράσματα πειραματικής χρήσης .....                                                                  | 140 |
| 6     | Πρόβλημα Επιλογής Φορτίων στην Ελεύθερη Αγορά .....                                                     | 147 |
| 6.1   | Ιδιαιτερότητες Προβλήματος .....                                                                        | 148 |
| 6.2   | Ανάλυση διαδικασίας εύρεσης φορτίων .....                                                               | 151 |
| 6.2.1 | Στόχοι πλοιοκτητών κατά την επιλογή φορτίου .....                                                       | 153 |
| 6.2.2 | Κόστος εκτέλεσης ταξιδιού .....                                                                         | 156 |
| 6.2.3 | Καθορισμός τιμής ναύλου .....                                                                           | 157 |
| 6.2.4 | Απαιτήσεις υποστήριξης διαδικασίας επιλογής φορτίων .....                                               | 160 |
| 6.3   | Εργαλεία υποστήριξης διαδικασίας επιλογής φορτίων .....                                                 | 162 |
| 6.4   | Προτεινόμενο εργαλείο υποστήριξης επιλογής φορτίων .....                                                | 163 |
| 6.4.1 | Δημιουργία δρομολογίων .....                                                                            | 165 |
| 6.4.2 | Αξιολόγηση δρομολογίων .....                                                                            | 166 |
| 6.5   | Πειραματικά Αποτελέσματα Αξιολόγησης .....                                                              | 172 |
| 6.5.1 | Πείραμα 1 <sup>ο</sup> : Επιρροή συντελεστών κριτηρίων στη χρονική διάρκεια του βέλτιστου φορτίου ..... | 172 |
| 6.5.2 | Πείραμα 2 <sup>ο</sup> : Επιρροή κατανομής φορτίων στο πλήθος βέλτιστων φορτίων .....                   | 176 |
| 7     | Δικτυακό Σύστημα Ηλεκτρονικών Ναυλώσεων USNES .....                                                     | 179 |
| 7.1   | Περιγραφή συστήματος .....                                                                              | 179 |
| 7.1.1 | Εμπλεκόμενοι ρόλοι .....                                                                                | 180 |
| 7.1.2 | Παρεχόμενες υπηρεσίες .....                                                                             | 183 |
| 7.1.3 | Αρχιτεκτονική συστήματος .....                                                                          | 186 |
| 7.2   | Παραμετροποίηση εργαλείου αξιολόγησης φορτίων .....                                                     | 189 |
| 7.2.1 | Υπολογισμός καθυστερήσεων φορτώσεων και εκφορτώσεων .....                                               | 190 |
| 7.2.2 | Υπολογισμός καθυστερήσεων ταξιδιών .....                                                                | 193 |
| 7.2.3 | Υπολογισμός κόστους εκτέλεσης ταξιδιών .....                                                            | 195 |
| 7.2.4 | Υπολογισμός αξιοπιστίας φορτίων .....                                                                   | 197 |
| 8     | Σύνοψη .....                                                                                            | 199 |
| 8.1   | Γενική σύνοψη .....                                                                                     | 199 |
| 8.2   | Καινοτομία Διατριβής .....                                                                              | 203 |
| 8.3   | Συμπέρασμα .....                                                                                        | 207 |
|       | Βιβλιογραφία .....                                                                                      | 209 |



# Πίνακες

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Πίνακας 1: Εξέλιξη θαλάσσιου εμπορίου κύριων χύδην ξηρών φορτίων .....                 | 16  |
| Πίνακας 2: Σύνοψη Ερευνητικών Εργασιών στην Δρομολόγηση Στόλου.....                    | 63  |
| Πίνακας 3: Σύνοψη Μεθόδων Δημιουργίας Δρομολογίων .....                                | 68  |
| Πίνακας 4: Παράδειγμα Φόρτωσης Φορτίων .....                                           | 71  |
| Πίνακας 5: Διαθέσιμα Φορτία .....                                                      | 110 |
| Πίνακας 6: Χρόνος μετάβασης μεταξύ των λιμανιών .....                                  | 110 |
| Πίνακας 7: Στάδια εκτέλεσης αλγορίθμου .....                                           | 111 |
| Πίνακας 8: Σύγκριση Χαρακτηριστικών Προτεινόμενης Μεθόδου.....                         | 114 |
| Πίνακας 9: Αποτελέσματα πειράματος με βασική κατανομή<br>χαρακτηριστικών φορτίων ..... | 123 |
| Πίνακας 10: Πίνακας πρώτης ομάδας πειραμάτων .....                                     | 125 |
| Πίνακας 11: Αποτελέσματα πρώτης ομάδας πειραμάτων .....                                | 125 |
| Πίνακας 12: Πίνακας δεύτερης ομάδας πειραμάτων .....                                   | 130 |
| Πίνακας 13: Αποτελέσματα δεύτερης ομάδας πειραμάτων .....                              | 130 |
| Πίνακας 14: Πίνακας πειραμάτων τρίτης ομάδας .....                                     | 132 |
| Πίνακας 15: Αποτελέσματα τρίτης ομάδας πειραμάτων .....                                | 132 |
| Πίνακας 16: Παράμετροι αξιολόγησης πρώτου πειράματος .....                             | 173 |
| Πίνακας 17: Αποτελέσματα πρώτου πειράματος .....                                       | 174 |
| Πίνακας 18: Παράμετροι αξιολόγησης δεύτερου πειράματος.....                            | 177 |
| Πίνακας 19: Αποτελέσματα δεύτερου πειράματος.....                                      | 178 |
| Πίνακας 20: Τρόπος υπολογισμού παραμέτρων κοστολόγησης .....                           | 196 |



# Εικόνες

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 1: Ψευδοκώδικας προτεινόμενης μεθόδου .....                                                     | 95  |
| Εικόνα 3: Δέντρο αναπαράστασης δρομολογίων .....                                                       | 112 |
| Εικόνα 4: Σχέση Πλήθους Κόμβων Προτεινόμενης & Εξαντλητικής Μεθόδου .....                              | 136 |
| Εικόνα 5: Σχέση χρόνου εκτέλεσης προτεινόμενης μεθόδου & μεθόδου Fagerholt, Christiansen.....          | 140 |
| Εικόνα 6: Χρόνοι εκτέλεσης προτεινόμενου αλγορίθμου ανάλογα με το πλήθος διαμερισμάτων του πλοίου..... | 142 |
| Εικόνα 7: Πλήθος συνολικών κόμβων ανάλογα με τους συντελεστές καθυστέρησης .....                       | 142 |
| Εικόνα 8: Μέσος αριθμός κόμβων ανά δρομολόγιο.....                                                     | 143 |
| Εικόνα 9: Πλήθος συνολικών κόμβων ανάλογα με την κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων .....        | 146 |
| Εικόνα 10: Πλήθος δρομολογίων ανάλογα με την κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων .....            | 146 |
| Εικόνα 11: Παρουσίαση υποσυστημάτων USNES .....                                                        | 187 |



# Περίληψη

Η δρομολόγηση του στόλου που διαθέτει μια ναυτιλιακή εταιρεία και η επιλογή φορτίων για την ναύλωση των πλοίων είναι τα δυο προβλήματα με τα οποία πραγματεύεται η παρούσα διατριβή. Οι ιδιαιτερότητες των προβλημάτων αυτών έχουν οδηγήσει τους ερευνητές σε διαφορετικές μεθόδους επίλυσής τους σε σχέση με τους τρόπους επίλυσης των προβλημάτων δρομολόγησης στόλου οχημάτων. Στην πλειοψηφία των μεθόδων αυτών κατά την επίλυση του προβλήματος επιχειρείται η εύρεση όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει κάθε πλοίο του στόλου για την μεταφορά των φορτίων που πρέπει να μεταφερθούν.

Η παρούσα διατριβή προτείνει μια νέα μέθοδο δημιουργίας όλων των εφικτών δρομολογίων για την μεταφορά ενός συνόλου φορτίων από ένα πλοίο. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι μια μέθοδος οπισθοδρόμησης, η οποία με την χρήση περιορισμών χωρητικότητας και χρονικών παραθύρων περιορίζει το μέγεθος του χώρου αναζήτησης έτσι ώστε να δημιουργήσει όλα τα εφικτά δρομολόγια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η προτεινόμενη μέθοδος σε σχέση με την πλειοψηφία των μεθόδων που καταγράφονται στην βιβλιογραφία έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την παράλληλη μεταφορά δύο ή περισσότερων φορτίων από ένα πλοίο στο ίδιο δρομολόγιο. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα που παραθέτονται η προτεινόμενη μέθοδος είναι ταχύτερη σε ορισμένες περιπτώσεις και από την μοναδική ερευνητική εργασία που υπάρχει στην βιβλιογραφία η οποία επίσης επιτρέπει την παράλληλη μεταφορά φορτίων κατά την δημιουργία των δρομολογίων. Στα πειραματικά αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθόδου που καταγράφονται στην διατριβή, πέρα από την σύγκριση με άλλες δημοσιευμένες μεθόδους συμπεριλαμβάνεται και η σύγκριση με την εξαντλητική μέθοδο δημιουργίας

δρομολογίων καθώς και μια ανάλυση της επιρροής των χαρακτηριστικών των φορτίων στα χαρακτηριστικά των δρομολογίων που δημιουργούνται.

Η καινοτομία της διατριβής επεκτείνεται με την παρουσίαση μιας νέας μεθόδου συγκριτικής αξιολόγησης των δρομολογίων. Η αξιολόγηση των δρομολογίων στις υπάρχουσες εργασίες γίνεται με μοναδικό κριτήριο το συνολικό κέρδος ή κόστος που επιφέρει το κάθε δρομολόγιο. Αν και το κόστος ή το κέρδος είναι επαρκή κριτήρια για την περίπτωση του προβλήματος δρομολόγησης στόλου, στην περίπτωση του προβλήματος επιλογής φορτίων κρίνονται ανεπαρκή καθώς δεν καλύπτουν τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος αυτού. Τις ιδιαιτερότητες αυτές επιχειρεί να καλύψει η προτεινόμενη μέθοδος η οποία πέρα από το κέρδος του δρομολογίου χρησιμοποιεί ως κριτήριο τον ρυθμό με τον οποίο επιφέρει κέρδη το δρομολόγιο καθώς και το κριτήριο της αξιοπιστίας κάθε δρομολογίου. Η αξιοπιστία ενός δρομολογίου απορρέει από τα φορτία τα οποία μεταφέρει καθώς η ύπαρξη του κάθε φορτίου και η ακρίβεια των στοιχείων που είναι γνωστά για αυτό δεν μπορούν να θεωρηθούν απόλυτα αξιόπιστα. Η παρουσίαση της προτεινόμενης μεθόδου συνοδεύεται από πειραματικά αποτελέσματα τα οποία αναδεικνύουν την επιρροή των παραμέτρων της μεθόδου αλλά και των χαρακτηριστικών των φορτίων που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των δρομολογίων, στα αποτελέσματα αξιολόγησης.

Τέλος παρουσιάζεται η ενσωμάτωση των προτεινόμενων μεθόδων δημιουργίας δρομολογίων και αξιολόγησης αυτών σε ένα ολοκληρωμένο δικτυακό πληροφοριακό σύστημα. Το σύστημα αυτό παρέχει υπηρεσίες υποστήριξης αποφάσεων για την επιλογή φορτίων σε ναυτιλιακές εταιρείες.

**Λέξεις Κλειδιά:** Δρομολόγηση & χρονοπρογραμματισμός εμπορικών πλοίων, αναζήτηση φορτίων, αξιολόγηση δρομολογίων πλοίων, αλγόριθμος οπισθοδρόμησης, υποστήριξη αποφάσεων.



# Abstract

Vessels routing of a maritime companies fleet and cargo selection for a vessel's chartering are the two problems which are addressed in this thesis. A number of characteristics of these two problems have leaded the research to different techniques compared to the corresponding techniques that are used in classical vehicle routing problems. In the majority of the techniques that have been used to solve the problem of vessels routing, all feasible scheduled routes that each vessel can execute for the transfer of a set of cargos are generated a priori.

This thesis proposes a new method for generating all feasible routes of a vessel for the transfer of a set of cargos. The proposed method uses a backtracking algorithm along with time and capacity constraints in order to reduce the search space and generate the schedule routes in a reasonable time. The advantage of the proposed method in contrast to the majority of methods which are presented in literature is that in the generated routes the vessel can transfer more than one cargo per voyage. According to experimental results presented in this thesis, the proposed method is faster in some cases than the only method presented in the literature that generate routes in which vessels can transfer more than one cargo per voyage. Additionally, in the experimental results section, a comparison with an exhaustive method for generating routes is presented. A computational study that depicts the influence of cargoes characteristics in the performance of the proposed method is also reported.

The innovation of this thesis is extended with the presentation of a new method that evaluates the generated routes. The evaluation methods presented in the literature use the total profit of each route as the only criterion for evaluating vessel routes.

Although the total profit can be considered as sufficient criterion for the vessels routing problem, it cannot satisfy the requirements of cargo selection problem that is faced by the tramp shipping companies. The proposed evaluation method tries to satisfy these requirements by adding the criterion of the profit rate and the reliability of each route. The reliability of a route depends on the reliability of the cargoes transferred by the route which in turns depends on the reliability of the person that represents each cargo or on the certainty of cargoes information. Experimental results depict the influence that cargo characteristics and parameters values of the evaluation method have on the results of the evaluation method.

The thesis ends up with the presentation of the proposed methods integration, in a web information system that can be used to support decision making of maritime companies that operates in tramp shipping.

**Keywords:** Cargo ships routing and scheduling, cargo searching, ship routes evaluation, backtracking algorithm, decision support

# 1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια σύντομη εισαγωγή στο αντικείμενο της διατριβής και ο καθορισμός του στόχου που αυτή επιδιώκει. Επιπλέον καταγράφεται και η δομή που ακολουθείται στην παρουσίαση της διατριβής.

## 1.1 Αντικείμενο – Στόχος Διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελούν οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται από τις ναυτιλιακές εταιρείες για την διαχείριση του στόλου τους. Κάθε εταιρεία ανάλογα με τον τομέα της ναυτιλιακής αγοράς στον οποίο δραστηριοποιεί τα πλοία της, ακολουθεί διαφορετικές διαδικασίες για την διαχείριση του στόλου, έτσι ώστε η διαδικασία που ακολουθεί να είναι σύμφωνη με τα χαρακτηριστικά της αντίστοιχης αγοράς. Ανεξαρτήτως της διαδικασίας που ακολουθείται στόχος είναι η βέλτιστη χρήση του στόλου προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα κέρδη της εταιρείας από την εκμετάλλευση του στόλου. Αν και υπάρχει συσσωρευμένη εμπειρία στα στελέχη των ναυτιλιακών εταιρειών από την μακροχρόνια λειτουργία των εταιρειών αυτών, ο όγκος των δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστούν και το μέγεθος των χρηματικών ποσών που απορρέουν ως έξοδα ή έσοδα από την λειτουργία των πλοίων επιτάσσει την χρήση πληροφορικών συστημάτων προκειμένου να υποστηριχθούν οι αντίστοιχες διαδικασίες διαχείρισης στόλου.

Στόχος της παρούσας διατριβής αρχικά είναι να καταγράψει τις διαδικασίες που ακολουθούνται για την διαχείριση στόλου στις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην βιομηχανική ναυτιλία και την ελεύθερη ναυτιλία. Στην συνέχεια με δεδομένες τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των διαδικασιών αυτών να προτείνει μεθόδους και αλγόριθμους με τους οποίους μπορεί να υποστηριχθεί η διαχείριση των στόλων των ναυτιλιακών εταιρειών. Η μέθοδοι και οι αλγόριθμοι που προτείνονται πρέπει με την παρουσίαση πειραματικών και συγκριτικών αποτελεσμάτων να αποδειχθούν καινοτόμοι και να παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν σε μεγαλύτερα πληροφοριακά συστήματα.

## **1.2 Οργάνωση Διατριβής**

Η διάρθρωση του περιεχομένου αυτής της διατριβής έχει ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια εισαγωγή στα χαρακτηριστικά της ναυτιλιακής αγοράς. Παρουσιάζονται οι κατηγοριοποιήσεις της αγοράς ανάλογα με το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας, τον τύπο του φορτίου, τον τύπο του πλοίο και τον τύπο ναύλωσης. Στην συνέχεια καταγράφονται οι βασικότεροι εμπλεκόμενοι ρόλοι στον τομέα της ναυτιλίας και συγκεκριμένα στον τομέα που αφορά την μεταφορά φορτίων. Τέλος γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των διαδικασιών, η υποστήριξη των οποίων αποτελεί αντικείμενο της διατριβής καθώς και των πληροφοριακών συστημάτων που υποστηρίζουν τις διαδικασίες αυτές.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το ερευνητικό υπόβαθρο που αφορά το πρώτο πρόβλημα στο οποίο αναφέρεται η διατριβή και αφορά την δρομολόγηση στόλου πλοίων. Αρχικά παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος σε σχέση με το γνωστό πρόβλημα δρομολόγησης στόλου που έχει μελετηθεί στην διεθνή

βιβλιογραφία. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια μοντελοποίηση του προβλήματος η οποία συναντάται στην πλειοψηφία των ερευνητικών εργασιών που αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ένα σημαντικό μέρος των ερευνητικών αυτών εργασιών παρουσιάζεται στην συνέχεια και το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την καταγραφή των χαρακτηριστικών των μεθόδων που κατασκευάζουν όλα τα εφικτά δρομολόγια κάθε πλοίου για την επίλυση του γενικότερου προβλήματος δρομολόγησης στόλου πλοίων.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ένας νέος αλγόριθμος για την κατασκευή όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο. Η παρουσίαση του αλγορίθμου γίνεται με αναλυτικό τρόπο και συνοδεύεται από την παρουσίαση ενός παραδείγματος εκτέλεσής του για την καλύτερη κατανόηση του. Επιπλέον καταγράφεται και μια μοντελοποίηση του προβλήματος εύρεσης των εφικτών δρομολογίων ενός πλοίου.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα από την χρήση του αλγορίθμου. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος συγκρίνεται με ένα αλγόριθμο που έχει καταγραφεί στην βιβλιογραφία και με τον οποίο παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά καθώς και με ένα εξαντλητικό αλγόριθμο κατασκευής δρομολογίων. Τέλος μελετάται η επιρροή των κατανομών που ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των φορτίων που συμμετέχουν στην δημιουργία των δρομολογίων, στο πλήθος των δρομολογίων που δημιουργούνται και στην γενικότερη επίδοση του αλγορίθμου.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το πρόβλημα της επιλογής φορτίων προς μεταφορά που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία. Αρχικά παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος που το διαφοροποιούν από το προηγούμενο πρόβλημα και καταγράφονται οι ανάγκες για υποστήριξης της αντίστοιχης διαδικασίας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας νέος τρόπος αξιολόγησης των δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο, ο οποίος

χρησιμοποιεί πολλαπλά κριτήρια προκειμένου να εντοπίσει το φορτία ή τα φορτία των οποίων η μεταφορά βελτιστοποιεί τα κέρδη. Τέλος παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα που αναδεικνύουν την επιρροή των παραμέτρων αξιολόγησης και των χαρακτηριστικών των φορτίων που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των δρομολογίων, στα αποτελέσματα της αξιολόγησης.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται ένα δικτυακό σύστημα ηλεκτρονικών ναυλώσεων στο οποίο υλοποιείται ο αλγόριθμος δημιουργίας δρομολογίων και αξιολόγησης αυτών προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες σε ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο της ελεύθερης ναυτιλίας. Αρχικά γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του συστήματος και στην συνέχεια καταγράφεται ο τρόπος με τον οποίο παραμετροποιείται ο προτεινόμενος αλγόριθμος και η μέθοδος αξιολόγησης μέσα στο συγκεκριμένο σύστημα.

Στο κεφάλαιο 8 γίνεται μια σύνοψη της παρούσας διατριβής και καταγράφονται οι καινοτομίες αυτής. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με ένα τελικό συμπέρασμα από τα αποτελέσματα της διατριβής.

Η διατριβή ολοκληρώνεται με την παράθεση της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την εκπόνηση της διατριβής.

## **2 Ανάλυση Ναυτιλιακής Αγοράς**

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται αρχικά μια ανάλυση της ναυτιλιακής αγοράς η οποία αποτελεί το πεδίο έρευνας της εργασίας αυτής. Η ανάλυση πραγματοποιείται με την παρουσίαση των επιμέρους αγορών και των προσώπων που εμπλέκονται σε αυτές. Στην συνέχεια αναλύεται η διαδικασία επιλογής φορτίων που ακολουθείται από τις ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να βρεθούν εκείνα τα φορτία των οποίων η μεταφορά εκτιμάται ότι θα είναι η πιο συμφέρουσα. Επιπλέον παρουσιάζεται και η διαδικασία που ακολουθείται για την δρομολόγηση του στόλου των ναυτιλιακών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην βιομηχανική ναυτιλία. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να ανατεθεί σε κάθε πλοίο ένα δρομολόγιο έτσι ώστε τα διαθέσιμα φορτία να μεταφερθούν με το μικρότερο δυνατό κόστος. Οι διαδικασίες αυτές αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας διατριβής.

### **2.1 Κατηγοριοποίηση Ναυλαγοράς**

Η ναυτιλιακή αγορά δεν είναι μια ενιαία αγορά που περιλαμβάνει όλων των ειδών τις θαλάσσιες μεταφορές. Αντίθετα αποτελείται από πολλές ανεξάρτητες αγορές για κάθε μια από τις οποίες υπάρχουν ξεχωριστοί κανόνες λειτουργίας και χαρακτηριστικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των ναυτιλιακών εταιριών ανάλογα με τον τομέα της ναυτιλίας στον οποίο δραστηριοποιούνται. Η διάκριση των επιμέρους αγορών μπορεί να γίνει με μια

ποικίλα κριτηρίων, τα βασικότερα των οποίων περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

### **2.1.1 Διάκριση Βάση Είδους Παρεχόμενης Μεταφορικής Υπηρεσίας**

Τα παρεχόμενα είδη μεταφορικής υπηρεσίας είναι τρία και διαχωρίζουν την ναυλαγορά σε τρεις βασικές κατηγορίες, την αγορά πλοίων γραμμών “**liner**”, την ελεύθερη αγορά πλοίων “**tramp**” και την βιομηχανική αγορά “**industrial**”. Τα όρια μεταξύ των δύο τελευταίων αγορών δεν είναι τόσο ευδιάκριτα καθώς πλοία της ελεύθερης αγοράς χρησιμοποιούνται πολύ συχνά και στην βιομηχανική αγορά και το αντίστροφο.

Στην πρώτη κατηγορία απασχολούνται πλοία που εκτελούν τακτικά δρομολόγια μεταξύ προκαθορισμένων λιμανιών με προκαθορισμένες ώρες άφιξης, αναχώρησης και προκαθορισμένες τιμές ναύλων. Οι αγορές αυτές αναπτύσσονται μεταξύ λιμανιών με συνεχή ανταλλαγή τυποποιημένων εμπορευμάτων τα οποία διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για την διαχείριση των εμπορευματοκιβωτίων (containers) και των αντίστοιχων πλοίων (containerships). Αν και το ποσοστό της ποσότητας των προϊόντων που μεταφέρονται μέσω της αγοράς γραμμών αποτελεί μόνο το 25%-30% της συνολικής ποσότητας μεταφερόμενων φορτίων μέσω θαλάσσης, η αξία των προϊόντων αυτών φτάνει το 85% της συνολικής αξίας των μεταφερόμενων προϊόντων μέσω θαλάσσης.

Στην ελεύθερη αγορά των “tramp” πλοίων απασχολούνται πλοία τα οποία δεν έχουν τακτικά δρομολόγια και η απασχόληση τους εξαρτάται από την ζήτηση της



αγοράς. Η μεταφορά φορτίων στην αγορά αυτή γίνεται κατόπιν υπογραφής συμβολαίου στο οποίο καθορίζονται όλες οι λεπτομέρειες χρήσης του πλοίου και μεταφοράς. Ένα συμβόλαιο μπορεί να αφορά την εκτέλεση ενός μόνο ταξιδιού, περισσότερων του ενός ταξιδιών ή μια χρονική περίοδο. Τα πλοία που δραστηριοποιούνται στην αγορά αυτή μετακινούνται στα λιμάνια ανάλογα με τα συμβόλαια που πρέπει να εκτελέσουν και τα φορτία που μεταφέρουν καλύπτουν τουλάχιστον την χωρητικότητα ενός εκ των διαμερισμάτων (αμπαριών) του πλοίου ενός τις περισσότερες φορές καλύπτουν ολόκληρη την χωρητικότητα του πλοίου. Οι εταιρείες που διαχειρίζονται πλοία που λειτουργούν στην “tramp” αγορά επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη από την μεταφορά φορτίων.

Στην βιομηχανική αγορά δραστηριοποιούνται μεγάλες βιομηχανίες οι οποίες εισάγουν ή εξάγουν μεγάλες ποσότητες υλικών ή προϊόντων σε τακτά χρονικά διαστήματα και ο οποίος διαθέτουν τον δικό τους ιδιόκτητο στόλο πλοίων προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους για μεταφορά φορτίων. Οι βιομηχανίες αυτές μπορούν να διαθέσουν τον στόλο τους στην ελεύθερη αγορά όταν η ανάγκη για μεταφορά ιδιόκτητων φορτίων έχει καλυφθεί ή αντίθετα να ναυλώσουν πλοία από την ελεύθερη αγορά όταν ο ιδιόκτητος στόλος δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της εταιρείας για μεταφορά φορτίων. Στόχος των βιομηχανιών που διαχειρίζονται ιδιόκτητο στόλο είναι να μεταφέρουν τα φορτία τους με όσο το δυνατών χαμηλότερο κόστος.

## **2.1.2 Διάκριση Βάση Τύπου & Μεγέθους Πλοίου**

Η διάκριση της ναυλαγοράς ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου παρουσιάζει τον βασικό διαχωρισμό της ναυλαγοράς όπως τον αντιλαμβάνονται οι ποντοπόρες ναυτιλιακές εταιρείες. Κύριο κριτήριο αυτού του διαχωρισμού είναι το είδος του φορτίου που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο και το μέγεθος του πλοίου. Οι κυριότερες κατηγορίες και υποκατηγορίες που προκύπτουν από αυτή την διάκριση παρουσιάζονται στην συνέχεια.

### **2.1.2.1 Αγορά Πλοίων Χύδην Ξηρού Φορτίου & Διπλών Καταστρωμάτων**

Στην αγορά αυτή (Bulk Carrier & Tweendecker) απασχολούνται τα πλοία που μεταφέρουν φορτία σε στερεά μορφή. Τα πλοία της αγοράς αυτής μπορεί να διαθέτουν σταθερής χωρητικότητας διαμερίσματα φόρτωσης φορτίων (αμπάρια) όποτε ονομάζονται ως bulk Carriers ή διαμερίσματα μεταβλητής χωρητικότητας οπότε ονομάζονται Tweendecker. Στην δεύτερη περίπτωση ο χώρος φόρτωσης των πλοίων είναι ενιαίος και το πλοίο διαθέτει ειδικά χωρίσματα τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου αυτού έτσι ώστε να διαχωρίσουν τα φορτία. Στην αγορά παρουσιάζει την μεγαλύτερη ποικιλομορφία σε σχέση με τις υπόλοιπες αγορές και τα χαρακτηριστικά της μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της συνολικής ναυλαγοράς. Η κατηγορία αυτή της αγοράς – πλοίων – μπορεί να υποδιαιρεθεί περαιτέρω ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου. Έτσι στην αγορά πλοίων μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου, υπάρχουν η παρακάτω κατηγορίες

1. **Hundysize bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 15.000 – 35.000 τόνων ξηρού φορτίου.
2. **Handymax bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 35.000 – 50.000 τόνων ξηρού φορτίου.
3. **Ultra Handymax bulkers ή Supermax bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 50.000 - 60.000 τόνων ξηρού φορτίου.
4. **Panamax bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 60.000 - 80.000 τόνων ξηρού φορτίου.
5. **Capesize bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 80.000 - 120.000 τόνων ξηρού φορτίου. Τα οποία δεν μπορούν διέλθουν από το κανάλι του Παναμά και αναγκάζονται να πλεύσουν γύρω από το ακρωτήριο “CapeOfGoodHope”.
6. **Cape bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 120.000 - 175.000 τόνων ξηρού φορτίου.
7. **Large Cape bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 175.000 – 200.000 τόνων ξηρού φορτίου.
8. **Very Large Cape bulkers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη των 200.000 τόνων ξηρού φορτίου.

#### 2.1.2.2 Αγορά δεξαμενόπλοιων

Στην αγορά αυτή απασχολούνται τα πλοία τα οποία είναι κατασκευασμένα για την μεταφορά χύδην υγρών φορτίων. Ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου η αγορά κατηγοριοποιείται επιπλέον στις εξής υποκατηγορίες:

1. **Hundysize:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 10.000 – 60.000 τόνων υγρού φορτίου.
2. **Panamax:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 60.000 – 80.000 τόνων υγρού φορτίου.
3. **Aframax:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 80.000 - 120.000 τόνων υγρού φορτίου.
4. **Suezmax:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 120.000 – 200.000 τόνων υγρού φορτίου.
5. **Very Large Crude Carriers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα 200.000 – 320.000 τόνων υγρού φορτίου.
6. **Ultra Large Crude Carriers:** Είναι η αγορά που απασχολεί πλοία με μεταφορική ικανότητα μεγαλύτερη των 320.000 τόνων υγρού φορτίου.

#### 2.1.2.3 Αγορά πλοίων συνδυασμένων μεταφορών

Στην αγορά αυτή απασχολούνται τα πλοία τα οποία είναι κατάλληλα κατασκευασμένα για να μεταφέρουν ξηρά ή υγρά φορτία ανάλογα με τις επιλογές των πλοιοκτητών τους. Τέτοιου είδους πλοία είναι τα O/O's που μπορούν να μεταφέρουν σιδηρομετάλλευμα ή/και πετρέλαιο (Ore/Oil), τα OBO's που μπορούν να μεταφέρουν σιδηρομετάλλευμα, χύδην ξηρό φορτίο και πετρέλαιο (Ore/Bulk/Oil) και τα PROBO's που μπορούν να μεταφέρουν προϊόντα, σιδηρομετάλλευμα, χύδην ξηρό φορτίο και πετρέλαιο (Products/ Ore/ Bulk/Oil). Τα πλοία αυτά είτε διαθέτουν αμπάρια τα οποία μπορούν να μεταφέρουν χύδην ξηρό φορτίο αλλά και πετρέλαιο καθώς είναι εξοπλισμένα με αντλίες, είτε διαθέτουν ξεχωριστά αμπάρια για την

ταυτόχρονη μεταφορά πετρελαίου και ξηρού φορτίου. Τα πλοία αυτά έχουν χωρητικότητα πάνω από 70.000 dwt και η ταχύτητά τους δεν ξεπερνά τους 14 κόμβους.

#### **2.1.2.4 Αγορά πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων**

Στην αγορά αυτή απασχολούνται τα πλοία τα οποία είναι σχεδιασμένα για να μεταφέρουν αποκλειστικά εμπορευματοκιβώτια. Το μέγεθος των πλοίων αυτών σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη πλοίων μετρίεται σε TEU (Twenty-Foot Equivalent Units) δηλαδή σε εμπορευματοκιβώτια των 20 ποδιών. Τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων απασχολούνται κύρια σε γραμμές που συνδέουν τις υψηλά βιομηχανοποιημένες περιοχές της υφηλίου και τα λιμάνια τα οποία προσεγγίζουν πρέπει να διαθέτουν ειδικό εξοπλισμό φορτοεκφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων και προηγμένα συστήματα μεταφοράς στην ενδοχώρα. Τα πλοία αυτά αποτελούν το κύριο μεταφορικό μέσο στην αγορά γραμμών.

#### **2.1.2.5 Αγορά πλοίων Ro/Ro**

Τα Ro/Ro αποτελούν μια κατηγορία πλοίων που εξυπηρετούν κάθε είδους τροχοφόρα, φορτία που μπορούν να μετακινηθούν με ανυψωτικά μηχανήματα καθώς και εμπορευματοκιβώτια. Η ολική χωρητικότητα των πλοίων αυτών μετρίεται σε τόρους (gross registered tons) επειδή τα φορτία που μεταφέρονται έχουν συνήθως μεγάλο όγκο αναλογικά με το βάρος τους. Δεδομένου ότι η φορτοεκφόρτωση των πλοίων αυτών γίνεται κυρίως με τροχοφόρα οχήματα, τα πλοία αυτά παρέχουν

υπηρεσίες μεταφοράς ανάμεσα σε λιμάνια με ελάχιστες λιμενικές εγκαταστάσεις, έχουν γρήγορο και ευέλικτο χειρισμό φορτίου και μπορούν να μεταφέρουν μεγάλη ποικιλία φορτίων.

#### **2.1.2.6 Αγορές εξειδικευμένων πλοίων**

Πέρα από τις προηγούμενες κατηγορίες πλοίων και τις αντίστοιχες αγορές που σχηματίζουν, υπάρχει ένας αριθμός από εξειδικευμένα πλοία που εξυπηρετούν συγκεκριμένες ανάγκες μεταφοράς. Τέτοια είδη πλοίων και αντίστοιχες αγορές είναι:

1. Αγορά πλοίων ψυγείων, στην οποία δραστηριοποιούνται ειδικά κατασκευασμένα πλοία για την μεταφορά κατεψυγμένων προϊόντων όπως κρέας, ψάρια, λαχανικών κ.α.
2. Αγορά πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων, όπου δραστηριοποιούνται πλοία ειδικά κατασκευασμένα για την μεταφορά αυτοκινήτων.
3. Αγορά μικρών πλοίων, στην οποία δραστηριοποιούνται πλοία με χωρητικότητα μικρότερη των 3.000 dwt και απασχολούνται στο θαλάσσιο εμπόριο κοντινών αποστάσεων.
4. Αγορά πλοίων μεταφοράς βαρέων φορτίων, στην οποία ειδικά κατασκευασμένα πλοία αναλαμβάνουν την φορτοεκφόρτωση και μεταφορά πολύ βαρέων φορτίων.

### **2.1.3 Διάκριση με κριτήριο τη φύση και το είδος του φορτίου**

Μια πολύ σημαντική κατηγοριοποίηση της ναυλαγοράς, η οποία είναι καθιερωμένη στην διεθνή ναυτιλιακή πρακτική, είναι αυτή που προκύπτει με βάση τη φύση και τα χαρακτηριστικά μεταφοράς του μεταφερόμενου φορτίου. Σύμφωνα με αυτό το διαχωρισμό η ναυλαγορά μπορεί να διακριθεί στις εξής κατηγορίες:

1. Αγορές Χύδην Υγρών Φορτίων
2. Αγορές Χύδην Ξηρών Φορτίων
3. Αγορές Ειδικών Φορτίων
4. Αγορές γενικών φορτίων

Να σημειωθεί ότι τα όρια των αγορών, και ιδίως αυτών που διαχωρίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά μεταφοράς (συσκευασία, μοναδοποίηση, στοιβασία κ.λ.π) δεν είναι αυστηρά καθώς ένα εμπόρευμα είναι δυνατόν να μεταφερθεί με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα ένα φορτίο μπορεί να εμφανιστεί είτε στην αγορά χύδην ξηρών φορτίων είτε στην αγορά γενικών φορτίων ανάλογα με την ποσότητα του φορτίου, την επιθυμία του ιδιοκτήτη του φορτίου ή της επικρατούσες οικονομικές συνθήκες στην αγορά.

#### **2.1.3.1 Αγορές χύδην υγρών φορτίων**

Τα χύδην υγρά φορτία που μεταφέρονται δια θαλάσσης διαιρούνται στις εξής ομάδες:

1. το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα πετρελαίου
2. τα υγροποιημένα αέρια σε φυσική μορφή (LNG) και σε επεξεργασμένη μορφή (LPG)
3. τα υγρά χημικά, όπως αμμωνία, το φωσφορικό οξύ κ.α.

Τα παραπάνω φορτία αντιστοιχούν περίπου στο μισό του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου, με το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα πετρελαίου να καταλαμβάνουν τους μεγαλύτερους όγκους μεταφοράς και την πιο σημαντική θέση της αγοράς.

Η διαφορά μεταξύ της αγοράς χύδην υγρών φορτίων και της αγοράς δεξαμενόπλοιων είναι το στοιχείο το οποίο καθορίζει τα χαρακτηριστικά της αγοράς. Έτσι στην περίπτωση στην πρώτη περίπτωση το κύριο χαρακτηριστικό είναι το φορτίο και στην δεύτερη το πλοίο. Αν και τα χαρακτηριστικά των δύο αυτών αγορών είναι κοινά σε πάρα πολλά σημεία και οι συνθήκες αγοράς κινούνται σχεδόν παράλληλα, οι δυο αγορές δεν ταυτίζονται. Υπάρχουν περιπτώσεις υγρών φορτίων που μπορούν να μεταφερθούν με άλλου είδους πλοία διαφορετικού τύπου από τα δεξαμενόπλοια.

Τα σημεία παραγωγής των χύδην υγρών φορτίων, ιδίως στις περιπτώσεις του πετρελαίου και των προϊόντων του είναι περιορισμένα σε πλήθος και παρουσιάζουν σταθερή γεωγραφική κατανομή, με την Μέση Ανατολή, το κόλπο του Μεξικού, την Βενεζουέλα και την Βόρεια Θάλασσα να είναι οι βασικότερες πηγές πετρελαίου στον κόσμο. Αντίστοιχα τα κέντρα εισαγωγής πετρελαίου είναι οι περισσότερες βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, όπως Β.Αμερική και η Δ. Ευρώπη, αλλά και η ταχέως βιομηχανικά αναπτυσσόμενη χώρα όπως η Κίνα και η Ινδία. Τα παραπάνω



στοιχεία της αγοράς χύδην υγρών φορτίων οδηγούν σε μια αγορά όπου οι θαλάσσιοι δρόμοι μεταφοράς δεν παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και η ζήτηση για μεταφορά είναι προκαθορισμένη πολύ νωρίτερα από την στιγμή που απαιτείται να γίνει η μεταφορά.

Να σημειωθεί ότι η αγορά πετρελαίου και των προϊόντων του είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα αγοράς που λειτουργεί σε πολιτικό πλαίσιο και επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από αυτό. Από εμπορική σκοπιά δεδομένου ότι στην βιομηχανία πετρελαίου κυριαρχούν ένα μικρό σύνολο από εταιρείες, αυτές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και την ζήτηση και την διακίνηση του πετρελαίου. Τα στοιχεία αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα η αγορά μεταφοράς χύδην υγρών φορτίων να μην αποτελεί παράδειγμα ελεύθερης αγοράς που μεταβάλλεται ελεύθερα ανεξάρτητα από εξωγενής παράγοντες.

#### **2.1.3.2 Αγορές χύδην ξηρών φορτίων**

Κύριο αντικείμενο της αγοράς χύδην ξηρών φορτίων αποτελεί η μεταφορά των πρώτων υλών από τους τόπους παραγωγής στους τόπους επεξεργασίας ή κατανάλωσης, διαδραματίζοντας έτσι πρωτεύοντα ρόλο στην ανάπτυξη. Οι βασικότερες πρώτες ύλες για την βιομηχανία, την διατροφή και την γεωργία αποτελούν και τα κύρια φορτία της αγοράς χύδην ξηρών φορτίων. Τα πέντε βασικότερα φορτία είναι:

##### **1. Ο άνθρακας (coal)**

2. Το σιδηρομετάλλευμα (iron ore) που μαζί με τον άνθρακα είναι οι πρώτες ύλες της βιομηχανίας χάλυβα που αποτελεί το κύριο υλικό των περισσότερων βιομηχανικών προϊόντων.
3. Τα δημητριακά τα οποία αποτελούν την πρώτη ύλη τόσο για την διατροφή του ανθρώπου όσο και την εκτροφή ζώων
4. Ο βωξίτης και η αλουμίνη, τα οποία είναι οι πρώτες ύλες για την βιομηχανία του αλουμινίου, το δεύτερο πιο σημαντικό μέταλλο στη σύγχρονη κοινωνία.
5. Τα φωσφάτα, τα οποία είναι το κύριο χύδην λίπασμα που χρησιμοποιείται στην αγροτική παραγωγή.

|                           | 1965       | 1975       | 1985       | 1995        | 2000        | 2005        |
|---------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Σιδηρομετάλλευμα</b>   | <b>152</b> | <b>292</b> | <b>321</b> | <b>399</b>  | <b>458</b>  | <b>608</b>  |
| <b>Άνθρακας</b>           | <b>59</b>  | <b>127</b> | <b>272</b> | <b>403</b>  | <b>479</b>  | <b>676</b>  |
| <b>Δημητριακά</b>         | <b>70</b>  | <b>137</b> | <b>181</b> | <b>184</b>  | <b>253</b>  | <b>269</b>  |
| <b>Βωξίτης / Αλουμίνη</b> | <b>21</b>  | <b>41</b>  | <b>40</b>  | <b>49</b>   | <b>54</b>   | <b>54</b>   |
| <b>Φωσφάτα</b>            | <b>26</b>  | <b>38</b>  | <b>43</b>  | <b>28</b>   | <b>30</b>   | <b>28</b>   |
| <b>Σύνολο (εκ.τόνοι)</b>  | <b>328</b> | <b>635</b> | <b>857</b> | <b>1063</b> | <b>1274</b> | <b>1633</b> |

**Πίνακας 1: Εξέλιξη θαλάσσιου εμπορίου κύριων χύδην ξηρών φορτίων**

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η εξέλιξη του θαλάσσιου εμπορίου των πέντε κύριων χύδην ξηρών φορτίων από το 1965 έως το 2005. Τα στοιχεία του πίνακα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σταδιακή αύξηση του θαλάσσιου εμπορίου χύδην ξηρών φορτίων, η οποία όμως δεν είναι ομοιόμορφη στα επιμέρους κύρια φορτία. Η μεταφορά κάθε ενός από τα πέντε κύρια φορτία παρουσιάζει τα δικά της

χαρακτηριστικά και ρυθμούς ανάπτυξης έχοντας ξεχωριστό αντίκτυπο στην βιομηχανία της μεταφοράς χύδην ξηρών φορτίων.

Από τα βασικά χύδην φορτία που παρουσιάστηκαν παραπάνω τα φορτία σιδηρομεταλλεύματος, άνθρακα, βωξίτη και αλουμίνας παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά μεταφοράς. Στη μεταφορά των φορτίων αυτών καθοριστικό ρόλο έχει η γεωγραφική διάθρωση των αποθεμάτων και οι αποστάσεις μεταξύ της τοποθεσίας παραγωγής των υλικών και της τοποθεσίας επεξεργασίας τους. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει περιορισμένος αριθμός παραγωγικών πηγών και σημείων επεξεργασίας, με αποτέλεσμα το σύνολο των πιθανών δρομολογίων μεταφοράς να είναι περιορισμένο και τα χαρακτηριστικά όσο και οι απαιτήσεις των ταξιδιών να είναι σε μεγάλο ποσοστό γνωστά εκ των προτέρων. Για παράδειγμα στην περίπτωση του σιδηρομεταλλεύματος τα βασικότερα σημεία παραγωγής είναι η Βραζιλία και η Αυστραλία, η οποία μαζί με τη Β. Αμερική αποτελούν και τους κύριους εξαγωγείς άνθρακα. Ακόμη μικρότερο είναι το σύνολο των βασικότερων εισαγωγέων των φορτίων αυτών, τα οποία περιορίζονται κυρίως στην Δ. Ευρώπη, την Β. Αμερική και την Ιαπωνία.

Ένα ακόμα κοινό χαρακτηριστικό των φορτίων σιδηρομεταλλεύματος, άνθρακα, βωξίτη και αλουμίνας είναι ότι τα τέσσερα αποτελούν πρώτη ύλη μιας καλά οργανωμένης βιομηχανίας, η οποία έχει τακτικές απαιτήσεις για τα συγκεκριμένα υλικά την ποσότητα των οποίων γνωρίζει πολύ πριν χρειαστεί να τα επεξεργαστεί. Αυτό έχει σαν συνέπεια η απαιτήσεις για μεταφορά να είναι επίσης γνωστές πολύ πριν χρειαστεί να γίνει η μεταφορά. Τα παραπάνω κοινά στοιχεία των τεσσάρων φορτίων καθορίζουν μια ναυτιλιακή αγορά στην οποία οι ναυτιλιακές εταιρείες

μπορούν εύκολα να προγραμματίσουν την λειτουργία τους καθώς μεγάλο ποσοστό των στοιχείων που χρειάζονται είναι εγκαίρως γνωστό.

Αντίθετη περίπτωση φορτίου είναι των δημητριακών, όπου το εμπόριο τους είναι εποχιακό και παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με τη σοδειά στις εξαγωγικές και στις εισαγωγικές περιοχές. Τόσο από πλευράς μεταφερόμενου όγκου όσο και από πλευράς θαλάσσιων διαδρομών οι απαιτήσεις για μεταφορά γνωστοποιούνται στην αγορά λίγο πριν χρειαστεί να γίνει η μεταφορά. Επιπλέον λόγω της ευαισθησίας των γεωργικών προϊόντων η οποία κάνει επιτακτική την άμεση μεταφορά τους προκειμένου η ποιότητα τους να είναι η καλύτερη δυνατή όταν αυτά φτάσουν στο σημείο εισαγωγής, οι πλοιοκτήτριες εταιρείες έχουν πολλές φορές την δυνατότητα να φορτώσουν περισσότερα από ένα φορτία. Η περίπτωση αυτή όμως απαιτεί πολύ καλή στην οργάνωση του ταξιδιού έτσι ώστε να ικανοποιηθούν όποιοι περιορισμοί υπάρχουν στο χειρισμό των φορτίων και στις ημερομηνίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Αποτέλεσμα των παραπάνω στοιχείων είναι η ναυτιλιακή αγορά της μεταφοράς δημητριακών προϊόντων να είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητη και οι απαιτήσεις για μεταφορά να μην είναι έγκαιρα γνωστές. Έτσι ο σχεδιασμός και η οργάνωση των μεταφορών δημητριακών να είναι ιδιαίτερα δύσκολος για τις ναυτιλιακές εταιρείες.

Η μεταφορά φορτίων φωσφάτων παρουσιάζει χαρακτηριστικά από την μεταφορά δημητριακών όσο και αυτή των σιδηρομεταλλευμάτων, άνθρακα και βωξίτη. Κύριο χαρακτηριστικό είναι το μικρό μέγεθος των φορτίων που μεταφέρονται, το μεγάλο πλήθος των εισαγωγέων και το μικρό πλήθος εξαγωγέων.

### 2.1.3.3 Αγορές ειδικών φορτίων

Η αγορά αυτή περιλαμβάνει τα φορτία των οποίων η μεταφορά τους απαιτεί ιδιαίτερους χειρισμούς ή συνθήκες. Τα κυριότερα φορτία αυτής της αγοράς είναι τα κατεψυγμένα φορτία και τα τροχοφόρα.

Στην περίπτωση των κατεψυγμένων φορτίων μεταφέρονται ευπαθή προϊόντα , των οποίων η μεταφορά απαιτεί συνθήκες προσεκτικά ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας. Ο μεγαλύτερος όγκος τω κατεψυγμένων φορτίων γίνεται από εξειδικευμένα πλοία ψυγεία που διαθέτουν μονωμένα αμπάρια, αλλά με την πάροδο των χρόνων ολοένα και μεγαλύτερος όγκος φορτίων μεταφέρεται από πλοία εμπορευματοκιβωτίων που εκτελούν τακτικές γραμμές μέσα σε ειδικά εμπορευματοκιβώτια που με ειδικό εξοπλισμό εξασφαλίζουν συνθήκες διατήρησης της ψύξης. Τα βασικότερα κατεψυγμένα προϊόντα είναι τα λαχανικά, το κρέας και τα ψάρια.

Στην περίπτωση των τροχοφόρων το φορτίο είναι μεγάλο σε όγκο, έχει χαμηλή πυκνότητα και έχει μεγάλη αξία. Αυτό έχει σαν συνέπεια την χρήση εξειδικευμένων πλοίων για την μεταφορά τους, των οποίων ο στόλος δεν ξεπερνά τα 500-600 πλοία παγκοσμίως. Κύρια σημεία παραγωγής των τροχοφόρων είναι η Δ. Ευρώπη και η Ιαπωνία όπου παράγεται μεγάλο πλήθος οχημάτων καθημερινά με αποτέλεσμα λόγω μεγάλου όγκου του φορτίου και της έλλειψης του απαραίτητου αποθηκευτικού χώρου να απαιτείται μεγάλη ακρίβεια των δρομολογίων των πλοίων και εναρμονισμό της λειτουργίας των πλοίων με την βιομηχανία παραγωγής τροχοφόρων.

#### **2.1.3.4 Αγορές γενικών φορτίων**

Η αγορά γενικών φορτίων είναι από τις μεγαλύτερες ναυλαγορές και απασχολεί μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου στόλου και αυτό γιατί το εύρος των φορτίων που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γενικό φορτίο είναι σχεδόν απεριόριστο, αφού μπορεί να ποικίλλει από μερικές κούτες ως ένα πλοίο το οποίο μεταφέρεται επί του καταστρώματος ως εμπόρευμα. Η φύση του φορτίου που μεταφέρεται δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο ρόλο στην συγκεκριμένη αγορά, όπου βασικότερος παράγοντας είναι η ποσότητα και η συσκευασία του φορτίου. Τα περισσότερα φορτία είναι υψηλής αξίας αφού αποτελούν καταναλωτικά αγαθά, μηχανολογικό εξοπλισμό και γενικότερα κατεργασμένα εμπορεύματα και μεταφέρονται σχεδόν αποκλειστικά από πλοία γραμμών. Τα πρακτικά προβλήματα του χειρισμού και της στοιβασίας των διαφορετικών γενικών φορτίων στο ίδιο πλοίο, αντιμετωπίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις με την χρήση εμπορευματοκιβωτίων. Στις περιπτώσεις όπου δεν είναι εφικτή η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων τα φορτία μπορούν να μεταφερθούν ως χύδην ξηρά φορτία είτε από εξειδικευμένα πλοία είτε από πλοία μεταφοράς χύδην φορτίων. Η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων από το 1966 αποστέλλεσαι την αφορμή για τον διαχωρισμό της αγοράς γενικών φορτίων από τις υπόλοιπες αγορές και την μεγάλη ανάπτυξη της συγκεκριμένης αγοράς.

#### **2.1.4 Διάκριση με κριτήριο το τύπο ναύλωσης**

Ο τύπος ναύλωσης αφορά τον τρόπο που η ναυτιλιακή εταιρεία εκμεταλλεύεται τα πλοία που βρίσκονται στην κατοχή της. Ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσης του πλοίου η εταιρεία έχει διαφορετικού είδους υποχρεώσεις τόσο όσον αφορά τη

λειτουργία του ίδιου του πλοίου (έξοδα, παρακολούθηση – διαχείριση) όσο και απέναντι στο συμβαλλόμενο με την ναυτιλιακή εταιρεία μέρος για την ναύλωση (καταληκτικές ημερομηνίες, ευθύνη φορτίων κατά την μεταφορά κ.α.). Ο τρόπος με τον οποίο θα ναυλώσει μια εταιρεία τα πλοία της εξαρτάται από την κατάσταση της αγοράς και τις τρέχουσες προβλέψεις για την πορεία της αλλά και από τις γνώσεις και την ειδίκευση της εταιρείας πάνω σε θέματα κάποιας συγκεκριμένης ναυτιλιακής αγοράς.

Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των πλοίων γραμμών οι ναυτιλιακές εταιρείες δεν ναυλώνουν τα πλοία τους σε τρίτους αλλά τα διαχειρίζονται πλήρως οι ίδιες καθορίζοντας από μόνες τους τα στοιχεία (λιμάνια και ώρες άφιξης) του ταξιδιού που εκτελείται σε μια γραμμή. Αντίθετα η έννοια της ναύλωσης αποκτά νόημα στην ελεύθερη αγορά όπου οι ναυτιλιακές εταιρείες ναυλώνουν τα πλοία τους σε τρίτους για να μπορέσουν αυτοί να μεταφέρουν τα φορτία που επιθυμούν.

Τα είδη ναύλωσης που παρατηρούνται στην αγορά είναι τα εξής:

1. Ναύλωση Ταξιδιού
2. Χρονοναύλωση
3. Ναύλωση Γυμνού πλοίου
4. Ναύλωση Εργολαβικών Μεταφορών

Με βάση τα τέσσερα αυτά ήδη ναύλωσης μπορεί να διαχωριστεί η ναυτιλιακή αγορά στις τέσσερις αντίστοιχες κατηγορίες. Κάθε μια από τις αγορές που

προκύπτουν έχει τους δικούς της κανόνες και τις δικές τις ιδιαιτερότητες οι οποίες αναλύονται συνοπτικά στις επόμενες ενότητες.

#### **2.1.4.1 Αγορά ναυλώσεων ταξιδιού**

Η αγορά ναυλώσεων ταξιδιού είναι μια από τις δυο μεγαλύτερες ναυλαγορές που προκύπτουν από τον διαχωρισμό με βάση τον τύπο ναύλωσης. Στη ναύλωση αυτή, ο πλοιοκτήτης υποχρεούται έναντι του ναυλωτή να μεταφέρει σε ένα ταξίδι ορισμένη ποσότητα φορτίου από ένα ή περισσότερα συμφωνημένα λιμάνια φόρτωσης σε ένα ή περισσότερα λιμάνια εκφόρτωσης, με καθορισμένο ποσό ναύλου, το ύψος του οποίου διαμορφώνεται ανάλογα με τις συνθήκες της ναυλαγοράς και κατόπιν διαπραγματεύσεων των εμπλεκόμενων μερών.

Ο ναύλος που εισπράττει η ναυτιλιακή εταιρεία καθορίζεται σε δολάρια ανά μεταφερόμενο τόνο. Η συνολική αμοιβή που προκύπτει από την τιμή του ναύλου και την συνολική ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου καλύπτει τόσο τα έξοδα της εταιρείας για την εκτέλεση της μεταφοράς όσο και το επιθυμητό κέρδος.

Η εκτέλεση μιας ναύλωσης ταξιδιού ξεκινάει από την στιγμή που το πλοίο που έχει συμφωνηθεί ότι θα την εκτελέσει βρίσκεται ελεύθερο – χωρίς φορτίο - σε κάποιο λιμάνι και το επόμενο φορτίο που πρόκειται να μεταφέρει είναι αυτό που αφορά την συγκεκριμένη ναύλωση. Από το λιμάνι αυτό το πλοίο ξεκινάει το ταξίδι, υπό έρμα (Ballast), για να βρεθεί στο πρώτο λιμάνι φόρτωσης πριν επέλθει η ημερομηνία έναρξης φόρτωσης που έχει συμφωνηθεί στην συγκεκριμένη ναύλωση. Το πλοίο φορτώνει το φορτίο που έχει συμφωνηθεί και αν υπάρχει και δεύτερο λιμάνι



φόρτωσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τους ίδιους περιορισμούς. Μετά την ολοκλήρωση της φόρτωσης το πλοίο αναχωρεί φορτωμένο (loaded) για το πρώτο λιμάνι εκφόρτωσης στο οποίο ενδεχομένως να πρέπει να έχει καταπλεύσει πριν επέλθει μια πιθανή ημερομηνία έναρξης εκφόρτωσης που θα έχει προσυμφωνηθεί. Στο λιμάνι εκφόρτωσης το πλοίο εκφορτώνει το φορτίο που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο λιμάνι και συνεχίζει το ταξίδι για το επόμενο λιμάνι εκφόρτωσης, αν υπάρχει τέτοιο, όπου ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Μετά την εκφόρτωση και τις τελευταίας ποσότητας φορτίου από το πλοίο θεωρείται ότι η ναύλωση έχει ολοκληρωθεί.

Κατά την εκτέλεση μιας ναύλωσης ταξιδιού, η πλοιοκτήτρια εταιρεία είναι αυτή που λειτουργεί το πλοίο και έχει την ευθύνη εκτέλεσης της μεταφοράς. Τα έξοδα που προκύπτουν από την εκτέλεση του ταξιδιού βαραίνουν εξολοκλήρου την πλοιοκτήτρια εταιρεία. Τα μόνα έξοδα που αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης ως προς το ποιο από τα δύο συμβαλλόμενα μέρη της ναύλωσης είναι υπεύθυνο να καλύψει, είναι αυτά των εξόδων φόρτωσης του φορτίου και εκφόρτωσης του φορτίου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στο συνολικό ναύλο που λαμβάνει η πλοιοκτήτρια εταιρεία συμπεριλαμβάνεται η κάλυψη όλων των εξόδων που πληρώνει η εταιρεία κατά την εκτέλεση του ταξιδιού.

#### **2.1.4.2 Αγορά χρονοναυλώσεων**

Στην αγορά των χρονοναυλώσεων, η οποία είναι εξίσου μεγάλη με την αγορά ναυλώσεων ταξιδιού, ο πλοιοκτήτης εκμισθώνει το πλοίο του στο ναυλωτή για ένα

συμφωνημένο χρονικό διάστημα έναντι χρηματικής αμοιβής, γνωστής ως μίσθωμα, το οποίο συνήθως καθορίζεται σε δολάρια ανά ημέρα.

Στη χρονοναύλωση, ο ναυλωτής αναλαμβάνει την εμπορική απασχόληση του πλοίου και επομένως επιβαρύνεται με το μεταβλητό κόστος του πλοίου που περιλαμβάνει έξοδα καυσίμων, λιμενικών τελών, φορτοεκφόρτωσης και άλλα, καθώς βέβαια και με το μίσθωμα του πλοίου. Ωστόσο, η διαχείριση του πλοίου και επομένως η πληρωμή του σταθερού κόστους που περιλαμβάνει την μισθοδοσία, τροφοδοσία και συντήρηση του πλοίου παραμένουν στην ευθύνη του πλοιοκτήτη.

Στο μίσθωμα που λαμβάνει η πλοιοκτήτρια εταιρεία ανά ημέρα, συμπεριλαμβάνεται τόσο το ημερήσιο κόστος λειτουργίας του πλοίου όσο και το επιθυμητό κέρδος ανά ημέρα.

#### **2.1.4.3 Αγορά μισθώσεων γυμνού πλοίου**

Στην συγκεκριμένη αγορά ο πλοιοκτήτης παραχωρεί το πλοίο του γυμνό (χωρίς πλήρωμα, τρόφιμα, εφόδια και υλικά) στο ναυλωτή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε αντάλλαγμα για την εκχώρηση αυτή, ο πλοιοκτήτης εισπράττει από το ναυλωτή το συμφωνημένο μίσθωμα. Ο ναυλωτής έχει το ρόλο του ιδιοκτήτη του πλοίου κατά το διάστημα της ναύλωσης.

Η ναύλωση γυμνού πλοίου δεν είναι τεχνικά μία ναύλωση μεταφοράς φορτίου από το πλοίο, αλλά μία σύμβαση εκμίσθωσης του πλοίου καθώς περνά στα χέρια του ναυλωτή τόσο η κατοχή, όχι όμως η ιδιοκτησία του πλοίου, όσο επίσης η διαχείριση,

η λειτουργία, ο έλεγχος, η απασχόληση, η ασφάλιση, η επάνδρωση και η ναυσιπλοΐα του. Ενώ στη συνήθη χρονοναύλωση ο πλοιοκτήτης διατηρεί τον έλεγχο της λειτουργίας του πλοίου του, στη ναύλωση γυμνού πλοίου ο ναυλωτής αντικαθιστά τον πλοιοκτήτη και για το διάστημα της μίσθωσης αναλαμβάνει αυτός τον πλήρη έλεγχο του πλοίου.

Χαρακτηριστικά, η ναύλωση γυμνού πλοίου μπορεί να παρομοιασθεί με την ενοικίαση ενός αυτοκινήτου για προσωπική χρήση (που όμως ο ενοικιαστής αναλαμβάνει την ασφάλιση, τη συντήρηση και τις επισκευές), ενώ η χρονοναύλωση με τη μίσθωση ενός ταξί.

#### **2.1.4.4 Αγορά εργολαβικών μεταφορών**

Στην συγκεκριμένη αγορά ο πλοιοκτήτης υπόσχεται να ικανοποιήσει τις ανάγκες του ναυλωτή σε όγκο μεταφερομένων αγαθών μέσα σε μια χρονική περίοδο (συνήθως ένα ή περισσότερα χρόνια). Μέσα σε αυτό το διάστημα συμφωνείται συνήθως ένας αριθμός δύο ή περισσότερων φορτώσεων και ταξιδιών, χωρίς όμως να προσδιορίζεται συγκεκριμένο πλοίο που θα εκτελέσει τη ναύλωση. Ο ναύλος υπολογίζεται συνήθως με βάση τη μεταφερόμενη ποσότητα φορτίου και μπορεί να καταβάλλεται προκαταβολικά ή εκ των υστέρων, ανάλογα με τη συμφωνία.

## 2.2 Πρόσωπα της ναυλαγοράς

Το πλήθος των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την συγκέντρωση πληροφοριών προκειμένου να βρεθούν τα κατάλληλα φορτία προς μεταφορά, το πλήθος των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθηθούν για να οριστικοποιηθούν οι συμφωνίες μεταφοράς και των εργασιών που πρέπει να γίνουν για να εκτελεστούν τα ταξίδια, δημιουργεί την ανάγκη για διαχωρισμό των ρόλων και των αρμοδιοτήτων. Για την εύρυθμη λειτουργία της ναυλαγοράς είναι αναγκαία πέρα από την απαραίτητη ύπαρξη του πλοιοκτήτη και του ναυλωτή και η ύπαρξη και άλλων επαγγελματιών που αναλαμβάνουν μέρος των δραστηριοτήτων και των αντίστοιχων ευθυνών για την ολοκλήρωση τόσο της διαδικασίας εύρεσης φορτίων όσο και για την εκτέλεση των διαδικασιών. Οι σημαντικότερες κατηγορίες επαγγελματιών που εμπλέκονται στην διαδικασία ναυλώσεων είναι οι εξής:

1. Οι πλοιοκτήτες, εφοπλιστές, οι κύριοι των πλοίων
2. Οι ναυλωτές
3. Οι φορτωτές
4. Οι διαχειριστές
5. Οι μεσίτες
6. Οι ναυλομεσίτες
7. Οι ναυτιλιακοί πράκτορες

Πέρα από τα παραπάνω πρόσωπα η ναυλαγορά περιλαμβάνει και πολλά άλλα είδη επαγγελματιών που υποστηρίζουν την εύρυθμη λειτουργία της, ωστόσο οι

παραπάνω επαγγελματίες είναι τα βασικά πρόσωπα στην διαδικασία ναύλωσης. Τα πρόσωπα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες ενότητες.

### **2.2.1 Κύριος πλοίου –πλοιοκτήτης -εφοπλιστής**

Κύριος του πλοίου είναι αυτός που έχει την κυριότητα του πλοίου αλλά δεν το εκμεταλλεύεται ο ίδιος. Ο πλοιοκτήτης είναι ιδιοκτήτης του πλοίου το οποίο εκμεταλλεύεται με σκοπό το κέρδος. Εφοπλιστής είναι αυτός που εκμεταλλεύεται για λογαριασμό του ένα πλοίο το οποίο όμως ανήκει σε άλλο πρόσωπο.

Η διαχείριση του πλοίου μπορεί να γίνει από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη ή τον εφοπλιστή και περιλαμβάνει πλήθος αρμοδιοτήτων. Ο εξοπλισμός, ο ανεφοδιασμός, η επάνδρωση, η ασφάλιση του πλοίου, η επιλογή ναύλωσης και η μέριμνα για την ασφαλή εκτέλεση των ταξιδιών είναι μερικές από τις βασικότερες δραστηριότητες του προσώπου που εκμεταλλεύεται το πλοίο. Μερικοί πλοιοκτήτες ή εφοπλιστές διαχειρίζονται ένα πλοίο (μοναχοβάπορο), ενώ άλλοι διαχειρίζονται πολλά πλοία (στόλο). Ορισμένοι εξειδικεύονται στην διαχείριση συγκεκριμένου τύπου και μεγέθους πλοίων, ενώ άλλοι διαχειρίζονται πλοία διαφορετικού τύπου ή μεγέθους.

### **2.2.2 Ναυλωτής**

Ο ναυλωτής είναι ο συμβαλλόμενος σε μια σύμβαση ναύλωσης, στον οποίο διατίθεται το πλοίο προς απασχόληση. Σε ορισμένες περιπτώσεις ναύλωσης, ο ναυλωτής είναι δυνατόν να ταυτίζεται με τον ιδιοκτήτη του φορτίου, ενώ σε άλλες

περιπτώσεις μπορεί να είναι δυο διαφορετικά φυσικά πρόσωπα, όταν ο ιδιοκτήτης του φορτίου αναθέτει σε τρίτο πρόσωπο, το οποίο στην συνέχεια θα έχει τον ρόλο του ναυλωτή, την εκπροσώπηση των συμφερόντων του.

### **2.2.3 Φορτωτής**

Κύριο μέλημα του φορτωτή είναι η προμήθευση της σωστής ποσότητας και ποιότητας του φορτίου στην κατάλληλη προβλήτα, τη συμφωνημένη ημερομηνία. Ο φορτωτής φροντίζει για την κατάσταση και τη συσκευασία των εμπορευμάτων και σημειώνει σε αυτά ενδείξεις προς διευκόλυνση του παραλήπτη. Επί πλέον, ο ίδιος είναι αρμόδιος για την φόρτωση των εμπορευμάτων στο πλοίο, είτε αυτοπροσώπως είτε αναθέτοντας την εργασία αυτή σε πράκτορα. Επίσης, φροντίδα του φορτωτή είναι η συνοδεία των εμπορευμάτων με όλα τα απαιτούμενα έγγραφα καθώς και η απρόσκοπτη ολοκλήρωση όλων των αναγκαίων διατυπώσεων τους, τελωνειακών, λιμενικών, υγειονομικών κ.α.

### **2.2.4 Διαχειριστής**

Διαχειριστές, καλούνται τα πρόσωπα της ναυλαγοράς τα οποία δραστηριοποιούνται σε αυτήν και έχουν τόσο καλή γνώση των συνθηκών της, ώστε να εξασφαλίζουν κέρδος είτε υποναυλώνοντας πλοία – διαχειριστές πλοίων - είτε υποναυλώνοντας φορτία – διαχειριστές φορτίων. Οι διαχειριστές πλοίων ναυλώνουν πλοία από πλοιοκτήτες ή εφοπλιστές με μια συγκεκριμένη τιμή ναύλου και στην συνέχεια ναυλώνουν τα ίδια πλοία σε ναυλωτές για την μεταφορά φορτίων σε

υψηλότερο ναύλο κερδίζοντας έτσι από την διαφορά των τιμών των ναύλων. Οι διαχειριστές φορτίου αντίθετα αναλαμβάνουν την μεταφορά μιας ποσότητας φορτίου έναντι είσπραξης ενός συγκεκριμένου ναύλου και στην συνέχεια ναυλώνουν πλοίο με μικρότερη τιμή ναύλου από αυτή που εισέπραξαν για την μεταφορά του φορτίου.

### **2.2.5 Μεσίτης**

Ο μεσίτης μεσολαβεί μεταξύ ενός πλοιοκτήτη που διαθέτει το πλοίο για εκναύλωση και ενός ναυλωτή που επιθυμεί να ναυλώσει το πλοίο για πραγματοποίηση μεταφοράς φορτίου, ρυθμίζοντας τις σχετικές λεπτομέρειες της σύναψης συμβάσεων, έναντι ενός χρηματικού ποσού που καλείται προμήθεια. Ειδικότερα ο μεσίτης ανάλογα με τα συμφέροντα που εκπροσωπεί, αναζητεί το κατάλληλο φορτίο που θα μεταφέρει το πλοίο του πελάτη του, στην περίπτωση που πρόκειται για μεσίτη πλοιοκτήτη, ενώ αντίθετα όταν πρόκειται για ναυλομεσίτη αναζητεί το κατάλληλο πλοίο που θα μεταφέρει το φορτίο του πελάτη του. Οι δραστηριότητες ενός μεσίτη σε μια ναύλωση είναι:

1. Η διαμεσολάβηση κατά την διαδικασία διαπραγμάτευση της συμφωνίας ναύλωσης κατά την οποία δεν υπάρχει άμεση επικοινωνία μεταξύ πλοιοκτήτη και ναυλωτή, αλλά αντίθετα οι μεσίτες οργανώνουν την όλη διαδικασία προφυλάσσοντας τα συμφέροντα των πελατών τους.
2. Η σύνταξη των ναυλοσυμφώνων, φροντίζοντας να περιλαμβάνεται σε αυτό ότι συμφωνήθηκε κατά την διάρκεια της διαπραγμάτευσης
3. Υπογράφει κατόπιν σχετικής εξουσιοδότησης για λογαριασμό του πελάτη του

4. Αναλαμβάνει να διευθετήσει οικονομικά ζητήματα μιας ναύλωσης, όπως για παράδειγμα η παρακολούθηση και η προώθηση των πληρωμών του ναύλου από τον ναυλωτή στον πλοιοκτήτη.

### **2.2.6 Πράκτορας**

Ο πράκτορας είναι το πρόσωπο εκείνο το οποίο ύστερα από εντολή του πλοιοκτήτη ασκεί την αντιπροσώπευσή του σε ορισμένο λιμάνι ή λιμάνια για την εκτέλεση εργασιών σχετικών με το πλοίο, έναντι μιας ορισμένης προμήθειας. Ο πράκτορας έχει πλήθος αρμοδιοτήτων καθώς είναι υπεύθυνος για την οργάνωση οποιασδήποτε εργασίας, διαδικασίας και επικοινωνίας που πρέπει να γίνουν κατά τον κατάπλου ενός πλοίου σε λιμάνι για το οποίο έχει οριστεί ως πράκτορας της εταιρεία στην οποία ανήκει το πλοίο.

Είναι συνηθισμένη περίπτωση στην ναυτιλιακή πρακτική, να διορίζεται ένας γενικός πράκτορας για μια χώρα, ο οποίος στην συνέχεια να επιλέγει υποπράκτορες για τα διάφορα λιμάνια της χώρας. Ο υποπράκτορας αντιπροσωπεύει και βοηθάει τον πράκτορα σε ορισμένο λιμάνι και εργασίες, εισπράττοντας μέρος της προμήθειας για τις υπηρεσίες που προσφέρει. Συνηθέστερα, όταν ο ναυτιλιακός πράκτορας αναλαμβάνει την πρακτόρευση ενός πλοίου ή μιας εταιρείας σε μια περιοχή με περισσότερα από ένα λιμάνια, αυτός περιορίζεται στο λιμάνι στο οποίο είναι εγκατεστημένος και ορίζει υποπράκτορες στα υπόλοιπα λιμάνια. Για τις πράξεις ή παραλείψεις των υποπρακτόρων του ευθύνεται ο ίδιος, ενώ οι υποπράκτορες με την σειρά τους είναι υπόλογοι απέναντι του.



## 2.3 Διαδικασία Διαχείρισης Στόλου

Ο διαχωρισμός της ναυτιλιακής αγοράς σε επιμέρους ανεξάρτητες αγορές, η ύπαρξη διαφορετικών εμπλεκόμενων ρόλων με αντικρουόμενα συμφέροντα και το πλήθος των διαφορετικών λειτουργιών που πρέπει να διεκπεραιωθούν προκειμένου να εκτελεστεί ένα ταξίδι μεταφοράς φορτίου καθιστά αδύνατη την ενασχόληση μιας ερευνητικής εργασίας με το σύνολο της ναυτιλιακής αγοράς. Η παρούσα ερευνητική εργασία προκειμένου να καταλήξει σε χρήσιμα συμπεράσματα και να προτείνει άμεσα εφαρμόσιμα εργαλεία για τον χώρο της ναυτιλίας, περιορίζει το ενδιαφέρον της, σε συγκεκριμένα τμήματα της ναυτιλιακής αγοράς και τις αντίστοιχες διαδικασίες. Ποιο συγκεκριμένα, το αντικείμενο της διατριβής είναι:

- Η επιλογή φορτίων, η οποία είναι μια διεργασία που εκτελείται από τους πλοιοκτήτες, εφοπλιστές, πράκτορες ναυτιλιακών εταιρειών για πλοία που λειτουργούν στην ελεύθερη αγορά.
- Η δρομολόγηση ενός στόλου μιας εταιρείας προκειμένου να μεταφερθεί ένα σύνολο φορτίων με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Η διεργασία αυτή εκτελείται από τους πλοιοκτήτες και τους εφοπλιστές, που δραστηριοποιούνται κυρίως στην βιομηχανική ναυτιλία.

Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται οι δραστηριότητες οι οποίες αποτελούν το πεδίο της ερευνητικής εργασίας καθώς και η υποστήριξη του πεδίου αυτού από ηλεκτρονικές υπηρεσίες.

### 2.3.1 Διαδικασία επιλογής φορτίων

Η διαδικασία αυτή εκτελείται για τα πλοία που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη αγορά καθώς στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας η ναυτιλιακή εταιρεία δεν αναζητά φορτία και μεταφέρει όλα τα φορτία που της ζητείται να μεταφέρει για λογαριασμό της βιομηχανίας στην οποία ανήκει. Ο σκοπό της διαδικασίας αυτής είναι να βρεθούν εκείνα τα φορτία της αγοράς τα οποία αναμένεται να είναι τα πιο κερδοφόρα. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των φορτίων ποικίλουν ανάλογα με την πολιτική της κάθε ναυτιλιακής εταιρείας.

Η διαδικασία όμως που ακολουθούν οι ναυτιλιακές εταιρείες ή οι μεσίτες τους, για να επιλέξουν ένα σύνολο από φορτία τα οποία θα αξιολογηθούν στην συνέχεια με μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι σταθερή ανεξάρτητη από την πολιτική της εταιρείας. Την διαδικασία αυτή την εκτελούν στελέχη με μεγάλη εμπειρία στην ναυλαγορά τα οποία έχουν την ικανότητα να αναγνωρίσουν τις ευκαιρίες και τους κινδύνους που κρύβονται στην αγορά μέσα από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων και παραμέτρων που πρέπει να εξεταστούν. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει βασικά από τον ορισμό του πλοίου για το οποίο αναζητείται φορτίο. Τα στοιχεία του πλοίου που απαιτούνται να είναι γνωστά έτσι ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία επιλογής φορτίων είναι τα εξής:

1. Η θέση του πλοίου και η εκτιμώμενη ημερομηνία που αυτό προβλέπεται να είναι διαθέσιμο. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από το τελευταίο προγραμματισμένο ταξίδι του πλοίου
2. Ο τύπος του πλοίου

3. Ο αριθμός των αμπαριών του πλοίου και η χωρητικότητα του κάθε ενός από αυτά. Στην περίπτωση που πρόκειται για πλοία τύπου Tweendecker απαιτείται η γνώση της χωρητικότητας και τις διάταξης των διαμερισμάτων που δημιουργούνται αν τοποθετηθούν διαχωριστικά σε κάθε επιτρεπτή θέση. Στην ίδια περίπτωση είναι απαραίτητο να είναι γνωστό και το πλήθος των διαχωριστικών που είναι διαθέσιμα.
4. Το μήκος και το βύθισμα του πλοίου
5. Οι ταχύτητες του πλοίου όταν αυτό είναι με ή χωρίς φορτίο αντίστοιχα
6. Σε περίπτωση που υπάρχουν συμφωνίες για μεταφορά φορτίων σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα από το διάστημα για το οποίο αναζητείται φορτίο, τότε πρέπει να είναι γνωστά όλα τα στοιχεία και οι δεσμεύσεις που έχουν γίνει για τις συμφωνηθέντες μεταφορές.
7. Χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το πλοίο πρέπει να παραμείνει ανενεργό και το λιμάνι στο οποίο πρέπει να παρευρίσκεται.

Στην συνέχεια η εταιρεία ελέγχει τα φορτία για τα οποία έχει στοιχεία. Τα απαραίτητα στοιχεία, πέρα από αυτά της ιδιοκτησίας και της αντιπροσώπευσης, που πρέπει να είναι διαθέσιμα για ένα φορτίο για να ληφθεί αυτό υπόψη στην διαδικασία της επιλογής φορτίων είναι :

1. το είδος του φορτίου
2. η ποσότητα του φορτίου
3. ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου, απαραίτητος για την μετατροπή της ποσότητας του φορτίου σε όγκο φορτίου
4. το λιμάνι φόρτωσης

5. το διάστημα που αυτό θα είναι διαθέσιμο στο λιμάνι φόρτωσης
6. το λιμάνι εκφόρτωσης
7. αν υπάρχει η ημερομηνία νωρίτερα από την οποία δεν μπορεί να ξεκινήσει η εκφόρτωση του φορτίου
8. αν υπάρχει η καταληκτική ημερομηνία παράδοσης φορτίου
9. οι ρυθμοί φόρτωσης και εκφόρτωσης
10. η τρέχουσα τιμή ναύλου που επικρατεί στην αγορά για το συγκεκριμένο είδος φορτίου και για τον εμπορικό δρόμο που ανήκει η διαδρομή μεταξύ λιμανιών φόρτωσης και εκφόρτωσης του συγκεκριμένου φορτίου.

Την πληροφορία για τα διαθέσιμα φορτία η εταιρεία την λαμβάνει από το δίκτυο της ενημέρωσης το οποίο διαθέτει στο οποίο συμμετέχουν ναυλωτές, μεσίτες και πράκτορες με τους οποίους η εταιρεία συνεργάζεται και θεωρεί αξιόπιστη την πληροφόρησή τους. Ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνει την πληροφορία η εταιρεία δεν είναι τυποποιημένος ούτε ως προς το μέσω ούτε ως προς το την μορφοποίηση. Έτσι η πληροφορία για τα διαθέσιμα φορτία είναι άλλοτε σε έντυπη μορφή (fax), άλλοτε σε ηλεκτρονική μορφή (email) και άλλοτε η πληροφόρηση είναι μόνο τηλεφωνική.

Με δεδομένα όλα τα παραπάνω στοιχεία και θεωρώντας γνωστές τις αποστάσεις μεταξύ των όλων των εμπορικών λιμανιών, το τμήμα ναύλωσης βρίσκει από το αρχικό σύνολο των διαθέσιμων φορτίων εκείνο το υποσύνολο που περιέχει εκείνα τα φορτία που μπορούν να μεταφερθούν από το ενδιαφερόμενο πλοίο. Ένα φορτίο θεωρείται ότι μπορεί να μεταφερθεί από ένα πλοίο όταν:

1. Το είδος του φορτίου μπορεί να μεταφερθεί από τον τύπο πλοίων που ανήκει το ενδιαφερόμενο πλοίο
2. Το μέγεθος του φορτίου τόσο σε ποσότητα όσο και σε όγκο είναι μικρότερο από την διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου
3. Το μέγεθός του πλοίου επιτρέπει την προσέγγιση των λιμανιών φόρτωσης και εκφόρτωσης
4. Το πλοίο προλαβαίνει να μεταβεί από το λιμάνι στο οποίο θα βρίσκεται διαθέσιμο στο λιμάνι εκφόρτωσης και να φορτώσει το φορτίο πριν επέλθει η ημερομηνία λήξης φόρτωσης.
5. Σε περίπτωση που υπάρχει καταληκτική ημερομηνία παράδοσης του πλοίου να προλαβαίνει το πλοίο να ξεφορτώσει το φορτίο πριν επέλθει η ημερομηνία αυτή.
6. Στην περίπτωση κατά την οποία το πλοίο είναι ήδη φορτωμένο με κάποιο φορτίο και αναζητείται νέο φορτίο για παράλληλη μεταφορά θα πρέπει η τοποθέτηση του στα διαμερίσματα του πλοίου, μαζί με το προηγούμενο φορτίο, να είναι εφικτή. Η εφικτότητα φόρτωσης καθορίζεται από την διαθέσιμη χωρητικότητα που προκύπτει με βάση την τοποθέτηση των ήδη υπαρχόντων φορτίων στο πλοίο και από το πλήθος των διαμερισμάτων που διαθέτει το πλοίο το οποίο δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το πλήθος των φορτίων που είναι φορτωμένα.
7. Στην περίπτωση που υπάρχουν συμβόλαια για μεταφορά άλλων φορτίων σε μετέπειτα χρονική στιγμή από αυτή που αντιστοιχεί η μεταφορά του υπό εξέταση φορτίου, τότε η μεταφορά του φορτίου που εξετάζεται δεν πρέπει να επηρεάζει την εκτέλεση των ήδη συμφωνηθέντων μεταφορών.

8. Για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μεταφορά του φορτίου το πλοίο να είναι ενεργό και να μην πρέπει να παρευρεθεί σε κάποιο λιμάνι ανενεργό.

Από το σύνολο των φορτίων που καλύπτουν τους παραπάνω περιορισμούς το τμήμα ναύλωσης πρέπει να επιλέξει εκείνα τα φορτία για τα οποία θα κάνει περαιτέρω αξιολόγηση και για τα οποία ενδεχομένως να προχωρήσει σε διαπραγματεύσεις. Στις περιπτώσεις που είναι μεγάλο το πλήθος των φορτίων που προέκυψαν και τα στοιχεία που πρέπει να αξιολογηθούν είναι πάρα πολλά, η εμπειρία των στελεχών που εκτελούν την διαδικασία έχει καθοριστικό ρόλο. Το σύνολο πάντως των κριτηρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των φορτίων, δεν είναι αντικειμενικό σύνολο αλλά εξαρτάται από την πολιτική που ακολουθεί η κάθε εταιρεία. Πιθανά κριτήρια τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή φορτίων είναι:

1. το αναμενόμενο κέρδος το οποίο εξαρτάται από την μέση τιμή του ναύλου που επικρατεί στην αγορά για το συγκεκριμένο είδος μεταφοράς, την μεταφερόμενη ποσότητα του φορτίου, την απόσταση του λιμανιού φόρτωσης από το λιμάνι διαθεσιμότητας του πλοίου, την απόσταση του λιμανιού φόρτωσης από το λιμάνι εκφόρτωσης.
2. το χρονικό διάστημα για το οποίο αναζητούνται φορτία και η εκτίμηση της εταιρείας για την ύπαρξη επιπλέον ζήτησης σε μελλοντικό χρόνο για μεταφορά φορτίων το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
3. οι εκτιμήσεις της εταιρείας για το πώς θα κυμανθούν οι ναύλοι στην αγορά το χρονικό διάστημα για το οποίο αναζητούνται φορτία.

4. η περιοχή εμπορίου στην οποία βρίσκονται τα λιμάνια εκφόρτωσης.
5. η θαλάσσια διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το πλοίο κατά την μεταφορά κάθε φορτίου
6. η αξιοπιστία της πηγής πληροφόρησης για κάθε φορτίο.

Το σύνολο των φορτίων που επιλέγεται αξιολογείται περαιτέρω κυρίως με την ανάλυση κόστους μεταφοράς και με την εκτίμηση του ναύλου που θα ζητηθεί για κάθε φορτίο. Με βάση την αξιολόγηση που πραγματοποιείται προκύπτει μια κατάταξη των φορτίων ανάλογα με τα περιθώρια κέρδους που επιτρέπει το κάθε φορτίο. Ο τρόπος αξιολόγησης των φορτίων και η κοστολόγησης της μεταφοράς τους περιγράφονται αναλυτικά στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Στην συνέχεια η εταιρεία αρχίζοντας από το φορτίο με την καλύτερη αξιολόγηση ξεκινάει διαπραγματεύσεις με τον διαμεσολαβητή ή τον ιδιοκτήτη του φορτίου. Ανάλογα με την εξέλιξη των διαπραγματεύσεων και αν υπήρξε τελική συμφωνία ή όχι, το τμήμα ναύλωσης μπορεί να ξεκινήσει διαπραγματεύσεις με το επόμενο φορτίο που προέκυψε από την αξιολόγηση. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι έως ότου επέλθει συμφωνία για την μεταφορά κάποιου φορτίου.

### **2.3.2 Διαδικασία δρομολόγησης στόλου για την μεταφορά φορτίων**

Η διαδικασία δρομολόγησης στόλου για την μεταφορά φορτίων, αφορά την διαδικασία κατά την οποία μια ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει την ανάθεση προς μεταφορά ενός συνόλου φορτίων στα πλοία που απαρτίζουν το στόλο της και την σειρά φόρτωσης και εκφόρτωσης των φορτίων για κάθε στόλο. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται τόσο από τις εταιρείες της ελεύθερης ναυτιλίας όσο και από τις

εταιρείες της βιομηχανικής ναυτιλίας. Ωστόσο στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας η διαδικασία αυτή για το πια φορτία θα μεταφέρει ένα πλοίο πραγματοποιείται παράλληλα με την διαδικασία επιλογής φορτίων αφού στις συμφωνίες που υπάρχουν με τους ιδιοκτήτες των φορτίων προσδιορίζεται και το πλοίο που θα μεταφέρει το εκάστοτε φορτίο. Αντίθετα στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας όπου η μεταφορά των φορτίων γίνεται για λογαριασμό της ίδιας της εταιρείας και όχι τρίτων, δεν υπάρχει καμία αρχική δέσμευση ως προς το πιο πλοίο θα μεταφέρει κάποιο φορτίο. Έτσι στις εταιρείες αυτές απαιτείται να ακολουθηθεί μια διαδικασία σχεδίασης της μεταφοράς των φορτίων. Στις ναυτιλιακές αυτές εταιρείες παραδίδεται η απαιτούμενη ζήτηση για μεταφορά φορτίων για ένα χρονικό διάστημα και η ναυτιλιακή εταιρεία πρέπει να καλύψει την ζήτηση αυτή είτε όσο πιο γρήγορα γίνεται είτε με το μικρότερο δυνατό κόστος, χρησιμοποιώντας τον ιδιόκτητο στόλο της εταιρείας. Σημαντικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας αυτής είναι ότι η ζήτηση που παραδίδεται και πρέπει να καλυφθεί από τον στόλο της εταιρείας, θεωρείται σταθερή για το χρονικό διάστημα στο οποίο αναφέρεται. Αυτό συμβαίνει γιατί τα φορτία της ζήτησης αφορούν υλικά που προορίζονται για την λειτουργία μιας καλά οργανωμένης βιομηχανίας, η οποία μπορεί με ακρίβεια να προβλέψει τις ανάγκες της, πολύ πριν χρειαστεί τα υλικά.

Για την εκτέλεση της διαδικασίας δρομολόγησης στόλου για την μεταφοράς των φορτίων, απαιτούνται να είναι γνωστά τόσο για τα πλοία όσο και για τα φορτία, τα ίδια στοιχεία που παρουσιάστηκαν και στην διαδικασία επιλογής φορτίων από τις εταιρείες της ελεύθερης ναυτιλίας στην ενότητα 2.3.1. Επιπλέον για την ανάθεση ενός φορτίου σε ένα πλοίο πρέπει να ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί που επίσης παρουσιάζονται στην ενότητα 2.3.1. Με δεδομένα τα παραπάνω στοιχεία και την



ικανοποίηση των περιορισμών, στόχος της διαδικασίας είναι η βέλτιστη ανάθεση των φορτίων στα πλοία έτσι ώστε είτε να μειωθεί είτε το κόστος της μεταφοράς είτε ο χρόνος μεταφοράς των φορτίων. Στην περίπτωση που το πλήθος των φορτίων και των πλοίων είναι μικρό, η βέλτιστη ανάθεση των φορτίων στα πλοία συνήθως προκύπτει άμεσα και η διαδικασία εκτελείται με απλούς υπολογισμούς από έμπειρα στελέχη των εταιρειών. Όσο όμως το πλήθος των φορτίων και των πλοίων αυξάνεται τόσο πιο επιτακτική γίνεται η ανάγκη χρήσης εξειδικευμένων ηλεκτρονικών εργαλείων με την χρήση των οποίων μπορεί να προκύψει η βέλτιστη ανάθεση των φορτίων στα πλοία.

### **2.3.3 Υπάρχοντα ηλεκτρονικά εργαλεία υποστήριξης**

Ο όγκος των δεδομένων που έχουν να διαχειριστούν οι ναυτιλιακές εταιρείες, η πολυπλοκότητα των υπολογισμών και η διασπορά της πληροφορίας σε διάφορες πηγές, καθιστά αναγκαία την χρήση πληροφοριακών συστημάτων και του διαδικτύου για την διευκόλυνση της διαδικασίας εύρεσης φορτίου και διαπραγμάτευσης ναύλωσης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες.

1. Συστήματα εύρεσης και διαχείρισης πληροφορίας: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα πληροφοριακά συστήματα που χρησιμοποιούν οι εταιρείες για να βρίσκουν τις αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την μορφοποίηση της πληροφορίας των διαθέσιμων φορτίων προς μεταφορά. Η μη υιοθέτηση μιας διεθνώς αναγνωρισμένης μορφοποίησης της πληροφορίας για την περιγραφή των διαθέσιμων προς μεταφορά φορτίων δυσχεραίνει την χρησιμοποίηση

πληροφοριακών συστημάτων που διαχειρίζονται όλα τα διαθέσιμα φορτία για τα οποία είναι ενήμερη μια εταιρεία. Το πρόβλημα αυτό προσπαθούν να το αντιμετωπίσουν κάποια εργαλεία τα οποία εκμεταλλεύονται την χρήση συγκεκριμένων λέξεων και μοτίβων στην ήδη υπάρχουσα πληροφορία για να την μετατρέψουν σε μια κοινή μορφοποίηση την οποία διαχειρίζονται τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας.

2. Συστήματα ανάλυσης κόστους ταξιδιού: Με τα συστήματα αυτά, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στις ναυτιλιακές εταιρείες, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση του κόστους εκτέλεσης ενός συγκεκριμένου ταξιδιού. Στα συστήματα αυτά, ο χρήστης καθορίζει τα στοιχεία ενός φορτίου και τα στοιχεία το πλοίου για το οποίο θέλει να εξετάσει την ναύλωση και το σύστημα πραγματοποιεί λεπτομερής ανάλυση του εκτιμώμενου κόστους της μεταφοράς. Τέτοια συστήματα τις περισσότερες φορές επικοινωνούν με συστήματα υπολογισμού αποστάσεων μεταξύ λιμανιών έτσι ώστε να καθορίσουν το κόστος εκτέλεσης. Τα συστήματα αυτά δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει την τιμή του ναύλου ανά ημέρα ή μεταφερόμενο τόνο, ανάλογα με το τι αυτός επιθυμεί για να υπολογίσουν στην συνέχεια το αναμενόμενο κέρδος. Τέτοιου είδους συστήματα είναι χρήσιμα τόσο για την αξιολόγηση ενός φορτίου όσο και κατά την διαπραγμάτευση της μεταφοράς του.
3. Συστήματα βέλτιστης ανάθεσης φορτίων σε πλοία: Τα συστήματα αυτά πραγματοποιούν την βέλτιστη δρομολόγηση πλοίων ανάμεσα σε ένα σύνολο ενεργειών φόρτωσης και εκφόρτωσης ενός προκαθορισμένου

συνόλου φορτίων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος εξυπηρέτησης των συγκεκριμένων φορτίων. Τα συστήματα αυτά είναι λιγοστά στην αγορά των ναυτιλιακών ηλεκτρονικών προγραμμάτων καθώς έχουν αναπτυχθεί από λιγοστές ναυτιλιακές εταιρείες οι οποίες δραστηριοποιούνται στο χώρο της βιομηχανικής αγοράς.

4. Ηλεκτρονικές αγορές: Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των ηλεκτρονικών αγορών και στην διαδικασία ναύλωσης. Για την ακρίβεια οι ενδιαφερόμενοι για μεταφορά φορτίου μέσω θαλάσσης, καταχωρούν τα στοιχεία για κάθε φορτίο προς μεταφορά σε συγκεκριμένους δικτυακούς τόπους, από όπου οι εγγεγραμμένες ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να αναζητήσουν φορτία προς μεταφορά. Συχνά τέτοια συστήματα μετατρέπονται σε δικτυακούς πλειστηριασμούς όπου κάθε εταιρεία καταθέτει την δική της προσφορά για το φορτίο που ενδιαφέρεται και ο κάτοχος του φορτίου αποφασίζει για την προσφορά την οποία θα δεχθεί. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δίνεται στις ναυτιλιακές εταιρείες η δυνατότητα να καταγράψουν στο σύστημα τα πλοία που διαθέτουν και να ενημερώνουν για την θέση των πλοίων και την κατάσταση τους. Με αυτό τον τρόπο οι ηλεκτρονικές αγορές κάνουν αντιστοίχιση πλοίων και φορτίων και παρουσιάζουν στις εταιρείες ένα σύνολο από φορτία που είναι εφικτό να μεταφερθούν από ένα συγκεκριμένο πλοίο που θα βρίσκεται σε μια δεδομένη περιοχή για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Σε ορισμένες από αυτές τις ηλεκτρονικές αγορές παρέχονται εργαλεία ανάλυσης κόστους ενός ταξιδιού έτσι ώστε να διευκολύνουν τις ναυτιλιακές εταιρείες στην επιλογή της πιο συμφέρουσας μεταφοράς φορτίου.

Όπως γίνεται αντιληπτό η διαδικασία της ναύλωσης υποστηρίζεται με ηλεκτρονικά μέσα, κυρίως στο στάδιο της ενημέρωσης των διαθέσιμων φορτίων και σε περιορισμένες περιπτώσεις στο στάδιο του διαχωρισμού των φορτίων που μπορούν να μεταφερθούν από ένα συγκεκριμένο πλοίο. Η εύρεση των πιο κερδοφόρων διαθέσιμων φορτίων στηρίζεται, λόγω του όγκου των δεδομένων και των ελέγχων που πρέπει να πραγματοποιηθούν, στην διεξοδική μελέτη ενός μόνο συνόλου διαθέσιμων φορτίων. Η επιλογή του συνόλου αυτού των φορτίων που αξιολογούνται γίνεται εμπειρικά χωρίς την χρήση πληροφοριακών συστημάτων ενώ και η ίδια η αξιολόγηση των φορτίων που προκύπτουν στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία των ατόμων που την πραγματοποιούν με μοναδική ηλεκτρονική υποστήριξη τα πακέτα ανάλυσης κόστους.

## 3 Πρόβλημα Δρομολόγησης Στόλου Πλοίων

Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου έγκειται στην ανάθεση ενός συνόλου φορτίων στα πλοία του στόλου για την μεταφορά τους και ο καθορισμός της ακολουθίας φορτοεκφορτώσεων που πρέπει να ακολουθήσει κάθε πλοίο έτσι ώστε η μεταφορά να γίνει με το μικρότερο δυνατό κόστος για το σύνολο των φορτίων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος, ο μαθηματικός ορισμός του και μια ανασκόπηση των ερευνητικών εργασιών που έχουν παρουσιαστεί στην διεθνή βιβλιογραφία για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

### 3.1 Ιδιαιτερότητες Προβλήματος

Με βάση τα χαρακτηριστικά και το στόχο του προβλήματος δρομολόγησης πλοίων, μπορεί να θεωρηθεί ότι το πρόβλημα εμπίπτει στη γενικότερη οικογένεια προβλημάτων δρομολόγησης μεταφορικών μέσων. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα της οικογένειας αυτής είναι το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου φορτηγών (Vehicle Routing Problem) για την μεταφορά προϊόντων το οποίο έχει αποτελέσει αντικείμενο πληθώρας ερευνητικών εργασιών. Ωστόσο οι ιδιαιτερότητες του προβλήματος δρομολόγησης πλοίων έχει διαχωρίσει την έρευνα που πραγματοποιείται για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος από την έρευνα για την επίλυση του γενικότερου προβλήματος δρομολόγησης στόλου. Οι κυριότερες

ιδιαιτερότητες του προβλήματος δρομολόγησης πλοίων που οδηγούν σε μια ανεξάρτητη ερευνητική διαδικασία για την επίλυση του προβλήματος είναι οι εξής:

1. Το χρονικό διάστημα για το οποίο πραγματοποιείται η δρομολόγηση είναι περιορισμένο – δυο με τρεις μήνες – και δεδομένου ότι τα ταξίδια διαρκούν κάποιες βδομάδες το πλήθος των μεταφορών που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο είναι επίσης περιορισμένο
2. Το πλήθος των φορτίων που απαιτείται να μεταφερθούν σπανίως υπερβαίνει τις μερικές δεκάδες.
3. Τα πλοία του στόλου δεν είναι ομοιόμορφα και διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά τα χαρακτηριστικά μεταφορικής τους ικανότητας και κόστος λειτουργίας τους.
4. Πέρα από τον περιορισμό της μη υπέρβασης της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου και την παραβίαση των χρονικών παραθύρων παραλαβής και παράδοσης, υπάρχουν επιπλέον περιορισμοί, όπως
  - a. η συμβατότητα του πλοίου με τα λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης,
  - b. η συμβατότητα του πλοίου με τις θαλάσσιες διαδρομές, τα περάσματα και τα κανάλια μεταξύ των λιμανιών φόρτωσης και εκφόρτωσης,
  - c. η εφεκτικότητα τοποθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα το πλοίου,
  - d. η υποχρέωση του πλοίου να βρίσκεται σε συγκεκριμένα λιμάνια κάποιες δεδομένες χρονικές περιόδους για την εκτέλεση απαραίτητων εργασιών και ανεφοδιασμών.

5. Μετά την μεταφορά όλων των φορτίων, τα πλοία δεν είναι ανάγκη να επιστρέψουν στο λιμάνι από το οποίο ξεκίνησαν.
6. Η μεταβλητότητα των συνθηκών λόγω της παγκόσμιας κλίμακας των μεταφορών και η αυξημένη εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες, εμποδίζει τον ακριβή προγραμματισμό της λειτουργίας ενός στόλου.
7. Τα πλοία σε αντίθεση με τα οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν όλο το εικοσιτετράωρο.
8. Το κόστος λειτουργίας ενός πλοίου για την εκτέλεση ενός ταξιδιού σε σχέση με το κόστος λειτουργίας ενός οχήματος εξαρτάται και από τα λιμάνια που αυτό επισκέπτεται και σε πολλές περιπτώσεις και από την ποσότητα του φορτίου που μεταφέρει.
9. Τα φορτία συνήθως έχουν βάρος παραπλήσιο της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, με αποτέλεσμα ένα πλοίο σπανίως να μεταφέρει περισσότερα από τρία με τέσσερα φορτία.

Οι παραπάνω ιδιαιτερότητες απαιτούν τροποποίηση των αλγορίθμων που παρουσιάζονται για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η ικανοποίηση και όλων των περιορισμών. Η αύξηση ωστόσο των περιορισμών σε συνδυασμό με το πλήθος των δεδομένων περιορίζει σημαντικά το πλήθος των εφικτών μεταφορών και επιτρέπει την εύρεση βέλτιστης λύσης σε εύλογο χρονικό διάστημα, σε αντίθεση με τα γενικότερα προβλήματα δρομολόγησης στα οποία αναζητείται προσέγγιση της βέλτιστης λύσης. Όπως παρουσιάζεται και στην ερευνητική εργασία του Ronen (2000) [1], προβλήματα δρομολόγησης με μικρό αριθμό μεταφορών ανά μεταφορικό μέσο μπορούν να λυθούν σχετικά εύκολα με εξαντλητικό τρόπο, ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις προβλημάτων δρομολόγησης

στόλου πλοίων όπου το πλήθος των δυνατών δρομολογίων είναι τόσο μεγάλο που απαιτεί την χρήση είτε αποδοτικών αλγορίθμων για την επίλυση του.

### **3.2 Set Partitioning Μοντελοποίηση Προβλήματος**

Η μοντελοποίηση που ακολουθείται στο μεγαλύτερο ποσοστό, ερευνητικών εργασιών που ασχολούνται με το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου πλοίων, είναι αυτή του Set Partitioning προβλήματος. Όπως αναφέρεται και στην ερευνητική εργασία των Christiansen και Fagerholt [2] το 40% των εργασιών που πραγματεύονται την δρομολόγηση στόλου και είχαν παρουσιαστεί μέχρι το 2004 χρησιμοποιούσαν Set Partitioning μοντελοποίηση του προβλήματος. Για τον λόγο αυτό η συγκεκριμένη μοντελοποίηση του προβλήματος ακολουθείται και στην παρούσα εργασία. Σύμφωνα με την μοντελοποίηση αυτή η επίλυση διασπάται σε δυο ξεχωριστά στάδια. Στο πρώτο στάδιο για κάθε πλοίο δημιουργούνται όλα τα εφικτά δρομολόγια που μπορεί να εκτελέσει ενώ παράλληλα υπολογίζεται και το κόστος εκτέλεσης κάθε δρομολογίου και στο δεύτερο στάδιο αναζητείται η βέλτιστη ανάθεση δρομολογίων στα πλοία έτσι ώστε να μεταφερθούν όλα τα φορτία με το μικρότερο δυνατό κόστος εκτέλεσης και ότι κάθε φορτίο μεταφέρεται από ένα μόνο πλοίο. Με την διάσπαση αυτή οι πολύπλοκοι και μη δυαδικοί περιορισμοί που υποβάλλονται από την φύση του προβλήματος ικανοποιούνται στην πρώτη φάση ενώ στην δεύτερη φάση επιλύεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με την χρήση δυαδικών μεταβλητών.



### 3.2.1 Εύρεση εφικτών δρομολογίων ανά πλοίο

Με τον όρο εφικτό δρομολόγιο ενός πλοίου ορίζουμε μια ακολουθία λιμανιών που μπορεί να επισκεφθεί ένα πλοίο, μεταφέροντας φορτία μεταξύ των λιμανιών αυτών χωρίς να παραβιάζεται κανένας από τους περιορισμούς προτεραιότητας (προηγείται η φόρτωση της εκφόρτωσης), χωρητικότητας (τα φορτία μπορούν να αποθηκευτούν στα διαμερίσματα του πλοίου), χρονικούς (η φόρτωση και η εκφόρτωση των φορτίων γίνεται μέσα στα χρονικά παράθυρα που έχουν ορίσει οι ιδιοκτήτες των φορτίων) και συμβατότητας λιμανιού με πλοίο (οι διαστάσεις και το βύθισμα του πλοίου δεν εμποδίζουν τον ελλιμενισμό του στα λιμάνια). Για κάθε λιμάνι που βρίσκεται σε ένα δρομολόγιο πρέπει να είναι καθορισμένα ο χρόνος άφιξης, ο χρόνος αναχώρησης από αυτό καθώς και ο χρόνος έναρξης και τερματισμού της λειτουργίας – φόρτωσης ή εκφόρτωσης – που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο λιμάνι. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που το πλοίο φτάνει σε ένα λιμάνι πριν ξεκινήσει το χρονικό παράθυρο που έχει καθοριστεί για την αντίστοιχη ενέργεια τότε το πλοίο θα πρέπει να περιμένει την έναρξη του χρονικού παραθύρου για να ξεκινήσει την λειτουργία. Όταν ολοκληρώνεται ένα δρομολόγιο, στο πλοίο δεν πρέπει να βρίσκεται κανένα φορτίο ενώ από ένα ολοκληρωμένο δρομολόγιο ενδεχομένως να μπορούν να προκύψουν νέα δρομολόγια, αν είναι εφικτή η φόρτωση και εκφόρτωση νέων φορτίων. Η εύρεση των εφικτών δρομολογίων, πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε πλοίο του στόλου.

Το πλήθος των δρομολογίων που μπορεί να προκύψουν για ένα πλοίο εξαρτάται από τα στοιχεία των φορτίων και του πλοίου και μπορεί να κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως μερικές χιλιάδες. Κατά την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης

ενός στόλου ενδεχομένως να χρειασθεί να δημιουργηθούν πολλές χιλιάδες δρομολόγια με αποτέλεσμα η αποδοτικότητα του αλγόριθμου που δημιουργεί τα δρομολόγια να επηρεάζει καθοριστικά τον χρόνο επίλυσης του συνολικού προβλήματος δρομολόγησης. Στο σύνολο των περιπτώσεων που έχουν παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία η δημιουργία των εφικτών δρομολογίων πραγματοποιείται με κάποιο εξαντλητικό αλγόριθμο ο οποίος παράγει το σύνολο των εφικτών δρομολογίων σε εύλογο χρονικό διάστημα εκμεταλλευόμενος τους πολλούς περιορισμούς και το μικρό πλήθος φορτίων.

Πέρα από την ικανοποίηση των περιορισμών χωρητικότητας και των χρονικών παραθύρων που ικανοποιούν όλοι οι αλγόριθμοι που έχουν παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τους αλγόριθμους που έχουν παρουσιαστεί επηρεάζοντας τις απαιτήσεις που μπορούν να μοντελοποιήσουν. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

1. Το πλήθος των φορτίων που μπορεί να μεταφέρει ένα πλοίο στην διάρκεια ενός ταξιδιού
2. Ο έλεγχος της εφεκτικότητας τοποθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου
3. Ο έλεγχος της ταχύτητας του πλοίου
4. Η δυνατότητα ορισμού περιόδων στις οποίες το πλοίο πρέπει να βρίσκεται ανενεργό σε συγκεκριμένο λιμάνι

Η μαθηματική αναπαράσταση που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος, διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς

που επιδιώκει να μοντελοποιήσει κάθε αλγόριθμος. Ωστόσο σε όλες τις περιπτώσεις ένα δρομολόγιο μοντελοποιείται ως μια αλυσίδα κόμβων και ακμών όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν την φόρτωση ή εκφόρτωση ενός φορτίου και οι ακμές τις μεταβάσεις του πλοίου ανάμεσα στα λιμάνια του πλοίου.

Η δημιουργία ενός δρομολογίου συνοδεύεται με τον υπολογισμό του κόστους εκτέλεσης του δρομολογίου για την ναυτιλιακή εταιρεία. Τα έξοδα που συμπεριλαμβάνονται στο κόστος εκτέλεσης ενός δρομολογίου εξαρτώνται από τα ήδη εξόδων που επιθυμεί η ναυτιλιακή εταιρεία να μειώσει για την μεταφορά των φορτίων από το σύνολο του στόλου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το μέγεθος που επιδιώκεται να μειωθεί είναι ο χρόνος μεταφοράς των φορτίων, όποτε στην περίπτωση αυτή το μέγεθος που κοστολογείται για κάθε δρομολόγιο είναι ο χρόνος περάτωσης του δρομολογίου. Η κοστολόγηση του δρομολογίου μπορεί να γίνεται είτε παράλληλα με την κατασκευή του είτε μετά την ολοκλήρωση του.

### **3.2.2 Βέλτιστη ανάθεση δρομολογίων στα πλοία**

Η βέλτιστη ανάθεση δρομολογίων, είναι το δεύτερο στάδιο της επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης στόλου πλοίων βάση της SP μοντελοποίησης του προβλήματος. Κατά το στάδιο αυτό σε κάθε πλοίο του στόλου αναθέτεται ένα δρομολόγιο έτσι ώστε κάθε φορτίο να μεταφέρεται από ένα μόνο πλοίο και τα συνολικά έξοδα ή ο συνολικός χρόνος μεταφοράς να ελαχιστοποιείται.

Σύμφωνα με την SP πρόβλημα, το πρόβλημα της ανάθεσης δρομολογίων στα πλοία ενός στόλου μπορεί να μοντελοποιηθεί εξής. Έστω  $V$  το σύνολο των πλοίων

του στόλου και  $N$  το σύνολο των φορτίων που πρέπει να μεταφερθούν. Υποθέτουμε ότι για κάθε πλοίο  $v$  έχει δημιουργηθεί ένα σύνολο από εφικτά δρομολόγια  $R_v$  και για κάθε δρομολόγιο  $r$  του συνόλου αυτού υπάρχει ένα κόστος  $c_{vr}$ . Αν θεωρήσουμε ότι η μεταβλητή  $x_{vr}$  έχει τιμή 1 αν στο πλοίο  $v$  αναθέτεται το δρομολόγιο  $r$  ή την τιμή 0 διαφορετικά και επιπλέον ότι η μεταβλητή  $a_{ivr}$  έχει την τιμή 1 αν το φορτίο  $i$  μεταφέρεται από το πλοίο  $v$  στο δρομολόγιο  $r$  αυτού ή την τιμή 0 διαφορετικά, τότε το πρόβλημα της βέλτιστης ανάθεσης δρομολογίων σε πλοία μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} c_{vr} x_{vr} \quad (1a)$$

$$\text{δεδομένου ότι} \quad \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} x_{vr} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2a)$$

$$\sum_{r \in R_v} x_{vr} = 1, \quad \forall v \in V \quad (3a)$$

$$x_{vr} \in \{0,1\}, \quad \forall v \in V, \quad \forall r \in R_v \quad (4a)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση 1 υπολογίζει το συνολικό κόστος μεταφοράς των φορτίων και στόχο έχει να ελαχιστοποιήσει την ποσότητα αυτή, τα υπόλοιπα αποτελούν τους περιορισμούς του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα η 2 εξασφαλίζει ότι όλα τα φορτία θα εξυπηρετηθούν, η 3 ότι σε κάθε πλοίο θα ανατεθεί ένα μόνο δρομολόγιο και η 3 την δυαδική φύση του προβλήματος.

Σε αρκετές περιπτώσεις τα πλοία ενός στόλου δεν είναι εφικτό να μεταφέρουν όλα τα φορτία και στην περίπτωση αυτή απαιτείται η ναύλωση πλοίων από την ελεύθερη αγορά. Για την μοντελοποίηση αυτού του προβλήματος εισάγουμε μια νέα μεταβλητή

$s_i$  η οποία έχει την τιμή 1 αν το φορτίο  $i$  εξυπηρετείται από την ελεύθερη αγορά ή την τιμή μηδέν διαφορετικά και εισάγουμε και το αντίστοιχο κόστος  $c_{i\text{-spot}}$  που απαιτείται για την ναύλωση πλοίου για την μεταφορά του φορτίου  $i$ . Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα μοντελοποιείται ως εξής.

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} c_{vr} x_{vr} + \sum_{i \in N} c_{i\text{-spot}} s_i \quad (1b)$$

$$\text{δεδομένου ότι} \quad \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} x_{vr} + s_i = 1, \quad \forall i \in N \quad (2b)$$

$$\sum_{r \in R_v} x_{vr} = 1, \quad \forall v \in V \quad (3b)$$

$$x_{vr} \in \{0,1\}, \quad \forall v \in V, \quad \forall r \in R_v \quad (4b)$$

$$s_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N, \quad (5b)$$

Μια ακόμη συχνά εμφανιζόμενη μορφή του προβλήματος είναι αυτή κατά την οποία πέρα από τα φορτία που πρέπει υποχρεωτικά να μεταφερθούν υπάρχει και ένα σύνολο από φορτία της ελεύθερης αγοράς των οποίων η μεταφορά δεν είναι υποχρεωτική αλλά μπορεί να επιφέρει κέρδος στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί. Στην περίπτωση αυτή η μοντελοποίηση του προβλήματος διαφοροποιείται σε σχέση με τις περιγραφές που παρουσιάστηκαν παραπάνω καθώς στόχος το πρόβλημα δεν είναι να ελαχιστοποιήσει το κόστος αλλά να μεγιστοποιήσει το κέρδος από την μεταφορά των φορτίων. Έτσι για την περιγραφή του νέου προβλήματος, σε σχέση με τις προηγούμενες περιγραφές, μπορούμε να ορίσουμε ως  $p_{vr}$  το κέρδος από την μεταφορά των φορτίων του δρομολογίου  $r$  από το πλοίο  $v$  και  $\pi_i$  το κέρδος από την μεταφορά του φορτίου  $i$ , από ναυλωμένο πλοίο της ελεύθερης αγοράς. Επιπλέον αν το σύνολο των φορτίων  $N$  διαχωριστεί σε δυο υποσύνολα  $N_C$  και  $N_O$  όπου το πρώτο

περιέχει τα φορτία που υποχρεωτικά πρέπει να μεταφερθούν ενώ το δεύτερο τα φορτία της ελεύθερης αγοράς τότε το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου μπορεί να περιγραφεί ως εξής

$$\max \sum_{u \in V} \sum_{r \in R_u} (p_{ur} - c_{ur})x_{ur} + \sum_{i \in N} \pi_i s_i \quad (1c)$$

$$\text{δεδομένου ότι } \sum_{u \in V} \sum_{r \in R_u} a_{tur}x_{ur} + s_i = 1, \quad \forall i \in N_C \quad (2c)$$

$$\sum_{u \in V} \sum_{r \in R_u} a_{tur}x_{ur} \leq 1, \quad \forall i \in N_O \quad (2c')$$

$$\sum_{r \in R_u} x_{ur} = 1, \quad \forall u \in V \quad (3c)$$

$$x_{ur} \in \{0,1\}, \quad \forall u \in V, \quad \forall r \in R_u \quad (4c)$$

$$s_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N, \quad (5c)$$

Στην περίπτωση αυτή η 1 αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση που υπολογίζει το κέρδος από την μεταφορά φορτίων και επιδιώκει την μεγιστοποίηση της ποσότητας αυτής, η 2c εξασφαλίζει ότι όλα τα φορτία που ανήκουν στο σύνολο  $N_C$  θα μεταφερθούν, ενώ η ανισότητα 2c' υποδεικνύει ότι τα φορτία του συνόλου  $N_O$  δεν είναι απαραίτητο να μεταφερθούν.

Το πλήθος των δυνατών αναθέσεων δρομολογίων στα πλοία του στόλου, μπορεί να είναι παρά πολύ μεγάλο ανάλογα με το πλήθος των πλοίων του στόλου και τα εφικτά δρομολόγια που έχουν δημιουργηθεί για καθένα από αυτά. Όπως είναι αναμενόμενο η απόδοση του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται για την επίλυση του

προβλήματος ανάθεσης δρομολογίων επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο επίλυσης του συνολικού προβλήματος.

### **3.3 Σχετικές Ερευνητικές Εργασίες**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται επιστημονικά άρθρα τα οποία έχουν παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία και αφορούν ερευνητικές εργασίες για την δρομολόγηση στόλου πλοίων.

Οι εργασίες που έχουν δημοσιευθεί στην βιβλιογραφία μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με την ναυτιλιακή αγορά στην οποία συναντάται το πρόβλημα με το οποίο πραγματεύονται. Έτσι μπορούν να διαχωριστούν και αυτές σε εργασίες οι οποίες αφορούν:

1. την ελεύθερη αγορά
2. την βιομηχανική ναυτιλία

Με βάση τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε για τις δυο αυτές κατηγορίες εργασιών διαπιστώθηκε ότι το πλήθος των εργασιών είναι σχετικά μικρό. Επιπλέον εξετάζοντας τον τρόπο λειτουργίας κάθε αγοράς διαπιστώνεται ότι τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα δυο αντίστοιχα είδη αγορών είναι παραπλήσια. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση της ελεύθερης αγοράς οι εταιρείες αναζητούν την βέλτιστη ακολουθία εξυπηρέτησης ορισμένων φορτίων από ένα αρχικό σύνολο φορτίων έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους από την μεταφορά των φορτίων, ικανοποιώντας παράλληλα όλους τους χωρικούς και

χρονικούς περιορισμούς που υποβάλλονται από τα φορτία και τα πλοία. Στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας αναζητείται η βέλτιστη ακολουθία με την οποία μπορεί να εξυπηρετηθεί ένα σύνολο φορτίων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος μεταφοράς τους, χωρίς να παραβιάζονται οι αντίστοιχοι χρονική και χωρική περιορισμοί. Η ομοιότητα των προβλημάτων που παρουσιάζονται στις δυο αγορές έχει σαν αποτέλεσμα ορισμένες από τις εργασίες που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία να έχουν υπό συνθήκες εφαρμογή και στα δύο ήδη αγορών.

Η πλειοψηφία των εργασιών που έχουν παρουσιαστεί αποσκοπούν στην επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης στόλου που λειτουργεί στην βιομηχανική ναυτιλία ενώ ελάχιστες ήταν οι εργασίες που αφορούσαν την δρομολόγηση στόλου εταιρειών που λειτουργούν στην ελεύθερη αγορά. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται οι σημαντικότερες ερευνητικές εργασίες με θέμα την δρομολόγηση στόλου πλοίων κατηγοριοποιημένες ανάλογα με τον τομέα ναυτιλίας στον οποίο απευθύνονται. Μετά την παρουσίαση των εργασιών επιχειρείται μια επισκόπηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των σημαντικότερων ερευνητικών εργασιών που ασχολούνται με το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου πλοίων. Τα χαρακτηριστικά που παραθέτονται είναι το αποτέλεσμα που επιδιώκεται από την επίλυση του προβλήματος, η αντικειμενική συνάρτηση για την αξιολόγηση του προβλήματος που χρησιμοποιείται και η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος.



### 3.3.1 Εργασίες με εφαρμογή και στον τομέα της ελεύθερης ναυτιλίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι εργασίες που έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία και έχουν άμεση εφαρμογή στην ελεύθερη ναυτιλία. Κοινό στοιχείο των εργασιών αυτών είναι ότι στόχο έχουν να μεγιστοποιήσουν τα έσοδα της ναυτιλιακής εταιρείας από την χρήση του στόλου της, μεταφέροντας πέρα από τα φορτία που είναι υποχρεωτικά και κάποια από τα φορτία που βρίσκονται στην ελεύθερη αγορά, η μεταφορά των οποίων επιφέρει επιπλέον κέρδη για την εταιρεία. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για το οποίο η ζήτηση για την μεταφορά φορτίων θεωρείται σταθερή. Στην περίπτωση αυτού του είδους δρομολόγησης στόλου πλοίων η μαθηματική περιγραφή που αντιστοιχεί βάση της SP μοντελοποίησης του προβλήματος είναι αυτή που περιγράφηκε από τις σχέσεις (1c) – (5c).

Η πρώτη εργασία με εφαρμογή στη ελεύθερη ναυτιλία παρουσιάστηκε από τον Appelgren το 1969 [3] και 1971 [4] αντίστοιχα όπου ένα σύνολο από φορτία έπρεπε να εξυπηρετηθεί από ένα στόλο πλοίων. Οι πλειοψηφία των φορτίων αφορούσαν προσυμφωνημένες μεταφορές οι οποίες έπρεπε οπωσδήποτε να εξυπηρετηθούν από τον στόλο. Ωστόσο ένα μικρό μέρος του αρχικού συνόλου των φορτίων ήταν φορτία της ελεύθερης αγοράς και η εξυπηρέτηση ορισμένων από αυτά μπορούσε να επιλεγεί αν κάτι τέτοιο μεγιστοποιούσε το κέρδος της εταιρείας. Το μέγεθος των φορτίων που μετείχαν στο πρόβλημα ήταν παραπλήσιου μεγέθους με την διαθέσιμη χωρητικότητα των πλοίων και για το λόγο αυτό μόνο ένα φορτίο μπορούσε να είναι φορτωμένο στο πλοίο ανά πάσα στιγμή. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η διάσπαση του προβλήματος με την μέθοδο των

Dantzing-Wolfe [5], η οποία χρησιμοποιήθηκε στην συνέχεια από πολλές εργασίες. Με την μέθοδο αυτή το αρχικό πρόβλημα διασπάστηκε σε δύο προβλήματα: το πρώτο είναι η δημιουργία των πιθανών δρομολογίων για κάθε πλοίο έτσι ώστε να ικανοποιούνται όλοι οι χωρικοί και χρονικοί περιορισμοί και το δεύτερο πρόβλημα είναι η βέλτιστη ανάθεση των δρομολογίων στα πλοία έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος και κάθε φορτίο να εξυπηρετείται το πολύ από ένα μόνο πλοίο. Το πρώτο πρόβλημα μοντελοποιήθηκε ως πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού (Shortest Path) ενώ το δεύτερο μοντελοποιήθηκε ως μια μορφή του γνωστού set packing προβλήματος. Από τις μεθόδους επίλυσης που παρουσιάστηκαν για την λύση του πρώτου προβλήματος μόνο αυτή που ακολουθούσε την μέθοδο branch and bound έδινε αποτελέσματα τα οποία αντιστοιχούσαν σε εφικτά δρομολόγια.

Το 1997 οι Kim και Lee [6] παρουσίασαν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη αγορά προκειμένου να επιλέξουν, για τον στόλο των πλοίων που έχουν να διαχειριστούν, εκείνες τις ακολουθίες φορτοεκφόρτωσης φορτίων που μεγιστοποιούν το κέρδος της εταιρείας. Ανάλογος διαχωρισμός με αυτόν που πραγματοποιήθηκε από τον Appelgren [3][4] χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Το βασικό πρόβλημα της ανάθεσης των δρομολογίων στα πλοία με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους έτσι ώστε κάθε φορτίο να εξυπηρετείται το πολύ από ένα πλοίο, μοντελοποιήθηκε όπως στην εργασία του Appelgren και επιλύθηκε με την χρήση εμπορικού λογισμικού. Το επιμέρους πρόβλημα της δημιουργίας όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο επιλύθηκε με έναν νέο τρόπο όπου αρχικά για κάθε πλοίο κατασκευάζεται ένας α-κυκλικός γράφος ο οποίος αναπαριστά όλους τους δυνατούς τρόπους μετάβασης ανάμεσα στις διάφορες

φορτοεκφορτώσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει το πλοίο. Ο γράφος που δημιουργείται είναι κατευθυνόμενος και η ακολουθία των κόμβων που δημιουργούνται ακολουθεί την χρονική εξέλιξη των χρονικών περιορισμών που έχουν τα φορτία. Κατά την κατασκευή του γράφου τοποθετείται ένας κόμβος στην αρχή του γράφου με τον οποίο συνδέονται όλες οι αρχικές καταστάσεις του πλοίου και ένας κόμβος στο τέλος του γράφου με τον οποίο συνδέονται όλες οι τελικές καταστάσεις που μπορεί να βρεθεί το πλοίο. Ο γράφος που δημιουργείται διατρέχεται στην συνέχεια με έναν αλγόριθμο εύρεσης όλων των διαφορετικών μονοπατιών από τον αρχικό στον τελικό κόμβο έτσι ώστε να προκύψουν όλα τα δυνατά δρομολόγια.

Το 2003 ο Fagerholt [7] παρουσίασε ένα ακόμα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη αγορά όσο και από εταιρείες της βιομηχανικής ναυτιλίας. Η συγκεκριμένη εργασία εστιάστηκε κυρίως στην παρουσίαση των σταδίων εξέλιξης του συστήματος από ένα απλό σύστημα διαχείρισης πληροφοριών σε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο γραφικό περιβάλλον του συστήματος και την αλληλεπίδραση που μπορεί να έχει ο χρήστης με το σύστημα κατά την σχεδίαση των βέλτιστων ακολουθιών φορτοεκφορτώσεων που ακολουθούν τα πλοία του στόλου. Η σχεδίαση των προτεινόμενων ακολουθιών φορτοεκφορτώσεων από το σύστημα πραγματοποιείται όπως αναφέρεται με την χρήση ενός αλγόριθμου ευριστικής αναζήτησης.

Το 2007 ο Geir Brønmo [8] στην ερευνητική εργασία που παρουσίασε, επιχείρησε την επίλυση του προβλήματος βέλτιστης δρομολόγησης στόλου με την χρήση μιας ευριστικής μεθόδου που χρησιμοποιεί την τεχνική της γειτονικής

αναζήτησης. Πιο συγκεκριμένα στην συγκεκριμένη εργασία το πρόβλημα επιλύεται σε τρία διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο από αυτά δημιουργείται ένα σύνολο από πιθανές λύσεις του προβλήματος, σε κάθε μια από τις λύσεις αυτές αναθέτεται ένα τυχαία δημιουργούμενο δρομολόγιο σε κάθε πλοίο. Στο δεύτερο στάδιο ένα σύνολο από τις καλύτερες λύσεις ως προς το αποφερόμενο κέρδος του πρώτου σταδίου χρησιμοποιείται για να πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις μεταξύ των δρομολογίων κάθε λύσης. Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούν είτε την αλλαγή της σειράς εξυπηρέτησης ενός φορτίου σε ένα δρομολόγιο είτε την ανταλλαγή φορτίων μεταξύ δυο διαφορετικών δρομολογίων που αναθέτονται σε δυο διαφορετικά πλοία. Στο τελευταίο στάδιο επιλέγεται και πάλι ένα ποσοστό από τις καλύτερες λύσεις ως προς το αποφερόμενο κέρδος του δεύτερου σταδίου, το οποίο τροποποιείται εκ νέου για να επιλεγεί τελικά η λύση που αποφέρει το μεγαλύτερο κέρδος. Χαρακτηριστικό στοιχείο της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι στα δρομολόγια που δημιουργούνται επιτρέπεται η ταυτόχρονη μεταφορά δυο ή περισσότερων φορτίων σε ένα δρομολόγιο.

Το 2007 οι Hee-Su Hwang και J.Rosenberger [9] παρουσίασαν μια ερευνητική εργασία για την δρομολόγηση πλοίων τα οποία μεταφέρουν φορτία από την ελεύθερη αγορά. Όπως και οι υπόλοιπες εργασίες της κατηγορίας αυτής επιδιώκει να μεγιστοποιεί το κέρδος από την μεταφορά φορτίων. Ωστόσο η ιδιαιτερότητα της εργασίας αυτής είναι ότι για τον υπολογισμό των κερδών λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις των ναύλων που παρατηρούνται στην ελεύθερη αγορά. Το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε ως SP πρόβλημα και παρουσιάσθηκαν δυο μέθοδοι για την επίλυση του. Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποίησε τον Kelley's cutting plane αλγόριθμο αλλά σε μεγάλου μεγέθους προβλήματα δεν μπορούσε να εφαρμοστεί καθώς η δημιουργία

όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο πριν την επίλυση του SP προβλήματος έκανε την χρήση της μεθόδου απαγορευτική. Αντίθετα με την δεύτερη μέθοδο όπου χρησιμοποιήθηκε ένας delayed column and cut generation αλγόριθμος η επίλυση μεγαλύτερων προβλημάτων ήταν εφικτή καθώς τα δρομολόγια για κάθε πλοίο δημιουργούνται δυναμικά κατά την επίλυση του SP προβλήματος με την χρήση ενός γράφου που παρουσιάστηκε στην εργασία των Kim και Lee το 1997 [6].

### **3.3.2 Εργασίες με εφαρμογή στον τομέα της βιομηχανικής ναυτιλίας**

Η διαφοροποίηση των εργασιών της κατηγορίας αυτής σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία είναι ότι στα μεταφερόμενα φορτία δεν εμπεριέχονται φορτία από την ελεύθερη αγορά με αποτέλεσμα να είναι υποχρεωτική η μεταφορά όλων των φορτίων. Το πρόβλημα στην κατηγορία αυτή των εργασιών είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των φορτίων και η μαθηματική περιγραφή που αντιστοιχεί βάση της SP μοντελοποίησης του προβλήματος είναι αυτή που περιγράφηκε από τις σχέσεις (1a) – (4a) και (1b) – (5b).

Μια από τις βασικές εργασίες στον τομέα της βιομηχανικής ναυτιλίας, η οποία αποτέλεσε την βάση για μετέπειτα χρονικά εργασίες είναι αυτή που δημοσιεύθηκε το 1987 από τον Brown [10]. Το αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η μεταφορά πετρελαϊκών προϊόντων με δεξαμενόπλοια από την Μέση Ανατολή στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική. Κάθε φορτίο καλύπτει όλη την διαθέσιμη χωρητικότητα των πλοίων και πρέπει να μεταφερθεί μεταξύ συγκεκριμένων λιμανιών σε συγκεκριμένες μέρες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Στόχος του προβλήματος είναι η μεταφορά των φορτίων στο μικρότερο δυνατό κόστος και για την μεταφορά τους μπορούν να

χρησιμοποιηθούν είτε πλοία της εταιρείας είτε από πλοία της ελεύθερης αγοράς. Στην περίπτωση που τα φορτία μεταφέρονται από πλοία της ελεύθερης αγοράς υπολογίζεται στη λύση το κόστος του ναύλου για την ναύλωση των πλοίων. Το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε ως Set Partitioning πρόβλημα και επιλύεται σε 4 διαδοχικά βήματα. Στο πρώτο βήμα δημιουργούνται όλα τα δυνατά δρομολόγια εξυπηρέτησης των φορτίων για κάθε πλοίο ενώ στο δεύτερο στάδιο υπολογίζεται το κόστος εκτέλεσης κάθε δρομολογίου. Στο τρίτο στάδιο τροποποιούνται κάποια από τα δρομολόγια που έχουν δημιουργηθεί παραβιάζοντας κάποιους από τους περιορισμούς προκαλώντας όμως ανάλογη αύξηση στο κόστος του δρομολογίου. Αυτό πραγματοποιείται έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος επίλυσης του Set Partitioning προβλήματος που λύνεται στο τέταρτο στάδιο.

Το πρόβλημα της εργασίας που παρουσίασε ο Brown το 1987 [10] αποτέλεσε αντικείμενο των εργασιών που παρουσιάστηκαν το 1992 από τους Perakis και Bremer [11]. Στις εργασίες αυτές το χρονικό παράθυρο για το οποίο αναζητείται η βέλτιστη χρήση του στόλου της εταιρείας δεν είναι σταθερό. Έτσι τα δρομολόγια που προκύπτουν για κάθε πλοίο έχουν μεταβλητό μέγεθος με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η άμεση σύγκριση του κόστους κάθε δρομολογίου, το οποίο αποτελεί την παράμετρο που επιχειρείται να ελαχιστοποιηθεί. Για την αντιμετώπιση της διαφοροποίησης των δρομολογίων εισάγεται η έννοια του ημερήσιου κόστους το οποίο υπολογίζεται ως το ημερήσιο κέρδος της εταιρείας από την διάθεση του πλοίου στην ελεύθερη αγορά. Το ποσό αυτό προστίθεται στο κάθε δρομολόγιο ως κόστος ανάλογα με τις μέρες που διαρκεί. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επίλυσης δημιουργεί αρχικά όλα τα εφικτά δρομολόγια για κάθε πλοίο και στην συνέχεια μοντελοποιεί ως

Integer Programming το πρόβλημα της βέλτιστης ανάθεσης των δρομολογίων στα πλοία του στόλου.

Στην εργασία του Bausch το 1998 [12] παρουσιάστηκε ένα σύστημα αποφάσεων στο οποίο ένα σύνολο από φορτία τα οποία βρίσκονται σε συγκεκριμένα λιμάνια πρέπει να μεταφερθεί με συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς σε ένα σύνολο λιμανιών εκφόρτωσης. Κάθε πλοίο από τα διαθέσιμα του στόλου μπορεί να φορτώσει σε ένα μόνο λιμάνι και να μεταφέρει τα φορτία που φόρτωσε στα λιμάνια εκφόρτωσης που τους αντιστοιχούν. Για την μεταφορά των φορτίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε πλοία της εταιρείας είτε πλοία από την ελεύθερη αγορά, όπως και στην εργασία του Brown (1987) [10]. Τα πλοία της εταιρείας διαθέτουν σταθερού μεγέθους διαμερίσματα τα οποία όμως δεν μπορούν να υπερβαίνουν τον αριθμό των επτά. Στο πρόβλημα συμπεριλαμβάνονται και φορτία που μπορούν να βρεθούν και στην ελεύθερη αγορά η μεταφορά των οποίων επιλέγεται μόνο αν αυτή επιφέρει μείωση του συνολικού κόστους μεταφοράς των φορτίων που πρέπει υποχρεωτικά να μεταφερθούν. Η επίλυση του προβλήματος μοντελοποιείται ως Set Partitioning πρόβλημα και για την λύση του κατασκευάζονται αρχικά όλα τα δυνατά δρομολόγια για κάθε πλοίο και στην συνέχεια υπολογίζεται το κόστος εκτέλεσης κάθε ενός από αυτά και το πρόβλημα λύνεται με την χρήση EXCEL. Αντίστοιχο πρόβλημα, χωρίς την παρουσία φορτίων από την ελεύθερη αγορά, είναι αυτά με το οποίο ασχολείται ο Sheralli (1999) [13]. Το πρόβλημα και στις δύο περιπτώσεις μοντελοποιήθηκε ως Mixed Integer Programing για την επίλυση του οποίου χρησιμοποιήθηκε η Lagrangean relaxation τεχνική για την ταχύτερη επίλυση του.

Το 2000 οι Fagerholt και Christiansen [14],[15] παρουσίασαν δυο εργασίες για την επίλυση προβλήματος ανάλογου με αυτό που παρουσιάστηκε στην εργασία του Bausch (1998) [12]. Η διαφορά έγκειται ότι στην περίπτωση των Fagerholt και Christiansen τα πλοία μπορούν να φορτώσουν σε περισσότερα από ένα λιμάνια και επιπλέον τα διαμερίσματα των πλοίων δεν είναι σταθερά αλλά έχουν μεταβλητό μέγεθος καθώς ειδικά διαχωριστικά μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε να δημιουργήσουν διαμερίσματα ανάλογα με τις απαιτήσεις των φορτίων που φορτώνονται. Το πρόβλημα της ανάθεσης των δρομολογίων στα πλοία του στόλου μοντελοποιείται ως Set Partitioning όπως και στις περιπτώσεις των Appelgren (1969) [3], [4] και Brown (1987) [10] και λύνεται από εμπορικό λογισμικό. Η δημιουργία όλων των πιθανών δρομολογίων για κάθε πλοίο μοντελοποιείται ως TSP πρόβλημα με την παρουσία χρονικών, ακολουθιακών και τοποθέτησης περιορισμών και λύνεται με την χρήση Dynamic Programming.



**Πίνακας 2: Σύνοψη Ερευνητικών Εργασιών στην Δρομολόγηση Στόλου**

| Paper                          | Αποτέλεσμα                             | Στόχος                    | Μέθοδος                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| Appelgren (1969, 1971)         | Δρομολόγηση                            | Μεγιστοποίηση<br>Κερδών   | DW decomposition                             |
| Brown et al. (1987)            | Δρομολόγηση &<br>Έλεγχος ταχύτητας     | Ελαχιστοποίηση<br>Κόστους | Set Partitioning                             |
| Perakis, Bremer (1992)         | Δρομολόγηση                            | Ελαχιστοποίηση<br>Κόστους | Set Partitioning                             |
| Kim, Lee (1997)                | Δρομολόγηση                            | Μεγιστοποίηση<br>Κερδών   | Set Partitioning                             |
| Bausch et al. (1998)           | Δρομολόγηση &<br>Έλεγχος ταχύτητας     | Ελαχιστοποίηση<br>Κόστους | Set Partitioning                             |
| Sherali et al. (1999)          | Δρομολόγηση                            | Ελαχιστοποίηση<br>Κόστους | Mixed Integer<br>Programming &<br>Heuristics |
| Fagerholt, Christiansen (2000) | Δρομολόγηση &<br>Τοποθέτηση<br>Φορτίων | Ελαχιστοποίηση<br>Κόστους | Set Partitioning                             |
| Fagerholt (2003)               | Δρομολόγηση                            | Μεγιστοποίηση<br>Κερδών   |                                              |
| Geir Brønmo (2007)             | Δρομολόγηση                            | Μεγιστοποίηση<br>Κερδών   | Heuristics                                   |
| Hee-Su, Rosenberger (2007)     | Δρομολόγηση                            | Μεγιστοποίηση<br>Κερδών   | Set Partitioning                             |

### 3.3.3 Επισκόπηση Μεθόδων Δημιουργίας Δρομολογίων

Η πλειονοψία των ερευνητικών εργασιών που πραγματεύονται με την δρομολόγηση στόλου πλοίων, χρησιμοποιεί είτε την μέθοδο του Set Partitioning είτε

την μέθοδο DW decomposition, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 αλλά και στην εργασία του (Fagerholt 2004) [2]. Σε αμφότερες τις μεθόδους απαιτείται σε πρώτο στάδιο να δημιουργηθούν όλα τα εφικτά δρομολόγια για κάθε πλοίο του στόλου ξεχωριστά, πριν λυθεί το πρόβλημα της βέλτιστης ανάθεσης δρομολογίων σε πλοία. Σε πολλές περιπτώσεις όπου το πλήθος των αρχικών δεδομένων (φορτία και δεδομένα) είναι μικρό ή οι περιορισμοί είναι πολύ αυστηροί, η διαδικασία της εύρεσης όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο μπορεί να εκτελεστεί ταχύτατα χωρίς να παρεμποδίζει την επίλυση του συνολικού προβλήματος δρομολόγησης σε εύλογο χρονικό διάστημα. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου η δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων καθιστά την επίλυση του γενικότερου προβλήματος δρομολόγησης στόλου πολύ χρονοβόρα. Ο περιορισμός που κυρίως καθορίζει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας δημιουργίας όλων των δρομολογίων, πέρα από τον όγκο των δεδομένων, είναι το αν μπορούν τα πλοία να μεταφέρουν περισσότερα από ένα φορτία σε κάθε ταξίδι. Σε περίπτωση που αυτό είναι επιτρεπτό το πλήθος των εφικτών δρομολογίων είναι πολλαπλάσιο σε σχέση με την περίπτωση όπου τα πλοία μεταφέρουν ένα φορτίο σε κάθε ταξίδι, ενώ παράλληλα ανακύπτει και το πρόβλημα της τοποθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα των πλοίων. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων που έχουν χρησιμοποιηθεί στην διεθνής βιβλιογραφία για την δημιουργία των δρομολογίων ενός πλοίου. Στον πίνακα αυτό καταγράφεται αν ο αλγόριθμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου τα πλοία μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα από ένα φορτία σε ένα ταξίδι, αν υποστηρίζει την υποχρεωτική μεταφορά ενός φορτίου από συγκεκριμένο πλοίο καθώς και αν ο αλγόριθμος υπολογίζει την ταχύτητα με την οποία το πλοίο πρέπει να κινηθεί στα πλαίσια κάθε δρομολογίου. Τέλος στις περιπτώσεις που ένας αλγόριθμος επιτρέπει την φόρτωση πολλών φορτίων ο Πίνακας 3 καταγράφει και αν ο

αλγόριθμος υπολογίζει και την βέλτιστη τοποθέτηση των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου. Πριν την παρουσίαση των αλγορίθμων πρέπει να επισημανθεί ότι μόνο η ερευνητική εργασία των Fagerholt και Christiansen αφορά αποκλειστικά την παρουσίαση αλγορίθμου δημιουργίας δρομολογίων. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι αλγόριθμοι δημιουργίας δρομολογίων παρουσιάζονται στα πλαίσια εργασιών για την επίλυση του γενικότερου προβλήματος δρομολόγησης στόλου.

Για την δρομολόγηση πλοίου έχουν παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία, τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες. Η πρώτη χρονολογικά παρουσιάστηκε από τον Appelgren το 1969 [3] και ακολουθήθηκε στην συνέχεια και σε άλλες ερευνητικές εργασίες [10], [11], [12] κ.α. Με βάση την μεθοδολογία αυτή ένα δρομολόγιο αναπαρίσταται από μια ακολουθία κόμβων κάθε ένα από τους οποίους συνεπάγεται την εξυπηρέτηση (φόρτωση και εκφόρτωση) ενός φορτίου. Κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από το λιμάνι στο οποίο γίνεται η εκφόρτωση του αντίστοιχου φορτίου και την χρονική στιγμή στην αυτή ολοκληρώνεται. Όλες οι ακολουθίες – δρομολόγια – έχουν κοινό αρχικό κόμβο ο οποίος αναπαριστά το λιμάνι στο οποίο βρίσκεται αρχικά το πλοίο και την χρονική στιγμή από την οποία και μετά το πλοίο είναι ελεύθερο. Για την δημιουργία νέων δρομολογίων χρησιμοποιούνται όλα τα δρομολόγια τα οποία έχουν ήδη δημιουργηθεί. Με βάση τον τελικό κόμβο κάθε δρομολογίου εντοπίζονται όλα τα νέα φορτία που θα μπορούσε να μεταφέρει το πλοίο και για κάθε ένα από αυτά δημιουργείται ένα νέο δρομολόγιο προσθέτοντας στο τέλος του αρχικού δρομολογίου έναν επιπλέον κόμβο που συμβολίζει την εξυπηρέτηση του αντίστοιχου νέου φορτίου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου να μην είναι εφικτή η επέκταση κανενός από τα ήδη υπάρχοντα δρομολογίου. Αν και η μεθοδολογία αυτή είναι απλή και μπορεί να μοντελοποιήσει

πολλούς περιορισμούς, δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη μεταφορά δύο ή περισσότερων φορτίων από ένα πλοίο. Το γεγονός αυτό περιορίζει τον αριθμό των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί γιατί σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό τα πλοία να μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα του ενός φορτία με διαφορετικά λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Με τον ίδιο περιορισμό και κατά συνέπεια με το ίδιο μειονέκτημα του περιορισμένου αριθμού εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παρουσιάστηκε το 1997 [6] μια νέα τεχνική η οποία ακολουθήθηκε και το 2007 από τους Hee και Rosenberger [9]. Αν και σε καμία από τις δυο εργασίες δεν υπήρξε αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας, αυτή θα μπορούσε να διαχωριστεί σε δυο διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο κατασκευάζεται για κάθε πλοίο ένας α-κυκλικός κατευθυνόμενος γράφος κάθε κόμβος του οποίου συμβολίζει την εξυπηρέτηση ενός φορτίου, ενώ οι ακμές μεταξύ των κόμβων συμβολίζουν την μετάβαση από το λιμάνι εκφόρτωσης του αρχικού κόμβου στο λιμάνι φόρτωσης του επόμενου κόμβου. Για την δημιουργία του γράφου αναφέρεται ότι προστίθεται ένας κόμβος πηγή που συνδέεται με όλους τους αρχικούς κόμβους και ένας κόμβος τερματισμού με τον οποίο συνδέονται οι τελευταίοι κόμβοι του γράφου, χωρίς ωστόσο να αναφέρονται επιπλέον λεπτομέρειες για τον τρόπο δημιουργίας του γράφου. Στο δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος διάσχισης του γράφου σε βάθος, βάση του οποίου κάθε φορά που επισκέπτεται ο κόμβος προορισμού δημιουργείται ένα καινούργιο δρομολόγιο που αντιστοιχεί στην εξυπηρέτηση των φορτίων που αντιστοιχούν στην ακολουθία των κόμβων που έχει επισκεφθεί ο αλγόριθμος διάσχισης.

Μια γενικότερη μεθοδολογία που επιτρέπει ταυτόχρονη μεταφορά περισσότερων του ενός φορτίου από ένα πλοίο παρουσίασαν το 2000 οι Fagerholt και Christiansen [15]. Πέρα από την δημιουργία των δρομολογίων η συγκεκριμένη μεθοδολογία υπολογίζει παράλληλα και τον τρόπο τοποθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου. Η σχεδίαση του τρόπου τοποθέτησης των φορτίων είναι απαραίτητη στην περίπτωση που ένα πλοίο μπορεί να μεταφέρει ταυτόχρονα δυο ή περισσότερα φορτία καθώς διαφορετική τοποθέτηση των φορτίων μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά εφικτά δρομολόγια, όπως παρουσιάζεται και στην ενότητα 3.3.4. Με βάση την μεθοδολογία αυτή ένα δρομολόγιο αναπαριστάνεται από μια ακολουθία κόμβων κάθε ένας από τους οποίους αναπαριστά την φόρτωση ή την εκφόρτωση ενός φορτίου και οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων αναπαριστούν τις μεταβάσεις του πλοίου μεταξύ των λιμανιών που αντιπροσωπεύουν οι κόμβοι. Όπως και στην μεθοδολογία του Appelgren, ο σχηματισμός των δρομολογίων προκύπτει από τα ήδη υπάρχοντα δρομολόγια με την προσθήκη ενός νέου φορτίου σε αυτά. Η προσθήκη ενός φορτίου σε ένα ήδη υπάρχον δρομολόγιο συνεπάγεται την προσθήκη δυο νέων κόμβων στην ακολουθία των κόμβων που αντιστοιχεί στο ήδη υπάρχον δρομολόγιο. Τα σημεία τοποθέτησης των κόμβων στην ακολουθία των κόμβων, δεν είναι απαραίτητα στο τέλος της ακολουθίας καθώς ανάλογα με τους περιορισμούς χωρητικότητας και χρόνου μπορούν να υπάρχουν πολλά σημεία τοποθέτησης αυτών έτσι ώστε η ακολουθία να αντιπροσωπεύει ένα εφικτό δρομολόγιο του πλοίου. Στην εργασία των Fagerholt και Christiansen κατά την δημιουργία νέων δρομολογίων, από όλες τις δυνατές ακολουθίες που μπορούν να προκύψουν από την προσθήκη δυο νέων κόμβων που αντιστοιχούν στην εξυπηρέτηση ενός νέου φορτίου, υπολογίζονταν και διατηρούταν για δημιουργία νέων δρομολογίων εκείνη η ακολουθία που αντιστοιχούσε στο δρομολόγιο με την μικρότερη χρονική διάρκεια. Για την εύρεση

της ακολουθίας αυτής κατά την δημιουργία κάθε νέου δρομολογίου επιλυόταν το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή με περιορισμούς χωρητικότητας, χρονικών παραθύρων, προτεραιότητας και δέσμευσης χώρων, στο οποίο οι κόμβοι από αποτελούνταν από τους κόμβους της αρχικής ακολουθίας και τους δύο νέος κόμβους που αντιστοιχούσαν στην εξυπηρέτηση του νέου φορτίου.

**Πίνακας 3: Σύνοψη Μεθόδων Δημιουργίας Δρομολογίων**

| Μέθοδος                        | Παράλληλη<br>Μεταφορά<br>Φορτίων | Άεργα Διαστήματα ή<br>Υποχρεωτικά Φορτία | Έλεγχος<br>τοποθέτησης<br>φορτίων | Έλεγχος<br>Ταχύτητας |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Appelgren (1969, 1971)         |                                  |                                          |                                   |                      |
| Brown et al. (1987)            |                                  | √                                        |                                   | √                    |
| Perakis, Bremer (1992)         |                                  | √                                        |                                   |                      |
| Kim, Lee (1997)                |                                  |                                          |                                   |                      |
| Bausch et al. (1998)           |                                  |                                          |                                   | √                    |
| Fagerholt, Christiansen (2000) | √                                |                                          | √                                 |                      |
| Hee-Su, Rosenberger (2007)     |                                  |                                          |                                   |                      |

### 3.3.4 Πρόβλημα τοποθέτησης φορτίων

Το πρόβλημα της τοποθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου ανακύπτει στην περίπτωση όπου τα πλοία μπορούν να μεταφέρουν ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα φορτία, όπως στην περίπτωση της εργασίας των Fagerholt και Christiansen [15]. Για να είναι αυτό εφικτό το πλοίο πρέπει να διαθέτει περισσότερα του ενός διαμερίσματα για την μεταφορά φορτίων ενώ για να μπορεί να λυθεί το πρόβλημα της τοποθέτησης των φορτίων στο πλοίο -στα πλαίσια ενός δρομολογίου -

θα πρέπει να είναι γνωστά το πλήθος των διαμερισμάτων και η χωρητικότητα καθενός από αυτά.

Η τοποθέτηση των φορτίων στο πλοίο έχει καθοριστικό ρόλο στην δημιουργία των δρομολογίων καθώς επηρεάζει την διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου ανά πάσα στιγμή. Έτσι μπορεί να είναι εφικτή ή όχι η μεταφορά ενός νέου φορτίου ανάλογα με την τοποθέτηση των ήδη υπάρχοντων φορτίων σε ένα πλοίο. Το γεγονός ότι μετά την φόρτωση ενός φορτίου σε ένα διαμέρισμα δεν επιτρέπεται η μεταφόρτωση του σε άλλο διαμέρισμα, καθιστά μη επαρκής λύση για το πρόβλημα της τοποθέτησης των φορτίων, την αναζήτηση μιας εφικτής τοποθέτησης των φορτίων σε κάθε κόμβο του δρομολογίου. Αντίθετα για την επίλυση του προβλήματος απαιτείται η διατήρηση ενός ιστορικού εφικτών φορτώσεων το οποίο μεταβάλλεται με την προσθήκη νέων κόμβων. Δυστυχώς από το ιστορικό που παράγεται δεν είναι εφικτό να επιλεγεί ένα σενάριο φόρτωσης ως βέλτιστο και να αγνοηθούν τα υπόλοιπα σενάρια καθώς διαφορετικά σενάρια φόρτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά νέα δρομολόγια, από τα οποία δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί ποιο από αυτά θα είναι βέλτιστο.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα το οποίο καταδεικνύει το πώς η τοποθέτηση των φορτίων επηρεάζει την μεταφορική ικανότητα ενός πλοίου. Στο παράδειγμα αυτό το πλοίο έχει χωρητική ικανότητα 25000 τόνων και διαθέτει 5 διαμερίσματα με χωρητικότητες 3000, 4000, 5000, 6000 και 7000 αντίστοιχα. Αρχικά το πλοίο φορτώνει ένα φορτίο 12000 τόνων, η τοποθέτηση του οποίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με έξι διαφορετικούς τρόπους όπως παρουσιάζεται στην 1<sup>η</sup> στήλη του Πίνακα 4. Από τους τρόπους αυτούς οι δυο αφήνουν διαθέσιμη χωρητικότητα

13000 τόνων, οι δυο 12000 τόνων, μια 11000 τόνων και μια 10000 τόνων. Στην συνέχεια το πλοίο φορτώνει ένα νέο φορτίο 12000 τόνων, για το οποίο υπάρχουν μόνο τέσσερις δυνατοί τρόποι τοποθέτησης μαζί με το πρώτο φορτίο καθώς οι περιπτώσεις τοποθέτησης του πρώτου φορτίου που άφηναν διαθέσιμη χωρητικότητα μικρότερη από 12000 τόνους δεν επιτρέπουν την φόρτωση του φορτίου. Στο επόμενο στάδιο εκφορτώνεται το πρώτο φορτίο με αποτέλεσμα από τα τέσσερα εφικτά σενάρια φόρτωσης τα δυο να αφήνουν 12000 τόνους διαθέσιμης χωρητικότητας και τα υπόλοιπα δυο 13000. Ως συνέπεια η φόρτωση ενός νέου φορτίου βάρους 13000 τόνων οδηγεί σε δυο μόνο σενάρια εφικτής φόρτωσης τα οποία έχουν προκύψει από την αρχική φόρτωση του πρώτου φορτίου σε διαμερίσματα μεγαλύτερης χωρητικότητας από το βάρος του φορτίου. Αντίθετα τα σενάρια φόρτωσης που αρχικά τοποθετήσουν το πρώτο φορτίο σε διαμερίσματα συνολικής χωρητικότητας ίσης με το φορτίο οδήγησαν τελικά σε μη εφικτή φόρτωση του τρίτου φορτίου. Αν το δεύτερο φορτίο ήταν 13000 τόνοι, τότε τα σενάρια φόρτωσης που θα επέτρεπαν την φόρτωσή του θα ήταν αυτά στα οποία το πρώτο φορτίο είχε τοποθετηθεί σε διαμερίσματα χωρητικότητας ίσης με το βάρος του φορτίου, ενώ τα υπόλοιπα σενάρια δεν θα επέτρεπαν την φόρτωση. Το παράδειγμα αυτό καταδεικνύει ότι δεν μπορεί να χαρακτηριστεί κάποιο σενάριο φόρτωσης βέλτιστο και να χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για την δημιουργία νέων σεναρίων με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητο να διατηρείται ένα ιστορικό σεναρίων από τα οποία θα προκύπτουν διαφορετικά νέα δρομολόγια.



**Πίνακας 4: Παράδειγμα Φόρτωσης Φορτίων**

| Διαμερίσματα                                                                               | 3000                                                                                               | 5000                  | 7000                    | 6000                  | 4000 |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---|---|---|
| Λειτουργία                                                                                 | Φόρτωση<br>Α 12.000 T                                                                              | Φόρτωση<br>Β 12.000 T | Εκφόρτωση<br>Α 12.000 T | Φόρτωση<br>Γ 13.000 T |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| Σενάρια                                                                                    | <table><tr><td></td><td>A</td><td>A</td><td></td><td></td><td></td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 13.000 T |                       | A                       | A                     |      |                                                                            |                                                                            | <table><tr><td>B</td><td>A</td><td>A</td><td>B</td><td>B</td></tr></table> | B | A | A | B                                                                                          | B                                                                                         | <table><tr><td>B</td><td></td><td></td><td>B</td><td>B</td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 12.000 T | B |   |   | B                                                                          | B         | Μη εφικτό |   |   |   |
|                                                                                            |                                                                                                    | A                     | A                       |                       |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|                                                                                            | B                                                                                                  | A                     | A                       | B                     | B    |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|                                                                                            | B                                                                                                  |                       |                         | B                     | B    |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|                                                                                            | <table><tr><td>A</td><td>A</td><td></td><td></td><td>A</td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 13.000 T         | A                     | A                       |                       |      | A                                                                          | <table><tr><td>A</td><td>A</td><td>B</td><td>B</td><td>A</td></tr></table> | A                                                                          | A | B | B | A                                                                                          | <table><tr><td></td><td></td><td>B</td><td>B</td><td></td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 12.000 T |                                                                                            |   | B | B |                                                                            | Μη εφικτό |           |   |   |   |
|                                                                                            | A                                                                                                  | A                     |                         |                       | A    |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| A                                                                                          | A                                                                                                  | B                     | B                       | A                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|                                                                                            |                                                                                                    | B                     | B                       |                       |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| <table><tr><td>A</td><td></td><td></td><td>A</td><td>A</td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 12.000 T | A                                                                                                  |                       |                         | A                     | A    | <table><tr><td>A</td><td>B</td><td>B</td><td>A</td><td>A</td></tr></table> | A                                                                          | B                                                                          | B | A | A | <table><tr><td></td><td>B</td><td>B</td><td></td><td></td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 13.000 T  |                                                                                           | B                                                                                          | B |   |   | <table><tr><td>Γ</td><td>B</td><td>B</td><td>Γ</td><td>Γ</td></tr></table> | Γ         | B         | B | Γ | Γ |
| A                                                                                          |                                                                                                    |                       | A                       | A                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| A                                                                                          | B                                                                                                  | B                     | A                       | A                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
|                                                                                            | B                                                                                                  | B                     |                         |                       |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| Γ                                                                                          | B                                                                                                  | B                     | Γ                       | Γ                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| <table><tr><td></td><td></td><td>A</td><td>A</td><td></td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 12.000 T  |                                                                                                    |                       | A                       | A                     |      | <table><tr><td>B</td><td>B</td><td>A</td><td>A</td><td>B</td></tr></table> | B                                                                          | B                                                                          | A | A | B | <table><tr><td>B</td><td>B</td><td></td><td></td><td>B</td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 13.000 T | B                                                                                         | B                                                                                          |   |   | B | <table><tr><td>B</td><td>B</td><td>Γ</td><td>Γ</td><td>B</td></tr></table> | B         | B         | Γ | Γ | B |
|                                                                                            |                                                                                                    | A                     | A                       |                       |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| B                                                                                          | B                                                                                                  | A                     | A                       | B                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| B                                                                                          | B                                                                                                  |                       |                         | B                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| B                                                                                          | B                                                                                                  | Γ                     | Γ                       | B                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| <table><tr><td>A</td><td>A</td><td>A</td><td></td><td></td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 10.000 T | A                                                                                                  | A                     | A                       |                       |      | Μη εφικτό                                                                  |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| A                                                                                          | A                                                                                                  | A                     |                         |                       |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| <table><tr><td>A</td><td></td><td>A</td><td></td><td>A</td></tr></table><br>ΔΙΑΘ: 11.000 T | A                                                                                                  |                       | A                       |                       | A    | Μη εφικτό                                                                  |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |
| A                                                                                          |                                                                                                    | A                     |                         | A                     |      |                                                                            |                                                                            |                                                                            |   |   |   |                                                                                            |                                                                                           |                                                                                            |   |   |   |                                                                            |           |           |   |   |   |



## **4 Αλγόριθμος δημιουργίας εφικτών δρομολογίων πλοίου**

Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο στην πλειονηφία των μεθοδολογιών επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης στόλου πλοίων απαιτείται για κάθε πλοίο του στόλου να λυθεί το υπό-πρόβλημα της εύρεσης όλων των δρομολογίων που μπορεί να πραγματοποιήσει το πλοίο για την μεταφορά των δεδομένων φορτίων. Η πολυπλοκότητα της επίλυσης του υπό-προβλήματος είναι ανάλογη του πλήθους των φορτίων που πρέπει να μεταφερθούν αλλά και των περιορισμών που πρέπει να ικανοποιηθούν. Η ύπαρξη πολλών περιορισμών μειώνει σημαντικά τον χρόνο επίλυσης των υπό-προβλημάτων και κατά συνέπεια του συνολικού προβλήματος καθώς το πλήθος των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο η ύπαρξη πολλών περιορισμών οδηγεί σε μη ρεαλιστικές μοντελοποιήσεις η οποίες δεν είναι πλέον δυνατόν να εφαρμοστούν στην πλειονηφία των πραγματικών προβλημάτων δρομολόγησης στόλου πλοίων. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα περιορισμού που χρησιμοποιείται στο σύνολο σχεδόν των ερευνητικών εργασιών και ο οποίος περιορίζει δραματικά την πολυπλοκότητα του προβλήματος, χωρίς ωστόσο να συναντάται εξίσου συχνά στα πραγματικά προβλήματα δρομολόγησης είναι ο περιορισμός αποκλειστικής μεταφοράς ενός μόνο φορτίου σε κάθε ταξίδι για κάθε πλοίο. Από την βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε μόνο μια ερευνητική εργασία, αυτή των Fagerholt και Christiansen δεν υιοθέτησαν τον περιορισμό αυτό, επιλύοντας ένα πολύ πιο σύνθετο πρόβλημα για την εύρεση όλων των εφικτών δρομολογίων κάθε πλοίου του στόλου, χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην .

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια νέα μεθοδολογία για την επίλυση του προβλήματος εύρεσης όλων των δρομολογίων που μπορούν να πραγματοποιηθούν από ένα πλοίο για την μεταφορά ενός συνόλου φορτίων, χωρίς την ύπαρξη του περιορισμού μεταφοράς ενός και μόνου φορτίου σε κάθε ταξίδι του πλοίου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο οπισθοδρόμησης (backtracking) με τον οποίο κατασκευάζει ένα δέντρο αναπαράστασης εφικτών δρομολογίων. Ένα δρομολόγιο αναπαριστάνεται ως μια ακολουθία διαδοχικών καταστάσεων – κόμβων - φορτώσεων και εκφορτώσεων του πλοίου. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι ότι από κάθε κατάσταση για την δημιουργία νέων καταστάσεων – κόμβων - εξετάζεται πρώτα η εφεκτικότητα της έγκαιρης παράδοσης καθενός από τα φορτία που βρίσκονται ήδη στο πλοίο και εφόσον η παράδοση είναι εφικτή για όλα τα φορτία αναζητούνται νέα φορτία τα οποία μπορούν να φορτωθούν. Στην περίπτωση που κάποιο από τα φορτία που βρίσκονται στο πλοίο δεν είναι εφικτό να παραδοθεί μέσα στα χρονικά πλαίσια που έχουν καθοριστεί για την παράδοση του, τότε η κατάσταση θεωρείται μη έγκυρη και ο αλγόριθμος οπισθοδρομεί σε πρότερη κατάσταση που είτε είναι έγκυρη είτε ακόμα δεν έχει ελεγχθεί η εγκυρότητα της και δεν ελέγχει την φόρτωση νέων φορτίων. Στην περίπτωση που υπάρχουν φορτία τα οποία υποχρεωτικά πρέπει να εξυπηρετηθούν, τότε πριν τον έλεγχο της εκφόρτωσης των φορτίων πραγματοποιείται έλεγχος αν από την κατάσταση που βρίσκεται ο αλγόριθμος μπορεί να φορτωθεί κάθε ένα από τα υποχρεωτικά φορτία που δεν έχουν ήδη φορτωθεί στην παρούσα κατάσταση, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο περιορισμός χωρητικότητας. Αν κάποιο από τα υποχρεωτικά φορτία δεν μπορεί να φορτωθεί σταματάει η εξέταση της τρέχουσας κατάστασης η οποία χαρακτηρίζεται ως μη έγκυρη.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται όλες οι λεπτομέρειες της προτεινόμενης μεθοδολογίας καθώς και τα πειραματικά και συγκριτικά αποτελέσματα από την πειραματική εφαρμογή της.

## **4.1 Περιορισμοί**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το πλήθος των περιορισμών βάση των οποίων δημιουργούνται τα εφικτά δρομολόγια ενός πλοίου επηρεάζουν σημαντικά την πολυπλοκότητα του προβλήματος αλλά και την μοντελοποίησή του. Όπως είναι αναμενόμενο όσο περισσότεροι είναι οι περιορισμοί τόσο πιο δύσκολη είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος αλλά ταυτόχρονα τόσο πιο γρήγορη είναι και η επίλυση του. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι περιορισμοί που μοντελοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των δρομολογίων κάθε πλοίου. Η επιλογή των περιορισμών που υιοθετήθηκαν έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε τα δρομολόγια που δημιουργούνται να είναι όντως εφικτά και ταυτόχρονα να μην περιορίζεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

- **Περιορισμοί Χωρητικότητας**

Βασικός περιορισμός είναι αυτός της μη υπέρβασης της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Η μεταφορική ικανότητα αφορά τόσο το μέγιστο δυνατό βάρος όσο και τον μέγιστο δυνατό όγκο φορτίου που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο. Ο όγκος ενός φορτίου συνδέεται με το βάρος του μέσω του συντελεστή στοιβασίας που αντιστοιχεί σε κάθε φορτίο σύμφωνα με την σχέση

$$\text{Όγκος Φορτίου} = (\text{Βάρος Φορτίου}) * (\text{Συντελεστή Στοιβασίας Φορτίου})$$

- **Περιορισμοί Χρονικών παραθύρων**

Τόσο η φόρτωση όσο και εκφόρτωση κάθε φορτίου πρέπει να ξεκινήσει και να ολοκληρωθεί μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια τα όποια καθορίζονται από τον ιδιοκτήτη του φορτίου μέσω των ημερομηνιών έναρξης και λήξης φόρτωσης και εκφόρτωσης αντίστοιχα.

- **Περιορισμοί Δέσμευσης Χώρου**

Δεδομένου ότι κάθε πλοίο μπορεί να μεταφέρει δύο ή περισσότερα φορτία προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα δρομολόγια που θα προκύψουν θα είναι εφικτά, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί ότι θα είναι εφικτή η τοποθέτηση των φορτίων που μεταφέρει το πλοίο στα διαμερίσματα του.

- **Περιορισμοί Υποχρεωτικής Μεταφοράς Φορτίων**

Στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας οι εταιρείες συχνά δεσμεύονται για την μεταφορά φορτίων με συγκεκριμένο πλοίο, οι οποίες μεταφορές πρέπει να πραγματοποιηθούν σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Στην περίπτωση λοιπόν που υπάρχουν φορτία που πρέπει να μεταφερθούν οπωσδήποτε από συγκεκριμένο πλοίο, τότε πρέπει να εξασφαλισθεί ότι τα δρομολόγια που θα δημιουργηθούν για το συγκεκριμένο πλοίο περιέχουν την εξυπηρέτηση των συγκεκριμένων φορτίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι για τα υπόλοιπα φορτία η μεταφορά τους δεν είναι υποχρεωτική για κάθε πλοίο.

- **Περιορισμοί Διαστημάτων μη Λειτουργίας**

Πολύ συχνά οι ναυτιλιακές εταιρείες είναι υποχρεωμένες να αποσύρουν από την αγορά κάποιο από τα πλοία τους, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα προκειμένου τα πλοία αυτά είτε να περάσουν από κάποιο έλεγχο είτε να εκτελεστούν κάποιες εργασίες σε αυτό. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις το πλοίο πρέπει να βρίσκεται μια συγκεκριμένη ημερομηνία σε ένα συγκεκριμένο λιμάνι χωρίς φορτίο ενώ αντίθετα δεν είναι πάντα γνωστό που και πότε θα είναι ελεύθερο ξανά το πλοίο για να λειτουργήσει στην αγορά.

## **4.2 Μοντελοποίηση προβλήματος**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η μοντελοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος δημιουργίας όλων των δρομολογίων που μπορεί να πραγματοποιήσει ένα πλοίο για την μεταφορά ενός συνόλου φορτίων και ικανοποιούν τους περιορισμούς που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.1.

Έστω λοιπόν  $C$  το σύνολο των διαθέσιμων προς μεταφορά φορτίων και  $|C| = n$  το πλήθος αυτών και  $C_C$  ένα υποσύνολο αυτού το οποίο περιέχει τα φορτία για τα οποία η εταιρεία έχει δεσμευθεί για την μεταφορά τους.

Για κάθε φορτίο  $j \in C$  για το οποίο είναι γνωστό το μέγεθος του  $s_j$ , ο συντελεστής στοιβασίας  $\sigma_j$  και ο ναύλος ανά μεταφερόμενο τόνο  $f_i$  που επικρατεί στην αγορά, πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο ενέργειες, η φόρτωση του φορτίου  $aL_j$  και η εκφόρτωση του φορτίου  $aD_j$ .

Έτσι αν  $AL$  και  $AD$  είναι το σύνολο των φορτώσεων και των εκφορτώσεων αντίστοιχα που πρέπει να εκτελεστούν και  $A$  το σύνολο των ενεργειών τότε

$$AL = U aLj \text{ και } AD = U aDj,$$

$$|AL| = |AD| = n$$

$$A = AL \cup AD$$

$$|A| = 2n$$

Για κάθε ενέργεια  $i$  με  $i \in A$  υπάρχει ένα χρονικό παράθυρο  $[w_{si}, w_{ei}]$  στο οποίο η ενέργεια πρέπει να αρχίσει και να ολοκληρωθεί και ένα λιμάνι  $p_i$  στο οποίο η ενέργεια λαμβάνει χώρα. Επιπλέον για κάθε ενέργεια  $i \in A$  υπάρχει ένας χρόνος εκτέλεσης  $a_{ti}$  ο οποίος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η ενέργεια. Ο απαιτούμενος αυτός χρόνος  $a_{ti}$  μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια γραμμική συνάρτηση  $F$  του παράγοντα  $s_i / r_{ai}$  όπου το  $r_{ai}$  είναι ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η φόρτωση ή εκφόρτωση του φορτίου στο λιμάνι  $p_i$ .

Υποθέτοντας ότι το πλοίο φτάνει στο λιμάνι  $p_i$  την χρονική στιγμή  $R_i$ , αρχίζει την εκτέλεση της ενέργειας  $i$  την χρονική στιγμή  $T_i$  και την ολοκληρώνει την χρονική στιγμή  $M_i$ , τότε θα πρέπει

$$T_i = \max\{R_i, w_{si}\}$$



Ο περιορισμός αυτός προκύπτει από το ότι ένα πλοίο δεν μπορεί να ξεκινήσει την εκτέλεση μιας λειτουργίας φόρτωσης ή εκφόρτωσης πριν επέλθει η ημερομηνία έναρξης διαθεσιμότητας του φορτίου ή της διαθεσιμότητας των αποθηκευτικών χώρων αντίστοιχα στο λιμάνι όπου πραγματοποιείται η ενέργεια. Με βάση τα παραπάνω συνεπάγεται ότι

$$M_i = T_i + F(s_i/r_{ai})$$

Για κάθε φορτίο  $j \in C$  και κάθε ενέργεια  $i \in A$  ορίζουμε την μεταβλητή  $z_{ij}$  και το σύνολο  $N_i$ . Το σύνολο  $N_i$  αποτελεί το σύνολο των δυνατών περιπτώσεων με τις οποίες μπορούν να φορτωθούν στα διαμερίσματα του πλοίου, τα φορτία που βρίσκονται στο πλοίο μετά το πέρας της ενέργειας  $i$ . Η μεταβλητή  $z_{ij}$  παίρνει τις παρακάτω τιμές.

- |              |                                                                                |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 0            | Εάν το φορτίο $j$ δεν έχει φορτωθεί μετά το πέρας της ενέργειας $i$            |
| $z_{ij} = 1$ | Εάν το φορτίο $j$ είναι φορτωμένο στο πλοίο μετά το πέρας της ενέργειας $i$    |
| 2            | Εάν το φορτίο $j$ έχει φορτωθεί και εκφορτωθεί μετά το πέρας της ενέργειας $i$ |

Επιπλέον με  $V_{ADWT}$  ορίζουμε τη διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου σε βάρος (Available Dead Weight Tonnage) και με  $V_{AFT}$  τη διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου σε τόνους (Available Freight Tonnage). Τέλος έστω  $B$  το σύνολο των διαμερισμάτων που διαθέτει το πλοίο, κάθε ένα χωρητικότητας  $C_B$

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς ένα εφικτό δρομολόγιο πλοίου είναι μια ακολουθία από ενέργειες  $i$  οι οποίες ανήκουν σε ένα σύνολο ενεργειών  $A_k \subseteq A$ , με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί.

1. Περιορισμός Ζευγαριού: Καμία ή και η δυο ενέργειες που αναλογούν σε κάθε φορτίο εκτελούνται μέσα σε ένα δρομολόγιο: Έτσι αν  $L$  είναι η τελευταία ενέργεια ενός δρομολογίου τότε θα πρέπει

$$j \in C / C_C \quad z_{Lj} = 0 \text{ or } 2 \quad (1a)$$

$$j \in C_C \quad z_{Lj} = 2 \quad (1b)$$

2. Περιορισμός προτεραιότητας: Εάν ένα φορτίο εξυπηρετείται κατά την εκτέλεση ενός δρομολογίου τότε η φόρτωση του φορτίου προηγείται της εκφόρτωσης. Έτσι αν  $M_{Lj}$  είναι η χρονική στιγμή κατά την οποία ολοκληρώνεται η ενέργεια  $a_{Lj}$  και  $M_{Dj}$  η χρονική στιγμή κατά την οποία ολοκληρώνεται η ενέργεια  $a_{Dj}$  τότε θα πρέπει

$$\forall j \in C \quad M_{Lj} < M_{Dj} \quad (2)$$

3. Περιορισμός πλήθους εκτελέσεων: Κάθε ενέργεια εκτελείται το πολύ μια φορά σε κάθε δρομολόγιο. Έτσι αν  $z_{0j} = 0$  και η ενέργεια  $(i-1)$  ακολουθείται από την ενέργεια  $i$  σε ένα δρομολόγιο τότε σε κάθε δρομολόγιο που έχει ολοκληρωθεί θα πρέπει να ισχύει

$$\sum_{i \in A_k} (z_{ij} - z_{(i-1)j}) = 0 \text{ ή } 2 \quad \text{για κάθε } j \in C \quad (3a)$$

ενώ κατά την εκτέλεση του δρομολογίου θα πρέπει

$$(z_{ij} - z_{(i-1)j}) < 3 \quad \text{για κάθε } j \in C \text{ και } i \in A_k \quad (3b)$$

4. Περιορισμοί χωρητικότητας: Ανά πάσα στιγμή θα πρέπει τόσο ο όγκος όσο και το βάρος των φορτίων που βρίσκονται φορτωμένα στο πλοίο να μην υπερβαίνουν την χωρητικότητα του πλοίου. Επιπλέον θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας τρόπος διευθέτησης των φορτίων στα διαμερίσματα. Δηλαδή θα πρέπει  $\square$  για κάθε  $i \in A_k$

$$\sum_{j \in C} (z_{ij} \bmod 2)^* s_j \leq V_{ADWT} \quad (4a)$$

και

$$\sum_{j \in C} (z_{ij} \bmod 2)^* s_j^* f_j \leq V_{AFT} \quad (4b)$$

και

$$|N_i| \geq 1 \quad (4d)$$

5. Χρονικοί περιορισμοί: Αν  $T_i$  και  $M_i$  είναι οι χρονικές στιγμές κατά την οποία αρχίζει και ολοκληρώνεται αντίστοιχα η ενέργεια  $i \in A_k$ , τότε θα πρέπει η χρονικές αυτές στιγμές να βρίσκονται εντός του χρονικού πλαισίου  $[w_{si}, w_{ei}]$ . Δηλαδή για κάθε  $\square i \in A_k$  θα πρέπει

$$T_i \in [w_{si}, w_{ei}] \quad (5a)$$

και

$$M_i \in [w_{si}, w_{ei}] \quad (5b)$$

### 4.3 Αναπαράσταση Δρομολογίου

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία ένα δρομολόγιο αναπαριστάται από μια διαδοχική ακολουθία ακμών που συνδέονται μεταξύ τους με ακμές. Κάθε κόμβος (Node) αναπαριστά τη φόρτωση ή εκφόρτωση ενός φορτίου σε ένα λιμάνι. Ένας κόμβος συμβολίζεται ως L (Load) ή D (Discharge) αν πρόκειται για φόρτωση ή εκφόρτωση φορτίου αντίστοιχα. Κάθε κόμβος διαθέτει τα παρακάτω στοιχεία:

- Το λιμάνι στο οποίο γίνεται η αντίστοιχη φόρτωση ή εκφόρτωση: P (Port).
- Την ποσότητα του φορτίου σε βάρος και όγκο που φορτώνεται ή εκφορτώνεται: C (Cargo).
- Τις μέρες που διαρκεί η φόρτωση ή εκφόρτωση: PD (Port Days).
- Την ημερομηνία κατά την οποία το πλοίο φτάνει στο λιμάνι: AD (Arrival Date).
- Την ημερομηνία κατά την οποία ξεκινάει η φόρτωση ή η εκφόρτωση: ASD (Action Start Date).
- Την ημερομηνία κατά την οποία ολοκληρώνεται η φόρτωση ή η εκφόρτωση: AED (Action End Date).
- Μια ένδειξη η οποία υποδηλώνει αν ο κόμβος αντιστοιχεί σε έγκυρη κατάσταση. Η ένδειξη αυτή χρησιμοποιείται σε περίπτωση που υπάρχουν υποχρεωτικά φορτία για κάποιο πλοίο.

Πέρα από τα παραπάνω αυτά στοιχεία κάθε κόμβος περιλαμβάνει και πληροφορία σχετικά με την νέα κατάσταση στην οποία έρχεται το πλοίο μετά την εκτέλεση της φόρτωσης ή εκφόρτωσης που αναπαριστά ο εκάστοτε κόμβος. Οι πληροφορίες για τη νέα κατάσταση στην οποία έρχεται το πλοίο είναι:

- Ένας πίνακας για κάθε σύνολο σεναρίων φόρτωσης των φορτίων που βρίσκονται στο πλοίο και καταλαμβάνουν την ίδια χωρητικότητα σε βάρος.
- Ένας πίνακας  $Z$  που αναφέρει για κάθε φορτίο την κατάσταση που βρίσκεται (0: δεν έχει φορτωθεί, 1: είναι φορτωμένο, 2: έχει ξεφορτωθεί)
- Τα συνολικά έσοδα της εταιρείας από την εκτέλεση του δρομολογίου μέχρι και την εκτέλεση της συγκεκριμένης ενέργειας. Το δεδομένο αυτό υπολογίζεται στην περίπτωση που υπάρχουν φορτία από την ελεύθερη αγορά, από την μεταφορά των οποίων η εταιρεία έχει κέρδος.
- Τα συνολικά έξοδα της εταιρείας από την εκτέλεση του δρομολογίου μέχρι και την εκτέλεση της συγκεκριμένης ενέργειας.

Οι ακμές (Edge) συμβολίζουν την μετάβαση του πλοίου από μία κατάσταση (φόρτωση ή εκφόρτωση) – σε μια νέα κατάσταση (φόρτωση ή εκφόρτωση). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι ακμές συμβολίζουν τα ταξίδια που κάνει το πλοίο από λιμάνι σε λιμάνι. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου ένα πλοίο πραγματοποιεί δύο ή περισσότερες διαδοχικές ενέργειες φόρτωσης ή εκφόρτωσης στο ίδιο λιμάνι. Στις περιπτώσεις αυτές η ακμή που συνδέει τους δύο κόμβους που συμβολίζουν τις διαδοχικές ενέργειες δε συμβολίζει ταξίδι του πλοίου στην θάλασσα. Αν κατά την μετάβαση από την μια κατάσταση στην άλλη το πλοίο δεν μεταφέρει φορτίο τότε η ακμή συμβολίζεται ως  $B$  (Ballast) ενώ αντίθετα όταν το πλοίο μεταφέρει φορτίο

χαρακτηρίζεται ως L (Loaded). Πέρα από αυτό κάθε ακμή διαθέτει τις εξής πληροφορίες:

- Το σύνολο των ημερών που διαρκεί το ταξίδι. Στην περίπτωση που οι κόμβοι που συνδέει η ακμή έχουν την ίδια τιμή στο πεδίο P (ίδιο λιμάνι) τότε το πεδίο αυτό έχει τιμή 0: DS (Days in Sea).
- Την απόσταση που διανύει το πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Στην περίπτωση που οι κόμβοι που συνδέει η ακμή έχουν την ίδια τιμή στο πεδίο P (ίδιο λιμάνι) τότε το πεδίο αυτό έχει τιμή 0: VD (Voyage Distance).
- Το σύνολο των καναλιών μέσα από τα οποία περνάει το πλοίο κατά την πραγματοποίηση του ταξιδιού. Στην περίπτωση που οι κόμβοι που συνδέει η ακμή έχουν την ίδια τιμή στο πεδίο P (ίδιο λιμάνι) τότε δεν υπάρχουν κανάλια.

#### **4.4 Δεδομένα εισόδου**

Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την δημιουργία των δρομολογίων αφορούν, τα φορτία που πρέπει να μεταφερθούν, το πλοίο για το οποίο πρέπει να δημιουργηθούν τα δρομολόγια και τα λιμάνια από στα οποία πρέπει να φορτωθούν και να εκφορτωθούν τα φορτία. Πιο συγκεκριμένα για κάθε φορτίο πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω στοιχεία:

- Βάρος φορτίου σε τόνους: LC (Load Cargo).
- Ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου σ.
- Λιμάνι φόρτωσης : LP (Loading Port).

- Ρυθμός φόρτωσης ανά ημέρα: LR (Loading Rate).
- Ημέρα έναρξης προθεσμίας διαθεσιμότητας φορτίου: SLD (Starting Loading Date).
- Ημέρα λήξης προθεσμίας διαθεσιμότητας φορτίου: DLD (Deadline Loading Date).
- Λιμάνι εκφόρτωσης: DP (Discharging Port).
- Ρυθμός εκφόρτωσης ανά ημέρα: DR (Discharging Rate).
- Ημερομηνία έναρξης προθεσμίας παράδοσης SDD (Starting Discharging Date) (προαιρετικά).
- Ημερομηνία λήξης προθεσμίας παράδοσης: DDD (Deadline Discharging Date) (προαιρετικά).
- Μια ένδειξη αν το φορτίο είναι υποχρεωτικό να μεταφερθεί από κάποιο συγκεκριμένο πλοίο.
- Η τιμή του ναύλου ανά μεταφερόμενο τόνο για το συγκεκριμένο φορτίο CF (Cargo Freight). Το στοιχείο αυτό απαιτείται στην περίπτωση που υπάρχουν φορτία από την ελεύθερη αγορά από την μεταφορά των οποίων η εταιρεία έχει κέρδος. Στην περίπτωση που το φορτίο δεν είναι από την ελεύθερη αγορά, τότε η τιμή του ναύλου αυτού θεωρείται μηδέν.

Ο ρυθμός φόρτωσης και εκφόρτωσης δεν είναι απαραίτητα στοιχεία, αφού στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμη αυτή η πληροφορία, οι αντίστοιχοι ρυθμοί φόρτωσης και εκφόρτωσης των λιμανιών ή των πλοίων λαμβάνονται ως τιμές. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα για καθένα από τα διαθέσιμα φορτία υπολογίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

- Μέρες φόρτωσης LD (Loading Days).
- Μέρες εκφόρτωσης DD (Discharging Days).

Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν εύκολα από το βάρος του φορτίου και τους αντίστοιχους ρυθμούς φόρτωσης και εκφόρτωσης σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$LD = LC / LR \quad (6)$$

$$DD = LC / DR \quad (7)$$

Για το πλοίο για το οποίο δημιουργούνται τα δρομολόγια, τα στοιχεία που πρέπει να είναι διαθέσιμα είναι:

- Η χωρητικότητα του πλοίου σε βάρος DWT (Dead Weight Tonnage).
- Η χωρητικότητα του πλοίου σε όγκο.
- Η ημερομηνία στην οποία θα είναι διαθέσιμο και από την οποία θα ξεκινήσει η δημιουργία δρομολογίων.
- Το λιμάνι στο οποίο το πλοίο θα βρεθεί διαθέσιμο.
- Την ταχύτητα (σε ναυτικούς κόμβους) του πλοίου όταν ταξιδεύει με φορτίο: LSP (Loaded Speed Per hour).
- Η μέση ημερήσια κατανάλωση πετρελαίου του πλοίου
- Την ταχύτητα (σε ναυτικούς κόμβους) του πλοίου όταν ταξιδεύει χωρίς φορτίο: BSP (Ballast Speed Per hour).
- Η μέση ημερήσια κατανάλωση diesel όταν το πλοίο βρίσκεται σε κάποιο λιμάνι PDC (Port Diesel Consumption)



- Η μέση ημερήσια κατανάλωση diesel όταν το πλοίο ταξιδεύει στην θάλασσα SDC (Sea Diesel Consumption)
- Η μέση ημερήσια κατανάλωση καυσίμου όταν το πλοίο ταξιδεύει με φορτίο LFC (Loaded Fuel Consumption)
- Η μέση ημερήσια κατανάλωση καυσίμου όταν το πλοίο ταξιδεύει χωρίς φορτίο BFC (Ballast Fuel Consumption).
- Τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου ανά ημέρα OCPD (Operational Cost Per Day)
- Τα χρονικά διαστήματα και τα αντίστοιχα λιμάνια για στα οποία το πλοίο πρέπει να βρίσκεται εκτός αγοράς.
- Το βύθισμα και το μήκος του πλοίου

Όλα τα χρονικά διαστήματα για τα οποία το πλοίο πρέπει να είναι ανενεργό σε κάποια λιμάνια μοντελοποιούνται ως υποχρεωτικά φορτία προς μεταφορά από το συγκεκριμένο πλοίο. Πιο συγκεκριμένα ένα διάστημα  $N$  ημερών ανεργίας, το οποίο ξεκινάει την ημερομηνία  $D1$ , για ένα πλοίο συνολικής χωρητικότητας φορτίου  $T$  τόνων, στο λιμάνι  $H$  μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα φορτίο με τα παρακάτω στοιχεία

- Βάρος φορτίου: **T**.
- Ο συντελεστής στοιβασίας του φορτίου  $\sigma$ : **0**
- Λιμάνι φόρτωσης : **H**.
- Ρυθμός φόρτωσης ανά ημέρα: **T**.
- Ημέρα έναρξης προθεσμίας διαθεσιμότητας φορτίου: **D1**
- Ημέρα λήξης προθεσμίας διαθεσιμότητας φορτίου: **D**

- Λιμάνι εκφόρτωσης: **H**
- Ρυθμός εκφόρτωσης ανά ημέρα: **T**
- Ημερομηνία έναρξης προθεσμίας παράδοσης: **D1**
- Ημερομηνία λήξης προθεσμίας παράδοσης: **D1**
- Ένδειξη υποχρεωτικού φορτίου: **1**
- Τιμή ναύλου ανά μεταφερόμενο τόνο: **0**

Τέλος θα πρέπει να είναι γνωστές όλες οι αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών καθώς και το μέγιστο βάθος και μήκος πλοίου που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε ένα από αυτά. Επιπλέον πρέπει να είναι γνωστά όλα τα κανάλια που βρίσκονται στην διαδρομή που συνδέει κάθε ζεύγος λιμανιών.

## 4.5 Δημιουργία Δρομολογίων

Η δημιουργία των δρομολογίων μεταφοράς φορτίων πραγματοποιείται με την κατασκευή ενός δέντρου δρομολογίων στο οποίο κάθε μονοπάτι από την ρίζα στα φύλλα, που αντιστοιχούν σε έγκυρους κόμβους, αποτελεί ένα ξεχωριστό δρομολόγιο. Η αναπαράσταση των κόμβων και των ακμών του δέντρου καθώς και τα στοιχεία που αυτά αντιπροσωπεύουν ταυτίζεται με αυτή που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.3 για την αναπαράσταση των δρομολογίων.

Ο αλγόριθμος δημιουργίας του δέντρου δρομολογίων αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία. Σε κάθε επανάληψή της εξετάζεται ένας κόμβος όπου αρχικά ελέγχεται η εγκυρότητα του κόμβου ως προς το αν το πλοίο προλαβαίνει να

ξεφορτώσει κάθε ένα από τα φορτία που είναι φορτωμένα στον κόμβο αυτό πριν επέλθει η ημερομηνία λήξης εκφόρτωσης και να φορτώσει κάθε ένα από τα υποχρεωτικά φορτία τα οποία δεν έχουν φορτωθεί ακόμα. Μετά τον έλεγχο της εγκυρότητας του κόμβου δημιουργούνται όλες οι νέες καταστάσεις – κόμβοι -που μπορούν να προκύψουν από αυτόν, με δεδομένου ότι για κάθε μια από αυτές δεν παραβιάζεται κανένας από τους περιορισμούς χωρητικότητας του πλοίου, δέσμευσης χώρου και τήρησης του χρονικού παραθύρου φόρτωσης ή εκφόρτωσης ανάλογα με το είδος του νέου κόμβου. Να σημειωθεί ότι αν μια από τις νέες καταστάσεις αφορά την δημιουργία ενός νέου κόμβου τύπου L – φόρτωσης- τότε δεν πραγματοποιείται έλεγχος για έγκαιρη εκφόρτωση του φορτίου που αντιστοιχεί στον νέο κόμβο. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι έως ότου έχει ελεγχθεί η εγκυρότητα όλων των κόμβων και δεν υπάρχει κανένας νέος κόμβος. Ο αλγόριθμος ξεκινά με την δημιουργία του κόμβου ρίζα του δένδρου, ο οποίος αντιπροσωπεύει την αρχική κατάσταση του πλοίου ως προς την ημερομηνία και το λιμάνι που αυτό θα είναι διαθέσιμο και από όπου θα ξεκινήσει η δημιουργία των δρομολογίων. Πιο αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται σε κάθε επανάληψη κατά την επεξεργασία ενός κόμβου είναι τα εξής:

1. Εάν υπάρχουν φορτία, η μεταφορά των οποίων είναι υποχρεωτική και στην κατάσταση που αναπαριστά ο κόμβος κάποιο από αυτά δεν έχει φορτωθεί, ελέγχεται αν το πλοίο προλαβαίνει από την τρέχουσα κατάσταση να μεταβεί στο λιμάνι φόρτωσης. Αν δεν είναι εφικτή η έγκυρη προσέγγιση του λιμανιού φόρτωσης έστω και ενός “υποχρεωτικού” φορτίου τότε σταματάει η επεξεργασία του τρέχων κόμβου, ο κόμβος χαρακτηρίζεται ως μη έγκυρος και ελέγχεται η εγκυρότητα των γονικών του κόμβων. Να σημειωθεί ότι στον έλεγχο αυτό δεν εξετάζεται αν το υποχρεωτικό φορτίο “χωράει” στο πλοίο.

2. Για κάθε ένα από τα φορτία που είναι φορτωμένα στο πλοίο στην κατάσταση που αντιπροσωπεύει ο κόμβος, εξετάζεται αν το πλοίο προλαβαίνει μέσα στα χρονικά περιθώρια που καθορίζουν τα παράθυρα εκφόρτωσης των φορτίων αυτών, να μεταβεί στο λιμάνι εκφόρτωσης και να εκφορτώσει κάθε ένα από αυτά. Η σειρά με την οποία εξετάζονται τα φορτία που βρίσκονται στο πλοίο, είναι ταξινομημένη από το φορτίο με την συντομότερη ημερομηνία λήξης παράδοσης, σε σχέση με την ημερομηνία που αντιστοιχεί στον κόμβο και καταλήγει στο φορτίο με την μεγαλύτερη ημερομηνία λήξης παράδοσης. Ανάλογα με τα αποτελέσματα του παραπάνω ελέγχου για κάθε ένα από τα φορτωμένα φορτία, πραγματοποιούνται τα παρακάτω:

➤ Αν είναι εφικτή η έγκυρη παράδοση του φορτίου τότε δημιουργείται ένας νέος κόμβος τύπου D, ο οποίος έχει ως στοιχεία το λιμάνι στο οποίο γίνεται η αντίστοιχη εκφόρτωση, την ποσότητα του φορτίου σε βάρος που εκφορτώνεται, τις μέρες που διαρκεί η εκφόρτωση, την ημερομηνία κατά την οποία το πλοίο φτάνει στο λιμάνι, την ημερομηνία κατά την οποία ξεκινάει η εκφόρτωση και την ημερομηνία κατά την οποία ολοκληρώνεται η εκφόρτωση. Επιπλέον, ο κόμβος αυτός έχει ως στοιχεία και τη νέα κατάσταση στην οποία υπεισέρχεται το πλοίο μετά την εκφόρτωση, δηλαδή

ο Τους ίδιους πίνακες με σενάρια φόρτωσης των φορτωμένων φορτίων που είχε και ο κόμβος που εξετάζεται, με την μόνη διαφορά ότι από όλα τα σενάρια έχει αφαιρεθεί το φορτίο που εκφορτώθηκε. Σε περίπτωση που στον νέο κόμβο δεν υπάρχουν φορτωμένα φορτία, τότε δεν υπάρχει κανένας πίνακας σεναρίων φόρτωσης.

- ο Ένας πίνακας  $Z$  που έχει τις ίδιες τιμές με τον πίνακα  $Z$  του κόμβου που εξετάζεται με την μόνη διαφορά ότι η τιμή του φορτίου που εκφορτώθηκε μεταβάλλεται από ένα 1 – φορτωμένο - σε 2- έχει εκφορτωθεί
- ο Τα ίδια έσοδα που είχε και ο κόμβος που εξετάζεται
- ο Τα έξοδα που είχε και ο κόμβος που εξετάζεται, προσαυξημένα κατά το κόστος μετακίνησης του πλοίου από το λιμάνι που αντιστοιχεί στον εξεταζόμενο κόμβο στον νέο κόμβο συν τα έξοδα παραμονής στο νέο λιμάνι. Στα έξοδα μετακίνησης μεταξύ των λιμανιών συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα των καναλιών που μεσολαβούν.

Ο νέος κόμβος αυτός συνδέεται με τον κόμβο που εξετάζεται με μια ακμή τύπου L. Η ακμή αυτή έχει ως στοιχεία, την διάρκεια του ταξιδιού, το πλήθος των καναλιών από όπου θα διέλθει το πλοίο κατά την μετάβαση του από το λιμάνι που αντιπροσωπεύει ο εξεταζόμενος κόμβος στο λιμάνι που αντιπροσωπεύει ο νέος κόμβος καθώς και την απόσταση μεταξύ των δυο λιμανιών.

- Αν δεν είναι εφικτή η έγκυρη παράδοση έστω και ενός φορτίου που είναι φορτωμένο στον εξεταζόμενο κόμβο τότε σταματάει η επεξεργασία του κόμβου και ξεκινάει η διαδικασία διαγραφής κόμβων.

3. Εφόσον ήταν εφικτή η εκφόρτωση όλων των φορτίων που ήταν φορτωμένα στον εξεταζόμενο κόμβο, αναζητούνται από τα φορτία που δεν έχουν εξυπηρετηθεί εκείνα για τα οποία το πλοίο προλαβαίνει από την τρέχουσα κατάσταση που

αντιπροσωπεύει ο εξεταζόμενος κόμβος να μεταβεί στο λιμάνι φόρτωσής τους και να φορτώσει το αντίστοιχο φορτίο ενώ επιπλέον το βάρος τους δεν υπερβαίνει την διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου τουλάχιστον για ένα σενάριο φόρτωσης φορτίων. Για κάθε ένα από τα παραπάνω φορτία δημιουργείται ένας κόμβος τύπου L, ο οποίος έχει ως στοιχεία το λιμάνι στο οποίο γίνεται η αντίστοιχη φόρτωση, την ποσότητα του φορτίου σε βάρος που φορτώνεται, τις μέρες που διαρκεί η φόρτωση, την ημερομηνία κατά την οποία το πλοίο φτάνει στο λιμάνι, την ημερομηνία κατά την οποία ξεκινάει η φόρτωση και την ημερομηνία κατά την οποία ολοκληρώνεται η φόρτωση. Επιπλέον, ο κόμβος αυτός έχει ως στοιχεία και τη νέα κατάσταση στην οποία υπεισέρχεται το πλοίο μετά την εκφόρτωση, δηλαδή

- ο Ένας πίνακας για κάθε σύνολο σεναρίων φόρτωσης των φορτίων που βρίσκονται στο πλοίο και καταλαμβάνουν την ίδια χωρητικότητα σε βάρος. Τα νέα σενάρια προκύπτουν από τα σενάρια φόρτωσης που υπήρχαν στον εξεταζόμενο κόμβο με την προσθήκη του νέου φορτίου. Τα σενάρια του εξεταζόμενου κόμβου στα οποία η προσθήκη του νέου φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την υπέρβαση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου διαγράφονται. Αν στον εξεταζόμενο κόμβο δεν υπήρχε κανένα σενάριο – το πλοίο ήταν άδειο – τότε δημιουργούνται όλοι οι πιθανοί τρόποι φόρτωσης του νέου φορτίου στο πλοίο.
- ο Ένας πίνακας Z που έχει τις ίδιες τιμές με τον πίνακα Z του κόμβου που εξετάζεται με την μόνη διαφορά ότι η τιμή του φορτίου που φορτώθηκε μεταβάλλεται από μηδέν 0 – μη φορτωμένο - σε 1-φορτωμένο

- ο Τα έσοδα που είχε και ο κόμβος που εξετάζεται προσαυξημένα κατά το γινόμενο του βάρους του φορτίου σε τόνους επί το ναύλο ανά μεταφερόμενο τόνο για το συγκεκριμένο φορτίο.
- ο Τα έξοδα που είχε και ο κόμβος που εξετάζεται, προσαυξημένα κατά το κόστος μετακίνησης του πλοίου από το λιμάνι που αντιστοιχεί στον εξεταζόμενο κόμβο στον νέο κόμβο συν τα έξοδα παραμονής στο νέο λιμάνι. Στα έξοδα μετακίνησης μεταξύ των λιμανιών συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα των καναλιών που μεσολαβούν

Ο νέος κόμβος συνδέεται με τον κόμβο που εξετάζεται με μια ακμή, η οποία έχει ως στοιχεία, την διάρκεια του ταξιδιού, το πλήθος των καναλιών από όπου θα διέλθει το πλοίο κατά την μετάβαση του από το λιμάνι που αντιπροσωπεύει ο εξεταζόμενος κόμβος στο λιμάνι που αντιπροσωπεύει ο νέος κόμβος καθώς και την απόσταση μεταξύ των δυο λιμανιών. Η ακμή αυτή μπορεί να είναι τύπου L ή D ανάλογα με το αν το πλοίο μετέφερε φορτία κατά την μετακίνησή από το ένα λιμάνι στο άλλο.

4. Οι κόμβοι που δημιουργήθηκαν στην συγκεκριμένη επανάληψη τοποθετούνται σε μια στοίβα που περιέχει όλους τους κόμβους που δεν έχουν ελεγχθεί. Η σειρά με την οποία τοποθετούνται είναι αντίστροφη από την σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν στην τρέχουσα επανάληψη.
5. Αν ο κόμβος που εξετάζεται αντιστοιχούσε σε κατάσταση πλοίου όπου δεν υπήρχε κανένα φορτωμένο φορτίο, όλα τα υποχρεωτικά φορτία έχουν εξυπηρετηθεί και επιπλέον δημιουργήθηκε τουλάχιστον ένας νέος κόμβος –

δηλαδή ήταν εφικτή η φόρτωση ενός νέου φορτίου – τότε δημιουργείται ένας κόμβος τύπου D που είναι ακριβές αντίγραφο του κόμβου που εξετάζεται και ο οποίος συνδέεται με τον πατέρα του εξεταζόμενου κόμβο με μια ακμή με μηδενικά στοιχεία.

6. Αν ο κόμβος που εξετάζεται αντιστοιχούσε σε κατάσταση πλοίου όπου δεν υπήρχε κανένα φορτωμένο φορτίο, δεν βρέθηκε κανένα φορτίο για φόρτωση και υπάρχουν υποχρεωτικά φορτία που δεν έχουν εξυπηρετηθεί τότε ο κόμβος χαρακτηρίζεται ως μη έγκυρος και ελέγχεται η εγκυρότητα των γονικών του κόμβων.

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω επαναληπτικής διαδικασίας και εφόσον κατά την δημιουργία των δρομολογίων υπήρχαν υποχρεωτικά φορτία, διατρέχεται το δέντρο έτσι ώστε να διαγραφούν οι κόμβοι και τα υποδέντρα αυτών που αντιστοιχούν σε μη έγκυρες καταστάσεις.

Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην υπάρχει κάποιος κόμβος στην στοίβα των μη ελεγμένων κόμβων. Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία το αποτέλεσμα θα είναι ένα δέντρο το οποίο παρουσιάζει όλα τα πιθανά δρομολόγια μεταφοράς των διαθέσιμων φορτίων από το δοθέν πλοίο. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η διαδικασία που αναλύθηκε σε μορφή ψευδοκώδικα.



```

create node that represents the status of the ship at the moment of availability;
insert node to the stack;
while (stack has more nodes) {

    current node = pop a node from the stack;
    deletion = false; insertion = false; discharge = false;

    if (mandatory cargoes that have not been loaded cannot be loaded in time) {
        mark node as invalid;
        check ancestors validation;
    } else {
        initiate a new FIFO queue;

        for each loaded cargo do {

            if (loaded cargo can be discharged in time) {

                create new node of D type with updated status information;
                connect the new node with the current node via an edge of type L;
                insert the new node to the queue;
                discharge = true;
            } else {
                delete invalid paths;
                deletion = true;
            }
        }
        if(not deletion) {

            for each available cargo that can be loaded in time do {

                create new node of L type with updated status information;
                connect the new node with current node via an edge of type L or B;
                insert the new node to the queue;
                insertion = true;
            }

            push queue to the stack;

            if( insertion && not discharge) {
                create new node replica of current node
                connect new node with the current node
            }
            if( not insertion && not discharge && mandatory cargoes are not served) {
                mark node as invalid;
                check ancestors validation;
            }
        }
    }
}
delete invalid nodes;

```

#### **Εικόνα 1: Ψευδοκώδικας προτεινόμενης μεθόδου**

Κατά την εκτέλεση του παραπάνω αλγορίθμου και σε κάθε επανάληψη πρέπει να γίνουν ορισμένοι έλεγχοι ή υπολογισμοί, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από τις συνθήκες της τρέχουσας κατάστασης - κόμβου. Οι έλεγχοι αυτοί είναι:

- Έλεγχος αν το πλοίο προλαβαίνει να εκφορτώσει ένα συγκεκριμένο φορτίο από αυτά που μεταφέρει.
- Διαγραφή προγόνων του εξεταζόμενου κόμβου σε περίπτωση που η τρέχουσα κατάσταση δεν είναι έγκυρη.
- Έλεγχος αν το πλοίο μπορεί να φορτώσει ένα συγκεκριμένο φορτίο.
- Υπολογισμός κόστους ενός ταξιδιού ή μιας ενέργειας σε ένα λιμάνι.
- Υπολογισμός εσόδων που προκύπτει από την μεταφορά ενός φορτίου.

Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται οι έλεγχοι και υπολογισμοί, με τα διαθέσιμα δεδομένα σε κάθε κατάσταση, παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες.

#### **4.5.1 Έλεγχος εκφόρτωσης φορτίου**

Ο έλεγχος αυτός εκτελείται σε κάθε κόμβο, εφόσον υπάρχουν φορτωμένα φορτία στο πλοίο στην κατάσταση που αντιπροσωπεύει ο κόμβος, με σκοπό να ελεγχθεί αν το πλοίο προλαβαίνει να παραδώσει τα φορτία που μεταφέρει. Ο έλεγχος επιστρέφει είτε τα στοιχεία του ταξιδιού και της αντίστοιχης εκφόρτωσης όταν η εκφόρτωση είναι εφικτή ή μια αρνητική απάντηση όταν η παράδοση του φορτίου δεν είναι εφικτή. Για τον έλεγχο εμπρόθεσμης παράδοσης ενός φορτίου τα δεδομένα που απαιτούνται είναι τα στοιχεία του φορτίου που εκφορτώνεται, τα στοιχεία του κόμβου που εξετάζεται και τα στοιχεία του πλοίου.

Σε κάθε μια εκτέλεση του ελέγχου, ελέγχεται αν το πλοίο προλαβαίνει να μεταβεί από το λιμάνι που αντιστοιχεί στον κόμβο που εξετάζεται, στο λιμάνι εκφόρτωσης του φορτίου και να εκφορτώσει το φορτίο πριν την ημερομηνία λήξης

της προθεσμίας παράδοσής του. Για την ακρίβεια πρέπει οι μέρες που απαιτούνται για την μετάβαση του πλοίου στο λιμάνι εκφόρτωσης συν τις μέρες που απαιτούνται για την εκφόρτωση του φορτίου να είναι λιγότερες ή ίσες με τις μέρες που μεσολαβούν από την ημερομηνία αναχώρησης από τον τρέχον κόμβο μέχρι την ημερομηνία λήξης της προθεσμίας παράδοσης του φορτίου. Σε περίπτωση που το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι εκφόρτωσης νωρίτερα από την ημερομηνία έναρξης προθεσμίας εκφόρτωσης τότε το πλοίο θα πρέπει να περιμένει έως την προαναφερθείσα ημερομηνία για να αρχίσει την εκφόρτωση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εκφόρτωση των φορτίων πολύ συχνά υπάρχουν καθυστερήσεις οι οποίες οφείλονται κυρίως σε συμφόρηση του λιμανιού, ημέρες αργίας και σαββατοκύριακα, με αποτέλεσμα ο χρόνος που απαιτείται για την εκφόρτωση ενός φορτίου να είναι μεγαλύτερος από τον μαθητικά υπολογιζόμενο DD. Ο επιπλέον χρόνος καθυστέρησης του πλοίου κατά την εκφόρτωση είναι ανάλογος του μαθηματικά υπολογιζόμενου αντίστοιχου χρόνου καθώς όσο περισσότερο διαρκεί μια εκφόρτωση τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες να διακοπεί η εκφόρτωση για κάποιον λόγο. Αντίστοιχα κατά την μετάβαση του πλοίου από ένα λιμάνι σε ένα άλλο συχνά υπάρχουν καθυστερήσεις οι οποίες οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες, συνηθέστεροι των οποίων είναι οι καιρικές συνθήκες και ο ανεφοδιασμός του πλοίου σε κάποιο λιμάνι. Όμοια και σε αυτή την περίπτωση οι ημέρες καθυστέρησης ανά ταξίδι είναι πάντα ανάλογες της διάρκειας του ταξιδιού καθώς όσο πιο μεγάλο είναι το ταξίδι τόσο περισσότερες είναι οι καθυστερήσεις. Με βάση τα παραπάνω και αν συμβολίσουμε με DST την απόσταση σε μίλια μεταξύ του δύο λιμανιών (το λιμάνι του κόμβου που εξετάζεται και το λιμάνι εκφόρτωσης του φορτίου),  $f$  την συνάρτηση που υπολογίζει τις ημέρες καθυστέρησης κατά την εκφόρτωση και  $g$  την συνάρτηση

που υπολογίζει τις ημέρες καθυστέρησης κατά την διάρκεια του ταξιδιού τότε για να είναι εφικτή η μεταφορά του φορτίου θα πρέπει να ισχύει:

$$DDD - ND \geq DD + DST / LSP^* + f(DD) + g(DST / LSP) \quad (8)$$

*Σημείωση:  $LSP^*$  είναι η έμφορτη ταχύτητα του πλοίου εκφρασμένη σε μονάδες ναυτικών μιλίων ανά μέρα.*

Η παραπάνω σχέση πρέπει να ισχύει όταν η ημερομηνία έναρξης προθεσμίας εκφόρτωσης είναι νωρίτερα από την ημερομηνία άφιξης του πλοίου στο λιμάνι εκφόρτωσης, δηλαδή για να ισχύει η παραπάνω σχέση πρέπει να ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$SDD - ND \leq DST / LSP^* + g(DST / LSP) \quad (9)$$

Σε περίπτωση που η συνθήκη 5, δεν ισχύει πράγμα που σημαίνει ότι το πλοίο φτάνει στο λιμάνι εκφόρτωσης νωρίτερα από την προθεσμία έναρξης εκφόρτωσης τότε η σχέση 4 αντικαθίσταται από την παρακάτω:

$$DDD - SDD \geq DD + f(DD) \quad (10)$$

#### 4.5.2 Έλεγχος & διαγραφή προγόνων

Η διαγραφή προγόνων πραγματοποιείται κάθε φορά που διαπιστώνεται ότι δεν είναι έγκυρη η κατάσταση που αντιστοιχεί στον τρέχον κόμβο. Αυτό συμβαίνει όταν από την κατάσταση που αντιστοιχεί στον τρέχον κόμβο είτε δεν είναι εφικτή η έγκαιρη παράδοση ενός από τα φορτωμένα φορτία είτε όταν δεν είναι εφικτή η έγκαιρη φόρτωση ενός υποχρεωτικού φορτίου που δεν έχει ήδη φορτωθεί. Στις περιπτώσεις αυτές διατρέχεται το δέντρο από τον τρέχον κόμβο με κατεύθυνση προς τη ρίζα του δέντρου προκειμένου να βρεθεί ο κόμβος – πρόγονος που αντιστοιχεί στην κοντινότερη στον τρέχον κόμβο έγκυρη κατάσταση. Σε κάθε στάδιο της διαδρομής αυτής εξετάζεται ένας κόμβος σε σχέση με τον γονικό του. Για την ακρίβεια ο έλεγχος που πραγματοποιείται είναι ο εξής:

- Αν ο πατέρας του κόμβου που εξετάζεται, έχει ένα ή περισσότερα παιδιά - κόμβους τύπου D εκτός από τον τρέχον κόμβο που εξετάζεται τότε διαγράφεται ο κόμβος που εξετάζεται μαζί με το υποδέντρο κάτω από αυτόν και τερματίζει η διαδικασία.
- Αν ο πατέρας του κόμβου που εξετάζεται δεν έχει άλλα παιδιά – κόμβους - τύπου D τότε εξεταζόμενος κόμβος γίνεται ο πατέρας του τρέχοντος εξεταζόμενου κόμβου και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

Με τη διαδικασία αυτή διαγράφονται οι κόμβοι που δεν οδηγούν σε εφικτά δρομολόγια, ακόμα και αν δεν έχει εξεταστεί ακόμα η εφικτότητα της υλοποίησης τους. Για παράδειγμα δεν έχει νόημα να εξεταστεί το σενάριο φόρτωσης ενός νέου

φορτίου από έναν κόμβο εάν διαπιστωθεί ότι δεν είναι εφικτή η έγκαιρη παράδοση κάποιου ήδη φορτωμένου φορτίου.

#### 4.5.3 Έλεγχος φόρτωσης φορτίου

Ο έλεγχος αυτός εκτελείται σε δύο σημεία του αλγορίθμου. Αρχικά εκτελείται στην περίπτωση που υπάρχει τουλάχιστον ένα “υποχρεωτικό” φορτίο και στη συνέχεια εκτελείται για καθένα από τα διαθέσιμα φορτία που δεν έχουν φορτωθεί και έχουν βάρος μικρότερο από την μέγιστη διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου την χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στον τρέχον κόμβο. Σκοπός του ελέγχου αυτού στην πρώτη περίπτωση είναι να διαπιστωθεί εάν η τρέχουσα κατάσταση είναι έγκυρη από την άποψη ότι υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για την εξυπηρέτηση των υποχρεωτικών φορτίων που δεν έχουν εξυπηρετηθεί ακόμα. Σε δεύτερη περίπτωση ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται για να βρεθεί το σύνολο εκείνων των φορτίων για τα οποία είναι εφικτή η άμεση φόρτωση τους από την κατάσταση που αντιστοιχεί στον τρέχον κόμβο προκειμένου να δημιουργηθούν οι νέοι κόμβοι του δέντρου. Σε κάθε εκτέλεση του ελέγχου απαιτούνται να είναι γνωστά, τα στοιχεία του φορτίου, τα στοιχεία του κόμβου που εξετάζεται και τα στοιχεία του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν είναι τα εξής:

- Για το φορτίο (“υποχρεωτικό” και διαθέσιμα):
  - ο Το λιμάνι φόρτωσης: LP (Discharging Port).
  - ο Το πλήθος των ημερών που απαιτούνται για την φόρτωση του φορτίου: LD (Loading Days).

- ο Η ημερομηνία έναρξης της προθεσμίας φόρτωσης του φορτίου: SLD (Starting Loading Date).
- ο Η ημερομηνία λήξης της προθεσμίας φόρτωσης του φορτίου: DLD (Deadline Loading Date).
- ο Αν είναι υποχρεωτικό
- Για τον κόμβο που εξετάζεται:
  - ο Η ημερομηνία του κόμβου: ND (Node Date).
  - ο Το λιμάνι το οποίο αντιστοιχεί στον κόμβο: NP (Node Port).
- Για το πλοίο για το οποίο δημιουργούνται τα δρομολόγια:
  - ο Η ταχύτητα (σε ναυτικούς κόμβους) του πλοίου όταν ταξιδεύει με φορτίο: LSP (Loaded Speed Per hour).
  - ο Η ταχύτητα (σε ναυτικούς κόμβους) του πλοίου όταν ταξιδεύει χωρίς φορτίο: BSP (Ballast Speed Per hour).
  - ο Η μέγιστη διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου στην κατάσταση που αντιπροσωπεύει ο κόμβος, η οποία αντιστοιχεί στο σενάριο φόρτωσης όπου τα έμφορτα φορτία καταλαμβάνουν τον λιγότερο χώρο.

Στην περίπτωση που ο έλεγχος πραγματοποιείται για όλα τα διαθέσιμα φορτία που δεν έχουν φορτωθεί προκειμένου να δημιουργηθούν νέοι κόμβοι, εξετάζεται αρχικά, δεδομένης της τοποθέτησης των ήδη μεταφερόμενων φορτίων στο πλοίο, αν είναι εφικτή η τοποθέτηση του νέου φορτίου στο πλοίο. Η διαδικασία με την οποία ελέγχεται η εφικτότητα της τοποθέτησης του φορτίου περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

Στην συνέχεια σε κάθε περίπτωση εκτέλεσης του ελέγχου εξετάζεται αν το φορτίο πάνω στο οποίο γίνεται ο έλεγχος αυτός είναι εφικτό να φορτωθεί έγκαιρα. Η φόρτωση ενός φορτίου θεωρείται έγκαιρη όταν οι μέρες που απαιτούνται για την μετάβαση του πλοίου στο λιμάνι φόρτωσης συν τις μέρες που απαιτούνται για την φόρτωση του φορτίου να είναι λιγότερες ή ίσες με τις μέρες που μεσολαβούν από την ημερομηνία του κόμβου μέχρι την ημερομηνία λήξης της προθεσμίας φόρτωσης του φορτίου. Σε περίπτωση που το πλοίο μπορεί να μεταβεί στο λιμάνι φόρτωσης πριν την έναρξη της προθεσμίας φόρτωσης του φορτίου, τότε ως ημέρα έναρξης του φόρτωσης θεωρείται η ημερομηνία που αντιστοιχεί στην ημερομηνία έναρξης φόρτωσης. Όπως και στην περίπτωση του ελέγχου εκφόρτωσης έτσι και εδώ υπάρχουν καθυστερήσεις τόσο στην εκτέλεση ενός ταξιδιού όσο και στην φόρτωση ενός φορτίου ο υπολογισμός των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των συναρτήσεων  $f$  και  $g$  που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.5.1. Επίσης, η ταχύτητα με την οποία το πλοίο θα μεταβεί στο λιμάνι φόρτωσης μπορεί να είναι είτε η έμφορτη ταχύτητα του πλοίου, σε περίπτωση που μεταφέρει φορτία, είτε η ταχύτητα χωρίς φορτίο, στην αντίθετη περίπτωση. Στις σχέσεις που ακολουθούν για τον καθορισμό της εφικτής φόρτωσης ενός φορτίου γίνεται η χρήση του συμβολισμού SP (Speed) για να αναπαρασταθεί η εκάστοτε ταχύτητα που χρησιμοποιείται (LSP ή BSP). Έτσι οι σχέσεις που καθορίζουν αν είναι εφικτή η φόρτωση ενός φορτίου είναι οι παρακάτω:

$$DLD - ND \geq LD + DST / SP^* + f(LD) + g(DST / SP) \quad (11)$$

*Σημείωση:  $SP^*$  είναι η ταχύτητα του πλοίου εκφρασμένη σε μονάδες ναυτικών μιλίων ανά μέρα.*



Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν δεδομένου ότι η ημερομηνία έναρξης προθεσμίας φόρτωσης νωρίτερα από την ημερομηνία άφιξης του πλοίου στο λιμάνι φόρτωσης, δηλαδή για να ισχύουν οι παραπάνω δύο σχέσεις πρέπει να ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$SLD - ND \leq DST / SP^* + g(DST / LSP) \quad (12)$$

Σε περίπτωση που η παραπάνω συνθήκη 8 δεν ισχύει πράγμα που σημαίνει ότι το πλοίο φτάνει στο λιμάνι φόρτωσης νωρίτερα από την προθεσμία έναρξης φόρτωσης τότε στη θέση της σχέσης 7 χρησιμοποιείται η παρακάτω:

$$DLD - SLD \geq LD + f(LD) \quad (13)$$

#### **4.5.3.1 Δημιουργία σεναρίων φόρτωσης - Έλεγχος τοποθέτησης φορτίων**

Με βάση την περιγραφή του προβλήματος τοποθέτησης των φορτίων που έγινε στην ενότητα 3.3.4. τα ίδια φορτία μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά σενάρια φόρτωσης σε κάθε ένα από τα οποία τα φορτία καταλαμβάνουν διαφορετική χωρητικότητα του πλοίου. Δεδομένου λοιπόν ότι δεν επιτρέπεται η μεταφορά φορτίων μεταξύ των διαμερισμάτων των πλοίων, είναι απαραίτητο ο έλεγχος της εφικτότητας φόρτωσης να λαμβάνει υπόψη του το ιστορικό τοποθέτησης των φορτίων που βρίσκονται ήδη στο πλοίο. Για τον λόγο αυτό, όπως αναφέρεται και

στην ενότητα που περιγράφει την αναπαράσταση ενός δρομολογίου, για κάθε κόμβο υπάρχει ένα σύνολο πινάκων κάθε ένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε σενάρια φόρτωσης όπου τα μεταφερόμενα φορτία καταλαμβάνουν την ίδια χωρητικότητα.

Κατά τον έλεγχο λοιπόν φόρτωσης ενός νέου φορτίου είναι απαραίτητο να εξετασθεί αν το φορτίο αυτό μπορεί να τοποθετηθεί στο πλοίο με βάση τα δεδομένα σενάρια φόρτωσης που υπάρχουν για τα ήδη μεταφερόμενα από το πλοίο φορτία. Η φόρτωση ενός φορτίου είναι εφικτή όταν υπάρχει τουλάχιστον ένα σενάριο φόρτωσης που επιτρέπει την τοποθέτηση και του νέου φορτίου. Ο έλεγχος για την εφικτότητα φόρτωσης του νέου φορτίου γίνεται μόνο για τα σενάρια φόρτωσης που βρίσκονται στους πίνακες που αντιστοιχούν σε διαθέσιμη χωρητικότητα μεγαλύτερη του βάρους του νέου φορτίου. Για κάθε σενάριο από τα ήδη υπάρχοντα που επιτρέπει την φόρτωση του νέου φορτίου δημιουργούνται όλοι οι δυνατοί τρόποι τοποθέτησης του φορτίου αυτού. Κατά την δημιουργία των εφικτών τρόπων τοποθέτησης του νέου φορτίου, γίνεται εκμετάλλευση όλης της χωρητικότητας κάθε αμπαριού που χρησιμοποιείται από ένα μόνο φορτίο, ανεξάρτητα του αν το φορτίο είναι μικρότερο από την χωρητικότητα του διαμερίσματος. Το σύνολο των τρόπων φόρτωσης του νέου φορτίου που προκύπτουν αποτελούν τα νέα σενάρια φόρτωσης, τα οποία ταξινομούνται σε νέους πίνακες ανάλογα με το χώρο που καταλαμβάνουν. Οι πίνακες αυτοί αποθηκεύονται στον νέο κόμβο που θα δημιουργηθεί και αντιπροσωπεύει την φόρτωση του νέου φορτίου.

Κατά την εκφόρτωση ενός φορτίου, απαιτείται η ενημέρωση των σεναρίων φόρτωσης που διατηρούνται. Για την ακρίβεια σε κάθε ένα από τα σενάρια που υπάρχουν στον κόμβο με τον οποίο θα συνδεθεί ο νέος κόμβος εκφόρτωσης (D),

αφαιρείται το φορτίο που πρόκειται να εκφορτωθεί και στην συνέχεια τα σενάρια ταξινομούνται και πάλι σε νέους πίνακες ανάλογα με το χώρο που καταλαμβάνουν, για να αποτελέσουν τους πίνακες φόρτωσης του νέου κόμβου.

#### **4.5.4 Υπολογισμός κόστους**

Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται κάθε φορά που δημιουργείται ένας νέος κόμβος και αφορά τον υπολογισμό του κόστους ταξιδιού που αντιστοιχεί στην μετάβαση από τον εξεταζόμενο κόμβο στον νέο κόμβο μαζί με το κόστος εκτέλεσης της ενέργειας που αντιστοιχεί στον νέο κόμβο. Τα κόστη που υπολογίζονται είναι μόνο αυτά που επηρεάζονται από τον τρόπο χρήσης του πλοίου και όχι πάγια κόστη τα οποία είναι ανεξάρτητα από τον τρόπο χρήσης του πλοίου. Έτσι τα κόστη που υπολογίζονται είναι τα εξής:

- κόστος καυσίμων
- κόστος πετρελαίου diesel
- τα τέλη λιμανιών
- λειτουργικά έξοδα
- τέλη καναλιών και διωρύγων, από τα οποία διέρχεται το πλοίο

Το κόστος καυσίμων αφορά τα καύσιμα που απαιτούνται για την μετάβαση του πλοίου από το λιμάνι που αντιστοιχεί στον εξεταζόμενο κόμβο στο λιμάνι που αντιστοιχεί στον νέο κόμβο. Έτσι αν DS είναι η διάρκεια του ταξιδιού σε μέρες από το ένα λιμάνι στο άλλο και FCPT είναι το κόστος του ενός τόνου καυσίμων (Fuel

Cost Per Tone), τότε το κόστος καυσίμων για την μετακίνηση του πλοίου FC (Fuel Costs) είναι:

$$FC = DS * BFC * FCPT \quad (14a)$$

ή

$$FC = DS * LFC * FCPT \quad (14b)$$

ανάλογα με το αν το πλοίο ταξιδεύει άδειο (14a) ή φορτωμένο (14b).

Το κόστος πετρελαίου diesel αφορά το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται για την λειτουργία των διαφόρων μηχανημάτων που βρίσκονται πάνω στο πλοίο. Ο ρυθμός κατανάλωσης του πετρελαίου diesel διαφέρει ανάλογα με το αν το πλοίο ταξιδεύει με το αν το πλοίο βρίσκεται σε λιμάνι. Έτσι αν DS είναι το πλήθος των ημερών που διαρκεί το ταξίδι από τον εξεταζόμενο κόμβο στο νέο, PD είναι οι μέρες που απαιτούνται για να διεκπεραιωθεί η αντίστοιχη ενέργεια του νέου κόμβου και DCPT (Diesel Cost Per Tone) είναι το κόστος του ενός τόνου diesel τότε το συνολικό κόστος πετρελαίου diesel DC (Diesel Cost) είναι:

$$DC = (DS * SDC + PD * PDC) * DCPT \quad (15)$$

Τα τέλη λιμανιών αφορούν τα τέλη που πληρώνει το πλοίο στα λιμάνια που επισκέπτεται για την φόρτωση και την εκφόρτωση των φορτίων. Η τιμή των τελών αυτών καθορίζεται ανά ημέρα παραμονής και συνήθως είναι ανάλογη του μεγέθους του πλοίου. Έτσι κατά την δημιουργία ενός κόμβου αν το πλοίο παραμένει PD μέρες στο λιμάνι που αντιστοιχεί στον νέο κόμβο και PCPD είναι τα τέλη ανά ημέρα

παραμονής και ανά τόνο μεταφορικής ικανότητας του πλοίου στο συγκεκριμένο λιμάνι τότε τα τέλη λιμανιών που υπολογίζονται συνολικά για τον νέο κόμβο είναι:

$$PC = PCPD \cdot PD \cdot DWT \quad (16)$$

Τα λειτουργικά κόστη αφορούν το κόστος λειτουργίας (τροφοδοσία, μισθοί κλπ) ανά ημέρα και υπολογίζονται έτσι ώστε τα δρομολόγια να κοστολογούνται ανάλογα και με την χρονική διάρκεια που απασχολούν το πλοίο. Με τον τρόπο αυτό μεγάλα δρομολόγια θα υστερούν ως προς τα έξοδα σε σχέση με μικρότερα δρομολόγια. Κατά την δημιουργία ενός νέου κόμβου τα λειτουργικά έξοδα αφορούν τόσο τις μέρες που διαρκεί το ταξίδι DS όσο και τις μέρες που το πλοίο θα βρίσκεται στον νέο κόμβο PD. Έτσι τα λειτουργικά έξοδα OC (Operational Cost) υπολογίζονται ως:

$$OC = (DS + PD) \cdot OCPD \quad (17)$$

Τέλος τα έξοδα διωρύγων και καναλιών CC (Canal Cost) αφορούν τα διόδια που πρέπει να πληρώσει το πλοίο για την διέλευση του από τα διάφορα κανάλια ή/και διώρυγες που πρέπει να διέλθει το πλοίο κατά την μετάβαση του από το λιμάνι που αντιστοιχεί στον εξεταζόμενο κόμβο στο λιμάνι που αντιστοιχεί στον νέο κόμβο. Το κόστος των διοδίων διαφοροποιείται ανάλογα με την περίπτωση με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι ένα σταθερό ποσό, σε άλλες να κυμαίνεται ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και σε άλλες ανάλογα με την μεταφερόμενη ποσότητα φορτίου. Για τον ακριβή υπολογισμό του κόστους καναλιών και περασμάτων απαιτείται η γνώση του τρόπου κοστολόγησής τους.

Το συνολικό λοιπόν κόστος C που υπολογίζεται κατά την δημιουργία ενός νέου κόμβου είναι αυτό που προκύπτει από το άθροισμα από τα επιμέρους κόστη που παρουσιάστηκαν παραπάνω, το οποίο είναι

$$C = FC + DC + PC + OC + CC \quad (18)$$

Το κόστος αυτό προστίθεται στο κόστος του κόμβου που εξετάζεται και αναθέτεται στον νέο κόμβο που δημιουργείται έτσι σε κάθε κόμβο να καταγράφεται το συνολικό κόστος εκτέλεσης του δρομολογίου μέχρι την χρονική στιγμή που αντιπροσωπεύεται από τον κόμβο.

#### **4.5.5 Υπολογισμός εσόδων**

Ο υπολογισμός των εσόδων πραγματοποιείται κάθε φορά που δημιουργείται ένας κόμβος φόρτωσης και αφορά τα έσοδα της εταιρείας από την μεταφορά του φορτίου που φορτώνεται στον νέο κόμβο. Στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας όπου τα φορτία ανήκουν στην ίδια την εταιρεία τα έσοδα από την μεταφορά των φορτίων είναι συνήθως μηδενικά και μόνο στην περίπτωση που υπάρχουν φορτία και από την ελεύθερη αγορά μπορεί να προκύπτουν έσοδα από την μεταφορά των φορτίων αυτών. Στην περίπτωση λοιπόν που απαιτείται ο υπολογισμός των εσόδων αν LC είναι το βάρος του φορτίου σε τόνους και CF ο ναύλος ανά μεταφερόμενο τόνο για το φορτίο που φορτώνεται στον νέο κόμβο, τότε τα έσοδα από την μεταφορά του φορτίου αυτού είναι το γινόμενο των LC και CF.

Τα έσοδα αυτά προστίθενται στα έσοδα που αντιστοιχούν στον εξεταζόμενο κόμβο και το τελικό αποτέλεσμα καταγράφεται στον νέο κόμβο έτσι ώστε σε κάθε κόμβο να καταγράφονται τα συνολικά έσοδα του δρομολογίου μέχρι την χρονική στιγμή που αντιπροσωπεύεται από τον κόμβο.

## **4.6 Παράδειγμα εκτέλεσης αλγορίθμου**

Στην ενότητα αυτή για την καλύτερη κατανόηση του αλγορίθμου παρατίθεται ένα παράδειγμα εκτέλεσης του. Στο παράδειγμα αυτό, κατασκευάζονται όλα τα πιθανά δρομολόγια ενός πλοίου χωρητικότητας 60.000 τόνων το οποίο είναι διαθέσιμο στο λιμάνι του Πειραιά. Τα στοιχεία των διαθέσιμων φορτίων παρατίθενται στον Πίνακα 5 όπου τα δεδομένα που αφορούν ημερομηνίες έχουν μετατραπεί σε πλήθος ημερών από την ημερομηνία διαθεσιμότητας του πλοίου. Το πλήθος των φορτίων είναι μικρό ενώ για κανένα από τα διαθέσιμα φορτία δεν είναι υποχρεωτική η μεταφορά του, με σκοπό να γίνει πιο εύκολη η καταγραφή της εκτέλεσης του αλγορίθμου και κατ' επέκταση η κατανόησή του.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται ο χρόνος μετάβασης μεταξύ των λιμανιών ανάλογα με το αν το πλοίο ταξιδεύει με (στοιχεία πάνω από την διαγώνιο) ή χωρίς φορτίο (στοιχεία κάτω από την διαγώνιο)

**Πίνακας 5: Διαθέσιμα Φορτία**

|            | <b>C0</b>       | <b>C1</b>       | <b>C2</b>       | <b>C3</b>       | <b>C4</b>       |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>LC</b>  | 32              | 35              | 26              | 12              | 30              |
| <b>LSD</b> | 6               | 2               | 8               | 16              | 21              |
| <b>LDD</b> | 11              | 8               | 16              | 21              | 30              |
| <b>LR</b>  | 8               | 6               | 6               | 8               | 7               |
| <b>LD</b>  | 4 Days          | 5 Days,20 Hours | 4 Days,8 Hours  | 1 Days,12 Hours | 4 Days,7 Hours  |
| <b>DDD</b> | 41              | 21              | 29              | 32              | 42              |
| <b>DR</b>  | 7               | 6               | 7               | 8               | 8               |
| <b>DD</b>  | 4 Days,14 Hours | 5 Days,20 Hours | 3 Days,18 Hours | 1 Days,12 Hours | 3 Days,18 Hours |
| <b>LP</b>  | PIRAEUS (p1)    | ISTANBUL (p3)   | ISTANBUL        | BRINDISI (p6)   | NICE<br>(p7)    |
| <b>DP</b>  | HAVANA (p2)     | VENICE (p4)     | MALAGA (p5)     | MALAGA          | LIVERPOOL (p8)  |

**Πίνακας 6: Χρόνος μετάβασης μεταξύ των λιμανιών**

|           | <b>p1</b>        | <b>p2</b>        | <b>p3</b>       | <b>p4</b>        | <b>p5</b>       | <b>p6</b>        | <b>p7</b>        | <b>p8</b>        |
|-----------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>p1</b> |                  | 19 Days 3 Hours  | 1 days 5 hours  | 2 days 23 hours  | 4 days 23 hours | 1 days 15 hours  | 3 days 11 hours  | 9 days 13 hours  |
| <b>p2</b> | 16 days 10 hours |                  | 20 days 1 hours | 19 days 18 hours | 14 days 5 hours | 18 days 11 hours | 16 days 16 hours | 14 days 1 hours  |
| <b>p3</b> | 1 days 1 hours   | 17 days 8 hours  |                 | 4 days 1 hours   | 6 days 2 hours  | 2 days 17 hours  | 4 days 13 hours  | 10 days 16 hours |
| <b>p4</b> | 2 days 13 hours  | 16 days 23 hours | 3 days 11 hours |                  | 5 days 14 hours | 1 days 8 hours   | 4 days 0 hours   | 10 days 4 hours  |
| <b>p5</b> | 4 days 6 hours   | 12 days 4 hours  | 5 days 5 hours  | 4 days 19 hours  |                 | 4 days 7 hours   | 2 days 12 hours  | 4 days 15 hours  |
| <b>p6</b> | 1 days 10 hours  | 15 days 19 hours | 2 days 8 hours  | 1 days 4 hours   | 3 days 2 hours  |                  | 2 days 16 hours  | 8 days 20 hours  |
| <b>p7</b> | 2 days 23 hours  | 14 days 7 hours  | 3 days 22 hours | 3 days 11 hours  | 2 days 3 hours  | 2 days 7 hours   |                  | 7 days 1 hours   |
| <b>p8</b> | 8 days 4 hours   | 12 days 1 hours  | 9 days 3 hours  | 8 days 2 hours   | 3 days 23 hours | 7 days 14 hours  | 6 days 1 hours   |                  |

Τα στάδια εκτέλεσης του αλγορίθμου για το παραπάνω παράδειγμα συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα. Κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί και σε έναν κόμβο του δέντρου και χαρακτηρίζει μια ενέργεια φόρτωσης ή εκφόρτωσης L ή D αντίστοιχα, ενώ ο αριθμός κάθε στοιχείου αντιστοιχεί στο φορτίο στο οποίο αναφέρεται η συγκεκριμένη ενέργεια. Τα στοιχεία που έχουν χρωματιστεί είναι



κόμβοι του δέντρου οι οποίοι αρχικά δημιουργήθηκαν και στην εξέλιξη του αλγορίθμου διαγράφηκαν καθώς δεν οδηγούσαν σε εφικτά δρομολόγια. Στοιχεία με το ίδιο χρώμα υποδεικνύουν ότι διαγράφηκαν μαζί.

**Πίνακας 7: Στάδια εκτέλεσης αλγορίθμου**

| 1η Εκτέλεση | 2η Εκτέλεση | 3η Εκτέλεση | 4η Εκτέλεση | 5η Εκτέλεση |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| L0          | D0          |             |             |             |
|             | L2          | D0          | D2          |             |
|             |             | D2          | D0          |             |
|             | L3          | D0          | D3          |             |
|             |             | D3          | D0          |             |
| L1          | D1'         |             |             |             |
|             | D1          | L3          | D3          |             |
|             |             |             | L4          | D3          |
|             |             | L4          | D4          |             |
|             | L3          | D1          |             |             |
| L2          | D2'         |             |             |             |
|             | D2          | L4          | D4          |             |
|             | L3          | D2          | D3          |             |
|             |             | D3          | D2          |             |
|             |             |             | L4          | D2          |
|             |             | L4          | D2          |             |
|             | L4          | D2          |             |             |
| L3          | D3'         |             |             |             |
|             | D3          | L4          | D4          |             |
|             | L4          | D3          | D4          |             |
|             |             | D4          | D3          |             |
| L4          | D4          |             |             |             |

Το τελικό δέντρο που προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Σε κάθε κόμβο παρουσιάζεται για χάρη απλότητας μόνο ο τύπος του και το φορτίο το οποίο αφορά τον συγκεκριμένο κόμβο.



## **5 Συγκριτικά & πειραματικά αποτελέσματα αλγορίθμου**

Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται τόσο τα αποτελέσματα σύγκρισης της προτεινόμενης μεθόδου με άλλες ερευνητικές εργασίες αλλά και τα πειραματικά αποτελέσματα από την εκτέλεσή της.

### **5.1 Αλγόριθμοι σύγκρισης**

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται μια σύγκριση της προτεινόμενης μεθόδου κατασκευής όλων των πιθανών δρομολογίων ενός πλοίου με άλλες μεθόδους που έχουν προταθεί στην διεθνής βιβλιογραφία. Οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν παρουσιαστεί ως τώρα περιγράφονται στο κεφάλαιο 3 και συγκεκριμένα στην ενότητα 3.3 ενώ τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών συνοψίζονται στον πίνακα 3. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα κύρια στοιχεία της προτεινόμενης μεθόδου σε σύγκριση με τις μεθόδους του Πίνακα 3.

Με βάση τα στοιχεία αυτά μόνο η προτεινόμενη μέθοδος και η μέθοδος των Fagerholt, Christiansen (2000) [15] έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν δρομολόγια στα οποία είναι εφικτή η ταυτόχρονη μεταφορά δυο ή περισσότερων φορτίων. Ωστόσο στην περίπτωση των Fagerholt, Christiansen κατά την δημιουργία των δρομολογίων δεν λαμβάνονται υπόψη τα χρονικά διαστήματα στα οποία το πλοίο

απαιτείται να παραμείνει ανενεργό ούτε είναι δυνατόν να θεωρηθεί η μεταφορά κάποιων φορτίων υποχρεωτική από ένα συγκεκριμένο πλοίο. Δεδομένου ότι η δυνατότητα παράλληλης μεταφοράς φορτίων, επιτρέπει την ευρεία χρήση της μεθόδου χωρίς κανένα περιορισμό, ενώ παράλληλα αυξάνει δραματικά την πολυπλοκότητα του προβλήματος, η σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας περιορίζεται στην σύγκριση μόνο με την εργασία των Fagerholt, Christiansen.

**Πίνακας 8: Σύγκριση Χαρακτηριστικών Προτεινόμενης Μεθόδου**

| Μέθοδος                        | Παράλληλη<br>Μεταφορά Φορτίων | Άεργα Διαστήματα ή<br>Υποχρεωτικά Φορτία | Έλεγχος τοποθέτησης<br>φορτίων | Έλεγχος<br>Ταχύτητας |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Appelgren (1969, 1971)         |                               |                                          |                                |                      |
| Brown et al. (1987)            |                               | ✓                                        |                                | ✓                    |
| Perakis, Bremer (1992)         |                               | ✓                                        |                                |                      |
| Kim, Lee (1997)                |                               |                                          |                                |                      |
| Bausch et al. (1998)           |                               |                                          |                                | ✓                    |
| Fagerholt, Christiansen (2000) | ✓                             |                                          | ✓                              |                      |
| Hee-Su, Rosenberger (2007)     |                               |                                          |                                |                      |
| Προτεινόμενη Μέθοδος           | ✓                             | ✓                                        | ✓                              |                      |

Παρόλο που στην εργασία των Fagerholt, Christiansen, καταγράφονται πειραματικά δεδομένα για τους χρόνους εκτέλεσης του αλγορίθμου, δεν αναφέρονται καθόλου στοιχεία για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του αλγορίθμου. Προκειμένου λοιπόν να πραγματοποιηθεί μια αντικειμενική σύγκριση με τον προτεινόμενο αλγόριθμό, έγινε μια υλοποίηση της μεθόδου των Fagerholt, Christiansen, με βάση την περιγραφή της στην αντίστοιχη ερευνητική εργασία. Σύμφωνα με την περιγραφή της μεθόδου, αρχικά δημιουργούνται τόσα δρομολόγια

όσα και τα διαθέσιμα φορτία, σε κάθε ένα από τα οποία εξυπηρετείται και ένα από αυτά. Στην συνέχεια ακολουθείται μια επαναληπτικά διαδικασία, μέχρι ως ότου δεν δημιουργηθεί κανένα καινούργιο δρομολόγιο κατά την τελευταία επανάληψη της διαδικασίας αυτής. Κατά την διαδικασία αυτή γίνεται το εξής:

1. Κάθε ένα από τα δρομολόγια που δημιουργήθηκαν στην τελευταία επανάληψη, αντιγράφεται και ακολουθείται η εξής διαδικασία:

a. Για κάθε φορτίο που δεν εξυπηρετείται στο δρομολόγιο

- i. Από το αρχικό δρομολόγιο επιλέγονται όλοι οι κόμβοι και μαζί με τους δύο κόμβους που αφορούν την φόρτωση και την εκφόρτωση του νέου φορτίου δημιουργούν ένα στιγμιότυπο προς επίλυση του προβλήματος VRPPDTW. Για την ταχύτερη εκτέλεση της μεθόδου διατηρείται ιστορικό των προβλημάτων VRPPDTW που επιλύονταν.
- ii. Αν υπάρξει λύση του προβλήματος τότε μονοπάτι που αποτελεί λύση του προβλήματος VRPPDTW καταχωρείται ως νέο δρομολόγιο.

Το VRPPDTW (πρόβλημα δρομολόγησης στόλου με παραλαβές και παραδώσεις και χρονικά παράθυρα) μπορεί να αναχθεί στο TSPATWPC (πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή με δέσμευση πόρων, χρονικά παράθυρα και περιορισμούς προτεραιότητας) το οποίο χρησιμοποιείται στην εργασία των Fagerholt, Christiansen στην περίπτωση όπου το πρώτο πρόβλημα (VRPPDTW) λυθεί για ένα μόνο όχημα και στο δεύτερο πρόβλημα (TSPATWPC) καταργηθεί ο περιορισμός της δέσμευσης πόρων. Για τον λόγο αυτό στα πειράματα που εκτελέστηκαν για την σύγκριση των δυο μεθόδων δεν πραγματοποιούνταν κανένας έλεγχος σε κανέναν από τους δυο

αλγορίθμους για την τοποθέτηση των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου, πέρα από τον έλεγχο της μη υπέρβασης της χωρητικότητας του πλοίου από το σύνολο των φορτίων που βρίσκονται στο πλοίο. Η επίλυση των προβλημάτων VRPPDTW που προέκυπταν έγινε με την χρήση του λογισμικού JOpt.SDK [16].

Πέρα από τον αλγόριθμο των Fagerholt, Christiansen ο προτεινόμενος αλγόριθμος συγκρίνεται και με την εξαντλητική μέθοδο παραγωγής δρομολογίων, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πιο απλή και παράλληλα χρονοβόρα μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των δρομολογίων. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για τη υλοποίηση της εξαντλητικής μεθόδου είναι παραπλήσιος του προτεινόμενου αφού διαφοροποιείται μόνο ως προς την διαγραφή κόμβων. Για την ακρίβεια η διαγραφή ενός κόμβου πραγματοποιείται μόνο όταν κανένα από τα παιδιά κόμβοι του δεν αντιστοιχούν σε έγκυρη κατάσταση και υπάρχει έμφορτο φορτίο στο πλοίο στην κατάσταση που αντιστοιχεί στον κόμβο. Δηλαδή σε αντίθεση με την προτεινόμενη μέθοδο όπου θα σταματήσει η επεξεργασία ενός κόμβου όταν διαπιστωθεί ότι ένα από τα φορτία που βρίσκονται στο πλοίο δεν είναι εφικτό να παραδοθεί εγκαίρως, στην εξαντλητική μέθοδο θα συνεχιστεί η επεξεργασία του κόμβου με άλλες τυχόν φορτώσεις και εκφορτώσεις μέχρι ως ότου διαπιστωθεί ότι καμία από αυτές δεν οδηγεί σε έγκυρο δρομολόγιο οπότε και θα διαγραφεί ο κόμβος.

Οι αλγόριθμοι που καταγράφονται στον Πίνακα 8 χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου πλοίων στην περίπτωση όπου το πρόβλημα έχει μοντελοποιηθεί ως Set Partitioning. Ωστόσο έχουν παρουσιαστεί εργασίες [7], [8] οι οποίες χρησιμοποιούν ευρισθηκές μεθόδους για την επίλυση του προβλήματος και για τις οποίες δεν απαιτείται η δημιουργία όλων

των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο. Οι μέθοδοι αυτοί έστω και αν προσεγγίζουν την βέλτιστη λύση στις περιπτώσεις όπου το πλήθος είτε των πλοίων είτε των φορτίων είναι μεγάλο είναι σημαντικά ταχύτερες από τις μεθόδους που απαιτούν την δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο, όπως παρουσιάζεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα στην εργασία του BrØnno [8]. Αντίθετα σύμφωνα με τα αποτελέσματα που καταγράφονται στην εργασία του BrØnno και των πειραματικών αποτελεσμάτων που καταγράφονται στις επόμενες ενότητες, στις περιπτώσεις όπου ιδιαίτερα το πλήθος των πλοίων είναι μικρό οι μέθοδοι που επιχειρούν την δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο μπορούν να αποδειχθούν ταχύτερες από τις μεθόδους που χρησιμοποιούν ευριστικές τεχνικές [8].

## **5.2 Πειραματικά αποτελέσματα**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν από την πειραματική εκτέλεση του προτεινόμενου αλγορίθμου και τα οποία συγκρίνονται με τα αποτελέσματα από την εξαντλητική δημιουργία των δρομολογίων χωρίς την τεχνική της οπισθοδρόμησης καθώς και με τα αποτελέσματα της μεθόδου των Fagerholt, Christiansen. Στόχος της πειραματικής χρήσης της προτεινόμενης μεθόδου είναι να καταγράψει την επίδοση της μεθόδου σε σύγκριση με τις άλλες δυο μεθόδους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου και να αναλύσει τον τρόπο με τον οποίο τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων που δημιουργείται.

### 5.2.1 Στοιχεία Πειραματικών Εκτελέσεων

Τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου, των οποίων η επιρροή στην επίδοση των συγκρινόμενων μεθόδων και του τελικού δέντρου, μελετήθηκε είναι:

- Η συσχέτιση μεταξύ του βάρους των διαθέσιμων φορτίων και της χωρητικότητας του πλοίου.
- Η κατανομή των διαθέσιμων φορτίων στο χρόνο. Η θέση ενός φορτίου στο χρόνο καθορίζεται από την ημερομηνία έναρξης διαθεσιμότητας του φορτίου.
- Τα περιθώρια του εύρους των διαστημάτων φόρτωσης και εκφόρτωσης.
- Η διάρκεια των ταξιδιών.

Όπως είναι φυσιολογικό, τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν το μέγεθος του δέντρου συνολικά και όχι μεμονωμένα το κάθε ένα από αυτά. Οι συνδυασμοί στις τιμές των χαρακτηριστικών αυτών είναι πολλοί, ωστόσο στα πειράματα που εκτελέστηκαν θεωρήσαμε μια βασική κατανομή των τιμών κάθε χαρακτηριστικού και σε κάθε πείραμα μεταβάλλονταν η κατανομή ενός ή δυο το πολύ χαρακτηριστικών. Η βασική κατανομή αυτή για κάθε χαρακτηριστικό είναι η εξής:

- Η συσχέτιση του βάρους των φορτίων με την χωρητικότητα του πλοίου, θεωρήθηκε ομοιόμορφα κατανεμημένη από [20%, 100%].



- Η κατανομή της ημερομηνίας έναρξης διαθεσιμότητας των φορτίων, σε σχέση με την ημερομηνία διαθεσιμότητας του πλοίου μοντελοποιήθηκε ως κατανομή Poisson με μέση τιμή τις 20 μέρες.
- Τα διαστήματα εύρους φόρτωσης και εκφόρτωσης θεωρούνται σταθερά και είναι αντίστοιχα:
  - Ο οι απαιτούμενες μέρες για την φόρτωση φορτίου +30% των ημερών αυτών.
  - Ο οι απαιτούμενες μέρες για το ταξίδι και την εκφόρτωση φορτίου +30% των ημερών αυτών.
- Η διάρκεια του ταξιδιού για την μεταφορά από το λιμάνι φόρτωσης στο λιμάνι εκφόρτωσης κάθε φορτίου, θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένο  $[0,20]$  μέρες.

Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν για συγκεκριμένο πλοίο το οποίο βρίσκεται διαθέσιμο σε συγκεκριμένο λιμάνι μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Κάθε ένα από τα φορτία που χρησιμοποιήθηκε μπορούσε να εξυπηρετηθεί τουλάχιστον άμεσα από το πλοίο έτσι ώστε όλα τα φορτία να εξυπηρετούνται τουλάχιστον σε ένα από τα παραγόμενα δρομολόγια του πλοίου. Το κάθε ένα πείραμα εκτελέστηκε για πέντε διαφορετικά σύνολα φορτίων κάθε ένα από τα οποία είχε διαφορετικό πλήθος φορτίων. Το πλήθος των φορτίων σε κάθε σύνολο που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Σύνολο 1<sup>ο</sup> : 5 φορτία.
- Σύνολο 2<sup>ο</sup> : 12 φορτία
- Σύνολο 3<sup>ο</sup> : 20 φορτία
- Σύνολο 4<sup>ο</sup> : 30 φορτία

➤ Σύνολο 5<sup>ο</sup> : 35 φορτία

Κάθε πείραμα εκτελείται 10 φορές για κάθε ένα από τα πέντε σύνολα φορτίων, όπου σε κάθε εκτέλεση τα σύνολα έχουν διαφορετικά φορτία χωρίς ωστόσο να μεταβάλλεται το μέγεθος των συνόλων. Η πολλαπλή εκτέλεση κάθε πειράματος για κάθε σύνολο, πραγματοποιείται έτσι ώστε με την χρήση του μέσου όρου να εξαλειφτεί η επιρροή άλλων παραγόντων πέρα από το χαρακτηριστικό το οποίο μελετάται. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι οι αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών διαφορετικών φορτίων ή το πλήθος των καναλιών από τα οποία πρέπει να διέλθει το πλοίο σε κάθε δρομολόγιο. Τα στοιχεία που καταγράφονται για κάθε μέθοδο είναι τα εξής

- Προτεινόμενη μέθοδος
  - ο Χρόνος εκτέλεσης
  - ο Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν συνολικά
  - ο Πλήθος κόμβων τελικού δέντρου
  - ο Πλήθος δρομολογίων
- Μέθοδος Fagerholt, Christiansen
  - ο Χρόνος εκτέλεσης
- Εξαντλητική Μέθοδος
  - ο Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν συνολικά

Οι τιμές που καταγράφηκαν για κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία είναι οι μέσες τιμές από τις 10 εκτελέσεις του κάθε πειράματος.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα και των τριών μεθόδων και μπορεί να ελεγχθεί κατά την εκτέλεση των πειραμάτων είναι οι συναρτήσεις που υπολογίζουν τις ημέρες καθυστέρησης κατά την φόρτωση και την εκφόρτωση των φορτίων άλλα και τις μέρες καθυστέρησης κατά την πραγματοποίηση των ταξιδιών. Οι συναρτήσεις αυτές παρουσιάζονται στις σχέσεις των ενοτήτων 4.5.1 και 4.5.3 ως  $g$  και  $f$ . Όπως είναι αναμενόμενο ο μηδενισμός των καθυστερήσεων αυξάνει το μέγεθος του δέντρου ενώ παράλληλα οδηγεί σε δρομολόγια η εκτέλεση των οποίων θα αποδειχθεί προφανώς ανέφικτη. Αντίθετα ο υπολογισμός μεγάλων καθυστερήσεων μειώνει το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων αλλά παράλληλα πιθανώς να αποτρέπει την δημιουργία όλων των πιθανών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει το πλοίο. Σε όλα τα πειράματα που εκτελούνται, εκτός από αυτά στα οποία μελετάτε ο παράγοντας της καθυστέρησης των φορτοεκφορτώσεων στο μέγεθος του δέντρου, η συνάρτηση υπολογισμού των ημερών καθυστέρησης φορτοεκφορτώσεων  $f$  υπολογίζει ως ημέρες καθυστέρησης το γινόμενο των απαιτούμενων χωρίς καθυστερήσεις ημερών φορτοεκφόρτωσης επί των συντελεστή  $2/7$ . Δηλαδή

$$f(LD) = (2*LD)/7 \quad \text{ή} \quad f(DD)=(2*DD)/7 \quad (19)$$

Ο συντελεστής  $2/7$  χρησιμοποιείται εμπειρικά και από τις ναυτιλιακές εταιρίες για να υπολογίσουν άμεσα τις αναμενόμενες καθυστερήσεις και αντιστοιχούν σε 2 μέρες καθυστέρησης ανά βδομάδα. Η τιμή αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι σε όλα τα λιμάνι υπάρχει τουλάχιστον μια μέρα αργίας, ενώ είναι αναμενόμενο στην διάρκεια μιας βδομάδας να υπάρχει άλλη μια μέρα καθυστέρησης συνολικά η οποία μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες. Αντίστοιχα για τον υπολογισμό των ημερών καθυστέρησης από την συνάρτηση  $g$  χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής  $1/10$

επί την υπολογιζόμενη διάρκεια του ταξιδιού χωρίς καθυστερήσεις συν την υπολογιζόμενη διάρκεια για την εκφόρτωση του φορτίου, ο οποίος επίσης χρησιμοποιείται από τις ναυτιλιακές εταιρείες για τον άμεσο υπολογισμό των ημερών καθυστέρησης ενός ταξιδιού. Ο συντελεστής αυτός χρησιμοποιείται σε όλα τα πειράματα για τον υπολογισμό των καθυστερήσεων κατά την εκτέλεση ενός ταξιδιού εκτός από τα πειράματα στα οποία μελετάτε ο παράγοντας της καθυστέρησης εκτέλεσης ταξιδιών στο μέγεθος του δέντρου.

Το πλήθος των διαμερισμάτων που διαθέτει κάθε πλοίο είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τον χρόνο εκτέλεσης του προτεινόμενου αλγορίθμου όπως και του αλγορίθμου των Fagerholt και Christiansen. Ο χρόνος εκτέλεσης της μεθόδου που δημιουργεί όλα τα σενάρια φόρτωσης κάθε φορά που φορτώνεται ένα νέο φορτίο στο πλοίο, επηρεάζεται ανάλογα με το πλήθος των διαμερισμάτων που διαθέτει το πλοίο. Στα πειράματα που εκτελέστηκαν, πέραν αυτών στα οποία μελετάται η επιρροή του πλήθους των διαμερισμάτων στον χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου, το πλήθος των διαμερισμάτων θεωρήθηκε σταθερό στα 5 διαμερίσματα.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον χρόνο εκτέλεσης είναι τρόπος με τον οποίο ανακτούνται οι αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου. Στα πειράματα που εκτελέστηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών θεωρούνταν γνωστές και βρίσκονταν εκ των προτέρων στην μνήμη του συστήματος πριν ξεκινήσει η χρονομέτρηση της εκτέλεσης του αλγορίθμου. Επιπλέον προκειμένου οι χρόνοι εκτέλεσης να είναι συγκρίσιμοι αναφέρεται ότι το σύστημα στο οποίο εκτελέστηκαν τα στιγμιότυπα είναι Intel Core 2 Quad Q6600 2,4 GH.

## 5.2.2 Πειράματα & Αποτελέσματα

Στο πρώτο πείραμα εκτελέστηκαν οι τρεις μέθοδοι σε φορτία τα χαρακτηριστικά των οποίων είχαν τιμές που ακολουθούσαν τις βασικές κατανομές που περιγράφηκαν παραπάνω. Οι κατανομές αυτές αντιπροσωπεύουν μια μέση περίπτωση αρχικών δεδομένων βάση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε για τα φορτία που μπορούν να απασχολήσουν ένα πλοίο της ελεύθερης αγοράς μια δεδομένη χρονική στιγμή. Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του πειράματος αυτού παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Τα στοιχεία του πίνακα με το χαρακτηρισμό ως (ΠΜ) αντιστοιχούν στα στοιχεία της προτεινόμενης μεθόδου, τα στοιχεία με τον χαρακτηρισμό (ΕΜ) στα στοιχεία της εξαντλητικής μεθόδου ενώ τέλος η τελευταία γραμμή με τον χαρακτηρισμό ως (FC) αντιστοιχεί στα στοιχεία της μεθόδου των Fagerholt, Christiansen.

**Πίνακας 9: Αποτελέσματα πειράματος με βασική κατανομή χαρακτηριστικών φορτίων**

|                        |                                       | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Πείραμα 1 <sup>ο</sup> | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 37                                | 109                                | 485                                | 1369                               | 2357                               |
|                        | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 29                                | 87                                 | 394                                | 1126                               | 1951                               |
|                        | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 8                                 | 22                                 | 91                                 | 243                                | 406                                |
|                        | Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)                 | 1.32                              | 1.84                               | 3.65                               | 7.58                               | 15.52                              |
|                        | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 42                                | 127                                | 580                                | 1682                               | 2954                               |
|                        | Χρόνος Εκτέλεσης (FC)                 | 1.12                              | 1.64                               | 3.45                               | 7.78                               | 16.43                              |

Στην συνέχεια προκειμένου να μελετηθεί η μεμονωμένη επιρροή κάθε χαρακτηριστικού ξεχωριστά στην επίδοση των μεθόδων και στο σύνολο των δρομολογίων, εκτελέστηκε μια ομάδα πειραμάτων όπου σε κάθε ένα από αυτά μεταβάλλονταν η κατανομή ενός χαρακτηριστικού των φορτίων σε σχέση με την βασική κατανομή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Για κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά των φορτίων εκτελέστηκαν δυο πειράματα σε κάθε ένα από τα οποία το αντίστοιχο χαρακτηριστικό ακολούθησε μια “ακραία” κατανομή σε σχέση με την βασική ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά ακολούθησαν την βασική κατανομή. Στόχος των πειραμάτων αυτών είναι η σύγκριση της προτεινόμενης μεθόδου με την εξαντλητική μέθοδο καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων για το πώς τα χαρακτηριστικά των φορτίων επηρεάζουν το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων που πραγματοποιείται. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι κατανομές των χαρακτηριστικών των φορτίων που ακολουθήθηκαν σε κάθε πείραμα. Στον πίνακα αυτό οι κατανομές με τον χαρακτηρισμό OM.KAT  $[a,b]$  αντιστοιχούν στην ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα  $[a,b]$ , ενώ οι κατανομές με τον χαρακτηρισμό  $P(\mu)$  αντιστοιχούν σε κατανομή Poisson με μέση τιμή το  $\mu$ . Επιπλέον στις περιπτώσεις των χρονικών παραθύρων φόρτωσης και εκφόρτωσης η κατανομή + A% αντιστοιχεί σε αύξηση του A% του χρόνου που υπολογίζεται για την φόρτωση του φορτίου στην πρώτη περίπτωση και στην διάρκεια του ταξιδιού συν την διάρκεια εκφόρτωσης στην περίπτωση του χρονικού παραθύρου εκφόρτωσης.

**Πίνακας 10: Πίνακας πρώτης ομάδας πειραμάτων**

|                   | Συσχέτιση βάρους-<br>μεταφορικής ικανότητας | Κατανομή Φορτίων<br>στο Χρόνο | Χρονικά<br>Περιθώρια<br>Φόρτωσης | Χρονικά<br>Περιθώρια<br>Εκφόρτωσης | Διάρκεια<br>Ταξιδιών |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| <b>Πείραμα 2</b>  | ΟΜ.ΚΑΤ [51%, 100%]                          | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 3</b>  | ΟΜ.ΚΑΤ [20%, 50%]                           | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 4</b>  | βασική κατανομή                             | P(30)                         | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 5</b>  | βασική κατανομή                             | P(10)                         | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 6</b>  | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | + 40%                            | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 7</b>  | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | + 10%                            | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 8</b>  | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | + 40%                              | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 9</b>  | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | +10%                               | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 10</b> | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | ΟΜ.ΚΑΤ[10,30]        |
| <b>Πείραμα 11</b> | βασική κατανομή                             | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | ΟΜ.ΚΑΤ[0,10]         |

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων του Πίνακα

10.

**Πίνακας 11: Αποτελέσματα πρώτης ομάδας πειραμάτων**

| Συσχέτιση Βάρους /<br>Μεταφορικής Ικανότητας> 50% |                                          | Σύνολο 1°<br>5 φορτία | Σύνολο 2°<br>12 φορτία | Σύνολο 3°<br>20 φορτία | Σύνολο 4°<br>30 φορτία | Σύνολο 5°<br>35 φορτία |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Πείραμα 2°</b>                                 | Πλήθος κόμβων που<br>δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 19                    | 59                     | 227                    | 521                    | 901                    |
|                                                   | Πλήθος τελικών κόμβων<br>(ΠΜ)            | 14                    | 44                     | 171                    | 397                    | 690                    |
|                                                   | Πλήθος δρομολογίων<br>(ΠΜ)               | 5                     | 15                     | 56                     | 124                    | 211                    |
|                                                   | Πλήθος κόμβων που<br>δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 19                    | 59                     | 227                    | 521                    | 901                    |
| Συσχέτιση Βάρους /                                |                                          | Σύνολο 1°             | Σύνολο 2°              | Σύνολο 3°              | Σύνολο 4°              | Σύνολο 5°              |

| Μεταφορικής Ικανότητας< 50%         |                                       | 5 φορτία                          | 12 φορτία                          | 20 φορτία                          | 30 φορτία                          | 35 φορτία                          |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Πείραμα 3 <sup>ο</sup>              | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 63                                | 162                                | 744                                | 2675                               | 4684                               |
|                                     | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 58                                | 149                                | 685                                | 2472                               | 4333                               |
|                                     | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 11                                | 27                                 | 118                                | 407                                | 702                                |
|                                     | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 78                                | 212                                | 1010                               | 3706                               | 6564                               |
| Κατανομή Φορτίων στο Χρόνο<br>P(30) |                                       | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
| Πείραμα 4 <sup>ο</sup>              | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 43                                | 147                                | 671                                | 1952                               | 3768                               |
|                                     | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 40                                | 139                                | 634                                | 1849                               | 3573                               |
|                                     | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 8                                 | 26                                 | 114                                | 317                                | 599                                |
|                                     | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 49                                | 175                                | 818                                | 2447                               | 4820                               |
| Κατανομή Φορτίων στο Χρόνο<br>P(10) |                                       | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
| Πείραμα 5 <sup>ο</sup>              | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 21                                | 68                                 | 322                                | 785                                | 1313                               |
|                                     | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 17                                | 57                                 | 271                                | 667                                | 1123                               |
|                                     | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 6                                 | 18                                 | 82                                 | 191                                | 307                                |
|                                     | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 25                                | 87                                 | 425                                | 1064                               | 1807                               |



|                                       |                                              |                               |                                |                                |                                |                                |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Χρονικά Περιθώρια Φόρτωσης:<br>+40%   |                                              | <b>Σύνολο 1°<br/>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2°<br/>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3°<br/>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4°<br/>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5°<br/>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα 6°</b>                     | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 38                            | 111                            | 495                            | 1479                           | 2845                           |
|                                       | <b>Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)</b>            | 31                            | 92                             | 417                            | 1256                           | 2435                           |
|                                       | <b>Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)</b>               | 8                             | 22                             | 92                             | 262                            | 482                            |
|                                       | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ)</b> | 44                            | 131                            | 607                            | 1873                           | 3673                           |
| Χρονικά Περιθώρια Φόρτωσης:<br>+10%   |                                              | <b>Σύνολο 1°<br/>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2°<br/>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3°<br/>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4°<br/>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5°<br/>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα 7°</b>                     | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 28                            | 79                             | 344                            | 1175                           | 2076                           |
|                                       | <b>Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)</b>            | 24                            | 71                             | 320                            | 1015                           | 1805                           |
|                                       | <b>Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)</b>               | 7                             | 19                             | 79                             | 229                            | 387                            |
|                                       | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ)</b> | 31                            | 90                             | 404                            | 1424                           | 2574                           |
| Χρονικά Περιθώρια Εκφόρτωσης:<br>+40% |                                              | <b>Σύνολο 1°<br/>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2°<br/>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3°<br/>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4°<br/>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5°<br/>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα 8°</b>                     | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 39                            | 105                            | 492                            | 1688                           | 3131                           |
|                                       | <b>Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)</b>            | 32                            | 88                             | 416                            | 1442                           | 2697                           |
|                                       | <b>Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)</b>               | 8                             | 20                             | 89                             | 290                            | 511                            |
|                                       | <b>Πλήθος κόμβων που</b>                     | 45                            | 124                            | 599                            | 2126                           | 3998                           |

|                                       |                                       |                       |                        |                        |                        |                        |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                       | δημιουργήθηκαν (ΕΜ)                   |                       |                        |                        |                        |                        |
| Χρονικά Περιθώρια Εκφόρτωσης:<br>+10% |                                       | Σύνολο 1°<br>5 φορτία | Σύνολο 2°<br>12 φορτία | Σύνολο 3°<br>20 φορτία | Σύνολο 4°<br>30 φορτία | Σύνολο 5°<br>35 φορτία |
| Περίγραμμα 9°                         | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 21                    | 68                     | 343                    | 1099                   | 1926                   |
|                                       | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 16                    | 53                     | 272                    | 880                    | 1562                   |
|                                       | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 5                     | 15                     | 71                     | 219                    | 364                    |
|                                       | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 23                    | 77                     | 405                    | 1331                   | 2383                   |
| Διάρκεια Ταξιδιών:<br>ΟΜ.ΚΑΤ[10,30]   |                                       | Σύνολο 1°<br>5 φορτία | Σύνολο 2°<br>12 φορτία | Σύνολο 3°<br>20 φορτία | Σύνολο 4°<br>30 φορτία | Σύνολο 5°<br>35 φορτία |
| Περίγραμμα 10°                        | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 21                    | 68                     | 318                    | 894                    | 1545                   |
|                                       | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 18                    | 60                     | 282                    | 801                    | 1363                   |
|                                       | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 6                     | 18                     | 79                     | 207                    | 331                    |
|                                       | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΕΜ) | 26                    | 87                     | 421                    | 1207                   | 2135                   |
| Διάρκεια Ταξιδιών:<br>ΟΜ.ΚΑΤ[0,10]    |                                       | Σύνολο 1°<br>5 φορτία | Σύνολο 2°<br>12 φορτία | Σύνολο 3°<br>20 φορτία | Σύνολο 4°<br>30 φορτία | Σύνολο 5°<br>35 φορτία |
| Περίγραμμα 11°                        | Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 39                    | 126                    | 549                    | 1754                   | 3478                   |
|                                       | Πλήθος τελικών κόμβων (ΠΜ)            | 33                    | 109                    | 480                    | 1545                   | 3084                   |
|                                       | Πλήθος δρομολογίων (ΠΜ)               | 8                     | 24                     | 98                     | 299                    | 563                    |

|  |                                              |    |     |     |      |      |
|--|----------------------------------------------|----|-----|-----|------|------|
|  | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (EM)</b> | 45 | 149 | 665 | 2188 | 4404 |
|--|----------------------------------------------|----|-----|-----|------|------|

Από τα αποτελέσματα της προηγούμενης ομάδας πειραμάτων διαπιστώνεται ότι το μέγεθος των φορτίων επηρεάζει το μέγεθος του δέντρου αλλά και τον χρόνο εκτέλεσης περισσότερο από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των φορτίων. Δεδομένου λοιπόν ότι τόσο ο προτεινόμενος αλγόριθμος όσο και αυτός των Fagerholt Christiansen δημιουργήθηκαν για να καλύψουν και τις περιπτώσεις όπου είναι εφικτή η παράλληλη μεταφορά φορτίων, κάτι το οποίο δεν καλύπτεται από τους υπόλοιπους αλγόριθμους που έχουν παρουσιαστεί, πραγματοποιήθηκε μια ακόμα ομάδα πειραμάτων στην οποία σε όλα τα πειράματα τα φορτία είχαν μέγεθος μικρότερο από το 50% της χωρητικότητας του πλοίου και ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένο. Το πλήθος των πειραμάτων της δεύτερης ομάδας είναι οκτώ και σε κάθε ένα από αυτά ένα από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά ακολουθεί μια ακραία κατανομή σε σχέση με την βασική του πρώτου πειράματος. Σκοπός των πειραμάτων αυτών είναι η σύγκριση της προτεινόμενης μεθόδου και αυτή των Fagerholt, Christiansen. Τα πειράματα της δεύτερης ομάδας που εκτελέστηκαν παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 12 ενώ τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

**Πίνακας 12: Πίνακας δεύτερης ομάδας πειραμάτων**

|                   | Κατανομή Φορτίων<br>στο Χρόνο | Χρονικά<br>Περιθώρια<br>Φόρτωσης | Χρονικά<br>Περιθώρια<br>Εκφόρτωσης | Διάρκεια<br>Ταξιδιών |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| <b>Πείραμα 12</b> | P(30)                         | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 13</b> | P(10)                         | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 14</b> | βασική κατανομή               | + 40%                            | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 15</b> | βασική κατανομή               | + 10%                            | βασική κατανομή                    | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 16</b> | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | + 40%                              | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 17</b> | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | +10%                               | βασική κατανομή      |
| <b>Πείραμα 18</b> | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | ΟΜ.ΚΑΤ[10,30]        |
| <b>Πείραμα 19</b> | βασική κατανομή               | βασική κατανομή                  | βασική κατανομή                    | ΟΜ.ΚΑΤ[0,10]         |

**Πίνακας 13: Αποτελέσματα δεύτερης ομάδας πειραμάτων**

|                                   |                              |                             |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Κατανομή Φορτίων στο Χρόνο        |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b> |
| P(30)                             |                              | <b>5 φορτία</b>             | <b>12 φορτία</b>            | <b>20 φορτία</b>            | <b>30 φορτία</b>            | <b>35 φορτία</b>            |
| <b>Πείραμα<br/>12<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.67                        | 2.36                        | 4.79                        | 10.2                        | 21.3                        |
|                                   | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.15                        | 1.72                        | 3.74                        | 9.03                        | 19.50                       |
| Κατανομή Φορτίων στο Χρόνο        |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b> |
| P(10)                             |                              | <b>5 φορτία</b>             | <b>12 φορτία</b>            | <b>20 φορτία</b>            | <b>30 φορτία</b>            | <b>35 φορτία</b>            |
| <b>Πείραμα<br/>13<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.06                        | 1.42                        | 2.8                         | 5.71                        | 11.35                       |
|                                   | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 0.94                        | 1.33                        | 2.77                        | 5.96                        | 12.22                       |
| Χρονικά Περιθώρια Φόρτωσης: +40%  |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b> |
|                                   |                              | <b>5 φορτία</b>             | <b>12 φορτία</b>            | <b>20 φορτία</b>            | <b>30 φορτία</b>            | <b>35 φορτία</b>            |
| <b>Πείραμα<br/>14<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.54                        | 2.2                         | 4.45                        | 9.36                        | 19.37                       |
|                                   | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.03                        | 1.62                        | 3.54                        | 8.13                        | 17.84                       |
| Χρονικά Περιθώρια Φόρτωσης: +10%  |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b> |
|                                   |                              | <b>5 φορτία</b>             | <b>12 φορτία</b>            | <b>20 φορτία</b>            | <b>30 φορτία</b>            | <b>35 φορτία</b>            |
| <b>Πείραμα<br/>15<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.14                        | 1.52                        | 2.91                        | 5.97                        | 11.89                       |
|                                   | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.01                        | 1.41                        | 2.88                        | 6.24                        | 12.68                       |

|                                         |                              |                                                |                                                 |                                                 |                                                 |                                                 |
|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Χρονικά Περιθώρια Εκφόρτωσης: +40%      |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα</b><br><b>16<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.58                                           | 2.21                                            | 4.5                                             | 9.53                                            | 19.69                                           |
|                                         | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.09                                           | 1.63                                            | 3.56                                            | 8.33                                            | 17.95                                           |
| Χρονικά Περιθώρια Εκφόρτωσης: +10%      |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα</b><br><b>17<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.12                                           | 1.48                                            | 2.87                                            | 5.9                                             | 11.8                                            |
|                                         | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.01                                           | 1.52                                            | 3.30                                            | 7.21                                            | 14.67                                           |
| Διάρκεια Ταξιδιών: > OM.KAT[10,30]      |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα</b><br><b>18<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.09                                           | 1.44                                            | 2.82                                            | 5.75                                            | 11.37                                           |
|                                         | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 0.98                                           | 1.41                                            | 2.99                                            | 6.49                                            | 13.04                                           |
| Διάρκεια Ταξιδιών: < OM.KAT[0,10]       |                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα</b><br><b>19<sup>ο</sup></b> | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)</b> | 1.63                                           | 2.29                                            | 4.64                                            | 9.87                                            | 20.46                                           |
|                                         | <b>Χρόνος Εκτέλεσης (FC)</b> | 1.12                                           | 1.69                                            | 3.65                                            | 8.71                                            | 18.78                                           |

Στην τελευταία ομάδα πειραμάτων που εκτελέστηκε η κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων διατηρήθηκε σταθερή όμοια με αυτή του πρώτου πειράματος και μελετήθηκε η επιρροή ορισμένων βασικών παραγόντων του προτεινόμενου αλγορίθμου. Οι παράγοντες αυτοί είναι, το πλήθος των διαμερισμάτων, ο συντελεστής καθυστέρησης φορτοεκφορτώσεων και ο συντελεστής καθυστέρησης ταξιδιών. Εκτελέστηκαν έξι πειράματα σε κάθε ένα από τα οποία ένας από τους τρεις παράγοντες λάμβανε μια ακραία τιμή σε σχέση με αυτή που είχε στις προηγούμενες ομάδες πειραμάτων. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα πειράματα που εκτελέστηκαν.

**Πίνακας 14: Πίνακας πειραμάτων τρίτης ομάδας**

|            | Πλήθος<br>Διαμερισμάτων | Συντελεστής<br>Καθυστέρησης<br>Φορτοεκφορτώσεων | Συντελεστής<br>Καθυστέρησης<br>Ταξιδιών |
|------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Πείραμα 20 | 4                       | 2/7                                             | 1/10                                    |
| Πείραμα 21 | 8                       | 2/7                                             | 1/10                                    |
| Πείραμα 22 | 6                       | 4/7                                             | 1/10                                    |
| Πείραμα 23 | 6                       | 1/7                                             | 1/10                                    |
| Πείραμα 24 | 6                       | 2/7                                             | 2/10                                    |
| Πείραμα 25 | 6                       | 2/7                                             | 1/20                                    |

Στα πειράματα που αφορούσαν την μελέτη της επιρροής του πλήθους των διαμερισμάτων στον χρόνο εκτέλεσης του προτεινόμενου αλγορίθμου καταγράφηκε μόνο ο χρόνος εκτέλεσης ενώ στα υπόλοιπα πειράματα καταγράφηκε το πλήθος των κόμβων που δημιουργήθηκαν.

**Πίνακας 15: Αποτελέσματα τρίτης ομάδας πειραμάτων**

| Διαμερίσματα Πλοίου 4                            |                                          | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Πείραμα 20 <sup>ο</sup>                          | Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)                    | 1.22                              | 1.68                               | 3.31                               | 6.83                               | 13.98                              |
| Διαμερίσματα Πλοίου 8                            |                                          | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
| Πείραμα 21 <sup>ο</sup>                          | Χρόνος Εκτέλεσης (ΠΜ)                    | 1.42                              | 2.02                               | 4.03                               | 8.39                               | 17.18                              |
| Συντελεστής Καθυστέρησης<br>Φορτοεκφορτώσεων 4/7 |                                          | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |
| Πείραμα 22 <sup>ο</sup>                          | Πλήθος κόμβων που<br>δημιουργήθηκαν (ΠΜ) | 31                                | 92                                 | 413                                | 1183                               | 2011                               |
| Συντελεστής Καθυστέρησης<br>Φορτοεκφορτώσεων 1/7 |                                          | Σύνολο 1 <sup>ο</sup><br>5 φορτία | Σύνολο 2 <sup>ο</sup><br>12 φορτία | Σύνολο 3 <sup>ο</sup><br>20 φορτία | Σύνολο 4 <sup>ο</sup><br>30 φορτία | Σύνολο 5 <sup>ο</sup><br>35 φορτία |

|                                           |                                              |                                                |                                                 |                                                 |                                                 |                                                 |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Πείραμα 23<sup>ο</sup></b>             | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 42                                             | 125                                             | 551                                             | 1564                                            | 2689                                            |
| Συντελεστής Καθυστέρησης Ταξιδιών<br>2/10 |                                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα 24<sup>ο</sup></b>             | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 33                                             | 100                                             | 445                                             | 1262                                            | 2179                                            |
| Συντελεστής Καθυστέρησης Ταξιδιών<br>1/20 |                                              | <b>Σύνολο 1<sup>ο</sup></b><br><b>5 φορτία</b> | <b>Σύνολο 2<sup>ο</sup></b><br><b>12 φορτία</b> | <b>Σύνολο 3<sup>ο</sup></b><br><b>20 φορτία</b> | <b>Σύνολο 4<sup>ο</sup></b><br><b>30 φορτία</b> | <b>Σύνολο 5<sup>ο</sup></b><br><b>35 φορτία</b> |
| <b>Πείραμα 25<sup>ο</sup></b>             | <b>Πλήθος κόμβων που δημιουργήθηκαν (ΠΜ)</b> | 39                                             | 117                                             | 524                                             | 1481                                            | 2551                                            |

### 5.3 Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Τα συμπεράσματα διαχωρίζονται σε τρεις διαφορετικές ενότητες. Στην πρώτη παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την σύγκριση με την εξαντλητική μέθοδο ενώ στην δεύτερη από την σύγκριση με την μέθοδο των Fagerholt, Christiansen. Τέλος στην τελευταία ενότητα παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα για το πώς επηρεάζεται το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων από τα χαρακτηριστικά των φορτίων και άλλων παραγόντων του προβλήματος.

#### 5.3.1 Σύγκριση με εξαντλητική μέθοδο

Δεδομένου ότι οι αλγόριθμοι που υλοποιούν τόσο την εξαντλητική μέθοδο όσο και την προτεινόμενη είναι παραπλήσιοι και ότι και οι δυο μέθοδοι παράγουν το σύνολο των εφικτών δρομολογίων, η σύγκριση για τον χρόνο απόκρισής τους

μεταφέρεται στην σύγκριση του πλήθους των κόμβων που δημιουργούν κατά την εκτέλεση τους κάθε μια από αυτές.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα μόνο στην περίπτωση όπου το σύνολο των φορτίων ήταν μεγαλύτερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, οι δυο αλγόριθμοι είχαν τον ίδιο αριθμό συνολικά δημιουργημένων κόμβων. Αυτό συνέβη διότι στην περίπτωση αυτή κατά την δημιουργία των δρομολογίων μετά την φόρτωση ενός φορτίου ακολουθεί υποχρεωτικά μόνο ένας κόμβος που αφορούσε την εκφόρτωση του φορτίου και στην περίπτωση που αυτή δεν ήταν εφικτή και η δυο αλγόριθμοι οδηγήθηκαν στην διαγραφή του κόμβου πατέρα που αντιστοιχούσε στην φόρτωση του φορτίου. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή το πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου παύει να υπάρχει αφού τόσο η προτεινόμενη μέθοδος που διαγράφει ένα κόμβο όταν διαπιστωθεί ότι έστω και μια εκφόρτωση δεν είναι εφικτή, όσο και η εξαντλητική μέθοδος η οποία διαγράφει ένα κόμβο όταν διαπιστωθεί ότι κανένα από τους κόμβους παιδιά δεν οδηγούν σε εφικτό δρομολόγιο, διαγράφουν άμεσα τον εξεταζόμενο κόμβο. Έτσι με δεδομένο ότι η διαφορά στην υλοποίηση των δυο μεθόδων ήταν η διαγραφή των κόμβων, στην περίπτωση όπου όλα τα φορτία είναι μεγαλύτερα από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, ο αριθμός των κόμβων που δημιουργούνται είναι ο ίδιος.

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις λόγω της διαφοροποίησης των δυο μεθόδων ως προς την διαγραφή κόμβων η εξαντλητική μέθοδος δημιουργούσε σαφώς περισσότερους κόμβους. Το ποσοστό των παραπάνω κόμβων που δημιουργούνται από την εξαντλητική μέθοδο διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των φορτίων που χρησιμοποιούνται. Πέρα από την επιρροή των χαρακτηριστικών των φορτίων στη

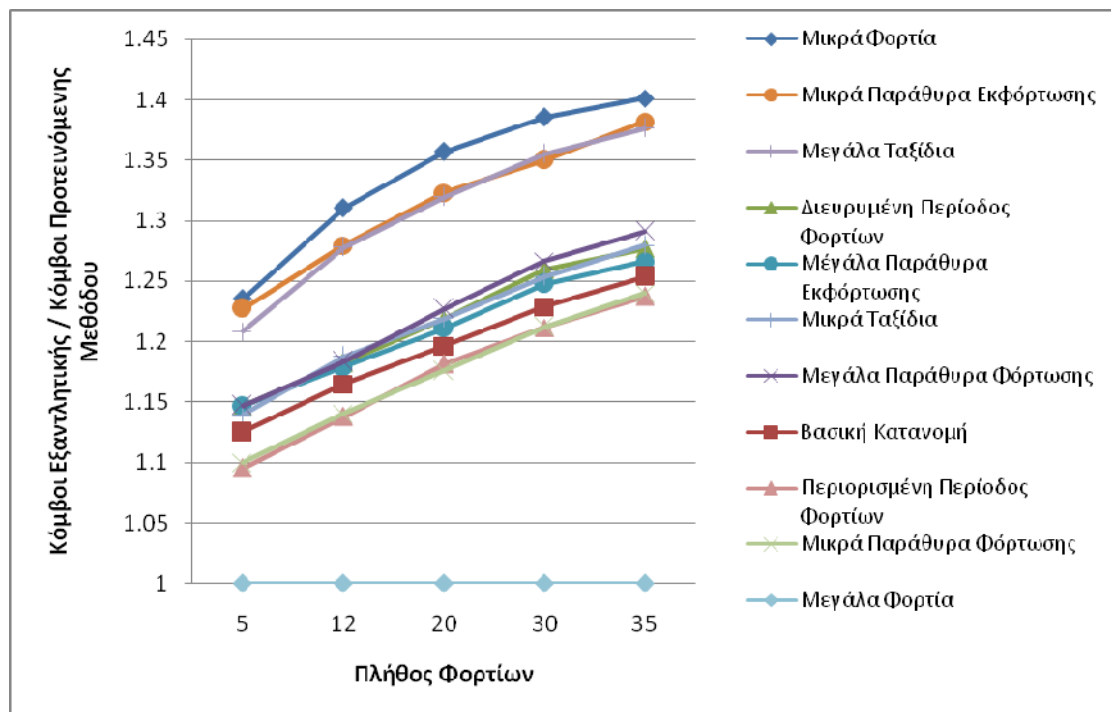


σχέση μεταξύ των κόμβων που δημιουργούν οι δυο μέθοδοι, όσο μεγαλώνει το πλήθος των φορτίων για τα οποία δημιουργούνται δρομολόγια τόσο αυξάνει και το ποσοστό των κόμβων που δημιουργούνται παραπάνω από την εξαντλητική μέθοδο. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι όσο περισσότερα είναι τα φορτία τόσο αυξάνονται και οι περιπτώσεις όπου το πλοίο μεταφέρει παράλληλα περισσότερα από ένα φορτία, κατά τις οποίες περιπτώσεις έχει πλεονέκτημα ο προτεινόμενος αλγόριθμος.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την σχέση μεταξύ του πλήθους των κόμβων που παράγει η προτεινόμενη μέθοδος σε σχέση με το πλήθος των κόμβων που παράγονται από την εξαντλητική μέθοδο. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται μια γραφική παράσταση για κάθε ένα από τα δέκα πειράματα της πρώτης ομάδας πειραμάτων καθώς και η γραφική παράσταση που αντιστοιχεί στην βασική κατανομή. Όπως γίνεται αντιληπτό όσο αυξάνει το πλήθος των φορτίων, όσο μικρότερα είναι τα φορτία, όσο στενεύουν τα περιθώρια για την εκφόρτωση και όσο μεγαλύτερα είναι τα ταξίδια τόσο αυξάνεται το ποσοστό των κόμβων που δημιουργεί παραπάνω η εξαντλητική μέθοδος. Αυτό συμβαίνει γιατί υπό αυτά τα χαρακτηριστικά φορτίων, ανά πάσα στιγμή το πλοίο μπορεί να φορτώσει περισσότερα φορτία των οποίων όμως η παράδοση ενδεχομένως να μην είναι εφικτή γεγονός που θα οδηγήσει στην κατασκευή πλήθους κόμβων από την εξαντλητική μέθοδο, προτού διαπιστωθεί ότι κανένα από αυτά δεν οδηγεί σε έγκυρο δρομολόγιο.

Αντίθετα στα υπόλοιπα πειράματα οι κατανομές των χαρακτηριστικών δείχνουν να μην επηρεάζουν στον ίδιο βαθμό την σχέση μεταξύ των κόμβων που δημιουργούν οι δυο μέθοδοι. Η επιρροή τους περιορίζεται στο ότι κατανομές που ευνοούν την

παράλληλη μεταφορά φορτίων οδηγούν την εξαντλητική μέθοδο στην δημιουργία ελαφρώς μεγαλύτερου ποσοστού κόμβων σε σύγκριση με το ποσοστό κόμβων που δημιουργούνται στο πείραμα όπου τα χαρακτηριστικά των φορτίων ακολουθούν την βασική κατανομή. Αντίστοιχα κατανομές που περιορίζουν την παράλληλη μεταφορά φορτίων οδηγούν την εξαντλητική μέθοδο στην δημιουργία ελαφρώς μικρότερου ποσοστού κόμβων σε σύγκριση με το ποσοστό κόμβων που δημιουργούνται στο πείραμα όπου τα χαρακτηριστικά των φορτίων ακολουθούν την βασική κατανομή.



Εικόνα 4: Σχέση Πλήθους Κόμβων Προτεινόμενης & Εξαντλητικής Μεθόδου

### 5.3.2 Σύγκριση με αλγόριθμο Fagerholt, Christiansen

Στην περίπτωση των Fagerholt, Christiansen ο αλγόριθμος δεν επιστρέφει το σύνολο των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο αλλά ένα υποσύνολο αυτού που περιέχει τα καλύτερα δρομολόγια από πλευράς χρόνου εκτέλεσης τους. Αν θεωρήσουμε ότι κάθε δρομολόγιο  $i$  εξυπηρετεί ένα σύνολο

φορτίων  $R_i$ , τότε από όλα τα εφικτά δρομολόγια προκύπτει ένας συγκεκριμένος αριθμός τέτοιων διαφορετικών συνόλων ο οποίος είναι μικρότερος ή ίσος από το πλήθος των εφικτών δρομολογίων. Ο αλγόριθμος λοιπόν των Fagerholt, Christiansen επιστρέφει ένα δρομολόγιο για κάθε ένα από αυτά τα σύνολα και μάλιστα επιστρέφει το δρομολόγιο εκείνο που εξυπηρετεί όλα τα φορτία του συνόλου και ολοκληρώνεται ταχύτερα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του VRPPDTW προβλήματος το οποίου η λύση δεν είναι ένα σύνολο δρομολογίων αλλά το δρομολόγιο που επισκέπτεται όλους τους κόμβους του προβλήματος στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Με δεδομένη την διαφορά αυτή μεταξύ των δυο αλγορίθμων, στις επόμενες παραγράφους καταγράφονται τα συμπεράσματα από την συγκριτική αξιολόγηση του χρόνου εκτέλεσης των δυο αλγορίθμων στα ίδια δεδομένα όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Ανεξάρτητα όμως από το πλήθος των δρομολογίων που παράγουν οι δυο αλγόριθμοι, ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν σημαντικά πιο χρονοβόρος από τον προτεινόμενο. Αυτό παρουσιάστηκε όταν υπήρχαν πολλά φορτία με βάρος μικρότερο από το 50% και είτε τα ταξίδια για την μεταφορά των φορτίων ήταν μεγάλα, είτε τα χρονικά περιθώρια για την εκφόρτωση των φορτίων ήταν μικρά. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι υπό τις συνθήκες αυτές η φόρτωση νέων φορτίων είναι εφικτή σε πολλές περιπτώσεις αλλά σε πολύ λίγες από αυτές τις περιπτώσεις το πλοίο προλαβαίνει να εκφορτώσει έγκαιρα όλα τα φορτία. Στις περιπτώσεις αυτές ο προτεινόμενος αλγόριθμος εντόπιζε γρήγορα την μη εγκυρότητα και δεν προχωρούσε σε άσκοπους ελέγχους, αντίθετα ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen στις περιπτώσεις αυτές συνέχιζε να επιλύει στιγμιότυπα του

VRPPDTW προβλήματος, τα οποία αποτελούν και το πιο χρονοβόρο κομμάτι του προβλήματος.

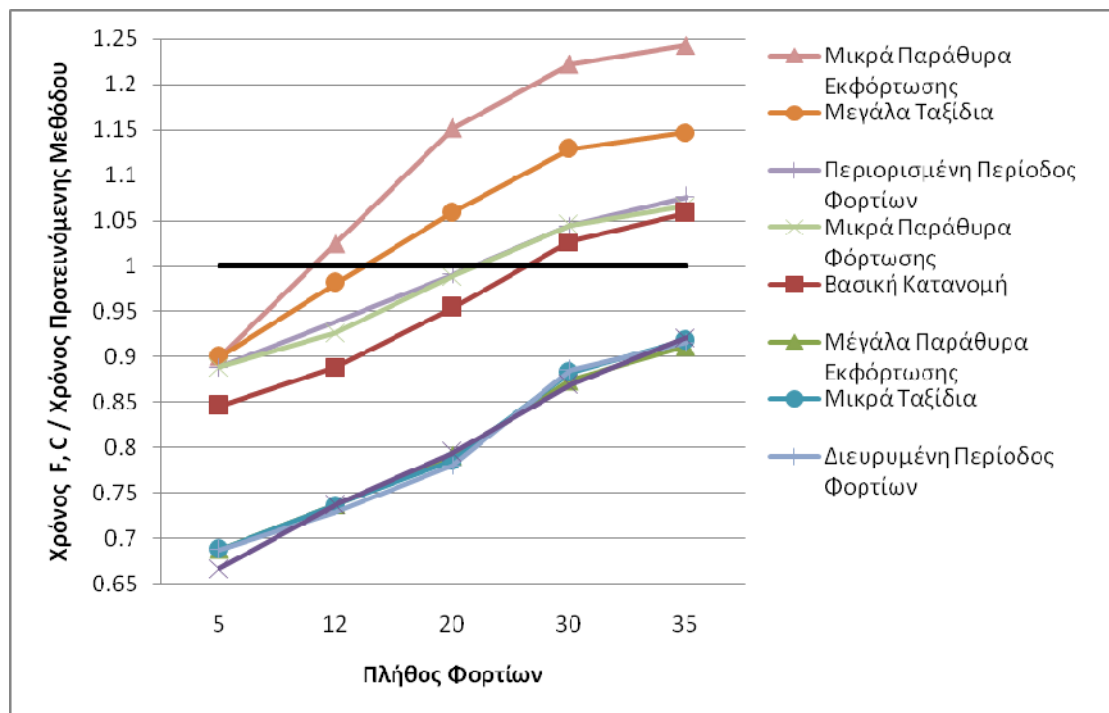
Αντίθετα στις περιπτώσεις όπου οι κατανομές των χαρακτηριστικών ευνοούσαν την παράλληλη μεταφορά φορτίων όπως για παράδειγμα όταν τα χρονικά περιθώρια για τις φορτώσεις και τις εκφορτώσεις των φορτίων ήταν μεγάλα ή όταν τα φορτία ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένα ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen ήταν ταχύτερος από τον προτεινόμενο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι στις περιπτώσεις αυτές ο προτεινόμενος αλγόριθμος δημιουργεί πολλά δρομολόγια τα οποία εξυπηρετούν τα ίδια φορτία ενώ στην αντίστοιχη περίπτωση ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen δημιουργεί ένα μόνο δρομολόγιο για κάθε τέτοιο σύνολο δρομολογίων του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Στην υπόλοιπες περιπτώσεις οι δύο αλγόριθμοι είχαν παραπλήσιους χρόνους εκτέλεσης καθώς ισοσκελίζονταν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο αλγορίθμων.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν το πηλίκο του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου των Fagerholt, Christiansen προς τον χρόνο εκτέλεσης της προτεινόμενης μεθόδου. Στο σχήμα αυτό πέρα από τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω διαπιστώνεται ότι όσο το πλήθος των φορτίων αυξάνεται η χρονική απόκριση του αλγορίθμου των Fagerholt, Christiansen επηρεάζεται περισσότερο από ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος. Πιθανοί λόγοι στους οποίους μπορεί να αποδοθεί η συμπεριφορά αυτή είναι οι εξής:

1. Ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen παρά το γεγονός ότι στο τελικό αποτέλεσμα συμπεριλάμβανε μόνο ένα δρομολόγιο για κάθε σύνολο φορτίων, στην ουσία κατά την διάρκεια επίλυσης του VRPPDTW προβλήματος δημιουργούσε και εξέταζε πληθώρα δρομολογίων για ένα συγκεκριμένο σύνολο κόμβων. Όσο το πλήθος των φορτίων αυξάνει τόσο αυξάνονται και τα στιγμιότυπα του VRPPDTW προβλήματος που επιλύονται και είναι παραπλήσια διαφέροντας μόνο σε ένα φορτίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο τελικός αριθμός των δρομολογίων που εξετάζονταν να είναι παραπλήσιος με τον αριθμό των δρομολογίων που εξέταζε και ο προτεινόμενος αλγόριθμος.
2. Η αξιολόγηση των δρομολογίων στην περίπτωση των Fagerholt, Christiansen γίνεται ανεξάρτητα για κάθε δρομολόγιο, ενώ αντίθετα στον προτεινόμενο αλγόριθμο αυτή γίνεται συνολικά κατά την δημιουργία των δρομολογίων. Όταν λοιπόν τα φορτία αυξάνονται αυξάνεται τόσο το πλήθος των δρομολογίων όσο και το βάθος αυτών κάνοντας την μεμονωμένη αξιολόγηση τους όλο και πιο χρονοβόρα.
3. Στην περίπτωση των Fagerholt, Christiansen η αρχικοποίηση των δεδομένων για την επίλυση του VRPPDTW προβλήματος αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία αντίστοιχη της οποίας δεν υπάρχει στον προτεινόμενο αλγόριθμο.
4. Ο περιορισμός της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου διασφαλίζεται κατά την επίλυση του VRPPDTW προβλήματος και όχι κατά την δημιουργία των νέων στιγμιότυπων του προβλήματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιχειρείται επίλυση στιγμιότυπων του προβλήματος VRPPDTW για τα οποία δεν υπάρχει λύση λόγω του περιορισμού της

μεταφορικής ικανότητας του πλοίου κάτι το οποίο δεν μπορεί να αποφευχθεί λόγω της ιδιομορφίας της μεθόδου.



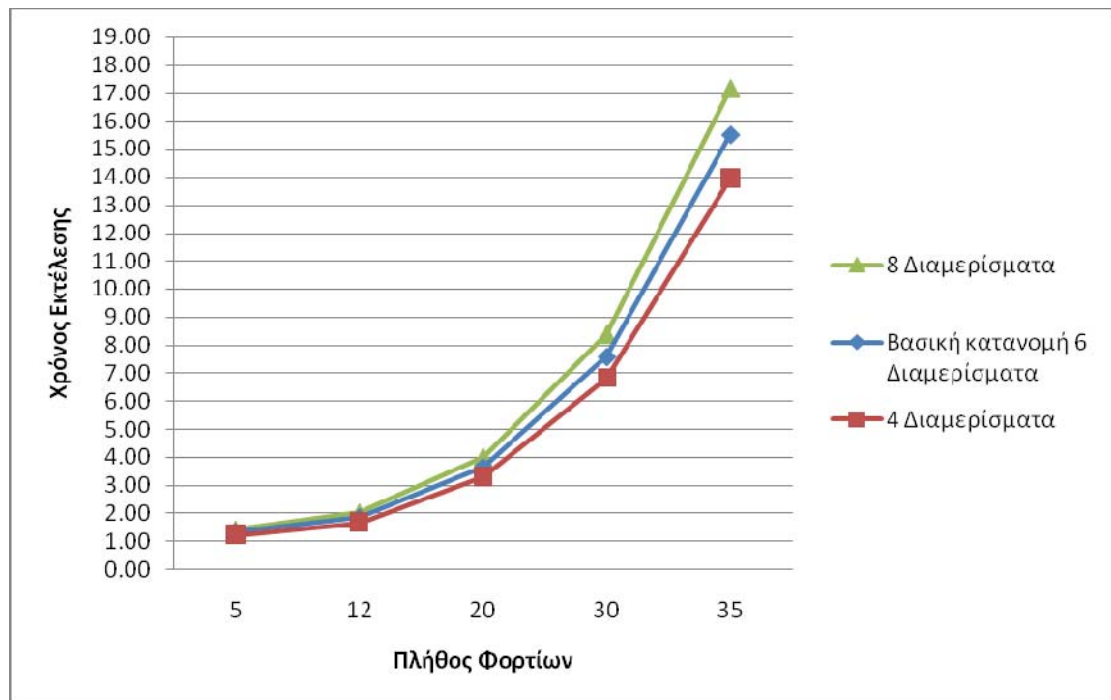
Εικόνα 5: Σχέση χρόνου εκτέλεσης προτεινόμενης μεθόδου & μεθόδου Fagerholt, Christiansen

### 5.3.3 Συμπεράσματα πειραματικής χρήσης

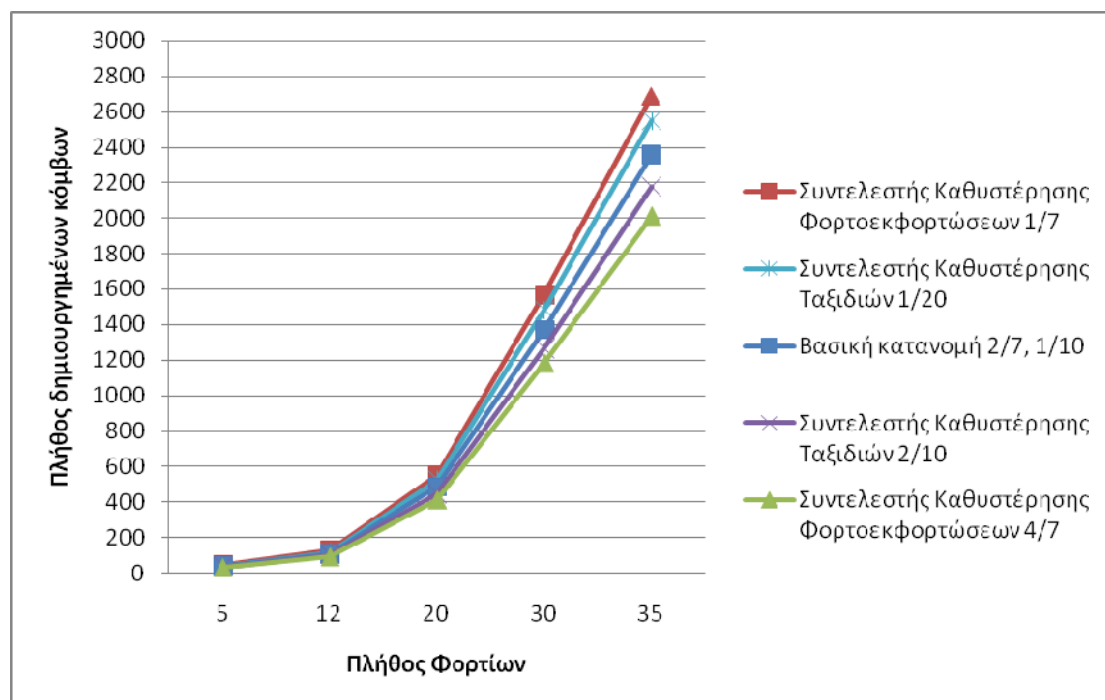
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα πειραματικά αποτελέσματα ως προς την επιρροή των χαρακτηριστικών των φορτίων και άλλων παραγόντων του προβλήματος στο μέγεθος του δέντρου που δημιουργείται και στον χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου.

Αρχικά όπως ήταν αναμενόμενο το πλήθος των φορτίων επηρεάζει δραματικά το μέγεθος του δέντρου που δημιουργείται και κυρίως το πλήθος των κόμβων που δημιουργούνται. Το πλήθος των διαμερισμάτων του πλοίου επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο εκτέλεσης σε συνδυασμό με το μέγεθος των φορτίων. Πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνει το πλήθος των διαμερισμάτων τόσο αυξάνεται το πλήθος των διαφορετικών

τοποθετήσεων των φορτίων στα διαμερίσματα του πλοίου και κατ' επέκταση αυξάνεται και ο χρόνος εύρεσης των σεναρίων αυτών. Ο χρόνος εύρεσης των εφικτών σεναρίων φόρτωσης των φορτίων επηρεάζεται και από τα χαρακτηριστικά των φορτίων, αφού όταν τα χαρακτηριστικά αυτά περιορίζουν ή δεν επιτρέπουν την παράλληλη φόρτωση φορτίων τότε αντίστοιχα μειώνεται ή μηδενίζεται ο χρόνος εύρεσης των σεναρίων. Ένας ακόμα γενικός παράγοντας είναι ο υπολογισμός των ημερών καθυστέρησης στις φορτοεκφορτώσεις και στα ταξίδια. Όσα αυξάνονται οι ημέρες που υπολογίζονται τόσο μειώνεται το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων που δημιουργείται αφού αυξάνεται η χρονική διάρκεια των ταξιδιών και το πλοίο δεν προλαβαίνει να εξυπηρετήσει νέα φορτία. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν μειώνονται οι μέρες που υπολογίζονται για καθυστερήσεις. Τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν από την τρίτη ομάδα πειραμάτων και απεικονίζονται γραφικά στα δυο επόμενα σχήματα. Στο πρώτο παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του χρόνου εκτέλεσης της προτεινόμενης μεθόδου, ανάλογα με το πλήθος των διαμερισμάτων του πλοίου, ενώ στο δεύτερο σχήμα παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του συνολικού πλήθους κόμβων που δημιούργησε η προτεινόμενη μέθοδος ανάλογα με τους συντελεστές καθυστέρησης που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 6: Χρόνοι εκτέλεσης προτεινόμενου αλγορίθμου ανάλογα με το πλήθος διαμερισμάτων του πλοίου

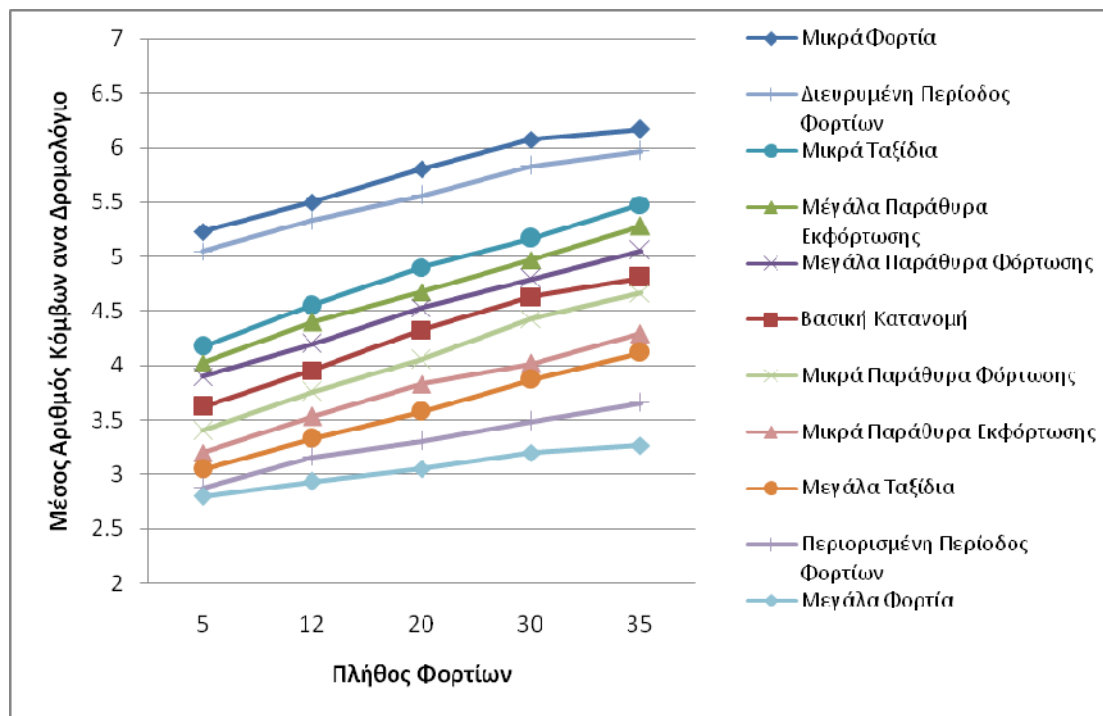


Εικόνα 7: Πλήθος συνολικών κόμβων ανάλογα με τους συντελεστές καθυστέρησης

Πέρα από τους παραπάνω γενικούς παράγοντες και ανεξάρτητα από την διαμόρφωση των χαρακτηριστικών των φορτίων παρατηρείται ότι το τελικό δέντρο δρομολογίων είναι ένα χαμηλού βάθους δέντρο. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται ο μέσος



αριθμός κόμβων που διαθέτει ένα δρομολόγιο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των φορτίων που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 8: Μέσος αριθμός κόμβων ανά δρομολόγιο

Ένα ακόμα γενικό συμπέρασμα είναι ότι δεδομένου ότι όλα τα φορτία που χρησιμοποιούνται στο πρόβλημα μπορούν να εξυπηρετηθούν τουλάχιστον σε ένα δρομολόγιο, τότε το τελικό δέντρο αποτελείται από τόσα υπό-δέντρα όσο είναι και το πλήθος των φορτίων. Κάθε ένα από τα υπό-δέντρα αυτά μπορεί να κατασκευαστεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα και έτσι η δημιουργία του δέντρου μπορεί να γίνει πολύ εύκολα παράλληλα έτσι ώστε να επιταχυνθεί ο χρόνος δημιουργίας του δέντρου. Το πλάτος και το σύνολο των κόμβων κάθε υπό-δέντρου επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των φορτίων.

Ξεκινώντας από το μέγεθος των φορτίων παρατηρούμαι ότι όσο το πλήθος των φορτίων, που είναι μικρότερα από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου,

αυξάνει τόσο αυξάνει και το πλήθος των κόμβων και των τελικών δρομολογίων αφού το πλοίο μπορεί να μεταφέρει παράλληλα περισσότερα του ενός φορτία η εξυπηρέτηση των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους κάθε ένας από τους οποίους οδηγεί σε διαφορετικό δρομολόγιο. Το πλήθος των μικρών φορτίων σταματάει να επηρεάζει το μέγεθος των υπό-δέντρων όταν τα χρονικά περιθώρια της εκφόρτωσης γίνουν αυστηρά. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν το πλοίο είναι ήδη φορτωμένο με ένα φορτίο παρόλο που έχει την μεταφορική ικανότητα να φορτώσει και άλλα φορτία κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό γιατί λόγω της καθυστέρησης που θα προκληθεί από την φόρτωση του δεύτερου φορτίου η παράδοση του πρώτου φορτίου δεν θα μπορεί να πραγματοποιηθεί εμπρόθεσμα. Όπως είναι αναμενόμενο όσο το πλήθος των φορτίων που είναι μεγαλύτερα από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, αυξάνει τόσο μειώνεται και το πλήθος των κόμβων και των δρομολογίων που δημιουργούνται για κάθε υπό-δέντρο.

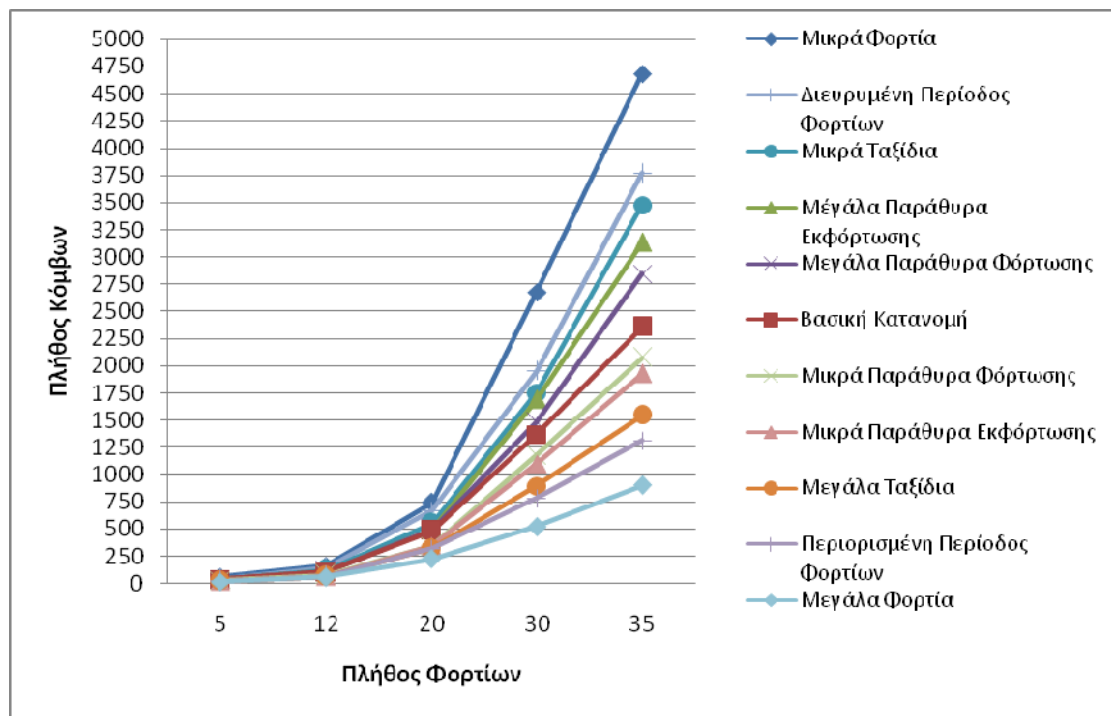
Σχετικά με την κατανομή των φορτίων στο χρόνο το συμπέρασμα είναι ότι όσο πιο ομοιόμορφα κατανεμημένα είναι τα φορτία στο χρόνο, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να βρεθεί ένα φορτίο μετά το τέλος κάθε εκφόρτωσης αλλά παράλληλα τόσο να μειώνεται και ο μέγιστος αριθμός φορτίων που μπορούν να επιλεγούν για μεταφορά μετά το τέλος μιας εκφόρτωσης. Η ομοιόμορφη κατανομή φορτίων έχει ως συνέπεια να δημιουργούνται υπό-δέντρα μεγάλα σε βάθος και μικρότερα σε πλάτος. Αντίθετα η συγκέντρωση των φορτίων σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο αυξάνει τις επιλογές φορτίων για μεταφορά για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο αλλά μειώνει την πιθανότητα εύρεσης φορτίου τις υπόλοιπες χρονικές περιόδους. Το χαρακτηριστικό της κατανομής των φορτίων στο χρόνο παύει να έχει επιρροή στον σχηματισμό του δέντρου όταν τα ταξίδια που πρέπει να εκτελεστούν είναι πού

μεγάλα και είτε τα χρονικά περιθώρια για την παράδοση των φορτίων είναι αυστηρά είτε τα φορτία που μεταφέρονται είναι πάνω από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου.

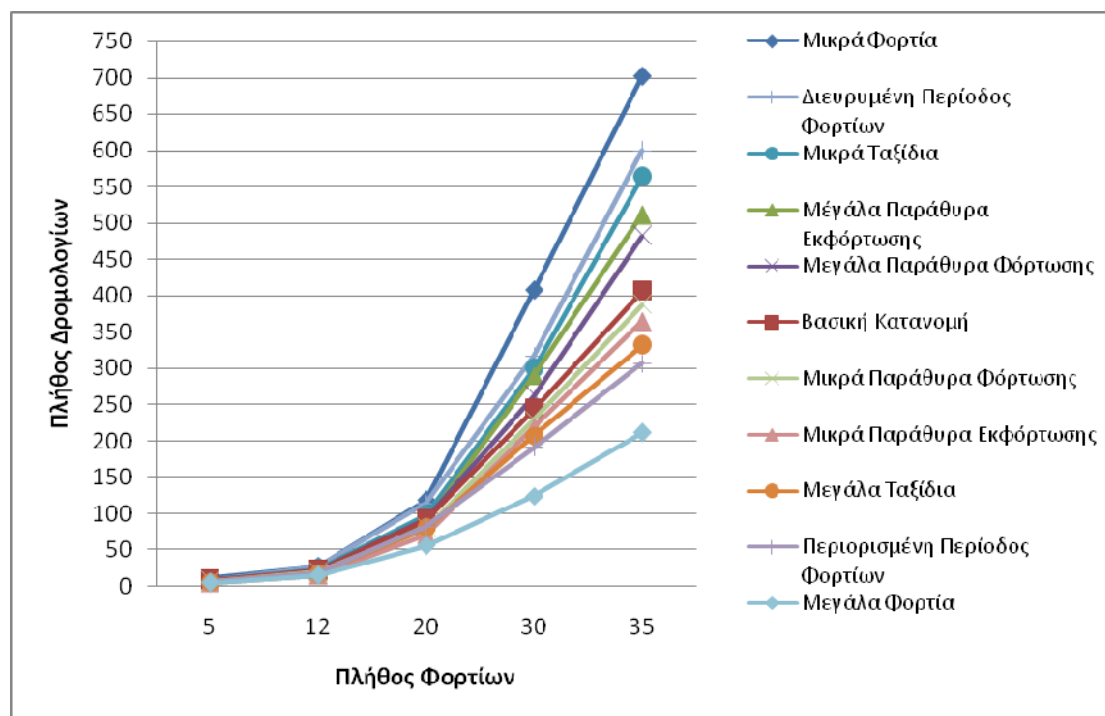
Τα χρονικά περιθώρια φόρτωσης και εκφόρτωσης επηρεάζουν το πλάτος των υπό-δέντρων αφού όσο πιο ελαστικά είναι αυτά τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες για παράλληλη φόρτωση φορτίων. Αντίθετα όσο στενεύουν τα περιθώρια αυτά και κυρίως τα περιθώρια εκφόρτωσης τόσο μειώνονται και οι επιλογές σε κάθε κόμβο του δέντρου.

Τέλος η διάρκεια των ταξιδιών επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα το βάθος των υπό-δέντρων. Έτσι καθώς αυξάνεται η διάρκεια τους μειώνεται το βάθος των δέντρων καθώς το πλοίο δεν προλαβαίνει να εξυπηρετήσει νέα φορτία. Αντίθετα όταν μειώνεται η διάρκεια των ταξιδιών αυξάνεται το μέγεθος των υπό-δέντρων αφού δίνεται η δυνατότητα στο πλοίο να εξυπηρετήσει περισσότερα φορτία. Η διάρκεια των ταξιδιών δεν επηρεάζει το μέγεθος του δέντρου δρομολογίων που σχηματίζεται στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλά φορτία με μέγεθος μικρότερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου και τα χρονικά περιθώρια εκφόρτωσης είναι ελαστικά.

Τα παραπάνω συμπεράσματα απεικονίζονται στα δυο επόμενα σχήματα τα οποία παρουσιάζουν το πλήθος των κόμβων και των δρομολογίων που δημιουργούνται από τον προτεινόμενο αλγόριθμο ανάλογα με την κατανομή που ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των φορτίων.



Εικόνα 9: Πλήθος συνολικών κόμβων ανάλογα με την κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων



Εικόνα 10: Πλήθος δρομολογίων ανάλογα με την κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων

## **6 Πρόβλημα Επιλογής Φορτίων στην Ελεύθερη Αγορά**

Η εύρεση και δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο για την μεταφορά ενός συνόλου φορτίων μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο στην βιομηχανική ναυτιλία όσο και στην ελεύθερη αγορά. Ο τρόπος που μπορεί να αξιοποιηθεί στην βιομηχανική ναυτιλία είναι, όπως παρουσιάστηκε και στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, στην βέλτιστη δρομολόγηση ενός στόλου προκειμένου να μεταφερθεί ένα σύνολο φορτίων που ανήκουν στην εταιρεία είτε το ταχύτερο δυνατό είτε με το μικρότερο δυνατό κόστος. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί πως η δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο μπορεί να αξιοποιηθεί στην ελεύθερη αγορά.

Ο τομέας της ελεύθερης αγοράς στον οποίο μπορεί να συνεισφέρει η δημιουργία δρομολογίων ενός πλοίου, είναι στην εύρεση φορτίων προς μεταφορά από ένα πλοίο που λειτουργεί στις ναυλώσεις ταξιδιών. Η διαδικασία της εύρεσης φορτίων προς μεταφορά και η αξιολόγηση αυτών προκειμένου να επιλεγεί το φορτίο που βελτιστοποιεί την χρήση του πλοίου από την εταιρεία, είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία αναλύεται στις επόμενες ενότητες.

## 6.1 Ιδιαιτερότητες Προβλήματος

Το πρόβλημα της επιλογής φορτίων αν και δείχνει να έχει πολλά κοινά με το πρόβλημα δρομολόγησης στόλου έχει αρκετά σημεία στα οποία διαφοροποιείται από αυτό με αποτέλεσμα να απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση. Τα σημεία αυτά μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω.

1. Η επιλογή φορτίων πραγματοποιείται για μια μόνο μεταφορά φορτίου και όχι για μια μεγάλη χρονική περίοδο που ενδεχομένως να περιλαμβάνει πολλές μεταφορές φορτίων, όπως συμβαίνει στην βιομηχανική ναυτιλία. Αυτό συμβαίνει γιατί αντίθετα με την βιομηχανική ναυτιλία όπου η ζήτηση για μεταφορά φορτίων θεωρείται σταθερή για την χρονική περίοδο που αφορά, στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας η ζήτηση που είναι γνωστή μια δεδομένη χρονική στιγμή δεν θεωρείται αμετάβλητη. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο ότι η βιομηχανική ναυτιλία αποτελεί ένα μέρος μιας καλά οργανωμένης βιομηχανίας στην οποία η ζήτηση για προϊόντα είναι γνωστή πολύ πριν χρειασθεί να μεταφερθούν τα προϊόντα αυτά, ενώ στην ελεύθερη αγορά η ζήτηση για μεταφορά φορτίων συνήθως προκύπτει λίγες μέρες ή βδομάδες πριν απαιτηθεί να γίνει η μεταφορά. Υπό αυτές τις συνθήκες οι ναυτιλιακές εταιρείες που λειτουργούν στην ελεύθερη αγορά δεν επιδιώκουν την εύρεση πολλών φορτίων τα οποία θα απασχολήσουν το πλοίο για μεγάλες χρονικές περιόδους για τις οποίες η ζήτηση για μεταφορά μπορεί να είναι ελλιπής την χρονική στιγμή που λαμβάνεται η συγκεκριμένη απόφαση.

2. Τα φορτία που αφορούν την ζήτηση για μεταφορά στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας είναι όλα στην ιδιοκτησία της εταιρείας η οποία δεν χρειάζεται να ανταγωνιστεί την μεταφορά τους με άλλες εταιρείες, ενώ τα δεδομένα των στοιχείων αξιόπιστα. Αντίθετα στην περίπτωση της ελεύθερης αγοράς τα φορτία δεν ανήκουν στην ναυτιλιακή εταιρεία και πρέπει να ανταγωνιστεί την μεταφορά τους με άλλες ναυτιλιακές εταιρείες. Το γεγονός αυτό εμποδίζει τον σχεδιασμό μεγάλων ταξιδιών που περιλαμβάνουν την μεταφορά πολλών φορτίων καθώς ενδεχομένως για κάποια από τα φορτία που περιλαμβάνονται στο δρομολόγιο να μην επέλθει συμφωνία για την μεταφορά τους. Επιπλέον για κάποια φορτία ενδεχομένως να υπάρχει αμφιβολία για τα στοιχεία τους είτε γιατί δεν υπάρχει εμπιστοσύνη στον άνθρωπο που παρείχε την πληροφόρηση για αυτά είτε γιατί κάποια στοιχεία τους δεν είναι γνωστά και πραγματοποιείται μια εκτίμηση αυτών.
3. Δεδομένου ότι στη βιομηχανική ναυτιλία τα φορτία ανήκουν στην ίδια την εταιρεία σκοπός της εταιρείας είναι να μεταφέρει τα φορτία αυτά με το μικρότερο δυνατό κόστος. Αντίθετα στην ελεύθερη αγορά όπου τα φορτία δεν ανήκουν στην εταιρεία και η εταιρεία αμείβεται για την μεταφορά τους στόχος είναι όχι μόνο η μεγιστοποίηση των κερδών από την μεταφορά των φορτίων αλλά και η μεγιστοποίηση του ρυθμού κερδών της εταιρείας.
4. Στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας επειδή τα φορτία ανήκουν στην εταιρεία δεν υπάρχει κάποια δέσμευση για το πιο πλοίο θα μεταφέρει πιο φορτίο, αντίθετα στην ελεύθερη αγορά η συμφωνία για την

μεταφορά ενός φορτίου καθορίζει και το πλοίο με το οποίο θα γίνει η μεταφορά, το οποίο δεν μπορεί να αλλάξει στην συνέχεια.

5. Η αξιολόγηση των δρομολογίων στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας γίνεται με βάση το κόστος εκτέλεσης των δρομολογίων το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Αντίθετα στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας τα διάφορα δρομολόγια που προκύπτουν πρέπει να αξιολογηθούν με βάση το κέρδος που επιφέρουν γεγονός που απαιτεί τον υπολογισμό των εσόδων που προκύπτουν από την μεταφορά κάθε φορτίου. Ωστόσο ο υπολογισμός των εσόδων δεν μπορεί να γίνει με ακρίβεια γιατί οι τιμές των ναύλων, αν και ακολουθούν τις διεθνείς τιμές της ναυλαγοράς διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες κάθε ναύλωσης και αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης μεταξύ της εταιρείας και του ιδιοκτήτη του φορτίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι με ακρίβεια γνωστές οι τιμές των ναύλων την στιγμή της αξιολόγησης των δρομολογίων.
6. Η επιλογή φορτίων πραγματοποιείται συνήθως μεμονωμένα για κάθε πλοίο και όχι για ένα ολόκληρο στόλο. Αυτό συμβαίνει γιατί η αναζήτηση φορτίων γίνεται για μια φόρτωση ενώ επιπλέον αντίθετα με το ότι συμβαίνει στην βιομηχανική ναυτιλία τα πλοία που διαχειρίζεται η εταιρεία διαφοροποιούνται σε σημαντικό βαθμό ως προς το είδος τους και βρίσκονται διάσπαρτα σε όλα τα εμπορικά λιμάνια και λειτουργούν το ένα ανεξάρτητα από το άλλο. Έτσι είναι πολύ μικρή η πιθανότητα δυο ή περισσότερα πλοία να βρεθούν την ίδια χρονική στιγμή, στην ίδια γεωγραφική περιοχή, να είναι του ίδιου τύπου και το φορτίο που δείχνει να είναι το βέλτιστο να είναι κοινό και για τα δύο. Ακόμα και στις



περιπτώσεις που συμβαίνει αυτό ο αριθμός των πλοίων που διεκδικούν το ίδιο φορτίο σπάνια ξεπερνάει τα δυο και έτσι η διαχείριση της κατάστασης και η επιλογή διαφορετικών φορτίων και για τα δυο πλοία μπορεί να γίνει εύκολα από τα έμπειρα στελέχη της εταιρείας.

## **6.2 Ανάλυση διαδικασίας εύρεσης φορτίων**

Στο δεύτερο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην ενότητα 2.3.1 περιγράφηκε η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση φορτίων από τις ναυτιλιακές εταιρείες, στην ενότητα αυτή καταγράφονται λεπτομέρειες της διαδικασίας αυτής αλλά και οι προτεραιότητες των εταιρειών κατά την εκτέλεση της συγκεκριμένης διαδικασίας.

Κάθε πλοιοκτήτρια εταιρεία η οποία κινείται στον χώρο της ελεύθερης αγοράς διαθέτει ειδικό τμήμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την εύρεση φορτίων και την επίτευξη συμφωνιών για την μεταφορά φορτίων. Το τμήμα αυτό της εταιρείας μπορεί να συνεργάζεται με ένα οι περισσότερους μεσίτες τους οποίους εξουσιοδοτεί για την εύρεση φορτίων και την διαπραγμάτευση των ναυλώσεων για λογαριασμό της εταιρείας. Η πολιτική που ακολουθείται εξαρτάται άμεσα από τον τύπο ναύλωσης για τον οποίο ενδιαφέρεται η εταιρεία. Στην συνέχεια της ενότητας αυτής πραγματοποιείται μια ανάλυση πολιτικής και διαδικασιών που ακολουθείται στην περίπτωση της ναύλωσης ταξιδιών.

Η διαδικασία που ακολουθεί είτε το τμήμα ναύλωσης είτε οι μεσίτες για την εύρεση φορτίων είναι σταθερή. Ωστόσο τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των καλύτερων φορτίων, αλλά και η πολιτική που ακολουθείται κατά την

διαπραγμάτευση με τους ναυλωτές, διαφέρει ανάλογα με τον τομέα της ναυλαγοράς στον οποίο επιθυμείται να γίνει η ναύλωση, τις συνθήκες που επικρατούν την τρέχουσα χρονική στιγμή και τις μελλοντικές προβλέψεις για τον συγκεκριμένο τομέα της ναυλαγοράς, αλλά και από τον τρόπο αξιολόγησης και αντίδρασης του κάθε πλοιοκτήτη στα δεδομένα αυτά. Σε κάθε περίπτωση στόχος της εταιρείας είναι να μεγιστοποιήσει το κέρδος της από την εκμετάλλευση των πλοίων που διαθέτει, και ο τρόπος με τον οποίο προσπαθεί να το επιτύχει αυτό διαφέρει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.

Πολλές φορές οι πλοιοκτήτες και οι εφοπλιστές αναγκάζονται να πάρουν άμεσα αποφάσεις για την ναύλωση των πλοίων που διαθέτουν είτε χωρίς να γνωρίζουν εκ των προτέρων όλες τις λεπτομέρειες που απαιτούνται είτε στηριζόμενοι σε πληροφορίες η αξιοπιστία των οποίων δεν είναι εξακριβωμένη, διακυβεύοντας έτσι μεγάλα χρηματικά ποσά. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η χρήση ενός πλοίου μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα δαπανηρή για μια εταιρεία όταν οι ναυλωτές δεν είναι συνεπείς στις υποχρεώσεις τους και προκαλούν μεγάλες καθυστερήσεις στην λειτουργία του πλοίου. Για τον λόγο αυτό στον χώρο της ελεύθερης αγοράς η αξιοπιστία των πληροφοριών και η εμπιστοσύνη μεταξύ των προσώπων που συνεργάζονται και διαπραγματεύονται έχουν πρωτεύοντα σημασία κατά την διαδικασία ναύλωσης πλοίων. Κάθε ναυτιλιακή εταιρεία που ναυλώνει πλοία, επιδιώκοντας να μειώσει το οικονομικό ρίσκο από την εκμετάλλευση των πλοίων της, έχει ένα σταθερό δίκτυο συνεργαζόμενων προσώπων και πελατών με το οποίο συνεργάζεται και δύσκολα εμπιστεύεται πρόσωπα για τα οποία δεν έχει πληροφορίες.

### **6.2.1 Στόχοι πλοιοκτητών κατά την επιλογή φορτίου**

Ανεξάρτητα από την πολιτική που ακολουθεί η κάθε ναυτιλιακή εταιρεία κατά την επιλογή φορτίων και την διαπραγμάτευση των ναυλώσεων, οι στόχοι των ναυτιλιακών εταιρειών είναι κοινοί.

Βασικός στόχος όλων των πλοιοκτητών και των εφοπλιστών είναι τα πλοία τους να βρίσκονται όσο το δυνατόν περισσότερο χρονικό διάστημα ναυλωμένα μειώνοντας στο ελάχιστο τις μέρες που αυτά παραμένουν ανενεργά ή κινούνται χωρίς φορτίο. Κάθε μέρα που περνάει για κάθε ανενεργό πλοίο η ναυτιλιακή εταιρεία θεωρείται ότι χάνει το ποσό που αντιστοιχεί στον ημερήσιο ναύλο χρονονάυλωσης που επικρατεί στην αγορά για ένα αντίστοιχο πλοίο. Για τον λόγο αυτό οι εταιρείες φροντίζουν έγκαιρα, πολύ πριν το κάθε πλοίο ολοκληρώσει την τελευταία ναύλωση την οποία είναι προγραμματισμένο να εκτελέσει, να βρουν το επόμενο φορτίο το οποίο θα μεταφέρει.

Με δεδομένη την συνεχή εμπορική ενασχόληση του πλοίου, ακόλουθος στόχος κάθε εταιρείας είναι η όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη κερδοφορία από την εκμετάλλευση του κάθε πλοίου. Όπως είναι αναμενόμενο από το σύνολο των διαθέσιμων προς μεταφορά φορτίων οι ναυτιλιακές εταιρείες προτιμούν αυτά που προβλέπεται να είναι τα πιο κερδοφόρα. Το πόσο κερδοφόρο είναι μια ναύλωση καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τα αναμενόμενα έσοδα που αυτή θα επιφέρει και κατά δεύτερο λόγο από το αναμενόμενο κόστος εκτέλεσης της ναύλωσης.

Όσον αφορά τα αναμενόμενα έσοδα από μια ναύλωση, βασικός παράγοντας είναι οι τιμές των ναύλων που επικρατούν στην αγορά για το είδος του φορτίου που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη ναύλωση και την διαδρομή που πρέπει να εκτελεστεί στα πλαίσια αυτής. Ιδίως στις περιπτώσεις της ναύλωσης ταξιδιού, βασικός στόχος των εταιρειών είναι να βρουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα φορτία με δεδομένο ότι αυτά δεν υπερβαίνουν την διαθέσιμη χωρητικότητα του πλοίου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές του ναύλου στην ναύλωση ταξιδιού υπολογίζεται ανά μεταφερόμενο φορτίο, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του φορτίου τόσο μεγαλύτερος είναι ο συνολικός ναύλος που θα εισπράξει η εταιρεία. Επιπλέον παρά το γεγονός ότι σε μια ναύλωση η τιμή του ναύλου καθορίζεται περισσότερο από τις τιμές τις αγοράς και λιγότερο από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης ναύλωσης, υπάρχουν στοιχεία που επηρεάζουν την τελική τιμή των ναύλων. Το βασικότερο από τα στοιχεία αυτά είναι η απόσταση μεταξύ του λιμανιού φόρτωσης και εκφόρτωσης. Δεδομένου ότι σε μια ναύλωση ο συνολικός ναύλος είναι ανάλογος της ποσότητας του φορτίου που μεταφέρεται και της απόστασης για την οποία αυτό μεταφέρεται, οι εταιρείες προτιμούν συνήθως φορτία στα οποία η απόσταση μεταξύ λιμανιού φόρτωσης και εκφόρτωσης είναι η μεγαλύτερη δυνατή. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που χαρακτηρίζει πόσο κερδοφόρο είναι ένα φορτίο είναι και ο χρόνος που διαρκεί η ναύλωση, ο οποίος καθορίζει τον ρυθμό κέρδους που έχει η εταιρεία. Έτσι μεταξύ δυο φορτίων των οποίων οι ποσότητες και οι τιμές των ναύλων οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα ως προς τα αναμενόμενα έσοδα, πιο κερδοφόρο είναι τελικά αυτό που διαρκεί λιγότερες μέρες καθώς θα συνεπάγεται περισσότερα έσοδα ανά ημέρα.

Οι παράγοντες που καθορίζουν το κόστος εκτέλεσης μιας ναύλωσης μπορούν να διαχωριστούν στους εξής δυο: το κόστος μετάβασης στο λιμάνι φόρτωσης και στο

κόστος εκτέλεσης της μεταφοράς. Το πρώτο στοιχείο αφορά τα έξοδα του πλοίου που απαιτούνται για την μετακίνηση του πλοίου από το λιμάνι στο οποίο αναμένεται να βρεθεί διαθέσιμο μέχρι το λιμάνι στο οποίο έχει οριστεί ότι θα γίνει η φόρτωση του πλοίου. Προκειμένου οι εταιρείες να μειώσουν το συγκεκριμένο κόστος με το οποίο επιβαρύνονται οι ίδιες, αναζητούν φορτία τα οποία βρίσκονται κοντά στην θαλάσσια περιοχή στην οποία αναμένεται να βρεθεί ελεύθερο το πλοίο. Το δεύτερο και μεγαλύτερο έξοδο ενός ταξιδιού που είναι το κόστος εκτέλεσης της μεταφοράς και αφορά όλα τα έξοδα που απαιτούνται για την φόρτωση και εκφόρτωση του πλοίου αλλά και για την μετάβαση του από το λιμάνι φόρτωσης στο λιμάνι εκφόρτωσης. Τα κόστη αυτά, σε αντίθεση από το κόστος μετάβασης στο λιμάνι φόρτωσης, είναι χαρακτηριστικό της ίδιας της ναύλωσης ανεξαρτήτως των επιλογών τις ναυτιλιακής εταιρείας και συμπεριλαμβάνεται στον ζητούμενο ναύλο. Ωστόσο επειδή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο ναύλος που απαιτείται για την εκτέλεση μιας ναύλωσης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές της αγοράς και λιγότερο από τις απαιτήσεις τις ναύλωσης, οι ναυτιλιακές εταιρείες αναζητούν φορτία που θα οδηγήσουν σε ναυλώσεις με χαμηλό κόστος για να μεγιστοποιήσουν έτσι το κέρδος τους. Έτσι επιλέγουν ναυλώσεις η εκτέλεση των οποίων απαιτεί το πλοίο να βρίσκεται περισσότερες μέρες στην θάλασσα, όπου παρέχει μεταφορική υπηρεσία για την οποία αμείβεται η εταιρεία και λιγότερες μέρες στα λιμάνια, όπου το κόστος λειτουργίας είναι πολύ μεγαλύτερο και δεν παρέχεται μεταφορική υπηρεσία.

Ένας ακόμα στόχος των ναυτιλιακών εταιρειών είναι το πλοίο να κινείται σε εμπορικές θαλάσσιες περιοχές στις οποίες θα είναι εύκολο να βρεθούν φορτία προς μεταφορά μετά την εκτέλεση των ήδη συμφωνημένων ναυλώσεων ή ακόμα και κατά την διάρκεια αυτών εφόσον υπάρχει διαθέσιμη μεταφορική ικανότητα για το πλοίο.

Για τον λόγο αυτό οι εταιρείες δίνουν ιδιαίτερη σημασία στο λιμάνι εκφόρτωσης μιας ναύλωσης και αν αυτό βρίσκεται σε περιοχή που αναμένεται να βρουν ή γνωρίζουν ήδη ότι υπάρχει φορτίο προς μεταφορά. Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του στόχου αυτού έχουν, η εμπειρία των ανθρώπων της εταιρείας, οι οποίοι μπορούν να προβλέψουν το πώς θα κινηθεί μελλοντικά η ζήτηση και το δίκτυο πληροφόρησης που διαθέτει η εταιρεία το οποίο την ενημερώνει για διαθέσιμα φορτία ανά τον κόσμο σε βάθος χρόνου.

### **6.2.2 Κόστος εκτέλεσης ταξιδιού**

Το κόστος εκτέλεσης ενός ταξιδιού είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες αξιολόγησης κάθε ναύλωσης που μελετάτε. Το συνολικό κόστος είναι ένα άθροισμα από επιμέρους κόστη, τα οποία απαιτούνται στα διάφορα στάδια της εκτέλεσης μια ναύλωσης τα οποία είναι:

1. Έξοδα καυσίμων Fuel: είναι τα έξοδα που αντιστοιχούν στην αξία των καυσίμων που πρέπει να καταναλωθούν για την μετακίνηση του πλοίου
2. Έξοδα καυσίμου Diesel: είναι τα έξοδα που αντιστοιχούν στην αξία της βενζίνης που καταναλώνεται από τις διάφορες μηχανές και γεννήτριες που διαθέτει το πλοίο κατά την διάρκεια της ναύλωσης.
3. Έξοδα στα λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης: είναι τα τέλη που επιβάλλονται επί του πλοίου και/ή του φορτίου για την χρήση των λιμενικών εγκαταστάσεων και υπηρεσιών.

4. Έξοδα διέλευσης καναλιών: στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα τέλη και τα έξοδα με τα οποία επιβαρύνεται το πλοίο κατά τη διέλευση καναλιών, διωρύγων και θαλάσσιων δρόμων.
5. Κόστος χειρισμού φορτίου: είναι τα έξοδα που απαιτούνται για τον χειρισμό του φορτίου στα λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης. Ο χειρισμός περιλαμβάνει ενέργειες όπως η φόρτωση, η εκφόρτωση, η στοιβάση, ο διαχωρισμός, η διευθέτηση κ.α .
6. Λειτουργικό κόστος πλοίου: αφορά τα καθημερινά έξοδα του πλοίου για τον εφοδιασμό του με αναλώσιμα ήδη, τους μισθούς των ναυτικών, την ασφάλιση του πλοίου, την συντήρηση του πλοίου, την διαχείριση του πλοίου.

### **6.2.3 Καθορισμός τιμής ναύλου**

Ο καθορισμός της τιμής του ναύλου πραγματοποιείται στο στάδιο των διαπραγματεύσεων μεταξύ του πλοιοκτήτη και του ναυλωτή. Ωστόσο επειδή η διαπραγματεύσεις μπορεί να πραγματοποιούνται με άμεση επικοινωνία και διαρκούν μικρό χρονικό διάστημα, οι δυο πλευρές πρέπει να είναι προετοιμασμένες και να έχουν μια εκτίμηση όλων των παραμέτρων που εμπλέκονται στην εκτέλεση της μεταφοράς του υπό συζήτηση φορτίου. Έτσι κάθε πλευρά πριν ξεκινήσει τις διαπραγματεύσεις πρέπει να έχει πραγματοποιήσει τουλάχιστον μια εκτίμηση του ναύλου και να έχει καθορίσει μια τιμή με την οποία θα ξεκινήσει τις διαπραγματεύσεις.

Κατά την εκτίμηση του ναύλου από την πλευρά του πλοιοκτήτη η τακτική του καθορισμού του ναύλου με βάση το κόστος εκτέλεσης του ταξιδιού, στο οποίο προσθέτεται ένα μικρό ποσό ως κέρδος της εταιρείας δεν αποτελεί επιτυχημένη τακτική. Σύμφωνα με την πρακτική αυτή αν οι ναύλοι στην τρέχουσα αγορά είναι χαμηλοί, ο πλοιοκτήτης δεν θα πραγματοποιήσει καθόλου ανταγωνιστική προσφορά και πιθανώς να μην βρει φορτίο αν δεν μειώσει τις τιμές των ναύλων. Αντίθετα, αν οι τιμές των ναύλων είναι υψηλές, θα βρει άμεσα φορτίο προς μεταφορά άλλα σε χαμηλότερη τιμή από αυτή που τελικά θα μπορούσε να επιτύχει. Επιπλέον υπάρχει μεγάλη διακύμανση των τιμών των ναύλων στην αγορά και σε βάθος χρόνου οι περίοδοι με χαμηλούς ναύλους διαρκούν περισσότερο με αποτέλεσμα οι ναυτιλιακές εταιρείες προκειμένου να επιβιώσουν οικονομικά λειτουργούν κάτω από τις τιμές κόστους την εποχή των χαμηλών ναύλων και με μεγάλα κέρδη την εποχή των υψηλών ναύλων. Έτσι μια εταιρεία που καθορίζει τις τιμές των ναύλων της με βάση το κόστος της μεταφοράς, χωρίς να ακολουθεί τις τιμές της αγοράς, δεν έχει πολλές πιθανότητες να επιβιώσει οικονομικά σε βάθος χρόνου.

Αποτελεί λοιπόν αναγκαστική επιλογή για τις ναυτιλιακές εταιρείες ο υπολογισμός των τιμών των ναύλων με βάση τις τιμές της τρέχουσας αγοράς. Έτσι κάθε εταιρεία κατά την εκτίμηση της τιμής του ναύλου για μια συγκεκριμένη ναύλωση έχει ως αφετηρία τιμών, τις τιμές της αγοράς. Προκειμένου να καλυφθεί η πλειοψηφία των περιπτώσεων μεταφοράς, υπάρχει μεγάλη κατηγοριοποίηση των τιμών της αγοράς ανάλογα με το είδος του φορτίου, το τύπο ναύλωσης και τις βασικές θαλάσσιες εμπορικές διαδρομές. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται καθημερινά με βάση τις τιμές ναύλου που καθορίζονται στις συμφωνίες που πραγματοποιούνται στα διάφορα ναυτιλιακά κέντρα. Τα ναυτιλιακά κέντρα είναι ένας περιορισμένος



αριθμός διεθνών θαλάσσιων αγορών μέσω των οποίων πραγματοποιείται η πλειοψηφία των διαπραγματεύσεων μεταξύ πλοιοκτητών και ναυλωτών. Πέρα από τις τιμές της αγοράς ανά κατηγορία υπάρχουν και οι διάφοροι δείκτες της αγοράς στους οποίους σταθμίζονται οι τιμές των ναύλων από διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την σπουδαιότητα της κάθε κατηγορίας και προκύπτει μια τιμή η οποία αντιπροσωπεύει τις τιμές των ναύλων για μια γενικότερη κατηγορία.

Με αφετηρία τις τιμές της αγοράς που αντιστοιχούν στο είδος του φορτίου, τον τύπο ναύλωσης και την θαλάσσια διαδρομή που πρέπει να εκτελεσθεί, η ναυτιλιακή εταιρεία προσαρμόζει την τιμή του ναύλου. Η προσαρμογή του ναύλου γίνεται έτσι ώστε αυτός να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μεταφοράς και να είναι και ανταγωνιστικός, χωρίς όμως να ξεφεύγει από τα επίπεδα τιμών της αγοράς. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τιμή του ναύλου είναι τα εξής:

1. Το εκτιμώμενο συνολικό κόστος εκτέλεσης της ναύλωσης: η κάλυψη του οποίου αποτελεί πρωταρχικός στόχος της εταιρείας.
2. Η κατάσταση και τα χαρακτηριστικά του πλοίου: Όσο καλύτερη είναι η κατάσταση του πλοίου και όσο περισσότερο ταιριάζουν τα χαρακτηριστικά του με τις απαιτήσεις του μεταφερόμενου φορτίου, τόσο αυξάνεται η τιμή του ναύλου αφού το πλοίο γίνεται πιο αποδοτικό και αυξάνεται η ασφάλεια του φορτίου κατά την μεταφορά του.
3. Η χρονική διάρκεια της ναύλωσης: Οι τιμές της αγοράς είναι ασταθής και ευμετάβλητες και οι εκτιμήσεις για την μελλοντική διακύμανση τους μπορεί να διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία. Έτσι κάθε εταιρεία

ανάλογα με τις τιμές της αγοράς και τις εκτιμήσεις που έχει, μπορεί να καταθέσει προσφορά ναύλου χαμηλότερη από τις τιμές της αγοράς, αν πιστεύει ότι η αγορά θα κινηθεί πτωτικά και ότι η υπό διαπραγμάτευση ναύλωση της παρέχει εξασφαλισμένο κέρδος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα αν η εταιρεία εκτιμά ότι οι τιμές των ναύλων θα κινηθούν ανοδικά στην αγορά, τότε πιθανών σε μια υπό διαπραγμάτευση ναύλωση με μεγάλη χρονική διάρκεια εκτέλεσης να καταθέσει προσφορά με τιμές υψηλότερες από αυτές τις τρέχουσας αγοράς.

Σε κάθε περίπτωση ναύλωσης ανεξαρτήτως είδους φορτίου, τύπο πλοίου και διαδρομής η πλοιοκτήτρια εταιρεία πριν προχωρήσει σε διαπραγματεύσεις ανάγει τον συνολικό ναύλο που έχει εκτιμήσει για την μεταφορά σε ναύλο ανά ημέρα, έτσι ώστε να μπορεί να συγκρίνει άμεσα τα έσοδα που θα έχει από κάθε ναύλωση που εξετάζει. Σε πολλές περιπτώσεις υπολογίζει και το εκτιμώμενο κόστος ανά ημέρα έτσι ώστε να προκύψει το συνολικό εκτιμώμενο κέρδος ανά ημέρα, έτσι ώστε να είναι περισσότερο αξιόπιστη η αξιολόγηση των υπό εξέταση ναυλώσεων. Μέσω της διαδικασίας αυτής της αναγωγής των τιμών των ναύλων σε ημερήσιους είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ ναυλώσεων ταξιδιού και χρονοναυλώσεων έτσι ώστε η εταιρεία να επιλέξει την πιο κερδοφόρα εκμετάλλευση του πλοίου της όχι μόνο ανάμεσα στα φορτία αλλά και ανάμεσα στους τύπους ναύλωσης που ζητούνται.

#### **6.2.4 Απαιτήσεις υποστήριξης διαδικασίας επιλογής φορτίων**

Όπως περιγράφηκε παραπάνω η διαδικασία της εύρεσης φορτίων στηρίζεται στην ικανότητα και την επήρεια των στελεχών μιας ναυτιλιακής εταιρείας, χωρίς

ουσιαστική υποστήριξη από πληροφοριακά εργαλεία. Παρ' όλα αυτά η διαδικασία αυτή καταλήγει σε πολλές περιπτώσεις στο πραγματικά βέλτιστο αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις όπου στις οποίες η βέλτιστη επιλογή είναι ξεκάθαρη όπως για παράδειγμα όταν υπάρχει ένας μόνο φορτίο μικρότερης αλλά παραπλήσιας ποσότητας με την μεταφορική ικανότητα του πλοίου που να βρίσκεται κοντά στο λιμάνι όπου βρίσκεται διαθέσιμο το πλοίο. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου τα φορτία παραπλήσιου μεγέθους με την χωρητικότητα του πλοίου τα οποία βρίσκονται σε κοντινό λιμάνι είτε είναι πολλά σε πλήθος είτε δεν υπάρχει κανένα. Στην πρώτη περίπτωση η ανάδειξη του φορτίου, η μεταφορά του οποίου εκτιμάται να είναι η πιο κερδοφόρα, πρέπει να στηριχθεί στις προοπτικές ναύλωσης που προκύπτουν μετά την εκτέλεση της συγκεκριμένης μεταφοράς, ενώ στην δεύτερη περίπτωση πρέπει να ληφθούν υπόψη φορτία μικρότερου μεγέθους τα οποία είναι κοντά στο λιμάνι και η συνδυασμένη μεταφορά των οποίων μπορεί να είναι εξίσου συμφέρουσα με την μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων που βρίσκονται μακριά από το λιμάνι στο οποίο είναι διαθέσιμο το πλοίο. Η προσπάθεια εύρεσης του βέλτιστου φορτίου γίνεται ακόμα δυσκολότερη όταν υπάρχουν συμφωνίες για μεταφορά φορτίων από το συγκεκριμένο πλοίο σε μεταγενέστερη χρονική περίοδο από αυτή που εξετάζεται και η εκτέλεση των οποίων θα πρέπει να διασφαλιστεί.

Στις περιπτώσεις λοιπόν που ανάδειξη του βέλτιστου φορτίου δεν είναι προφανής, πρέπει σε πρώτη φάση να αναζητηθούν όλα τα πιθανά δρομολόγια του πλοίου με τα διαθέσιμα φορτία και ενδεχομένως να πρέπει να ελεγχθούν και περιπτώσεις παράλληλης μεταφορά δύο ή περισσότερων φορτίων. Στην συνέχεια πρέπει να αξιολογηθούν συγκριτικά όλα τα δρομολόγια που έχουν ελεγχθεί και είναι εφικτά, έτσι ώστε να προκύψει το πραγματικά βέλτιστο ή βέλτιστα φορτία που μπορεί

να μεταφέρει το πλοίο. Συχνά όμως τα υποψήφια δρομολόγια που πρέπει να ελεγχθούν και να αξιολογηθούν είναι πολλά σε πλήθος με αποτέλεσμα είτε η διαδικασία να γίνεται πολύ χρονοβόρα είτε να ελέγχονται και να αξιολογούνται επιλεκτικά κάποια δρομολόγια. Αν στις παραπάνω συνθήκες ληφθεί υπόψη η ανάγκη για άμεση αντίδραση των ναυτιλιακών εταιρειών στις απαιτήσεις της αγοράς, διαπιστώνεται άμεσα ότι θα ήταν πολύ χρήσιμη η ύπαρξη ενός πληροφοριακού εργαλείου που θα δημιουργεί όλα τα πιθανά δρομολόγια, θα ελέγχει την εφικτότητα τους και θα τα αξιολογεί συγκριτικά.

### **6.3 Εργαλεία υποστήριξης διαδικασίας επιλογής φορτίων**

Παρ' όλο που η διαδικασία επιλογής φορτίων είναι μείζονος σημασίας για την κερδοφορία των ναυτιλιακών εταιρειών που χρησιμοποιούν το στόλο τους στην ελεύθερη ναυτιλία, τα εργαλεία που έχουν παρουσιαστεί είτε στον εμπορικό τομέα είτε στον ερευνητικό δεν μπορούν να χαρακτηριστούν επαρκής για τις απαιτήσεις των εταιρειών.

Τα εμπορικά εργαλεία που έχουν στην διάθεση τους οι ναυτιλιακές εταιρείες για την υποστήριξη της συγκεκριμένης διαδικασίας περιγράφονται στην ενότητα 2.3.3 και ουσιαστικά περιορίζονται σε εργαλεία ανάλυσης κόστους και σε εργαλεία ηλεκτρονικών αγορών. Με την χρήση των πρώτων εργαλείων πραγματοποιούνται ακριβής εκτίμησης του κόστους εκτέλεσης του ταξιδιού που πρέπει να εκτελεστεί για την μεταφορά του κάθε φορτίου ξεχωριστά. Ενώ μέσα από τις ηλεκτρονικές αγορές οι εταιρείες μπορούν να βρουν επιπλέον φορτία αυξάνοντας έτσι τις επιλογές τους.

Οι ερευνητικές εργασίες που έχουν ως αντικείμενο την διαχείριση του στόλου των ναυτιλιακών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία περιγράφονται στην ενότητα 3.3.1. Οι εργασίες αυτές [3],[4],[6],[7],[9] αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της επιλογής φορτίων με παραπλήσιο τρόπο με το πρόβλημα δρομολόγησης στόλου. Η διαφοροποίηση στον τρόπο αντιμετώπισης των δυο προβλημάτων έγκειται ότι στην περίπτωση της επιλογής φορτίων

- επιδιώκεται η αύξηση του κέρδους από την μεταφορά των φορτίων
- δεν είναι υποχρεωτική η μεταφορά των φορτίων

Αποτέλεσμα των εργασιών αυτών είναι να παράγουν βέλτιστα δρομολόγια για το σύνολο του στόλου, λαμβάνοντας υπόψη μόνο το συνολικό κέρδος, αγνοώντας τον παράγοντα χρόνο και το γεγονός ότι η ζήτηση για μεταφορά φορτίων δεν παραμένει αμετάβλητη αλλά διαρκώς ανανεώνεται. Επιπλέον από τις εργασίες αυτές μόνο η εργασία των Fagerholt και Christiansen [7] επιτρέπει την παράλληλη μεταφορά φορτίων.

## **6.4 Προτεινόμενο εργαλείο υποστήριξης επιλογής φορτίων**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένα πληροφοριακό εργαλείο το οποίο αξιολογεί όλες τις δυνατές επιλογές που έχει ένα πλοίο, λαμβάνοντας υπόψη και άλλα κριτήρια πέραν του συνολικού κέρδους. Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τα διαθέσιμα φορτία τόσο ως προς τις προοπτικές που επιφέρει το καθένα από αυτά για νέες μεταφορές φορτίων όσο και να αξιολογήσει δρομολόγια παράλληλης μεταφοράς τους τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να

αποδειχθούν περισσότερο κερδοφόρα. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός το εργαλείο, παράγει όλα τα πιθανά δρομολόγια από ένα δεδομένο σύνολο φορτίων για ένα συγκεκριμένο πλοίο και στην συνέχεια αξιολογεί συγκριτικά τα δρομολόγια αυτά έτσι ώστε να προκύψει το φορτίο ή τα φορτία των οποίων η αρχική φόρτωση οδηγεί στα πιο κερδοφόρα δρομολόγια.

Η χρήση του ενδείκνυται στην περίπτωση που το βέλτιστο φορτίο για ένα πλοίο δεν είναι προφανές και πρέπει να μελετηθούν πλήθος φορτίων έτσι ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά φορτία που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο, τα οποία έχουν παραπλήσιο μέγεθος με την μεταφορική ικανότητα του πλοίου και βρίσκονται κοντά στο λιμάνι στο οποίο είναι διαθέσιμο το πλοίο, το εργαλείο αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τις προοπτικές που υπάρχουν μετά από την μεταφορά των υποψήφιων αυτών φορτίων με βάση την ζήτηση για μεταφορά φορτίων που υπάρχει την στιγμή που αναζητάτε το βέλτιστο φορτίο. Αντίθετα στην περίπτωση που δεν υπάρχουν φορτία παραπλήσιου μεγέθους με την μεταφορική ικανότητα του πλοίου κοντά στο λιμάνι που αυτό είναι διαθέσιμο, το προτεινόμενο εργαλείο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει και να συγκρίνει πληθώρα δρομολογίων. Τα δρομολόγια αυτά μπορεί να αφορούν είτε την παράλληλη μεταφορά μικρότερων φορτίων που βρίσκονται κοντά στο λιμάνι που είναι διαθέσιμο το πλοίο είτε την μεμονωμένη φόρτωση και μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων τα οποία όμως βρίσκονται μακριά από το λιμάνι στο οποίο είναι διαθέσιμο το πλοίο.

Οι ξεχωριστές λειτουργίες του εργαλείου, που αφορούν την δημιουργία όλων των πιθανών δρομολογίων από ένα δεδομένο σύνολο φορτίων, η αξιολόγηση των

δρομολογίων αυτών και η επιλογή των βέλτιστων φορτίων αναλύεται στις επόμενες ενότητες.

#### **6.4.1 Δημιουργία δρομολογίων**

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εύρεση όλων των πιθανών δρομολογίων από ένα δεδομένο σύνολο φορτίων, είναι αυτή που παρουσιάστηκε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο και αφορούσε την κατασκευή όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο για την μεταφορά ενός συνόλου φορτίων. Τα δυο αυτά προβλήματα αν και είναι υπό-προβλήματα μεγαλύτερων και διαφορετικών προβλημάτων ταυτίζονται και η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση τους μπορεί να είναι κοινή.

Προκειμένου κατά την αξιολόγηση των δρομολογίων να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο της αξιοπιστίας και της εμπιστοσύνης που υπάρχει από την εταιρεία προς τους υπεύθυνους των φορτίων και γενικότερα ως προς την πληροφόρηση για κάθε φορτίου, απαιτείται ένα ακόμα στοιχείο για κάθε φορτίο που συμμετέχει στην δημιουργία του δέντρου δρομολογίων, σε σχέση με αυτά που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.4 το οποίο καταγράφεται και στους κόμβους του δέντρου δρομολογίων. Το στοιχείο αυτό είναι η αξιοπιστία του φορτίου η οποία χαρακτηρίζεται από ένα θετικό αριθμό μικρότερο ή ίσο της μονάδας, του οποίου η τιμή όσο υψηλότερη είναι τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το φορτίο. Να σημειωθεί ότι το στοιχείο αυτό στην περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας και του προβλήματος δρομολόγησης στόλου δεν έχει νόημα αφού τα φορτία ανήκουν στην κυριότητα της ίδιας της εταιρείας. Κατά την κατασκευή του δέντρου δρομολογίων, όταν δημιουργείται ένας νέος

κόμβος που αφορά την φόρτωση ενός φορτίου τότε η τιμή αξιοπιστίας που έχει καταγραφεί στον εξεταζόμενο κόμβο πολλαπλασιάζεται με την τιμή αξιοπιστίας του εξεταζόμενου κόμβου και το γινόμενο που προκύπτει καταγράφεται στον καινούργιο κόμβο. Αντίθετα όταν δημιουργείται ένας νέος κόμβος που αφορά την εκφόρτωση ενός φορτίου τότε η τιμή της αξιοπιστίας του εξεταζόμενου κόμβου αντιγράφεται στον νέο κόμβο. Με τον τρόπο αυτό στον τελικό κόμβο κάθε δρομολογίου καταγράφεται το γινόμενο της αξιοπιστίας όλων των φορτίων που εξυπηρετούνται στο συγκεκριμένο δρομολόγιο.

#### **6.4.2 Αξιολόγηση δρομολογίων**

Η αξιολόγηση των δρομολογίων αποτελεί την δεύτερη λειτουργία του προτεινόμενου εργαλείου η οποία στόχο έχει να κατατάξει τα πιθανά δρομολόγια ανάλογα με το πόσο κερδοφόρα είναι αυτά και να διακρίνει τα φορτία που οδηγούν στα δρομολόγια αυτά.

##### **6.4.2.1 Κριτήρια αξιολόγησης**

Η φύση του προβλήματος και ιδιαίτερα το γεγονός ότι η ζήτηση για μεταφορά φορτίων που είναι γνωστή μια δεδομένη χρονική στιγμή δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, εμποδίζει την χρήση του συνολικού κέρδους ως αποκλειστικό κριτήριο. Αποτέλεσμα αυτού είναι να χρησιμοποιούνται πολλαπλά κριτήρια για την αξιολόγηση των δρομολογίων τα οποία είναι τα εξής:



1. Το συνολικό κέρδος του κάθε δρομολογίου, το οποίο προκύπτει από την διαφορά των εσόδων από τα έσοδα εκτέλεσης του δρομολογίου. Να σημειωθεί ότι κατά την κατασκευή του δέντρου δρομολογίων όπως περιγράφηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, υπολογίζεται τόσο το κόστος όσο και τα έσοδα από την μεταφορά φορτίων αθροιστικά. Έτσι στον τελικό κόμβο του κάθε δρομολογίου καταγράφεται το συνολικό κόστος και τα συνολικά έσοδα του δρομολογίου που ξεκινάει από την ρίζα του δέντρου και καταλήγει στον αντίστοιχο κόμβο. Το κριτήριο αυτό είναι ουσιαστικά το βασικό κριτήριο αξιολόγησης των δρομολογίων καθώς αντικατοπτρίζει το γενικότερο στόχο λειτουργίας των εταιρειών που είναι η αύξηση του κέρδους. Ωστόσο λειτουργεί συμπληρωματικά κατά την αξιολόγηση των δρομολογίων μαζί με το επόμενο κριτήριο.
2. Ο ρυθμός κέρδους ανά ημέρα του κάθε δρομολογίου, ο οποίος προκύπτει από το συνολικό κέρδος του δρομολογίου διαιρούμενο με το πλήθος των ημερών του δρομολογίου. Δεδομένου ότι τα διάφορα δρομολόγια που προκύπτουν έχουν διαφορετική χρονική διάρκεια εκτέλεσης το κριτήριο του συνολικού κέρδους δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μοναδικό κριτήριο σχετικό με το κέρδος. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί να υπάρχουν δρομολόγια που αποφέρουν μικρότερο κέρδος από κάποια άλλα, αλλά να απασχολούν το πλοίο για πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να έχουν καλύτερο ρυθμό κερδών από αυτά που αποφέρουν περισσότερα κέρδη. Τέτοια δρομολόγια μικρής χρονικής διάρκειας μπορεί να εμπεριέχουν τον κίνδυνο να βρεθεί το πλοίο χωρίς φορτίο αν ακολουθήσει κάποιο από αυτά αλλά παρ' όλα αυτά να είναι προτιμότερα σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που η

εταιρεία αναζητά το μέγιστο κέρδος ανά ημέρα και αισιοδοξεί ότι σε μελλοντικό χρόνο θα υπάρξει νέα ζήτηση για μεταφορά φορτίων στην περιοχή όπου ολοκληρώνονται τα δρομολόγια αυτά έτσι ώστε το πλοίο να μην βρεθεί χωρίς φορτίο αν πραγματοποιήσει κάποιο από αυτά. Αντίθετα σε περιπτώσεις που η εταιρεία είναι απαισιόδοξη για την πορεία της ζήτησης των φορτίων μπορεί να θεωρεί καλύτερα τα δρομολόγια που αποφέρουν το μέγιστο κέρδος και τα οποία συνήθως απασχολούν το πλοίο της για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια μειώνοντας και ας έχουν μικρότερο ρυθμό κερδών από άλλα δρομολόγια. Σε τέτοιες περιπτώσεις το κριτήριο του ρυθμού κερδών είναι δευτερεύουσας σημασίας για την εταιρεία. Για τον λόγο αυτό ο ρυθμός εσόδων χρησιμοποιείται ως συμπληρωματικό κριτήριο του κριτηρίου των συνολικών εσόδων.

3. Η συνολική αξιοπιστία του δρομολογίου η οποία προκύπτει από το γινόμενο της αξιοπιστίας όλων των φορτίων που εξυπηρετούνται από το δρομολόγιο. Το κριτήριο αυτό σε περιπτώσεις όπου στην δημιουργία του δέντρου δρομολογίων μετέχουν φορτία για τα οποία δεν υπάρχει εγγύηση για την παρεχόμενη πληροφορία, είναι βαρύνουσας σημασίας καθώς ο τρόπος λειτουργίας της ναυτιλιακής αγοράς στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στις σχέσεις εμπιστοσύνης και αξιοπιστίας που χαρακτηρίζει τους εμπλεκόμενους.

Η σύνθεση των επιδόσεων κάθε δρομολογίου στα παραπάνω κριτήρια έτσι ώστε να προκύψει μια συνολική αξιολόγηση γίνεται μέσω της συνάρτησης χρησιμότητας που αναλύεται στην επόμενη ενότητα.

#### 6.4.2.2 Συνάρτηση χρησιμότητας

Η συνάρτηση χρησιμότητας αποτελεί μια συνάρτηση η οποία συνθέτει την επίδοση του κάθε δρομολογίου στα τρία διαφορετικά κριτήρια σε μια τελική τιμή η οποία αποτελεί το κριτήριο βάση του οποίου πραγματοποιείται η τελική αξιολόγηση των δρομολογίων. Λόγω της ασυμβατότητας μεταξύ των τιμών των κριτηρίων η συνάρτηση χρησιμότητας  $U$  που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο εργαλείο είναι αυτή της σταθμισμένης πρόσθεσης. και η τιμή της για το δρομολόγιο  $i$  είναι η εξής.

$$U(i) = w_1 P_i / P_{max} + w_2 R_i / R_{max} + w_3 C_i / C_{max} \quad (20)$$

Όπου

- $w_i$  με  $i = 1, 2, 3$  είναι το βάρος με το οποίο κάθε κριτήριο μετέχει στην συνάρτηση χρησιμότητας. Για τις τιμές των  $w_i$  ισχύει ότι  $0 \leq w_i \leq 1$  και επιπλέον  $\sum w_i = 1$ .
- $P_i$  είναι το κέρδος που προκύπτει από την εκτέλεση του δρομολογίου  $i$
- $P_{max}$  είναι το μέγιστο κέρδος δρομολογίου που υπολογίσθηκε κατά την κατασκευή των δρομολογίων
- $R_i$  είναι ο ρυθμός κερδών που προκύπτει από την εκτέλεση του δρομολογίου  $i$
- $R_{max}$  είναι ο μέγιστος ρυθμός κερδών που υπολογίσθηκε κατά την κατασκευή των δρομολογίων.
- $C_i$  είναι η συνολική αξιοπιστία του δρομολογίου  $i$
- $C_{max}$  είναι η μέγιστη αξιοπιστία δρομολογίου που υπολογίσθηκε κατά την κατασκευή των δρομολογίων.

Λόγω της στάθμισης τόσο των βαρών  $w_i$  όσο και της τιμής του κάθε κριτηρίου στην συνάρτηση χρησιμότητας, το πεδίο τιμών της συνάρτησης αυτής είναι το  $(0,1]$ .

Μετά από την αποτίμηση της συνάρτησης χρησιμότητας για κάθε δρομολόγιο επιλογής φορτίων που έχει δημιουργηθεί, προκύπτει μια φθίνουσα κατάταξη των δρομολογίων βάση της τιμής της συνάρτησης χρησιμότητας.

#### **6.4.2.3 Επιλογή βέλτιστων φορτίων προς φόρτωση**

Δεδομένου ότι αυτό που ενδιαφέρει άμεσα τις εταιρείες είναι να βρουν το φορτίο που πρόκειται να φορτωθεί άμεσα και όχι να κάνουν έναν μακροχρόνιο προγραμματισμό μεταφοράς φορτίων, το εργαλείο δεν περιορίζεται στην ανάδειξη το καλύτερου δρομολογίου αλλά αναδεικνύει το φορτίο ή τα φορτία εκείνα που εκτιμάται ότι έχουν τις καλύτερες προοπτικές σε βάθος χρόνου για να αποφέρουν τα μεγαλύτερα κέρδη στην εταιρεία.

Με βάση την κατάταξη των δρομολογίων βάσης της τιμής της συνάρτησης χρησιμότητας το βέλτιστο φορτίο είναι αυτό που φορτώνεται πρώτο στο δρομολόγιο με την καλύτερη βαθμολογία. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δρομολόγιο με την καλύτερη βαθμολογία προέρχεται από την αρχική φόρτωση και παράλληλη μεταφορά δύο ή περισσότερων φορτίων και η απομόνωση μόνο του πρώτου φορτίου μπορεί να οδηγήσει σε δρομολόγια τα οποία δεν είναι βέλτιστα. Για τον λόγο αυτό το εργαλείο επιστρέφει όλα τα φορτία που φορτώνονται αρχικά μέχρι να πραγματοποιηθεί η πρώτη εκφόρτωση φορτίου στο δρομολόγιο με την καλύτερη

βαθμολογία. Τα φορτία αυτά επιστρέφονται ως μια επιλογή και όχι σαν εναλλακτικά φορτία.

Ωστόσο όπως παρουσιάζεται και στην επόμενη ενότητα των πειραματικών αποτελεσμάτων, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις τα επόμενα δρομολόγια μετά το βέλτιστο ξεκινούσαν και αυτά σε μεγάλο ποσοστό από την φόρτωση του ίδιου φορτίου από το οποίο ξεκινούσε και το βέλτιστο δρομολόγιο, υπήρξαν περιπτώσεις όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των επόμενων στην κατάταξη δρομολογίων οδηγούσε στην αρχική φόρτωση διαφορετικού φορτίου. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι στις περιπτώσεις αυτές η φόρτωση του φορτίου που προκύπτει από το βέλτιστο δρομολόγιο δεν αφήνει πολλές επιλογές για μετέπειτα φορτώσεις φορτίων πέρα από αυτές που πραγματοποιούνται στο βέλτιστο δρομολόγιο. Για τον λόγο αυτό στις περιπτώσεις όπου στα  $n$  πρώτα δρομολόγια το ποσοστό των δρομολογίων που δεν προκύπτουν από την αρχική φόρτωση του ίδιου φορτίου με αυτό του βέλτιστου δρομολογίου, ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο  $t$ , τότε το εργαλείο επιστέφει και δεύτερο φορτίο. Το δεύτερο αυτό φορτίο προκύπτει από το αμέσως επόμενο δρομολόγιο από το βέλτιστο, που έχει διαφορετικό αρχικό φορτίο. Σε περίπτωση που στα  $n$  πρώτα δρομολόγια το ποσοστό αυτών που ξεκινούν από τα δυο φορτία που έχουν επιλεγεί είναι μικρότερο από  $t$  τότε επιλέγεται και τρίτο φορτίο και ούτω καθεξής. Οι τιμές των  $n$  και  $t$  είναι παραμετρικές για το εργαλείο και καθορίζονται από τον χρήστη. Έτσι αν  $n=1$  τότε επιστρέφονται τα φορτία που αντιστοιχούν στο βέλτιστο δρομολόγιο, ενώ όταν  $t=100\%$  τότε επιστρέφονται όλα τα διαφορετικά φορτία που προκύπτουν από τα  $n$  πρώτα δρομολόγια.

## 6.5 Πειραματικά Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική εκτέλεση του εργαλείου αξιολόγησης. Στην πειραματική αυτή χρήση πραγματοποιήθηκαν δυο πειράματα. Το πλήθος των φορτίων σε κάθε πείραμα ήταν σταθερό στα 30 φορτία κάθε ένα από τα οποία μπορούσε να φορτωθεί τουλάχιστον σε ένα δρομολόγιο. Σημαντικός παράγοντας στην αξιολόγηση των δρομολογίων έχει η τιμή του ναύλου ανά μεταφερόμενο τόνο κάθε φορτίου. Στα πειράματα που εκτελέστηκαν προκειμένου ο παράγοντας του ναύλου ανά τόνο να μην έχει επιρροή στο αποτέλεσμα της αξιολόγησης, ο ναύλος ανά τόνο για κάθε φορτίο ορίστηκε ως το γινόμενο ενός σταθερού παράγοντα με τα μίλια που απέχει το λιμάνι φόρτωσης από το λιμάνι εκφόρτωσης.

Στόχος του πρώτου πειράματος είναι να αναδεχθεί το είδος των δρομολογίων που επιλέγεται ως βέλτιστο από την προτεινόμενη μέθοδο αξιολόγησης ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) ενώ ο στόχος του δεύτερου πειράματος είναι να αναδειχθεί το πλήθος των βέλτιστων φορτίων που προκύπτουν ανάλογα με την κατανομή των φορτίων στο χρόνο.

### 6.5.1 Πείραμα 1<sup>ο</sup>: Επιρροή συντελεστών κριτηρίων στη χρονική διάρκεια του βέλτιστου φορτίου

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι να μελετηθεί η επιρροή των συντελεστών των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται στην συνάρτηση χρησιμότητας (20) για την

αξιολόγηση των δρομολογίων, στην χρονική διάρκεια που έχει το δρομολόγιο που επιλέγεται ως βέλτιστο. Στο πείραμα αυτό η κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων ακολουθούσε τις κατανομές που περιγράφηκαν στην ενότητα 5.2.1.

Στο πείραμα αυτό εκτελέστηκαν 10 στιγμιότυπα κάθε ένα από τα οποία είχε διαφορετικά φορτία και κάθε στιγμιότυπο αξιολογήθηκε 11 φορές. Κάθε αξιολόγηση διέφερε ως προς τις τιμές των παραμέτρων ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) και τα έξι ήδη των αξιολογήσεων που πραγματοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 16. Όπως φαίνεται και στον πίνακα σε καμία αξιολόγηση δεν λήφθηκε υπόψη το κριτήριο της αξιοπιστίας των δρομολογίων που δημιουργούνται έτσι ώστε να μελετηθεί η αλληλεπίδραση του ρυθμού κέρδους και του συνολικού κέρδους στην ανάδειξη του βέλτιστου δρομολογίου. Από κάθε αξιολόγηση καταγράφονταν η χρονική διάρκεια του βέλτιστου δρομολογίου που επιλέγονταν  $RD_{w_1, w_2, w_3}$ , η οποία στην συνέχεια συγκρίνονταν με την χρονική διάρκεια του βέλτιστου δρομολογίου που προέκυπτε από την πρώτη αξιολόγηση  $RD_{1,0,0}$ . Να σημειωθεί ότι η πρώτη αξιολόγηση ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) = (1, 0, 0) αναδεικνύει ως βέλτιστο το δρομολόγιο που επιφέρει τα μεγαλύτερα κέρδη αδιαφορώντας για τον ρυθμό κερδών ως παράμετρο.

**Πίνακας 16: Παράμετροι αξιολόγησης πρώτου πειράματος**

| Αξιολόγηση                 | $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| 1 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 1     | 0     | 0     |
| 2 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.9   | 0.1   | 0     |
| 3 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.8   | 0.2   | 0     |
| 4 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.7   | 0.3   | 0     |
| 5 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.6   | 0.4   | 0     |
| 6 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.5   | 0.5   | 0     |
| 7 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.4   | 0.6   | 0     |
| 8 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.3   | 0.7   | 0     |
| 9 <sup>η</sup> Αξιολόγηση  | 0.2   | 0.8   | 0     |
| 10 <sup>η</sup> Αξιολόγηση | 0.1   | 0.9   | 0     |
| 11 <sup>η</sup> Αξιολόγηση | 0     | 1     | 0     |

Μετά την εκτέλεση και των 10 στιγμιότυπων του πειράματος υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε συσχέτιση  $RD_{w_1, w_2, w_3} / RD_{1,0,0}$  που προέκυψε από τις αξιολογήσεις του Πίνακα 16. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 17: Αποτελέσματα πρώτου πειράματος**

| $(w_1, w_2, w_3)$ | 1 <sup>η</sup> | 2 <sup>η</sup> | 3 <sup>η</sup> | 4 <sup>η</sup> | $RD_{w_1, w_2, w_3} / RD_{1,0,0}$ |     |   |     | 8 <sup>η</sup> | 9 <sup>η</sup> | 10 <sup>η</sup> | μ.τ   |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|-----|---|-----|----------------|----------------|-----------------|-------|
| 1,0,0             | 1              | 1              | 1              | 1              | 1                                 | 1   | 1 | 1   | 1              | 1              | 1               | 1     |
| 0.9, 0.1, 0       | 1              | 1              | 1              | 1              | 1                                 | 1   | 1 | 1   | 1              | 0.95           | 1               | 0.995 |
| 0.8, 0.2, 0       | 1              | 0.85           | 0.92           | 1              | 1                                 | 0.9 | 1 | 1   | 1              | 0.95           | 1               | 0.962 |
| 0.7, 0.3, 0       | 0.82           | 0.85           | 0.92           | 1              | 1                                 | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.95           | 0.87           | 0.911           | 0.911 |
| 0.6, 0.4, 0       | 0.82           | 0.85           | 0.92           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.78           | 0.87           | 0.873           | 0.873 |
| 0.5, 0.5, 0       | 0.82           | 0.7            | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.78           | 0.71           | 0.825           | 0.825 |
| 0.4, 0.6, 0       | 0.65           | 0.7            | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.78           | 0.71           | 0.808           | 0.808 |
| 0.3, 0.7, 0       | 0.65           | 0.7            | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.58           | 0.71           | 0.788           | 0.788 |
| 0.2, 0.8, 0       | 0.65           | 0.7            | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.58           | 0.51           | 0.768           | 0.768 |
| 0.1, 0.9, 0       | 0.65           | 0.45           | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.58           | 0.51           | 0.743           | 0.743 |
| 0, 1, 0           | 0.65           | 0.45           | 0.75           | 1              | 0.79                              | 0.9 | 1 | 0.8 | 0.58           | 0.51           | 0.743           | 0.743 |

Εξετάζοντας κάθε στήλη του Πίνακα 17 με τα αποτελέσματα από πάνω προς τα κάτω, κάθε αλλαγή στην τιμή της σχέσης  $RD_{w_1, w_2, w_3} / RD_{1,0,0}$  αντιστοιχεί σε αλλαγή του βέλτιστου δρομολογίου για την αντίστοιχη αξιολόγηση σε σχέση με την προηγούμενη. Από την εναλλαγή των τιμών της σχέσης  $RD_{w_1, w_2, w_3} / RD_{1,0,0}$  σε κάθε στήλη προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται η επιρροή του κριτηρίου που αφορά των ρυθμό κερδών έναντι της επιρροής του κριτηρίου που αφορά το σύνολο των κερδών, τόσο μικραίνει η χρονική διάρκεια του βέλτιστου δρομολογίου που επιλέγεται όπως και το πλήθος των φορτίων που εξυπηρετούνται από αυτό. Επιπλέον παρατηρούμε ότι σε δυο εκτελέσεις το βέλτιστο σενάριο παρέμεινε το ίδιο ανεξαρτήτως των τιμών που είχαν οι συντελεστές των κριτηρίων. Στις περιπτώσεις αυτές το συγκεκριμένο δρομολόγιο είχε τα περισσότερα κέρδη και το μεγαλύτερο ρυθμό κερδών.



Οι παραπάνω παρατηρήσεις μπορούν να εξηγηθούν από το γεγονός ότι το κέρδος που αποφέρει η μεταφορά ενός φορτίου εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου και την απόσταση που πρέπει αυτό να μεταφερθεί με αποτέλεσμα όσο περισσότερα κέρδη έχει ένα δρομολόγιο τόσο μεγαλύτερες να είναι οι ποσότητες που μεταφέρονται ή / και τόσο περισσότερα τα μίλια που διανύονται σε αυτό. Για να αυξηθεί όμως η ποσότητα των φορτίων και τα μίλια σε ένα δρομολόγιο πρέπει είτε να μεταφέρονται σε αυτό φορτία που είναι μεγάλα σε μέγεθος και απαιτείται να μεταφερθούν για πολλά μίλια είτε απλά να μεταφέρονται πολλά φορτία. Ωστόσο όσο περισσότερα είναι τα φορτία που μεταφέρονται σε ένα δρομολόγιο τόσο μεγαλύτερα τα διαστήματα που το πλοίο που το εκτελεί επιφέρει καθόλου ή ελάχιστα κέρδη. Αυτό συμβαίνει γιατί είτε το πλοίο ταξιδεύει χωρίς φορτίο από το ένα λιμάνι εκφόρτωσης στο επόμενο λιμάνι είτε γιατί το πλοίο βρίσκεται σε κάποιο λιμάνι για την φόρτωση ή εκφόρτωση κάποιου φορτίου είτε γιατί το πλοίο ταξιδεύει εκμεταλλευόμενο μικρό μέρος της μεταφορικής του ικανότητας. Όσο όμως αυξάνεται ο χρόνος που δεν επιφέρει κέρδη σε ένα δρομολόγιο τόσο μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο το δρομολόγιο επιφέρει κέρδη. Αντίστροφα όσο μειώνεται ο χρόνος ενός δρομολογίου που δεν επιφέρει κέρδη τόσο αυξάνεται ο ρυθμός κερδών. Για να μειωθεί αυτός ο χρόνος πρέπει να μειωθεί ο αριθμός των φορτίων που μεταφέρονται σε ένα δρομολόγιο. Αν όμως μειωθεί ο αριθμός των φορτίων και δεν υπάρχουν φορτία μεγάλα σε μέγεθος που πρέπει να μεταφερθούν για πολλά μίλια τόσο μειώνονται τα κέρδη από την εκτέλεση του δρομολογίου. Με βάση τα παραπάνω στις περιπτώσεις των στιγμιότυπων του πειράματος που εκτελέστηκε στις οποίες δεν μεταβλήθηκε το βέλτιστο δρομολόγιο, προφανώς στα δρομολόγια αυτά είτε μεταφέρονταν κάποιο μεγάλο φορτίο για πολλά μίλια είτε μεταφέρονταν μεγάλα

φορτία χωρίς το πλοίο να ταξιδεύει άδριο για μεγάλα διαστήματα. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις το δρομολόγιο με τα μεγαλύτερα κέρδη δεν ταυτίζεται με το δρομολόγιο με τον μεγαλύτερο ρυθμό κερδών.

### **6.5.2 Πείραμα 2<sup>ο</sup>:Επιρροή κατανομής φορτίων στο πλήθος βέλτιστων φορτίων**

Στο πείραμα αυτό μελετήθηκε η επιρροή στο πλήθος των βέλτιστων φορτίων της κατανομής των φορτίων, με μέγεθος μεγαλύτερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα εκτελέστηκαν τρία υπό-πειράματα σε κάθε ένα από τα οποία μεταβάλλονταν η κατανομή στον χρόνο των φορτίων με μέγεθος μεγαλύτερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των φορτίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ακολουθούσαν την αντίστοιχη κατανομή που περιγράφεται στην ενότητα 5.2.1. Στο πρώτο υπό-πείραμα το 30% από τα φορτία αυτά είχε ημερομηνία έναρξης διαθεσιμότητας ομοιόμορφα κατανεμημένη στο διάστημα [0,5] ημέρες ενώ το υπόλοιπο ποσοστό μαζί και με τα φορτία που είχαν μέγεθος μικρότερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου η ημερομηνία διαθεσιμότητας ακολουθούσε κατανομή Poisson με μέση τιμή τις 20 μέρες. Το υπό-πείραμα αυτό είχε ως στόχο να αντιπροσωπεύσει περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός μεγάλων φορτίων τα οποία βρίσκονται κοντά στο πλοίο και είναι άμεσα διαθέσιμα προς φόρτωση. Στο δεύτερο υπό-πείραμα για όλα τα φορτία η ημερομηνία διαθεσιμότητας ακολουθούσε κατανομή Poisson με μέση τιμή τις 20 μέρες, αντιπροσωπεύοντας μια μέση περίπτωση διαθέσιμου συνόλου φορτίων. Τέλος στο τρίτο υπό-πείραμα στα μεγάλα φορτία ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένα στο διάστημα [10,35] ημέρες ενώ τα

υπόλοιπα στα υπόλοιπα φορτία η ημερομηνία διαθεσιμότητας ακολουθούσε κατανομή Poisson με μέση τιμή τις 20 μέρες. Το υπό-πείραμα αυτό είχε ως στόχο να αντιπροσωπεύσει περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν φορτία τα οποία να βρίσκονται κοντά στο πλοίο και είναι άμεσα διαθέσιμα προς φόρτωση.

Για κάθε ένα από τα παραπάνω υπό-πειράματα εκτελέστηκαν 10 στιγμιότυπα το καθένα με διαφορετικά φορτία. Κάθε στιγμιότυπο αξιολογήθηκε τρεις φορές, όπου σε κάθε αξιολόγηση μεταβάλλονταν ο συνδυασμός των μεταβλητών  $n$  και  $t$  που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των βέλτιστων φορτίων από τα βέλτιστα δρομολόγια. Σε όλες τις αξιολογήσεις οι τιμές των παραμέτρων ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) ήταν σταθερές και στην τιμή (0.5, 0.5, 0). Οι τρεις αυτές αξιολογήσεις περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 18: Παράμετροι αξιολόγησης δευτέρου πειράματος**

| Αξιολόγηση                | $n$ | $t$  |
|---------------------------|-----|------|
| 1 <sup>η</sup> Αξιολόγηση | 1   | -    |
| 2 <sup>η</sup> Αξιολόγηση | 10  | 100% |
| 3 <sup>η</sup> Αξιολόγηση | 40  | 100% |

Η πρώτη αξιολόγηση επιστρέφει το φορτίο ή τα φορτία που αντιστοιχούν στο βέλτιστο δρομολόγιο, η δεύτερη επιστρέφει τα φορτία που αντιστοιχούν στα 10 καλύτερα δρομολόγια και η Τρίτη αξιολόγηση τα φορτία που αντιστοιχούν στα 40 καλύτερα φορτία. Για κάθε υπό-πείραμα και κάθε αξιολόγηση καταγράφηκε το μέσο πλήθος των φορτίων που ανακτήθηκε το οποίο παρουσιάζεται στον Πίνακα 19.

**Πίνακας 19: Αποτελέσματα δευτέρου πειράματος**

| (n,t)      | Κατανομή μεγάλων φορτίων |       |         |
|------------|--------------------------|-------|---------|
|            | [0,5]                    | P(20) | [10,35] |
| (1, -)     | 1                        | 1.1   | 1.7     |
| (10, 100%) | 2.2                      | 2.8   | 4.9     |
| (40,100%)  | 4.6                      | 7.3   | 15.4    |

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα διαπιστώνεται ότι στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα μεγάλα φορτία κοντά στο πλοίο τότε η μέθοδος αξιολόγησης επιστρέφει φορτία για παράλληλη μεταφορά, ενώ το πλήθος των βέλτιστων φορτίων αυξάνεται καθώς αυξάνεται το πλήθος των δρομολογίων από τα οποία αναζητούνται. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα βέλτιστα δρομολόγια είναι διάσπαρτα στο δέντρο δρομολογίων και ξεκινάνε από την φόρτωση διαφορετικών φορτίων. Αντίθετα στην περίπτωση όπου υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα μεγάλα φορτία κοντά στο πλοίο, τότε το βέλτιστο δρομολόγιο προκύπτει πάντα από την μεταφορά ενός μόνο φορτίου, ενώ τα βέλτιστα δρομολόγια είναι συγκεντρωμένα σε συγκεκριμένα υπό-δέντρα του δέντρου δρομολογίων τα οποία ξεκινούν από ένα περιορισμένο αριθμό φορτίων.

## **7 Δικτυακό Σύστημα Ηλεκτρονικών Ναυλώσεων USNES**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο δικτυακό πληροφοριακό σύστημα στο οποίο ενσωματώνεται το εργαλείο αξιολόγησης επιλογών φορτίων, το οποίο παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι η υποστήριξη της διαδικασίας ναύλωσης πλοίων για λογαριασμό των ναυτιλιακών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον χώρο της ελεύθερης ναυτιλίας. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται συνοπτικά το συγκεκριμένο σύστημα καθώς και τρόπος με τον οποίο παραμετροποιείται ο αλγόριθμός κατασκευής δρομολογίων.

### **7.1 Περιγραφή συστήματος**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά το σύστημα ηλεκτρονικών ναυλώσεων USNES. Το σύστημα αυτό είναι ένα δικτυακό σύστημα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως ιδιόκτητο σύστημα μιας ναυτιλιακής εταιρείας η οποία το διαχειρίζεται και η οποία δίνει δυνατότητα πρόσβασης σε αυτό μόνο στους συνεργάτες της και τα πλοία της είτε ως ηλεκτρονική αγορά στην οποία έχουν ελεύθερη πρόσβαση τόσο οι διαχειριστές φορτίων όσο και οι διαχειριστές πλοίων.

Το USNES πέρα από την υποστήριξη της διαδικασίας ναύλωσης πλοίων για λογαριασμό των ναυτιλιακών εταιρειών στόχο έχει να αποτελέσει και ένα μέσο επικοινωνίας των βασικών εμπλεκομένων στην διαδικασία αυτή. Οι βασικοί εμπλεκόμενοι στην διαδικασία της ναύλωσης είναι και οι χρήστες του συστήματος.

Οι ρόλοι που μπορούν να έχουν οι χρήστες αυτοί στο σύστημα καθώς και οι υπηρεσίες που λαμβάνουν από το σύστημα περιγράφονται στις επόμενες δυο ενότητες.

### **7.1.1 Εμπλεκόμενοι ρόλοι**

Οι εμπλεκόμενοι ρόλοι του συστήματος είναι οι κύριοι συμμετέτοχοι στην διαδικασία της διαπραγμάτευσης των ναυλώσεων και εκτέλεσης αυτών. Οι ρόλοι αυτοί είναι οι εξής:

- **Ο υπεύθυνος ναύλωσης**, ο οποίος είναι το αρμόδιο πρόσωπο από πλευράς ναυτιλιακής εταιρείας για την συνεχή εμπορική χρήση των πλοίων της με το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος για την εταιρεία. Στόχος του υπεύθυνου ναύλωσης είναι για την ναύλωση κάθε πλοίου το οποίο διαχειρίζεται να βρίσκει την κατάλληλη στιγμή φορτία που εκτιμάται ότι με βάση τις συνθήκες της αγοράς είναι τα πλέον κερδοφόρα. Για να το επιτύχει αυτό θα πρέπει να έχει πολύ καλή γνώση της κατάστασης των πλοίων και των τιμών της αγοράς καθώς και γρήγορες αντιδράσεις στην ζήτηση που υπάρχει για μεταφορά φορτίων. Ο υπεύθυνος ναύλωσης στα πλαίσια των εργασιών του βρίσκεται σε συχνή επικοινωνία και διαπραγματεύσεις με τους διαχειριστές των φορτίων προκειμένου να επιτύχει τις επιθυμητές συμφωνίες ναύλωσης των πλοίων της εταιρείας για την μεταφορά των φορτίων. Το σύστημα USNES στόχο έχει να υποστηρίξει ηλεκτρονικά και δικτυακά το συγκεκριμένο ρόλο παρέχοντας του πληροφορίες για τα φορτία αλλά και αξιολογώντας όλα

τα πιθανά δρομολόγια ενός πλοίου, με βάση τα φορτία που είναι γνωστά στην εταιρεία την εκάστοτε χρονική στιγμή.

- **Υπεύθυνος λειτουργίας στόλου**, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ομαλή και σύμφωνα με τα συμβόλαια εκτέλεση των ναυλώσεων από τα πλοία. Στόχος του είναι να οργανώνει και να διαχειρίζεται την εκτέλεση των συμφωνιών για μεταφορά φορτίων με τα πλοία της εταιρείας που έχουν επιτύχει οι υπεύθυνοι ναύλωσης. Στα πλαίσια των εργασιών του βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με όλα τα πλοία τα οποία είναι υπό την ευθύνη του για τον συντονισμό του τρόπου λειτουργίας τους. Ο υπεύθυνος διαχείρισης στόλου είναι ο διαχειριστής όλων εκείνων των στοιχείων κάθε πλοίου όπως λειτουργικά έξοδα μέσες ταχύτητες κλπ που απαιτούνται για τον υπολογισμό των δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει το πλοίο.
- **Διαχειριστής φορτίων**, ο οποίος λειτουργεί εκ μέρους των ιδιοκτητών των φορτίων και στόχο έχει την ναύλωση πλοίου για την μεταφορά των φορτίων που διαχειρίζεται με τους καλύτερους δυνατούς οικονομικούς όρους. Οι διαχειριστές των φορτίων ενημερώνουν τις ναυτιλιακές εταιρείες με τα στοιχεία της ζήτησης για μεταφορά των φορτίων που διαθέτουν και αναμένουν από αυτές προσφορές. Από την στιγμή που λαμβάνουν μια προσφορά από κάποια εταιρεία οι διαχειριστές βρίσκονται σε συνεχής διαπραγματεύσεις με τους υπεύθυνους ναύλωσης προκειμένου να καταλήξουν είτε σε συμφωνία είτε σε απόσυρση του ενδιαφέροντος από πλευράς ναυτιλιακής εταιρείας. Οι διαχειριστές φορτίων είναι αυτοί που τροφοδοτούν το σύστημα USNES με τα διαθέσιμα προς μεταφορά φορτία που υπάρχουν στην αγορά.

- **Υπεύθυνος πλοίου**, ο οποίος αναλαμβάνει την αποστολή καθημερινών αναφορών προς την ναυτιλιακή εταιρεία στις οποίες αναφέρονται τόσο η κατάσταση και θέση του πλοίου όσο και το σύνολο των εργασιών που εκτελέστηκαν σχετικές με την μεταφορά των φορτίων που έχει αναλάβει το πλοίο. Ο υπεύθυνος πλοίο βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με τον υπεύθυνο λειτουργίας στόλου που βρίσκεται στην εταιρεία για τον συντονισμό του τρόπου λειτουργίας του πλοίου. Τα στοιχεία των αναφορών που αποστέλλονται από τους υπεύθυνους των πλοίων χρησιμοποιούνται για την εγκυρότερη εκτίμηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των δρομολογίων.

Σε όλους τους χρήστες του συστήματος αναθέτεται ένας οι περισσότεροι από τους παραπάνω ρόλους. Με βάση τους ρόλους που του αναθέτονται καθορίζεται και το σύνολο των υπηρεσιών που παρέχονται στο χρήστη από το σύστημα USNES.

Να σημειωθεί ότι πέρα από τους παραπάνω ρόλους υπάρχουν πλήθος άλλων ρόλων που συμμετέχουν στην διαπραγμάτευση των ναυλώσεων και στην εκτέλεση των ταξιδιών, ωστόσο στόχος του συστήματος USNES είναι να δείξει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να υποστηριχθεί η διαδικασία εύρεσης φορτίων και οι παραπάνω ρόλοι είναι το μικρότερο δυνατό σύνολο ρόλων που επαρκεί για την υλοποίηση του συστήματος.



## **7.1.2 Παρεχόμενες υπηρεσίες**

Η παρουσίαση των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες του συστήματος USNES γίνεται με βάση το ρόλο του κάθε χρήστη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε κάθε χρήστη μπορεί να αναθέτονται περισσότεροι από ένας ρόλοι.

### **7.1.2.1 Υπεύθυνος ναύλωσης**

Οι υπηρεσίες που παρέχονται στον υπεύθυνο ναύλωσης από το σύστημα είναι οι εξής:

- Παρακολούθηση Πλοίων: Μέσω της υπηρεσίας αυτής ο υπεύθυνος ναύλωσης μπορεί να παρακολουθεί την τρέχουσα κατάσταση κάθε πλοίου και να ενημερώνεται για τις μελλοντικές ναυλώσεις που έχουν συμφωνηθεί για το συγκεκριμένο πλοίο.
- Αναζήτηση όλων των εφικτών φορτίων που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο δεδομένης μια δοθείσας ημερομηνίας και λιμανιού καθώς και του συνόλου των μελλοντικών ναυλώσεων που έχουν ήδη συμφωνηθεί.
- Δημιουργία και δυνατότητα παραμετρικής αξιολόγησης όλων των εφικτών δρομολογίων βάση επιλεγμένων φορτίων μια δοθείσας ημερομηνίας και λιμανιού καθώς και του συνόλου των μελλοντικών ναυλώσεων που έχουν ήδη συμφωνηθεί.
- Εύρεση των βέλτιστων φορτίων προς μεταφορά δεδομένης μια δοθείσας ημερομηνίας και λιμανιού καθώς και του συνόλου των μελλοντικών ναυλώσεων που έχουν ήδη συμφωνηθεί. Τα βέλτιστα φορτία προκύπτουν από την δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων και

αυτά που παρουσιάζονται στον χρήστη είναι αυτά από τα οποία ξεκινούν τα δέκα καλύτερα δρομολόγια που δημιουργούνται.

- Ανάλυση εκτέλεσης και αντίστοιχου κόστους της μεταφοράς ενός φορτίου.
- Δυνατότητα κατάθεσης προσφοράς και μηνυμάτων προς το διαχειριστή του εκάστοτε φορτίου.

Οι παραπάνω υπηρεσίες αποτελούν τις υπηρεσίες υποστήριξης λήψης αποφάσεων επιλογής φορτίων που παρέχει το σύστημα USNES προς τις ναυτιλιακές εταιρείες.

#### **7.1.2.2 Υπεύθυνος λειτουργίας στόλου**

Οι υπηρεσίες που παρέχονται στον υπεύθυνο λειτουργίας στόλου από το σύστημα είναι οι εξής:

- Διαχείριση Πλοίων: Μέσω της υπηρεσίας αυτής ο υπεύθυνος ναύλωσης μπορεί να παρακολουθεί την τρέχουσα κατάσταση κάθε πλοίου, να ενημερώνεται για τις μελλοντικές ναυλώσεις που έχουν συμφωνηθεί για κάθε πλοίο, να ανανεώνει τα σταθερά στοιχεία των πλοίων, να παρακολουθεί τις αναφορές των πλοίων και να επικοινωνεί μέσω μηνυμάτων με το πλοίο.
- Καταχώρηση & Διαγραφή Πλοίων από το σύστημα.
- Καταχώρηση & Ενημέρωση διεθνών τιμών της ναυτιλιακής αγοράς

### 7.1.2.3 Διαχειριστής φορτίων

Οι υπηρεσίες που παρέχονται στον διαχειριστή φορτίων από το σύστημα είναι οι εξής:

- Διαχείριση φορτίων η οποία περιλαμβάνει την καταχώρηση νέων φορτίων και την ενημέρωση ή διαγραφή φορτίου εφόσον όμως δεν έχουν κατατεθεί προσφορές για το αντίστοιχο φορτίο.
- Αποδοχή ή απόρριψη προσφορών για την μεταφορά φορτίου.
- Αποστολή μηνύματος προς τον υπεύθυνο ναύλωσης που έχει καταθέσει προσφορά.
- Παρακολούθηση μεταφοράς φορτίου.

### 7.1.2.4 Υπεύθυνος πλοίου

Οι υπηρεσίες που παρέχονται στον διαχειριστή φορτίων από το σύστημα είναι οι εξής:

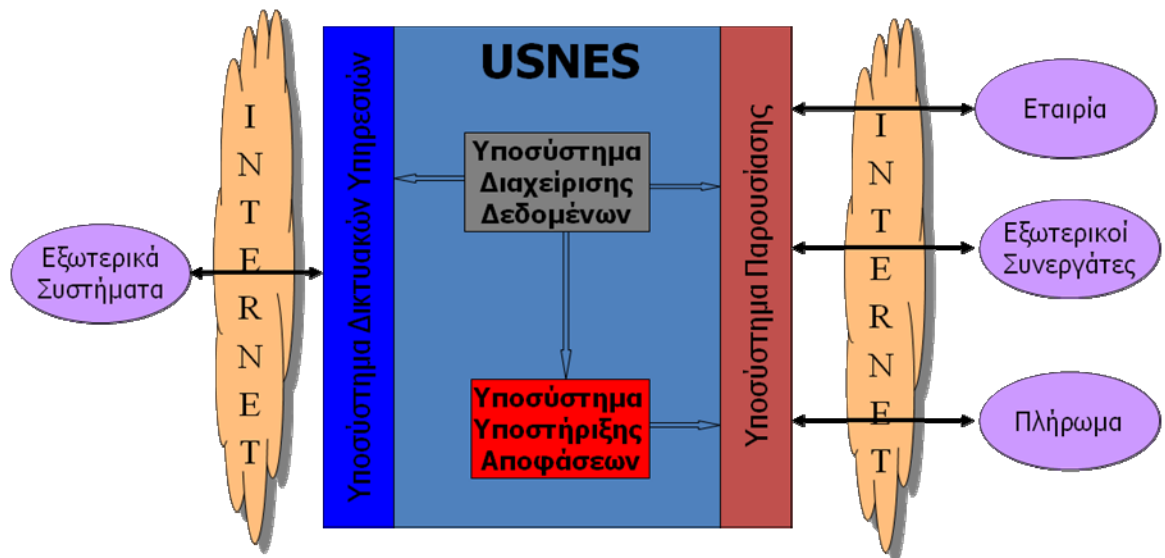
- Κατάθεση ημερήσιας αναφοράς στην οποία καταγράφεται η ημερομηνία στην οποία αναφέρεται, η θέση του πλοίου στο τέλος της συγκεκριμένης ημερομηνίας, η κατανάλωση που είχε σε καύσιμα και πετρέλαιο την προηγούμενη μέρα, το λιμάνι στο οποίο κατευθύνεται κλπ.
- Κατάθεση αναφοράς φόρτωσης στην οποία καταγράφεται η ημερομηνία και ώρα έναρξης φόρτωσης, η ημερομηνία και ώρα λήξης φόρτωσης, το σύνολο των ημερών που απαιτήθηκαν, την ποσότητα του φορτίου που φορτώθηκε, τα τέλη λιμανιών τα οποία πληρώθηκαν.
- Κατάθεση αναφοράς εκφόρτωσης στην οποία καταγράφεται η ημερομηνία και ώρα έναρξης εκφόρτωσης, η ημερομηνία και ώρα λήξης

εκφόρτωσης, το σύνολο των ημερών που απαιτήθηκαν, την ποσότητα του φορτίου που εκφορτώθηκε, τα τέλη λιμανιών τα οποία πληρώθηκαν.

- Κατάθεση αναφοράς διέλευσης από κανάλι ή διώρυγα στην οποία καταγράφεται το κανάλι ή η διώρυγα από την οποία έγινε η διέλευση, η ημερομηνία διέλευσης, τα τέλη που πληρώθηκαν για την διέλευση του πλοίου, ο χρόνος που απαιτήθηκε για την διέλευση.
- Κατάθεση αναφοράς ανεφοδιασμού στην οποία καταγράφεται η ημερομηνία ανεφοδιασμού, το είδος ανεφοδιασμού και η τιμή μονάδας.
- Κατάθεση αναφοράς αναχώρησης από λιμάνι στην οποία καταγράφεται το λιμάνι, η ημερομηνία και η ώρα από το οποίο αναχωρεί το πλοίο.
- Κατάθεση αναφοράς προσέγγισης λιμανιού στην οποία καταγράφεται το λιμάνι, η ημερομηνία και η ώρα από το οποίο προσεγγίζει το πλοίο.

### **7.1.3 Αρχιτεκτονική συστήματος**

Το σύστημα USNES είναι ένα κεντρικοποιημένο δικτυακό σύστημα το οποίο απαρτίζεται από τέσσερα ξεχωριστά γενικά υποσυστήματα. Ο διαχωρισμός των υποσυστημάτων έγινε με βάση το είδος των εργασιών που εκτελεί το κάθε ένα από αυτά. Τα υποσυστήματα που προέκυψαν και ο τρόπος αλληλεπίδραση τους παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα ενώ μια σύντομη περιγραφή αυτών παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες.



Εικόνα 11: Παρουσίαση υποσυστημάτων USNES

#### 7.1.3.1 Υποσύστημα διαχείρισης δεδομένων

Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση, διαγραφή και ενημέρωση των δεδομένων, την μορφοποίηση αυτών, την συγκρότηση εννοιολογικών δομών δεδομένων και την αποστολή των δομών αυτών στα υπόλοιπα υποσυστήματα. Πυρήνας του συστήματος αυτού είναι η βάση δεδομένων και το λογισμικό διαχείρισης της. Πέρα από αυτά αναπτύχθηκε λογισμικό το οποίο δημιουργεί τις δομές δεδομένων που είναι απαιτούμενες από τα υπόλοιπα υποσυστήματα και επιπλέον ενημερώνει την βάση δεδομένων για τις τυχόν νέες εγγραφές, διαγραφές και ενημερώσεις δεδομένων που απαιτούνται από το υποσύστημα παρουσίασης.

#### 7.1.3.2 Υποσύστημα παρουσίασης

Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα. Πυρήνας του συστήματος αυτού είναι ένα σύνολο από διεπαφές που αντιστοιχούν σε διαφορετικές ιστοσελίδες του διαδικτύου μέσω των οποίων

παρουσιάζεται η πληροφορία στους χρήστες και καταγράφονται οι αντιδράσεις των χρηστών. Κάθε μια από τις διεπαφές αυτές συνοδεύεται από το κατάλληλο λογισμικό μέσω του οποίου ανάλογα με τις αντιδράσεις του χρήστη ενεργοποιούνται οι κατάλληλες υπηρεσίες των υποσυστημάτων του συστήματος.

#### **7.1.3.3 Υποσύστημα υποστήριξης αποφάσεων**

Το υποσύστημα υποστήριξης αποφάσεων παρέχει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για την υποστήριξη της διαδικασίας εύρεσης φορτίων. Οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει το σύστημα αυτό είναι οι εξής:

- Για δεδομένο πλοίο, ημερομηνία και λιμάνι διαθεσιμότητας να προσδιορίσει, από όλα τα φορτία που βρίσκονται στην βάση και δεν υπάρχει συμφωνία για την μεταφορά τους, εκείνα τα φορτία που υπό τα δεδομένα στοιχεία το πλοίο μπορεί και προλαβαίνει να τα εξυπηρετήσει.
- Για δεδομένο πλοίο, ημερομηνία και λιμάνι διαθεσιμότητας και σύνολο φορτίων να δημιουργήσει και να αξιολογήσει όλα τα δυνατά δρομολόγια.
- Να πραγματοποιήσει ανάλυση όλων των στοιχείων που προκύπτουν από την μεταφορά ενός φορτίου.

#### **7.1.3.4 Υποσύστημα δικτυακών υπηρεσιών**

Το υποσύστημα αυτό παρέχει τις απαιτούμενες υπηρεσίες έτσι ώστε το USNES να μπορεί να αλληλεπιδρά και με εξωτερικά πληροφοριακά συστήματα. Οι υπηρεσίες που έχουν υλοποιηθεί αφορούν τις υπηρεσίες που παρέχονται προς τους εξωτερικούς συνεργάτες μιας ναυτιλιακής εταιρείας οι οποίοι είναι οι διαχειριστές φορτίων. Πιο

συγκεκριμένα οι υπηρεσίες που υλοποιεί το υποσύστημα αυτό αφορούν την διαχείριση (καταχώρηση, ενημέρωση, διαγραφή) φορτίων, την λήψη και αποστολή μηνυμάτων από και προς τον υπεύθυνο ναύλωσης που έχει καταθέσει μια αναφορά για συγκεκριμένο φορτίο, την αποδοχή ή την απόρριψη της προσφοράς για πού έχει κατατεθεί για ένα φορτίο, την ανάκτηση πληροφοριών για την θέση του πλοίου που μεταφέρει ένα συγκεκριμένο πλοίο.

## **7.2 Παραμετροποίηση εργαλείου αξιολόγησης φορτίων**

Όπως γίνεται αντιληπτό στο υποσύστημα υποστήριξης αποφάσεων έχει πραγματοποιηθεί η υλοποίηση του εργαλείου δημιουργίας και αξιολόγησης δρομολογίων που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η υλοποίηση του αλγόριθμου δημιουργίας των δρομολογίων είναι όμοια με αυτή που περιγράφηκε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, με εξαίρεση μια μικρή διαφορά η οποία επηρεάζει σημαντικά και προς το καλύτερο την αξιοπιστία των υπολογισμών του αλγορίθμου. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη δυνατότητα εξαγωγής πληροφοριών από τα στοιχεία που καταγράφονται στο σύστημα και αφορά τις τιμές ορισμένων παραμέτρων του αλγόριθμου που στην πειραματική του εκτέλεση είτε απαιτούνταν να είναι σταθερές είτε να παρέχονται ξεχωριστά με κάθε φορτίο. Στο σύστημα USNES οι τιμές των παραμέτρων αυτών καθορίζονται από την στατιστική ανάλυση των καταγεγραμμένων στο σύστημα δεδομένων. Οι παράμετροι των οποίων οι τιμές υπολογίζονταν βάση στατιστικής ανάλυσης είναι οι εξής:

- Συντελεστής ημερών καθυστέρησης φόρτωσης & εκφόρτωσης
- Συντελεστής ημερών καθυστέρησης ταξιδιού

- Βαθμός αξιοπιστίας κάθε φορτίου
- Ρυθμός κατανάλωσης καυσίμων και πετρελαίου από το πλοίο

Ο τρόπος υπολογισμού των παραμέτρων αυτών σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου περιγράφεται στις επόμενες ενότητες.

### **7.2.1 Υπολογισμός καθυστερήσεων φορτώσεων και εκφορτώσεων**

Με βάση τις σχέσεις (4), (6), (7) & (9) του 4<sup>ο</sup> κεφαλαίου υπεισέρχεται μια συνάρτηση  $f$  κατά των υπολογισμό των ημερών που απαιτούνται για την φόρτωση ή την εκφόρτωση ενός φορτίου. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τις αναμενόμενες μέρες καθυστέρησης που θα προκύψουν κατά την εκτέλεση της αντίστοιχης ενέργειας και εκτιμάται ότι οι μέρες αυτές είναι ανάλογες του πλήθους των ημερών που υπολογίζεται ότι θα διαρκούσε η φόρτωση αν δεν υπήρχαν καθόλου καθυστερήσεις.

Στις πειραματικές εκτελέσεις που πραγματοποιήθηκαν η συνάρτηση  $f$  επέστρεφε ως αποτέλεσμα τα  $2/7$  των ημερών που υπολογίζονταν ότι θα διαρκούσε η φόρτωση αν δεν υπήρχαν καθόλου καθυστερήσεις. Η επιλογή του συντελεστή  $2/7$  οφείλεται στην εμπειρική χρήση του από τις ναυτιλιακές εταιρείες η οποία εξηγείται από το γεγονός ότι σε όλα τα λιμάνια υπάρχει μια μέρα αργίας την εβδομάδα στα πλαίσια της οποίας αναμένεται να υπάρξει και μια επιπλέον μέρα καθυστέρησης. Ωστόσο αν και ο υπολογισμός αυτός μπορεί να είναι σχετικά ακριβής σε πολλές περιπτώσεις αλλά και κατά μέσο όρο, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου απέχει πολύ από τον πραγματικά αναμενόμενο χρόνο καθυστέρησης. Στις περιπτώσεις αυτές οι καθυστερήσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις υπολογιζόμενες με τον συγκεκριμένο τρόπο. Ενδεχόμενες



αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καθυστερήσεις οφείλονται συνήθως στα λιμάνια και προέρχονται από απεργίες εργατών, καιρικές συνθήκες, πολιτικές καταστάσεις ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις οφείλονται στα ίδια τα πλοία όπου το μέγεθος του πλοίου ή ο ελλιπής εξοπλισμός τους μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις. Προκειμένου να προσεγγιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο αναμενόμενος χρόνος καθυστέρησης στις φορτοεκφορτώσεις των φορτίων, στο σύστημα USNES χρησιμοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των κατάλληλων δεδομένων του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα η καταγραφή των κατάλληλων δεδομένων πραγματοποιείται κάθε φορά που πραγματοποιείται καταχώρηση αναφοράς φόρτωσης ή εκφόρτωσης από τον υπεύθυνου ενός πλοίου. Κατά την καταχώρηση αυτή υπολογίζεται το ποσοστό του χρόνου καθυστέρησης συγκρίνοντας τον χρόνο που πραγματικά απαιτήθηκε με τον χρόνο που υπολογίζεται από τον όγκο του φορτίου και τον ρυθμό φόρτωσης ή εκφόρτωσης χωρίς την ύπαρξη καθυστερήσεων. Το ποσοστό αυτό καταχωρείται στην βάση δεδομένων και συνδέεται τόσο με το συγκεκριμένο πλοίο όσο και με το συγκεκριμένο λιμάνι.

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιείται κάθε φορά που απαιτείται ο υπολογισμός του αναμενόμενου χρόνου καθυστέρησης μιας φόρτωσης ή εκφόρτωσης σε ένα συγκεκριμένο λιμάνι από ένα συγκεκριμένο πλοίο. Όταν αυτό απαιτείται υπολογίζεται

1. Ο μέσος όρος ποσοστού καθυστερήσεων APPD (Average Port Percent Delays) που έχουν καταχωρηθεί για το συγκεκριμένο λιμάνι ανεξαρτήτως του πλοίου το τελευταίο μήνα.
2. Ο μέσος όρος ποσοστού καθυστερήσεων AVPD (Average Vessel Percent Delays) που έχουν καταχωρηθεί για το συγκεκριμένο πλοίο ανεξαρτήτως του λιμανιού το τελευταίο χρόνο.

Σε περίπτωση που κατά των υπολογισμό των AVPD και APPD δεν βρεθούν τιμές στο σύστημα για τις χρονικές περιόδους που αναζητούνται τότε υπολογίζεται ο μέσος όρος χωρίς χρονικά όρια. Αν και πάλι δεν υπάρχει καταχώρηση στο σύστημα αναθέτεται η τιμή 2/7 στον αντίστοιχο μέσο όρο. Τα δυο ποσοστά αυτά χρησιμοποιούνται στην σχέση 21 προκειμένου να υπολογιστεί ο αναμενόμενος χρόνος καθυστέρησης EED (Estimated Delay Days).

$$EDD = (0.8*APPD + 0.2*AVPD)* EADWD \quad (21)$$

Στην παραπάνω σχέση ο όρος EADWD (Estimated Action Days Without Delays) αντιστοιχεί στον χρόνο που υπολογίζεται για την φόρτωση ή εκφόρτωση χωρίς την ύπαρξη καθυστερήσεων. Οι συντελεστές 0.8 και 0.2 ανατέθηκαν έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα κατά τον υπολογισμό των καθυστερήσεων στον παράγοντα καθυστερήσεις λιμανιού σε σχέση με τον παράγοντα καθυστερήσεις πλοίου, αφού όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι κύριες αιτίες καθυστέρησης οφείλονται στα λιμάνια.

### 7.2.2 Υπολογισμός καθυστερήσεων ταξιδιών

Με βάση τις σχέσεις (4), (5), (7) & (8) του 4<sup>ο</sup> κεφαλαίου υπεισέρχεται μια συνάρτηση  $g$  κατά των υπολογισμών των ημερών που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός ταξιδιού. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τις αναμενόμενες μέρες καθυστέρησης που θα προκύψουν κατά την μετακίνηση του πλοίου από ένα λιμάνι σε ένα άλλο και εκτιμάται ότι οι μέρες αυτές είναι ανάλογες του πλήθους των ημερών που υπολογίζεται ότι θα διαρκούσε το ταξίδι αν δεν υπήρχαν καθόλου καθυστερήσεις.

Στις πειραματικές εκτελέσεις που πραγματοποιήθηκαν η συνάρτηση  $g$  επέστρεφε ως αποτέλεσμα το 1/10 των ημερών που υπολογίζονταν ότι θα διαρκούσε το ταξίδι αν δεν υπήρχαν καθόλου καθυστερήσεις. Η επιλογή του συντελεστή 1/10 οφείλεται στην εμπειρική χρήση του από τις ναυτιλιακές εταιρείες. Ωστόσο αν και ο υπολογισμός αυτός μπορεί να είναι σχετικά ακριβής σε πολλές περιπτώσεις αλλά και κατά μέσο όρο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι πραγματικές καθυστερήσεις διαφέρουν σημαντικά από αυτές που υπολογίζονται με τον συγκεκριμένο τύπο. Στις περιπτώσεις αυτές οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες και εξαρτώνται από την αξιοπλοΐα του αντίστοιχου πλοίου αλλά και από την διαδρομή που ακολουθεί το πλοίο. Έτσι σε περιπτώσεις καινούργιων πλοίων οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι μηδαμινές ενώ στις περιπτώσεις γερασμένων πλοίων ή πλοίων με μηχανικά προβλήματα οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίζονται με την χρήση του συντελεστή 1/10. Επίσης υπάρχουν ταξίδια τα οποία για να πραγματοποιηθούν απαιτείται το πλοίο να διέλθει από περάσματα ή περιοχές που συνήθως προκαλούν καθυστερήσεις στην εκτέλεση των ταξιδιών μεγαλύτερη από την συνηθισμένη. Προκειμένου να προσεγγιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο αναμενόμενος χρόνος καθυστέρησης στην εκτέλεση των

ταξιδιών, στο σύστημα USNES χρησιμοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των κατάλληλων δεδομένων του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα η καταγραφή των κατάλληλων δεδομένων πραγματοποιείται κάθε φορά που πραγματοποιείται καταχώρηση αναφοράς προσέγγισης λιμανιού από τον υπεύθυνου ενός πλοίου. Κατά την καταχώρηση αυτή υπολογίζεται το ποσοστό του χρόνου καθυστέρησης που προκύπτει από τον χρόνο που πραγματικά απαιτήθηκε για την μετακίνηση του πλοίου από το λιμάνι που αφορά η τελευταία αναφορά αναχώρησης στο λιμάνι που αφορά η τρέχουσα αναφορά, προς τον χρόνο που υπολογίζεται από την απόσταση των δυο λιμανιών διαιρούμενο με την μέση ταχύτητα έμφωρτου ή φορτωμένου πλοίου ανάλογα με το αν στην αναφορά καταγράφεται ότι το πλοίο έχει ή όχι φορτίο στα διαμερίσματα του. Το ποσοστό αυτό καταχωρείται στην βάση δεδομένων και συνδέεται με το συγκεκριμένο πλοίο αλλά και με τον συνδυασμό των δυο λιμανιών που αφορούν το τελευταίο ταξίδι του πλοίου.

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιείται κάθε φορά που απαιτείται ο υπολογισμός του αναμενόμενου χρόνου καθυστέρησης ενός ταξιδιού από ένα συγκεκριμένο πλοίο για την σύνδεση δυο συγκεκριμένων λιμανιών. Όταν αυτό απαιτείται υπολογίζεται

1. Ο μέσος όρος ποσοστού καθυστερήσεων AVPPD (Average Voyage Ports Percent Delays) που έχουν καταχωρηθεί για το συγκεκριμένο συνδυασμό λιμανιών ανεξαρτήτως του πλοίου.

2. Ο μέσος όρος ποσοστού καθυστερήσεων AVVPD (Average Voyage Vessel Percent Delays) που έχουν καταχωρηθεί για το συγκεκριμένο πλοίο ανεξαρτήτως του λιμανιών το τελευταίο χρόνο.

Σε περίπτωση που κατά των υπολογισμό του AVVPD δεν βρεθούν τιμές στο σύστημα για τις χρονικές περιόδους που αναζητείται τότε υπολογίζεται ο μέσος όρος χωρίς χρονικά όρια. Αν δεν υπάρχει καταχώρηση στο σύστημα για τον υπολογισμού κάποιου μέσου όρου τότε αναθέεται η τιμή 2/7 στον αντίστοιχο μέσο όρο. Τα δυο ποσοστά αυτά χρησιμοποιούνται στην σχέση 22 προκειμένου να υπολογιστεί ο αναμενόμενος χρόνος καθυστέρησης ταξιδιού EVDD (Estimated Voyage Delay Days).

$$EVDD = (0.5 \cdot AVPPD + 0.5 \cdot AVVPD) \cdot EVDWD \quad (22)$$

Στην παραπάνω σχέση ο όρος EVDWD (Estimated Voyage Days Without Delays) αντιστοιχεί στον χρόνο που υπολογίζεται για την φόρτωση ή εκφόρτωση χωρίς την ύπαρξη καθυστερήσεων. Οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στους μέσους όρους είναι 0.5 έτσι ώστε να επηρεάζουν εξίσου τις ημέρες καθυστέρησης που υπολογίζονται τόσο οι καθυστερήσεις που οφείλονται στο πλοίο όσο και οι καθυστερήσεις που οφείλονται στην διαδρομή.

### **7.2.3 Υπολογισμός κόστους εκτέλεσης ταξιδιών**

Κατά των υπολογισμό του κόστους εκτέλεσης ενός ταξιδιού αθροίζονται διάφορα κόστη που αφορούν την λειτουργία και την μετακίνηση του πλοίου. Για των

υπολογισμό των τιμών που έχουν τα κόστη αυτά απαιτούνται διάφοροι ρυθμοί κατανάλωσης ή χρέωσης γενικότερα. Παραδείγματα τέτοιων χρεώσεων ή καταναλώσεων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Στον πίνακα αυτό καταγράφεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι χρεώσεις αυτές στο σύστημα USNES καθώς και οι αναφορές από τις οποίες ανακτάται η απαραίτητη πληροφορία.

**Πίνακας 20: Τρόπος υπολογισμού παραμέτρων κοστολόγησης**

|                                   | Μέθοδος Υπολογισμού                                                                                                  | Σχετιζόμενη Αναφορά                                                                                                                     |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Μέση ημερήσια κατανάλωση καυσίμου | Μέσος όρος ημερήσιων καταναλώσεων καυσίμου το τελευταίο μήνα                                                         | Ημερήσια αναφορά, στοιχείο ημερήσιας κατανάλωσης καυσίμου                                                                               |
| Μέση ημερήσια κατανάλωση Diesel   | Μέσος όρος ημερήσιων καταναλώσεων Diesel το τελευταίο μήνα                                                           | Ημερήσια αναφορά, στοιχείο ημερήσιας κατανάλωσης Diesel                                                                                 |
| Τιμή καυσίμου ανά τόνο            | Μέσος όρος τιμής τόνου καυσίμου που προκύπτει από τους τελευταίους 10 ανεφοδιασμούς που έχουν καταγραφεί στο σύστημα | Αναφορά ανεφοδιασμού καυσίμου, στοιχείο τιμής τόνου                                                                                     |
| Τιμή Diesel ανά τόνο              | Μέσος όρος τιμής τόνου Diesel που προκύπτει από τους τελευταίους 10 ανεφοδιασμούς που έχουν καταγραφεί στο σύστημα   | Αναφορά ανεφοδιασμού Diesel, στοιχείο τιμής τόνου                                                                                       |
| Τέλη καναλιών                     | Η τελευταία χρονικά καταχωρημένη στο σύστημα                                                                         | Αναφορά φόρτωσης στοιχείο ανάλογα με τον τρόπο χρέωσης του καναλιού<br>α) τέλη ανά τόνο μεταφορικής ικανότητας πλοίου<br>β) πάγιο τέλος |
| Τέλη λιμανιών                     | Η τελευταία χρονικά καταχωρημένη στο σύστημα                                                                         | Αναφορά φόρτωσης στοιχείο ανάλογα με τον τρόπο χρέωσης του λιμανιού<br>α) τέλη ανά τόνο μεταφορικής ικανότητας πλοίου<br>β) πάγιο τέλος |

#### 7.2.4 Υπολογισμός αξιοπιστίας φορτίων

Με στόχο να πραγματοποιηθεί μια όσο το δυνατόν πιο αντικειμενική αξιολόγηση των δρομολογίων κατά την δημιουργία τους υπολογίζεται η συνολική αξιοπιστία του κάθε δρομολογίου η οποία προκύπτει από το γινόμενο των τιμών της αξιοπιστίας των φορτίων που μετέχουν στο κάθε δρομολόγιο. Προκειμένου να γίνει αυτό εφικτό στην πειραματική χρήση του εργαλείου αξιολόγησης δρομολογίων κάθε φορτίο συνοδεύτηκε με μια τιμή αξιοπιστίας προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική αξιοπιστία του δρομολογίου. Ωστόσο στην πραγματικότητα δεν τίθεται θέμα αξιοπιστίας του κάθε φορτίου αλλά αξιοπιστίας του ανθρώπου που παρέχει την πληροφορία για το κάθε φορτίο. Στο σύστημα USNES η πληροφορία της αξιοπιστίας συνδέονταν με τους χρήστες στους οποίους είχε ανατεθεί ο ρόλος του διαχειριστή φορτίων και η τιμή της αξιοπιστίας του κάθε διαχειριστή φορτίων συνόδευε όλα τα φορτία που αυτός είχε καταχωρήσει στο σύστημα. Η τιμή της αξιοπιστίας εκφράζεται με ποσοστό στο σύστημα, το οποίο μπορεί να ενημερώνεται άμεσα από τους υπεύθυνους λειτουργίας της εταιρείας κατά την ολοκλήρωση μιας μεταφοράς.





## 8 Σύνοψη

Στην ενότητα αυτή καταγράφεται μια γενική σύνοψη της παρούσας διατριβής και η συνεισφορά της στο χώρο των υπηρεσιών υποστήριξης λήψης αποφάσεων, για την διαχείριση πλοίων προς τις ναυτιλιακές εταιρείες.

### 8.1 Γενική σύνοψη

Η μεταφορά φορτίων με την χρήση πλοίων είναι μια υπηρεσία που παρέχεται εδώ και αιώνες, από την εκτέλεση της οποίας έχει συσσωρευτεί πολύ μεγάλη εμπειρία. Αποτέλεσμα της συσσωρευμένης αυτής εμπειρίας είναι οι ναυτιλιακές εταιρείες να αντιδρούν άμεσα και να λειτουργούν με ωριμότητα στις μεταβολές της ζήτησης για μεταφορά φορτίων και της προσφοράς για μεταφορά χωρίς να είναι απαραίτητη η υποστήριξη από πληροφοριακά σύστημα για την ανάλυση της κατάστασης και των προοπτικών. Το γεγονός αυτό είναι η αιτία που τα πληροφοριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και ανάλυσης είχαν πάρα πολύ μικρή διείσδυση στο χώρο των ναυτιλιακών εταιρειών, μέχρι πριν από μερικά χρόνια. Ωστόσο το ύψος των ναύλων και η μεταφορική ικανότητα των πλοίων αυξάνονται διαρκώς με αποτέλεσμα η μεταφορά έστω και ενός φορτίου να επιφέρει τεράστια χρηματικά ποσά σε μια ναυτιλιακή εταιρεία. Παράλληλα βελτιώνονται οι δυνατότητες των πληροφοριακών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων τα οποία πλέον μπορούν να επιλύσουν δύσκολα και μεγάλα προβλήματα σε εύλογο χρονικό

διάστημα. Τα νέα αυτά δεδομένα έχουν οδηγήσει την τελευταία δεκαετία αρκετές ναυτιλιακές εταιρείες στην υλοποίηση τέτοιων συστημάτων μέσω των οποίων επιδιώκεται η βέλτιστη χρήση του στόλου τους. Δυο από τις βασικότερες διαδικασίες τις οποίες επιχειρούν να υποστηρίξουν τα πληροφοριακά αυτά συστήματα είναι η δρομολόγηση στόλου στην βιομηχανική ναυτιλία και η επιλογή φορτίων στην ελεύθερη ναυτιλία. Τα αποτελέσματα από την χρήση τέτοιων συστημάτων έχουν δείξει ότι όντως βελτιώνεται η απόδοση της χρήσης του στόλου των εταιρειών μετά την εγκατάσταση και χρήση τέτοιων συστημάτων και παρ' όλου που τα επιπλέον κέρδη είναι ένα μικρό ποσοστό του συνολικού κύκλου εργασιών των εταιρειών, τα ποσά που εξοικονομούνται είναι πραγματικά πολύ μεγάλα.

Στον ερευνητικό χώρο παρουσιάστηκαν αρκετές εργασίες προκειμένου να καλυφθεί η ανάγκη για υποστήριξη αποφάσεων των ναυτιλιακών εταιρειών στην δρομολόγηση του στόλου τους. Οι ερευνητικές εργασίες που παρουσιάστηκαν απευθύνονταν κυρίως στην βιομηχανική ναυτιλία όπου το πρόβλημα της διαχείρισης στόλου είναι πιο σύνθετο σε σχέση με την ελεύθερη ναυτιλία και την ναυτιλία γραμμών, καθώς στην βιομηχανική ναυτιλία το πρόβλημα λύνεται για όλα τα πλοία του στόλου μαζί σε αντίθεση με τα άλλα δυο είδη ναυτιλίας όπου το πρόβλημα λύνεται για κάθε πλοίο ξεχωριστά. Οι πολλοί περιορισμοί του προβλήματος και οι υπόλοιπες ιδιαιτερότητές του, έδωσαν την δυνατότητα στους ερευνητές να μελετήσουν μεθόδους και αλγορίθμους διαφορετικούς από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα κλασικά προβλήματα δρομολόγησης στόλου οχημάτων και να επιχειρήσουν την εύρεση της πραγματικά βέλτιστης λύσης του προβλήματος και όχι την προσέγγιση αυτής. Στο μεγαλύτερο ποσοστό ερευνητικών εργασιών που έχουν παρουσιαστεί η επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης στόλου, απαιτούσε την

δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορούσε να εκτελέσει κάθε πλοίο του στόλου για την ζητούμενη μεταφορά ενός συγκεκριμένου συνόλου φορτίων. Από τις εργασίες αυτές, με εξαίρεση μια ερευνητική εργασία των Fagerholt, Christiansen, οι υπόλοιπες εργασίες κατά την δημιουργία των εφικτών δρομολογίων υιοθετούσαν τον περιορισμό ότι το πλοίο δεν μπορεί να μεταφέρει περισσότερα από ένα φορτία την ίδια χρονική στιγμή. Κάτι τέτοιο στις περιπτώσεις που όλα τα φορτία έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου ή τα περιθώρια εκφόρτωσης είναι μηδενικά, είναι ανεκτό καθώς ούτως ή άλλως δεν είναι εφικτό να μεταφερθούν δυο φορτία μαζί, στις υπόλοιπες περιπτώσεις όμως ο περιορισμός αυτός περιορίζει το πλήθος των δρομολογίων που δημιουργούνται όπως και επίσης και την ποιότητα αυτών. Η μη χρήση του περιορισμού μεταφοράς ενός μόνο φορτίου ανά ταξίδι, πέρα από την μεγάλη αύξηση των εφικτών δρομολογίων συνεπάγεται και την αναγκαστική επίλυση ενός ακόμα προβλήματος προκειμένου τα δρομολόγια που θα προκύψουν να είναι όντως εφικτά. Ένας τέτοιος αλγόριθμος που δεν χρησιμοποιεί τον περιορισμό μεταφοράς ενός μόνο φορτίου ανά ταξίδι, είναι αυτός των Fagerholt, Christiansen ο οποίος με την μοντελοποίηση του προβλήματος ως TSP με περιορισμούς προτεραιότητας, χρονικών παραθύρων και ανάθεσης πόρων παράγει ένα σύνολο δρομολογίων το οποίο δεν εμπεριέχει όλα τα εφικτά δρομολόγια αλλά εκείνα τα δρομολόγια που εμπεριέχουν όλους τους δυνατούς συνδυασμούς φορτίων ανά δρομολόγιο. Από κάθε τέτοιο σύνολο στα αποτελέσματα της μεθόδου των Fagerholt, Christiansen εμπεριέχεται το δρομολόγιο με την μικρότερη χρονική διάρκεια. Ωστόσο πέρα από τις μεθόδους που επιχειρούν την εύρεση της βέλτιστης λύσης έχει παρουσιαστεί και ένας περιορισμένος αριθμός εργασιών ο οποίος με την χρήση ευριστικών μεθόδων επιχειρεί την προσέγγιση της βέλτιστης δρομολόγησης στόλου. Η χρήση των μεθόδων αυτών ενδείκνυται στις περιπτώσεις όπου το πλήθος

είτε των πλοίων είτε των φορτίων είναι τόσο μεγάλο ώστε οι μέθοδοι που απαιτούν την εύρεση όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο είναι πρακτικά μη εφαρμόσιμες.

Στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας το πρόβλημα της διαχείρισης στόλου μοιάζει να είναι υπό-πρόβλημα του προβλήματος που παρουσιάζεται στην βιομηχανική ναυτιλία καθώς το πρόβλημα λύνεται για κάθε πλοίο χωριστά. Ωστόσο οι συνθήκες του προβλήματος και συγκεκριμένα το γεγονός ότι τα δρομολόγια που κατασκευάζονται έχουν διαφορετική χρονική διάρκεια ενώ παράλληλα η ζήτηση για μεταφορά δεν θεωρείται σταθερή, τροποποιούν τις απαιτήσεις του προβλήματος. Υπό τις συνθήκες αυτές η αξιολόγηση των δρομολογίων δεν μπορεί να γίνει με μοναδικό κριτήριο τα έσοδά του κάθε δρομολογίου καθώς υπεισέρχεται ο παράγοντας του ρυθμού κέρδους αφού υπάρχει το ενδεχόμενο σε μελλοντική στιγμή να υπάρξουν νέα φορτία και να επεκταθούν τα ήδη κατασκευασμένα φορτία τα οποία αρχικά δεν έχουν το μέγιστο κέρδος. Για τον λόγο αυτό στις εταιρείες της ελεύθερης ναυτιλίας επιδιώκεται ο προγραμματισμός της μεταφοράς του επόμενου φορτίου για κάθε πλοίου και όχι ο προγραμματισμός πολλών μεταφορών την ίδια χρονική στιγμή. Αντίθετα με την περίπτωση της βιομηχανικής ναυτιλίας όπου υπάρχει ένας αριθμός από ερευνητικές εργασίες στην περίπτωση της ελεύθερης ναυτιλίας δεν υπάρχουν εργασίες που να στοχεύουν αποκλειστικά στην εξυπηρέτηση των αναγκών των συγκεκριμένων εταιρειών. Παρ' όλα αυτά σε ορισμένες εργασίες που απευθύνονται στην βιομηχανική ναυτιλία, ο στόχος είναι η αύξηση των κερδών από την χρήση του στόλου ενώ επιπλέον στο σύνολο των φορτίων μπορούν να υπάρχουν φορτία από την ελεύθερη αγορά των οποίων η μεταφορά δεν είναι υποχρεωτική αλλά επιφέρει κέρδη στην εταιρεία. Η μοντελοποίηση αυτή του προβλήματος αντικατοπτρίζει το

πρόβλημα της ελεύθερης ναυτιλίας αλλά η αξιολόγηση αυτών στηρίζεται αποκλειστικά στο συνολικό κέρδος και δεν ανταποκρίνεται στις ιδιαιτερότητες του προβλήματος. Για την υποστήριξη των αναγκών διαχείρισης στόλου των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία έχουν αναπτυχθεί πληροφοριακά συστήματα τα οποία κοστολογούν μια μεταφορά φορτίου και υπολογίζουν τα αναμενόμενα κέρδη ανάλογα με τον ζητούμενο ναύλο καθώς και ηλεκτρονικές αγορές ναυλώσεων μέσω των οποίων οι εταιρείες πληροφορούνται για την ύπαρξη των φορτίων. Υπάρχουν και συστήματα που αξιολογούν συγκριτικά όλα τα εφικτά δρομολόγια που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο λαμβάνοντας υπόψη ως κριτήριο μόνο το αναμενόμενο κέρδος.

## **8.2 Καινοτομία Διατριβής**

Αντικείμενο της διατριβής αυτής είναι η υποστήριξη των αποφάσεων των ναυτιλιακών εταιρειών για την διαχείριση του στόλου τους. Η καινοτομία της διατριβής μπορεί να συνοψιστεί σε δυο σημεία τα οποία είναι

1. η δημιουργία μιας νέας μεθόδου για την κατασκευή όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο
2. η δημιουργία μιας νέας μεθόδου αξιολόγησης δρομολογίων με πολλαπλά κριτήρια έτσι ώστε ο παραπάνω αλγόριθμος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη των ναυτιλιακών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία.

Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία προτείνεται μια νέα μέθοδο για την δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει ένα πλοίο δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης (ημερομηνία & λιμάνι) για την μεταφορά ενός συνόλου από φορτία. Στην προτεινόμενη μέθοδο δεν γίνεται χρήση του περιορισμού μεταφοράς ενός μόνο φορτίου ανά ταξίδι, όπως και στην εργασία των Fagerholt, Christiansen με αποτέλεσμα να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις κατασκευάζοντας πάντα το σύνολο των εφικτών δρομολογίων.

Για την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος οπισθοδρόμησης με την χρήση περιορισμών (backtracking & constraint algorithm) για την κατασκευή των εφικτών δρομολογίων, ο οποίος μοντελοποιεί τα δρομολόγια ως δέντρο στο οποίο οι κόμβοι αντιστοιχούν σε λειτουργίες φόρτωσης και εκφόρτωσης και οι ακμές σε ταξίδια. Στον δέντρο αυτό κάθε διαδρομή από την ρίζα σε ένα από τα φύλλα του δέντρου αποτελεί ένα ξεχωριστό δρομολόγιο. Η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου στηρίζεται στην σειρά με την οποία κατασκευάζονται και εξετάζονται, ως προς την εφικτότητα τους, οι νέοι κόμβοι του δέντρου η οποία σειρά επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση μη εφικτών καταστάσεων προτού δημιουργηθούν και εξετασθούν νέοι κόμβοι από τις συγκεκριμένες καταστάσεις. Όταν διαπιστωθεί η μη εγκυρότητα ενός κόμβου τότε ξεκινάει η διαγραφή κόμβων προς την ρίζα του δέντρου μέχρι ως ότου βρεθεί κάποιος κόμβος που είτε αντιστοιχεί σε έγκυρη κατάσταση είτε υπάρχουν πιθανότητες να οδηγήσει σε έγκυρες καταστάσεις.

Δεδομένου ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος δεν κάνει χρήση του περιορισμού μεταφοράς ενός μόνο φορτίου ανά ταξίδι, ο χρόνος εκτέλεσής του συγκρίθηκε μόνο με τον αλγόριθμο των Fagerholt, Christiansen. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος σε σχέση με τον αλγόριθμο των Fagerholt, Christiansen έχει το πλεονέκτημα ότι μοντελοποιεί

και την περίπτωση όπου ένα πλοίο πρέπει να παραμείνει εκτός λειτουργίας για ένα χρονικό διάστημα και επιπλέον έχει την διαφορά ότι παράγει όλα τα εφικτά δρομολόγια. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε σύγκριση του πλήθους των κόμβων που παράγει η προτεινόμενη μέθοδος με το πλήθος των κόμβων που παράγει εξαντλητική μέθοδος δημιουργίας δρομολογίων η οποία υλοποιήθηκε με ένα αλγόριθμο παραπλήσιο με τον προτεινόμενο. Τέλος μελετήθηκε και η συμπεριφορά της προτεινόμενης μεθόδου ανάλογα με την κατανομή των χαρακτηριστικών των φορτίων που μετέχουν στην κατασκευή των δρομολογίων.

Τα πειραματικά αποτελέσματα από την σύγκριση με τον αλγόριθμο των Fagerholt, Christiansen έδειξαν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι σαφώς ταχύτερος στις περιπτώσεις που είτε τα ταξίδια που απαιτούνται για την μεταφορά φορτίων είναι μεγάλα είτε τα περιθώρια για την εκφόρτωση τους είναι μικρά. Σε όλες τις περιπτώσεις η επίδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου βελτιώνονταν σε σχέση με την επίδοση του αλγορίθμου των Fagerholt, Christiansen καθώς αύξανε το πλήθος των φορτίων βάση των οποίων κατασκευάζονται τα δρομολόγια. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος υστερούσε στις περιπτώσεις όπου οι περιορισμοί ήταν ελαστικοί. Σχετικά με το πλήθος των κόμβων από την σύγκριση με την εξαντλητική μέθοδο ο προτεινόμενος αλγόριθμος δημιουργούσε σαφώς λιγότερους κόμβους κάτι το οποίο ήταν ιδιαίτερα έντονο στις περιπτώσεις όπου είτε τα φορτία ήταν μικρά (κάτω από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου), είτε τα περιθώρια εκφόρτωσης μικρά είτε τέλος η διάρκεια των ταξιδιών μεγάλη. Πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι στην περίπτωση που τα φορτία που μετέχουν στην κατασκευή των δρομολογίων είναι όλα μεγάλα (πάνω από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου) η εξαντλητική μέθοδος δημιούργησε τον ίδιο αριθμό κόμβων. Τέλος από την μελέτη της επιρροής των κατανομών των χαρακτηριστικών των φορτίων διαπιστώθηκε ότι το μέγεθος του

δέντρου που κατασκευάζεται επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των φορτίων με την παρακάτω σειρά προτεραιότητας. Το μέγεθος των φορτίων έχει το σημαντικότερο ρόλο στο μέγεθος του δέντρου, ενώ η κατανομή των φορτίων στο χρόνο είναι το χαρακτηριστικό με τον αμέσως επόμενο βαθμό επιρροής στο μέγεθος του δέντρου, με την διάρκεια των ταξιδιών να ακολουθεί. Στην τελευταία θέση ως προς την επιρροή αποδείχθηκε πως έχουν τα περιθώρια εκφόρτωσης και φόρτωσης με την δεδομένη σειρά.

Δεδομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που επικρατούν στην αγορά της ελεύθερης ναυτιλίας και προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια αξιολόγηση δρομολογίων που να λαμβάνει υπόψη της τα χαρακτηριστικά αυτά, στην παρούσα διατριβή προτείνεται ένας νέος τρόπος αξιολόγησης με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι τα συνολικά έσοδα, ο ρυθμός εσόδων προς την εταιρεία και η αξιοπιστία των διαχειριστών των φορτίων. Ο προτεινόμενος τρόπος αξιολόγησης χρησιμοποιεί μια συνάρτηση χρησιμότητας για την αξιολόγηση κάθε δρομολογίου στην οποία αθροίζει με την χρήση σταθμισμένων βαρών, την σταθμισμένη απόδοση του κάθε δρομολογίου σε κάθε ένα από τα τρία κριτήρια. Τα αποτελέσματα αξιολόγησης συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση των δρομολογίων μόνο βάση το αναμενόμενου κέρδους. Ενώ επιπλέον μελετήθηκε και το πλήθος των φορτίων από την αρχική εξυπηρέτηση των οποίων προκύπτουν τα βέλτιστα δρομολόγια ανάλογα με την κατανομή των μεγάλων φορτίων στο χρόνο.



### 8.3 Συμπέρασμα

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται με την παροχή υπηρεσιών υποστήριξης απόφασης στις ναυτιλιακές εταιρείες για την διαχείριση του στόλου τους. Η συνεισφορά της διατριβής στις υπηρεσίες αυτές είναι ένας αλγόριθμος δημιουργίας δρομολογίων ο οποίος μπορεί να αποτελέσει μέρος της μεθόδου επίλυσης του γενικότερο προβλήματος δρομολόγησης στόλου. Η χρήση του προτεινόμενου αλγόριθμου δημιουργίας δρομολογίων έχει πλεονέκτημα χρήσης σε σχέση με τους ήδη υπάρχοντες αλγορίθμους που δημιουργούν δρομολόγια, στις περιπτώσεις που τα πλοία μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα από ένα φορτία ανά ταξίδι, υπάρχουν αρκετά μικρά φορτία. Στις περιπτώσεις αυτές και ιδιαίτερα όταν είτε τα ταξίδια που απαιτούνται για την μεταφορά φορτίων είναι μεγάλα είτε τα περιθώρια εκφόρτωσης είναι μικρά ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποδεικνύεται ταχύτερος από κάθε άλλο αλγόριθμο. Επίσης όσο το πλήθος των φορτίων αυξάνεται και υπάρχουν φορτία το μέγεθος των οποίων είναι μικρότερο από το 50% της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου, τόσο βελτιώνεται η επίδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου σε σχέση με αυτή του αλγορίθμου των Fagerholt, Christiansen και από ένα πλήθος φορτίων και μετά ο προτεινόμενος αλγόριθμος γίνεται ταχύτερος. Αντίθετα σε περιπτώσεις που όλα τα φορτία είναι μεγαλύτερα από το 50% της χωρητικότητας του δέντρου τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλούστεροι αλγόριθμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί στην βιβλιογραφία με τα ίδια αποτελέσματα. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν αρκετά μικρά φορτία και τα χαρακτηριστικά των φορτίων είναι ιδιαίτερα ελαστικά ως προς τους περιορισμούς τότε ο αλγόριθμος των Fagerholt, Christiansen έχει πλεονέκτημα σε σχέση με τον προτεινόμενο. Ωστόσο όταν το πλήθος είτε των πλοίων για το οποίο επιχειρείται η βέλτιστη δρομολόγηση είτε των φορτίων που πρέπει να μεταφερθούν

είναι μεγάλο, τότε οι μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος που απαιτούν την δημιουργία όλων των εφικτών δρομολογίων για κάθε πλοίο δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμες και απαιτείται η χρήση εριστικών μεθόδων που προσεγγίζουν την βέλτιστη λύση.

Τέλος η χρήση της προτεινόμενης μεθόδου αξιολόγησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση δρομολογίων πλοίων που δραστηριοποιούνται στην ελεύθερη ναυτιλία, χρησιμοποιώντας επιπλέον κριτήρια πέρα του συνολικού κέρδους. Με τρόπο αυτό η προτεινόμενη μέθοδος αξιολόγησης ανταποκρίνεται καλύτερα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελεύθερης ναυτιλίας σε σχέση με άλλες μεθόδους αξιολόγησης.

# Βιβλιογραφία

- [1] M.R. Rao and S. Zionts. Allocation of transportation units to alternative trips – a column generation scheme with out-of-kilter subproblems. *Operations Research*, 16:52–63, 1968.
- [2] M. Christiansen, K. Fagerholt, and D. Ronen. Ship routing and scheduling: Status and perspectives. *Transportation Science*, 38:1–18, 2004.
- [3] L.H.Appelgren. A column generation algorithm for a ship scheduling problem. *Transportation Science*, 3:53–68, 1969.
- [4] L.H. Appelgren. Integer programming methods for a vessel scheduling problem. *Transportation Science*, 5:64–78, 1971.
- [5] G.B. Dantzig and D.R. Fulkerson. Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1:217–222, 1954.
- [6] S.-H. Kim and K.-K. Lee. An optimization-based decision support system for ship scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 33:689–692, 1997.
- [7] K. Fagerholt. A computer-based decision support system for vessel fleet scheduling – experience and future research. *Decision Support Systems*, 2003.
- [8] G. Brønmo, M. Christiansen, K. Fagerholt, B. Nygreen. A multi-start local search heuristic for ship scheduling— a computational study. *Computers & Operations Research* 34 (2007) 900–917
- [9] Hee-Su Hwang, Jay M. Rosenberger. A Branch and price and cut method for ship scheduling with limited risk, *Transportation Science* 42, 2 (to appear May 2008)
- [10] G.G. Brown, G.W. Graves, and D. Ronen. Scheduling ocean transportation of crude oil. *Management Science*, 33:335–346, 1987.
- [11] N. Perakis and W.M. Bremer. An operational tanker scheduling optimization system, background, current practice and model formulation. *Maritime Policy and Management*, 19:177–187, 1992.
- [12] D.O. Bausch, G.G. Brown, and D. Ronen. Scheduling short-term marine transport of bulk products. *Maritime Policy and Management*, 25:335–348, 1998.
- [13] H.D. Sherali, S.M. Al-Yakoob, and M.M. Hassan. Fleet management models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem. *IIE Transactions*, 31:395–406, 1999.

- [14] K. Fagerholt and M. Christiansen. A combined ship scheduling and allocation problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51:834–842, 2000.
- [15] K. Fagerholt and M. Christiansen. A travelling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints – an application to ship scheduling. *International Transactions in Operational Research*, 7:231–244, 2000.
- [16] JOpt.SDK - Vehicle Routing Software Library <http://www.dna-evolutions.com/joptsdk.html>, <http://www.dna-evolutions.com/joptdoc/index.html> (March 2008)
- [17] M. Bellmore, G. Bennington, and S. Lubore. A multivehicle tanker scheduling problem. *Transportation Science*, 5:36–47, 1971.
- [18] R.F. Boykin and R.R. Levary. An interactive decision support system for analyzing ship voyage alternative. *Interfaces*, 15:81–84, 1985.
- [19] D. Bredström. Optimization models and methods for production planning and ship scheduling in the pulp industry. Licentiate thesis, Department of Mathematics, Linköping University, Sweden, 2003.
- [20] D. Bredström, D. Carlsson, and M. Rönnqvist. A hybrid algorithm for distribution problems based on a genetic algorithm and linear programming. *IEEE Intelligent Systems*, 20:19–25, 2005.
- [21] W.M. Bremer and A.N. Perakis. An operational tanker scheduling optimization system: Model implementation, results and possible extensions. *Maritime Policy and Management*, 19:189–199, 1992.
- [22] E.D. Chajakis. Sophisticated crude transportation. *OR/MS TODAY*, 24:30–34
- [23] E. D. Chajakis, S. H. Zanakis, G. Doukidis, C. Zopounidis, eds *Management science for marine petroleum logistics. Decision Making: Recent Developments and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 169–185, 2000.
- [24] M. Christiansen. Decomposition of a combined inventory and time constrained ship routing problem. *Transportation Science*, 33:3–16, 1999.
- [25] M. Christiansen and K. Fagerholt. Robust ship scheduling with multiple time windows. *Naval Research Logistics*, 49:611–625, 2002.
- [26] M. Christiansen and B. Nygreen. A method for solving ship routing problems with inventory constraints. *Annals of Operations Research*, 81:357–378, 1998.
- [27] M. Christiansen and B. Nygreen. Modeling path flows for a combined ship routing and inventory management problem. *Annals of Operations Research*, 82:391–412, 1998.

- [28] Ehrgott, Matthias, *Multicriteria Optimization :Second Edition*, 2005
- [29] K. Fagerholt. Ship scheduling with soft time windows – an optimisation based approach. *European Journal of Operational Research*, 131:559–571, 2001.
- [30] J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 2005
- [31] M.L. Fisher and R. Jaikumar. A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, 11:109–124, 1981.
- [32] M.L. Fisher and M.B. Rosenwein. An interactive optimization system for bulk cargo ship scheduling. *Naval Research Logistics*, 36:27–42, 1989.
- [33] T. Flatberg, H. Haavardtun, O. Kloster, and A. Løkketangen. Combining exact and heuristic methods for solving a vessel routing problem with inventory constraints and time windows. *Ricerca Operativa*, 29:55–68, 2000.
- [34] M. Fox and D. Herden. Ship scheduling of fertilizer products. *OR Insight*, April-June, 1999.
- [35] M.D. McKay and H.O. Hartley. Computerized scheduling of seagoing tankers. *Naval Research Logistics Quarterly*, 21:255–264, 1974.
- [36] A. Mehrez, M.S. Hung, and B.H. Ahn. An industrial ocean-cargo shipping problem. *Decision Sciences*, 26:395–423, 1995.
- [37] A. Messac, A. Ismail-Yahaya, and C. A. Mattson. The Normalized Normal Constraint Method for Generating the Pareto Frontier. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 25(2):86–98, 2003.
- [38] D.M. Miller. An interactive computer-aided ship scheduling system. *European Journal of Operational Research*, 32:363–379, 1987.
- [39] J.A. Persson and M. Göthe-Lundgren. Shipment planning at oil refineries using column generation and valid inequalities. *European Journal of Operational Research*, 163:631–652, 2005.
- [40] D. Ronen. Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems. *European Journal of Operational Research*, 12:119–126, 1983.
- [41] D. Ronen. Short term scheduling of vessels for shipping bulk or semi-bulk commodities originating in a single area. *Operations Research*, 34:164–173, 1986.
- [42] D. Ronen. Ship scheduling: The last decade. *European Journal of Operational Research*, 71:325–333, 1993.

- [43] D. Ronen Scheduling charter aircraft. *J. Oper. Res. Soc.* 51 258–262 2000
- [44] J.L. Scott. A transportation model, its development and application to a ship scheduling problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 12:111–128, 1995.
- [45] K. Vukadinovic and D. Teodorovic. A fuzzy approach to the vessel dispatching problem. *European Journal of Operational Research*, 76:155–164, 1994.
- [46] K. Vukadinovic, D. Teodorovic, and G. Pavkovic. A neural network approach to the vessel dispatching problem. *European Journal of Operational Research*, 102:473–487, 1997.