



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Βελτιστοποίηση Διαχείρισης Στόλου Πλοίων Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου με Χρήση Δυναμικού Προγραμματισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΟΓΓΟΛΙΔΗ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ

Επιβλέπων : Δημήτριος Λυρίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2020.

(Υπογραφή)

.....

(Υπογραφή)

.....

(Υπογραφή)

.....

Αθήνα, Ιούνιος 2020

(Υπογραφή)

.....

ΓΟΓΓΟΛΙΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Διπλωματούχος Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2019 – All rights reserved

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και συγκεκριμένα τον πατέρα μου Βασίλη, για την βοήθεια και την υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Η βοήθειά τους ήταν καθοριστική.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Β. Λυρίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Θαλάσσιων Μεταφορών, για την ανάθεση της διπλωματικής και την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Χρήστο Παπαλεωνίδα, για την άριστη συνεργασία και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής.

Πίνακας περιεχομένων

Βελτιστοποίηση Διαχείρισης Στόλου Πλοίων Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου με Χρήση Δυναμικού Προγραμματισμού	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	0
ΑΓΟΡΑ LNG.....	1
Εφοδιαστική αλυσίδα LNG	1
Διαχρονική πορεία εμπορίου LNG	1
Αγορά θαλάσσιων μεταφορών LNG.....	4
Ιδιοκτησία Πλοίων.....	6
ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG	9
Τα πρώτα πλοία LNG.....	9
Τα πλοία LNG σήμερα.....	9
Ταξινόμηση με βάση την πρόωση.....	10
Ατμοστρόβιλοι (Steam-Turbines).....	10
Αεριοστρόβιλοι (Gas-Turbine)	12
Μηχανές εσωτερικής καύσης.....	13
Δίχρονη αργόστροφη μηχανή Diesel με μηχανισμό επανυγροποίησης.....	13
Τετράχρονη Μεσόστροφη Μηχανή Diesel (Ηλεκτρική Diesel).....	14
Ταξινόμηση με βάση τις δεξαμενές φορτίου	15
ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ	17
Τερματικά Υγροποίησης.....	17
Τερματικά Επαναεριοποίησης	18
Πλωτή Μονάδα Επαναεριοποίησης και Αποθήκευσης	19
Πλωτή Μονάδα Υγροποίησης Φυσικού Αερίου	20
ΝΑΥΛΑΓΟΡΑ LNG	21
Ταξίδια και Αξιοποίηση Στόλου	23
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΝΑΥΛΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ	25
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	26
Δυναμικός Προγραμματισμός.....	27
ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	28
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	31
Μαθηματική Μοντελοποίηση.....	32
Περιγραφή Αλγορίθμου	36
Μελέτη Περίπτωσης	43
Εμπόριο LNG μεταξύ εισαγωγέων και εξαγωγέων	48

Αντιστοιχία συμβολαίων ναυτιλιακής – ναυλωτή και trader-trader	49
Παραδοχές Μελέτης Περίπτωσης.....	56
Παράδειγμα 1 ^ο : 4 Πλοία TFDE	57
Παράδειγμα 2 ^ο : 4 Πλοία 2-Stroke.....	63
Παράδειγμα 3 ^ο : 2 Πλοία 2-Stroke και 2 Πλοία TFDE σε μία ομάδα εξαγωγέων	68
Συμπεράσματα	84
Περαιτέρω Έρευνα.....	86
Βιβλιογραφία	88
Παράρτημα.....	90

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια αγορά ενέργειας στρέφεται όλο και περισσότερο στη χρήση φυσικού αερίου (NG), με αποτέλεσμα η αγορά του να βιώνει μεγάλη, συνεχόμενη ανάπτυξη. Ακολούθως αυξάνεται η ζήτηση για μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) δια θαλάσσης. Οι ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην αγορά LNG καλούνται να προσαρμοστούν σε αυτή τη συνεχόμενη μεγέθυνση της αγοράς και κυρίως στις συνέπειές της, οι οποίες την καθιστούν πιο ευέλικτη και ευμετάβλητη. Το γεγονός αυτό για τις ναυτιλιακές εταιρείες σημαίνει διαφορετική διαχείριση του στόλου. Τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια ναύλωσης πλοίων μεταφοράς LNG που για χρόνια καταλάμβαναν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς για τις ναυτιλιακές εταιρίες δίνουν όλο και περισσότερο τη θέση τους σε μικρής διάρκειας συμβόλαια, λόγω των επίσης μικρής διάρκειας και ποσότητας συμβολαίων μεταξύ αγοραστών και πωλητών φυσικού αερίου. Έτσι οι ναυτιλιακές εταιρείες αναγκάζονται να διαχειριστούν το στόλο τους κατάλληλα με σκοπό όχι μόνο την αποφυγή ζημίας, αλλά πολλές φορές την επίτευξη κέρδους.

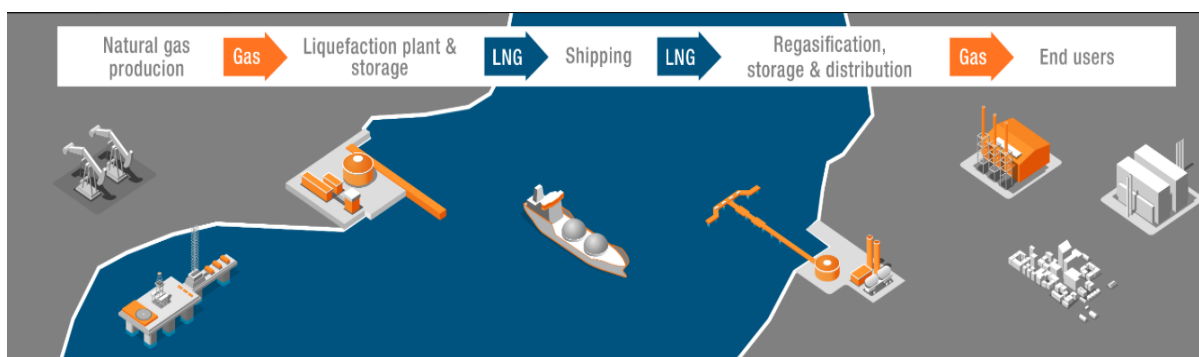
Σκοπός της διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός μοντέλου διαχείρισης του διαθέσιμου στόλου, δηλαδή των πλοίων που δεν είναι δεσμευμένα σε κάποιο συμβόλαιο, μιας ναυτιλιακής εταιρείας για την περίοδο ενός χρόνου. Το μοντέλο είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με τα πλοία και προβλέψεις σχετικά με τη ζήτηση τον συγκεκριμένο χρόνο θα καθορίζει τη βέλτιστη εκμετάλλευση για κάθε διαθέσιμο πλοίο. Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης χρησιμοποιείται η μέθοδος του Δυναμικού Προγραμματισμού. Αποτέλεσμα του αλγορίθμου θα είναι αποφάσεις για το ποια συμβόλαια συμφέρουν το κάθε πλοίο, για την επίτευξη του μέγιστου κέρδους.

ΑΓΟΡΑ LNG

Εφοδιαστική αλυσίδα LNG

Η ναυτιλιακή αγορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (Liquefied Natural Gas - LNG) είναι μέρος της αλυσίδας του εμπορίου του φυσικού αερίου (Natural Gas - NG). Μία αλυσίδα φυσικού αερίου αποτελείται από διάφορες εγκαταστάσεις και υπηρεσίες οι οποίες μπορεί να αποτελούν μία ενιαία επιχείρηση ή να είναι ανεξάρτητες.

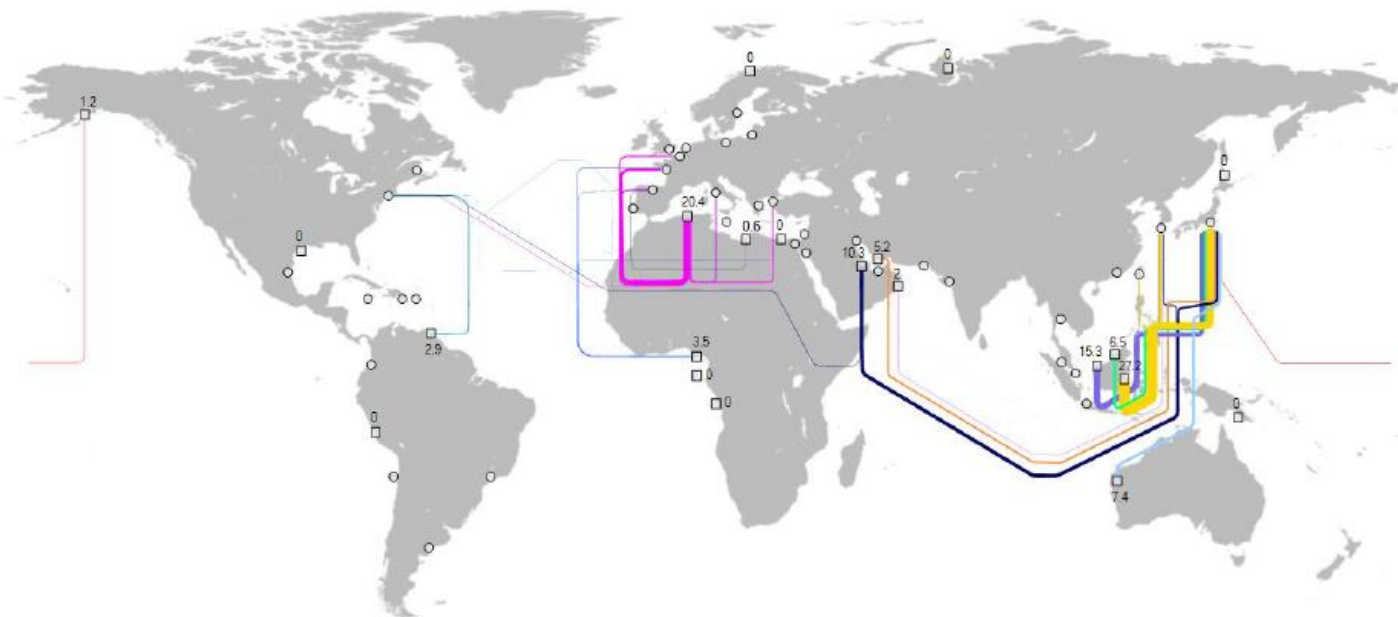
Για την εύρεση φυσικού αερίου αρχικά γίνεται γεωλογική έρευνα σε μέρη που υπάρχει πιθανότητα να περιέχονται υδρογονάνθρακες και με ειδικές δοκιμές, συνήθως σεισμικές, διαπιστώνεται ή όχι η ύπαρξή τους. Αν οι δοκιμές είναι θετικές, η διαδικασία συνεχίζεται με την γεώτρηση κατά τη διάρκεια της οποίας υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθεί φυσικό αέριο. Στη συνέχεια, μετά από κατάλληλη επεξεργασία το φυσικό αέριο μεταφέρεται και υγροποιείται στους σταθμούς υγροποίησης, όπου και αποθηκεύεται. Ακολουθεί η μεταφορά του σε υγροποιημένη μορφή δια θαλάσσης μέσω ειδικά σχεδιασμένων πλοίων (LNG carriers), όπου καταλήγει στους σταθμούς επαναεριοποίησης και αποθηκεύεται. Από εκεί, αφού μεταβεί ξανά σε αέρια κατάσταση, μεταφέρεται δια ξηράς είτε με σωλήνες, είτε με φορτηγά και πηγαίνει προς κατανάλωση.



Εικόνα 1. Εφοδιαστική αλυσίδα LNG

Διαχρονική πορεία εμπορίου LNG

Το θαλάσσιο εμπόριο LNG ξεκίνησε το 1964. Όλες οι πρώτες συναλλαγές ήταν συντηρητικές και περιελάμβαναν συγκεκριμένα, αποκλειστικά δρομολόγια. Εξαιτίας των τεράστιων κεφαλαίων που απαιτούνταν για την κατασκευή σταθμών υγροποίησης ή επαναεριοποίησης, η χρηματοδότηση από τις τράπεζες απαιτούσε μεγάλες και μακροπρόθεσμες εγγυήσεις. Η αγορά χαρακτηριζόταν από μεγάλης διάρκειας συμβόλαια, πολλά άνω της εικοσαετίας και ήταν ‘τοπική’, δηλαδή, οι παραγωγοί φυσικού αερίου στην περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού προμήθευαν αγοραστές στην ίδια περιοχή και αντίστοιχα στον Ειρηνικό Ωκεανό. Την δεκαετία του 60’ τα δρομολόγια για μεταφορά LNG ήταν από τη βόρεια Αφρική (Αλγερία και Λιβύη) στην Ευρώπη και από την Μέση Ανατολή (Άμπου Ντάμπι) στην Ιαπωνία. Την δεκαετία του 80’, επιπλέον εμπορικοί δρόμοι ήταν από την Αυστραλία και την νοτιοανατολική Ασία (Μπρουνέι, Ινδονησία και Μαλαισία) στην Ιαπωνία και την Κορέα.



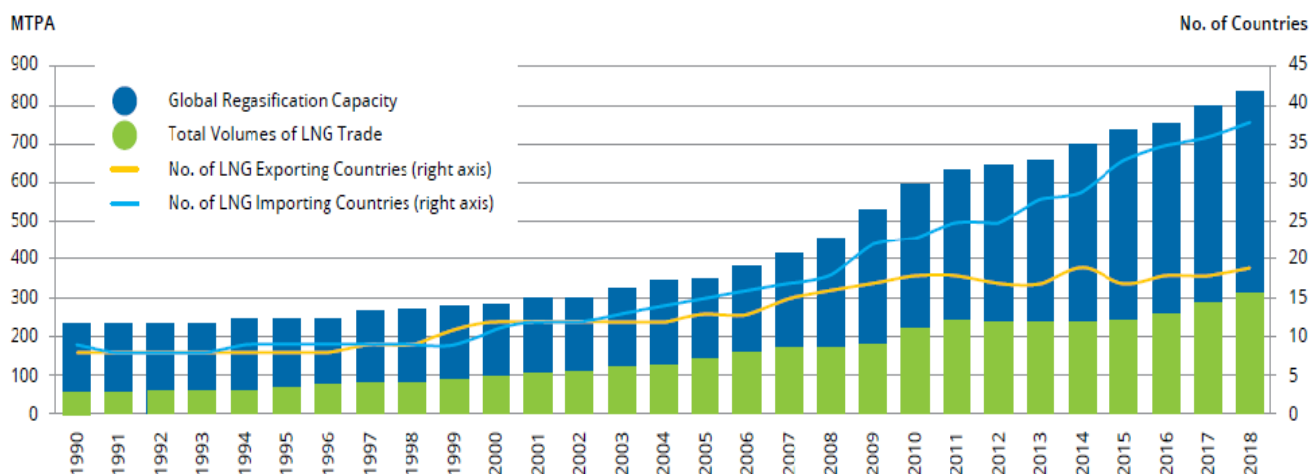
Εικόνα 2. Συνολικό Εμπόριο LNG το 2000 (Πηγή: Poten & Partners)

Μέχρι το 2000, υπήρχαν 10 εγκαταστάσεις εξαγωγής φυσικού αερίου, 12 χώρες που εισήγαγαν φυσικό αέριο και συνολικό εμπόριο που ανερχόταν στους 103 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Poten & Partners). Ακόμα και τα πρώτα χρόνια την νέας χιλιετίας, οι κύριοι καταναλωτές φυσικού αερίου ήταν στην Ασία (Ιαπωνία, Κορέα και Ταϊβάν). Τα συμβόλαια εφοδιασμού LNG ήταν από λίγους επιλεγμένους προμηθευτές και ήταν είτε Παραδοτέα επί πλοίου είτε Παραδοτέα στον προορισμό (DES / DAP), δηλαδή υπήρχε διαπραγματεύση για το ποιος θα ήταν υπεύθυνος για την μεταφορά του φορτίου, ο αγοραστής ή ο πωλητής. Οποιαδήποτε αλλαγή στο φορτίο για την ποιότητα και την προκαθορισμένη εντός ορίων ποσότητα δεν επιτρεπόταν. Οι θαλάσσιες διαδρομές ήταν προκαθορισμένες και βασισμένες σε συγκεκριμένες αποστάσεις, γεγονός που οδηγούσε σε απλή και αποτελεσματική διαχείριση ενός στόλου. Η διάρκεια επίσης των συμβολαίων οδηγούσε σε σαφείς προδιαγραφές και απαιτήσεις που θα έπρεπε να πληρούν τα προς κατασκευή πλοία.

Σήμερα, η βιομηχανία LNG παραμένει κεφαλαιοβόρα και εξακολουθεί να στηρίζεται σε μεγάλης διάρκειας συμβόλαια. Για ένα τυπικό εργοστάσιο υγροποίησης φυσικού αερίου τα έξοδα για ένα τόνο το χρόνο ανέρχονται στα 205 δολάρια, ενώ υποθέτοντας ότι η χωρητικότητα του εργοστασίου είναι 4 εκατομμύρια τόνοι, τα κεφαλαιουχικά έξοδα μπορεί να φτάσουν τα 820 εκατομμύρια δολάρια.

Σύμφωνα με την International Gas Union (IGU) το 2018 μεταφέρθηκαν 316.5 εκατομμύρια τόνοι LNG εκ των οποίων οι 217.5 προέρχονταν από μεγάλης διάρκειας συμβόλαια (άνω της πενταετίας), δηλαδή άνω του 65% του εμπορίου ακόμα κινείται κάτω από μεγάλης διάρκειας συμβόλαια. Μέχρι το τέλος του 2017 υπήρχαν παραπάνω από 30 εγκαταστάσεις εξαγωγής LNG (ενώ οι χώρες εξαγωγής είχαν φτάσει τις 16) και 38 χώρες εισαγωγής. Συγκριτικά με το

2000 (103 εκατομμύρια τόνοι) η μεταφορά LNG το 2018 ήταν μεγαλύτερη του 300% γεγονός που επιβεβαιώνει τη ραγδαία μεγέθυνση του κλάδου.

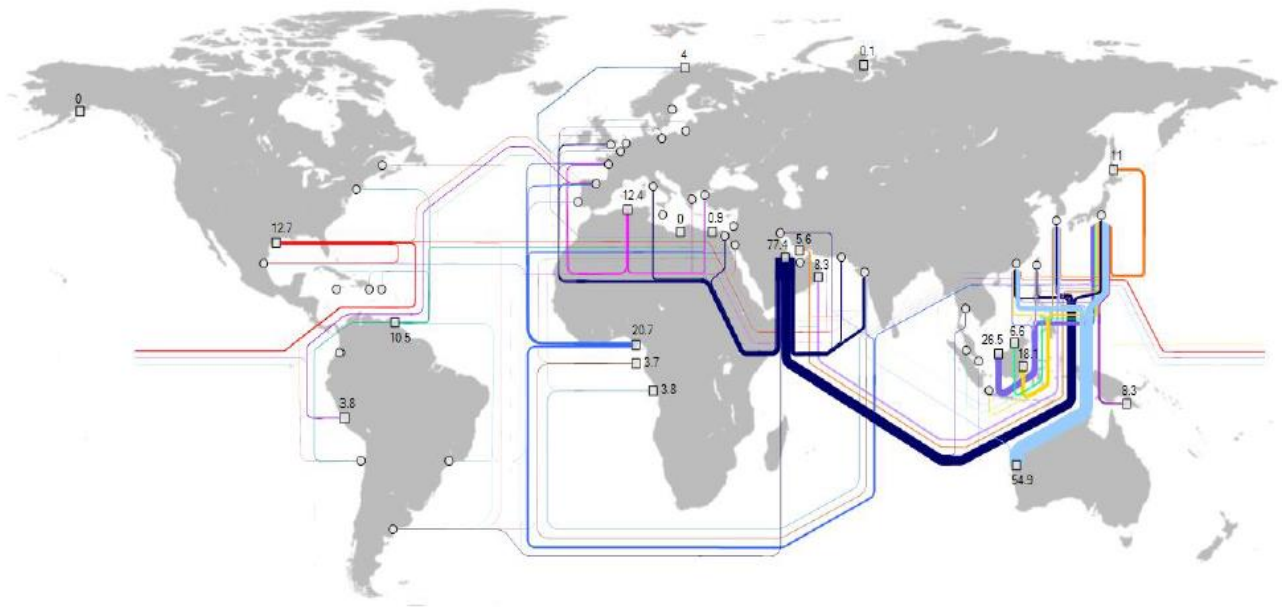


Εικόνα 3. Συνολικές συναλλαγές LNG, 1990-2018 (Πηγή: IGU Annual Report 2019)

Παρ' όλη τη σταθερότητα του κλάδου σε μεγάλης διάρκειας συμφωνίες, σήμερα τα συμβόλαια γίνονται όλο και περισσότερο ευέλικτα, οι όροι είναι γενικά μικρότεροι και πολλά από τα καινούργια συμβόλαια είναι της κατηγορίας Free on Board (FOB), όπου ο αγοραστής είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά του φορτίου. Επιπλέον πολλά νέα συμβόλαια έχουν ευελιξία προορισμού (δύναται να συναλλαχθούν παραπάνω από 1 φορά), για παράδειγμα, συμβόλαια που έχουν σαν πρωταρχικούς προορισμούς την Αμερική και το Ηνωμένο Βασίλειο, μπορούν να διοχετευθούν περαιτέρω σε άλλες αγορές. Οι συμφωνημένες ποσότητες έχουν επίσης μειωθεί, πολλά από τα νέα συμβόλαια υπογράφονται για 1 εκ. τόνους το χρόνο. Αυτή η ευελιξία στην ποσότητα είναι εξεχουσας σημασίας καθώς οι αγοραστές φυσικού αερίου καλούνται να διαχειριστούν αβέβαιη ζήτηση και άστατες τιμές. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την κοστολόγηση του LNG αυξάνονται όσο η χρήση του αυξάνεται και η χρήση του πετρελαίου τείνει να μειωθεί.

Οι εμπορικές συναλλαγές μικρής και μεσαίας διάρκειας (ορίζονται ως οι ποσότητες που μεταφέρονται υπό συμβόλαια 4 χρόνων ή και λιγότερα) και οι ποσότητες LNG που συναλλάσσονται παραπάνω από 1 φορά έχουν καταστήσει τις παγκόσμιες μεθόδους εμπορικών συναλλαγών περίπλοκες. Οι μικρής διάρκειας εμπορικές συναλλαγές από σχεδόν μηδενικές το 2000, έχουν φτάσει το ένα τρίτο του παγκόσμιου εμπορίου. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση LNG στην Ασία, σε εξειδικευμένες αγορές, ήδη υπάρχουσες και νέες που λειτουργούν με φυσικό αέριο, αλλά και στην διαθέσιμη περαιτέρω αγοραπωλησία (επανεξαγωγή) LNG στην Αμερική, λόγω χαμηλών τιμών.

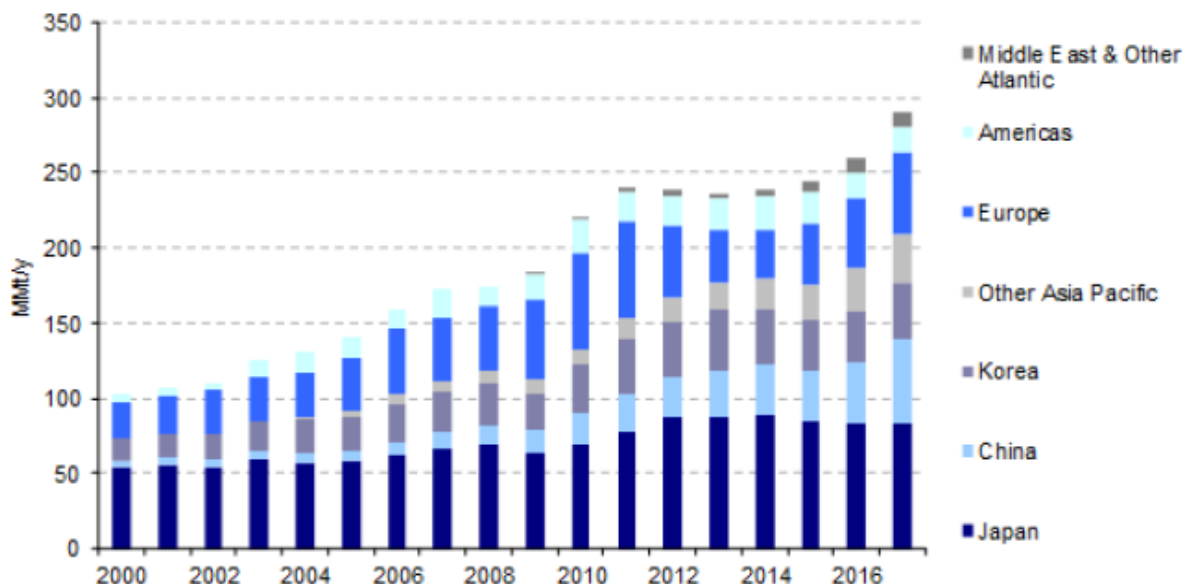
Σαν αποτέλεσμα, οι παγκόσμιες εμπορικές συναλλαγές γίνονται ακόμα πιο περίπλοκες. Το 2000, υπήρχαν μόνο 43 εμπορικές διαδρομές από χώρα σε χώρα, αλλά το 2017 ο αριθμός έφτασε τις 261. Πιο συγκεκριμένα, σε επίπεδο λιμανιών, οι εμπορικές διαδρομές αυξήθηκαν στις 686 (Poten & Partners). Οι εμπορικές διαδρομές αυξήθηκαν γρηγορότερα από τις συνολικές εμπορεύσιμες ποσότητες LNG.



Εικόνα 4. Συνολικό Εμπόριο LNG το 2018 (Πηγή: Poten & Partners)

Αγορά θαλάσσιων μεταφορών LNG

Η ζήτηση LNG στις χώρες του Ειρηνικού Ωκεανού έχει αυξηθεί σημαντικά, ξεπερνώντας την προσφορά στις ίδιες χώρες. Γι' αυτό οι διηπειρωτικές εμπορικές συναλλαγές (από τη μέση Ανατολή και τις χώρες του Ατλαντικού Ωκεανού) στις χώρες του Ειρηνικού Ωκεανού έχουν αυξηθεί, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερα δρομολόγια. Μέχρι και σήμερα οι Ασιατικές αγορές παραμένουν οι πρώτες σε ζήτηση ενώ οι κύριοι εφοδιαστές τους είναι χώρες της Μέσης Ανατολής και του Ειρηνικού Ωκεανού.



Εικόνα 5. Παγκόσμια Ζήτηση LNG ανά Περιοχή/Χώρα (Πηγή: Poten & Partners)

Η αυξημένη ζήτηση LNG και οι αυξημένες εμπορικές συναλλαγές παγκόσμιας εμβέλειας έχουν εκτοξεύσει τη ζήτηση θαλάσσιας μεταφοράς. Η τελευταία ορίζεται ως ο αριθμός των πλοίων που απαιτείται για να πραγματοποιηθούν όλες οι συμφωνημένες εμπορικές συναλλαγές LNG. Η ζήτηση θαλάσσιας μεταφοράς LNG καθορίζεται από την ποσότητα του φορτίου LNG που συναλλάσσεται παγκοσμίως (ζήτηση και προσφορά) και την απόσταση που μεταφέρεται. Οι δύο αγορές (αγορά φυσικού αερίου / ναυτιλιακή αγορά LNG) δεν πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά, εφόσον η πρώτη επηρεάζει άμεσα τη δεύτερη.

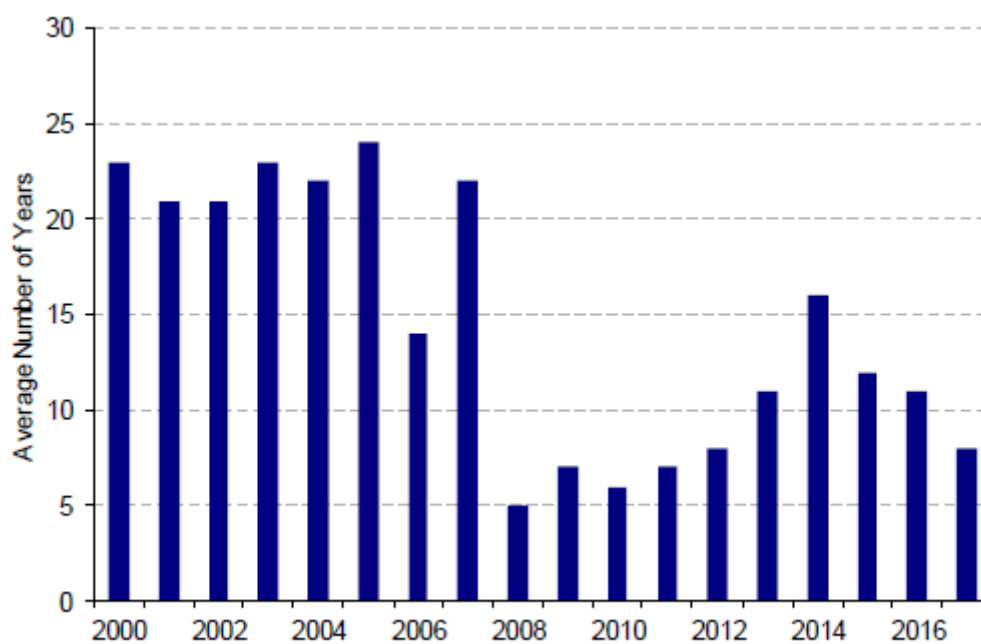
Σημαντικός παράγοντας στην αύξηση της ζήτησης είναι η σταθερή μείωση τα τελευταία 15 χρόνια στα κόστη διαχείρισης σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα χάρη στην κλιμακοποίηση των μεγεθών των προδιαγραφών σε κάθε τομέα αλλά και στην τεχνολογική πρόοδο. Οι χωρητικότητες στα τερματικά υγροποίησης και επαναεριοποίησης έχουν μεγεθυνθεί και αναλόγως μεγάλωσε και η χωρητικότητα των πλοίων LNG.

Η ανάπτυξη αυτή της βιομηχανίας φυσικού αερίου “τραβάει” μαζί της και τη ναυτιλιακή αγορά LNG, Χαρακτηριστικά, για τη ναυτιλιακή αγορά το 2003 ο παγκόσμιος στόλος ανερχόταν στα 150 πλοία ενώ στο τέλος του 2018 έφτασε τα 525, σημειώνοντας αύξηση κατά 350%.

Η αυξανόμενη ευελιξία στον εφοδιασμό LNG, τα μικρότερης διάρκειας συμβόλαια μεταξύ των σταθμών υγροποίησης και επαναεριοποίησης και οι ποσότητες που συναλλάσσονται κατ’επανάληψη, αποτέλεσαν πρόκληση για το παραδοσιακό μοντέλο θαλάσσιων μεταφορών. Σαν αποτέλεσμα, η ναυτιλιακή αγορά LNG έπρεπε να εξελιχθεί και να γίνει πιο ευέλικτη.

Η χρονική περίοδος ναύλωσης έχει μειωθεί κατακόρυφα, από 20 χρόνια κατά μέσο όρο (κυρίως μεγάλης διάρκειας συμβόλαια) την περίοδο μεταξύ 2000 και 2007, σε 8 χρόνια κατά μέσο όρο το 2017. Η μείωση που παρατηρείται τις χρονιές 2008-2009 οφείλεται στην υπερβολική διαθεσιμότητα των πλοίων. Χαρακτηριστικά περίπου 70 από τα 315 πλοία LNG

ήταν αδρανής για εκείνες τις χρονιές, κάτι το οποίο είναι σπάνιο σε όλες τις άλλες ναυτιλιακές αγορές.



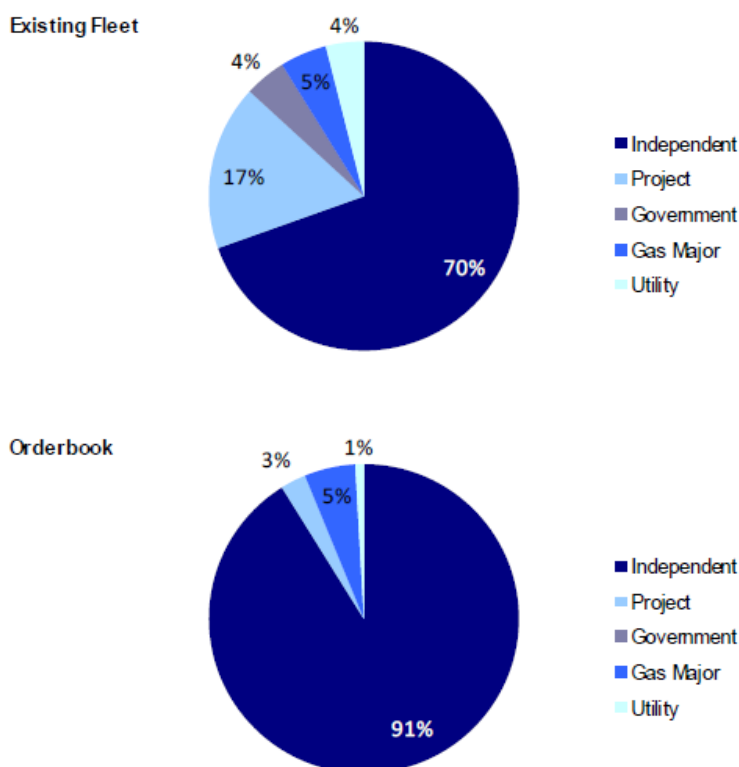
Εικόνα 6. Ετήσια Μέση Διάρκεια Ναύλωσης (Πηγή: Poten & Partners)

Αλλαγές στους λογιστικούς κανονισμούς έκαναν τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια να φαίνονται πιο πολύ σαν υποχρεώσεις παρά σαν λειτουργικές μισθώσεις. Κατά συνέπεια οι περίοδοι ναύλωσης μειώθηκαν. Επιπλέον, η τάση των πλοιοκτητών να αναλαμβάνουν το ρίσκο της υπολειπόμενης αξίας, εξυπηρετεί τους ναυλωτές, αφαιρώντας τους το ίδιο ρίσκο.

Ιδιοκτησία Πλοίων

Η πλοιοκτησία έχει γίνει πολυμερής και ανταγωνιστική, αυξάνοντας έτσι τη ρευστότητα στη ναυτιλιακή αγορά. Κατά παράδοση, η ιδιοκτησία των πλοίων LNG άνηκε στις ίδιες εγκαταστάσεις, με τις συναλλαγές να πραγματοποιούνται είτε επί πλοίου, είτε στον προορισμό (DES / DAP). Το γεγονός αυτό, ήταν αποτέλεσμα του συντηρητικού, συγκεκριμένου και απλού τρόπου που γίνονταν οι εμπορικές συναλλαγές LNG μεταξύ των λίγων εφοδιαστών και των επίσης λίγων αγοραστών LNG.

Σήμερα, η ιδιοκτησία των πλοίων έχει μεταφερθεί στο μεγαλύτερό της ποσοστό από τις εγκαταστάσεις LNG, πολλές από τις οποίες ήταν και υπό κρατικό έλεγχο εν μέρει, σε ανεξάρτητους πλοιοκτήτες, καθώς οι πρώτες έχουν εστιάσει στις βασικές τους δραστηριότητες. Οι ανεξάρτητοι πλοιοκτήτες με τη σειρά τους έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν είτε με ανάντη είτε με κατόντη επιχειρήσεις. Αυτή η αλλαγή στην ιδιοκτησία φαίνεται επίσης στη σύγκριση του υπάρχοντος στόλου με τον στόλο που έχει παραγγελθεί. Την ίδια εξέλιξη είχε και η αγορά εμπορευματοκιβωτιών, στην οποία σήμερα είναι σύνηθες οι ναυτιλιακές εταιρείες να συνεργάζονται με τα τερματικά για να εξασφαλίζουν σταθερότητα στις μεταφερόμενες ποσότητες.



Εικόνα 7. Ιδιοκτησία υπάρχοντος και υπό παραγγελίας στόλου (Πηγή: Poten & Partners)

Με τη νέα κατεύθυνση των συμβολαίων LNG και την ευέλικτη φύση τους, οι μεγαλύτεροι ανεξάρτητοι πλοιοκτήτες αναζητούν συνιδιοκτήτες / επενδυτές. Πολλά πλοία LNG ανήκουν σε κοινοπραξίες, που αποτελούνται από πολλούς ιδιοκτήτες. Σαν αποτέλεσμα, η ιδιοκτησία ενός πλοίου μπορεί να μην είναι μονομερής.

Η αγορά άμεσης παράδοσης και τα μικρής διάρκειας συμβόλαια στα πλοία LNG ολοένα και επεκτείνονται για να καλύψουν τη ζήτηση. Παρ' όλα αυτά το 2018 υπήρξε ύφεση στην αγορά άμεσης παράδοσης. Η ρευστότητα απαιτεί έντονη εμπορική δραστηριότητα και ενεργή άμεση αγορά. Η άνοδος της ρευστότητας στην ναυτιλιακή αγορά LNG ξεκίνησε το 2013 όταν πληθώρα πλοίων παραδόθηκε, πολλά εκ των οποίων δεν ήταν δεσμευμένα με κάποιο συμβόλαιο, αυξάνοντας έτσι την διαθεσιμότητα των πλοίων. Τα επόμενα χρόνια οι νέες κατασκευές συνεχίστηκαν ενώ το συνολικό εμπόριο LNG παρέμεινε ως επί των πλείστων σταθερό.

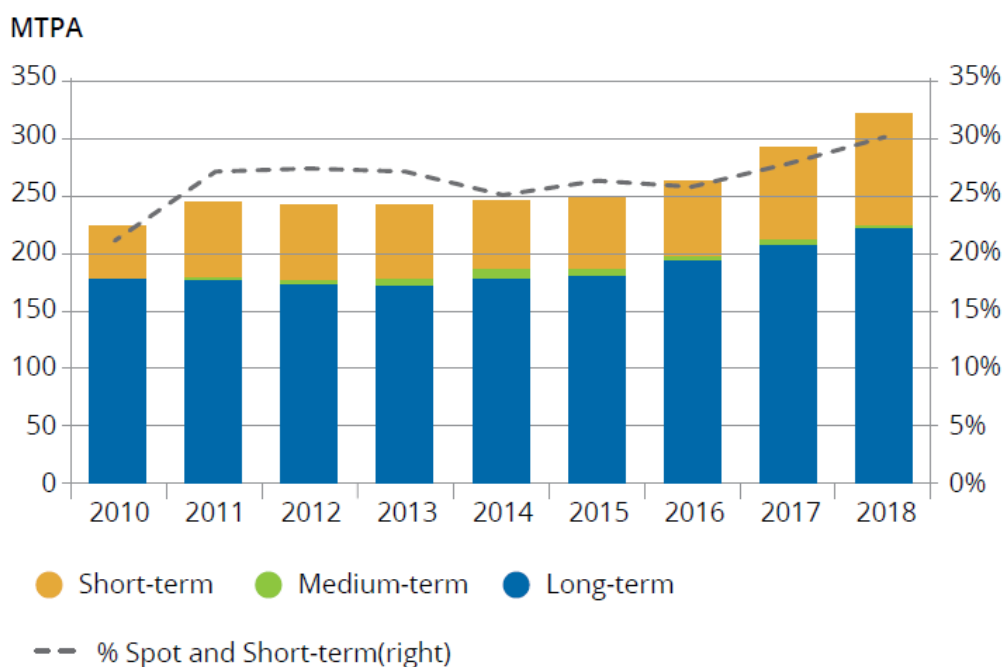
Η εμπορική αστάθεια αυξήθηκε εξαιτίας της μεταβολής στις κλασικές εμπορικές συμφωνίες καθώς οι παραδοσιακές χώρες εισαγωγής φυσικού αερίου είχαν μικρή αύξηση στη ζήτηση ή ακόμα και μείωση, και οι νέες χώρες που εισήγαγαν φυσικό αέριο σημείωσαν μεγάλη αύξηση.

Μέχρι το τέλος του 2015, τα συνολικά διαθέσιμα πλοία προς μίσθωση είχαν ξεπεράσει τα 30, νέες εγκαταστάσεις εισαγωγής φυσικού αερίου εμφανίστηκαν και οι εφοδιαστές φυσικού αερίου στον Ειρηνικό Ωκεανό εκτόξευσαν τις εξαγωγές τους.

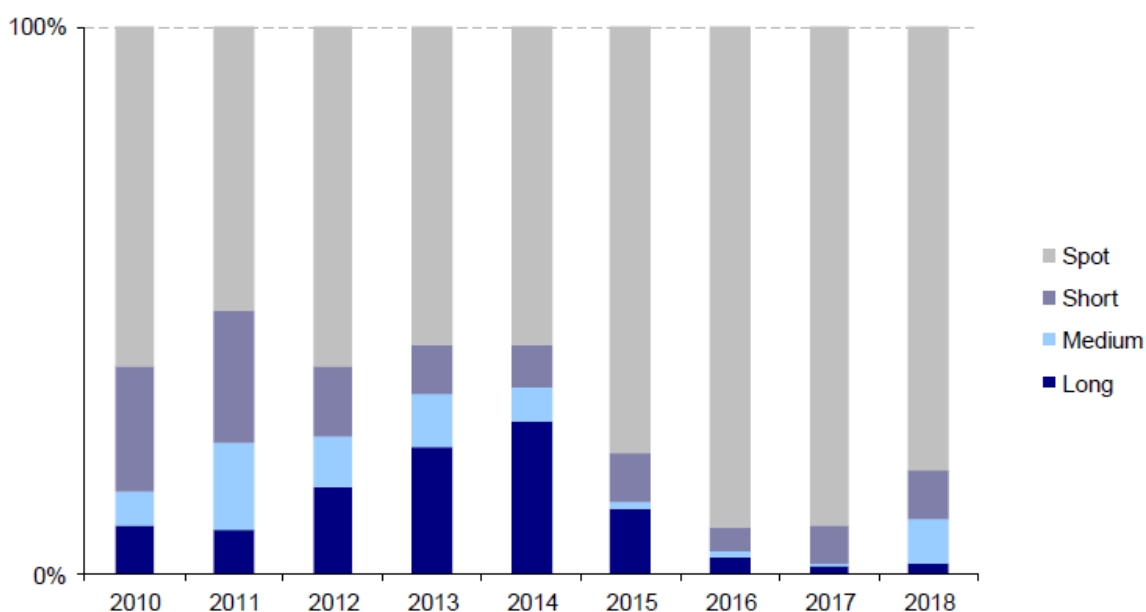
Με το ένα τρίτο περίπου του συνολικού εμπορίου LNG να συναλλάσσεται σε συμφωνίες μικρής προθεσμίας, το άμεσο εμπόριο επίσης αυξήθηκε. Ενώ η άμεση ναύλωση πλοίου (για εξάμηνες περιόδους ή και λιγότερο) συνεχίζει να καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό στη ναυλαγορά LNG, μειώθηκε από 90% το 2017 σε 80% το 2018.

Τα ταξίδια μίας διαδρομής αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της άμεσης αγοράς. Η μεσαία διάρκειας ναύλωση παραμένει χαμηλή τα τελευταία χρόνια καθώς οι ναυλωτές στηρίζονται στο μεγάλο στόλο που παραμένει διαθέσιμος για μικρής διάρκειας ναυλώσεις.

Στην Εικόνα 8 φαίνεται η χρονική εξέλιξη από το 2010 μέχρι το 2018, της διάρκειας των συμβολαίων στο εμπόριο LNG ενώ στην εικόνα 8 φαίνεται η χρονική εξέλιξη για την ίδια περίοδο στις χρονοναυλώσεις των διαθέσιμων κάθε χρόνο, πλοίων.



Εικόνα 8. Μικρής, Μεσαίας και Μεγάλης διάρκειας εμπορικές συναλλαγές, 2010-2018 (Πηγή: IGU)



Εικόνα 9. Ποσοστά Ετήσιων Χρονοναυλώσεων Πλοίων, 2010-2018 (Πηγή: Poten & Partners)

Τα τελευταία χρόνια η μείωση στα μονά δρομολόγια δείχνει μια μείωση στη ρευστότητα (2018 σε αντίθεση με 2016 και 2017). Η μείωση αυτή οφείλεται στην τάση των ναυλωτών, οι οποίοι για να αποφύγουν περιορισμένη διαθεσιμότητα στο μέλλον, δεσμεύουν πλοία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Μια ευκίνητη οικονομικά ναυλαγορά LNG προϋποθέτει διαθεσιμότητα σε πλοία για έναν ναυλωτή, οποιαδήποτε στιγμή και για οποιοδήποτε προορισμό. Σήμερα ακόμα η αγορά δεν έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο.

ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG

Τα πρώτα πλοία LNG

Το METHANE PIONEER ήταν το πρώτο πλοίο που μετέφερε LNG διεθνώς, σε ένα ταξίδι από το τερματικό Trunkline στη λίμνη Charles, της Louisiana στον βρετανικό σταθμό φυσικού αερίου στο νησί Κανβέυ το 1959. Μέχρι τότε υπήρχε αμφιβολία για τα συστήματα μόνωσης των δεξαμενών. Το METHANE PIONEER είχε υποστεί μετασκευή από απλό εμπορικό πλοίο, σε πλοίο με 5 δεξαμενές από ξύλο μπάλσα και ίνες γυαλιού για επένδυση. Το πετυχημένο υπερατλαντικό ταξίδι μεταφοράς 5000 m³ LNG έδειξε πως το διεθνές εμπόριο LNG είναι υλοποιήσιμο και σηματοδότησε την αρχή του. Τα πρώτα δύο εμπορικά πλοία μεταφοράς μεθανίου, το METHANE PROGRESS και το METHANE PRINCESS, ξεκίνησαν τα υπηρεσιακά τους δρομολόγια το 1964. Κάθε ένα είχε χωρητικότητα 27.400 m³.

Τα πλοία LNG σήμερα

Ένα τυπικό σύγχρονο πλοίο LNG έχει περίπου 300 μέτρα μήκος, 43 μέτρα πλάτος και έχει ένα βύθισμα περίπου 12 μέτρων. Τα πλοία LNG ποικίλουν στη χωρητικότητα, από 1000 κυβικά μέτρα τα μικρότερα μέχρι και 267.000 κυβικά μέτρα τα μεγαλύτερα. Η πλειοψηφία του σημερινού στόλου βρίσκεται μεταξύ των 125.000 m³ και των 175.000 m³. Τα μικρότερα πλοία (1.000 m³- 25.000 m³) λειτουργούν σε μικρότερης εμβέλειας περιοχές όπως η Νορβηγία και η Ιαπωνία. Τα πλοία LNG κινούνται με ταχύτητες 21 κόμβων (τα δεξαμενόπλοια πετρελαίου λειτουργούν μεταξύ 15-20 κόμβων), σε ανοιχτά νερά. Η τυπική διάρκεια κατασκευής ενός πλοίου LNG είναι 20 με 36 μήνες. Το 2017 το πρώτο παγοθραυστικό πλοίο ναυπηγήθηκε για μεταφέρει υγροποιημένο φυσικό αέριο από το τερματικό υγροποίησης Yamal της Ρωσίας. Η κατανομή του στόλου το 2019 με βάση τη χωρητικότητα φαίνεται στην Εικόνα 10.

CARGO CAPACITY (m³)



Εικόνα 10. Παγκόσμιος Στόλος LNG με βάση τη χωρητικότητα (Πηγή: GIIGNL)

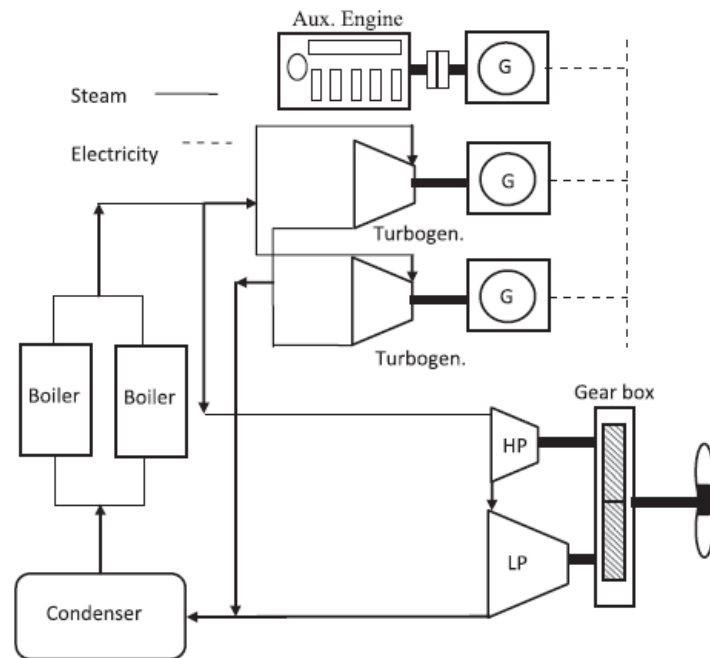
Τα πλοία LNG μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν με βάση τις δεξαμενές φορτίου ή με βάση το σύστημα πρόωσης.

Ταξινόμηση με βάση την πρόωση

Οι ατμοστρόβιλοι (steam turbine) ήταν η βασική εγκατάσταση που εφαρμοζόταν στα πλοία LNG από το 1960, καθώς επέτρεπαν την ταυτόχρονη χρήση πετρελαίου και του εξατμιζόμενου αερίου ως καύσιμα, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου. Οι ατμοστρόβιλοι με τη σειρά τους τροφοδοτούσαν τους στρόβιλους πρόωσης και τις ηλεκτρογεννήτριες.

Από το 2003 το σύστημα πρόωσης των πλοίων LNG άλλαξε. Οι ατμοστρόβιλοι σιγά σιγά αντικαταστήθηκαν από μηχανές εσωτερικής καύσης λόγω της βελτίωσης της αποδοτικότητας των τελευταίων αλλά και της ικανότητας τους να λειτουργούν με δύο καύσιμα (πετρέλαιο και το εξατμιζόμενο αέριο). Όταν λειτουργούν με δύο καύσιμα οι μηχανές εσωτερικής καύσης αναφέρονται σαν Dual-Fuel. Οι πρώτες μηχανές DF που αναπτύχθηκαν ήταν τετράχρονες (4-X), ωστόσο σήμερα η ικανότητα των δίχρονων μηχανών να χρησιμοποιήσουν διπλό καύσιμο τις καθιστά προτιμότερες από τις τετράχρονες.

Ατμοστρόβιλοι (Steam-Turbines)



Εικόνα 11. Τυπική διάταξη ατμοστροβίλου (Πηγή: *Review of Propulsion Systems on LNG carriers, Elsevier*)

Οι εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων αποτελούνται συνήθως από δύο καυστήρες παροχής 80-90 τόνων την ώρα υπέρθερμου ατμού σε πίεση 60 με 70 bar στους 520 °C με σκοπό να τροφοδοτήσουν δύο στροβίλους, έναν χαμηλής και έναν υψηλής πίεσης. Ο ατμός μετά την έξοδό του από τους συμπιεστές πηγαίνει στους συμπυκνωτές όπου υγροποιείται και οδηγείται στους καυστήρες μέσω από αντλίες. Πριν συμπυκνωθεί ο ατμός περνάει από αναθερμαντήρες, οι οποίοι εκμεταλλεύονται την απομένουσα θερμότητα του ατμού και αυξάνουν το βαθμό απόδοσης του θερμικού κύκλου. Όταν το συμπύκνωμα μπει ξανά στον καυστήρα ο κύκλος ολοκληρώνεται.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται δύο στροβιλογεννήτριες οι οποίες τροφοδοτούνται από μέρος τους υπέρθερμου ατμού που παράγεται από τους δύο καυστήρες. Με τη διάταξη αυτή ικανοποιείται η απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας όλου του πλοίου. Οι καυστήρες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν ταυτόχρονα με βαρύ πετρέλαιο και εξατμιζόμενο αέριο.

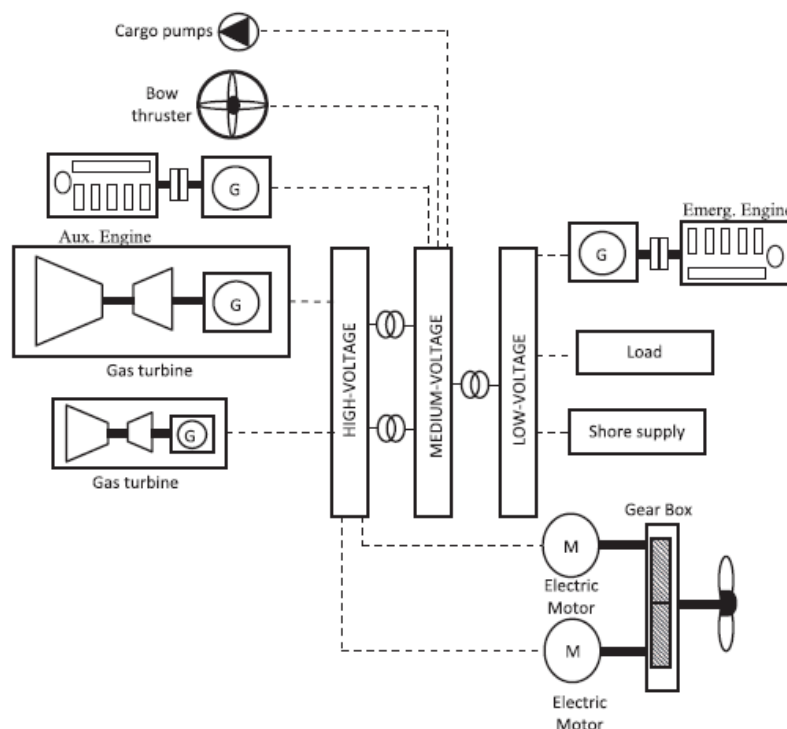
Το βασικό πλεονέκτημα των ατμοστροβίλων μέχρι την νέα χιλιετία ήταν ο γεγονός πως ήταν το μόνο σύστημα που μπορούσε να χρησιμοποιήσει τα δύο καύσιμα και ουσιαστικά να εκμεταλλευτεί το εξατμιζόμενο αέριο. Επιπλέον η ευκολία στη χρήση, η αξιοπιστία και τα μειωμένα έξοδα λειτουργίας αποτελούσαν περεταίρω λόγους για τους οποίους τους προτιμούσαν. Ωστόσο η χαμηλή αποδοτικότητα (περίπου στο 35%), οι υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ο μεγάλος χώρος που καταλαμβάνει η εγκατάσταση, είναι σημαντικά μειονεκτήματα των ατμοστροβίλων.

Οι παραγωγοί ατμοστροβίλων καλούνται να βελτιώσουν την εκτέλεση τους. Η συνεχής αύξηση των τιμών των καυσίμων σε συνδυασμό με τους όλο και αυστηρότερους κανονισμούς για τις εκπομπές καυσαερίων, καθιστούν τους ατμοστροβίλους μη ελκυστική επιλογή για την πρωστήρια εγκατάσταση. Για την βελτίωση της αποδοτικότητας έχουν

δημιουργηθεί οι υπερ-ατμοστρόβιλοι. Η εγκατάσταση των υπερ-ατμοστροβίλων περιλαμβάνει επιπλέον αναθερμαντήρες και στροβίλους ενδιάμεσης πίεσης.

Αεριοστρόβιλοι (Gas-Turbine)

Οι αεριοστρόβιλοι ήταν μια τεχνολογική καινοτομία που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην αεροπορική βιομηχανία. Η ικανότητά τους να καταναλώνουν ταυτόχρονα δύο καύσιμα (εξατμιζόμενο αέριο και πετρέλαιο), η αξιοπιστία τους και ο μεγάλος λόγος ισχύος/βάρους, συνεπώς το μειωμένο μέγεθός τους ήταν λόγοι για τους οποίους προτιμήθηκε στα πλοία LNG. Σε σύγκριση με στρατιωτικά και επιβατηγά πλοία οι αεριοστρόβιλοι στα LNG είναι αρκετοί και για την παραγωγή όλης της ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου. Οι αεριοστρόβιλοι αυτοί λέγονται και DFGE (dual-fuel gas turbine electric propulsion) και φαίνονται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Τυπική Εγκατάσταση Αεριοστρόβιλου (Πηγή: *Review of Propulsion Systems on LNG carriers, Elsevier*)

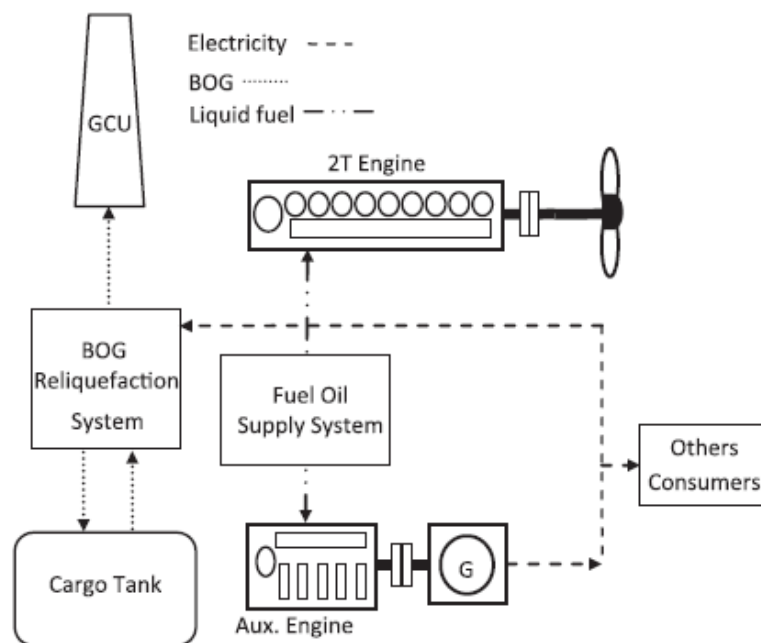
Μία συνηθισμένη πρακτική στις εγκαταστάσεις αεριοστρόβιλων είναι η COGES (Combined gas turbine electric & steam system). Στην COGES η προωστήρια κίνηση είναι ηλεκτρική. Ο συνδυασμός αεριοστρόβιλων με ατμοστρόβιλους σκοπεύει στην οικονομικότερη λειτουργία του πλοίου ακόμα και στις καταστάσεις αδράνειας στα λιμάνια. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ανομοιογένεια στο μέγεθος των μηχανών μέσα στην ίδια εγκατάσταση. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των αεριοστρόβιλων και της διάταξης COGES είναι ο μικρός απαιτούμενος χώρος, ωστόσο η υψηλή κατανάλωση παραμένει μεγάλο μειονέκτημα.

Μηχανές εσωτερικής καύσης

Παρόλο που οι μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούσαν το κατεξοχήν μέσο πρόωσης για όλα τα πλοία, τα LNG εξαιρούνταν καθώς δεν υπήρχε δυνατότητα εκμετάλλευσης του εξατμιζόμενου αερίου. Από το 2003 όμως που εμφανίστηκαν οι μηχανές εσωτερικής καύσης διπλού καυσίμου (ΔΚ) η αγορά στράφηκε κατευθείαν προς το μέρος τους. Χαρακτηριστικά από το 2003 μέχρι το 2006, 159 μονάδες εγκαταστάθηκαν σε πλοία LNG. Οι τετράχρονες ηλεκτρικές μηχανές ΔΚ ήταν οι πρώτες που δημιουργήθηκαν, ενώ από το 2008 η αγορά στράφηκε προς δίχρονες.

Δίχρονη αργόστροφη μηχανή Diesel με μηχανισμό επανυγροποίησης

Αυτού του τύπου οι μηχανές χρησιμοποιούνται για την πρόωση των περισσότερων εμπορικών πλοίων χάρη στο χαμηλό κόστος συντήρησης, στην υψηλή αποδοτικότητα και στη δυνατότητά τους να λειτουργούν με χαμηλής ποιότητας καύσιμα. Οι μηχανές αυτές συναντώνται σε πλοία LNG χωρητικότητας μεγαλύτερης των 200.000 m³ και περιλαμβάνουν συνήθως ένα μηχανισμό επανυγροποίησης του φυσικού αερίου που έχει εξατμιστεί στις δεξαμενές και τον μηχανισμό GCU (Gas Combustion Unit). Ο μηχανισμός επανυγροποίησης αποτρέπει την απώλεια φορτίου λόγω εξατμίσσης, ενώ ο GCU φροντίζει ώστε να καεί οποιαδήποτε ποσότητα εξατμιζόμενου αερίου δεν υγροποιήθηκε, αποτρέποντας έτσι την αύξηση της πίεσης στις δεξαμενές.



Εικόνα 13. Δίχρονη Αργόστροφη Μηχανή με Επανυγροποίηση (Πηγή: *Review of Propulsion Systems on LNG carriers, Elsevier*)

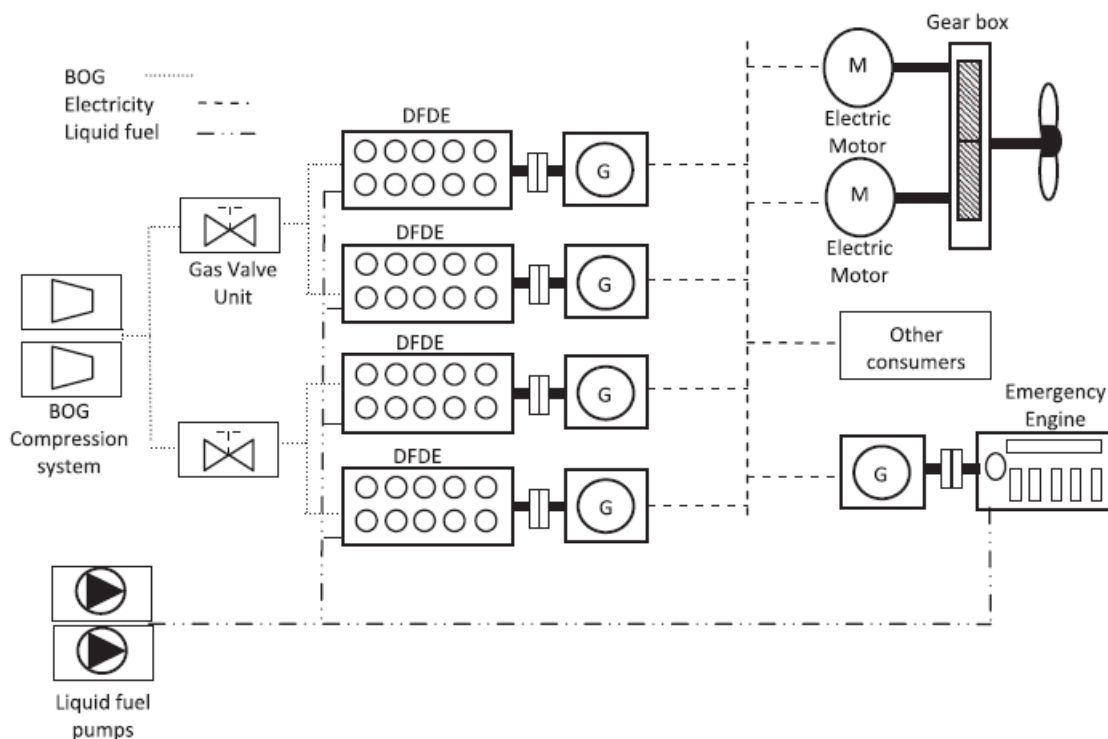
Οι δίχρονες μηχανές έχουν υψηλή αποδοτικότητα αλλά για τη συνολική λειτουργία του πλοίου πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο μηχανισμός επανυγροποίησης ο οποίος είναι αρκετά ενεργοβόρος. Για τη λειτουργία του μηχανισμού απαιτούνται περίπου 3 με 4 βοηθητικές

μηχανές, οι οποίες καταναλώνουν περίπου 20% της ενέργειας που εξοικονομείται από την επανυδροποίηση του εξατμιζόμενου φορτίου.

Σήμερα έχουν επικρατήσει στην αγορά έναντι των υπολοίπων λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης τους (κοντά στο 50%) και στο γεγονός ότι δεν χάνουν μέρος του φορτίου λόγω εξάτμισης. Από την άλλη συγκριτικά με τον αμοστρόβιλο το κόστος συντήρησης είναι υψηλό, όπως και η κατανάλωση καυσίμου λόγω του μηχανισμού επανυδροποίησης και τέλος τα επίπεδα εκπομπής των NOx και SOx με τους νέους κανονισμούς TIER III είναι μη αποδεκτά. Για την επίλυση του τελευταίου προβλήματος πολλές λύσεις έχουν προταθεί διάφορες λύσεις που παρεμβάλλονται είτε στο σύστημα καύσης είτε στην επεξεργασία των καυσαερίων

Τετράχρονη Μεσόστροφη Μηχανή Diesel (Ηλεκτρική Diesel)

Οι 4X μηχανές ντίζελ ήταν οι πρώτες μηχανές εσωτερική καύσης που μπήκαν στα πλοία LNG το 2003 και η ιδιότητά τους να καταναλώνουν δύο καύσιμα ήταν ο λόγος που έκτοτε κατέλαβαν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς στην πρόωση πλοίων LNG. Σε μία τυπική διάταξη 4 4X κινητήρες συνδέονται με ηλεκτρογεννήτριες (DFDE- dual fuel diesel electric) οι οποίες τροφοδοτούν με ενέργεια όλο το πλοίο συμπεριλαμβανομένων δύο ηλεκτροκινητήρων υπεύθυνων για την πρόωση.



Εικόνα 14. Τετράχρονη DFDE (Πηγή: *Review of Propulsion Systems on LNG carriers*, Elsevier)

Στη διάταξη σήμερα υπάρχουν πολλές παραλλαγές, με την πρόωση να μπορεί να είναι και εξαρτημένη από τις βασικές 4X ντιζελομηχανές. Όταν η διάταξη λειτουργεί με αέριο σαν καύσιμο, τότε λειτουργεί με βάση τον κύκλο Otto ενώ όταν λειτουργεί με πετρέλαιο,

λειτουργεί κατά τον κύκλο Diesel. Και στις 4X μηχανές είναι δυνατή η εγκατάσταση μηχανισμού επαναυγροποίησης.

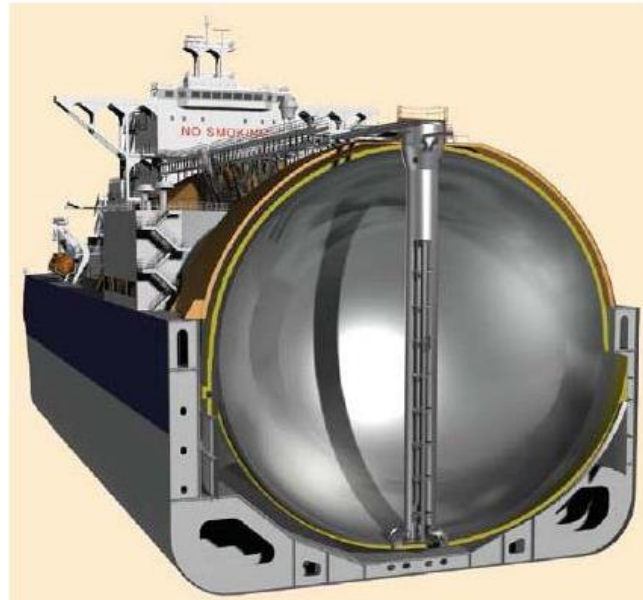
Συμπερασματικά, οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι η συνήθης και προτιμότερη επιλογή για την πρόωση πλοίων LNG κυρίως λόγω της υψηλότερης απόδοσής τους σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους. Οι νέοι κανονισμοί TIER III για τις εκπομπές καυσαερίων ανάγκασαν τους κατασκευαστές των μηχανών ντίζελ να αναπτύξουν μηχανισμούς για να μειώσουν τα επίπεδα των NOx και SOx. Πολλοί από αυτούς που χρησιμοποιούνται έχουν αρνητική επίπτωση στην απόδοση της μηχανής, παρ' όλα αυτά είναι ακόμη προτιμότερη.

Ταξινόμηση με βάση τις δεξαμενές φορτίου

Η σχεδίαση των δεξαμεμών LNG στα πλοία έχει ως πρωταρχικό μέλημα την διατήρηση του φορτίου σε υγρή και σε αέρια κατάσταση (ένα μέρος του) και την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε πιθανότητας έναρξης πυρκαγιάς η οποία χρήζει μεγάλης προσοχής λόγω ευαισθησίας του φορτίου. Κατά την φόρτωση και την εκφόρτωση, το πλοίο και η εγκατάσταση στην ξηρά συνδέονται με πλήρως στεγασμένα συστήματα και η σύνδεση περιλαμβάνει τη μεταφορά του υγρού φορτίου αλλά προβλέπεται και η μεταφορά του φορτίου που εξατμίζεται κατά την διάρκεια της διαδικασίας.

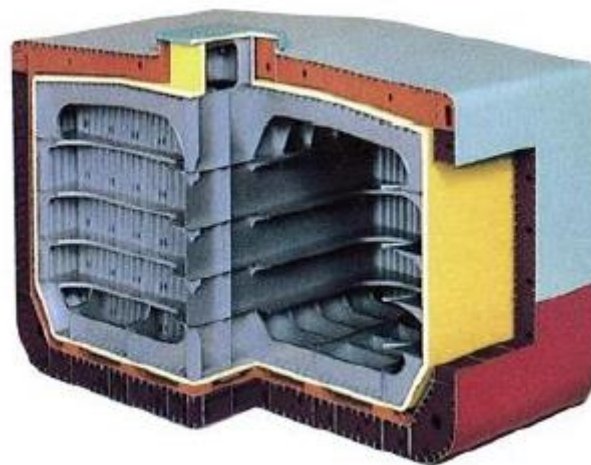
Οι δεξαμενές των πλοίων LNG είναι ενισχυμένες με διπλά τοιχώματα τα οποία περιλαμβάνουν θερμική μόνωση, η οποία είναι μείζονος σημασίας δεδομένου ότι η μεταφορά θερμότητας προς τις δεξαμενές είναι ο κύριος λόγος της εξάτμισης του φορτίου. Τα σημερινά πλοία κατασκευάζονται με ένα από τα τρία είδη δεξαμεμών: τις τύπου B Σφαιρικές δεξαμενές, τις τύπου B Πρισματικές δεξαμενές και τις δεξαμενές Μembrάνης, οι πιο σύγχρονες.

Οι περισσότερες δεξαμενές τύπου B είναι σφαιρικές, τύπου Moss. Η ονομασία οφείλεται στο σχήμα που έχουν οι δεξαμενές. Η δεξαμενή περιλαμβάνει θερμική μόνωση η οποία καλύπτει το πρώτο τοίχωμα και χάρη στο σχήμα της δεν απαιτείται δεύτερο. Η αλουμινένια βάση της αποτελεί επιπλέον στήριξη και για τη δεξαμενή και για τη γάστρα. Πολλές φορές για την αποφυγή εύφλεκτων περιβαλλόντων το φορτίο καλύπτεται με αδρανές αέριο.



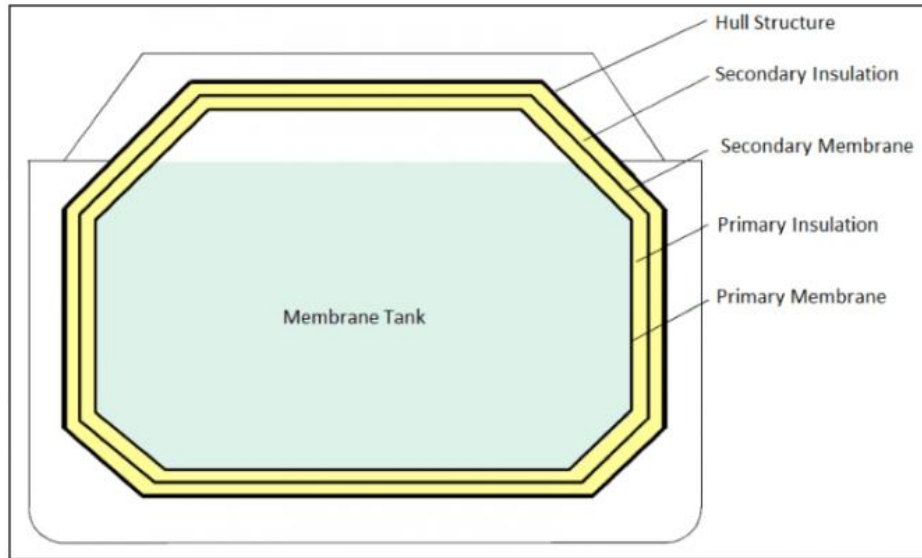
Εικόνα 15. Δεξαμενή τύπου Moss (Πηγή: Seamanship International)

Οι δεξαμενές τύπου B μπορεί να έχουν και πρισματική μορφή. Με αυτή τη μορφή της δεξαμενής γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του όγκου της γάστρας κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Συνήθως οι πρισματικές δεξαμενές χωρίζονται και από διαμήκεις φρακτές και όπως και στις δεξαμενές Moss χρησιμοποιείται αδρανές αέριο για την προστασία του φορτίου και από ανάφλεξη και από διαρροή.



Εικόνα 16. Πρισματική Δεξαμενή (Πηγή: Seamanship International)

Ο τελευταίος τύπος δεξαμενών που είναι επίσης και ο πιο σύγχρονος είναι η δεξαμενή Μembrάνης που λέγεται επίσης GTT σύστημα. Η διάταξη αυτών των δεξαμενών περιλαμβάνει ένα δύο τοιχώματα στήριξης πάχους όχι μεγαλύτερου του 1,5 χιλιοστού, ανάμεσα στα οποία τοποθετείται θερμομονωτικά υλικό. Το δεύτερο τοίχωμα επενδύεται εξωτερικά με επιπλέον μόνωση και όλο αυτό το σύστημα περιέχεται σε μία εσωτερική γάστρα.



Εικόνα 17. Δεξαμενή Μembrάνης (Πηγή: Seamanship International)

ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ

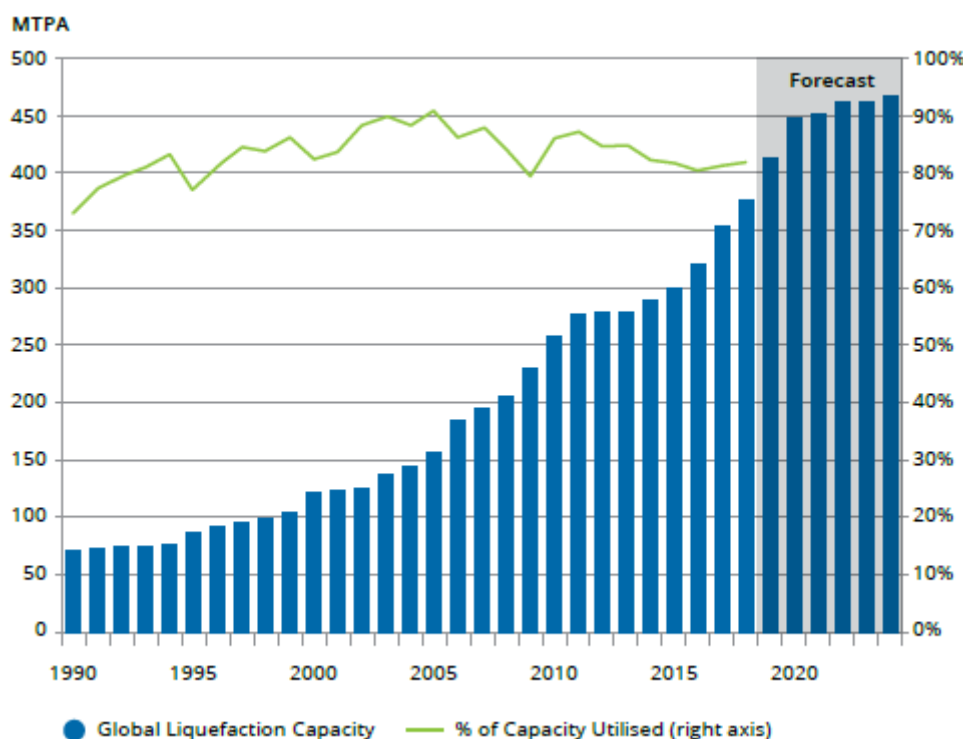
Στην αλυσίδα φυσικού αερίου υπάρχουν σταθμοί στους οποίους το φυσικό αέριο υγροποιείται, αφού υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία και σταθμοί που το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται. Σήμερα οι εγκαταστάσεις υγροποίησης και επαναεριοποίησης έχουν εξελιχθεί με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα ύπαρξής τους εντός και εκτός ξηράς.

Τερματικά Υγροποίησης

Τα τερματικά υγροποίησης βρίσκονται στην αρχή της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG, είναι οι εγκαταστάσεις που οδηγείται το φυσικό αέριο μόλις γίνει η εξόρυξή του. Η διαδικασία της υγροποίησης που λαμβάνει χώρα στις εγκαταστάσεις τους αποτελείται από δύο φάσεις, τον διαχωρισμό των ουσιών και την υγροποίηση. Στον διαχωρισμό, διάφορες ουσίες όπως βαρείς υδρογονάνθρακες, πετρέλαιο και νερό, διαχωρίζονται από το φυσικό αέριο. Αυτή η διαδικασία καθορίζει και την ποιότητα του φυσικού αερίου. Μετά τον διαχωρισμό, το μεθάνιο αποτελεί το 85 - 99% του συνολικού φυσικού αερίου. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού, για την αποφυγή πάγου κατά τη διάρκεια της υγροποίησης.

Στο επόμενο στάδιο το φυσικό αέριο αποκτά υγρή φάση. Αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο το φυσικό αέριο υγροποιείται σταδιακά από συμπιεστές μεθανίου. Το μεθάνιο συμπιέζεται μέχρι να φτάσει την θερμοκρασία υγροποίησής του, περίπου -162° στην οποία ο όγκος μειώνεται περίπου 600 φορές. Μετά από επεξεργασία αποκτά μη διαβρωτικές ιδιότητες και μπορεί πλέον να αποθηκευτεί σε δεξαμενές και να μεταφερθεί.

Η παγκόσμια χωρητικότητα των εργοστασίων υγροποίησης φυσικού αερίου αυξάνεται κάθε χρόνο, φτάνοντας στις αρχές του 2019 τα 406 MTPA, καθώς είτε επεκτείνονται τα ήδη υπάρχοντα εργοστάσια, είτε δημιουργούνται νέα, όπως στην Αυστραλία και στη Ρωσία. Το νέο εργοστάσιο στη Ρωσία (Yamal) ήταν καινοτόμο και από κατασκευαστική άποψη λόγω των αντίξωων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, αλλά και από άποψη νέων διεθνών δρομολογίων (διαμέσου της αρκτικής ζώνης).



Εικόνα 18. Παγκόσμια Χωρητικότητα Εργοστασίων Υγροποίησης (Πηγή: IGU Annual Report 2019)

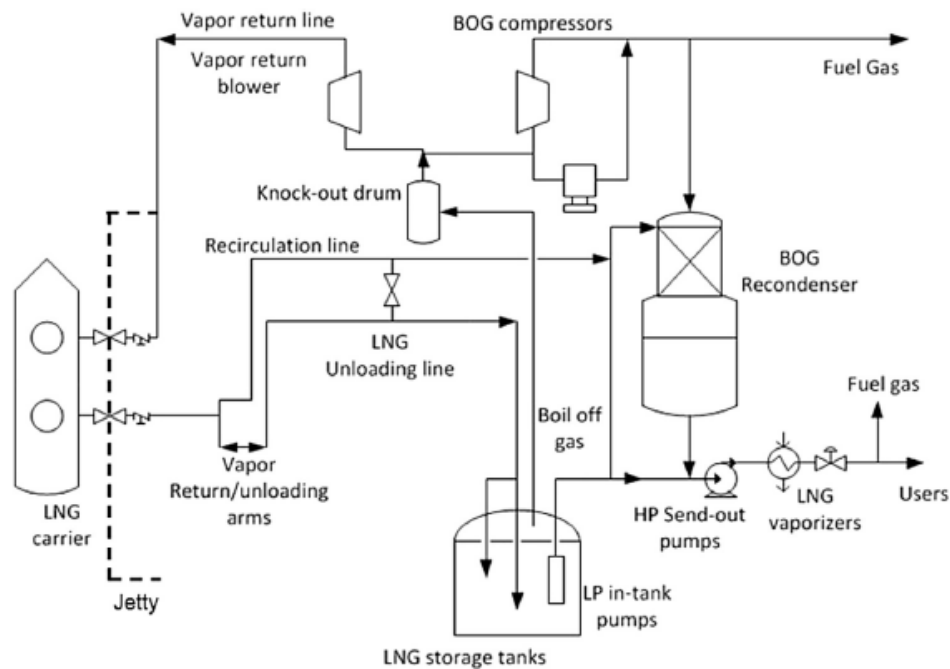
Τερματικά Επαναεριοποίησης

Τα τερματικά επαναεριοποίησης είναι σταθμοί που εισάγουν υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το φορτίο έρχεται στο σταθμό με πλοία και αποθηκεύεται σε κρυογονική υγρή μορφή. Στη συνέχεια μετά από συμπίεση και θέρμανση το ρευστό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Κάθε τερματικό μπορεί να μετατρέπει το φορτίο από υγρό σε αέριο με συγκεκριμένο ρυθμό, που δεν είναι ίδιος για όλα τα τερματικά, και έπειτα να το αποθηκεύει ή να διοχετεύει.

Κάθε τερματικό εισαγωγής φυσικού αερίου περιλαμβάνει συγκεκριμένες θέσεις από τις οποίες γίνεται η εκφόρτωση του LNG από τα πλοία μέσω βραχιόνων ή σωλήνων. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται στο τέλος μιας μεταλλικής προβλήτας που διαθέτει του φορτοεκφορτωτικούς βραχίονες ή εύκαμπτες μάνικες.

Μετά την εκφόρτωσή του το ρευστό αποθηκεύεται σε ειδικές διπλού τοιχώματος δεξαμενές. Όσο για το εξαμιζόμενο φυσικό αέριο που δημιουργείται κατά την εκφόρτωση, συμπιεστές

το επαναφέρουν σε υγρή κατάσταση εντός των δεξαμενών του πλοίου. Για την επαναφορά του σε αέρια μορφή χρησιμοποιούνται ψεκαστήρες θαλασσινού νερού.



Εικόνα 19. Τυπική Διάταξη Τερματικού Επαναεριοποίησης (Πηγή: Decision Making Plan tool for a LNG Regasification Plant Siting, Elsevier)

Στις αρχές του 2019 η παγκόσμια χωρητικότητα των σταθμών εισαγωγής έφτασε τις 824 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Million Tones per Annum - MTPA), 22.8 MTPA περισσότερα από το 2018 και δημιουργήθηκαν 5 νέοι σταθμοί. Το Μπαγκλαντές και ο Παναμάς ήταν δύο νέες χώρες που ξεκίνησαν να εισάγουν LNG η Κίνα ολοκλήρωσε 3 νέα τερματικά επαναεριοποίησης και επέκτεινε ένα ήδη υπάρχον (IGU).

Σε σύγκριση με τις πλωτές μονάδες επαναεριοποίησης υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Οι μονάδες FSRU μπορούν να κατασκευαστούν γρηγορότερα και επομένως να λειτουργήσουν πιο σύντομα για να καλύψουν τη ζήτηση. Επίσης οι μονάδες FSRU είναι λιγότερο κεφαλαιοβόρες και έχουν τη δυνατότητα να ναυλωθούν από άλλες εταιρείες. Ακόμα ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι η ευελιξία της τοποθεσίας τους.

Από την άλλη οι χερσαίες εγκαταστάσεις έχουν μεγαλύτερη ευελιξία στο μέγεθος. Αποτελούν μία πιο μόνιμη λύση ενώ κατά κύριο λόγο είναι μεγαλύτερου μεγέθους από τις πλωτές, έχουν επίσης τη δυνατότητα επέκτασης. Είναι επίσης περισσότερο ασφαλείς αφού δεν επηρεάζονται άμεσα από έντονα καιρικά φαινόμενα και σε σύγκριση με τα FSRU έχουν μικρότερα λειτουργικά έξοδα.

Πλωτή Μονάδα Επαναεριοποίησης και Αποθήκευσης

Οι πλωτές μονάδες επαναεριοποίησης και αποθήκευσης είναι πολύ σημαντικές για το διεθνές εμπόριο του φυσικού αερίου. Μπορούν να θεωρηθούν είτε σαν εξειδικευμένα πλοία, είτε σαν

πλωτές εγκαταστάσεις, αναλόγως με το πώς κατασκευάστηκαν. Αν η εγκατάσταση FSRU τοποθετήθηκε σαν ξεχωριστή μονάδα πάνω σε ένα πλοίο LNG τότε ανήκει στην πρώτη κατηγορία, ενώ αν ένα παλιό πλοίο LNG μετατραπεί σε ανεξάρτητη μονάδα FSRU και τοποθετηθεί σε συγκεκριμένο σημείο, τότε ανήκει στη δεύτερη κατηγορία.

Τα βασικά στοιχεία μιας μονάδας FSRU είναι 3. Το πρώτο από αυτά είναι οι δεξαμενές, οι οποίες όπως και στα πλοία είναι τύπου Moss ή μεμβράνης. Επόμενη είναι η μονάδα επαναεριοποίησης η οποία μετατρέπει το φυσικό αέριο από υγρό σε θερμοκρασία -162° , σε αέριο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η μονάδα επίσης περιλαμβάνει φορτοεκφορτωτικά μέσα που μπορεί να είναι βραχίονες ή εύκαμπτες κρουγενικές μάνικες.

Στο τέλος του 2018 υπήρχαν 33 μονάδες FSRU. Η συνολική χωρητικότητα ήταν περίπου 5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και προς κατασκευή ήταν 10 μονάδες FSRU εκ των οποίων οι 3 ήταν προγραμματισμένες για παράδοση το 2019 (GIIGNL).

Πλωτή Μονάδα Υγροποίησης Φυσικού Αερίου

Οι πλωτές μονάδες υγροποίησης φυσικού αερίου (FLNG) είναι θαλάσσιες εγκαταστάσεις όπως και οι FSRU. Οι μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις αυτές έχουν τα ίδια συστήματα με τις χερσαίες εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου. Το πλεονέκτημά τους σε σχέση με τις χερσαίες βρίσκεται στο γεγονός ότι το φυσικό αέριο μπορεί να επεξεργαστεί πιο κοντά στην πηγή του χωρίς να χρειάζεται να μεταφερθεί μέσω σωληνώσεων πολλών χιλιομέτρων στην κοντινότερη ακτή.

Στις αρχές του 2019 η συνολική χωρητικότητα των FLNG ανερχόταν στα 3,6 MTPA (εκατομμύρια τόνους το χρόνο). Συνολικά 7 πλωτές μονάδες είναι σε λειτουργία και κατασκευάζονται επιπλέον μονάδες συνολικής χωρητικότητας 11,5 MTPA (IGU).



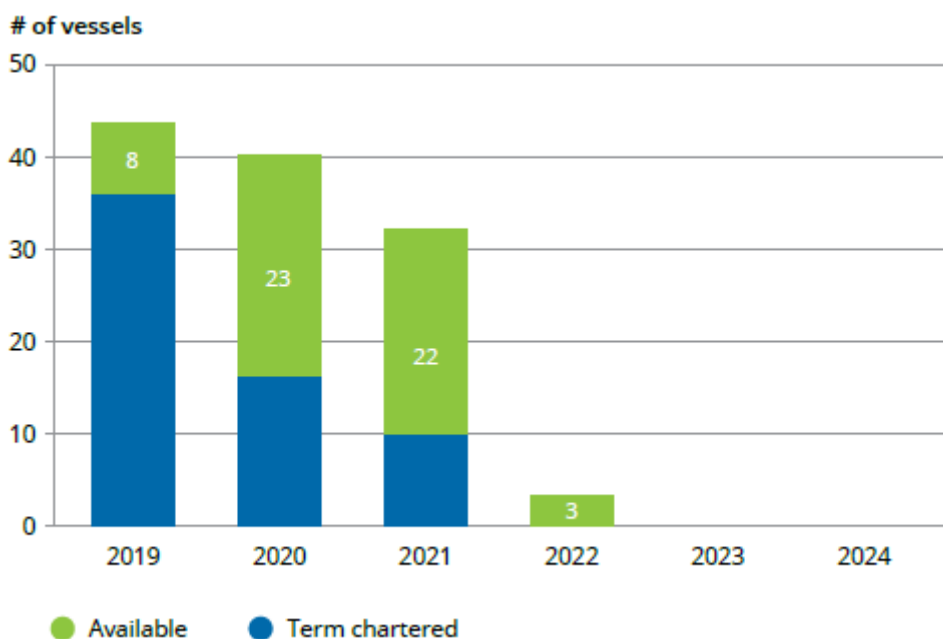
Εικόνα 20. Φόρτωση Πλοίου από FLNG (Πηγή: Shell LNG)

ΝΑΥΛΑΓΟΡΑ LNG

Η συνεχής και απότομη ανάπτυξη της συνολικής αγοράς LNG έχει καταστήσει τον κλάδο πολυπαραγοντικό ως προς τις μονάδες που τον αποτελούν. Η εφοδιαστική αλυσίδα LNG έχει “σπάσει” και κάθε κρίκος της γίνεται όλο και περισσότερο ανεξάρτητος. Έτσι και η ιδιοκτησία πλοίων έχει περάσει στα χέρια κυρίως ανεξάρτητων πλοιοκτητών των οποίων ο αριθμός έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια.

Η ανάπτυξη αυτή έφερε και τη μεγέθυνση του παγκόσμιου στόλου. Τα 525 συνολικά πλοία στο τέλος του 2018, περιλαμβανομένων 31 πλωτών μονάδων αεριοποίησης και 5 πλωτών μονάδων αποθήκευσης, συνολικής χωρητικότητας 26.2 εκατομμυρίων τόνων, σήμαιναν παράλληλα και ανάπτυξη κατά 11.5% του παγκόσμιου στόλου ετησίως, καθώς 53 μονάδες προστέθηκαν εκείνη τη χρονιά.

Την ίδια χρονική στιγμή, 118 πλοία (συμπεριλαμβανομένων των μονάδων FSRU και FLNG θα είναι έτοιμα προς παραλαβή μέχρι το 2022, 59 από τα οποία παραγγέλθηκαν το 2018, μία αύξηση 195% από το 2017. Η μεγάλη αυτή αύξηση προκλήθηκε από παραγγελίες εργοστασίων υδροποίησης λόγω επέκτασης της χωρητικότητάς τους αλλά και από παραγγελίες ναυτιλιακών εταιρειών για να αυξήσουν τη διαθεσιμότητά τους, χωρίς δηλαδή να εξασφαλίζεται το πλοίο από συγκεκριμένη ναύλωση. Χαρακτηριστικά το 52% των παραγγελθέντων πλοίων το 2018, ήταν δεσμευμένο με κάποιο εργοστάσιο ή κάποιο ναυλωτή, αφήνοντας έτσι 56 πλοία διαθέσιμα στην άμεση αγορά.



Εικόνα 21. Δεσμευμένα και μη πλοία που έχουν παραγγελθεί

Στην ναυλαγορά LNG όλες οι ναυλώσεις πλοίων είναι χρονοναυλώσεις. Καθώς η spot αγορά απέκτησε έδαφος την τελευταία δεκαετία, μέχρι τότε η συντριπτική πλειοψηφία των

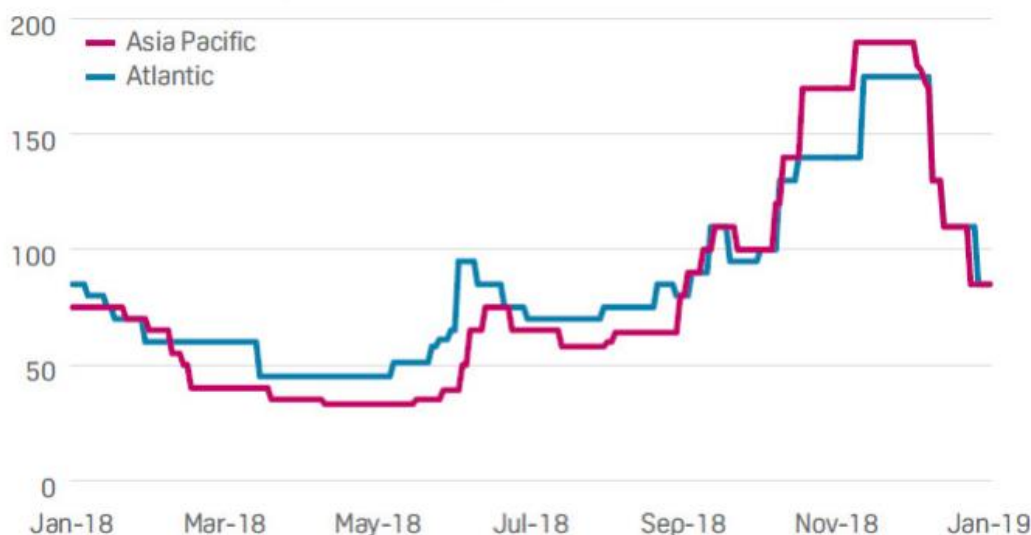
συμβολαίων ήταν χρονοναυλώσεις (time charter) μεγάλης διάρκειας, συνήθως εικοσαετίας. Για το λόγο αυτό, δεν είχαν αναπτυχθεί ναυλοσύμφωνα για ναυλώσεις κατά ταξίδια (voyage charter).

Την τελευταία δεκαετία ωστόσο με την ανάπτυξη της spot αγοράς, εμφανίστηκαν συμβόλαια μικρότερης διάρκειας, παρόμοια με αντίστοιχα σε άλλες ναυλαγορές (πετρελαίου, ξηρού φορτίου κλπ). Τα συμβόλαια αυτά παρότι ανήκουν στη spot αγορά, είναι επίσης χρονοναυλώσεις και όχι ναυλώσεις κατά ταξίδι. Ακόμα και τα ταξίδια μίας διαδρομής ναυλώνονται για το απαιτούμενο χρονικό διάστημα με χρονοναύλωση. Έτσι η τιμή του ναύλου για όλα τα συμβόλαια στην ναυλαγορά LNG είναι σε \$/μέρα. Τα συμβόλαια που χρησιμοποιούνται για τις χρονοναυλώσεις είναι τα Shell LNG Time 1 και Shell LNG Time 1 ενώ πρόσφατα δημιουργήθηκε το LNGVOY. Έχοντας λοιπόν χρονοναυλώσεις ανεξάρτητα της διάρκειας ναύλωσης (και στη spot και στην long-term αγορά), προκύπτει ότι εκτός από τα έξοδα ναύλωσης, τα έξοδα ταξιδιού τα επωμίζεται ο ναυλωτής.

Το 2018, η μέση ημερήσια τιμή ναύλωσης για ένα συμβατικό πλοίο LNG με ατμοστρόβιλο ήταν \$53.000/μέρα ενώ για τα σύγχρονα πιο αποδοτικά πλοία (DFDE, TDFE) \$85.000/μέρα. Ωστόσο, για τις πρώτες τρεις τριμηνίες του 2018, η μέση ημερήσια τιμή για τις αποδοτικές γάστρες ήταν μόνο \$63.000. Στην τελευταία τριμηνία η τιμή του ημερήσιου ναύλου έφτασε τα \$195.000/μέρα, υψηλότερη τιμή που έχει σημειωθεί στην ιστορία. Ο λόγος της εκτόξευσης της ημερήσιας τιμής ήταν η μεγάλη ζήτηση LNG στην Ασία για την πλήρωση των αποθεμάτων λόγω του επικείμενου χειμώνα.

Η ανισορροπία αυτή στις τιμές ήταν και η αιτία που η Ευρώπη σημείωσε εκείνη την περίοδο τη μεγαλύτερη εισαγωγή σε ποσότητα LNG καθώς οι υψηλές τιμές ναύλωσης κατέστησαν τα διηπειρωτικά ταξίδια (Ατλαντικού-Ειρηνικού) ασύμφορα για εταιρείες που εμπορεύονταν LNG και δεν είχαν δικό τους στόλο. Η Ευρώπη ήταν επομένως μια συμφέρουσα λύση. Οι τόσο υψηλές τιμές στον ημερήσιο ναύλο ήταν προσωρινές, αφού τον πρώτο μήνα του 2019 η αγορά λειτούργησε κυρίως με το απόθεμα και οι τιμές έπεσαν απότομα στα \$74.000/μέρα.

SHIPPING RATES (\$1000s/DAY)



Source: S&P Global Platts

Εικόνα 22. Ημερήσιες τιμές ναύλου (Πηγή: S&P Global Platts)

Οι εταιρείες που εμπορεύονται LNG (χωρίς απαραίτητα να διαθέτουν κάποια μονάδα υγροποίησης ή επαναεριοποίησης) αποτελούν αντισταθμιστικό παράγοντα έναντι υπερβολικής ποσότητας LNG και εμπορικής ανισορροπίας. Τα ταξίδια μίας διαδρομής έχουν την τάση να αυξάνονται και προτιμούνται τόσο από τις προαναφερθέντες εταιρείες όσο και από εταιρείες χαρτοφυλακίου, που διαθέτουν δηλαδή περιουσιακά στοιχεία ή μέρος αυτών σε παραπάνω από ένα κλάδο της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG.

Από την άλλη οι ανεξάρτητες ναυτιλιακές εταιρείες που έχουν δικά τους πλοία προτιμούν τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια και στα ήδη υπάρχοντα πλοία και στα καινούργια. Καθώς μεγεθύνεται ο στόλος τους, μια πιθανή περίοδος αδράνειας για αρκετά πλοία μπορεί να αποβεί επιζήμια για την εταιρεία, έτσι η συνήθης πολιτική είναι να δεσμεύουν τα περισσότερα πλοία με μακροχρόνια συμβόλαια και αναλόγως αν θέλουν να διαθέσουν κάποια από τα πλοία στην άμεση αγορά.

Στα μισά της τελευταίας δεκαετίας, είχε δημιουργηθεί από τις 3 ανεξάρτητες ναυτιλιακές εταιρείες, Gaslog Ltd, Dynagas Ltd και Golar Ltd, μία κοινοπραξία το “Cool Pool”. Στην κοινοπραξία αυτή οι 3 ναυτιλιακές διέθεσαν μέρος του στόλου τους υπό μία ενιαία διαχείριση και για τις 3. Ο αριθμός των πλοίων ήταν διαφορετικός για κάθε εταιρεία. Η κίνηση αυτή είχε σκοπό τον περιορισμό των έντονα άστατων τιμών της άμεσης ναυλαγοράς. Παρ’ όλα αυτά το εγχείρημα δεν καρποφόρησε με αποτέλεσμα οι εταιρείες να απομακρύνουν τα πλοία τους από την κοινοπραξία.

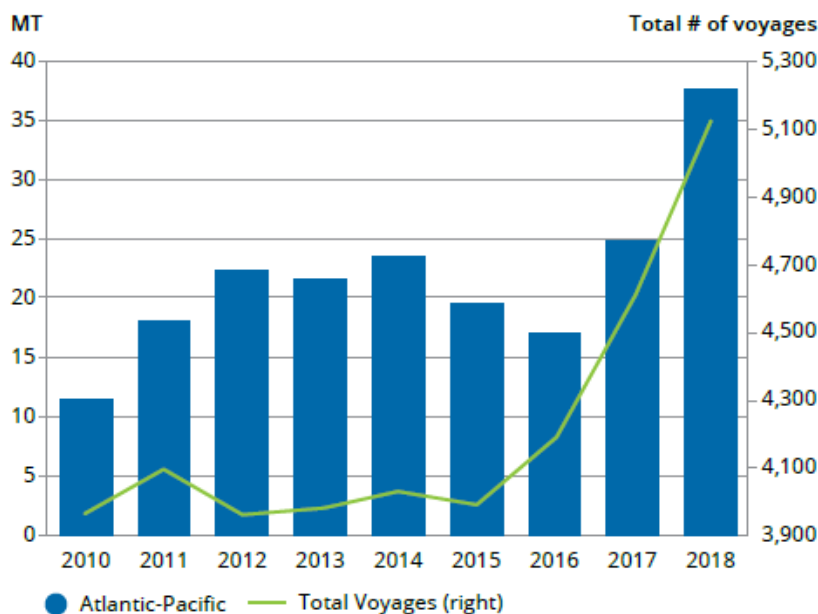
Συνολικά το 2018 έγιναν περίπου 325 ταξίδια μίας διαδρομής, περίπου 12% λιγότερα από το 2017, καθώς η διαθεσιμότητα πλοίων την τελευταία τριμηνία, λόγω της μεγάλης κινητικότητας για την πλήρωση του αποθέματος, ήταν πολύ μικρή. Για αυτά τα ταξίδια προτιμούνταν τα πλοία με DFDE/TFDE, γεγονός που δείχνει την προτίμηση της αγοράς για πιο καινούργια, αποδοτικά πλοία σε σχέση με τα πλοία αμμοστρόβιλων, ενώ τα τελευταίας τεχνολογίας ME-GI και XDF ήταν ήδη δεσμευμένα σε μακροχρόνια συμβόλαια.

Καθώς οι τιμές του φυσικού αερίου στην αγορά πέφτουν, οι ναυλωτές προσπαθούν να μειώσουν τα κόστη των πλοίων. Τα DFDE/TFDE πλοία αξιοποιούν καλύτερα το εξαμιζόμενο αέριο και καταναλώνουν περίπου 30% λιγότερο καύσιμο από τα πλοία με αμμοστρόβιλο στους 18 κόμβους. Ακόμα και με μεγαλύτερο ημερήσιο ναύλο τα πρώτα πλοία συμφέρουν σε σχέση με τα δεύτερα γι’ αυτό και προτιμούνται. Αυτή η τάση έχει ως αποτέλεσμα τα πλοία με αμμοστρόβιλο να μένουν αδρανή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, κάτι το οποίο ζεσταίνει τον εξοπλισμό και χρειάζεται περισσότερο χρόνο αλλά και έξοδα για να λειτουργήσει ξανά.

Οι τιμές ημερήσιας ναύλωσης των πλοίων εξαρτώνται άμεσα και από την συνολική ποσότητα υγροποιημένου αερίου που εξορύσσεται. Αναλογικά προκύπτει πως κάθε εκατομμύριο τόνοι το χρόνο υγροποιημένου φυσικού αερίου αντιστοιχούν σε 1.2 με 1.3 πλοία. Ωστόσο για τους 51.8 εκ. νέους τόνους του 2019 μόνο 41 νέα πλοία κατασκευάστηκαν.

Ταξίδια και Αξιοποίηση Στόλου

Το πλήθος των ταξιδιών αυξάνεται όσο αυξάνεται ο κλάδος τους φυσικού αερίου. Το 2018, χάρη στους νέους σταθμούς υγροποίησης, έγιναν 5119 ταξίδια, σημειώνοντας αύξηση κατά 8%, με τα περισσότερα από αυτά να είναι τοπικά και όχι υπερωκεάνια.

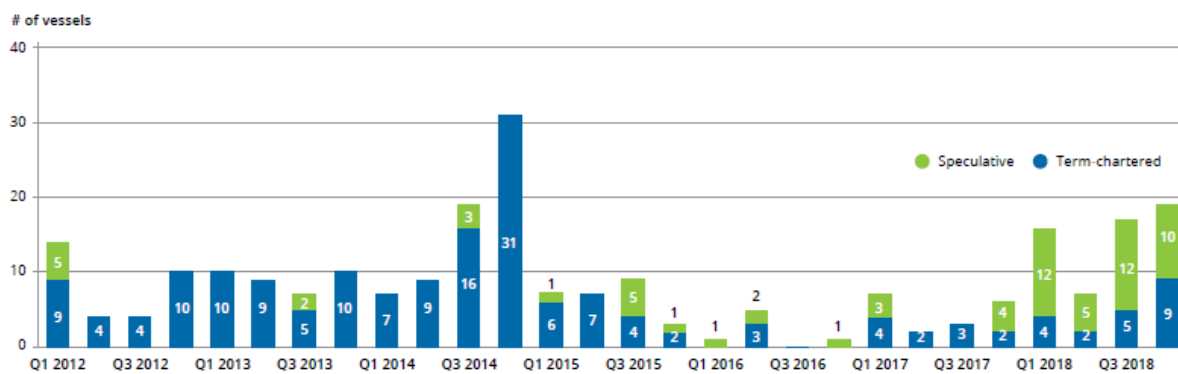


Source: IHS Markit

Εικόνα 23. Εμπόριο Ατλαντικού-Ειρηνικού και αριθμό ταξιδιών (Πηγή: IHS Markit)

Το 2018, ο μέσος αριθμός ταξιδιών ανά πλοίο ήταν 10.5, 0.5 μικρότερος από το 2017. Οι μέρες των ταξιδιών με φορτίο ήταν κατά μέσο όρο 14, ενώ το 2017 ήταν 13. Η αύξηση αυτή στις μέρες και συνεπώς η μείωση των ταξιδιών ήταν αποτέλεσμα της αύξησης του διηπειρωτικού εμπορίου. Το 2011 λόγω της καταστροφής στην Ιαπωνική Φουκουσίμα, η χρησιμότητα του στόλου ήταν μέγιστη λόγω της ζήτησης για φυσικό αέριο στην Ιαπωνία. Έκτοτε όπως φαίνεται και στην εικόνα 23 το διηπειρωτικό εμπόριο παρέμεινε υψηλό. Επίσης η ανάπτυξη του στόλου δεν ακολούθησε το ρυθμό της ανάπτυξης της χωρητικότητας LNG με αποτέλεσμα η ναυλαγορά να ανέβει σημαντικά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολλοί πλοιοκτήτες να παραγγείλουν πλοία χωρίς να τα δεσμεύσουν σε κάποιο συμβόλαιο.

Από τα 118 προς κατασκευή πλοία που έχουν δεσμευτεί, το 22% είναι συμφωνημένο με εταιρείες που παραδοσιακά θα θεωρούνταν εξαγωγείς φυσικού αερίου (PETRONAS, Yamal LNG κ.α.) ωστόσο τώρα πια πολλές εταιρείες που εξάγουν φυσικό αέριο έχουν επεκταθεί και ασχολούνται και με την αγοραπωλησία του. Οι παραδοσιακοί αγοραστές αποτελούν το 35% των δεσμεύσεων των προς κατασκευή πλοίων, περιμένοντας τους νέους σταθμούς υγροποίησης σε Αυστραλία και Αμερική. Τα υπόλοιπα συμβόλαια είναι με εταιρείες με πολλαπλές στρατηγικές.



Sources: IHS Markit, Shipyard Reports

Εικόνα 24. Παραγγελίες νέων πλοίων με ή χωρίς συμβόλαιο (Πηγή: IGU)

Ξεκινώντας το 2013, η συγκέντρωση που σημειώθηκε σε LNG καθυστέρησε την εισροή των νέων πλοίων στην αγορά, δημιουργώντας μεγάλη διαθεσιμότητα και χαμηλούς ναύλους, ενώ συνήθως τις εποχές του χειμώνα λόγω χρήσης του φυσικού αερίου για θέρμανση, σημειώνεται αύξηση. Καθώς η κατασκευή νέων πλοίων συνεχίστηκε, η ύφεση στη ναυλαγορά δεν σταμάτησε μέχρι την άνοιξη του 2017, όπου και σημείωσε τη χαμηλότερη τιμή της. Το χειμώνα ωστόσο του 2017-2018 η μετατροπή στην τροφοδοσία ενέργειας πολλών εργοστασίων στην Κίνα από κάρβουνο σε φυσικό αέριο, δημιούργησε μεγάλη ζήτηση για άμεσα φορτία. Έτσι η ναυλαγορά ανέβηκε σημαντικά και παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα στο πρώτο μισό του 2018. Στη συνέχεια για λόγους αποθέματος για τον χειμώνα του 2018-2019 στην τελευταία τριμηνία του 2018 η ναυλαγορά σημείωσε τη μεγαλύτερη ιστορικά τιμή της.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΝΑΥΛΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ

Η συνεχής ανάπτυξη του κλάδου μπορεί να είναι αφορμή και ευκαιρία για τις ναυτιλιακές εταιρείες να ακολουθήσουν την ίδια πορεία, ωστόσο το αυξανόμενο ρίσκο είναι κάτι που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Ο βασικός κίνδυνος για τις ναυτιλιακές είναι οι πιθανοί περίοδοι αδράνειας των πλοίων που δεν δεσμεύονται από κάποιο συμβόλαιο.

Μέχρι την αρχή της προηγούμενης δεκαετίας το θέμα αυτό δεν ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να επιλυθεί καθώς τα πλοία δεσμεύονταν από μεγάλης διάρκειας συμβόλαια (άνω της 5ετίας) και καθώς ο στόλος των εταιρειών ήταν μικρότερος, η λήξη ενός συμβολαίου για ένα πλοίο δεν ήταν ταυτόχρονη με την λήξη άλλων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η εταιρεία να μπορεί εκ των προτέρων να προγραμματίσει τη διαχείριση του μελλοντικά αδέσμευτου πλοίου, χωρίς να χρειάζεται να λάβει υπόψη της τα υπόλοιπα πλοία.

Καθώς όμως πληθαίνουν τα πλοία των εταιρειών με τις νέες παραγγελίες, και σε συνδυασμό με τη νέα τάση της αγοράς για μικρότερης διάρκειας συμβόλαια, η ταυτόχρονη λήξη συμβολαίων για μέρος τους στόλου γίνεται όλο και πιο συχνή και πιθανή. Σε έναν μεγάλο στόλο μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα για παράταση της περιόδου αδράνειας ενός πλοίου

έως ότου βρεθεί το κατάλληλο συμβόλαιο, ωστόσο η σύγχρονη αδράνεια για περισσότερα πλοία είναι πολλαπλώς επιζήμια για την εταιρεία και μπορεί να οδηγήσει στην δέσμευση κάποιων πλοίων σε ασύμφορες τιμές, πολιτική που στοχεύει στη μείωση της συνολικής ζημιάς.

Η τεχνολογική πρόοδος που έχει γίνει στην πρόωση των πλοίων LNG και στην βελτίωση των χώρων φορτίου τους, έχει μεγαλώσει τη διαφορά μεταξύ νέων και παλιών πλοίων. Τα νέα πλοία (ME-GI, XDF, TFDE) χάρη στην μειωμένη κατανάλωση και στην καλύτερη απόδοση προτιμώνται έναντι των παλιών (steam turbine), έχοντας σαν αποτέλεσμα η διαφορά του στιγμιαίου ναύλου στις δύο κατηγορίες να μεγαλώνει αλλά και για μεγάλης διάρκειας συμβόλαια να προτιμώνται τα πρώτα. Αυτό με τη σειρά του δυσκολεύει την διαχείριση για τα παλιά που πρόκειται να λήξει το συμβόλαιό τους. Τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια για αυτά τα πλοία μπορεί να είναι δυσέυρετα ή ασύμφορα και εναλλακτικές όπως η μετατροπή του πλοίου σε πλωτή μονάδα υγροποίησης ή επαναεριοποίησης ή ακόμα και η απόρριψη του πλοίου να συμφέρουν.

Μέχρι τώρα η πολιτική των ναυτιλιακών επιχειρήσεων στόχευε στα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια και στη σταθερότητα που αυτά παρείχαν. Ωστόσο αυτό σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατο με αποτέλεσμα πολλά πλοία να παραμένουν στην άμεση αγορά μέχρι να δεσμευτούν εκ νέου. Παρόλα αυτά, τιμές όπως αυτές της τελευταίας τριμηνίας του 2018 (\$195.000/μέρα) μπορούν να αποδειχθούν αρκετά επικερδείς, ακόμα και συμφέρουσες σε σχέση με μία χρονοναύλωση για αρκετά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η παρούσα διπλωματική υλοποιεί ένα μοντέλο που στοχεύει σε καλύτερη διαχείριση του στόλου μίας ναυτιλιακής εταιρείας που είναι αδέσμευτος για ένα έτος. Δεδομένης μιας πρόβλεψης για τα εβδομαδιαία ναύλα της ακόλουθης χρονιάς το μοντέλο θα καθορίζει την πολιτική για ένα αδέσμευτο πλοίο ώστε να επιφέρει τα μέγιστα έσοδα. Η πρόβλεψη αυτή θα είναι η αναγκαία και ικανή πληροφορία για τον καθορισμό του βέλτιστου πλάνου. Η πολιτική θα αφορά ποιες και πόσες βδομάδες το πλοίο θα βρίσκεται στην άμεση (spot) αγορά και αν η βέλτιστη πολιτική είναι η ετήσια χρονοναύλωση. Με αυτόν τον τρόπο ένα πλοίο που δεν έχει συμβόλαιο όχι μόνο δεν θα επιβαρύνει την εταιρεία, αλλά θα είναι σε θέση να επιφέρει κέρδος.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Για τη δημιουργία του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής εργασίας και τη βέλτιστη λύση του, χρησιμοποιήθηκε ο δυναμικός προγραμματισμός, μία από τις μεθόδους που ανήκουν στην επιχειρησιακή έρευνα.

Η Επιχειρησιακή Έρευνα (ΕΕ) αναφέρεται στην εφαρμογή μαθηματικών και ποσοτικών μοντέλων που μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων που αφορούν τον προγραμματισμό ή τη διαχείριση περίπλοκων καταστάσεων. Η μαθηματική μοντελοποίηση της κατάστασης βασίζεται στην παρατήρηση και στην κατανόηση της πραγματικότητας του προβλήματος. Καταληκτικά, με την εφαρμογή της ΕΕ σε ένα πρόβλημα, θα πρέπει να παρέχονται απλουστευμένα αποτελέσματα, με βάση τα οποία η λήψη αποφάσεων θα είναι εύκολη, ή ακόμα και οι ίδιες οι αποφάσεις.

Γενικά, η ΕΕ έχει σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα που εξετάζεται, μεταξύ πολλών λύσεων, υποδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτή ή λύση θα είναι εφικτή. Η ΕΕ αντιμετωπίζει τα φυσικά προβλήματα από ολιστική μεριά, και για αυτό οι λύσεις που δίνει θεωρούνται βέλτιστες για ένα σύστημα που είναι ολοκληρωμένο. Η προσέγγιση μιας τέτοιας έρευνας είναι πολυδιάστατη. Για την αναπαράσταση του προβλήματος σε μοντέλο είναι πιθανή η χρήση αλλά και ο συνδυασμός, μαθηματικών, στατιστικής, θεωρίας πιθανοτήτων, οικονομικών, διοίκησης επιχειρήσεων, επιστήμης υπολογιστών και μηχανικής και οποιαδήποτε άλλη επιστήμη σχετίζεται με το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Τα στάδια που ακολουθεί μία επιχειρησιακή έρευνα συνήθως ακολουθούν την εξής δομή:

- 1) Ορισμός του προβλήματος και συλλογή αναγκαίων στοιχείων και δεδομένων.
- 2) Διαμόρφωση μαθηματικού μοντέλου για την αναπαράσταση του προβλήματος.
- 3) Δημιουργία μια υπολογιστικής διαδικασίας για τις λύσεις του προβλήματος από το μοντέλο.
- 4) Δοκιμή μοντέλου και αναδιαμόρφωσή του, αν χρειάζεται.
- 5) Εφαρμογή του μοντέλου στο πρόβλημα.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας η έρευνα θα πραγματοποιηθεί μέχρι το 4^ο στάδιο χωρίς να αποκλείεται η εφαρμογή της από κάποια ναυτιλιακή εταιρεία στο μέλλον.

Δυναμικός Προγραμματισμός

Ο δυναμικός προγραμματισμός (ΔΠ) είναι ένα χρήσιμο μαθηματικό εργαλείο που δημιουργεί μία σειρά αποφάσεων κοινής φύσης. Οι αποφάσεις παίρνονται η μία μετά την άλλη, είτε υπό συνθήκες βεβαιότητας, είτε υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Αποτελεί μία συστηματική διαδικασία για τον καθορισμό του βέλτιστου συνδυασμού αποφάσεων.

Σε αντίθεση με τον γραμμικό προγραμματισμό δεν υπάρχει πρότυπη μαθηματική φόρμα για τα προβλήματα που επιλύονται με δυναμικό προγραμματισμό. Η μέθοδος αποτελεί ένα γενικό τύπο προσέγγισης και οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται σε κάθε πρόβλημα πρέπει να καταστρώνονται πάνω σε αυτό. Για αυτό και απαιτείται καλή γνώση της μεθόδου προκειμένου να αναγνωριστεί πως ένα πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με δυναμικό προγραμματισμό.

Ο δυναμικός προγραμματισμός αποτελεί πρακτική μέθοδο για αυτό και συνήθως εξηγείται με κάποιο παράδειγμα. Συγκεκριμένα, το παράδειγμα της βέλτιστης διαδρομής σε συγκοινωνιακό δίκτυο αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει αυτό το σκοπό, να εξηγήσει τη μέθοδο. Έτσι ένας τρόπος αναγνώρισης της καταλληλότητας του ΔΠ σε ένα πρόβλημα είναι η αντιστοιχία της βασικής δομής του προβλήματος με το πρότυπο παράδειγμα. Τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν κάθε πρόβλημα που επιλύεται με ΔΠ είναι τα ακόλουθα:

- Το πρόβλημα μπορεί να χωριστεί σε στάδια και σε κάθε στάδιο απαιτείται μία τακτική απόφαση. Έτσι λοιπόν, στη σειρά συγγενικών αποφάσεων που καταλήγει η μέθοδος, κάθε απόφαση αντιστοιχεί και σε ένα στάδιο.
- Κάθε στάδιο έχει ένα πλήθος γνωστών καταστάσεων που σχετίζονται με την αρχή του σταδίου. Γενικά οι καταστάσεις ενός σταδίου αποτελούν ένα σύνολο από του οποίου

ένα στοιχείο θα αντιστοιχίσει με το στάδιο. Ο αριθμός των καταστάσεων είναι συνήθως πεπερασμένος, ενώ με κάποιους περιορισμούς μπορεί να είναι άπειρος.

- Το αποτέλεσμα της τακτικής απόφασης σε κάθε στάδιο είναι να μετατρέψει την παρούσα κατάσταση σε μία κατάσταση που σχετίζεται με την αρχή του επόμενου σταδίου.
- Η διαδικασία επίλυσης είναι σχεδιασμένη για να βρίσκει την βέλτιστη πολιτική για το συνολικό πρόβλημα, δηλαδή την αναλυτική σειρά των τακτικών αποφάσεων όλων των σταδίων του προβλήματος λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις καταστάσεις κάθε σταδίου. Για κάθε πρόβλημα, ο ΔΠ καθορίζει μία πολιτική για το τί θα γίνει υπό οποιαδήποτε περίπτωση, για αυτό και η απόφαση που καταλήγει σε μια κατάσταση του επόμενου σταδίου καλείται τακτική απόφαση.
- Δεδομένης της παρούσας κατάστασης, η βέλτιστη πολιτική για τα υπόλοιπα στάδια είναι ανεξάρτητη των αποφάσεων των προηγούμενων σταδίων. Έτσι, η βέλτιστη άμεση απόφαση εξαρτάται μόνο από την παρούσα κατάσταση και όχι από τις προηγούμενες αποφάσεις, που κατέληξαν στην παρούσα κατάσταση. Αυτή είναι η αρχή της βελτιστοποίησης για τον δυναμικό προγραμματισμό. Στα προβλήματα δυναμικού προγραμματισμού γενικότερα η γνώση της παρούσας κατάστασης περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τις προηγούμενες καταστάσεις και αποφάσεις για την βέλτιστη πολιτική στο παρόν στάδιο (Μαρκοβιανή ιδιότητα). Τα προβλήματα που δεν έχουν αυτή την ιδιότητα δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν με ΔΠ.
- Η διαδικασία επίλυσης ξεκινά με την εύρεση της βέλτιστης πολιτικής για το τελευταίο στάδιο.
- Υπάρχει σε κάθε πρόβλημα μία αναδρομική σχέση η οποία καθορίζει τη βέλτιστη απόφαση σε ένα στάδιο, π.χ. το στάδιο n , η οποία προϋποθέτει την βέλτιστη απόφαση του σταδίου $n+1$. Η αναδρομική αυτή σχέση αντιστοιχεί σε μία συνάρτηση, ίδια για κάθε στάδιο, που έχει μεταβλητές την κατάσταση του σταδίου και την απόφαση που θα οδηγήσει σε μία από τις καταστάσεις του επόμενου σταδίου.
- Όταν χρησιμοποιείται αυτή η αναδρομική σχέση, η διαδικασία επίλυσης ξεκινάει από το τέλος και προχωράει προς τα πίσω, από στάδιο σε στάδιο, κάθε φορά βρίσκοντας τη βέλτιστη απόφαση στο στάδιο που εξετάζεται, μέχρι να εξεταστεί το πρώτο στάδιο και να βρεθεί η βέλτιστη απόφαση για αυτό. Σε αυτό το σημείο η βέλτιστη πολιτική θα καθορίζεται από συγκεκριμένες (τις βέλτιστες) αποφάσεις κάθε σταδίου.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια λόγω της ανόδου του φυσικού αερίου, η ερευνητική κοινότητα στράφηκε προς την εφοδιαστική αλυσίδα LNG και τη βελτιστοποίησή της. Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει ασχοληθεί με ολοκληρωμένες επιχειρήσεις, που δραστηριοποιούνται σε όλη τη διαδικασία εμπορίου του LNG. Οι μελέτες που έχουν γίνει αποκλειστικά στη ναυτιλιακή αγορά LNG είναι αρκετά λιγότερες. Επίσης η άμεση αγορά στον κλάδο του

φυσικού αερίου απέκτησε σημασία την τελευταία πενταετία, θέτοντας έτσι άλλο ένα λόγο για περαιτέρω έρευνα σε αυτό το τμήμα της αγοράς.

Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν έρευνες σχετικά με την εφοδιαστική αλυσίδα φυσικού αερίου, που εστιάζουν στις θαλάσσιες μεταφορές, μελέτες σχετικά με την αξιολόγηση συμβολαίων (άμεσων και μακροχρόνιων) σε φορτηγά πλοία (tramp shipping) και μελέτες σχετικά με τη διαχείριση στόλων (LNG και μη) με χρήση διαφόρων μοντέλων βελτιστοποίησης. Παρ' όλα αυτά δεν έχει υπάρξει αντίστοιχη μελέτη για βελτιστοποίηση στόλου LNG με χρήση δυναμικού προγραμματισμού. Παρακάτω αναφέρονται οι σχετικές μελέτες.

Ο *Fodstad (2010)* ανέπτυξε το LNGScheduler, ένα σύστημα βελτιστοποίησης που καλύπτει μεγάλα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η μελέτη στοχεύει στην μεγιστοποίηση του κέρδους, υπολογίζοντας ταυτόχρονα τα έσοδα και τα έξοδα διαφόρων διαδρομών, διαχείρισης αποθέματος, εμπορικών και συμβολαιογραφικών υποχρεώσεων. Το μοντέλο εξετάζει, τη διαδικασία παραγωγής, τη θαλάσσια μεταφορά και τη διανομή του φυσικού αερίου. Επίσης εξετάζει διάφορους τύπους συμβολαίων, εποχιακές διαφορές αποθέματος καθώς και ναυτιλιακές και οικονομικές ευκαιρίες. Η ολιστική αυτή προσέγγιση επιτρέπει στην εταιρεία να διαχειριστεί αναλόγως τις χερσαίες της μονάδες, το θαλάσσιο στόλο της και να εκμεταλλευτεί τυχόν πλεόνασμα σε φυσικό αέριο για εύρεση νέων συμβολαίων και αύξηση του κέρδους. Αυτό φυσικά προϋποθέτει τον έλεγχο ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας από της εταιρεία.

Οι *Xie Xinlian και Wang Tengfei (2010)* ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο για να βελτιώσουν το ήδη υπάρχον γραμμικό μοντέλο τους. Ο αλγόριθμος συνδυάζει το γραμμικό προγραμματισμό και τον δυναμικό προγραμματισμό για να βελτιώσει τη λύση που δίνει ο πρώτος στον προγραμματισμό του στόλου. Με αυτή την προσέγγιση διατηρώντας τα πλεονεκτήματα του πρώτου μοντέλου μειώνεται περαιτέρω ο χρόνος υπολογισμού. Επίσης με τον δυναμικό προγραμματισμό ο αριθμός των πλοίων που προκύπτει σαν αποτέλεσμα είναι πάντα ακέραιος, γεγονός που δεν συνέβαινε με την χρήση μόνο του γραμμικού προγραμματισμού.

Ο *Rakke (2011)* εισήγαγε μία ολιστική μέθοδο για τη πρόγραμμα διανομής LNG από την πλευρά ενός παραγωγού φυσικού αερίου, ο οποίος διαθέτει αποθέματα LNG σε σταθμό υγροποίησης και ασχολείται με τα θέματα ελλειμνισμού και τους περιορισμούς τους αλλά και την δρομολόγηση και το προγραμματισμό ενός ετερογενούς στόλου πλοίων. Το μοντέλο δημιουργεί ένα ετήσιο πρόγραμμα διανομής λαμβάνοντας υπ' όψιν τα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους και την μεγιστοποίηση του κέρδους από την πώληση LNG στην άμεση αγορά. Αρχικά, χρησιμοποιώντας μικτό ακέραιο προγραμματισμό το μοντέλο καταλήγει σε ένα εφικτό σύνολο από προγραμματισμένα ταξίδια εντός του προγραμματισμένου ορίζοντα. Έπειτα, προκειμένου να απλοποιηθεί το πρόβλημα, ο χρονικός ορίζοντας χωρίζεται σε μικρότερες χρονικές περιόδους. Σε κάθε υποπρόβλημα υπάρχει μία κεντρική περίοδος και μία περίοδος πρόβλεψης. Με αυτή την τεχνική δημιουργείται ένα αξιόπιστο ετήσιο πρόγραμμα διανομής.

Ο *Stalhane (2012)* ανέπτυξε ένα βελτιωμένο ευρετικό μοντέλο για μεγάλης κλίμακας πλοία LNG και για διαχείριση αποθέματος, από την πλευρά ενός παραγωγού φυσικού αερίου που είναι ταυτόχρονα και διανομέας, έχοντας ταυτόχρονα μονάδες υγροποίησης και επαναεριοποίησης. Το πρόβλημα είναι πολυπαραγοντικό, έχοντας περιορισμούς τόσο στη χωρητικότητα των σταθμών αλλά και στις θέσεις ελλειμνισμού, όσο και στον ετερογενή στόλο. Η έρευνα αποσκοπεί στη διαμόρφωση του ετήσιου προγράμματος διανομής έτσι ώστε

να μπορέσει ο παραγωγός να καλύψει τα τρέχοντα μεγάλης διάρκειας συμβόλαια, ελαχιστοποιώντας τα λειτουργικά κόστη και μεγιστοποιώντας τα κέρδη με την πώληση διαθέσιμου LNG στην άμεση αγορά.

Οι *Fagerholt και Halvorsen-Weare (2013)* δημοσίευσαν μία έρευνα για τον προγραμματισμό και τη δρομολόγηση πλοίων LNG με περιορισμούς στις θέσεις ελλιμενισμού και στο απόθεμα του σταθμού υγροποίησης. Το μοντέλο αντιστοιχεί πλοία με φορτία και προγραμματίζει τις διανομές. Το κύριο πρόβλημα χωρίζεται σε δύο, οπότε η δρομολόγηση και ο χρονικός προγραμματισμός αντιμετωπίζονται σαν ξεχωριστά υποπροβλήματα. Η λύση επέρχεται όταν οριστούν οι ημερομηνίες των ταξιδιών πρώτα και μετά καθοριστούν τα δρομολόγια αναλόγως. Αυτή η μέθοδος αποτελεί καλή εφαρμογή για τον καθορισμό του ετήσιου προγραμματισμού διανομών σε πραγματικές συνθήκες.

Ο *Goel (2015)* εισήγαγε μια προγραμματιστική προσέγγιση με περιορισμούς για τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των πλοίων και για τη διαχείριση του αποθέματος. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη βασίζεται σε προγραμματιστικά μοντέλα υπό περιορισμούς, με σκοπό να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα δρομολόγια σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τα μοντέλα μικτού ακέραιου προγραμματισμού. Συμπληρωματικά, αφού βρεθεί το σύνολο το εφικτών λύσεων το μοντέλο χρησιμοποιεί ευρετικούς αλγορίθμους για να βρει τη βέλτιστη, από τις εφικτές, λύση. Η χωρητικότητα των σταθμών υγροποίησης και επαναεριοποίησης όπως και οι θέσεις ελλιμενισμού λαμβάνονται υπ' όψιν σαν περιορισμοί. Ο σκοπός της διαδικασίας είναι η διανομή του απαιτούμενου LNG σε κάθε πελάτη και η ελαχιστοποίηση των “διακοπών” μεταξύ των δύο πλευρών της εφοδιαστικής αλυσίδας σε δεδομένο χρονικό ορίζοντα. Τέτοιες διακοπές αναφέρονται σε προβλήματα στην παραγωγή λόγω έλλειψης αποθέματος είτε στους σταθμούς εξαγωγής, είτε στους εισαγωγής.

Οι *Jorgen και Zhang (2016)* ανέπτυξαν ένα μοντέλο σχετικά με τη διαχείριση στόλου ανάλογα με τα διαθέσιμα συμβόλαια σε φορτηγά πλοία. Στο άρθρο τους χρησιμοποιούν μικτό ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό για την στρατηγική διαχείριση πλοίων και την επιλογή κατάλληλων συμβολαίων μεγάλης αλλά και μικρής διάρκειας. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τον καλύτερο συνδυασμό μικρών και μεγάλων συμβολαίων με δεδομένο στόλο ή το βέλτιστο μέγεθος και τύπο των πλοίων για δεδομένα συμβόλαια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανανέωση στόλου, ορίζοντας πότε είναι συμφέρουσες οι αγορές ή οι πωλήσεις παλιών ή νέων πλοίων και πότε είναι η συμφέρουσα ή όχι η ναύλωση επιπλέον πλοίων.

Οι *Koza, Ropke, Molas (2017)* ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τις υποδομές LNG και για το μέγεθος των πλοίων μεταφοράς του. Η μελέτη αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των μακροπρόθεσμων κοστών στις χερσαίες υποδομές καθώς και στα κεφαλαιουχικά και λειτουργικά έξοδα ενός στόλου. Το μοντέλο επεξεργάζεται τον καθορισμό των διαστάσεων και το πλήθος αποθηκευτικών χώρων LNG, οι οποίοι θα επαρκούν για να καλύψουν τα ήδη υπάρχοντα συμβόλαια αλλά και για να καλύψουν κάποια ευκαιρία στην άμεση αγορά. Επιπρόσθετα, το μοντέλο καθορίζει τον αριθμό και το μέγεθος των πλοίων που θα χρειαστούν για τη μεταφορά της απαιτούμενης ποσότητας LNG. Για την επίλυση του προβλήματος προτείνεται ένα μη γραμμικό μοντέλο το οποίο σε συνδυασμό με την ισομερή κατανομή του προβλήματος δίνει πολύ γρήγορες λύσεις.

Οι *Bittante, Petterson και Sax (2018)* δημιούργησαν μία μικρής κλίμακας εφοδιαστική αλυσίδα LNG, περιλαμβάνοντας ένα ετερογενή στόλο, ένα σύνολο από τερματικά εισαγωγής και εξαγωγής με δεδομένη ζήτηση το καθένα, θεωρώντας επίσης επιπλέον διαμερισμό του

φορτίου και πολλά αποθηκευτικά σημεία μεταξύ των λιμανιών. Για την επίλυση χρησιμοποιήθηκε μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός με αντικειμενικό κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους με βάση την προμήθεια καυσίμου. Λήφθηκαν υπ' όψιν επίσης οι τιμές του καυσίμου, τα σημεία και ο χρόνος ελλιμενισμού, όπως επίσης και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για την αβεβαιότητα στη ζήτηση, όλα αυτά υπό δεδομένο χρονικό ορίζοντα.

Οι *Zetos, Papaleonidas και Lyridis (2018)* πρότειναν ένα μοντέλο μικτού ακέрайου γραμμικού προγραμματισμού για την λήψη στρατηγικών αποφάσεων για τη διαχείριση ενός στόλου LNG. Η μελέτη στοχεύει στην εύρεση των βέλτιστων διαδρομών μεταξύ προκαθορισμένων τερματικών υγροποίησης και επαναεριοποίησης. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται από την πλευρά μιας ναυτιλιακής εταιρείας. Η διαδικασία χωρίζεται σε τρεις στάδια, πρώτα την ανάθεση πλοίων, έπειτα την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του στόλου και τέλος την κατανομή των εναπομενόντων πλοίων μέχρι η ζήτηση σε κάθε τερματικό εισαγωγής να καλυφθεί. Η λύση αποτελείται από μια επιλογή συμβολαίων, τόσο μεγάλης διάρκειας όσο και μικρής. Το μοντέλο παρέχει καλές εκτιμήσεις σχετικά με τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη ταξιδιών του στόλου τα οποία καλύπτονται με βάση τη συμφωνία ναύλωσης. Με αυτό τον τρόπο η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να προσφέρει συμφέροντα ναύλα σε αντίθεση με άλλες ανταγωνίστριές της, έχοντας μικρές επιπτώσεις στα καθαρά έσοδα.

Οι *Papakostas, Papaleonidas και Lyridis (2019)* αναπτύσσουν ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο περιγράφει το πραγματικό πρόβλημα δρομολόγησης πλοίων μεταφοράς LNG. Το μοντέλο έχει ως στόχο τη βέλτιστη διαχείριση στόλου, πλοίων LNG, που εκτελούν προκαθορισμένες διαδρομές μεταξύ σταθμών υγροποίησης και επαναεριοποίησης ανά την υφήλιο. Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας τα λειτουργικά κόστη ενός στόλου πλοίων μεταφοράς LNG, αντιστοιχίζοντας τις πλέον οικονομικά συμφέρουσες διαδρομές στα πλοία. Για την απόδοση τέτοιου είδους στρατηγικών πληροφοριών σε μία ναυτιλιακή εταιρεία, που διαχειρίζεται πλοία μεταφοράς LNG, το εξεταζόμενο μοντέλο βασίζεται σε μεθόδους βελτιστοποίησης, όπως ο ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός και ο στοχαστικός ακέραιος προγραμματισμός.

Παρ' όλο που ένα μέρος της βιβλιογραφίας δεν αναφέρεται σε πλοία LNG, η διαφορά δεν είναι μεγάλη καθώς η άνοδος της άμεσης αγοράς στον κλάδο του φυσικού αερίου αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό και στις δύο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαφέρει από τις προαναφερθείσες έρευνες σε αρκετά σημεία. Το επιχειρησιακό μοντέλο αφορά μόνο τους πλοιοκτήτες και εστιάζει σε ένα μέρος τους στόλου και όχι στο συνολικό. Τα πλοία στην άμεση ή στη μικρής διάρκειας αγορά μέχρι τώρα αντιμετωπίζονταν σαν μεταβατικό στάδιο μέχρι την εύρεση κάποιου πιο σταθερού συμβολαίου. Χρησιμοποιώντας τον δυναμικό προγραμματισμό, μέθοδο που δεν έχει χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση στόλου, το πρόγραμμα που θα υλοποιηθεί θα είναι σε θέση να καθορίζει τα συμβόλαια που θα επιφέρουν το μεγαλύτερο κέρδος για τα διαθέσιμα πλοία, τα οποία ανάλογα με την πρόβλεψη των ναύλων μπορεί να συμφέρον περισσότερο από τα μεγαλύτερης διάρκειας συμβόλαια που προτιμούνταν μέχρι τώρα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

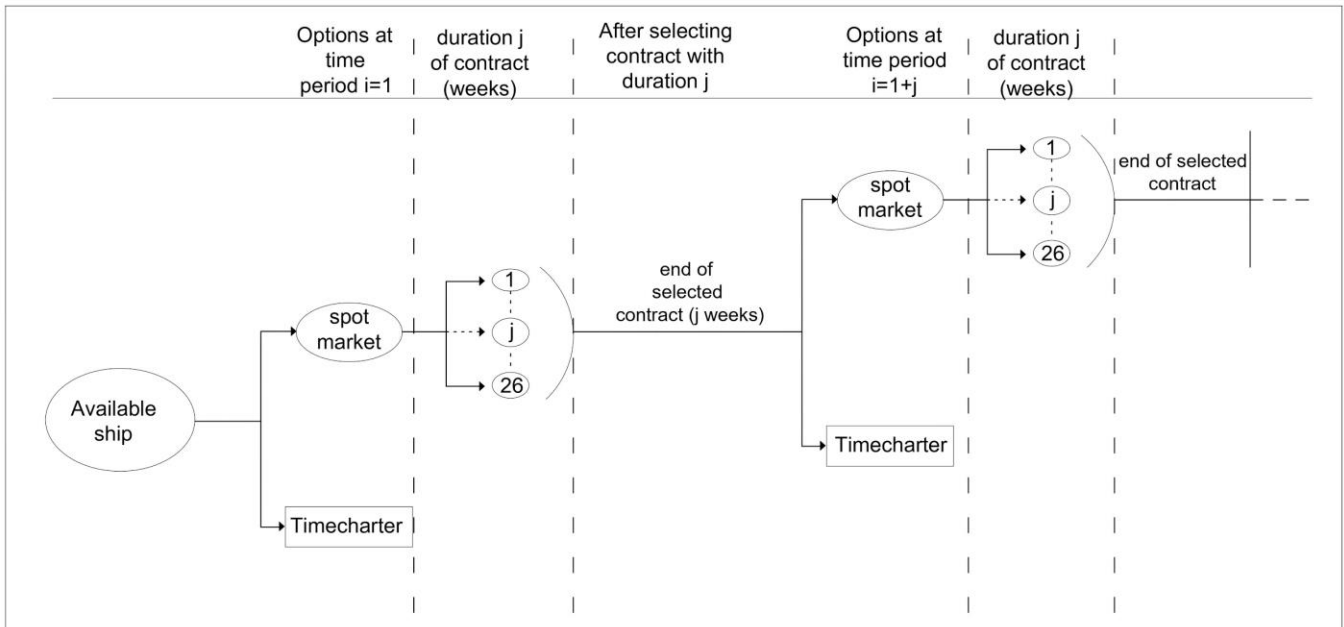
Η παρούσα διπλωματική θα εξετάσει την διαμόρφωση μοντέλου βέλτιστης ναύλωσης στόλου μίας ναυτιλιακής εταιρείας πλοίων μεταφοράς LNG. Ο στόλος της εταιρείας είναι ιδιόκτητός ή/ναυλωμένος και η εταιρεία αναζητά το βέλτιστο σχέδιο ναυλώσεων σε χρονικό ορίζοντα ενός έτους. Σε αυτή τη διάρκεια δύναται ολόκληρος ο στόλος ή μέρος του να είναι διαθέσιμο προς ναύλωση. Η εταιρεία εξετάζει τις δυνατές επιλογές και καταλήγει στο τακτικό σχέδιο που θα της αποφέρει μεγιστοποίηση των εσόδων της. Αυτά θα προέλθουν από συγκεκριμένα συμβόλαια ναύλωσης για κάθε πλοίο της με βάση την πρόβλεψή της για την ετήσια ναυλαγορά. Στο μοντέλο εξετάζεται η περίπτωση για ένα διαθέσιμο πλοίο.

Στο παρόν πρόβλημα η εταιρεία έχοντας μια πρόβλεψη για κάθε εβδομάδα του εξεταζόμενου έτους, για την τιμή των άμεσων ναύλων (spot freight rate) και για την τιμή της ετήσιας χρονοναύλωσης (η οποία είναι επίσης εβδομαδιαία) για ένα συγκεκριμένο τύπο πλοίου ορισμένης χωρητικότητας, ορίζει το τακτικό σχέδιο για το συγκεκριμένο πλοίο της.

Μαθηματική Μοντελοποίηση

Οι επιλογές της ναυτιλιακής που θα εξεταστούν είναι η ετήσια χρονοναύλωση (1 year time-charter) και η διάθεση του πλοίου στην άμεση αγορά (spot charter). Το χρονικό έτος χωρίζεται σε 52 εβδομάδες κάθε μία από τις οποίες αποτελεί στάδιο απόφασης για την εταιρεία. Η διάρκεια της χρονοναύλωσης ορίζεται το ένα (1) έτος. Ωστόσο τα έσοδα που λαμβάνονται υπ' όψιν είναι εκείνα που προκύπτουν από τη βδομάδα που ξεκινά το συμβόλαιο μέχρι την 52^η βδομάδα. Για παράδειγμα, εάν την 30^η εβδομάδα η εταιρεία επιλέξει την ετήσια χρονοναύλωση, τότε τα έσοδα που θα συγκριθούν με τις άλλες επιλογές της είναι η τιμή της χρονοναύλωσης την 30^η εβδομάδα επί τις υπόλοιπες 22 εβδομάδες. Στην άμεση αγορά η εταιρεία μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε συμβόλαια που διαρκούν από 1 έως 26 εβδομάδες (6 μήνες), δηλαδή, την 10^η εβδομάδα του έτους η εταιρεία έχει τη δυνατότητα να δεσμεύσει το πλοίο της από 1 εβδομάδα (μέχρι την 11^η εβδομάδα) έως 26 εβδομάδες (μέχρι την 36^η εβδομάδα).

Το Διάγραμμα 1 δείχνει μία αναπαράσταση της μοντελοποίησης του προβλήματος.



Διάγραμμα 1. Αναπαράσταση του μοντέλου (Πηγή: Συγγραφέας)

Το ζητούμενο είναι για διάφορες τιμές των ναύλων που μπορεί να εισάγει ως παράμετρο η εταιρεία, να παράγεται σχεδιασμός ναύλωσης (ποιους μήνες και πόση διάρκεια) για κάθε πλοίο της. Η ακόλουθη ανάλυση περιγράφει τη διαδικασία για 1 πλοίο μεταφοράς LNG.

Οι παράμετροι του αλγορίθμου είναι οι εξής:

- Μητρώο C : Το μητρώο C είναι διαστάσεων 26x52 και σε κάθε κελί αναγράφεται η διάρκεια (σε βδομάδες) του συμβολαίου i (γραμμή) για την εβδομάδα j (στήλη) που εξετάζεται (ενδεικτικά το κελί $C(2,51)$ αναφέρεται σε ένα συμβόλαιο την 51^η βδομάδα που διαρκεί 2 εβδομάδες).

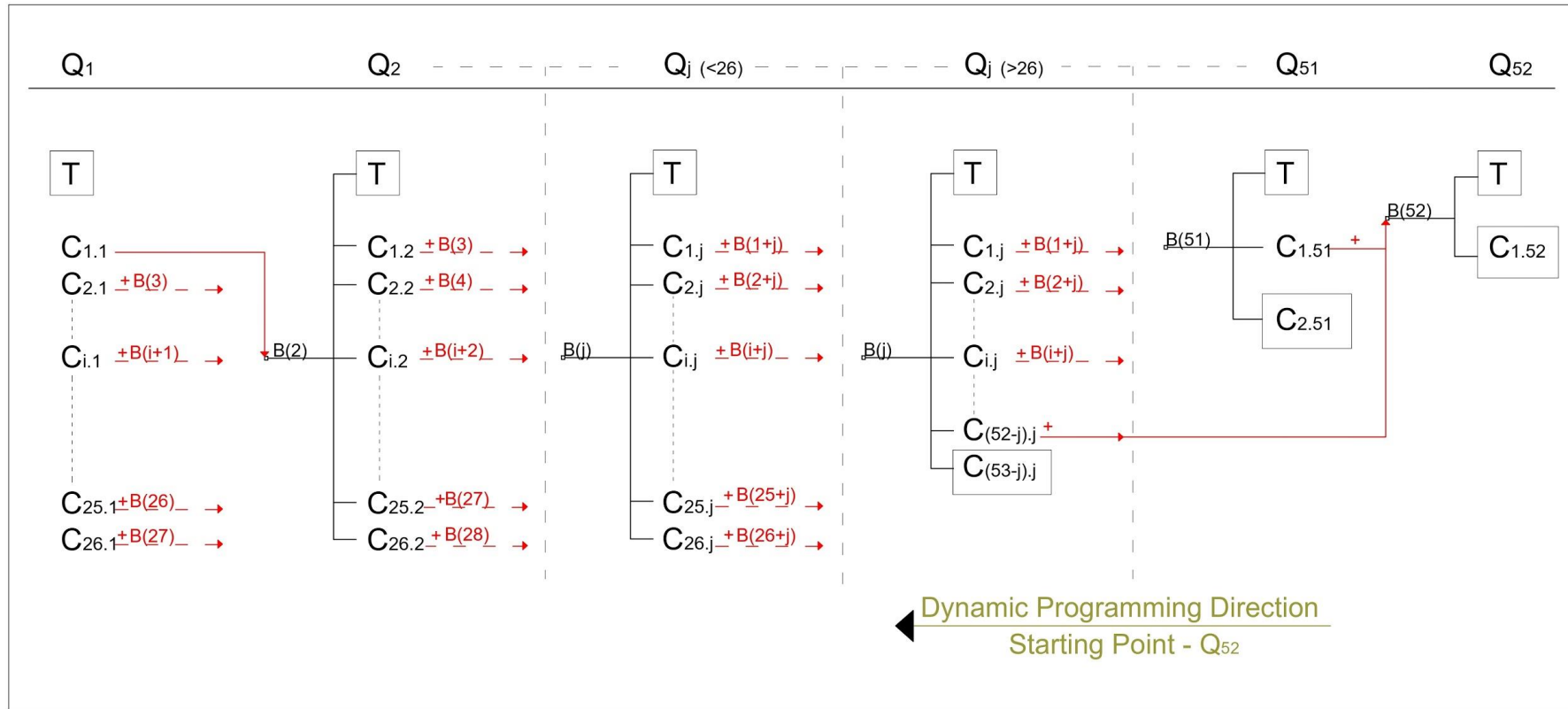
	Εβδομάδα που εξετάζεται j						
	Q1	Q2	...	Qj	...	Q51	Q52
D1	1	1	1	1	1	1	1
D2	2	2	2	2	2	2	0
...
Di	i	i	i	i	i	0	0
...
D26	26	26	26	26	26	0	0

Πίνακας 1. Οι τιμές του μητρώου C (Πηγή: Συγγραφέας)

Τα μηδενικά κελιά υπάρχουν για λόγους απλοποίησης. Για παράδειγμα αν το κελί $C_{2,52}$ είχε την τιμή 2 (όπως και τα κελιά στα αριστερά του) τότε το πλοίο θα είχε τη δυνατότητα να δεσμευτεί την 52^η βδομάδα για διάρκεια μεγαλύτερη του έτους. Τα έσοδα ενός τέτοιου συμβολαίου από το τέλος του έτους και μετά δεν θα λαμβάνονταν υπόψη, οπότε στο προηγούμενο παράδειγμα το κελί $C_{2,52}$ είναι ισοδύναμο (ίδια έσοδα) με το $C_{1,52}$.

- Το Διάνυσμα S : Με διαστάσεις 1×52 το διάνυσμα αυτό περιλαμβάνει τις τιμές των ναύλων της spot αγοράς για κάθε βδομάδα j για τον εξεταζόμενο τύπο πλοίου. Δηλαδή το κελί S_{10} είναι η τιμή με την οποία το πλοίο θα ναυλωθεί, αν δεσμευτεί την 10^η βδομάδα, για όσες βδομάδες δεσμευτεί (από 1 έως 26). Μονάδες είναι τα δολάρια ανά μέρα (USD/day).
- Το Διάνυσμα TC (1Y time-charter): Με διαστάσεις 1×52 το διάνυσμα αυτό περιλαμβάνει τις τιμές για ετήσια ναύλωση που προβλέπονται σε κάθε βδομάδα. Δηλαδή το κελί TC_{10} είναι η τιμή με την οποία το πλοίο θα ναυλωθεί, αν δεσμευτεί τη 10^η βδομάδα για 1 έτος. Μονάδες είναι τα δολάρια ανά μέρα (USD/day). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα έσοδα που θα ληφθούν υπόψη είναι οι $(53-10=)$ 42 βδομάδες επί την τιμή TC_{10} .

Το Διάγραμμα 2 είναι ένα σχεδιάγραμμα για τη λειτουργία του αλγορίθμου. Για λόγους απλοποίησης φαίνονται οι εβδομάδες $1, 2, j (< 26), j (> 26), 51$ και 52 οι οποίες καλύπτουν όλες τις διαφορετικές περιπτώσεις από άποψη επιλογών της εταιρείας και παράλληλα δείχνουν της αρχή (52^η βδομάδα) και το τέλος (1^η βδομάδα) του αλγορίθμου. Οι επιλογές που περικλείονται με παραλληλόγραμμο είναι τερματικές. Οι τιμές με **κόκκινες** διακεκομμένες δηλώνουν πως η κατάληξη της συγκεκριμένης επιλογής δεν φαίνεται στο σχήμα λόγω της απλοποίησης. Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά το Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Δυναμικός Προγραμματισμός στο εξεταζόμενο μοντέλο (Πηγή: Συγγραφέας)

Περιγραφή Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος βασίζεται στη μέθοδο του δυναμικού προγραμματισμού. Έτσι η διαδικασία είναι αναδρομική, ξεκινάει από την 52^η βδομάδα και καταλήγει στην 1^η. Στο συγκεκριμένο αλγόριθμο οι βδομάδες (μεταβλητή j) είναι η μεταβλητή σταδίου και δείχνει ποιο στάδιο εξετάζεται, δηλαδή όταν $j=5$, εξετάζεται η 5^η βδομάδα.

Οι μεταβλητές κατάστασης για το παρόν πρόβλημα είναι το διάνυσμα S και το διάνυσμα TC και περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία που είναι αναγκαία για να μπορούμε να πάρουμε τη βέλτιστη απόφαση σε κάθε στάδιο j .

Σε κάθε πρόβλημα δυναμικού προγραμματισμού υπάρχει επίσης η μεταβλητή απόφασης που ορίζει τις επιλογές μας σε κάθε στάδιο j . Στο συγκεκριμένο πρόβλημα η μεταβλητή απόφασης είναι η διάρκεια ναύλωσης. Οι τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή απόφασης είναι από 1 έως 26 βδομάδες (spot market) και μία τιμή για την ετήσια χρονοναύλωση που είναι ίση με τις εβδομάδες που απομένουν από την εβδομάδα j που εξετάζεται. Δηλαδή, την 5^η βδομάδα η μεταβλητή απόφασης μπορεί να πάρει τις τιμές $[1, \dots, 26]$ και $(53-5=) 48$ (βδομάδες).

Η συνάρτηση Βέλτιστης τιμής $V(i,j)$, ορίζεται ως η βέλτιστη τιμή (μέγιστα έσοδα) όλων των αποφάσεων (i) που υπολείπονται, με βάση τις μεταβλητές κατάστασης ($S(j)$, $TC(j)$) στο στάδιο j . Η βέλτιστη τιμή υπολογίζεται από μία επαγωγική σχέση που συνδέει το $V(j)$ με το $B(j+i)$, όπου $B(j+i)$ είναι τα έσοδα από τη βέλτιστη απόφαση στο στάδιο $(i+j)$, $B(i+j)=\max[V(i,i+j)] \forall i$ της μεταβλητής απόφασης. Ο τύπος της επαγωγικής σχέσης εξαρτάται από το στάδιο που εξετάζεται και εξηγείται στη συνέχεια.

Οι επιλογές της εταιρείας για την spot αγορά κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες με βάση τους δείκτες του μητρώου $C(i,j)$:

- A) Όταν $i+j < 53$ στο συμβόλαιο διάρκειας (i) και βδομάδας (j), $C(i,j)$ προστίθεται η τιμή $B(i+j)$. Η τιμή $B(i+j)$ είναι τα μέγιστα έσοδα την βδομάδα $i+j$. Για παράδειγμα όταν εξετάζονται οι επιλογές της 51^{ης} βδομάδας ($j=51$) στο συμβόλαιο διάρκειας 1 βδομάδας ($i=1$), $(C(1,51))$ προστίθεται η τιμή $B(52)$, τα μέγιστα έσοδα από τις διαθέσιμες επιλογές της 52^{ης} βδομάδας. Ο τύπος λοιπόν για την επαγωγική σχέση είναι : $V(i,j) = C(i,j) \times S(j) + B(i+j)$.
- B) Όταν $i+j=53$ το συμβόλαιο διάρκειας (i) και βδομάδας (j), $C(i,j)$ είναι τερματικό, δηλαδή λήγει στο τέλος του εξεταζόμενου έτους. Για παράδειγμα όταν εξετάζονται οι επιλογές της 51^{ης} βδομάδας ($j=51$) το συμβόλαιο διάρκειας 2 βδομάδων ($i=2$), $(C(2,51))$, τελειώνει στο πέρας του έτους. Ο τύπος λοιπόν για την επαγωγική σχέση είναι : $V(i,j) = C(i,j) \times S(j)$.
- C) Όταν $i+j > 53$ το συμβόλαιο διάρκειας (i) και βδομάδας (j), $C(i,j)$ λήγει μετά το πέρας του εξεταζόμενου έτους. Επειδή τα έσοδα που εξετάζονται περιορίζονται στο εξεταζόμενο έτος τα επιπλέον έσοδα (από το έτος και μετά) δεν λαμβάνονται υπόψη και για αυτό το λόγο όλα τα συμβόλαια αυτής της κατηγορίας δεν λαμβάνονται υπόψη δεδομένου ότι τα ενδιαφερόμενα έσοδα είναι ίδια με του συμβολαίου της αντίστοιχης βδομάδας (j) για το οποίο ισχύει $i+j=53$. Για παράδειγμα την 51^η βδομάδα το συμβόλαιο διάρκειας 3 βδομάδων, $(C(3,51))$ τελειώνει την πρώτη βδομάδα του επόμενου έτους. Αν υπήρχε, τα έσοδα που θα λαμβάνονταν υπόψη θα ήταν $(S(51) \times (2 \text{ weeks}))$, ίδια με του συμβολαίου

$(C(2,51))$. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 τα κελιά αυτά έχουν μηδενική τιμή και δεν εξετάζονται.

Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά το Διάγραμμα 2. Οι βδομάδες μεταξύ 28 και 51 καλύπτονται από την περίπτωση ($j > 26$) ενώ τα συμβόλαια με διάρκεια μεταξύ 2 και $(52-j)$ βδομάδων καλύπτονται από την επιλογή $(i+1)$. Οι βδομάδες μεταξύ 2 και 27 από την ($j < 26$) ενώ τα συμβόλαια με διάρκεια μεταξύ 2 και 25 βδομάδων καλύπτονται από την επιλογή $(i+1)$.

Όπως αναφέρθηκε η διαδικασία επίλυσης ξεκινάει από την 52^η βδομάδα και πηγαίνει προς την 1^η.

- Στην 52^η βδομάδα οι επιλογές της εταιρείας είναι 2:

- 1) Η ετήσια χρονοαύλωση $(TC(52))$ ή
- 2) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας μιας βδομάδας $(C(1,52))$.

Για την 1^η επιλογή (ετήσια χρονοαύλωση) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι: $(TC(52) \times (1 \text{ week}))$.

Για την 2^η επιλογή $(C(1,52))$ (δεύτερη κατηγορία spot συμβολαίων, τερματική) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $(S(52) \times (1 \text{ week}))$.

Τα spot συμβόλαια μεγαλύτερης διάρκειας δεν εξετάζονται σαν επιλογές καθώς η διάρκειά τους ξεπερνά το έτος (τρίτη κατηγορία spot συμβολαίων).

Συγκρίνοντας τις δύο τιμές στη μεταβλητή $B(52)$ αποθηκεύεται η μεγαλύτερη.

- Στην 51^η βδομάδα οι επιλογές της εταιρείας είναι 3:

- 1) Η ετήσια χρονοαύλωση $(TC(51))$ ή
- 2) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας μιας βδομάδας $(C(1,51))$ ή
- 3) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας δύο εβδομάδων $(C(2,51))$ (το οποίο είναι και τερματικό)

Για την 1^η επιλογή (ετήσια χρονοαύλωση) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι: $(TC(51) \times (2 \text{ weeks}))$.

Για την 2^η επιλογή $(C(1,51))$ (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(51) \times (1 \text{ week})] + B(52))$, καθώς στην περίπτωση αυτή την 52^η βδομάδα το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της 52^{ης} βδομάδας.

Για την 3^η επιλογή $(C(2,51))$ (δεύτερη κατηγορία spot συμβολαίων, τερματική) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $(S(51) \times (2 \text{ weeks}))$.

Συγκρίνοντας τις τρεις τιμές στη μεταβλητή $B(51)$ αποθηκεύεται η μεγαλύτερη.

- Στην $j (> 26)$ βδομάδα οι επιλογές της εταιρείας είναι $53-j (< 27)$ (όσες και οι βδομάδες που απομένουν):

- 1) Η ετήσια χρονοναύλωση ($TC(j)$) ή
- 2) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας μιας βδομάδας ($C(1,j)$) ή
- 3) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας δύο βδομάδων ($C(2,j)$) ή
-
-
-
- i+1) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας (i) εβδομάδων ($C(i,j)$) ή
-
-
-
- 53-j) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας $(53-j)-1$ εβδομάδων ($C(52-j,j)$) ή
- 54-j) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας $(53-j)$ βδομάδων ($C(53-j,j)$) (το οποίο είναι και τερματικό).

Να σημειωθεί πως ο αριθμός της επιλογής είναι κατά 1 μεγαλύτερος από τη διάρκεια των συμβολαίων $C(i,j)$ επειδή εξετάζεται πρώτα η ετήσια χρονοναύλωση.

Για την 1^η επιλογή (ετήσια χρονοναύλωση) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι: $(TC(j) \times ((53-j) \text{ weeks}))$.

Για την 2^η επιλογή ($C(1,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (1 \text{ week})] + \underline{B(j+1)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την βδομάδα $(j+1)$ το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της βδομάδας $(j+1)$.

Για την 3^η επιλογή ($C(2,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (2 \text{ weeks})] + \underline{B(j+2)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την βδομάδα $(j+2)$ το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της βδομάδας $(j+2)$.

Για την $(i+1)$ επιλογή ($C(i,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (i \text{ weeks})] + \underline{B(j+i)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την βδομάδα $(j+i)$ το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της βδομάδας $(j+i)$.

Για την $(53-j)$ επιλογή ($C(52-j,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times ((53-j-1) \text{ weeks})] + \underline{B(52)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την 52^η βδομάδα το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της 51^{ης} βδομάδας.

Για την $(53-j)$ επιλογή ($C(53-j,j)$) (δεύτερη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times ((53-j) \text{ weeks})]$, καθώς στην περίπτωση αυτή το συμβόλαιο τελειώνει στο πέρας του έτους.

- Στην j (≤ 26) βδομάδα οι επιλογές της εταιρείας είναι 27 :

- 1) Η ετήσια χρονοναύλωση ($TC(j)$) ή
- 2) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας μιας βδομάδας ($C(1,j)$) ή

- 3) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας δύο εβδομάδων ($C(2,j)$) ή
 ·
 ·
 ·
 i+1) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας (i) εβδομάδων ($C(i,j)$) ή
 ·
 ·
 ·
 26) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας 25 εβδομάδων ($C(25,j)$) ή
 27) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας 26 εβδομάδων ($C(26,j)$) .

Να σημειωθεί πως ο αριθμός της επιλογής είναι κατά 1 μεγαλύτερος από τη διάρκεια των συμβολαίων $C(i,j)$ επειδή εξετάζεται πρώτα η ετήσια χρονοναύλωση.

Για την 1^η επιλογή (ετήσια χρονοναύλωση) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι: $(TC(j) \times ((53-j) \text{ weeks}))$.

Για την 2^η επιλογή ($C(1,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (1 \text{ week})] + \underline{B(j+1)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την εβδομάδα ($j+1$) το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της εβδομάδας ($j+1$).

Για την 3^η επιλογή ($C(2,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (2 \text{ weeks})] + \underline{B(j+2)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την εβδομάδα ($j+2$) το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της εβδομάδας ($j+2$).

Για την ($i+1$) επιλογή ($C(i,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (i \text{ weeks})] + \underline{B(j+i)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την εβδομάδα ($j+i$) το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της εβδομάδας ($j+i$).

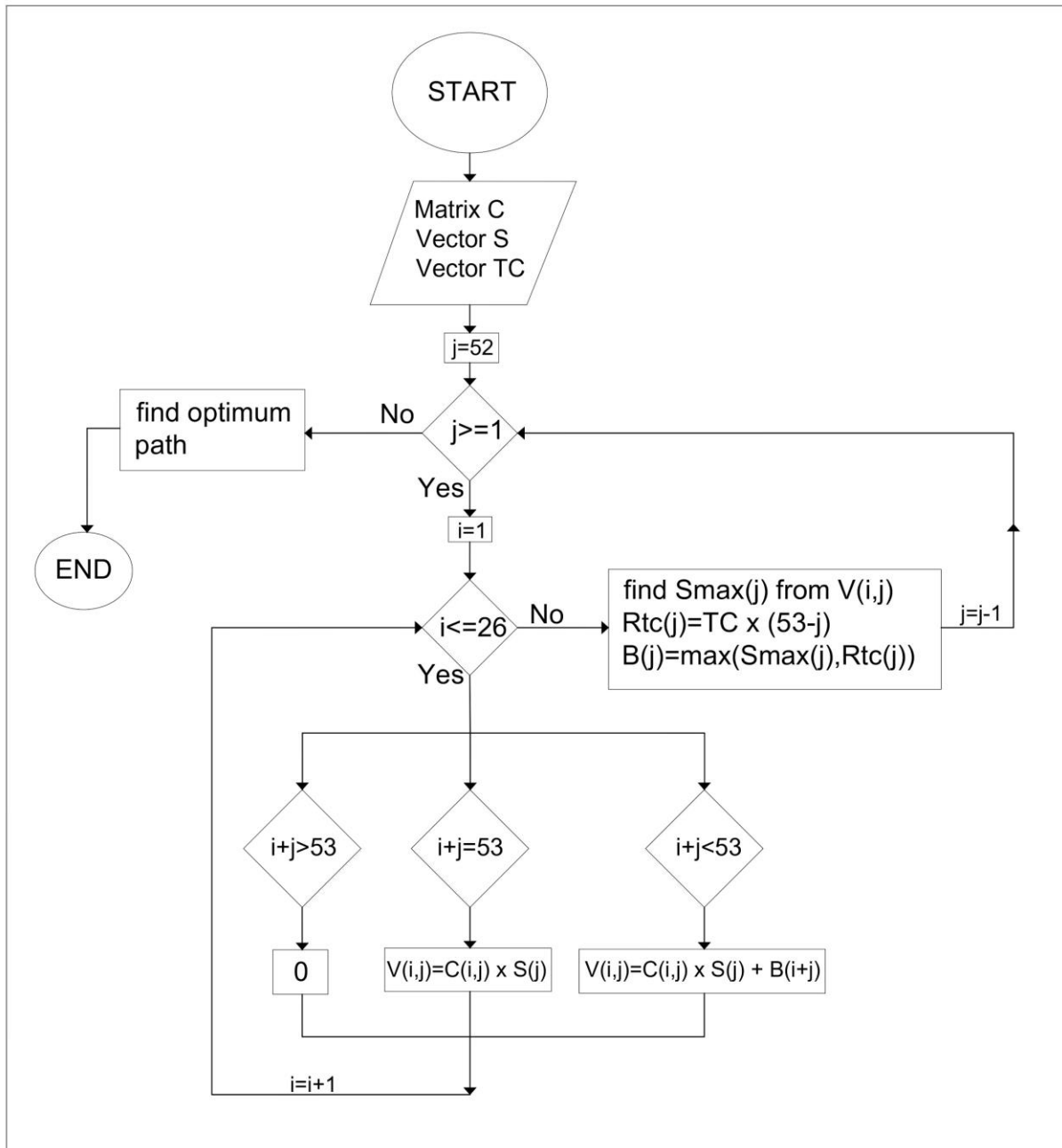
Για την 26^η επιλογή ($C(25,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (25 \text{ weeks})] + \underline{B(j+25)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την εβδομάδα ($j+25$) το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της εβδομάδας ($j+25$).

Για την 27^η επιλογή ($C(26,j)$) (πρώτη κατηγορία spot συμβολαίων) τα έσοδα που λαμβάνονται υπόψη είναι $([S(j) \times (26 \text{ weeks})] + \underline{B(j+26)})$, καθώς στην περίπτωση αυτή την εβδομάδα ($j+26$) το πλοίο είναι διαθέσιμο και η εταιρεία επιλέγει τη βέλτιστη επιλογή της εβδομάδας ($j+26$).

- Στην 2^η εβδομάδα οι επιλογές της εταιρείας είναι 27 :

- 1) Η ετήσια χρονοναύλωση ($TC(2)$) ή
- 2) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας μιας εβδομάδας ($C(1,2)$) ή
- 3) Ένα συμβόλαιο στην spot αγορά διάρκειας δύο εβδομάδων ($C(2,2)$) ή
-

- Το διάνυσμα $Smax_j$ το οποίο περιέχει τις μεγαλύτερες τιμές του μητρώου V_{ij} κατά στήλη.
- Υπολογίζεται το Rtc_j , τα έσοδα από την ετήσια χρονοναύλωση για την εβδομάδα j .
- Αφού γίνουν οι υπολογισμοί για την πρώτη βδομάδα (τέλος αναδρομικής διαδικασίας) ξεκινάει η διαδικασία για την εύρεση του βέλτιστου σχεδίου ναύλωσης του στόλου.



Διάγραμμα 3. Διάγραμμα Ροής (Πηγή: Συγγραφέας)

Σε μορφή ψευδοκώδικα και βημάτων ο αλγόριθμος λειτουργεί όπως φαίνεται παρακάτω:

1. Αρχή
2. Εισαγωγή: Μητρώο C, Διάνυσμα S, Διάνυσμα TC
3. Έναρξη υπολογισμών από εβδομάδα 52 μέχρι 1 (j)
4. Έναρξη υπ/μών για διάρκεια συμβολαίων 1-26 βδομάδες (i)

5. Σύγκριση $i+j \Leftrightarrow 53$
6. Υπολογισμός Μητρώου V_{ij}
7. Ολοκλήρωση υπολογισμών για κάθε διάρκεια συμβολαίου (i)
8. S_{max_j} = μέγιστο V_{ij} για τον μήνα (j)
9. Υπολογισμός R_{tc_j}
10. Σύγκριση R_{tc_j} , V_{max_j} για να βρεθεί η μέγιστη τιμή B_j
11. Ολοκλήρωση υπολογισμών για κάθε εβδομάδα
12. Εύρεση βέλτιστων αποφάσεων από μεγιστοποίηση εσόδων.
13. Αποτέλεσμα: Μέγιστα έσοδα, βέλτιστος σχεδιασμός ναυλώσεων
14. Τέλος

Σημαντικά Σημεία του αλγορίθμου: Για μια βδομάδα j το μητρώο V_{ij} θα υπολογίσει όλες τις περιπτώσεις συμβολαίων στην άμεση αγορά (1-26 βδομάδες για την περίπτωση που $j < 28$) σε συνδυασμό με τη βέλτιστη απόφαση μετά το πέρας αυτών. Η βέλτιστη απόφαση την εβδομάδα $i+j$, $B_{(i+j)}$ εξετάζει και την περίπτωση χρονοναύλωσης για τον μήνα $i+j$, ενώ η τιμή του διανύσματος S_{max_j} δεν εξετάζει την περίπτωση χρονοναύλωσης τον μήνα j . Η σύγκριση μεταξύ χρονοναύλωσης το μήνα j και S_{max_j} γίνεται στην τιμή B_j .

Παράδειγμα: Την 45^η βδομάδα η τιμή των ναύλων είναι αρκετά υψηλή και φαίνεται να συμφέρει η δέσμευση ενός συμβολαίου στη στιγμιαία αγορά για τις υπόλοιπες 8 εβδομάδες (μέχρι το τέλος τους έτους). Το κελί $B(45)$ συνεπώς λαμβάνει την παραπάνω τιμή, συγκεκριμένα $B(45)=S_{max}(45)=V(8,45)$. Ωστόσο μέχρι την 45^η εβδομάδα οι τιμές των ναύλων είναι αρκετά χαμηλές με αποτέλεσμα η χρονοναύλωση από την 1^ο μήνα να είναι η βέλτιστη επιλογή βάσει εκτιμώμενων εσόδων ($B(1)=R_{tc}(1)$). Φαίνεται λοιπόν πως η τιμή $B(45)$ παρότι βέλτιστη για την 45^η βδομάδα δεν είναι βέλτιστη συνολικά.

Μελέτη Περίπτωσης

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής θα επαληθευθεί ο αλγόριθμος που περιγράψαμε παραπάνω μέσα από μία δομημένη μελέτη περίπτωσης. Σε αυτή υλοποιείται ο τακτικός σχεδιασμός αξιοποίησης του στόλου μιας ναυτιλιακής εταιρείας για το έτος 2019, με χρονικό ορίζοντα διάρκειας ενός (1) έτους. Με βάση τις εβδομαδιαίες τιμές για ναύλωση (πλοίων) στη spot αγορά, ανατολικά και δυτικά του Σουέζ, καθώς και τις τιμές για ετήσια χρονοναύλωση, η εταιρεία είναι σε θέση να οργανώσει το διαθέσιμο στόλο της και να επιλέξει για κάθε πλοίο μεταξύ των ακόλουθων, με κριτήριο την μεγιστοποίηση των εσόδων της:

1. ποιες και για πόσες βδομάδες είναι οικονομικά ωφέλιμο να δεσμεύσει το πλοίο της με συμβόλαια στη spot αγορά ή
2. ποιες και για πόσες βδομάδες είναι οικονομικά ωφέλιμο να δεσμεύσει το πλοίο της με συμβόλαια στη spot αγορά και στη συνέχεια να το διαθέσει σε μία χρονοναύλωση ή
3. να το ναυλώσει για ένα χρόνο.

Για τις τρεις εβδομαδιαίες τιμές της ναυλαγοράς (δύο για την spot και μία για την ετήσια), χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την ναυλομεσιτική εταιρεία Fearnleys.

Στην ναυτιλιακή αγορά Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ) τα έξοδα καυσίμων τα επωμίζεται ο ναυλωτής τόσο στα ετήσια ναυλοσύμφωνα, όσο και στα συμβόλαια της spot αγοράς. Έτσι τα έσοδα και στις δύο περιπτώσεις (spot, ετήσια χρονοναύλωση) για την ναυτιλιακή εταιρεία είναι τα έσοδα ναύλωσης, σε αντίθεση με την αγορά των tanker όπου στην spot αγορά τα έξοδα καυσίμων τα επωμίζεται η ναυτιλιακή εταιρεία.

Στον Πίνακα 2 φαίνονται συγκεντρωτικά τα δεδομένα οι εβδομαδιαίες τιμές ναύλων για τρεις κατηγορίες σύμφωνα με την εταιρεία Fearnleys. Οι τιμές αναφέρονται σε πλοία μεταφοράς ΥΦΑ με μηχανές τριπλού καυσίμου (TFDE) για πρόωση, μέσης χωρητικότητας 160.000 κ.μ. Οι μονάδες είναι σε χίλια δολάρια ανά ημέρα. Με κίτρινο χρώμα επίσης φαίνονται οι τιμές για πλοία με δίχρονες μηχανές για πρόωση (ME-GI, XDF), μέσης χωρητικότητας 174.000 κ.μ. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν με προσαύξηση των τιμών των πλοίων με μηχανές τριπλού καυσίμου (TFDE), έχοντας ενδεικτικές τιμές από την αναφορά της IGU για το 2020.

Period	Fearnleys 2019 Freight Rates (160k cbm) TFDE (in 1.000 USD/Day)			Freight Rates (174k cbm) 2- Stroke (in 1.000USD/Day)		
	East Suez	West Suez	1Y T/C	East Suez	West Suez	1Y T/C
Week 1	100	100	92,5	116	116	108.5
Week 2	75	80	87	89	94	101
Week 3	70	78	87	82	90	99
Week 4	62	70	85	79	87	102
Week 5	58	65	84	76	83	102
Week 6	52,5	58	84	67,5	73	99
Week 7	49	53	79	60	64	90
Week 8	48	50	78	61	63	91
Week 9	45	47	75	57	59	87
Week 10	27,5	45	75	40,5	58	88
Week 11	25	40	73	40	55	88
Week 12	25	35	73	41	51	89
Week 13	25	36	73	40	51	88
Week 14	25	36	73	44	55	92
Week 15	25	36	74	41	52	90
Week 16	25	38	74	45	58	94
Week 17	25	39	74	42	56	91
Week 18	28	50	74	48	70	94
Week 19	30	52,5	75	43	65,5	88
Week 20	33	65	78	50	82	95
Week 21	33	65	80	46	78	93
Week 22	33	65	82	50	82	99
Week 23	31	57	82	48	74	99
Week 24	30	55	82	41	66	93

Week 25	30	55	82	43	68	95
Week 26	28	55	83	41	68	96
Week 27	28	50	83	45	67	100
Week 28	52	56	84	71	75	103
Week 29	54	57	84	68	71	98
Week 30	54	57	84	72	75	102
Week 31	54	57	84	71	74	101
Week 32	61	65	84	72	76	95
Week 33	63	68	84	80	85	101
Week 34	65	68	84	79	82	98
Week 35	65	68	84	85	88	104
Week 36	61	64	82	72	75	93
Week 37	56	60	82	71	75	97
Week 38	70	70	82	85	85	97
Week 39	74	72	82	89	87	97
Week 40	83	88	82	101	106	100
Week 41	130	133	83	144	147	97
Week 42	130	120	83	148	138	101
Week 43	130	120	83	145	135	98
Week 44	130	120	82	141	131	93
Week 45	125	110	82	137	122	94
Week 46	122,5	112,5	81	140,5	130,5	99
Week 47	112,5	112,5	79	127,5	127,5	94
Week 48	105	112	78	117	124	90
Week 49	95	100	78	109	114	92
Week 50	87	95	77	104	112	94
Week 51	87	95	76	99	107	88
Week 52	86	93	76	104	111	94

Πίνακας 2. Τιμές ναύλων το 2019 για TFDE και 2-Stroke LNG πλοία (Πηγές: Fearnleys (TFDE) και υπολογισμοί του συγγραφέα (2-Stroke))

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα η ναυτιλιακή εταιρεία είναι σε θέση να οργανώσει τα διαθέσιμα πλοία της και να δημιουργήσει το τακτικό πλάνο που θα αποφέρει τα μέγιστα έσοδα. Γίνεται η παραδοχή πως κάθε πλοίο δραστηριοποιείται αποκλειστικά σε μία από τις δύο περιοχές του Σουέζ, όσον αφορά τους εξαγωγείς LNG. Ο Πίνακας 3 όπως προέκυψε από τον αλγόριθμο δείχνει το πλάνο που δύναται να ακολουθήσει η εταιρεία, ανατολικά και δυτικά του Σουέζ για ένα ίδιο πλοίο TFDE και για ένα πλοίο 2-stroke. Υπενθυμίζεται πως στη spot αγορά το μέγιστης διάρκειας συμβόλαιο με το οποίο μπορεί να δεσμεύσει η ναυτιλιακή εταιρεία κάποιο πλοίο της είναι είκοσι έξι (26) εβδομάδες.

Με κίτρινο χρώμα είναι οι στήλες που δείχνουν την βέλτιστη τακτική για πλοία ανατολικά και δυτικά του Σουέζ. Με 0 σηματοδοτούνται οι εβδομάδες στις οποίες το πλοίο είναι δεσμευμένο από προηγούμενη εβδομάδα και δεν είναι διαθέσιμο. Αυτό σημαίνει για παράδειγμα πως για ένα πλοίο που δραστηριοποιείται ανατολικά του Σουέζ η βέλτιστη τακτική ναυλώσεων που πρέπει να ακολουθήσει η εταιρεία για μεγιστοποίηση των εσόδων είναι:

- Συμβόλαιο την 1^η εβδομάδα για διάρκεια 26 εβδομάδων.
- Συμβόλαιο την 27^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 28^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 29^η εβδομάδα για διάρκεια 3 εβδομάδων.
- Συμβόλαιο την 32^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 33^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 34^η εβδομάδα για διάρκεια 4 εβδομάδων.
- Συμβόλαιο την 38^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 39^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 40^η εβδομάδα για διάρκεια 1 εβδομάδας.
- Συμβόλαιο την 41^η εβδομάδα για διάρκεια 12 εβδομάδων.

Εφόσον η εταιρεία αποφασίσει να διαθέσει το πλοίο της στη spot αγορά, πρέπει να βρει τους κατάλληλους ναυλωτές, σύμφωνα με το προαναφερθέν πλάνο. Ακολουθώντας την προτεινόμενη τακτική, τα έσοδα για την εταιρεία υπολογίζονται σε \$35.091.000 για την περίπτωση ανατολικά του Σουέζ, \$1.421.000 παραπάνω από την περίπτωση που η εταιρεία θα ναύλωνε για ένα χρόνο το ίδιο πλοίο την πρώτη εβδομάδα.

Για την περίπτωση δυτικά του Σουέζ, σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του αλγορίθμου, τα έσοδα ανέρχονται στα \$35.756.000, και συγκριτικά με την ετήσια χρονοναύλωση από την πρώτη εβδομάδα είναι μεγαλύτερα κατά \$2.086.000. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, η διαφορά στην τακτική μεταξύ των δύο περιοχών είναι την 33^η εβδομάδα, που ανατολικά προτείνεται συμβόλαιο μίας εβδομάδας, ενώ δυτικά συμβόλαιο 5 εβδομάδων.

Type Period	TFDE					2-STROKE				
Period	charter duration east (weeks)	East Suez (1k USD/day)	charter duration west (weeks)	West Suez (1k USD/day)	1Y T/C (1k USD/day)	charter duration east (weeks)	East Suez (1k USD/day)	charter duration west (weeks)	West Suez (1k USD/day)	1Y T/C 1k USD/day
Week 1	26	100	26	100	92.5	26	116	26	116	108.5
Week 2	0	75	0	80	87	0	89	0	94	101
Week 3	0	70	0	78	87	0	82	0	90	99
Week 4	0	62	0	70	85	0	79	0	87	102
Week 5	0	58	0	65	84	0	76	0	83	102
Week 6	0	52.5	0	58	84	0	67.5	0	73	99
Week 7	0	49	0	53	79	0	60	0	64	90
Week 8	0	48	0	50	78	0	61	0	63	91
Week 9	0	45	0	47	75	0	57	0	59	87
Week 10	0	27.5	0	45	75	0	40.5	0	58	88
Week 11	0	25	0	40	73	0	40	0	55	88
Week 12	0	25	0	35	73	0	41	0	51	89
Week 13	0	25	0	36	73	0	40	0	51	88
Week 14	0	25	0	36	73	0	44	0	55	92
Week 15	0	25	0	36	74	0	41	0	52	90
Week 16	0	25	0	38	74	0	45	0	58	94
Week 17	0	25	0	39	74	0	42	0	56	91
Week 18	0	28	0	50	74	0	48	0	70	94
Week 19	0	30	0	52.5	75	0	43	0	65.5	88
Week 20	0	33	0	65	78	0	50	0	82	95
Week 21	0	33	0	65	80	0	46	0	78	93
Week 22	0	33	0	65	82	0	50	0	82	99
Week 23	0	31	0	57	82	0	48	0	74	99
Week 24	0	30	0	55	82	0	41	0	66	93
Week 25	0	30	0	55	82	0	43	0	68	95
Week 26	0	28	0	55	83	0	41	0	68	96
Week 27	1	28	1	50	83	1	45	1	67	100
Week 28	1	52	1	56	84	2	71	4	75	103
Week 29	3	54	3	57	84	0	68	0	71	98
Week 30	0	54	0	57	84	3	72	0	75	102
Week 31	0	54	0	57	84	0	71	0	74	101
Week 32	1	61	1	65	84	0	72	1	76	95
Week 33	1	63	5	68	84	2	80	2	85	101
Week 34	4	65	0	68	84	0	79	0	82	98
Week 35	0	65	0	68	84	4	85	5	88	104
Week 36	0	61	0	64	82	0	72	0	75	93
Week 37	0	56	0	60	82	0	71	0	75	97
Week 38	1	70	1	70	82	0	85	0	85	97
Week 39	1	74	1	72	82	1	89	0	87	97
Week 40	1	83	1	88	82	1	101	1	106	100

Week 41	12	130	12	133	83	1	144	12	147	97
Week 42	0	130	0	120	83	11	148	0	138	101
Week 43	0	130	0	120	83	0	145	0	135	98
Week 44	0	130	0	120	82	0	141	0	131	93
Week 45	0	125	0	110	82	0	137	0	122	94
Week 46	0	122.5	0	112.5	81	0	140.5	0	130.5	99
Week 47	0	112.5	0	112.5	79	0	127.5	0	127.5	94
Week 48	0	105	0	112	78	0	117	0	124	90
Week 49	0	95	0	100	78	0	109	0	114	92
Week 50	0	87	0	95	77	0	104	0	112	94
Week 51	0	87	0	95	76	0	99	0	107	88
Week 52	0	86	0	93	76	0	104	0	111	94
Revenue	35.091k		35.756k		33.670k	41.167k		41.573k		39.494k

Πίνακας 3. Βέλτιστο Τακτικό Πλάνο Ναύλωσης πλοίων (Πηγή: Υπολογισμοί συγγραφέα)

Σε αντίθεση με τα πλοία TFDE, τα πλοία με δίχρονες μηχανές αερίου έχουν σημαντική διαφορά αν δραστηριοποιούνται ανατολικά ή δυτικά του Σουέζ.

Ανατολικά του Σουέζ τα έσοδα από το παραπάνω τακτικό πλάνο ανέρχονται στα \$41.167.000, και είναι από την ετήσια χρονοναύλωση της πρώτης εβδομάδας περισσότερα κατά \$1.673.000. Ακολουθώντας την αντίστοιχη τακτική για τα πλοία Δυτικά του Σουέζ, τα έσοδα για την εταιρεία ανέρχονται στα 41.573.000 \$, 1.421.000 \$ παραπάνω από την περίπτωση που η εταιρεία θα ναύλωνε για ένα χρόνο το ίδιο πλοίο την πρώτη εβδομάδα.

Στη συνέχεια, σαν επέκταση γίνεται μελέτη για την εφικτότητα του πλάνου. Λαμβάνονται υπόψη οι αποστάσεις των κύριων σταθμών εισαγωγής και εξαγωγής ΥΦΑ της αγοράς, προκειμένου η ναυτιλιακή εταιρεία να αντιστοιχίσει τα συμβόλαια των πλοίων της με συμβόλαια πιθανών ναυλωτών.

Εμπόριο LNG μεταξύ εισαγωγέων και εξαγωγέων

Στην προηγούμενη ενότητα αναλύθηκε και προσδιορίστηκε η βέλτιστη πολιτική αξιοποίησης στόλου που δύναται να ακολουθήσει μια ναυτιλιακή εταιρεία για να μεγιστοποιήσει τα έσοδά της το έτος 2019. Για να εξεταστεί η εφικτότητα του πλάνου, είναι αναγκαίο να βρεθούν ναυλωτές κάθε εβδομάδα που επιθυμεί η ναυτιλιακή να ναυλώσει το πλοίο της, οι οποίοι επιθυμούν να ναυλώσουν το πλοίο για ίδιο αριθμό εβδομάδων που αντιστοιχεί στο βέλτιστο πλάνο της ναυτιλιακής εταιρείας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ναύλωσης ανατολικά του Σουέζ για ένα πλοίο TFDE, την πρώτη εβδομάδα, πρέπει να υπάρχει κάποιος ναυλωτής που επιθυμεί να ναυλώσει ένα πλοίο TFDE για είκοσι έξι εβδομάδες, ίδιο αριθμό με το βέλτιστο πλάνο της ναυτιλιακής.

Για λόγους απλοποίησης στον παρόν παράδειγμα θα εξεταστούν οι έμποροι που διαχειρίζονται τερματικά εξαγωγής ή εισαγωγής.

Μεταξύ δύο εμπόρων, ενός εισαγωγέα και ενός εξαγωγέα, στην spot αγορά συναλλάσσονται ποσότητες LNG. Αφού συμφωνηθεί η ποσότητα συναλλαγής, ένα από τα δύο μέλη της συμφωνίας,

καλείται να αναλάβει τη μεταφορά του φορτίου. Για τον λόγο αυτό ναυλώνει ένα πλοίο μεταφοράς LNG για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται για την μεταφορά της συνολικής ποσότητας (1, 2, ...n, ταξίδια).

Έτσι, καθώς προγραμματίζει η ναυτιλιακή εταιρεία να ναυλώσει το πλοίο της για 2 π.χ. βδομάδες, αυτό σημαίνει πως υπάρχει ένα συμβόλαιο σε ισχύ μεταξύ ενός εισαγωγέα και ενός εξαγωγέα στη spot αγορά, για την υλοποίηση του οποίου απαιτείται η ναύλωση ενός πλοίου για 2 βδομάδες, από κάποιον από τους δύο. Για παράδειγμα, ένα συμβόλαιο στην spot αγορά μεταξύ ενός τερματικού της Αυστραλίας (εξαγωγέας) και ενός τερματικού της Κίνας (εισαγωγέας) για συναλλαγή 70 χιλιάδων τόνων LNG, μπορεί να υλοποιηθεί από ένα δρομολόγιο ενός πλοίου LNG χωρητικότητας 160 χιλιάδων κυβικών μέτρων, το οποίο θα διαρκέσει δύο βδομάδες. Επομένως ο trader που θα αναλάβει τη μεταφορά του φορτίου, πρέπει να ναυλώσει ένα πλοίο LNG για δύο βδομάδες την προκειμένη στιγμή.

Αντιστοιχία συμβολαίων ναυτιλιακής – ναυλωτή και trader-trader

Έχοντας καταστρώσει το τακτικό πλάνο της για κάθε διαθέσιμο πλοίο του στόλου της, η ναυτιλιακή εταιρεία πρέπει να βρει τους κατάλληλους ναυλωτές για να το υλοποιήσει. Οι ναυλωτές των πλοίων της, όπως αναφέρθηκε είναι οι εταιρείες που διαχειρίζονται τερματικά εξαγωγής (exporters) και εισαγωγής (importers) και, σαν ναυλωτές στην spot αγορά, ενδιαφέρονται να δεσμεύσουν ένα πλοίο για τον απαιτούμενο αριθμό ταξιδιών που χρειάζεται, για να μεταφερθεί η προσυμφωνημένη ποσότητα LNG. Γνωρίζοντας τον αριθμό των ταξιδιών που απαιτούνται για να μεταφερθεί η επιθυμητή ποσότητα, την απόσταση μεταξύ του τερματικού εισαγωγής και εξαγωγής και την ταχύτητα του πλοίου, ο ναυλωτής μπορεί να υπολογίσει τις μέρες που χρειάζεται να ναυλώσει το πλοίο. Η ναυτιλιακή από τη μεριά της, έχοντας διαθέσιμο το πλοίο την προκειμένη περίοδο, το δεσμεύει στον ναυλωτή, εφόσον η διάρκεια δέσμευσης ταιριάζει με το τακτικό της πλάνο τη συγκεκριμένη βδομάδα. Έτσι, για παράδειγμα, για το τακτικό πλάνο ενός πλοίου TFDE ανατολικά του Σουέζ η ναυτιλιακή θα πρέπει να βρει (βλ. Πίνακας 2. Τιμές ναύλων το 2019 για TFDE και 2-Stroke LNG πλοία):

- Ένα ναυλωτή που επιθυμεί την 1^η βδομάδα να δεσμεύσει ένα αντίστοιχο πλοίο για 26 βδομάδες.
- Ένα ναυλωτή που επιθυμεί την 27^η βδομάδα να δεσμεύσει ένα αντίστοιχο πλοίο για 1 βδομάδα.
- Ακολούθως για κάθε βδομάδα που έχει προγραμματίσει η ναυτιλιακή εταιρεία, έναν ναυλωτή που επιθυμεί να ναυλώσει ένα αντίστοιχο πλοίο για ίδια διάρκεια που επιθυμεί η ναυτιλιακή.

Στην παρούσα μελέτη, για να εξεταστεί η εφικτότητα του πλάνου της ναυτιλιακής εταιρείας, ως προς την διαθεσιμότητα ναυλωτών, επιλέχθηκαν ενδεικτικά ορισμένα τερματικά εισαγωγής και εξαγωγής. Οι χώρες των τερματικών που εξετάστηκαν είναι χώρες με μεγάλη δραστηριότητα στη spot αγορά, σύμφωνα με την αναφορά της GIIGNL για το 2019. Ο Πίνακας 4 αποτελεί μέρος του συνολικού πίνακα της GIIGNL και στον συγκεκριμένο φαίνονται οι εισαγωγείς της Ασίας.

Spot and short-term quantities* (in 10³T) received in 2019

Country	Algeria	Angola	Argentina	Australia	Brunei	Cameroon	Egypt	Equatorial Guinea	Indonesia	Malaysia	Nigeria
China	58	-	-	10,124	338	550	185	281	2,083	4,412	1,541
India	209	2,273	-	203	-	98	202	513	-	395	2,710
South Korea	-	-	-	2,831	198	-	113	77	473	2,652	360
Japan	-	-	-	3,580	467	-	62	-	626	853	618
Taiwan	-	-	-	2,178	-	-	57	71	234	2,479	142
Pakistan	273	-	-	-	-	-	639	216	-	64	904
Indonesia	-	-	-	66	-	-	-	-	1,768	-	-
Bangladesh	286	-	-	-	-	-	63	-	-	132	294
Thailand	-	72	-	340	-	-	62	-	144	128	-
Malaysia	-	-	-	112	138	-	-	77	-	61	62
Singapore	7	67	-	397	-	-	-	-	64	13	63
ASIA	833	2,412	-	19,830	1,141	648	1,384	1,234	5,392	11,189	6,693

Πίνακας 4. Ποσότητες LNG (σε χιλιάδες τόνους) στη spot αγορά το 2019 (Πηγή: GIIGNL)

Από τον Πίνακα της GIIGNL, προέκυψαν οι μέγιστες ποσότητες LNG που εμπορεύτηκαν όλοι οι εισαγωγείς με όλους τους εξαγωγείς και οι οποίες θα αποτελέσουν περιορισμούς στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης. Συγκεντρωτικά, οι ποσότητες (σε χιλιάδες τόνους) για τις χώρες που εξετάστηκαν, παρατίθενται στον Πίνακα 5.

Οι ποσότητες αυτές μπορούν να μεταφερθούν από πλοία ΥΦΑ πρόωσης TFDE ή ME-GI – XDF. Τα πρώτα είναι χωρητικότητας 160.000 κ.μ., ενώ τα δεύτερα 174.000 κ.μ. Θεωρήθηκε μέση χωρητικότητα και των δύο τύπων πλοίων (167.000 κ.μ.). Έτσι οι παραπάνω ποσότητες LNG μεταφράστηκαν σε αριθμό φορτίων που μπορούν να μεταφέρουν τα πλοία. Στον Πίνακα 5 φαίνεται το πλήθος φορτίων που μεταφέρθηκαν από χώρα σε χώρα. Οι ποσότητες κατά της μετατροπή τους σε φορτία στρογγυλοποιήθηκαν στους μεγαλύτερους ακεραίους.

Exporters Importers	Algeria		Australia		Brunei		Egypt		Guinea		Indonesia		Malaysia		Norway		Oman		Qatar		Russia		UAE	
	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes	Tons (x1000)	No. of cargoes
China	58	1	10124	143	338	5	185	3	1306	19	2083	30	4412	63	71	1	786	12	619	9	756	11	60	1
India	209	3	203	3	-	-	202	3	-	-	-	-	395	6	63	1	820	12	889	13	206	3	2508	36
S. Korea	-	-	2831	40	198	3	113	2	231	4	473	7	2652	38	-	-	128	2	1033	15	-	-	182	3
Japan	-	-	3580	51	467	7	62	1	200	3	626	9	853	12	-	-	508	8	128	2	-	-	594	9
Taiwan	-	-	2178	31	-	-	57	1	148	3	234	4	2479	35	-	-	129	2	60	1	-	-	61	1
Pakistan	273	4	-	-	-	-	639	9	-	-	-	-	64	1	-	-	281	4	745	11	-	-	400	6
Ban/esh	286	5	-	-	-	-	63	1	-	-	-	-	132	2	-	-	65	1	321	5	252	4	-	-
Spain	293	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	363	6	725	11	-	-
Netherlands	137	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	1	-	-	-	-	2517	36	-	-
UK	729	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127	2	-	-	95	2	904	13	-	-
Italy	762	11	-	-	-	-	306	5	-	-	-	-	-	-	124	2	-	-	126	2	61	1	-	-
France	127	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123	2	-	-	-	-	1294	19	-	-
Turkey	-	-	-	-	-	-	324	5	-	-	-	-	-	-	61	1	-	-	627	9	68	1	-	-
Greece	114	2	-	-	-	-	183	3	-	-	-	-	-	-	402	6	-	-	397	6	127	2	-	-
Mexico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brazil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	247	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Chile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UAE	-	-	-	-	-	-	62	1	-	-	-	-	-	-	-	-	62	1	-	-	132	2	-	-
Kuwait	69	1	-	-	-	-	62	1	-	-	-	-	-	-	-	-	527	8	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 5. Ποσότητες (τόνοι από GIIGNL, αριθμός φορτίων από συγγραφέα) ΥΦΑ που μεταφέρθηκαν στη spot αγορά το 2019 (Πηγή: Δεδομένα από GIIGNL, επεξεργασία από συγγραφέα)

Στην πρώτη στήλη βρίσκονται οι εισαγωγείς και στην πρώτη γραμμή οι εξαγωγείς. Οι εξαγωγείς ομαδοποιήθηκαν χρωματικά με βάση την τοποθεσία τους, με κριτήριο να απέχουν λιγότερο από 1.500 ναυτικά μίλια μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο, με το πέρας ενός ταξιδιού, το πλοίο δύναται να ξεκινήσει κατευθείαν το επόμενο ταξίδι από ένα από τα τερματικά εξαγωγής της ίδιας ομάδας. Έτσι, μόλις ολοκληρώσει το πλοίο ένα κυκλικό δρομολόγιο, είναι διαθέσιμο να ξεκινήσει την ακόλουθη βδομάδα ένα άλλο με αφετηρία ένα τερματικό εξαγωγής της ίδιας ομάδας. Έγινε επίσης η παραδοχή πως τα φορτία αυτά εφόσον υπάρχουν είναι διαθέσιμα κάθε βδομάδα του έτους. Σε κάθε ομάδα εξαγωγέων αντιστοιχεί ένα χρώμα και στο σύνολό τους έχουν δημιουργηθεί τέσσερις ομάδες: 2 ανατολικά και 2 δυτικά του Σουέζ.

Έγινε η παραδοχή, πως κάθε χώρα αντιπροσωπεύεται από το μεγαλύτερο τερματικό της και πως όλα τα φορτία που εμπορεύτηκε μια χώρα το 2019 έγιναν από το αντιπροσωπευτικό τερματικό της. Οι χωρητικότητες των τερματικών συγκρίθηκαν με βάση τα δεδομένα της IGU από την αναφορά της το 2020. Στον Πίνακα 6 φαίνονται οι εισαγωγείς-χώρες και τα μεγαλύτερα-αντιπροσωπευτικά τερματικά τους.

IMPORTERS	
China	Guangdong Dapeng
India	Dahej LNG
South Korea	Incheon
Japan	Sodagaura
Taiwan	Yung-An
Pakistan	Qasim Gasport
Bangladesh	Moheshkali
Spain	Barcelona
Netherlands	Gate LNG
UK	Grain LNG
Italy	Adriatic LNG
France	Dunkirk LNG
Turkey	Marmara Ereğlisi
Greece	Revithoussa
Mexico	Energia CostaAzul
Brazil	Pecem LNG
Chile	GNL Quintero
Argentina	GNL Escobar
UAE	Dubai Jebel Ali
Kuwait	Mina al Ahmadi

Πίνακας 6. Εισαγωγείς-Χώρες και Αντιπροσωπευτικά Τερματικά (Πηγή: IGU)

Στον Πίνακα 7 φαίνονται οι αντίστοιχες χώρες και τα τερματικά για τους εξαγωγείς.

EXPORTERS	
Algeria	Arzew GL2Z T1-T6
Australia	Gorgon LNG T1-2
Brunei	Brunei LNG T1-2

Egypt	Egyptian LNG Idku
Papua N.Guinea	PNG LNG
Indonesia	Bontang LNG
Malaysia	MLNG Satu
Norway	Snohvit LNG
Oman	Oman LNG T1-2
Qatar	Qatargas2T4-5
Russia	Bakarista LNG
UAE	ADGASLNGT1-2

Πίνακας 7 Εξαγωγείς-Χώρες και Αντιπροσωπευτικά Τερματικά. (Πηγή: IGU)

Γνωρίζοντας τις τοποθεσίες των τερματικών βρέθηκαν οι αποστάσεις όλων των συνδυασμών εισαγωγέων-εξαγωγέων μέσω της ιστοσελίδας <https://sea-distances.org/> . Στον Πίνακα 8 παρατίθενται οι αποστάσεις σε ναυτικά μίλια.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο χρόνος ταξιδιού μεταξύ των τερματικών. Θεωρήθηκε ως ονομαστική ταχύτητα οι 19.5 κόμβοι, ενώ επίσης έγινε η παραδοχή πως στο χρόνο κάθε ταξιδιού μιας κατεύθυνσης προστίθεται 1 επιπλέον ημέρα για την φόρτωση ή εκφόρτωση στο τερματικό. Στον Πίνακα 8 παρατίθενται τα αποτελέσματα σε βδομάδες.

Exporters Importers	Algeria		Australia		Brunei		Egypt		Guinea		Indonesia		Malaysia		Norway		Oman		Qatar		Russia		UAE	
	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks	nm	Weeks
China	8190	2.6	2761	1.0	1170	0.5	6599	2.2	3089	1.1	1638	0.6	1170	0.5	10998	3.5	4586	1.5	4961	1.7	11653	3.7	4961	1.7
India	4727	1.6	3697	1.3	3089	1.1	3182	1.1	5195	1.7	3463	1.2	2948	1.0	7535	2.4	842	0.4	1310	0.5	8237	2.7	1217	0.5
S.Korea	9220	3.0	3604	1.2	2012	0.8	7722	2.5	3604	1.2	2527	0.9	2012	0.8	12074	3.8	5663	1.9	6131	2.0	12683	4.0	6084	2.0
Japan	9594	3.1	3604	1.2	2340	0.9	8050	2.6	3416	1.2	2621	0.9	2387	0.9	12449	3.9	6037	2.0	6505	2.1	13057	4.1	6458	2.1
Taiwan	8284	2.7	2714	1.0	1170	0.5	6786	2.2	2855	1.0	1544	0.6	1498	0.6	11138	3.5	4727	1.6	5242	1.7	11794	3.7	5195	1.7
Pakistan	4540	1.5	4165	1.4	3557	1.2	3042	1.1	5616	1.9	3884	1.3	3416	1.2	7394	2.4	468	0.3	842	0.4	8050	2.6	796	0.4
Ba/desh	6365	2.1	3229	1.1	2246	0.8	4820	1.6	4446	1.5	2621	0.9	2106	0.8	9220	3.0	2855	1.0	3276	1.1	9875	3.2	3276	1.1
Spain	374.4	0.3	7769	2.5	7254	2.4	1451	0.6	9313	3.0	9079	2.9	7114	2.3	3089	1.1	4165	1.4	4633	1.6	3791	1.3	4586	1.5
Ne/ands	1638	0.6	9454	3.0	8939	2.9	3182	1.1	10998	3.5	10436	3.3	8845	2.8	1170	0.5	5850	1.9	6318	2.1	1966	0.7	6318	2.1
UK	1591	0.6	9360	3.0	8892	2.9	3089	1.1	10904	3.5	10343	3.3	8798	2.8	1170	0.5	5756	1.9	6271	2.1	1872	0.7	6178	2.0
Italy	1310	0.5	7348	2.4	6833	2.2	1076	0.5	8892	2.9	7207	2.3	6646	2.2	4165	1.4	3791	1.3	4259	1.4	4820	1.6	4306	1.5
France	1498	0.6	9360	3.0	8845	2.8	3042	1.1	10904	3.5	9173	2.9	8798	2.8	1357	0.6	5756	1.9	6224	2.0	2012	0.8	6131	2.0
Turkey	1404	0.6	6552	2.1	6084	2.0	374	0.3	8096	2.6	6365	2.1	5850	1.9	4259	1.4	2948	1.0	3416	1.2	4914	1.6	3370	1.2
Greece	1170	0.5	6786	2.2	6271	2.1	515	0.3	8284	2.7	6646	2.2	6131	2.0	4165	1.4	3182	1.1	3650	1.3	4774	1.6	3604	1.2
Mexico	7114	2.3	8096	2.6	7441	2.4	8705	2.8	6318	2.1	7441	2.4	7722	2.5	7956	2.6	11138	3.5	11560	3.7	8611	2.8	11513	3.7
Brazil	3276	1.1	8892	2.9	9641	3.1	4774	1.6	10624	3.4	10530	3.4	9454	3.0	5195	1.7	7535	2.4	8003	2.6	5803	1.9	7909	2.6
Chile	7254	2.4	8798	2.8	10015	3.2	8752	2.8	7394	2.4	10436	3.3	10296	3.3	8003	2.6	12402	3.9	12917	4.1	8658	2.8	12870	4.1
Arg/na	5476	1.8	8939	2.9	9641	3.1	7067	2.3	8424	2.7	9594	3.1	9500	3.0	7488	2.4	8096	2.6	8564	2.8	8190	2.6	8518	2.7
UAE	4540	1.5	4680	1.6	4025	1.4	3042	1.1	6178	2.0	4446	1.5	3978	1.4	7394	2.4	281	0.2	234	0.2	8050	2.6	0	0.1
Kuwait	4961	1.7	5101	1.7	4493	1.5	3416	1.2	6552	2.1	4820	1.6	4352	1.5	7769	2.5	702	0.4	328	0.2	8471	2.7	328	0.2

Πίνακας 8. Αποστάσεις Τερματικών σε ναυτικά μίλια (<https://sea-distances.org/>) και σε βδομάδες (Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα)

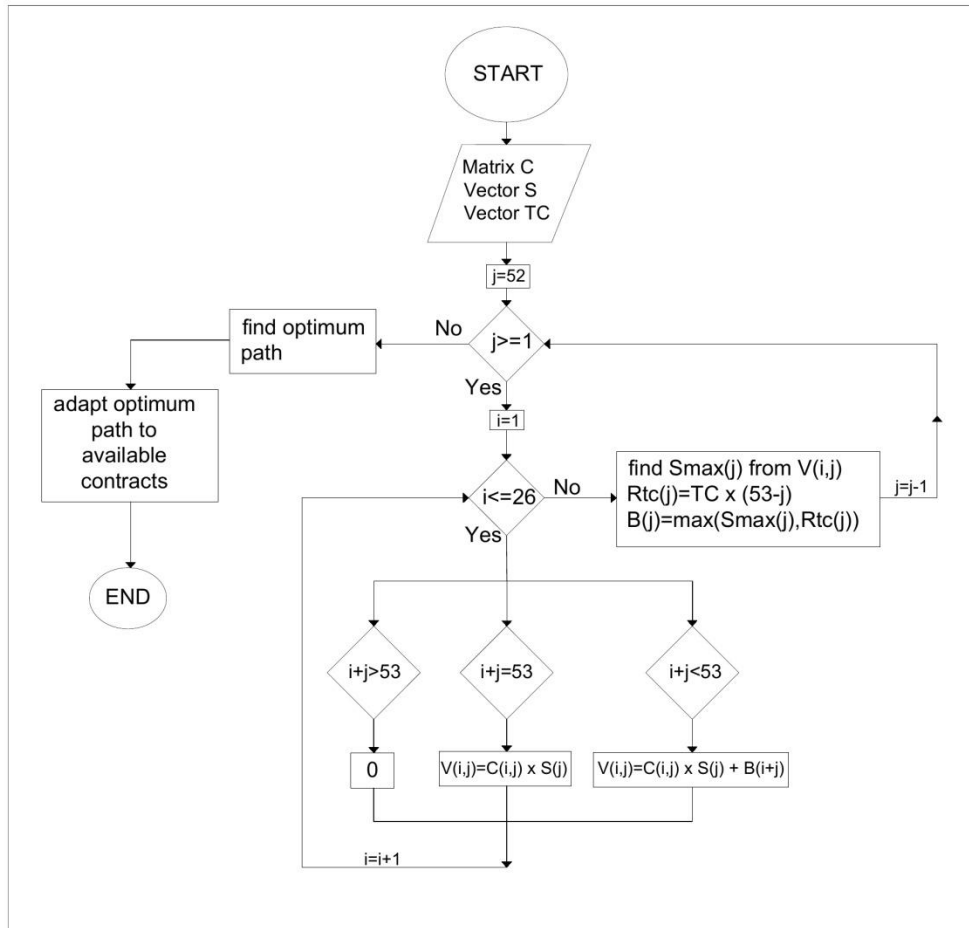
Γνωρίζοντας τη διάρκεια ενός ταξιδιού μιας κατεύθυνσης, υπολογίζονται στη συνέχεια η διάρκεια των εκάστοτε κυκλικών ταξιδιών (1,2,...,n). Για παράδειγμα, οι διάρκειες των ταξιδιών (σε εβδομάδες) για 3 κυκλικά ταξίδια φαίνονται στον Πίνακα 9. Οι υπόλοιποι Πίνακες κυκλικών ταξιδιών βρίσκονται στο Παράρτημα.

	Alg/a	Aust/a	Brunei	Egypt	Papua N.G.	Indo/a	Mal/a	Nor/y	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	16	6	3	13	7	4	3	21	10	10	23	10
India	10	8	7	7	11	8	7	15	3	4	16	4
S. Korea	18	8	5	15	8	6	5	23	12	13	25	12
Japan	19	8	6	16	8	6	6	24	12	13	25	13
Taiwan	17	6	3	14	7	4	4	22	10	11	23	11
Pakistan	10	9	8	7	12	8	8	15	2	3	16	3
Ba/desh	13	7	5	10	9	6	5	18	7	7	19	7
Spain	2	16	15	4	18	18	14	7	9	10	8	10
Ne/ands	4	19	18	7	21	20	18	3	12	13	5	13
UK	4	18	18	7	21	20	17	3	12	13	5	13
Italy	4	15	14	3	18	15	14	9	8	9	10	9
France	4	18	18	7	21	18	17	4	12	13	5	13
Turkey	4	13	12	2	16	13	12	9	7	8	10	8
Greece	3	14	13	2	17	14	13	9	7	8	10	8
Mexico	14	16	15	17	13	15	15	16	22	23	17	22
Brazil	7	18	19	10	21	21	19	11	15	16	12	16
Chile	15	17	20	17	15	20	20	16	24	25	17	25
Arg/na	11	18	19	14	17	19	19	15	16	17	16	17
UAE	10	10	9	7	13	9	9	15	2	2	16	1
Kuwait	10	11	10	8	13	10	9	16	3	2	17	2

Πίνακας 9. Διάρκεια (εβδομάδες) για 3 κυκλικά Ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα)

Με βάση αυτά τα δεδομένα, η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να αντιστοιχίσει το τακτικό πλάνο της για ένα πλοίο με διαθέσιμα συμβόλαια μεταξύ traders και να εξετάσει την εφικτότητα του πλάνου της.

Για το λόγο αυτό έγινε επέκταση του αλγορίθμου της προηγούμενης ενότητας, έτσι ώστε αφού η ναυτιλιακή εταιρεία βρει το βέλτιστο πλάνο για ένα διαθέσιμο πλοίο της, να βρει και τα συμβόλαια με τα οποία μπορεί να το δεσμεύσει. Σε περίπτωση περιορισμένης διαθεσιμότητας και αδυναμίας υλοποίησης τους βέλτιστου πλάνου, ο αλγόριθμος τροποποιεί και προσαρμόζει το τακτικό πλάνο με βάση τα διαθέσιμα συμβόλαια. Έτσι ως αποτέλεσμα, ο αλγόριθμος δίνει το τακτικό πλάνο του πλοίου (ποια εβδομάδα και για πόσες) και τα συμβόλαια που θα καλύψει (εισαγωγείς – εξαγωγείς, αριθμός ταξιδιών). Ποιοτικά στο Διάγραμμα 1 φαίνεται η επέκταση του αλγορίθμου. Συγκρίνοντάς τον με το Διάγραμμα 3, αφού βρεθεί το βέλτιστο πλάνο, γίνεται η προσαρμογή του στα διαθέσιμα συμβόλαια.



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα Ροής εκτεταμένου αλγορίθμου (Πηγή: Συγγραφέας)

Για την καλύτερη κατανόηση του προτεινόμενου αλγορίθμου, ακολουθούν παραδείγματα ναύλωσης πλοίων. Το 1^ο παράδειγμα αφορά την ναύλωση 4 πλοίων TFDE, όπου σε κάθε ομάδα εξαγωγέων δραστηριοποιείται ένα πλοίο, το 2^ο την ναύλωση 4 πλοίων 2-Stroke, όπου σε κάθε ομάδα εξαγωγέων δραστηριοποιείται ένα πλοίο και το 3^ο παράδειγμα έχει 4 περιπτώσεις, όπου κάθε περίπτωση αντιστοιχεί σε μία από τις τέσσερις ομάδες εξαγωγέων, στην οποία διατίθενται και τα τέσσερα πλοία. Και στα 3 παραδείγματα οι ομάδες εξαγωγέων είναι οι ακόλουθες:

- I. Αυστραλία – Μπρουνέι – Παπούα Νέα Γουινέα – Ινδονησία – Μαλαισία
- II. Ομάν – Κατάρ – Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα
- III. Αίγυπτος – Αλγερία
- IV. Ρωσία – Νορβηγία

Παραδοχές Μελέτης Περίπτωσης

Συνολικά όλες οι απλοποιήσεις και παραδοχές που αναφέρθηκαν, βρίσκονται παρακάτω:

- Κάθε πλοίο δραστηριοποιείται σε μία από τις δύο περιοχές τους Σουέζ, ως προς τους εξαγωγείς.

- Το μεγαλύτερης διάρκειας spot συμβόλαιο με το οποίο μπορεί να δεσμευτεί ένα πλοίο είναι είκοσι έξι (26) εβδομάδες.
- Κάθε χώρα, αντιστοιχεί σε μία θέση (του μεγαλύτερου τερματικού της) και αποτελεί ένα πιθανό ναυλωτή για τα πλοία της ναυτιλιακής εταιρείας.
- Οι ποσότητες που εμπορεύτηκαν στη spot αγορά μετατράπηκαν σε πλήθος φορτίων που δύναται να μεταφέρουν και τα δύο είδη πλοίων και στρογγυλοποιήθηκαν στον επόμενο ακέραιο.
- Τα φορτία στη spot αγορά, είναι διαθέσιμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Οι εξαγωγείς ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο την απόστασή τους. Έτσι με το πέρας ενός συμβολαίου το υπό μελέτη πλοίο μπορεί να ξεκινήσει το επόμενο συμβόλαιο χωρίς καθυστέρηση για την επόμενη βδομάδα.

Παράδειγμα 1^ο: 4 Πλοία TFDE

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς ανατολικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Αυστραλία – Μπρουνέι – Παπούα Νέα Γουινέα – Ινδονησία – Μαλαισία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας θα διαμορφωθεί σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Όπως έχει αναφερθεί, έχει γίνει η παραδοχή πως εφόσον υπάρχει διαθεσιμότητα (Πίνακας 5) τα φορτία είναι διαθέσιμα κάθε βδομάδα του αναφερόμενου έτους. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 10.

1 st ship TFDE EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Brunei-China	1
Week 28	1	1	Malaysia-China	1
Week 29	3	3	Australia-India	1
Week 32	1	1	Brunei-China	1
Week 33	1	1	Malaysia-China	1
Week 34	4	4	Brunei-S.Korea	2
Week 38	1	1	Malaysia-China	1
Week 39	1	1	Brunei-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	12	12	Australia-China	6
Revenue (in .000)	35.091	35.091		

USD)				
------	--	--	--	--

Πίνακας 10. Τακτικό Πλάνο πλοίου TFDE στην κίτρινη ομάδα εξαγωγέων (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στην πρώτη στήλη φαίνονται οι εβδομάδες. Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στη διάρκεια της ναύλωσης του τακτικού πλάνου. Η τρίτη στήλη αναφέρεται στη διάρκεια ναύλωσης του βέλτιστου τακτικού πλάνου. Στην τέταρτη στήλη αναφέρονται οι δύο traders (σαν χώρες), από τους οποίους ένας θα είναι ο ναυλωτής του πλοίου και τέλος, στην πέμπτη στήλη φαίνεται ο αριθμός των κυκλικών ταξιδιών που θα πραγματοποιηθούν, ο οποίος ταυτίζεται με τον αριθμό των φορτίων που θα μεταφερθούν.

Με βάση τα διαθέσιμα συμβόλαια και το βέλτιστο πλάνο ο αλγόριθμος καταλήγει σε ένα τακτικό πλάνο και στα συμβόλαια που μπορούν να το υλοποιήσουν. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το τακτικό πλάνο ταυτίζεται με το βέλτιστο. Τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$35.091.000, \$1.421.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη εβδομάδα. Η νέα διαθεσιμότητα φορτίων φαίνεται στον Πίνακας 11.

	Australia	Brunei	P.N.Guinea	Indonesia	Malaysia
China	130	2	19	30	59
India	2	0	0	0	6
South Korea	40	1	4	7	38
Japan	51	7	3	3	12
Taiwan	31	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 11. Διαθεσιμότητα Φορτίων μετά το πρώτο Πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το δεύτερο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς ανατολικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Ομάν – Κατάρ – Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το

βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 12.

2nd ship TFDE EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	UAE-Japan	6
Week 27	1	1	Oman-India	1
Week 28	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 29	3	3	Oman-Bangladesh	1
Week 32	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 33	1	1	Oman-India	1
Week 34	4	4	Qatar-China	1
Week 38	1	1	Oman-India	1
Week 39	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 40	1	1	Oman-India	1
Week 41	12	12	UAE-S.Korea	3
Revenue (in .000 USD)	35.091	35.091		

Πίνακας 12. Τακτικό Πλάνο για TFDE στην κόκκινη ομάδα εξαγωγέων (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στην συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$35.091.000) και είναι κατά \$1.421.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 13.

	Oman	Qatar	UAE
China	12	8	1
India	8	13	36
South Korea	2	15	0
Japan	8	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	4	8	6
Bangladesh	0	5	0
Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0

Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0
Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 13. Διαθεσιμότητα μετά το δεύτερο Πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το τρίτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγές δυτικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγών Αίγυπτος – Αλγερία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγών και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 14.

3rd ship TFDE WEST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	21	26	Algeria-Bangladesh	5
Week 22	11	-	Egypt-Pakistan	5
Week 27	-	1	-	-
Week 28	-	1	-	-
Week 29	-	3	-	-
Week 32	-	1	-	-
Week 33	5	5	Algeria-Italy	4
Week 38	1	1	Egypt-Turkey	1
Week 39	1	1	Algeria-Spain	1
Week 40	1	1	Egypt-Italy	1
Week 41	12	12	Algeria-UK	9
Revenue (in .000 USD)	34.867	35.756		

Πίνακας 14. Τακτικό Πλάνο για τρίτο TFDE πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Συγκρίνοντας τα προηγούμενα αποτελέσματα με το βέλτιστο τακτικό πλάνο της ναυτιλιακής εταιρείας, οι διαφορές στις βδομάδες δέσμευσης οφείλονται στη διαθεσιμότητα (Πίνακας 5). Από τους πίνακες κυκλικών ταξιδιών (βλ. Παράρτημα) δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη επιλογή που να διαρκεί 26 εβδομάδες, έτσι η ναυτιλιακή επιλέγει κατάλληλα το πλάνο για το συγκεκριμένο πλοίο της και εξετάζει αν την συμφέρει ή όχι να αφήσει το πλοίο της στη spot αγορά για τη συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγών. Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα

\$34.867.000, \$1.197.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοαύλωση την πρώτη βδομάδα και \$889.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο του.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγών φαίνεται στον Πίνακα 15.

	Algeria	Egypt
China	1	3
India	3	3
South Korea	0	2
Japan	0	1
Taiwan	0	1
Pakistan	4	4
Bangladesh	0	1
Spain	4	0
Netherlands	2	0
UK	2	0
Italy	7	4
France	2	0
Turkey	0	4
Greece	2	3
Mexico	0	0
Brazil	0	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	1
Kuwait	1	1

Πίνακας 15. Διαθεσιμότητα μετά το τρίτο Πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει τέλος το ενδεχόμενο να διαθέσει και το τέταρτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς δυτικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγών Ρωσία – Νορβηγία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγών και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 16.

4 th ship TFDE WEST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
week 1	26	26	Russia-Bangladesh	4
week 27	1	1	Norway-Netherlands	1
week 28	1	1	Norway-UK	1
week 29	3	3	Russia-Spain	1
week 32	1	1	Norway-UK	1
week 33	5	5	Russia-Netherlands	3
week 38	2	1	Norway-France	1

week 39	-	1	-	-
week 40	2	1	Russia-Netherlands	1
week 41	-	12	-	-
week 42	11	-	Norway-Brazil	3
Revenue (in .000 USD)	34.426	35.756		

Πίνακας 16. Τακτικό Πλάνο για τέταρτο TFDE πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με το βέλτιστο τακτικό πλάνο οι διαφορές στις βδομάδες δέσμευσης οφείλονται στη διαθεσιμότητα (Πίνακας 4). Λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας συμβολαίων που διαρκούν 1 βδομάδα γίνονται οι κατάλληλες τροποποιήσεις για το συγκεκριμένο πλοίο της και η ναυτιλιακή εξετάζει αν την συμφέρει ή όχι να αφήσει το πλοίο της στη spot αγορά για τη συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων. Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$34.426.000, \$756.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$1.330.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο του.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακας 17.

	Norway	Russia
China	1	11
India	1	3
South Korea	0	0
Japan	0	0
Taiwan	0	0
Pakistan	0	0
Bangladesh	0	0
Spain	0	10
Netherlands	0	32
UK	0	13
Italy	2	1
France	1	19
Turkey	1	1
Greece	6	2
Mexico	0	0
Brazil	1	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	2
Kuwait	0	0

Πίνακας 17. Διαθεσιμότητα μετά το τέταρτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Τα συνολικά έσοδα από τα 4 πλοία ανέρχονται στα \$139.475.000 και είναι κατά \$4.795.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή ναύλωνε για ένα χρόνο και τα 4 πλοία της. Δύο από τα 4 πλοία δύναται να ακολουθήσουν το βέλτιστο πλάνο. Και τα δύο δραστηριοποιούνται στις δύο ομάδες εξαγωγέων ανατολικά της διώρυγας του Σουέζ.

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue -1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	35.091	35.091	33.670
2nd ship	35.091	35.091	33.670
3rd ship	34.867	35.756	33.670
4th ship	34.426	35.756	33.670
Total	139.475	141.694	134.680

Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Πρώτου Παραδείγματος (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Παράδειγμα 2^ο: 4 Πλοία 2-Stroke

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς ανατολικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Αυστραλία – Μπρουνέι – Παπούα Νέα Γουινέα – Ινδονησία – Μαλαισία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 19.

1st ship 2stroke EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Brunei-China	1
Week 28	2	2	Indonesia-S.Korea	1
Week 30	3	3	P.N.Guinea-China	1
Week 33	2	2	Brunei-S.Korea	1
Week 35	4	4	Australia-China	2
Week 39	1	1	Brunei-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	1	1	Brunei-China	1
Week 42	11	11	Malaysia-India	5
Revenue (in .000 USD)	41.167	41.167		

Πίνακας 19. Τακτικό Πλάνο για πρώτο 2-stroke πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Με βάση τα διαθέσιμα συμβόλαια και το βέλτιστο πλάνο ο αλγόριθμος καταλήγει σε ένα τακτικό πλάνο και στα συμβόλαια που μπορούν να το υλοποιήσουν. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το τακτικό πλάνο ταυτίζεται με το βέλτιστο. Τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$41.167.000, \$1.673.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 20.

	Australia	Brunei	P.N.Guinea	Indonesia	Malaysia
China	128	2	18	30	62
India	3	0	0	0	1
South Korea	40	2	4	6	38
Japan	51	7	3	9	12
Taiwan	31	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 20. Διαθεσιμότητα μετά το πρώτο Πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το δεύτερο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς ανατολικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Ομάν – Κατάρ – Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 21.

2nd ship 2stroke EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charter party-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	UAE-Japan	6
Week 27	1	1	Oman-India	1
Week 28	2	2	Qatar-Pakistan	2
Week 30	3	3	Oman-Bangladesh	1
Week 33	2	2	Qatar-India	1
Week 35	4	4	Oman-China	1
Week 39	1	1	Oman-India	1
Week 40	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 41	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 42	11	11	UAE-India	10
Revenue	41.167	41.167		

(in .000 USD)				
------------------	--	--	--	--

Πίνακας 21. Τακτικό Πλάνο για δεύτερο 2-stroke πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στην συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$41.167.000) και είναι κατά \$1.673.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακας 22.

	Oman	Qatar	UAE
China	11	9	1
India	10	12	26
S.Korea	2	15	3
Japan	8	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	4	7	6
Bangladesh	0	5	0
Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0
Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0
Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 22. Διαθεσιμότητα μετά το δεύτερο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το τρίτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς δυτικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Αίγυπτος – Αλγερία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 23.

	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	21	26	Algeria-Bangladesh	5
Week 22	11	-	Egypt-Pakistan	5
Week 27	-	1	-	1
Week 28	-	4	-	1
Week 32	-	1	-	1
Week 33	2	2	Algeria-Netherlands	1
Week 35	5	5	Egypt-China	2
Week 40	1	1	Algeria-Spain	1
Week 41	12	12	Algeria-UK	9
Revenue (in .000 USD)	40.726	41.573		

Πίνακας 23. Τακτικό Πλάνο για τρίτο 2-stroke πλοίο

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με το βέλτιστο τακτικό πλάνο οι διαφορές στις βδομάδες δέσμευσης οφείλονται στη διαθεσιμότητα (Πίνακας 4). Από τους πίνακες κυκλικών ταξιδιών δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη επιλογή που να διαρκεί 26 εβδομάδες, έτσι η ναυτιλιακή επιλέγει κατάλληλα το πλάνο για το συγκεκριμένο πλοίο της και εξετάζει αν είναι ωφέλιμο οικονομικά ή όχι να αφήσει το πλοίο της στη spot αγορά για τη συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων. Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$40.726.000, \$1.232.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$847.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 24.

	Algeria	Egypt
China	1	2
India	3	3
S. Korea	0	2
Japan	0	1
Taiwan	0	1
Pakistan	4	4
Bangladesh	0	1
Spain	4	0
Netherlands	1	0
UK	2	0
Italy	11	5
France	2	0
Turkey	0	5
Greece	2	3
Mexico	0	0
Brazil	0	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	1
Kuwait	1	1

Πίνακας 24. Διαθεσιμότητα μετά το τρίτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει και το τέταρτο πλοίο της στη spot αγορά. Επιλέγει να το δραστηριοποιήσει σε εξαγωγείς δυτικά του Σουέζ και συγκεκριμένα στην ομάδα εξαγωγέων Ρωσία – Νορβηγία. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 25.

4th ship 2stroke WEST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
week 1	26	26	Russia-Bangladesh	4
week 27	1	1	Norway-Netherlands	1
week 28	4	4	Russia-Italy	1
week 32	1	1	Norway-UK	1
week 33	2	2	Russia-Netherlands	1
week 35	5	5	Norway-India	1
week 40	1	1	Norway-UK	1
week 41	12	12	Russia-Netherlands	8
Revenue (in .000 USD)	41.573	41.573		

Πίνακας 25. Τακτικό Πλάνο τέταρτου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στην συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$41.573.000) και είναι κατά \$2.079.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 26.

	Norway	Russia
China	1	11
India	0	3
S.Korea	0	0
Japan	0	0
Taiwan	0	0
Pakistan	0	0
Bangladesh	0	0
Spain	0	11
Netherlands	0	27
UK	0	13
Italy	2	0
France	2	19

Turkey	1	1
Greece	6	2
Mexico	0	0
Brazil	4	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	2
Kuwait	0	0

Πίνακας 26. Διαθεσιμότητα μετά το τέταρτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Τα συνολικά έσοδα από τα 4 πλοία ανέρχονται στα \$164.108.000 και είναι κατά \$6.132.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή ναύλωνε για ένα χρόνο και τα 4 πλοία της. Δύο από τα τέσσερα πλοία μπορούν να ακολουθήσουν το βέλτιστο τακτικό πλάνο για την περιοχή τους (κόκκινη ομάδα, μπλε ομάδα).

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue -1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	41.167	41.167	39.494
2nd ship	41.167	41.167	39.494
3rd ship	40.726	41.573	39.494
4th ship	41.573	41.573	39.494
Total	164.633	165.480	157.976

Πίνακας 27. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για Παράδειγμα 2 (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Παράδειγμα 3^ο: 2 Πλοία 2-Stroke και 2 Πλοία TFDE σε μία ομάδα εξαγωγέων

Περίπτωση 1^η: Η ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει να δραστηριοποιήσει και τα τέσσερα πλοία της στην κίτρινη ομάδα εξαγωγέων (Αυστραλία – Μπρουνέι – Παπούα Νέα Γουινέα- Ινδονησία – Μαλαισία). Πρώτα προγραμματίζει τα πλάνα για τα 2-stroke πλοία της και έπειτα για τα TFDE. Εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο 2-stroke πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 28.

1 st ship (2-stroke) EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Brunei-China	1
Week 28	2	2	Indonesia-S.Korea	1
Week 30	3	3	P.N.Guinea-China	1

Week 33	2	2	Brunei-S.Korea	1
Week 35	4	4	Australia-China	2
Week 39	1	1	Brunei-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	1	1	Brunei-China	1
Week 42	11	11	Malaysia-India	5
Revenue (in .000 USD)	41.167	41.167		

Πίνακας 28. Τακτικό Πλάνο πρώτου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στην συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$41.167.000) και είναι κατά \$1.673.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακας 29.

	Australia	Brunei	Guinea	Indonesia	Malaysia
China	128	2	18	30	62
India	3	0	0	0	1
S.Korea	40	2	4	6	38
Japan	51	7	3	9	12
Taiwan	31	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 29. Διαθεσιμότητα μετά το πρώτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στη συνέχεια η ναυτιλιακή εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το δεύτερο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 29) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 30.

2nd ship (2-stroke) EAST

	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Brunei-China	1
Week 28	2	2	Indonesia-S.Korea	1
Week 30	3	3	Brunei-S.Korea	1
Week 33	2	2	Australia-China	1
Week 35	4	4	Australia-China	2
Week 39	1	1	Brunei-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	1	1	Malaysia-China	1
Week 42	11	11	Brunei-Japan	6
Revenue (in .000 USD)	41.167	41.167		

Πίνακας 30. Τακτικό Πλάνο δεύτερου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Το τακτικό πλάνο από τη μεριά των εβδομάδων παρέμεινε ίδιο, ενώ άλλαξαν οι traders. Το τακτικό πλάνο είναι επίσης βέλτιστο και τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$41.167.000, \$1.673.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονονάυλωση την πρώτη εβδομάδα.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 31.

	Australia	Brunei	Guinea	Indonesia	Malaysia
China	113	0	17	30	60
India	3	0	0	0	1
S. Korea	40	1	4	5	38
Japan	51	1	3	9	12
Taiwan	31	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 31. Διαθεσιμότητα μετά το δεύτερο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Έπειτα, η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 31) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 32.

3 rd ship (TFDE) EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Malaysia-China	1
Week 28	1	1	Malaysia-China	1
Week 29	3	3	Australia-India	1
Week 32	1	1	Malaysia-China	1
Week 33	1	1	Malaysia-China	1
Week 35	4	4	Indonesia-S.Korea	2
Week 39	1	1	Malaysia-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	1	1	Malaysia-China	1
Week 42	12	12	Japan-Indonesia	6
Revenue (in .000 USD)	35.091	35.091		

Πίνακας 32. Τακτικό Πλάνο πρώτου TFDE πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$35.091.000) και είναι κατά \$1.421.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της. Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 33.

	Australia	Brunei	Guinea	Indonesia	Malaysia
China	100	0	17	30	53
India	2	0	0	0	1
S. Korea	40	1	4	3	38
Japan	51	1	3	3	12
Taiwan	31	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0

Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 33. Διαθεσιμότητα μετά το τρίτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Τέλος η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει και το δεύτερο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 33) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 34.

4 th ship (TFDE) EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	Australia-China	13
Week 27	1	1	Malaysia-China	1
Week 28	1	1	Malaysia-China	1
Week 29	3	3	Australia-India	1
Week 32	1	1	Malaysia-China	1
Week 33	1	1	Malaysia-China	1
Week 35	4	4	Indonesia-S.Korea	2
Week 39	1	1	Malaysia-China	1
Week 40	1	1	Malaysia-China	1
Week 41	1	1	Malaysia-China	1
Week 42	12	12	Australia-Taiwan	6
Revenue (in .000 USD)	35.091	35.091		

Πίνακας 34. Τακτικό Πλάνο δεύτερου 2-stroke πλοίου

Η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$35.091.000) και είναι κατά \$1.421.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η τελική διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 35.

	Australia	Brunei	Guinea	Indonesia	Malaysia
China	87	0	17	30	46
India	1	0	0	0	1
S.Korea	40	1	4	1	38
Japan	51	1	3	3	12
Taiwan	25	0	3	4	35
Pakistan	0	0	0	0	1
Bangladesh	0	0	0	0	2
Spain	0	0	0	0	0

Netherlands	0	0	0	0	0
UK	0	0	0	0	0
Italy	0	0	0	0	0
France	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0
Brazil	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0
Argentina	0	0	0	0	0
UAE	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0

Πίνακας 35. Διαθεσιμότητα μετά το τέταρτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Με αυτά τα τέσσερα τακτικά πλάνα τα συνολικά έσοδα της ναυτιλιακής εταιρείας ανέρχονται στα \$152.516.000 και είναι κατά \$6.188.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή ναύλωνε για ένα χρόνο και τα 4 πλοία της. Και τα τέσσερα πλοία ακολούθησαν το βέλτιστο πλάνο. Σημαντικός παράγοντας στην επίτευξη και των τεσσάρων βέλτιστων πλάνων ήταν η μεγάλη διαθεσιμότητα σε ‘δυσεύρετα’ συμβόλαια, τα οποία είναι είτε πολύ μεγάλης διάρκειας (26 εβδομάδων, Αυστραλία-Κίνα, 13 ταξίδια), είτε πολύ μικρής (1 εβδομάδας, Μπρουνέι-Κίνα, Μαλαισία-Κίνα).

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue - 1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	41.167	41.167	39.494
2nd ship	41.167	41.167	39.494
3rd ship	35.091	35.091	33.670
4th ship	35.091	35.091	33.670
Total	152.516	152.516	146.328

Πίνακας 36. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για 1^η Περίπτωση

Περίπτωση 2^η: Η ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει να δραστηριοποιήσει και τα τέσσερα πλοία της στην κόκκινη ομάδα εξαγωγέων (Ομάν – Κατάρ – Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα). Πρώτα προγραμματίζει τα πλάνα για τα 2-stroke πλοία της και έπειτα για τα TFDE. Εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο 2-stroke πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 37.

1 st ship 2-stroke EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	26	26	UAE-Japan	6
Week 27	1	1	Oman-India	1

Week 28	2	2	Qatar-Pakistan	2
Week 30	3	3	Oman-Bangladesh	1
Week 33	2	2	Qatar-India	1
Week 35	4	4	Oman-China	1
Week 39	1	1	Oman-India	1
Week 40	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 41	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 42	11	11	UAE-India	10
Revenue (in .000 USD)	41.167	41.167		

Πίνακας 37. Τακτικό Πλάνο πρώτου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία όπως φαίνεται στον Πίνακας 37 μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$41.167.000) και είναι κατά \$1.673.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακας 38.

	Oman	Qatar	UAE
China	11	9	1
India	10	12	26
S.Korea	2	15	3
Japan	8	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	4	7	6
Bangladesh	0	5	0
Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0
Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0
Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 38. Διαθεσιμότητα μετά το πρώτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στη συνέχεια η ναυτιλιακή εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το δεύτερο 2-stroke πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 38) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακας 39.

2 nd ship 2-stroke EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	25	26	Qatar-S.Korea	6
Week 26	1	-	Oman-India	1
Week 27	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 28	2	2	UAE-India	1
Week 30	3	3	Qatar-Bangladesh	1
Week 33	2	2	UAE-India	1
Week 35	4	4	Oman-China	1
Week 39	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 40	1	1	Oman-India	1
Week 41	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 42	11	11	UAE-India	10
Revenue (in .000 USD)	40.642	41.167		

Πίνακας 39. Τακτικό Πλάνο δεύτερου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$40.642.000, \$1.148.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$525.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 40.

	Oman	Qatar	UAE
China	10	9	1
India	8	12	14
S.Korea	2	9	3
Japan	8	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	4	4	6
Bangladesh	0	4	0
Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0
Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0
Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 40. Διαθεσιμότητα μετά το δεύτερο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Έπειτα η ναυτιλιακή εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 40) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 41.

3 rd ship (TFDE) EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charter party-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	25	26	Qatar-S.Korea	6
Week 26	2	-	UAE-India	1
Week 27	-	1	-	-
Week 28	1	1	Oman-Pakistan	1
Week 29	3	3	Qatar-Bangladesh	1
Week 32	1	1	Oman-India	1
Week 33	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 35	4	4	Oman-China	1
Week 39	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 40	1	1	Oman-India	1
Week 41	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 42	12	12	UAE-S.Korea	3
Revenue (in .000 USD)	34.587	35.091		

Πίνακας 41. Τακτικό Πλάνο πρώτου TFDE πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$34.587.000, \$917.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$504.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 42.

	Oman	Qatar	UAE
China	9	9	1
India	6	12	13
S. Korea	2	3	0
Japan	8	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	3	1	6
Bangladesh	0	3	0
Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0
Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0

Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 42. Διαθεσιμότητα μετά το τρίτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Τέλος η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει και το δεύτερο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 42) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 43.

4 th ship (TFDE) EAST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charter party-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	25	26	Oman-China	6
Week 26	2	-	Qatar-India	1
Week 27	-	1	-	-
Week 28	1	1	Oman-Pakistan	1
Week 29	3	3	Qatar-Bangladesh	1
Week 32	1	1	Oman-India	1
Week 33	1	1	Qatar-Pakistan	1
Week 35	4	4	Oman-China	1
Week 39	1	1	UAE-Pakistan	1
Week 40	1	1	Oman-India	1
Week 41	1	1	UAE-Pakistan	1
Week 42	12	12	Oman-Japan	3
Revenue (in .000 USD)	34.587	35.091		

Πίνακας 43. Τακτικό Πλάνο δεύτερου TFDE πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$34.587.000, \$917.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$504.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο.

Η τελική διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 44.

	Oman	Qatar	UAE
China	0	9	1
India	4	11	13
S.Korea	2	3	0
Japan	5	2	3
Taiwan	2	1	1
Pakistan	2	0	4
Bangladesh	0	2	0

Spain	0	6	0
Netherlands	0	0	0
UK	0	2	0
Italy	0	2	0
France	0	0	0
Turkey	0	9	0
Greece	0	6	0
Mexico	0	0	0
Brazil	0	0	0
Chile	0	0	0
Argentina	0	0	0
UAE	1	0	0
Kuwait	8	0	0

Πίνακας 44. Διαθεσιμότητα μετά το τέταρτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Με αυτά τα τέσσερα τακτικά πλάνα τα συνολικά έσοδα της ναυτιλιακής εταιρείας ανέρχονται στα \$150.983.000 και είναι κατά \$4.655.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή ναύλωνε για ένα χρόνο και τα 4 πλοία της και \$1.533.000 λιγότερα από την περίπτωση που και τα τέσσερα τακτικά πλάνα ήταν τα βέλτιστα.. Το ένα από τα δύο 2-stroke πλοία ακολούθησε το βέλτιστο πλάνο.

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue - 1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	41.167	41.167	39.494
2nd ship	40.642	41.167	39.494
3rd ship	34.587	35.091	33.670
4th ship	34.587	35.091	33.670
Total	150.983	152.516	146.328

Πίνακας 45. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για 2^η Περίπτωση (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Περίπτωση 3^η: Η ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει να δραστηριοποιήσει και τα τέσσερα πλοία της στην πράσινη ομάδα εξαγωγών (Αλγερία – Αίγυπτος). Λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να διαθέσει μόνο ένα από τα πλοία εξολοκλήρου στη spot αγορά. Οι άλλες επιλογές είναι η ετήσια χρονονάυλωση και ο συνδυασμός spot συμβολαίων και χρονονάυλωσης. Για να εκμεταλλευτεί την περιορισμένη διαθεσιμότητα η ναυτιλιακή αποφασίζει να διαθέσει ένα πλοίο 2-stroke αποκλειστικά στη spot αγορά και εξετάζει τις εναλλακτικές για τα υπόλοιπα. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγών και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 46.

1st ship 2STROKE WEST

	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
Week 1	21	26	Algeria-Bangladesh	5
Week 22	11	-	Egypt-Pakistan	5
Week 27	-	1	-	-
Week 28	-	4	-	-
Week 32	-	1	-	-
Week 33	2	2	Algeria-Netherlands	1
Week 35	5	5	Egypt-China	1
Week 40	1	1	Algeria-Spain	1
Week 41	12	12	Algeria-UK	9
Revenue (in .000 USD)	40.726	41.573		

Πίνακας 46. Τακτικό Πλάνο πρώτου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με το βέλτιστο τακτικό πλάνο οι διαφορές στις βδομάδες δέσμευσης οφείλονται στη διαθεσιμότητα (Πίνακας 5). Από τους πίνακες κυκλικών ταξιδιών δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη επιλογή που να διαρκεί 26 εβδομάδες, έτσι η ναυτιλιακή επιλέγει κατάλληλα το πλάνο για το συγκεκριμένο πλοίο της και εξετάζει αν την συμφέρει ή όχι να αφήσει το πλοίο της στη spot αγορά για τη συγκεκριμένη ομάδα εξαγωγέων. Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$40.726.000, \$1.232.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονοναύλωση την πρώτη βδομάδα και \$847.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο.

Η τελική διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 47.

	Algeria	Egypt
China	1	2
India	3	3
S. Korea	0	2
Japan	0	1
Taiwan	0	1
Pakistan	4	4
Bangladesh	0	1
Spain	4	0
Netherlands	1	0
UK	2	0
Italy	11	5
France	2	0
Turkey	0	5
Greece	2	3
Mexico	0	0
Brazil	0	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	1
Kuwait	1	1

Πίνακας 47. Διαθεσιμότητα μετά το πρώτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Έπειτα η ναυτιλιακή εξετάζει τις επιλογές της για το δεύτερο 2-stroke πλοίο της. Λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας στα συμβόλαια πολλών βδομάδων η ναυτιλιακή μπορεί να χρονοναυλώσει για ένα χρόνο το πλοίο της από την αρχή, η να κλείσει κάποια συμβόλαια στην spot αγορά και έπειτα να το χρονοναυλώσει. Συγκρίνοντας τις επιλογές προκύπτει ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι η ετήσια χρονοναύλωση από την πρώτη βδομάδα.

Ακολούθως η ναυτιλιακή εταιρεία εξετάζει και συγκρίνει τις επιλογές της για τα δύο TFDE πλοία της, δεδομένου ότι λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας δεν μπορεί να διαθέσει ένα πλοίο αποκλειστικά στη spot αγορά . Οι επιλογές της είναι να διαθέσει εν μέρει τα πλοία της στη spot αγορά και μετά να τα χρονοναυλώσει ή να τα χρονοναυλώσει από την πρώτη βδομάδα. Συγκρίνοντας τις επιλογές προκύπτει ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι η ετήσια χρονοναύλωση από την πρώτη βδομάδα.

Επομένως στην προκειμένη ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να δραστηριοποιήσει αποκλειστικά στη spot αγορά μόνο ένα πλοίο. Τα συνολικά έσοδα ανέρχονται στα \$147.560.000, \$1.232.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναύλωνε και τα τέσσερα πλοία της από την πρώτη βδομάδα για διάρκεια μεγαλύτερη του έτους και \$7.098.000 λιγότερα από την περίπτωση που και τα τέσσερα πλοία της ακολουθούν τα αντίστοιχα βέλτιστα πλάνα.

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue - 1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	40.726	41.573	39.494
2nd ship	39.494	41.573	39.494
3rd ship	33.670	35.756	33.670
4th ship	33.670	35.756	33.670
Total	147.560	154.658	146.328

Πίνακας 48. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για 3η Περίπτωση (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Περίπτωση 4^η: Η ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει να δραστηριοποιήσει και τα τέσσερα πλοία της στην μπλε ομάδα εξαγωγέων (Ρωσία – Νορβηγία). Στην παρούσα ομάδα εξαγωγέων υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα στα κυκλικά ταξίδια που διαρκούν μία βδομάδα (3). Εφόσον σε όλα τα βέλτιστα πλάνα δυτικά του Σουέζ (TFDE, 2-stroke) υπάρχουν ταξίδια μίας βδομάδας, η ναυτιλιακή εταιρεία επιλέγει να τα διαθέσει σε ένα πλοίο 2-stroke. Οι άλλες επιλογές είναι ένα τροποποιημένο πλάνο στη spot αγορά όπου δεν είναι βέλτιστο, η ετήσια χρονοναύλωση και ο συνδυασμός spot συμβολαίων και χρονοναύλωσης. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 49.

1st ship 2stroke WEST

	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
week 1	26	26	Russia-Bangladesh	4
week 27	1	1	Norway-Netherlands	1
week 28	4	4	Russia-Italy	1
week 32	1	1	Norway-UK	1
week 33	2	2	Russia-Netherlands	1
week 35	5	5	Norway-India	1
week 40	1	1	Norway-UK	1
week 41	12	12	Russia-Netherlands	8
Revenue (in .000 USD)	41.573	41.573		

Πίνακας 49. Τακτικό Πλάνο πρώτου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να βρει συμβόλαια που ταιριάζουν απόλυτα με το βέλτιστο τακτικό της πλάνο. Έτσι τα έσοδα στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσα με τα έσοδα του βέλτιστου πλάνου (\$41.573.000) και είναι κατά \$2.079.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναυλώνει για ένα έτος το πλοίο της.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 50.

	Norway	Russia
China	1	11
India	0	3
S.Korea	0	0
Japan	0	0
Taiwan	0	0
Pakistan	0	0
Bangladesh	0	0
Spain	0	11
Netherlands	0	27
UK	0	13
Italy	2	0
France	2	19
Turkey	1	1
Greece	6	2
Mexico	0	0
Brazil	4	0
Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	2
Kuwait	0	0

Πίνακας 50. Διαθεσιμότητα μετά το πρώτο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Στη συνέχεια η ναυτιλιακή εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το δεύτερο 2-stroke πλοίο της στη spot αγορά. Καθώς τα συμβόλαια μίας εβδομάδας τελείωσαν (Νορβηγία-Ολλανδία, Νορβηγία-

Ηνωμένο Βασίλειο) η ναυτιλιακή εξετάζει κάποια τροποποίηση του βέλτιστου πλάνου. Το τελικό τακτικό πλάνο της εταιρείας διαμορφώνεται σύμφωνα με τα διαθέσιμα φορτία της συγκεκριμένης ομάδας εξαγωγέων (Πίνακας 50) και το βέλτιστο τακτικό πλάνο της εταιρείας. Ναυλωτής του πλοίου μπορεί να είναι είτε ο εξαγωγέας είτε ο εισαγωγέας σε κάθε συμβόλαιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 51.

2 nd ship 2stroke WEST				
	Tactical Plan	Optimal plan	Charterparty-route	No. of Cargoes (cycl. Voyages)
week 1	26	26	Russia-Spain	10
week 27	2	1	Norway-France	1
week 28	-	4	-	1
week 29	2	-	Russia-Netherlands	-
week 31	2	-	Norway-France	-
week 32	-	1	-	1
week 33	2	2	Russia-Netherlands	1
week 35	5	5	Russia-UK	3
week 40	2	1	Russia-Netherlands	1
week 41	-	12	-	-
week 42	11	-	Norway-Brazil	3
Revenue (in .000 USD)	40.460	41.573		

Πίνακας 51. Τακτικό Πλάνο δεύτερου 2-stroke πλοίου (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Σύμφωνα με αυτό το τακτικό πλάνο τα έσοδα ναύλωσης ανέρχονται στα \$40.460.000, \$966.000 περισσότερα από το να κλείσει η ναυτιλιακή το πλοίο της σε μία ετήσια χρονονάυλωση την πρώτη βδομάδα και \$1.113.000 λιγότερα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο που ακολούθησε το πρώτο πλοίο.

Η νέα διαθεσιμότητα για αυτή την ομάδα εξαγωγέων φαίνεται στον Πίνακα 52.

	Norway	Russia
China	1	11
India	0	3
S. Korea	0	0
Japan	0	0
Taiwan	0	0
Pakistan	0	0
Bangladesh	0	0
Spain	0	1
Netherlands	0	24
UK	0	10
Italy	2	0
France	0	19
Turkey	1	1
Greece	6	2
Mexico	0	0
Brazil	1	0

Chile	0	0
Argentina	0	0
UAE	0	2
Kuwait	0	0

Πίνακας 52. Διαθεσιμότητα μετά το δεύτερο πλοίο (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Έπειτα η ναυτιλιακή εξετάζει το ενδεχόμενο να διαθέσει το πρώτο TFDE πλοίο της στη spot αγορά. Καθώς τα συμβόλαια μίας εβδομάδας τελείωσαν (Νορβηγία-Ολλανδία, Νορβηγία-Ηνωμένο Βασίλειο) η ναυτιλιακή εξετάζει ξανά κάποια τροποποίηση του βέλτιστου πλάνου. Το πλάνο του αλγορίθμου με βάση τα διαθέσιμα συμβόλαια αποφέρει λιγότερα έσοδα της ετήσιας χρονοναύλωσης, έτσι για τη ναυτιλιακή εταιρεία είναι οικονομικά συμφέρον να χρονοναυλώσει τα δύο TFDE πλοία της από την πρώτη εβδομάδα.

Στην μπλε ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να δραστηριοποιηθεί στη spot αγορά τα δύο από τα τέσσερα πλοία της λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας. Τα συνολικά έσοδα ανέρχονται στα \$149.373.000, \$3.045.000 περισσότερα από την περίπτωση που η ναυτιλιακή χρονοναύλωνε και τα τέσσερα πλοία της από την πρώτη εβδομάδα για διάρκεια μεγαλύτερη του έτους και \$5.285.000 λιγότερα από την περίπτωση που και τα τέσσερα πλοία της ακολουθούν τα αντίστοιχα βέλτιστα πλάνα.

	Revenue – tactical (in .000 USD)	Revenue – Optimal (in .000 USD)	Revenue - 1Y T/C (in .000 USD)
1st ship	41.573	41.573	39.494
2nd ship	40.383	41.573	39.494
3rd ship	33.670	35.756	33.670
4th ship	33.670	35.756	33.670
Total	149.373	154.658	146.328

Πίνακας 53. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για 4^η περίπτωση (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Τα αποτελέσματα και για τις τέσσερεις περιπτώσεις φαίνονται στον

	Revenue – tactical (in .000 USD)
1st scenario	152.516
2nd scenario	150.983
3rd scenario	147.560
4th scenario	149.373

Πίνακας 54. Συνολικά έσοδα σε κάθε ομάδα εξαγωγέων (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική είχε ως αντικείμενο την μελέτη βέλτιστης στρατηγικής ναυλώσεων στόλου πλοίων LNG. Η στρατηγική βασίστηκε σε τακτικό σχεδιασμό για χρονικό ορίζοντα ενός έτους με χρήση δυναμικού προγραμματισμού με κριτήριο τη μεγιστοποίηση των εσόδων. Δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος με τον οποίο μία ναυτιλιακή εταιρεία, έχοντας μία πρόβλεψη των τιμών της ναυλαγοράς για την ακόλουθη χρονιά, μπορεί να οργανώσει το στόλο της και να βρει τα πιο ωφέλιμα οικονομικά συμβόλαια με τα οποία αξίζει να δεσμεύσει τα πλοία της.

Στην συνέχεια, διαμορφώθηκε μία δομημένη μελέτη περίπτωσης για να επαληθευθεί ο προτεινόμενος αλγόριθμος. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε ο σχεδιασμός ετερογενή στόλου για τη χρονιά του 2019, λαμβάνοντας τιμές της ναυλομεσιτικής μεσιτικής εταιρείας Fearnleys. Από τους υπολογισμούς προέκυψε το βέλτιστο τακτικό πλάνο ναύλωσης για πλοία TFDE και 2-stroke, ανατολικά και δυτικά της διώρυγας του Σουέζ.

Για τη μελέτη εφικτότητας των βέλτιστων πλάνων, έγινε μελέτη για τους διαθέσιμους ναυλωτές και κατ' επέκταση για τα διαθέσιμα συμβόλαια. Από την αναφορά της GIIGNL για το 2019 επιλέχθηκαν οι κύριοι ναυλωτές του 2019 και με βάση τις ποσότητες που εμπορεύτηκαν μεταξύ τους στη spot αγορά του LNG (<6 μηνών), δημιουργήθηκαν τα διαθέσιμα συμβόλαια, με τα οποία μπορεί να επιλέξει η ναυτιλιακή εταιρεία να δεσμεύσει τα πλοία της. Το βέλτιστο πλάνο σε εβδομάδες ναύλωσης είναι ίδιο για κάθε πλοίο ίδιου τύπου με την περιοχή δραστηριοποίησής του (ανατολικά-δυτικά Σουέζ). Ωστόσο, αυτό δύναται να αλλάξει λόγω της διαθεσιμότητας δυναμικότητας των τερματικών.

Το έτος 2019 παρόλο που τα ναύλα είναι σταθερά χαμηλότερα (πέραν της πρώτης εβδομάδας) από τα ναύλα της ετήσιας χρονοναύλωσης μέχρι και την τεσσαρακοστή εβδομάδα, τα έσοδα από το βέλτιστο τακτικό πλάνο spot ναύλωσης Ανατολικά και Δυτικά του Σουέζ είναι μεγαλύτερα από την ετήσια χρονοναύλωση της πρώτης εβδομάδας, της οποίας η τιμή είναι υψηλότερη από κάθε άλλη εβδομάδα. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές τιμές της spot ναυλαγοράς της πρώτης εβδομάδας, από τις οποίες προκύπτουν και τα spot συμβόλαια μέγιστης δυνατής διάρκειας (26 εβδομάδες), αλλά και στις πολύ υψηλές τιμές την τεσσαρακοστή πρώτη εβδομάδα. Σε αντίθεση με τη spot αγορά tanker, όπου κυριαρχεί το voyage charter και τα έξοδα καυσίμου τα επωμίζεται ο πλοιοκτήτης, στην spot ναυλαγορά LNG τα συμβόλαια είναι time charter, με τον ναυλωτή να επωμίζεται τα έξοδα καυσίμου. Το γεγονός αυτό είναι καθοριστικό για τα αποτελέσματα. Στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν σκοπός ήταν η μελέτη εφικτότητας του βέλτιστου πλάνου λαμβάνοντας υπόψη τη δραστηριότητα των ναυλωτών.

Στην πρώτη περίπτωση (4 πλοία TFDE σε 4 ομάδες εξαγωγέων) διατέθηκε κάθε πλοίο σε μία ομάδα εξαγωγέων. Παρόλο που για κάθε πλοίο υπήρχαν πολλές επιλογές συμβολαίων, από άποψη τερματικών και αριθμού ταξιδιών, 2 από τα 4 πλοία (στην κίτρινη και στην κόκκινη ομάδα εξαγωγέων) δύναται να ακολουθήσουν το βέλτιστο τακτικό πλάνο της ναυτιλιακής εταιρείας. Για τα άλλα 2 πλοία το πλάνο τροποποιήθηκε κατάλληλα με βάση την διαθεσιμότητα. Με βάση τους πίνακες με τους αριθμούς ταξιδιών, δεν υπήρχε συμβόλαιο διάρκειας είκοσι έξι εβδομάδων (με το

οποίο ξεκινάει το βέλτιστο τακτικό πλάνο) επομένως επιλέχθηκε συμβόλαιο μικρότερης διάρκειας και ακολούθως άλλαξαν και τα επόμενα συμβόλαια για να καλύψουν όλες τις εβδομάδες του χρόνου. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα έσοδα της ναυτιλιακής ήταν λιγότερα μεν από τα έσοδα που θα εισέπραττε αν το πλοίο της ακολουθούσε το βέλτιστο πλάνο, περισσότερα δε από την περίπτωση που η ναυτιλιακή ναύλωνε το πλοίο της για ένα χρόνο. Συνεπώς μπορεί κάποια συμβόλαια να είναι δυσεύρετα για τη ναυτιλιακή (26 εβδομάδες), ωστόσο το πλάνο του αλγορίθμου είναι ευέλικτο προς τροποποίηση. Τα έσοδα από τα τροποποιημένα πλάνα και πάλι είναι περισσότερα από τα έσοδα μιας ετήσιας χρονοναύλωσης.

Στην δεύτερη περίπτωση (4 πλοία 2-stroke σε 4 ομάδες εξαγωγέων) σε κάθε ομάδα εξαγωγέων δραστηριοποιήθηκε 1 πλοίο. Όπως τα συμβόλαια μεγάλης διάρκειας (26 εβδομάδων) έτσι και τα συμβόλαια μίας εβδομάδας είναι δυσεύρετα για τις περισσότερες ομάδες εξαγωγέων. Ωστόσο το βέλτιστο πλάνο (λαμβάνοντας μόνο τις τιμές των ναύλων και όχι και τη διαθεσιμότητα) πλοίων 2-stroke δυτικά του Σουέζ περιλαμβάνει τρία συμβόλαια μίας εβδομάδας, όση και η διαθεσιμότητα σε τέτοια συμβόλαια για την μπλε ομάδα εξαγωγέων (Ρωσία-Νορβηγία). Έτσι σε αυτή την περίπτωση τρία από τα 4 πλοία ακολούθησαν το βέλτιστο πλάνο.

Στην τρίτη περίπτωση (2 πλοία 2-stroke και 2 πλοία TFDE σε κάθε ομάδα εξαγωγέων) το πρόβλημα της διαθεσιμότητας έγινε πιο εμφανές. Στην κίτρινη ομάδα εξαγωγέων, όπου οι επιλογές είναι περισσότερες (περισσότεροι εξαγωγείς, περισσότερα φορτία) η ναυτιλιακή εταιρεία βρίσκει συμβόλαια στη spot ναυλαγορά με τα οποία μπορεί να δημιουργήσει βέλτιστα πλάνα και για τα 4 πλοία της. Τα έσοδα για την ναυτιλιακή είναι τα βέλτιστα που θα μπορούσε να επιτύχει για την περιοχή ανατολικά της διώρυγας του Σουέζ.

Στην κόκκινη ομάδα εξαγωγέων (Ομάν-Κατάρ-Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα) η ναυτιλιακή εταιρεία έχει τη δυνατότητα για 1 πλοίο της να ακολουθήσει το βέλτιστο πλάνο. Τα υπόλοιπα 3 ακολουθούν τροποποιημένα πλάνα και συγκρίνοντας με την επιλογή της χρονοναύλωσης φαίνεται πως η διάθεση των 4 πλοίων στη spot ναυλαγορά συμφέρει.

Στην πράσινη ομάδα εξαγωγέων η διαθεσιμότητα είναι αρκετά μικρότερη. Η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να διαθέσει μόνο 1 πλοίο στη spot ναυλαγορά και επιλέγει να διαθέσει ένα 2-stroke λόγω των υψηλότερων ναύλων του σε σχέση με τα TFDE. Τα υπόλοιπα 3 πλοία η ναυτιλιακή μπορεί να τα δεσμεύσει με κάποιο spot συμβόλαιο και στη συνέχεια να τα χρονοναυλώσει. Επειδή όμως τα ναύλα της χρονοναύλωσης ακολουθούν πτωτική πορεία από την πρώτη εβδομάδα, η επιλογή αυτή είναι ασύμφορη σε σχέση με τη χρονοναύλωση από την πρώτη εβδομάδα. Επομένως τα υπόλοιπα 3 πλοία χρονοναυλώνονται από την πρώτη εβδομάδα για όλο το έτος.

Στην μπλε ομάδα εξαγωγέων η ναυτιλιακή μπορεί να διαθέσει μόνο 1 πλοίο στη spot ναυλαγορά με βέλτιστο πλάνο, λόγω του μειωμένου αριθμού (3) συμβολαίων μίας εβδομάδας. Ωστόσο οι επιλογές σε συμβόλαια διάρκειας μεγαλύτερα της μίας εβδομάδας είναι αρκετές, με αποτέλεσμα η ναυτιλιακή να μπορεί να διαθέσει και άλλο 1 πλοίο στη spot ναυλαγορά με τροποποιημένο πλάνο.

Καταληκτικά από την τρίτη περίπτωση φαίνεται πως παρόλο που οι τιμές των ναύλων της spot αγοράς είναι μεγαλύτερες για τις περιοχές δυτικά της διώρυγας του Σουέζ, η περιορισμένη διαθεσιμότητα των φορτίων καθιστά αδύνατη τη διάθεση πολλών πλοίων στη spot αγορά. Σύμφωνα μάλιστα με τον Πίνακα 54 η διάθεση 4 πλοίων είναι πιο ωφέλιμη οικονομικά σε μία ομάδα εξαγωγέων ανατολικά του Σουέζ, παρά δυτικά όπου οι τιμές των ναύλων είναι μεγαλύτερες.

Συμπερασματικά φαίνεται πως το πλάνο μιας ναυτιλιακής εταιρείας LNG επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή δραστηριοποίησης των πλοίων της. Για το 2019, μια ναυτιλιακή εταιρεία μπορούσε με πολλούς τρόπους να εκμεταλλευτεί τις τιμές των ναύλων της spot ναυλαγοράς για να φέρει περισσότερα έσοδα από την περίπτωση που χρονοναύλωνε για ένα έτος τα πλοία της.

Περαιτέρω Έρευνα

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε δημιούργησε ένα βέλτιστο πλάνο στη spot ναυλαγορά για το 2019 κατά το οποίο οι τιμές των ναύλων ήταν γνωστές για όλες τις εβδομάδες. Στην πραγματικότητα μία ναυτιλιακή εταιρεία επιθυμεί να οργανώσει τα διαθέσιμα πλοία της για την ακόλουθη χρονιά, έχοντας κάνει προβλέψεις για τις τιμές της ναυλαγοράς. Λόγω της αβεβαιότητας της πρόβλεψης, η ναυτιλιακή εταιρεία θα θέλει να εξασφαλίσει πως ο αλγόριθμος θα μπορέσει να δώσει ένα πλάνο για τα πλοία της, το οποίο θα είναι το πιο συμφέρον. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η αστάθεια της αγοράς LNG που επηρεάζει τη ναυλαγορά.

Για παράδειγμα, το 2019 η πρόβλεψη της ραγδαίας ανόδου από την τεσσαρακοστή στην τεσσαρακοστή πρώτη βδομάδα θα ήταν καθοριστική για τη βελτιστοποίηση του πλάνου. Συγκεκριμένα μία ναύλωση την τεσσαρακοστή εβδομάδα, με την πρώτη άνοδο των ναύλων από την τριακοστή ένατη (72k \$ - 88k \$) για δεκατρείς εβδομάδες (μέχρι το τέλος της χρονιάς) θα καθιστούσε ασύμφορο το πλάνο της ετήσιας χρονοναύλωσης από την πρώτη εβδομάδα. επίσης, μία καθυστέρηση μίας βδομάδας, δηλαδή ένα συμβόλαιο την τεσσαρακοστή δεύτερη εβδομάδα για έντεκα εβδομάδες (μέχρι το τέλος της χρονιάς) θα είχε μείωση στα έσοδα του βέλτιστου πλάνου κατά περίπου \$1.500.000.

Επομένως η ακρίβεια της πρόβλεψης είναι καθοριστική για την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητα του αλγορίθμου. Ωστόσο, ο αρχικός σχεδιασμός του αλγορίθμου διατηρεί τη χρησιμότητά του αρκεί να αντιμετωπίζεται ως επικουρικό υλικό από τον πλοιοκτήτη. Σαν επέκταση του μοντέλου θα μπορούσε να εισαχθεί η στοχαστικότητα στον δυναμικό προγραμματισμό με σκοπό την αντιμετώπιση της αστάθειας της αγοράς.

Επιπρόσθετα ο αλγόριθμος έχει ως αποτέλεσμα το βέλτιστο πλάνο. Λόγω των περιορισμών διαθεσιμότητας η ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να χρειαστεί να τροποποιήσει το πλάνο για το πλοίο της. Ωστόσο, το τροποποιημένο πλάνο του αλγορίθμου δεν είναι το βέλτιστο δυνατό λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς.

Στο πρώτο παράδειγμα (1 πλοίο TFDE σε κάθε ομάδα εξαγωγέων), στην μπλε ομάδα εξαγωγέων δημιουργήθηκε ένα τροποποιημένο πλάνο λόγω έλλειψης διαθέσιμων συμβολαίων 1 εβδομάδας (3 διαθέσιμα φορτία, ενώ το βέλτιστο πλάνο προϋποθέτει 6). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 55 Ο αλγόριθμος διαθέτει αυτά τα συμβόλαια στις εβδομάδες 27,28 και 32. Ωστόσο βλέποντας τις τιμές των ναύλων μίας εβδομάδας συμβόλαια μπορούν να καλύψουν το βέλτιστο πλάνο στις μετέπειτα εβδομάδες (38,39 και 40) όπου η αύξηση στην τιμή των ναύλων είναι μεγαλύτερη. Ταυτόχρονα, με αυτό τον τρόπο μπορεί να βρεθεί και ένα συμβόλαιο την 41^η εβδομάδα, όπου σημειώνεται η μέγιστη τιμή των ναύλων για όλη τη χρονιά) για διάρκεια 12 εβδομάδων. Το τελευταίο, δεν βρίσκεται στο πλάνο του αλγορίθμου καθώς, την 40^η εβδομάδα το μικρότερης διάρκειας συμβόλαιο

που μπορεί να κλείσει η ναυτιλιακή, είναι 2 εβδομάδες, καθιστώντας διαθέσιμο ξανά το πλοίο την 42^η εβδομάδα.

1st TFDE West Plans				
	Tactical Plan Manual	Tactical Plan Matlab	Optimal Plan	West Suez (1k USD/day)
week 1	26	26	26	100
week 27	2	1	1	50
week 28	-	1	1	56
week 29	4	3	3	57
week 32	-	1	1	65
week 33	5	5	5	68
week 38	1	2	1	70
week 39	1	-	1	72
week 40	1	2	1	88
week 41	12	-	12	133
week 42	-	11	-	120
Revenue	35.658k	34.426k	35.756k	

Πίνακας 55. Διαφορά πλάνου αλγορίθμου και τεχνητού πλάνου

Συνεπώς, ως προς τα τροποποιημένα πλάνα ο αλγόριθμος επιδέχεται βελτίωση, καθώς το τεχνητό τακτικό πλάνο αποφέρει έσοδα κατά \$1.232.000 περισσότερα του πλάνου του αλγορίθμου.

Βιβλιογραφία

- A.A, D. (2016). Decision-making tools for a LNG regasification plant siting. *Elsevier*.
- Bertsekas. (n.d.). *Dynamic Programming and Optimal Control* (3 ed.).
- Christos, P. (n.d.). A Comparative Techno-Economic Analysis of TFDE, ME-GI and XDF Propulsion Systems for LNG Carriers, Case Study for Alternative Multi-Annual Operational Properties.
- Fearnleys. (n.d.). *Fearnleys Weekly Reports 2019*.
- GasLog Ltd. (n.d.). Annual Report 2019.
- Bittante, A., Pettersson, F. and Sax, H. (2018) ‘Optimization of a small-scale LNG supply chain’.
- BP (2018) ‘2018 BP Energy Outlook 2018 BP Energy Outlook’.
- Cho, J. *et al.* (2014) ‘Liquefied Natural Gas Ship Route Planning Model Considering Market Trend Change’.
- Fagerholt, E. E. and Halvorsen-weare, K. (2013) ‘Routing and scheduling in a liquefied natural gas shipping problem with inventory and berth constraints’.
- Feng, Y., Zhang, R. and Jia, G. (2017) ‘Vehicle Routing Problems with Fuel Consumption and Stochastic Travel Speeds’, 2017.
- Fernandez, I. A. *et al.* (2017) ‘Review of propulsion systems on LNG carriers’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 67(December).
- GIIGNL (2009) ‘The LNG Process Chain’.
- Goel, V. *et al.* (2015) ‘Constraint programming for LNG ship scheduling and inventory management’, *European Journal of Operational Research*. Elsevier Ltd., 241.
- Haeffele, N. J. (2013) ‘The Feasibility and the Economic Viability of Shipping LNG via the Northern Sea Route’.
- Harsema-Mensonides, A. and MPT Consultancy (2006) ‘Dual Fuel Electric Propulsion Systems in LNG Shipping’.
- IGU (2019) ‘2019 World LNG Report’.
- IGU (no date) ‘Natural Gas Conversion Guide’.
- GIIGNL (2019) ‘2019 World LNG Report’.
- International Safety Guide for Inland Navigation Tank - barges and Terminals (2010) ‘Types of gas carriers’.
- Ministry of Economy, Trade and Industry, G. of J. (2016) ‘Strategy for LNG Market Development’.

- Nieminen, K. (2003) 'Genetic algorithm for finding a good first integer solution for MILP', (April).
- Okimi, H. (2006) 'COMPARATIVE ECONOMY OF LNG AND PIPELINES'.
- Rakke, J. G. *et al.* (2011) 'A rolling horizon heuristic for creating a liquefied natural gas annual delivery program'.
- Seamanship International (2007) 'Liquefied Gas Carriers - Ship Types'.
- Stålhane, M. *et al.* (2012) 'Computers & Industrial Engineering A construction and improvement heuristic for a liquefied natural gas inventory routing problem'.
- Fodstad (2010) 'LNGScheduler: A rich model for coordinating vessel routing , inventories and trade in the LNG supply chain LNGScheduler: a rich model for coordinating vessel routing , inventories and trade in the'.
- US Department of Energy (2017) (2017) 'Global LNG Fundamentals'.
- Vinson&Elkins (2014) 'Introduction to LNG Projects'.
- Yeo, D. *et. al.* (2006) 'Propulsion alternatives for modern lng carriers'.
- Zetos, A. (2018) 'Developing a Comprehensive Fleet Deployment Model for LNG Shipping Companies'.
- Zhang, Q. *et al.* (2020) 'Study on the Impacts of the LNG Market Reform in China using a SVM based Rolling Horizon Stochastic Game Analysis', *Energy Procedia*.
- Zheng, Q. P. and Pardalos, P. M. (2010) 'Stochastic and Risk Management Models and Solution Algorithm for Natural Gas Transmission Network Expansion and LNG Terminal Location Planning'.
- Hillier, L. (n.d.). *Introduction to Operations Research* (7 ed.).
- Plomaritou, E. (2014). A Review of Shipowner's & Charterer's Obligations in Various Types of Charter.
- Poten & Partners. (2019). *Evolution of Flexibility/Liquidity in the LNG Shipping Market*.
- Wang, S. (n.d.). Shipowners' Structure and Fleet Distribution in the LNG Shipping Market.
- Yazdi, A. K. (2019). A Binary Particle Swarm Optimization Algorithm for SHip Routing and Scheduling of Liquefied Natural Gas Transportation.

<http://naturalgas.org/overview/uses-industrial/>

<http://www.natgas.info/gas-information/what-is-natural-gas/gas-pricing-contracts>

<https://sea-distances.org/>

Παράρτημα

Στο παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες με τις διάρκειες (εβδομάδες) των κυκλικών ταξιδιών μεταξύ των τερματικών.

Exporters Importers	1 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	6	2	1	5	3	2	1	7	4	4	8	4
India	4	3	3	3	4	3	3	5	1	2	6	2
South Korea	6	3	2	5	3	2	2	8	4	5	9	4
Japan	7	3	2	6	3	2	2	8	4	5	9	5
Taiwan	6	2	1	5	3	2	2	8	4	4	8	4
Pakistan	4	3	3	3	4	3	3	5	1	1	6	1
Bangladesh	5	3	2	4	3	2	2	6	3	3	7	3
Spain	1	6	5	2	6	6	5	3	3	4	3	4
Netherlands	2	7	6	3	7	7	6	1	4	5	2	5
UK	2	6	6	3	7	7	6	1	4	5	2	5
Italy	2	5	5	1	6	5	5	3	3	3	4	3
France	2	6	6	3	7	6	6	2	4	5	2	5
Turkey	2	5	4	1	6	5	4	3	3	3	4	3
Greece	1	5	5	1	6	5	5	3	3	3	4	3
Mexico	5	6	5	6	5	5	5	6	8	8	6	8
Brazil	3	6	7	4	7	7	7	4	5	6	4	6
Chile	5	6	7	6	5	7	7	6	8	9	6	9
Argentina	4	6	7	5	6	7	7	5	6	6	6	6
UAE	4	4	3	3	5	3	3	5	1	1	6	1
Kuwait	4	4	4	3	5	4	3	6	1	1	6	1

Πίνακας 56. Διάρκεια (εβδομάδες) για 1 κυκλικό ταξίδι (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	2 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	11	4	2	9	5	3	2	14	7	7	15	7
India	7	6	5	5	7	5	5	10	2	3	11	3
South Korea	12	5	4	10	5	4	4	16	8	9	17	8
Japan	13	5	4	11	5	4	4	16	8	9	17	9
Taiwan	11	4	2	9	5	3	3	15	7	7	15	7
Pakistan	7	6	5	5	8	6	5	10	2	2	11	2
Bangladesh	9	5	4	7	6	4	4	12	5	5	13	5

Spain	2	11	10	3	12	12	10	5	6	7	6	7
Netherlands	3	13	12	5	14	14	12	2	8	9	3	9
UK	3	12	12	5	14	14	12	2	8	9	3	9
Italy	3	10	9	2	12	10	9	6	6	6	7	6
France	3	12	12	5	14	12	12	3	8	9	4	9
Turkey	3	9	8	2	11	9	8	6	5	5	7	5
Greece	2	9	9	2	11	9	9	6	5	6	7	5
Mexico	10	11	10	12	9	10	10	11	15	15	12	15
Brazil	5	12	13	7	14	14	13	7	10	11	8	11
Chile	10	12	13	12	10	14	14	11	16	17	12	17
Argentina	8	12	13	10	11	13	13	10	11	12	11	11
UAE	7	7	6	5	9	6	6	10	1	1	11	1
Kuwait	7	7	7	5	9	7	6	11	2	1	11	1

Πίνακας 57. Διάρκεια (εβδομάδες) για 2 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	3 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	16	6	3	13	7	4	3	21	10	10	23	10
India	10	8	7	7	11	8	7	15	3	4	16	4
South Korea	18	8	5	15	8	6	5	23	12	13	25	12
Japan	19	8	6	16	8	6	6	24	12	13	25	13
Taiwan	17	6	3	14	7	4	4	22	10	11	23	11
Pakistan	10	9	8	7	12	8	8	15	2	3	16	3
Bangladesh	13	7	5	10	9	6	5	18	7	7	19	7
Spain	2	16	15	4	18	18	14	7	9	10	8	10
Netherlands	4	19	18	7	21	20	18	3	12	13	5	13
UK	4	18	18	7	21	20	17	3	12	13	5	13
Italy	4	15	14	3	18	15	14	9	8	9	10	9
France	4	18	18	7	21	18	17	4	12	13	5	13
Turkey	4	13	12	2	16	13	12	9	7	8	10	8
Greece	3	14	13	2	17	14	13	9	7	8	10	8

Mexico	14	16	15	17	13	15	15	16	22	23	17	22
Brazil	7	18	19	10	21	21	19	11	15	16	12	16
Chile	15	17	20	17	15	20	20	16	24	25	17	25
Argentina	11	18	19	14	17	19	19	15	16	17	16	17
UAE	10	10	9	7	13	9	9	15	2	2	16	1
Kuwait	10	11	10	8	13	10	9	16	3	2	17	2

Πίνακας 58. Διάρκεια (εβδομάδες) για 3 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	4 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	22	8	4	18	9	6	4	28	13	14	30	14
India	13	11	9	9	14	10	9	20	4	5	22	5
South Korea	24	10	7	20	10	8	7	31	15	17	33	16
Japan	25	10	7	21	10	8	7	32	16	18	34	17
Taiwan	22	8	4	18	9	5	5	29	13	14	30	14
Pakistan	13	12	10	9	15	11	10	20	3	4	21	4
Bangladesh	17	10	7	13	12	8	7	24	9	10	26	10
Spain	3	21	19	5	24	24	19	9	12	13	11	13
Netherlands	6	25	23	9	28	27	23	4	16	17	6	17
UK	6	24	23	9	28	27	23	4	16	17	6	17
Italy	5	20	18	4	23	19	18	12	11	12	13	12
France	5	24	23	9	28	24	23	5	16	17	7	17
Turkey	5	18	16	3	21	17	16	12	9	10	14	10
Greece	4	18	17	3	22	18	17	12	9	11	13	10
Mexico	19	21	20	23	17	20	20	21	29	30	23	30
Brazil	10	23	25	13	28	27	25	14	20	21	16	21
Chile	19	23	26	23	20	27	27	21	32	33	23	33
Argentina	15	23	25	19	22	25	25	20	21	23	22	22
UAE	13	13	11	9	17	12	11	20	2	2	21	2
Kuwait	14	14	13	10	18	13	12	21	3	2	22	2

Πίνακας 59. Διάρκεια (εβδομάδες) για 4 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	5 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	27	10	5	22	11	7	5	35	16	17	37	17
India	16	13	11	12	18	12	11	25	4	6	27	6
South Korea	30	13	8	25	13	10	8	39	19	21	41	20
Japan	31	13	9	26	12	10	9	40	20	22	42	22
Taiwan	27	10	5	23	11	7	6	36	16	18	38	18
Pakistan	16	15	13	11	19	14	12	24	3	4	26	4
Bangladesh	21	12	9	17	15	10	8	30	11	12	32	12
Spain	3	26	24	6	30	30	24	11	15	16	13	16
Netherlands	7	31	29	12	35	34	29	5	20	21	8	21
UK	7	30	29	11	35	33	29	5	19	21	8	21
Italy	6	24	23	5	29	24	22	15	13	15	17	15
France	6	30	29	11	35	30	29	6	19	21	8	21
Turkey	6	22	20	3	27	21	20	15	11	12	17	12
Greece	5	23	21	3	27	22	21	15	12	13	16	13
Mexico	24	27	25	28	21	25	25	26	36	37	28	37
Brazil	12	29	31	16	34	34	31	18	25	26	20	26
Chile	24	29	32	29	24	34	33	26	40	41	28	41
Argentina	19	29	31	23	28	31	31	25	27	28	27	28
UAE	16	16	14	11	21	15	14	24	3	3	26	2
Kuwait	17	17	16	12	22	17	15	26	4	3	28	3

Πίνακας 60. Διάρκεια (εβδομάδες) για 5 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	6 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	32	12	6	26	14	8	6	42	19	20	45	20
India	20	16	14	14	21	15	13	30	5	7	32	7
South Korea	36	15	10	30	15	11	10	46	23	25	49	24

Japan	37	15	11	32	15	12	11	48	24	26	50	26
Taiwan	33	12	6	27	13	8	8	43	20	21	45	21
Pakistan	19	17	15	13	23	16	15	29	4	5	32	5
Bangladesh	26	14	10	20	18	12	10	36	13	14	38	14
Spain	4	31	29	8	36	35	28	14	17	19	16	19
Netherlands	8	37	35	14	42	40	35	6	24	25	9	25
UK	8	36	35	14	42	40	34	6	23	25	9	25
Italy	7	29	27	6	35	29	27	17	16	18	20	18
France	8	36	35	13	42	36	34	7	23	25	10	25
Turkey	7	26	24	4	32	26	24	18	13	15	20	15
Greece	6	27	25	4	33	27	25	17	14	16	20	15
Mexico	28	32	29	34	25	29	30	31	43	45	34	44
Brazil	14	35	38	20	41	41	37	21	30	32	23	31
Chile	29	34	39	34	29	40	40	32	48	50	34	49
Argentina	22	35	38	28	33	37	37	30	32	34	32	33
UAE	19	19	17	13	25	18	17	29	3	3	32	2
Kuwait	20	21	19	15	26	20	18	31	5	3	33	3

Πίνακας 61. Διάρκεια (εβδομάδες) για 6 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	7 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	37	14	7	31	16	9	7	49	22	24	52	24
India	23	18	16	16	25	17	15	35	6	8	38	8
South Korea	42	18	11	35	18	13	11	54	27	29	57	28
Japan	43	18	12	37	17	14	13	56	28	30	58	30
Taiwan	38	14	7	31	15	9	9	50	23	25	53	25
Pakistan	22	20	18	15	26	19	17	34	4	6	37	6
Bangladesh	30	16	12	23	21	14	11	42	15	16	45	16
Spain	4	36	33	9	42	41	33	16	20	22	19	22
Netherlands	9	43	41	16	49	47	40	7	27	29	11	29
UK	9	42	40	16	49	47	40	7	27	29	10	29
Italy	8	34	32	7	40	33	31	20	19	21	23	21

France	9	42	40	15	49	42	40	8	27	29	11	29
Turkey	8	30	28	4	37	30	27	21	15	17	23	17
Greece	7	31	29	5	38	31	29	20	16	18	23	18
Mexico	33	37	34	40	29	34	35	36	50	52	39	52
Brazil	16	40	44	23	48	47	43	25	35	37	27	36
Chile	33	40	45	40	34	47	46	37	55	58	39	57
Argentina	26	41	44	33	38	43	43	34	37	39	37	39
UAE	22	22	20	15	29	21	19	34	4	3	37	2
Kuwait	24	24	22	17	30	23	21	36	5	4	39	4

Πίνακας 62. Διάρκεια (εβδομάδες) για 7 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	8 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	43	16	8	35	18	11	8	56	25	27	60	27
India	26	21	18	18	28	20	17	40	7	9	43	9
South Korea	48	20	13	40	20	15	13	62	30	33	65	32
Japan	50	20	14	42	19	16	14	64	32	35	67	34
Taiwan	43	16	8	36	17	10	10	57	26	28	60	28
Pakistan	25	23	20	18	30	22	19	39	5	7	42	7
Bangladesh	34	19	14	26	24	16	13	48	17	19	51	19
Spain	5	41	38	10	48	47	38	18	23	25	21	25
Netherlands	11	49	46	18	56	54	46	8	31	34	12	34
UK	11	48	46	18	56	53	46	8	31	33	12	33
Italy	9	39	36	8	46	38	35	23	21	24	26	24
France	10	48	46	18	56	48	46	9	31	33	13	33
Turkey	10	35	32	5	42	34	31	24	17	19	27	19
Greece	8	36	33	5	43	35	33	23	18	21	26	20
Mexico	38	42	39	45	34	39	40	42	57	59	45	59
Brazil	19	46	50	26	55	54	49	28	40	42	31	41
Chile	38	46	52	46	39	54	53	42	63	66	45	66
Argentina	30	46	50	37	44	50	49	39	42	45	43	44
UAE	25	26	22	18	33	24	22	39	4	4	42	3

Kuwait	27	28	25	19	35	26	24	41	6	4	44	4
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	----	---

Πίνακας 63. Διάρκεια (εβδομάδες) για 8 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	9 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	48	18	9	39	20	12	9	63	28	30	67	30
India	29	23	20	21	32	22	19	44	8	10	48	10
South Korea	54	23	14	45	23	17	14	69	34	37	73	36
Japan	56	23	16	47	22	17	16	71	36	39	75	39
Taiwan	49	18	9	40	19	12	11	64	29	32	68	32
Pakistan	28	26	23	20	34	24	22	44	6	8	47	7
Bangladesh	38	21	15	30	27	17	15	54	19	21	57	21
Spain	5	46	43	11	54	53	42	20	26	29	24	28
Netherlands	12	55	52	21	63	60	52	9	35	38	14	38
UK	12	54	52	20	63	60	51	9	35	38	13	37
Italy	10	43	41	9	52	43	40	26	24	26	30	27
France	11	54	52	20	63	53	51	11	35	37	14	37
Turkey	11	39	36	5	48	38	35	26	19	22	30	22
Greece	9	40	38	6	49	40	37	26	21	23	29	23
Mexico	42	48	44	51	38	44	45	47	64	67	50	66
Brazil	21	52	56	29	61	61	55	32	44	47	35	47
Chile	43	51	58	51	44	60	60	47	71	74	51	74
Argentina	33	52	56	42	49	56	55	44	48	50	48	50
UAE	28	29	25	20	37	27	25	44	5	4	47	3
Kuwait	30	31	28	22	39	30	27	46	7	5	50	5

Πίνακας 64. Διάρκεια (εβδομάδες) για 9 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	10 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE

China	53	20	10	44	22	13	10	70	31	34	74	34
India	32	26	22	23	35	24	21	49	8	11	54	11
South Korea	60	25	16	50	25	19	16	77	38	41	81	40
Japan	62	25	18	52	24	19	18	79	40	43	83	43
Taiwan	54	20	10	45	21	13	12	71	32	35	75	35
Pakistan	31	29	25	22	38	27	24	48	6	8	52	8
Bangladesh	42	23	17	33	30	19	16	60	21	23	64	23
Spain	6	51	48	12	60	59	47	22	29	32	26	31
Netherlands	13	61	58	23	70	67	57	10	39	42	15	42
UK	13	60	58	22	70	66	57	10	38	42	15	41
Italy	11	48	45	10	58	47	44	29	26	29	33	30
France	12	60	57	22	70	59	57	12	38	41	16	41
Turkey	12	43	40	6	53	42	39	29	21	24	33	24
Greece	10	45	42	6	54	44	41	29	23	26	32	25
Mexico	47	53	49	56	42	49	50	52	71	74	56	74
Brazil	23	58	62	32	68	68	61	35	49	52	39	52
Chile	48	57	64	57	48	67	66	52	79	82	56	82
Argentina	37	58	62	46	55	62	61	49	53	56	53	55
UAE	31	32	28	22	41	30	28	48	5	5	52	3
Kuwait	34	34	31	24	43	33	30	51	8	5	55	5

Πίνακας 65. Διάρκεια (εβδομάδες) για 10 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	11 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	59	22	11	48	24	15	11	77	34	37	82	37
India	35	28	24	25	39	27	23	54	9	12	59	12
South Korea	66	28	17	55	28	21	17	85	42	45	89	44
Japan	68	28	19	58	27	21	20	87	44	47	91	47
Taiwan	59	22	11	49	23	14	14	78	35	39	83	39
Pakistan	34	32	28	24	41	30	27	53	7	9	58	9
Bangladesh	46	25	19	36	33	21	18	66	23	26	70	26
Spain	6	56	52	13	66	65	51	24	32	35	29	34

Netherlands	15	67	64	25	77	74	63	11	43	46	17	46
UK	14	66	63	24	77	73	63	11	42	46	16	45
Italy	12	53	50	11	63	52	48	32	29	32	36	33
France	14	66	63	24	77	65	63	13	42	45	17	45
Turkey	13	48	44	6	58	46	43	32	23	27	37	26
Greece	11	49	46	7	59	48	45	32	25	28	36	28
Mexico	51	58	54	62	46	54	55	57	78	81	61	81
Brazil	26	63	68	36	75	74	67	39	54	57	43	57
Chile	52	63	71	62	53	74	73	57	87	90	62	90
Argentina	40	64	68	51	60	68	67	54	58	61	59	61
UAE	34	35	31	24	45	33	30	53	6	5	58	4
Kuwait	37	38	34	27	48	36	33	56	8	6	61	6

Πίνακας 66. Διάρκεια (εβδομάδες) για 11 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	12 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	64	24	12	52	27	16	12	84	38	40	89	40
India	39	31	27	27	42	29	26	59	10	14	64	13
South Korea	71	30	19	60	30	22	19	92	45	49	97	48
Japan	74	30	21	63	29	23	21	95	48	52	100	51
Taiwan	65	24	12	54	25	15	15	86	39	42	90	42
Pakistan	37	34	30	26	45	32	29	58	7	10	63	10
Bangladesh	51	28	20	39	36	23	19	71	25	28	76	28
Spain	7	61	57	15	72	70	56	27	34	38	32	38
Netherlands	16	73	69	27	84	80	69	12	47	50	18	50
UK	16	72	69	27	84	80	68	12	46	50	18	49
Italy	14	58	54	12	69	57	53	34	32	35	39	35
France	15	72	69	26	84	71	68	14	46	50	19	49
Turkey	14	52	48	7	63	51	47	35	26	29	40	29
Greece	12	54	50	8	65	53	49	34	27	31	39	30
Mexico	56	63	58	68	50	58	60	62	86	89	67	88
Brazil	28	69	75	39	82	81	73	42	59	63	46	62

Chile	57	68	77	68	58	80	79	63	95	99	67	98
Argentina	44	69	75	56	66	74	74	59	63	67	64	66
UAE	37	38	33	26	49	36	33	58	6	6	63	4
Kuwait	40	41	37	29	52	39	36	61	9	6	66	6

Πίνακας 67. Διάρκεια (εβδομάδες) για 12 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

Exporters Importers	13 CYCLIC VOYAGE TABLE -WEEKS											
	Algeria	Australia	Brunei	Egypt	P. N.Guinea	Indonesia	Malaysia	Norway	Oman	Qatar	Russia	UAE
China	69	26	13	57	29	17	13	91	41	44	97	44
India	42	34	29	29	45	32	28	64	11	15	70	14
South Korea	77	33	20	65	33	24	20	100	49	53	105	52
Japan	80	33	23	68	31	25	23	103	52	56	108	55
Taiwan	70	26	13	58	27	16	16	93	42	46	98	45
Pakistan	40	37	32	28	49	35	31	63	8	11	68	11
Bangladesh	55	30	22	42	39	25	21	77	27	30	83	30
Spain	7	66	62	16	78	76	61	29	37	41	34	41
Netherlands	17	79	75	29	91	87	74	13	51	54	20	54
UK	17	78	75	29	91	86	74	13	50	54	19	53
Italy	15	63	58	13	75	61	57	37	34	38	42	38
France	16	78	74	28	91	77	74	15	50	54	20	53
Turkey	15	56	52	7	68	55	51	38	28	31	43	31
Greece	13	58	54	8	70	57	53	37	29	33	42	33
Mexico	61	68	63	73	54	63	65	67	93	96	73	96
Brazil	30	75	81	42	89	88	79	45	64	68	50	67
Chile	62	74	84	74	63	87	86	68	103	107	73	106
Argentina	48	75	81	60	71	80	80	64	68	72	69	72
UAE	40	41	36	28	53	39	36	63	6	6	68	4
Kuwait	44	45	40	31	56	42	39	66	10	7	71	7

Πίνακας 68. Διάρκεια (εβδομάδες) για 13 κυκλικά ταξίδια (Πηγή: Υπολογισμοί Συγγραφέα)

