ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ ΓΙΑ LNGC. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΟΛΥΕΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΙΣΣΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΥΡΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλύσει τα διάφορα συστήματα πρόωσης για τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου από μία τεχνο-οικονομική σκοπιά. Η ανάλυση επικεντρώνεται στα συστήματα που ακολουθούν την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις ανάγκες της αγοράς και καλύπτει την πλειοψηφία του υπάρχοντος στόλου. Έτσι, τα υπό εξέταση συστήματα είναι η ηλεκτρική πρόωση τύπου Tri Fuel Diesel Engines (TDFE), οι δίχρονες μηχανές υψηλής πίεσης αερίου τύπου ME-GI και οι μηχανές χαμηλής πίεσης αερίου τύπου X-DF. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά (κινητήρας, τύπος καυσίμου, ισχύς πρόωσης, διαχείριση του φυσικού αερίου που αεριοποιείται, το ηλεκτρικό φορτίο κ.α.) επιλέγονται βασιζόμενα στα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου και εξετάζονται και υπολογίζονται με λεπτομέρεια. Επιπρόσθετα, τα οικονομικά στοιχεία (κόστος επένδυσης, κόστος λειτουργίας, τιμή των καυσίμων κ.α.) λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό της Καθαρά Παρούσας Αξίας (Net Present Value) και του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (Internal Rate of Return) για τον πλοιοκτήτη και το ναυλωτή σε διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Η ανάλυση αυτή προσφέρει ικανές πληροφορίες στον πλοιοκτήτη για να επιλέξει την καταλληλότερη επενδυτική ευκαιρία και στο ναυλωτή τα οικονομικότερη επιλογή. Κάθε εγκατάσταση πρόωσης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά που πρέπει να συνεκτιμηθούν πριν την τελική επιλογή για ένα συγκεκριμένο προφίλ λειτουργίας. Για να είναι η ανάλυση όσο πιο εξονυχιστική γίνεται, τα σενάρια λειτουργίας περιλαμβάνουν 10, 20 και 30 χρόνια λειτουργίας του πλοίου, με δύο διαφορετικά συμβόλαια, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, που είναι βασισμένα σε ρεαλιστικά δεδομένα της αγοράς. Τελικά, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν: i) την πλευρά του πλοιοκτήτη με διαφορετικές επιλογές και περιπτώσεις για τον Απαιτούμενο Συντελεστή Ναύλων (Required Freight Rate), για την Καθαρά Παρούσα Αξία και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης, που επηρεάζουν το προφίλ της επένδυσης, για έναν κύκλο ζωής του πλοίου 10, 20 και 30 ετών, καθώς και την Ανάλυση Ευαισθησίας για τα αντίστοιχα έτη και ii) την πλευρά του ναυλωτή, με την αντίστοιχη ανάλυση κόστους και της Καθαρά Παρούσας Αξίας για κύκλους ζωής της επένδυσης 10, 20 και 30 χρόνια.

ABSTRACT

The scope of the current research is to evaluate contemporary propulsion systems for LNG carriers from a techno-economic standpoint. The analysis focuses on systems according to the present technological developments and the current market requirements, which cover the majority of the LNG fleet. To this end, three different propulsions systems are examined, the Tri Fuel Diesel Electric (TFDE), the high pressure ME-GI and the low-pressure X-DF. Based on a selected LNG carrier, technical data (prime mover configuration, type of fuel used, boil-off gas handling, transmission system, propulsion power requirement, electrical load, propulsion unit, etc.) regarding propulsion are examined and calculated in detail. Furthermore, economic elements (investment cost, operating cost, price of fuel and LNG, etc.) are considered to enable the calculation of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) methods for the shipowner and the charterer for alternative operational profiles. This provides sufficient information to shipowner for the available investment options, as well as to the charterer for the most economic system. Each alternative has its advantages and disadvantages that must be evaluated before the selection of the propulsion power plant for a specific operational profile. In order for the analysis to be as thorough as possible, the operational profiles examined include 10, 20 and 30 years of Time Charters and Spot Charters based on realistic market data for different interest rates, including a salvage value for the vessel under consideration. Finally, the results present i) the ship-owner with options on the Required Freight Rate for the LNG carrier to breakeven the investment, and NPV and IRR for 10, 20 and 30 years of vessel lifecycle and ii) the charterer with the total cost per year of operation, all followed by a sensitivity analysis.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πραγματικά είναι πολλοί οι άνθρωποι που με άμεσο ή έμμεσο τρόπο έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Πρώτα και κύρια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Λυρίδη γιατί πίστεψε σε μένα και μου ανέθεσε μία εργασία που με βοήθησε να εξελιχθώ, επαγγελματικά και ακαδημαϊκά. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Παπαλεωνίδα για την αμέριστη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε όλο αυτό τον καιρό και για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον κ. Σταύρο Χατζηγρηγόρη, General Manager της Maran Gas Maritime, καθώς και τους κ. Σπήλιο Αδαμόπουλο και Κωνσταντίνο Σακκά για την καθοριστική υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλα αυτά τα βήματα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ότι στάθηκε δίπλα μου σε όλες της αντιξοότητες αυτής της πορείας.

Τέλος ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στην Ειρήνη που είναι πάντα εκεί, πάντα όταν πρέπει, πάντα όπως πρέπει.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ *2*

ABSTRACT *3*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ *4*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ *8*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ LNG *9*

2.1 ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΕΜΠΟΡΙΟ LNG **9**

2.1.1 Εισαγωγή 9

2.1.2 Προσφορά 9

2.1.3 Ζήτηση 10

2.1.4 Διεύρυνση της Αγοράς LNG 12

2.2 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΣΤΟΛΟΣ LNG **15**

2.2.1 Ο Στόλος των LNGC 15

2.2.2 Πλοία Τύπου FSRU 17

2.2.3 Σχεδιασμός των Δεξαμενών Φορτίου 18

2.2.4 Εγκαταστάσεις Πρόωσης 21

2.2.5 Μεταφορική Ικανότητα και Ηλικία του LNGC Στόλου 26

2.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ **28**

2.3.1 Εισαγωγή 28

2.3.2 Παγκόσμια Παραγωγική Ικανότητα 29

2.3.3 Διαδικασίες Υγροποίησης 32

2.3.4 Κεφαλαιακό Κόστος Μονάδας Υγροποίησης 33

2.3.5 Πιθανοί Κίνδυνοι κατά την Υλοποίηση 34

2.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ **35**

2.4.1 Επισκόπηση 35

2.4.2 Παγκόσμια Ικανότητα Αεριοποίησης 36

2.4.3 Σύγκριση Χερσαίων και Πλωτών Μονάδων Αεριοποίησης 38

2.4.4 Κόστος Μονάδων Αεριοποίησης 39

2.4.5 Κίνδυνοι κατά την Υλοποίηση 40

2.5 Η ΝΑΥΛΑΓΟΡΑ ΤΩΝ LNGC **41**

2.5.1 Εισαγωγή 41

2.5.2 Ναύλα και Συνολικό Κόστος Μεταφοράς 43

2.5.3 Εκτίμηση Κόστους και επιπτώσεις 45

2.5.4 Συμπεράσματα 47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΩΣΗΣ LNGC *48*

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ **48**

3.2 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ **50**

3.2.1 Εισαγωγή 50

3.2.2 Συμβατική Εγκατάσταση Ατμοστροβίλου 52

3.2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα 53

3.3 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ 54

3.3.1 Εισαγωγή 54
3.3.2 Λειτουργία των Αεριοστρόβιλων 56
3.3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα 58

3.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ 59

3.4.1 Εισαγωγή 59
3.4.2 Συνδυασμένος Κύκλος Απευθείας Μετάδοσης 59
3.4.3 Τυπική Συνδυασμένη Εγκατάσταση Ατμοστροβίλου και Αεριοστρόβιλου 61

3.5 ULTRA-STEAM TURBINE PLANT 62

3.5.1 Εισαγωγή 62
3.5.2 Ultra-Steam Turbine (UST) 63
3.5.3 Καυστήρας Αναθέρμανσης 64
3.5.4 Εκπομπές Ρύπων 65
3.5.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα 66

3.6 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ DFDF 66

3.6.1 Εισαγωγή 66
3.6.2 Ντηζελοηλεκτρική πρόωση 67
3.6.3 Δομικά στοιχεία Ντηζελοηλεκτρικής πρόωσης 68
3.6.4 Ντηζελοηλεκτρική πρόωση σε LNG carries 70
3.6.5 Διάταξη της Εγκατάστασης 70
3.6.6 Χαρακτηριστικά της εγκατάστασης 72
3.6.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Diesel-electric 73

3.7 ΔΙΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ ME-GI 75

3.7.1 Εισαγωγή 75
3.7.2 Λειτουργία των Δίχρονων Μηχανών Διπλού Καυσίμου 76
3.7.3 Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου 77
3.7.4 Συνολική Διαμόρφωση ενός LNG Πλοίου 78
3.7.5 Παροχή Αέριου Καυσίμου 78
3.7.6 Συμπιεστές 79
3.7.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα 80

3.8 ΔΙΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ X-DF 81

3.8.1 Εισαγωγή 81
3.8.2 Λειτουργία του Κινητήρα 82
3.8.3 Εκπομπές Ρύπων 84
3.8.4 Συμπιεστές Αερίου 85
3.8.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα 86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ 88

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 88

4.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ 89

4.2.1 Βασικά Στοιχεία του υπό Μελέτη Πλοίου 89
4.2.2 Επιχειρησιακό προφίλ του υπό Μελέτη Πλοίου 90

4.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ LNGC 91
4.3.1 Κατανάλωση Καυσίμων και Λιπαντικών Ελαίων 91
4.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ 94
4.4.1 Καθαρά Παρούσα Αξία 94
4.4.2 Έξοδα για τον Πλοιοκτήτη 95
4.4.3 Έξοδα για το Ναυλωτή 97
4.4.4 Έσοδα για τον Πλοιοκτήτη και το Ναυλωτή 99
4.4.5 Καθαρά Παρούσα Αξία για τον Πλοιοκτήτη 101
4.4.6 Καθαρά Παρούσα Αξία για τον Ναυλωτή 103
4.4.7 Required Freight Rate (RFR) και Internal Rate of Return (IRR) 104
4.4.8 Ανάλυση Ευαισθησίας 105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας (International Maritime Organization – IMO) έχει ήδη αναπτύξει και συμφωνήσει να μειωθούν οι εκπομπές ρίπων από τα πλοία που υπηρετούν το παγκόσμιο εμπόριο. Η αναθεωρημένη παράγραφος MARPOL Annex VI, που τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου, μειώνει τα όριο των εκπεμπόμενων ρίπων. Οι εκπομπές αέριων οξειδίων του θείου θα πρέπει να μειωθούν από 3.5% σε 0.5% από 1η Ιανουαρίου του 2020. Επιπρόσθετα, περιορισμοί ρίπων οξειδίων του Αζώτου τίθενται σε ισχύ για συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη (Emission Controlled Area -ECA) για τα πλοία που κατασκευάζονται από 1η Ιανουαρίου του 2016 και η ισχύς του συστήματος πρόωσης είναι μεγαλύτερη από 750kW. Ο στόχος του συγκεκριμένου μέτρου είναι η μείωσης των εκπομπών αερίου που συμβάλουν στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου κατά 50% έως το 2050.

Ένα από σημαντικότερα μέτρα για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί, είναι η χρήση του φυσικού αερίου ως βασικού καυσίμου για την πρόωση. Αν και τα οικολογικά πλεονεκτήματα της χρήσης του φυσικού αερίου είναι πολλά, μία από τις βασικότερες προκλήσεις τεχνολογικά που πρέπει να απαντηθούν είναι συμβατότητα του φυσικού αερίου με τις ναυτικές μηχανές, η εμπορική διαθεσιμότητα και το κόστος του καυσίμου.

Η ιδέα των ναυτικών μηχανών που λειτουργούν με αέριο καύσιμο είναι κοινός τόπος για τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, καθώς κομμάτι του φορτίου αεριοποιείται και πρέπει να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο. Σήμερα, διάφοροι τύποι ναυτικών μηχανών που μπορούν να καταναλώσουν φυσικό αέριο ως βασικό καύσιμο είναι διαθέσιμες στην αγορά, που η τελική τους επιλογή από τους πλοιοκτήτες δεν εξαρτάται μόνο από τη συμβατότητά τους με τους νέους κανονισμούς της ναυτιλίας για τους αέριους ρίπους, αλλά και με το οικονομικό τους προφίλ.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μία εκτενής ανάλυση των συνθηκών που επικρατούν τα τελευταία χρόνια στην αγορά του φυσικού αερίου παγκοσμίως. Παρουσιάζονται οι βασικοί εμπορικοί δρόμοι για τη μεταφορά του φυσικού αερίου, ανάμεσα στους μεγαλύτερους καταναλωτές και παραγωγούς παγκοσμίως.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής παρουσίαση των διαφόρων διαθέσιμων εγκαταστάσεων πρόωσης για τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, που αξιοποιούν το κομμάτι του φορτίου που αεριοποιείται. Παρατίθενται οι παλαιότερες επιλογές πρόωσης, δηλαδή οι στρόβιλοι ατμού και αερίου, καθώς και οι νεότεροι, που αυτή τη στιγμή κυριαρχούν στην αγορά, και είναι η Ηλεκτρική Πρόωση και οι Δίχρονοι Κινητήρες Διπλού Καυσίμου.

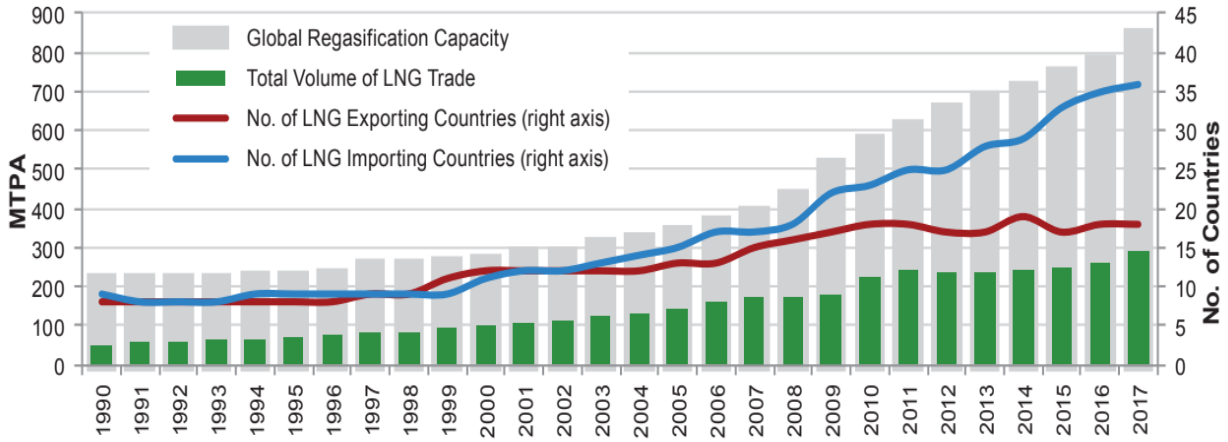
Τα συστήματα πρόωσης, που επικρατούν στην αγορά συγκρίνονται στη παρούσα εργασία, μέσω από μία τεχνικο-οικονομική ανάλυση. Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτρέπει τη σύγκριση των διαφόρων συστημάτων, μέσα από το πρίσμα της οικονομικής απόδοσης για τη μεριά του πλοιοκτήτη και του ναυλωτή. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για τον κύκλο ζωής του υπό εξέτασης πλοίου παρουσιάζονται μέσω μίας εκτενής και ρεαλιστικής ανάλυσης στο τέλος αυτής της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ LNG

2.1 ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΕΜΠΟΡΙΟ LNG

2.1.1 Εισαγωγη

Το 2017 η παγκόσμια εισαγωγή LNG έφτασε τους 289,8 εκατομμύρια τόνους, καταγράφοντας αύξηση κατά 26,2 εκατομμύρια τόνους ή 9,9% σε σχέση με το 2016, η οποία αποτελεί και τη μεγαλύτερη αύξηση στη ζήτηση LNG από το 2010. Ο αριθμός των χωρών παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου παρέμεινε σταθερός το 2017, με 19 χώρες να διαθέτουν τα αποθέματά τους στον παγκόσμιο χάρτη. Αντίθετα, με την εισαγωγή της Μάλτας, οι παγκόσμιοι καταναλωτές ανήλθαν στους 40.



Σχήμα 3.1.1: Εμπορεύσιμες Ποσότητες LNG, Πηγή: IHS Markit, IEA, IGU

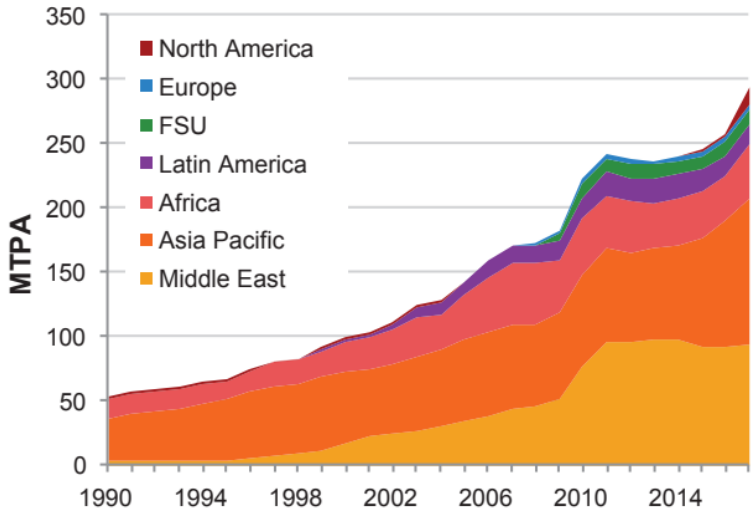
Η ήπειρος με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε LNG είναι η Ασία, με τις αγορές της να αποτελούν το 79,2% της παγκόσμιας ζήτησης ή 211,2 εκατ. τόνους, καταγράφοντας μία αύξηση της τάξης του 10,2%, κυρίως λόγω της ζήτησης της Κίνας. Η Ιαπωνία ήταν ο μεγαλύτερος εισαγωγός παγκοσμίως, αφού εισήγαγε 83,5 εκατ. τόνους, ενώ ακολουθεί η Κίνα με 39 εκατ. τόνους, η οποία αύξησε τη ζήτησή της κατά 42%, τη στιγμή που το 2016 είχε καταγράψει μία αύξηση της τάξης του 36,9%. Από τη μεριά των παραγωγών, η Αυστραλία κατέχει τα πρωτεία με 127,9 εκατ. τόνους ετησίως και δύο καινούργιους σταθμούς που παραδόθηκαν το 2017. Οι ΗΠΑ ήταν η χώρα με τους περισσότερους πελάτες παγκοσμίως, αφού διέθεσαν το LNG τους σε 25 διαφορετικές χώρες, ακολουθούμενες από το Κατάρ με 24.

2.1.2 Προσφορα

Πέντε καινούργια terminals λειτούργησαν την προηγούμενη χρονιά: δύο στην Αυστραλία, δύο στις ΗΠΑ, ένα στη Ρωσία, μία πλωτή κατασκευή υγροποίησης φυσικού αερίου (FPSO-FSRU) στη Μαλαισία, καθώς και το FLNG της Shell, που ξεκίνησε να λειτουργεί εντός του 2018. Η προσφορά LNG αυξήθηκε από την Αυστραλία κατά 10 εκατ. τόνους και τις ΗΠΑ κατά 9,6 εκατ.

τόνους, λόγω των καινούργιων σταθμών, ενώ από την Αλγερία, την Αγκόλα και τη Νιγηρία κατά 6,2 εκατ. τόνους, λόγω μεγαλύτερης απόδοσης των σταθμών που ήδη υπάρχουν. Αντίθετα η παραγωγή μειώθηκε στη Μέση Ανατολή, και ειδικότερα στο Κατάρ, κυρίως λόγω εργασιών προγραμματισμένης, αλλά και μη-προγραμματισμένης συντήρησης.

Η Λεκάνη του Ειρηνικού παραμένει η μεγαλύτερη πηγή LNG με παραγωγή ίση με 131,4 εκατ. τόνους ή το 45,3% του συνόλου της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής. Ακολουθεί η Μέση Ανατολή με το 31,5% της παγκόσμιας παραγωγής και η Λεκάνη του Ατλαντικού με 23,2%. Λόγω της μείωσης της παραγωγής του Κατάρ, η διαφορά μεταξύ της Λεκάνης του Ειρηνικού και της Μέσης Ανατολής διευρύνθηκε από 25 εκατ. τόνους το 2016 σε 40 εκατ. τόνους το 2017. Ακόμα, η διαφορά ανάμεσα στην παραγωγή της Μέσης Ανατολής και της Λεκάνης του Ατλαντικού μειώθηκε από 42,2 εκατ. τόνους σε 24,2 εκατ. τόνους. Το 2018 η Λεκάνη του Ατλαντικού αναμένεται να αυξήσει την διάθεση φυσικού αερίου στην αγορά, καθώς νέοι σταθμοί θα τεθούν σε λειτουργία στις ΗΠΑ.

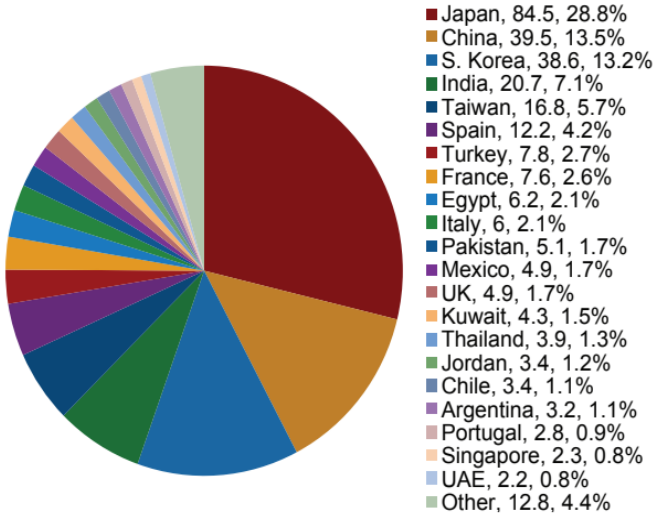


Σχήμα 3.1.2: Εξαγωγές ανά περιοχή 1990-2017, Πηγή: IHS Markit, IGU

2.1.3 ΖΗΤΗΣΗ

Η εισαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου στην περιοχή της Ασίας αυξήθηκε κατά 10,2% στους 211,2 εκατ. τόνους το χρόνο, καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση ως περιοχή κατανάλωσης, με την αγορά της να καταλαμβάνει το 72,9% της παγκόσμιας ζήτησης. Η Ιαπωνία παραμένει ο μεγαλύτερος εισαγωγός με 83,5 εκατ. τόνους, ή το 28,8% της αγοράς και ακολουθείται από τη Κίνα με 39 εκατ. τόνους ετησίως. Η Κίνα κατέλαβε τη δεύτερη θέση, που ξεπέρασε ς τη Νότια Κορέα και έφερε ισορροπία στην αγορά μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης το 2017. Αυτό ήταν αποτέλεσμα της απόφασης της κυβέρνησης της Κίνας να αντικαταστήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα, και ειδικότερα από τον άνθρακα, με φυσικό αέριο, ώστε να μειωθεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας στις κινέζικες μεγαλουπόλεις. Για τους παραπάνω

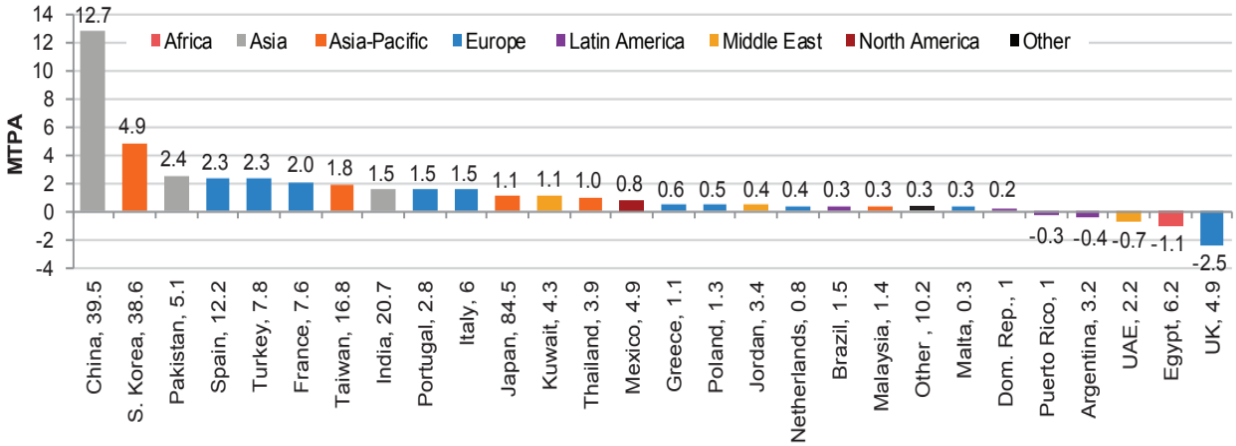
λόγους, η εισαγωγή φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 42,3% ή 11,6 εκατ. τόνους, ακολουθώντας την έτσι και αλλιώς μεγάλη αύξηση ζήτησης του 2016 με 36,9%.



Σχήμα 3.1.3: Εξαγωγές και μερίδιο της Αγοράς ανά χώρα, Πηγή: IHS Markit, IGU

Χαρακτηριστικό της στροφής της κινέζικης αγοράς στο υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ότι, σύμφωνα με αναφορές, 10,2 εκατ. τόνοι αερίου μεταφέρθηκαν από τους σταθμούς με βυτιοφόρα, που καταδεικνύει την ύπαρξη ενός συγκροτημένου δικτύου εφοδιασμού της ενδοχώρας, άρα και μία ιδιαίτερα μεγάλη επένδυση από τη συγκεκριμένη χώρα.

Η Νότια Κορέα αύξησε, και αυτή με τη σειρά της, τις εισαγωγές της σε LNG το 2017 κατά 3,6 εκατ. τόνους, λόγω της αύξησης των απαιτήσεων στο κομμάτι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα η Ινδία, που είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος εισαγωγός LNG στην Ασία, αύξησε τη ζήτησή της μόλις κατά 1,2%, κυρίως λόγω της αύξησης της τιμής του LNG στην αγορά, καθώς και των υψηλότερων τιμών του πετρελαίου. Το Πακιστάν, που το τέταρτο τρίμηνο του έτους ναύλωσε ένα δεύτερο FSRU, ξεπέρασε την Ινδονησία και την Ταϊλάνδη και έγινε η πέμπτη μεγαλύτερη αγορά της Ασίας, με 4,6 εκατ. τόνους εισαγωγή το προηγούμενο έτος.



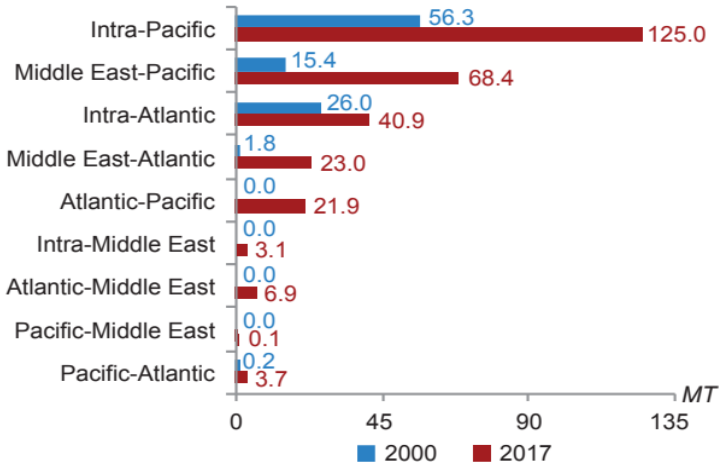
Σχήμα 3.1.4: Αύξηση εισαγωγών ανά χώρα το 2017 και αύξηση σε σχέση με το 2016, Πηγή: IHS Markit, IGU

Στην Ευρώπη, οι εισαγωγές LNG αυξήθηκαν κατά 7,5 εκατ. τόνους ή 19,5%, κυρίως λόγω των απαιτήσεων στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συνδυασμός της μικρής παραγωγής υδροηλεκτρικής και πυρηνικής ενέργειας στη Γαλλία και του ζεστού καιρού το καλοκαίρι οδήγησαν σε αύξηση 9,1 εκατ. τόνων στις χώρες της Νότιας Ευρώπης (Γαλλία, Ελλάδα, Ισπανία Ιταλία, Τουρκία και Πορτογαλία). Αντίθετα, στις βόρειες χώρες (Βέλγιο, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο), η ζήτηση μειώθηκε κατά 2,1 εκατ. τόνους. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο, που ελάττωσε τις εισαγωγές του κατά 2,6 εκατ. τόνους, λόγω της μειωμένης διάθεσης αερίου από το Κατάρ. Τέλος, αν και πέρυσι υπήρξε αύξηση της ζήτησης στην Ευρώπη, συνολικά οι εισαγωγές έχουν μειωθεί κατά 50% από το 2010, κυρίως λόγω στη μείωση των απαιτήσεων για φυσικό αέριο και τον ανταγωνισμό από τη εισαγωγή αερίου με αγωγούς.

Οι εισαγωγές στην αμερικάνικη ήπειρο κατέγραψαν μικρή αύξηση το 2017 σε σχέση με το προηγούμενο έτος, κατά 4,1%. Το Μεξικό θεωρείται ως η χώρα με τη μεγαλύτερη αύξηση, κυρίως λόγω των περιορισμών των εισαγωγών του από τους αμερικάνικους αγωγούς αερίου. Οι εισαγωγές στο Πουέρτο Ρίκο μειώθηκαν κατά 0,3 εκατ. τόνους, λόγω του Τυφώνα Μαρία που έπληξε την περιοχή το καλοκαίρι, ενώ οι εισαγωγές της Αργεντινής κατέγραψαν νέα μείωση λόγω της αύξησης της εγχώριας παραγωγής. Συνολικά, η μόνη περιοχή του πλανήτη που καταγράφηκε μείωση της ζήτησης για LNG ήταν η Μέση Ανατολή, όπου μειώθηκε κατά 9,1% ή 1,6 εκατ. τόνους. Ο κύριος παράγοντας για αυτή τη μείωση είναι ότι η Αίγυπτος χρησιμοποιεί το LNG που παράγει για ίδια κατανάλωση.

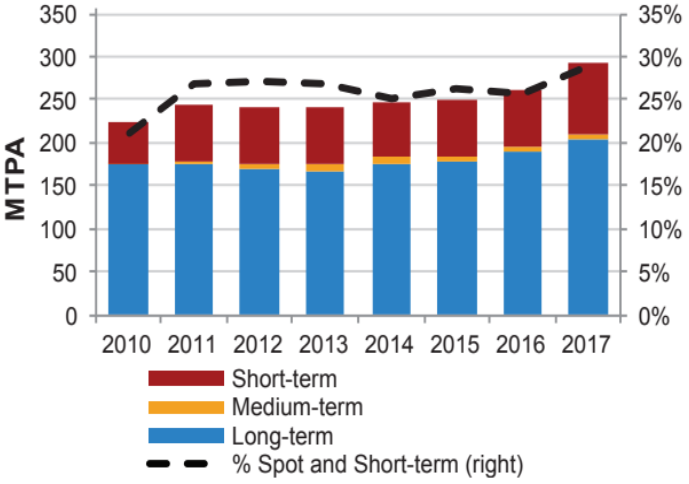
2.1.4 Διευρυνση της Αγορας LNG

Λόγω της αύξησης των απαιτήσεων των ασιατικών αγορών για φυσικό αέριο και της παράλληλης αύξησης της διαθέσιμης ποσότητας LNG από τη μεριά της Αυστραλίας, οι μεταφορές εντός του Ειρηνικού Ωκεανού διατηρούν τη μερίδα του λέοντος παγκοσμίως, με την ποσότητα να ανέρχεται σε 127,9 εκατ. τόνους ή το 44%, ενώ ακολουθούν οι μεταφορές από τη Μέση Ανατολή στις χώρες του Ειρηνικού με 65 εκατ. τόνους ή 22%. Από τον Ατλαντικό στον Ειρηνικό αυξήθηκαν περισσότερο από 50%, λόγω των παραδόσεων φορτίων από τις ΗΠΑ στην Ασία και συγκεκριμένα στην Κίνα, τη Νότια Κορέα και την Ιαπωνία.



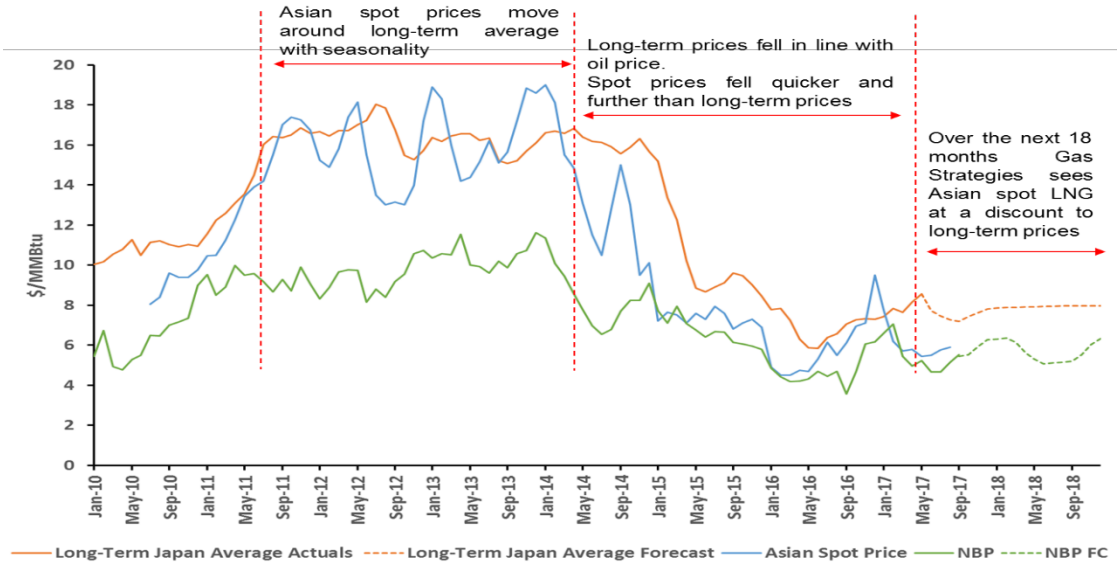
Σχήμα 3.1.5: Εμπόριο LNG ανά Λεκάνη, Πηγή: IHS Markit, IGU

Στον τομέα της ποικιλίας των πελατών, οι ΗΠΑ ηγούνται παγκοσμίως, καθώς εξήγαγαν το 2017 σε 25 διαφορετικές χώρες, από 13 το 2016, στη συνέχεια έρχεται το Κατάρ με 24, από 25 το 2016 και μετά η Νιγηρία με 24 χώρες από 21 το 2016. Το φυσικό αέριο των ΗΠΑ κατέληξε κατά 40% στις αγορές της Ασίας, κατά 34% καταναλώθηκε από τους ίδιους τους Αμερικάνους, 15% κατέληξε στην Ευρώπη και τέλος ένα 11% στη Μέση Ανατολή. Οι εισαγωγές με μεσοπρόθεσμα και spot συμβόλαια αυξήθηκαν πέρυσι κατά 2,1 εκατ. τόνους σε 77,6 εκατ. τόνους από 75,5 που ήταν το 2016. Το κομμάτι αυτό αποτέλεσε το 27% των συνολικών εισαγωγών. Από τη μεριά των παραγωγών, το κομμάτι της αγοράς των μεσοπρόθεσμων και spot συμβολαίων, στηρίχθηκε βασικά στις ανάπτυξη των εξαγωγών των ΗΠΑ, όπου το 10,4% του συνολικού εξαγόμενου όγκου LNG παραδόθηκε με συμβόλαια 4 ετών ή και λιγότερο. Αντίθετα, η αγορά του Κατάρ υποχώρησε σε αυτό το κομμάτι από 27,3% το 2016 σε 19,7% τη χρονιά που πέρασε.



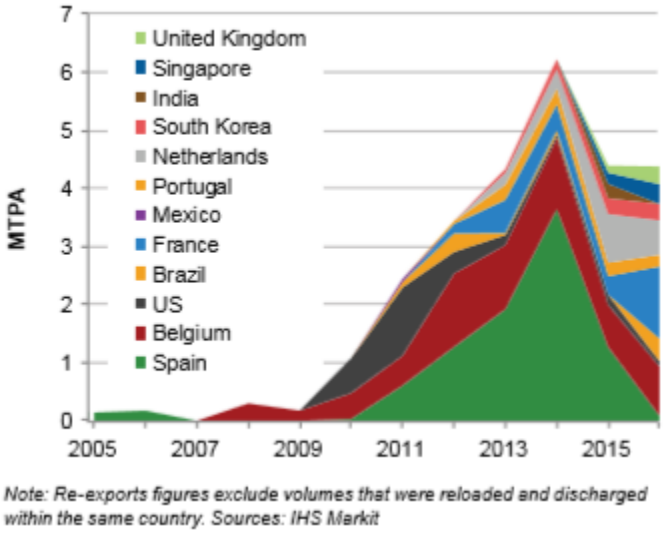
Σχήμα 3.1.6: Βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα συμβόλαια, Πηγή: IHS Markit, IGU

Στο κομμάτι των εισαγωγών, η Κίνα και η Νότια Κορέα έδειξαν τη μεγαλύτερη διάθεση για μεσοπρόθεσμα και spot συμβόλαια, αποτυπώνοντας μία αύξηση 3,0 και 4,1 εκατ. τόνων αντίστοιχα. Σε αυτό το κομμάτι, η Ιαπωνία εμφάνισε τη μεγαλύτερη μείωση κατά 2,8 εκατ. τόνους, αν και η συνολική της ζήτηση έμεινε σταθερή, ακολούθησε η Ιορδανία με μείωση 1,9 εκατ. τόνους και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα με μείωση 1,7 εκατ. τόνους. Τα αμιγώς spot συμβόλαια LNG, αυτά δηλαδή που εκτελούνται σε λιγότερο από τρεις μήνες από την ημερομηνία της συναλλαγής, αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% των συνολικών συναλλαγών ή 59 εκατ. τόνους το 2017. Αυτού του τύπου οι συναλλαγές ευνοήθηκαν από τη ζήτηση για συμβόλαια με ευελιξία στην ημερομηνία παράδοσης των φορτίων, από αυξημένες συναλλαγές χαρτοφυλακίου και τέλος από τον αυξημένο όγκο φορτίου που ήταν διατέθηκε στην αγορά. Η περιοχή της Ασία εισήγαγε το 60% των spot LNG ή 35,4 εκατ. τόνους, ακολούθως η Ευρώπη με 9,0 εκατ. τόνους, η Αμερική με 8,6 εκατ. τόνους και τέλος η Μέση Ανατολή με 5,5 εκατ. τόνους. Η μεγαλύτερη αύξηση στις spot εισαγωγές έγινε από τις Κίνα και Νότια Κορέα, που εισήγαγαν το 21% και 22% αντίστοιχα της συνολικής ποσότητάς τους σε φυσικό αέριο για το 2017 με αυτό τον τρόπο.



Σχήμα 3.1.7: Είδος συμβολαίων της Ιαπωνίας 2014-2018, Πηγή: IHS Markit, IGU

Το 2017, μία ποσότητα της τάξης των 2,6 εκατ. τόνων επανεξήχθει από δώδεκα χώρες προς άλλες είκοσι, ποσότητα που μειώθηκε κατά 1.9 εκατ. τόνους, λόγω των μικρών αποκλίσεων στις τιμές των διαφόρων αγορών κατά το μεγαλύτερο μέρος της περσινής χρονιάς και λόγω της αύξησης της διαθεσιμότητας φυσικού αερίου με spot συμβόλαια. Η Γαλλία ήταν ο μεγαλύτερος εξαγωγός σε αυτό τον τομέα με 0,7 εκατ. τόνους, ακολουθούμενη από την Ολλανδία με 0,5 εκατ. τόνους και τη Σιγκαπούρη με 0,5 εκατ. τόνους. Περισσότερα από το μισό όγκο αυτών των συναλλαγών κατέληξε στην Κίνα. Τέλος άλλες δύο χώρες άρχισαν να επανεξάγουν πέρυσι, η Ιαπωνία και η Δομινικανή Δημοκρατία.

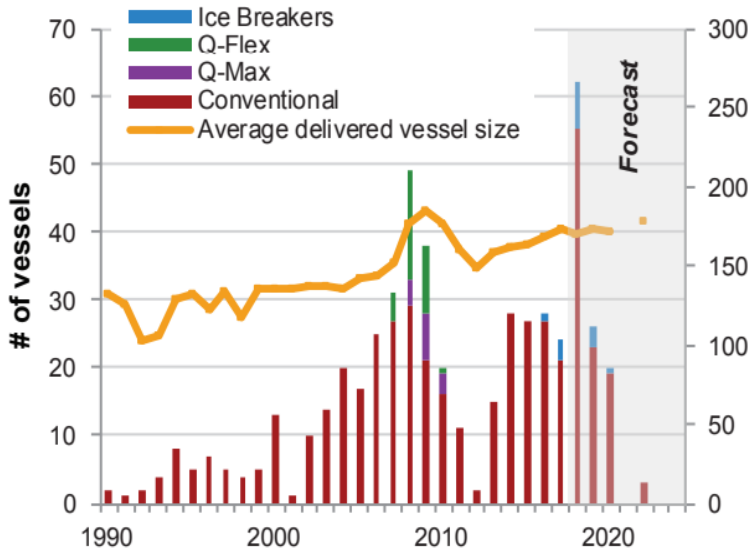


Σχήμα 3.1.8: Επανεξαγωγές LNG ανά χώρα, Πηγη: IHS Markit, IGU

2.2 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΣΤΟΛΟΣ LNG

2.2.1 Ο ΣΤΟΛΟΣ ΤΩΝ LNGC

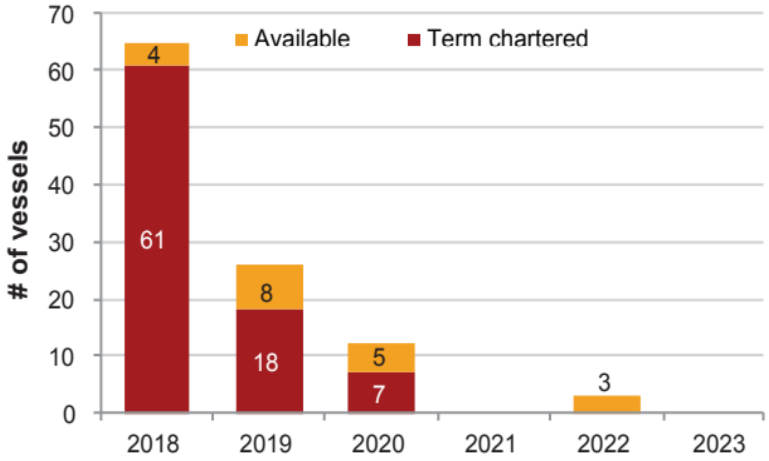
Στα τέλη του 2017, ο παγκόσμιος στόλος των LNG διαμορφώθηκε στα 511 πλοία, είτε αυτά έλαβαν ενεργά μέρος στο παγκόσμιο εμπόριο, είτε ήταν διαθέσιμα για να μεταφέρουν φορτίο στις παγκόσμιες αγορές. Στο στόλο αυτό περιλαμβάνονται 28 πλοία τύπου FSRU και 38 πλοία μικρότερα των 50,000 κυβικών μέτρων μεταφορικής ικανότητας. Η συνολική μεταφορική ικανότητα στα τέλη του 2017 ανήλθε στα 73,9 εκατ. κυβικά μέτρα, ενώ η συνολική μεταφορική ικανότητα των πλοίων που είναι γνωστό ότι προσφέρουν ενεργά τις παροχές τους ανήλθε στα 69,9 εκατ. κυβικά μέτρα. Εντός του 2017 παραδόθηκαν 34 πλοία μεταφοράς LNG, τέσσερα εκ των οποίων είναι FSRU και επτά έχουν μεταφορική ικανότητα μικρότερη των 50,000 μετρικών τόνων, αυξάνοντας έτσι το συνολικό αριθμό πλοίων κατά 7%, ενώ το 2016 παραδόθηκαν 31 πλοία, με μία αντίστοιχη ποσοστιαία αύξηση του παγκόσμιου στόλου.



Σχήμα 3.2.1: Στόλος των LNGC και έτος παράδοσης, Πηγή: IHS Markıt

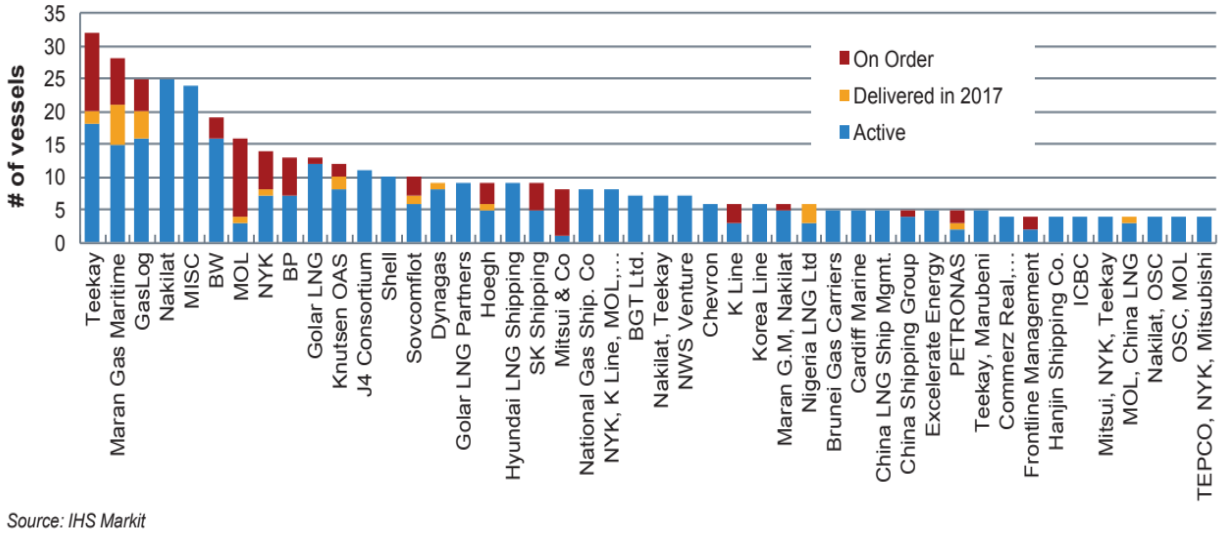
Η μεταφορική ικανότητα των πλοίων συνεχίζει καταγράφει άνοδο, καθώς οι ναυλωτές προτιμούν τα μεγαλύτερα πλοία, ώστε να μειώσουν το κόστος μεταφοράς του φορτίου. Η μέση μεταφορική ικανότητα, εξαιρώντας τα πλοία κάτω των 50,000 κυβικών μέτρων, ανήλθε στα 170,435 κυβικά μέτρα για το έτος αυτό, σημειώνοντας αύξηση σε σχέση με το 2016, που ήταν 168,000 κυβικά μέτρα και με το 2015, που διαμορφώθηκε στα 153,000 κυβικά μέτρα. Η μεταφορική ικανότητα των πλοίων που παραδόθηκαν το 2017 ευθυγραμμίζεται με τη διάθεση των αγορών για μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων φυσικού αερίου από τις παραγωγικές χώρες και τους νέους σταθμούς που λειτούργησαν κατά το 2017, προς τις νέες και παραδοσιακές καταναλώτριες χώρες. Έτσι, λοιπόν, η τάση για αύξηση της μέσης μεταφορικής ικανότητας, που ξεκίνησε έντονα το 2013, συνεχίστηκε το 2017 και υπερβαίνει την αντίστοιχη αύξηση του LNG που εμπορεύτηκε παγκοσμίως κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι η υποτίμηση των ναύλων, μία τάση που φάνηκε να αλλάζει προς το τέλος του έτους,

λόγω της αύξησης της ζήτησης από τις αγορές της Ασίας. Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφές ότι, αντίθετα με τους κύκλους κατασκευής νέων πλοίων στο παρελθόν, οι τωρινές παραγγελίες είναι κερδοσκοπικές, καθώς δεν ανταποκρίνονται σε έναν στοχευμένο σχεδιασμό.



Σχήμα 3.2.2: Εκτιμώμενες παραδόσεις LNGC, Πηγή: IHS Markıt

Με την ολοκλήρωση της Διώρυγας του Παναμά να έχει πλέον ολοκληρωθεί, το 91% του παγκόσμιου στόλου LNG μπορεί σήμερα να διασχίσει το Κανάλι. Το 2016, οι προσδοκίες ότι η πολυαναμενόμενη αυτή επέκταση θα επιτελέσει κινητήριο δύναμη για να αντιστραφεί η κατάσταση στη ναυλαγορά και να συνδεθεί η αμερικάνικη εξαγωγική δραστηριότητα με τις αγορές της Ασίας δεν επαληθεύτηκε. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος των ποσοτήτων που περνούσαν το Κανάλι κατέληγαν στη Λατινική Αμερική και σε χώρες όπως η Χιλή. Η εικόνα αυτή άρχισε να αλλάζει στο τέλος του έτους, τάση που συνεχίστηκε και στο επόμενο, με τον εφοδιασμό της αγοράς κυρίως της Κίνας από τις ΗΠΑ να αυξάνεται αισθητά, αν και το αέριο της Λεκάνης του Ειρηνικού έπαιξε πρωταγωνιστικό ρόλο στην κάλυψη της ζήτησης των ασιατικών αγορών.



Σχήμα 3.2.3: Στόλος και παραγγελίες ανά εταιρία. Πηγή: HIS Market

2.2.2 Πλοια Τυπου FSRU

Ένα από τα φωτεινά σημεία στην αγορά του LNG για τις χρονιές 2016 και 2017 ήταν τα πλοία τύπου FSRU, τα οποία χαίρουν μεγάλης ζήτησης. Τα FSRU είναι ιδανικά για περιπτώσεις χωρών που θέλουν να αντικαταστήσουν κομμάτι της κατανάλωσης άλλων πηγών ενέργειας, όπως τα υγρά καύσιμα, με φυσικό αέριο σε σύντομο χρονικό διάστημα και με περιορισμένο κόστος, καθώς και για χώρες με μικρή παραγωγή αερίου. Για τις περιπτώσεις αυτές, η λύση των FSRU πλοίων προκρίνεται, καθώς το κόστος κατασκευής ενός σταθμού αεριοποίησης στη στεριά είναι πολλές φορές απαγορευτικό.

Terminal	Location	Current Vessel	Storage m3	Nominal mmscfd	Nominal mtpa	Start-up
Northeast Gateway	USA	Deepwater Port (2 Buoys - No permanent vessel)	-	600	5.0	2008
Bahia Blanca	Argentina	Exemplar	138,000	500	4.1	2008
Pecem	Brazil	Golar Spirit	129,000	240	2.0	2008
Guanabara Bay	Brazil	Experience (Prior 2014 other vessels)	173,400	700	5.8	2009
Buenos Aires	Argentina	Exquisite	149,700	500	4.1	2011
Jakarta Bay	Indonesia	Nusantara Regas Satu	125,000	485	4.0	2012
Hadera	Israel	Excellence	138,000	500	4.1	2013
Tianjin	China	Neo Energy (Replaced Suez Cape Ann)	149,700	500	4.1	2013
Bahia, Salvador	Brazil	Golar Winter	138,000	500	4.1	2014
Mina Al Ahmadi Port	Kuwait	Golar Igloo	170,000	500	4.1	2014
Klaipeda	Lithuania	Independence	170,000	384	3.2	2014
Lampung, Sumatra	Indonesia	PGN Lampung	170,000	360	3.0	2014
Offshore Livorno	Italy	FSRU Toscana (Golar Frost)	137,500	530	4.4	2014
Jebel Ali	Dubai	Explorer (Replaced Golar Freeze)	151,000	500	4.1	2015
Port Qasim 1	Pakistan	Exquisite	151,000	500	4.1	2015
Ain Sokhna 1	Egypt	Gallant	170,000	500	4.1	2015
Aqabar	Jordan	Golar Eskimo	160,000	500	4.1	2015
Ain Sokhna 2	Egypt	BW Singapore	170,000	500	4.1	2016
Ruwais	Abu Dhabi	Excelerate	138,000	500	4.1	2016
Aliaga, Izmir	Turkey	FSRU Neptune (GdF Suez Neptune)	145,000	500	4.1	2016
Cartagena	Colombia	Grace	170,000	500	4.1	2017
Aguirre	Puerto Rico	Expedient (Proposed)	138,000	500	4.1	2018
Punta de Sayago	Uruguay	GNL Del Plata	263,000	500	4.1	2018
Tema	Ghana	Golar Tundra (Pending Final Contract)	170,000	350	2.9	2018

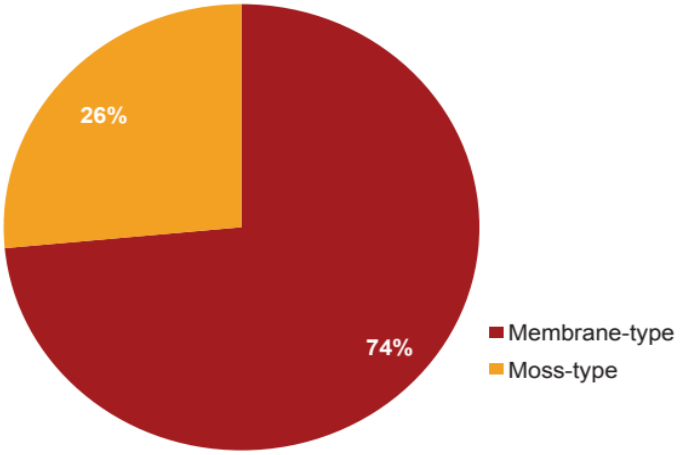
Πίνακας 3.2.1: FSRU πλοία ανά λιμάνι. Πηγή: The Oxford University for Energy

Μάλιστα κάποιοι πλοιοκτήτες έχουν αρχίσει να συμφωνούν με ναυπηγεία για μετατροπές συμβατικών LNG πλοίων σε FSRU. Στα τέλη του 2017, ο παγκόσμιος στόλος των FSRU

αποτελούταν από 28 πλοία, με τη συνολική μεταφορική ικανότητά τους να φτάνει τα 4,3 εκατ. κυβικά μέτρα. Για τα επόμενα χρόνια έχουν γίνει παραγγελίες για ακόμα δώδεκα τέτοια πλοία, πέντε εκ των οποίων αναμένεται να παραδοθούν εντός του 2018. Στα μέσα του 2017, ο συνολικός στόλος ανερχόταν σε 24 πλοία, από τα οποία τα 23 ήταν ναυλωμένα, ενώ μόνο ένα ήταν χωρίς ναύλο. Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται τα πλοία και οι τοποθεσίες που βρίσκονταν τη δεδομένη χρονική περίοδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει το ενδεχόμενο αλλαγής των πλοίων που λειτουργούν σε κάθε λιμάνι για μία σειρά από λόγους, όπως η μεγαλύτερη ζήτηση αερίου, που οδηγεί στην ανάγκη να χρησιμοποιηθεί FSRU με μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα. Τα FSRU μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πλωτές μονάδες αποθήκευσης φυσικού αερίου (Floating Storage Unit – FSU). Ένα τέτοιο παράδειγμα για το 2016 είναι το Golar Arctic, το οποίο βρισκόταν στις ακτές της Τζαμάικα. Το πολύ μικρότερο Coral Anthelia έπαιρνε φορτίο από το Golar Arctic με τη διαδικασία ship-to-ship και παρέδιδε το φορτίο του στο Montego Bay, σε χερσαίο σταθμό αεριοποίησης. Μία αντίστοιχη περίπτωση έλαβε χώρα και στη Μάλτα, η οποία στην πρώτη διαδικασία αεριοποίησης χρησιμοποίησε μία τέτοια μονάδα.

2.2.3 Σχεδιασμος των Δεξαμενων Φορτιου

Στον τομέα των χαρακτηριστικών των δεξαμενών που φέρουν τα LNG πλοία, δύο βασικές αρχές σχεδίασης κυριάρχησαν: η σχεδίαση τύπου Moss Rosenberg και η σχεδίαση τύπου μεμβράνης, που χρησιμοποιεί λεπτές, ευέλικτες μεμβράνες, οι οποίες υποστηρίζονται από τα μονωμένα τοιχία της γάστρας. Ο σχεδιασμός Moss Rosenberg ξεκίνησε το 1971 και είναι ευρύτερα γνωστός από τις ανεξάρτητες σφαιρικές δεξαμενές, που συχνά το άνω τους μέρος είναι εκτεθειμένο. Η σχεδίαση τύπου Μεμβράνης συναντάται σε πολλές παραλλαγές από διαφορετικές εταιρίες σήμερα, αλλά οι πιο κοινές είναι η Gaztransport και Technigaz (GTT). Το σύστημα μεμβράνης GTT Mark V είναι το νεότερο, έχει πολύ μικρό ρυθμό βρασμού του αερίου (περίπου 0,08%) και εισήχθη πρώτη φορά στην αγορά από τη Gaslog το 2016 σε ένα πλοίο μεταφορική ικανότητας 180,000 κυβικών μέτρων που κατασκευάζεται από τη Samsung Heavy Industry.



Σχήμα 3.2.4: Ποσοστό είδους κατασκευής δεξαμενών φορτίου, Πηγή: IHS Markıt

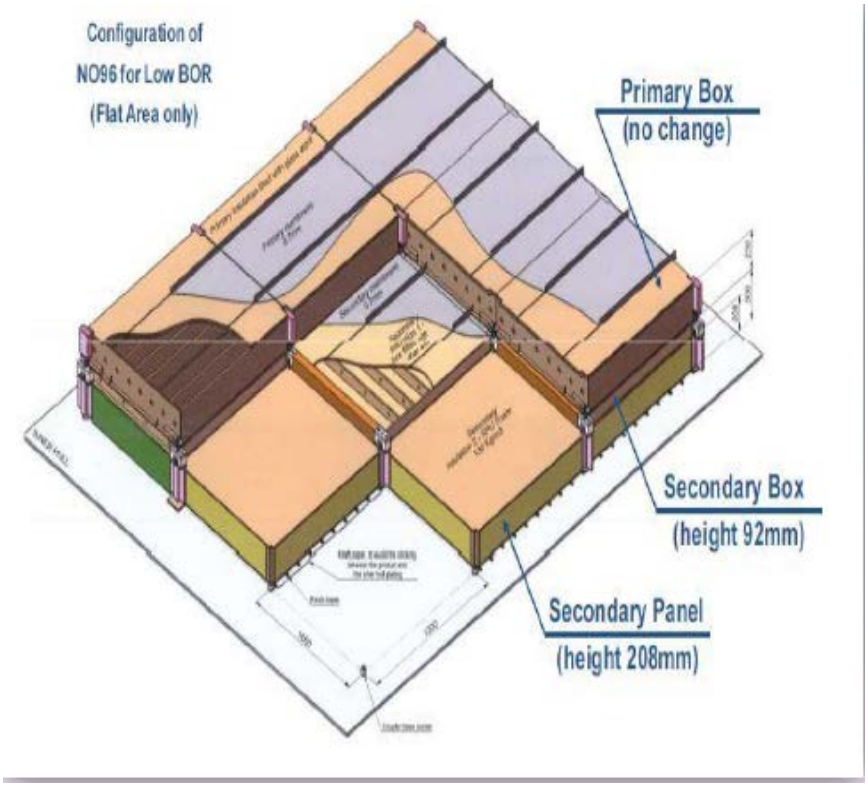
Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές διατάξεις μόνωσης τύπου μεμβράνης:

No. 96

Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν το σύστημα είναι τα κιβώτια της μόνωσης, τα οποία σήμερα περιέχουν υαλοβάμβακα και το μεταλλικό υλικό που τα προστατεύει από το LNG και συνθέτει τη μεμβράνη, το Invar. Σε αυτή τη διάταξη, υπάρχουν δύο επίπεδα από κιβώτια και Invar που αποτελούν την τελική μόνωση. Ακόμα, χρησιμοποιούνται στοιχεία για να ενωθούν τα διάφορα κομμάτια μεταξύ τους, όπως ειδικοί ήλοι. Το μεγάλο πλεονέκτημα της διάταξης αυτής είναι η ευκολία με την οποία συγκολλάται το Invar, καθώς η διάταξή του επιτρέπει κάτι τέτοιο. Ο ρυθμός εξάτμισης φτάνει το 0,12% του συνολικού φορτίου ανά ημέρα.

No.96 – LO3

Η διάταξη αυτή έχει πολλές ομοιότητες με την προηγούμενη. Η βασική της διαφορά είναι ότι, εκτός από τον υαλοβάμβακα, τοποθετείται και μία σειρά από μονωτικό αφρό ανάμεσα στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο της μόνωσης, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την αποτελεσματικότητά της. Ο ρυθμός εξάτμισης φτάνει το 0,108% του συνολικού φορτίου ανά ημέρα.

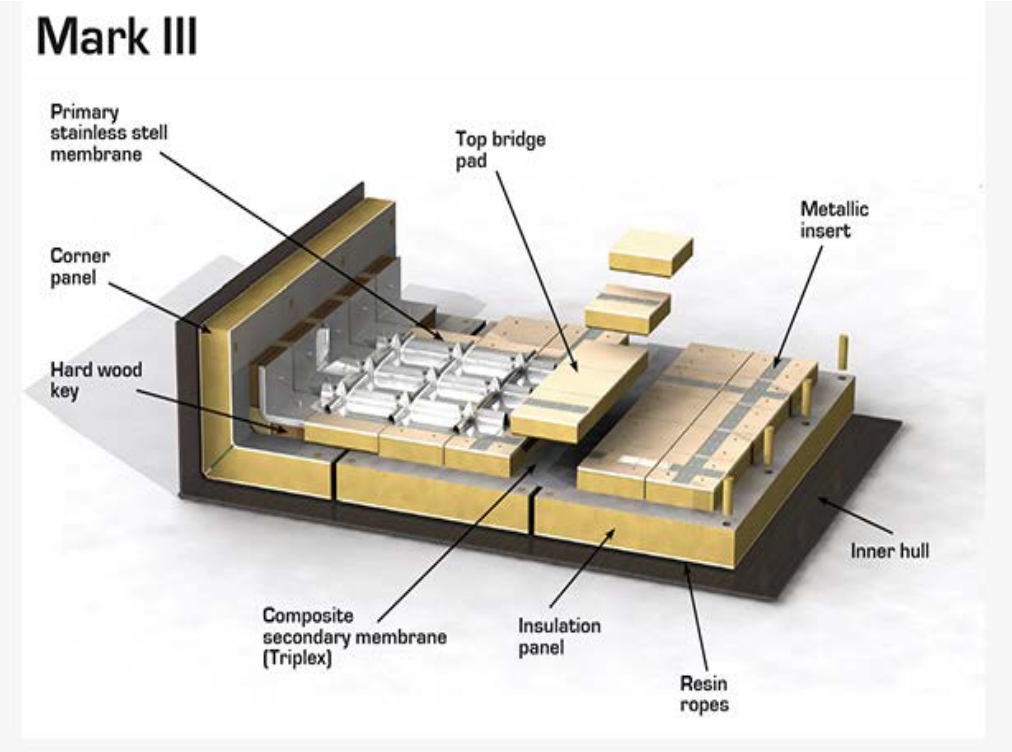


Σχήμα 3.2.5: Διάταξη τύπου No. 96. Πηγή: GTT

MKIII και MKIII flex

Το βασικό μονωτικό υλικό στο σύστημα αυτό είναι ο αφρός πολυουρεθάνης, που τοποθετείται σε δύο διαφορετικού μεγέθους κιβώτια. Ανάμεσα στα δύο επίπεδα μόνωσης εγκαθίσταται μία διαχωριστική μεμβράνη από Triplex υλικό και η προστασία των κιβωτίων από το LNG γίνεται με μία μεμβράνη από ανοξείδωτο χάλυβα. Ο χάλυβας σχηματίζει τετράγωνα και διαφέρει από τη διάταξη του No. 96. Μία βασική δυσκολία κατά την εγκατάσταση είναι ότι τα κιβώτια που

τοποθετούνται στα άκρα της δεξαμενής δεν έχουν ορθογώνιο παραλληλόγραμμο σχήμα, αλλά είναι κεκλιμένα και θέλουν πολύ ακριβής μελέτη πριν από την κατασκευή τους.



Σχήμα 3.2.6: Διάταξη τύπου Mark III. Πηγή: GTT

Επιπλέον στοιχεία που τοποθετούνται στη διάταξη αφορούν τη σύνδεση των βασικών στοιχείων που αποτελούν τη μόνωση. Η βασική εξέλιξη της MKIII Flex σε σχέση με την προηγούμενη είναι ότι το πάχος του δεύτερου επιπέδου μόνωσης αυξήθηκε στα 400 mm. Έτσι, ενώ στο πρώτο σύστημα η ημερήσια εξάτμιση είναι 0,150% του συνολικού φορτίου ανά ημέρα, στο flex είναι 0,095%.

<u>CS1</u>

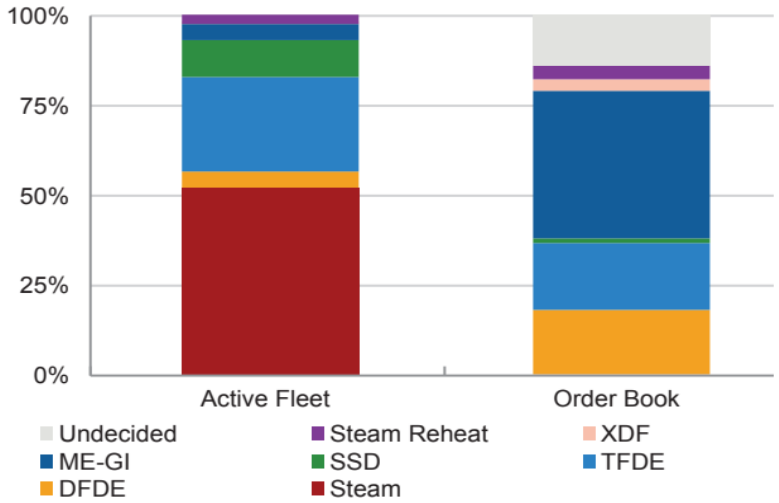
Η διάταξη αυτή είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων συστημάτων μόνωσης, της No. 96 και της MKIII. Έτσι, το πρώτο επίπεδο της μεμβράνης είναι από Invar υλικό, ενώ το δεύτερο από Triplex. Το μονωτικό υλικό είναι ο αφρός πολυουρεθάνης. Ο ρυθμός εξάτμισης του φορτίου είναι 0,150% ανά ημέρα.

Στο τέλος του 2016, το 74% του παγκόσμιου ενεργού στόλου έφερε στις δεξαμενές φορτίου του συστήματα τύπου Μεμβράνης, ενώ το 93% των νέων παραγγελιών θα έχουν εγκατεστημένη αυτού του τύπου τη μόνωση. Και τα δύο από τα παραπάνω συστήματα βασίζονται σε ιδιαίτερα ακριβές εγκαταστάσεις μόνωσης για να διατηρήσουν το LNG σε υγρή κατάσταση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και να ελαχιστοποιήσουν την αεριοποίηση. Παρόλα αυτά, μία μέση ποσότητα της τάξης του 0,15% αεριοποιείται κάθε μέρα. Ο ρυθμός του LNG που φτάνει σε κατάσταση βρασμού (boil-off rate, BOG) εξαρτάται απολύτως από τη μόνωση των δεξαμενών φορτίου του πλοίου. Όπως

προαναφέρθηκε, τα νεότερα πλοία έχουν ένα BOG της τάξης του 0,08% ανά ημέρα, που είναι και ο μικρότερος δυνατός σήμερα.

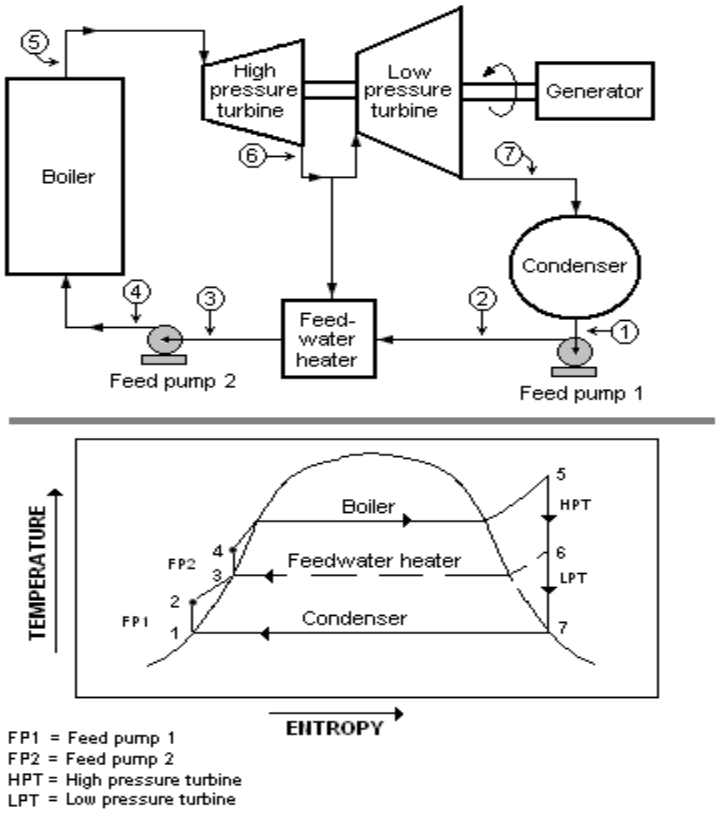
2.2.4 Εγκαταστασεις Προωσης

Για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών εντός κατασκευαστικών ορίων και κοντά στην ατμοσφαιρική, το κομμάτι του φορτίου που αεριοποιείται λόγω ανταλλαγής θερμότητας των δεξαμενών με το περιβάλλον (boil-off gas) πρέπει να απελευθερώνεται από τις δεξαμενές και χρησιμοποιείται βασικά για κατανάλωση από τις εγκαταστάσεις πρόωσης των πλοίων. Αν και παλιότερα τα LNG χρησιμοποιούσαν σχεδόν αποκλειστικά ατμοστρόβιλους ως εγκαταστάσεις πρόωσης, από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα και μετά δημιουργήθηκε η ανάγκη αποδοτικότερων εγκαταστάσεων, λόγω του υψηλού κόστους των υγρών καυσίμων. Προσπαθώντας οι κατασκευαστές, λοιπόν, να μειώσουν την κατανάλωση και το κόστος της πρόωσης, κατέληξαν σε μία σειρά από προσεγγίσεις που εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως η ταχύτητα του πλοίου, η μεταφορική του ικανότητα, η διάρκεια του ταξιδιού κ.α. Αν και οι εγκαταστάσεις πρόωσης αναλύονται εξονυχιστικά στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει εδώ μία σύντομη αναφορά, ώστε να σχηματιστεί η κατάλληλη εικόνα για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του στόλου των LNG παγκοσμίως.



Σχήμα 3.2.7: Κατανομή στόλου LNGC ανά εγκατάσταση πρόωσης, Πηγή: IHS Markit

<u>Ατμοστρόβιλοι:</u> Οι ατμοστρόβιλοι είναι οι παραδοσιακές εγκαταστάσεις πρόωσης για τα LNG. Συνήθως δύο καζάνια παράγουν αρκετό ατμό για τις τουρμπίνες της πρόωσης και τις βοηθητικές μηχανές. Τα καζάνια μπορούν να καταναλώνουν εξ ολοκλήρου ή μερικών HFO. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ατμοστροβίλων είναι ότι δε είναι αναγκαία η εγκατάσταση Gas Combustion Unit (GCU), καθώς όλο το αέριο που παράγεται λόγω ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον καταναλώνεται στα καζάνια. Ακόμα, η συντήρηση και η λειτουργία του συστήματος είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με άλλες επιλογές της αγοράς.



Σχήμα 3.4.8 Εγκατάσταση Ατμοστροβίλου. Πηγή: Wikipedia

Από την άλλη μεριά, η χαμηλή απόδοση, που οδηγεί σε μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς του φορτίου, είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα. Χαρακτηριστικό είναι η κατανάλωση για αυτά τα πλοία φτάνει τους 175 τόνους φορτίου ημερησίως, τη στιγμή που για τα υπόλοιπα συστήματα πρόωσης κινείται από 110 έως 140 τόνους ημερησίως. Επίσης, τα μεγάλα πλοία μεταφοράς LNG, χρειάζονται μεγαλύτερη ισχύ πρόωσης από αυτή που μπορούν να παράγουν οι ατμοστρόβιλοι. Ως εκ τούτου, το ποσοστό του παγκόσμιου στόλου που φέρει αυτή την εγκατάσταση συνεχώς μειώνεται. Στο τέλος του 2015, το 60% του παγκόσμιου στόλου κινούταν με εγκαταστάσεις ατμοστροβίλου, όμως μόλις το 10% των πλοίων υπό κατασκευή είχαν και έχουν σχεδιαστεί με αυτό το σύστημα.

Ηλεκτροπρόωση Διπλού καυσίμου: Μετά από σχεδόν σαράντα χρόνια απόλυτης κυριαρχίας των ατμοστροβίλων, έγινε η πρώτη παραγγελία πλοίου με ηλεκτρογεννήτριες διπλού καυσίμου το 2001. Η δυνατότητα της εγκατάστασης αυτής να καταναλώνει υγρό και αέριο καύσιμο είχε ως αποτέλεσμα να βελτιωθεί η απόδοση κατά 25 με 30% σε σχέση με τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις ατμοστρόβιλου. Οι κινητήρες είναι μεσόστροφοι και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόωση. Κατά την καύση του αερίου, το φυσικό αέριο εισέρχεται σε χαμηλή πίεση εντός του θαλάμου καύσης και χρησιμοποιείται το υγρό καύσιμο για την ανάφλεξη, ακολουθώντας τη λογική του σπινθήρα των κινητήρων τύπου Otto. Για να γίνει σωστή διαχείριση του LNG που αεριοποιείται, άρα και της πίεσης των δεξαμενών του φορτίου, χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση μιας μονάδας καύσης αερίου (Gas Combustion Unit), ώστε να καίγεται η περίσσεια του φυσικού αερίου, όταν ο ρυθμός παραγωγής BOG είναι μεγαλύτερος από

την κατανάλωση των μηχανών. Η εγκατάσταση αυτή ανεβάζει το αρχικό κόστος του πλοίου, καθώς και το κόστος και την πολυπλοκότητα της συντήρησης.

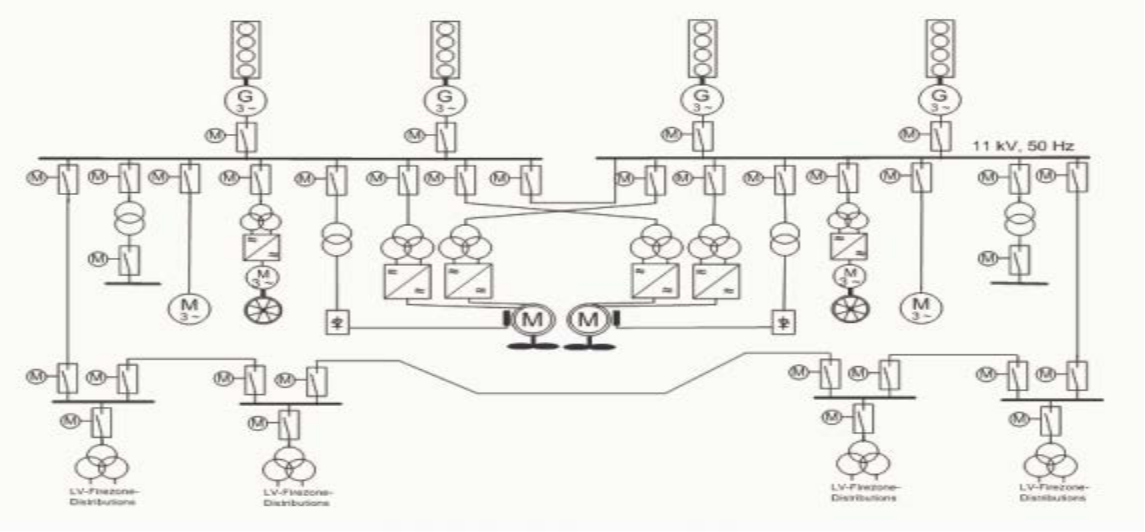
Table 5.1: Propulsion Type and Associated Characteristics

Propulsion Type	Fuel Consumption (tonnes/day)	Average vessel capacity	Typical Age
Steam	175	<150,000	>10
DFDE/TFDE	130	150,000-180,000	<10
ME-GI	110	150,000-180,000	<1
Steam Re-heat	140	150,000-180,000	Not Active

Source: IHS Markit

Σχήμα 3.2.9: Εγκατάσταση πρόωσης, κατανάλωση, χωρητικότητα και ηλικία του στόλου

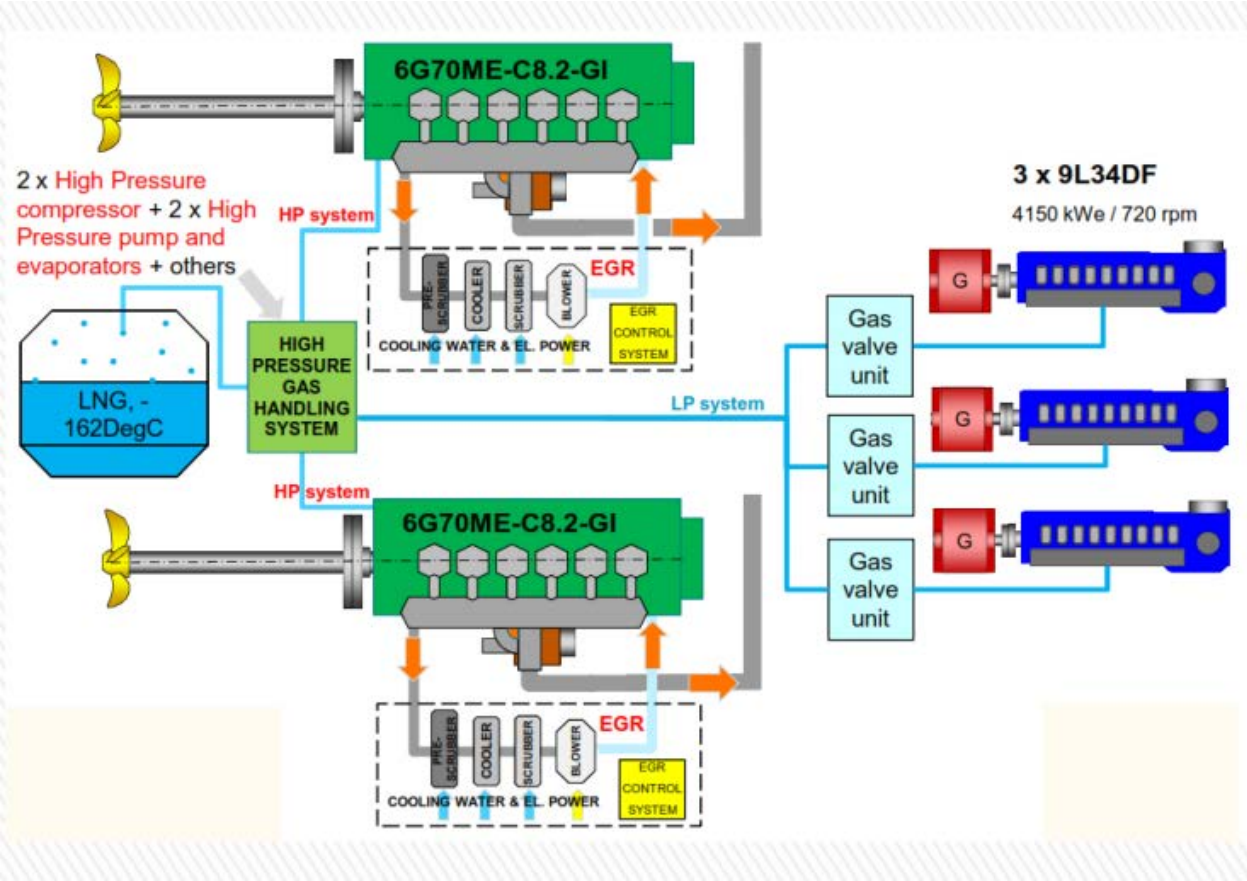
Ηλεκτρογεννήτριες Τριπλού καυσίμου: Λίγο μετά την εμφάνιση των κινητήρων διπλού καυσίμου, οι κινητήρες τριπλού καυσίμου ήρθαν να βελτιώσουν ακόμα περισσότερο την απόδοση και την ευελιξία κατά τη λειτουργία τους σε διάφορα φορτία, αφού μπορούν να καταναλώσουν, εκτός από MGO, και HFO. Στο τέλος του 2016, το 25% των LNG πλοίων ήταν εξοπλισμένα με αυτού του είδους την εγκατάσταση, καθώς και το 28% των νεών παραγγελιών έχουν επιλέξει τις ηλεκτρογεννήτριες τριπλού καυσίμου.



Σχήμα 3.2.10 Εγκατάσταση ηλεκτρικής πρόωσης. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

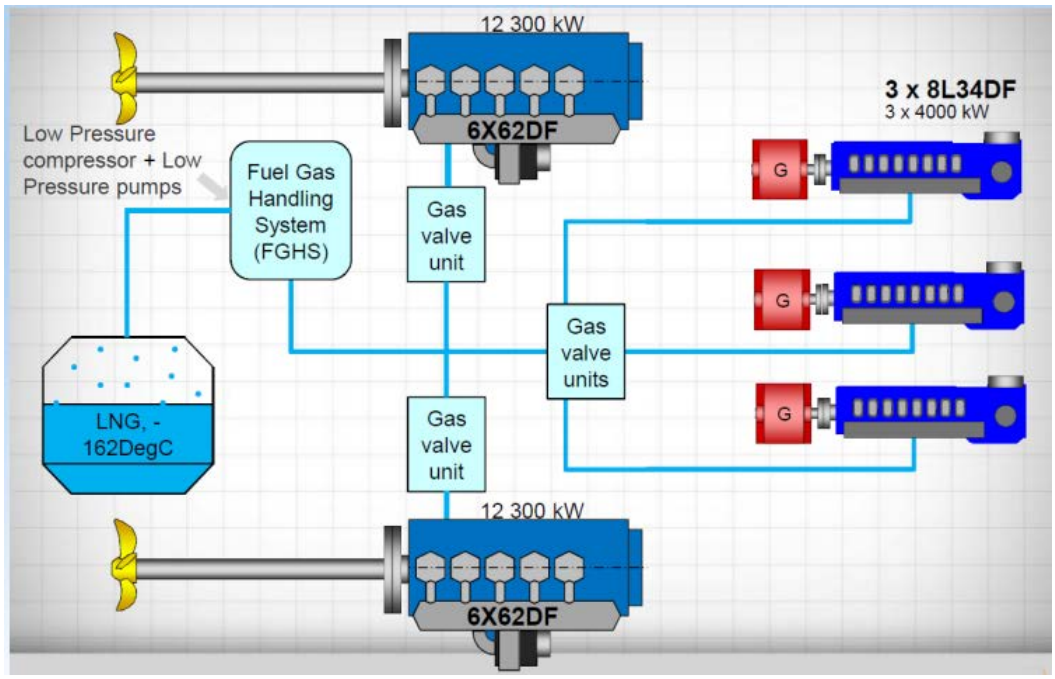
Δίχρονες Μηχανές Υψηλής Πίεσης Αερίου (ME-GI): Οι πρώτες δίχρονες μηχανές έκαναν την εμφάνισή τους στο χώρο του LNG στις αρχές του 21^{ου} αιώνα. Το καύσιμο σε αυτές τις μηχανές ήταν το HFO ή το MGO, όπως και τα άλλα είδη εμπορικών πλοίων και δε χρησιμοποιούσαν το BOG για την πρόωση ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το BOG περνούσε από μία διαδικασία επανυγροποίησης και κατέληγε ξανά στις δεξαμενές του φορτίου ή κατέληγε στο GCU

για να καεί. Σήμερα, το σύστημα της επανυγροποίησης και το GCU έχουν διατηρηθεί σε αυτές τις εγκαταστάσεις, μόνο που πλέον οι κύριες μηχανές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο που εκτονώνεται από τις δεξαμενές για την παραγωγή ισχύος. Με αυτή την τεχνολογική αναβάθμιση, βελτιώνεται η ευελιξία του συστήματος, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο αποδοτική και πιο οικονομική κατά τη λειτουργία της η εγκατάσταση. Η απόδοση τους συστήματος είναι βελτιωμένη κατά 15-20% σε σχέση με τις ηλεκτρογεννήτριες τριπλού καυσίμου, με αποτέλεσμα να γίνεται δημοφιλής επιλογή για τους πλοιοκτήτες. Το 2016, εννέα πλοία έφεραν αυτή την εγκατάσταση, το 2017 παραδόθηκαν 20 και αρκετά είναι να παραδοθούν από το 2018 και μετά.



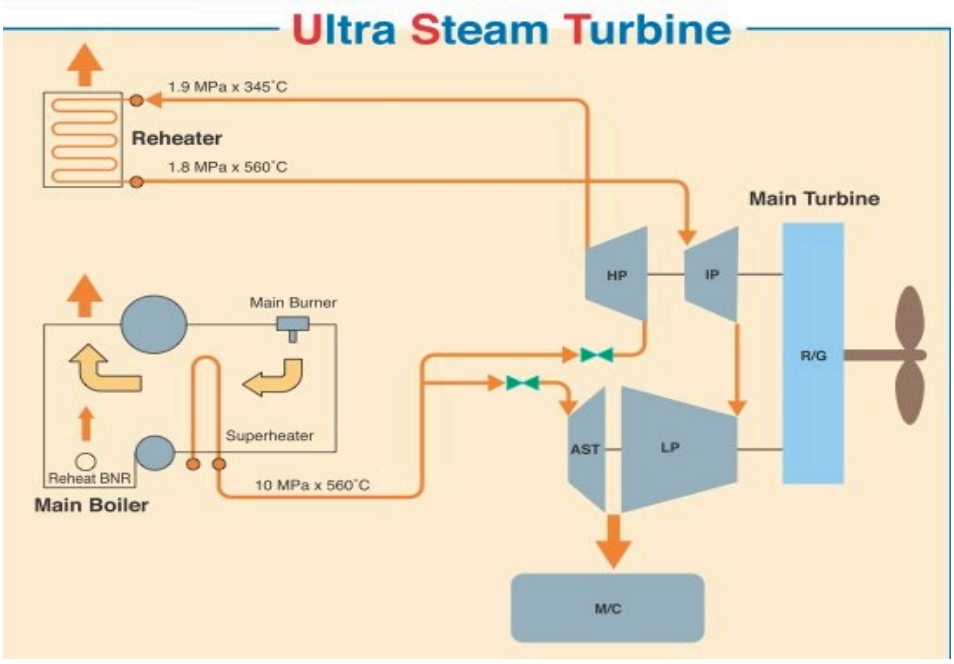
Σχήμα 3.2.11 Εγκατάσταση μηχανής τύπου ME-GI. Πηγή: Maran Gas Maritime

<u>Δίχρονες μηχανές χαμηλής πίεσης:</u> Αυτού του είδους η εγκατάσταση εισήχθη στην αγορά το 2014. Αποτελεί εναλλακτικά σύστημα στην ηλεκτροπρόωση και εκτιμάται ότι μειώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης κατά 15-20% με τη χρήση απλούστερων και φθηνότερων συστημάτων διαχείρισης του LNG. Δύο πολύ μεγάλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις MEGI είναι ότι η πίεση του αερίου που καταναλώνεται είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή της ατμόσφαιρας και δεν απαιτείται σύστημα ανακύκλωσης των καυσαερίων για να μειωθούν τα οξείδια του αζώτου.



Σχήμα 3.2.12 Μηχανές τύπου X-DF. Πηγή: Maran Gas Maritime

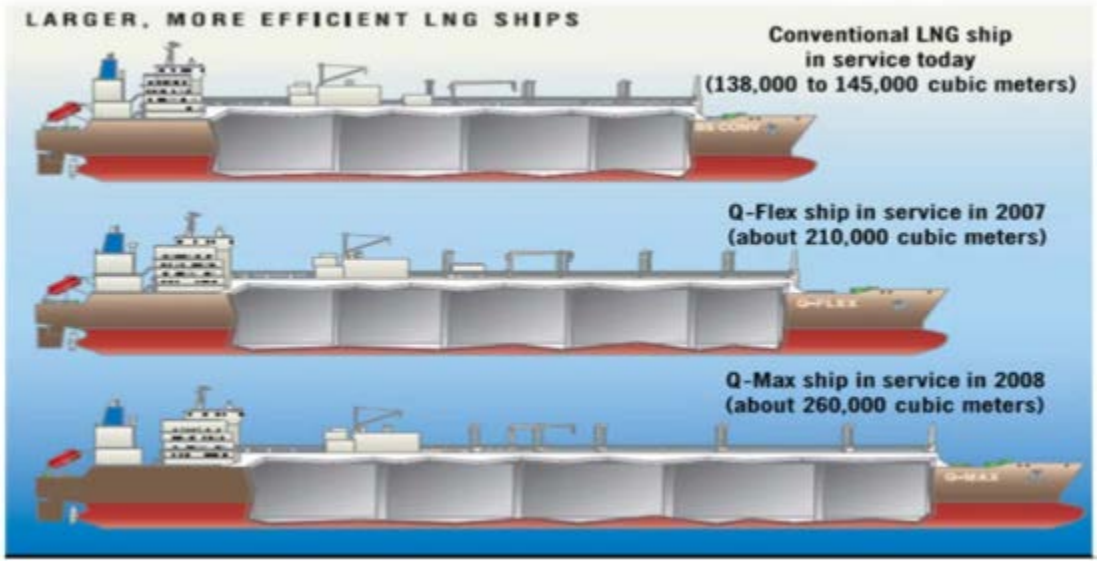
Ultra-Steam Turbine: Το σύστημα αυτό επιδιώκει να διατηρήσει τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών ατμοστροβίλων, ενώ ταυτόχρονα να βελτιώσει τη συνολική απόδοση του συστήματος. Ο σχεδιασμός του βασίζεται σε ένα κύκλο αναθέρμανσης, όπου ο ατμός αναθερμαίνεται για να αυξήσει την απόδοσή της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.2.13 Ultra steam turbine. Πηγή: Maritime Propulsion

2.2.5 ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥ LNGC ΣΤΟΛΟΥ

Τα συμβατικά LNG πλοία διαφέρουν αρκετά σε μέγεθος, αν και οι τελευταίες προσθήκες στον παγκόσμιο στόλο δείχνουν μία τάση για πλοία με μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα. Πριν από την είσοδο στην αγορά των πλοίων τύπου Q-class το 2008 με 2010, η συνηθισμένη μεταφορική ικανότητα των πλοίων ήταν μεταξύ 125,000 και 150,000 κυβικών μέτρων. Στο τέλος του 2016, το 49% του ενεργού στόλου ήταν ανάμεσα σε αυτή τα όρια, καθιστώντας την κατηγορία αυτή την πιο κοινή. Παρόλα αυτά, η τάση αυτή όσο περνάει ο καιρός χάνει έδαφος, καθώς τα καινούργια πλοία που παραδόθηκαν εντός του 2016 έχουν μέση μεταφορική ικανότητα τα 173,600 κυβικά μέτρα. Η αύξηση του μεγέθους των LNG συνδέεται μερικώς με την επέκταση στη Διώρυγα του Παναμά, όπου πλέον πλοία με μεταφορική ικανότητα 180,000 κυβικά μέτρα θεωρούνται τα καινούργια Panamax. Στο τέλος του 2016, το 36% του ενεργού στόλου είχε μεταφορική ικανότητα ανάμεσα σε 150,000 και 180,000 κυβικά μέτρα. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται περαιτέρω αύξηση του μεγέθους των πλοίων, καθώς οι παραγγελίες δείχνουν ότι η μέση μεταφορική ικανότητα των νέων πλοίων είναι περίπου 172,000 κυβικά μέτρα.



Σχήμα 4.2.14 Πλοίο τύπου Q-flex και Q-max. Πηγή: IGU

Τα μεγαλύτερα σε μέγεθος πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ονομάζονται Qmax. Το όνομά τους προέρχεται από το Κατάρ (**Q**atar) και από το γεγονός ότι μπορούσαν να δώσουν το φορτίο τους μόνο στους μεγαλύτερους σε διαστάσεις σταθμούς του Κατάρ. Το μήκος του φτάνει τα 345 μέτρα, το πλάτος τα 53,8 μέτρα και το ύψος τα 34,7 μέτρα, ενώ το βύθισμα τα 12. Η χωρητικότητα των δεξαμενών είναι 266,000 κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Λίγο μικρότερα από τα Qmax είναι τα Qflex. Φέρουν μόνωση εντός των δεξαμενών τύπου μεμβράνης και η μεταφορική τους ικανότητα κυμαίνεται ανάμεσα σε 210,000 και 216,000 κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τέλος, τα small scale LNG πλοία είναι μία κατηγορία που περιλαμβάνει αυτά που έχουν μεταφορική ικανότητα ίση ή μικρότερη των 40,000 κυβικών μέτρων. Για παράδειγμα, ένα πλοίο τύπου small scale, με μεταφορική ικανότητα 30,000 κυβικά μέτρα, έχει μήκος 184.6 μέτρα, βύθισμα 18,5 μέτρα και πλάτος 27,6 μέτρα.

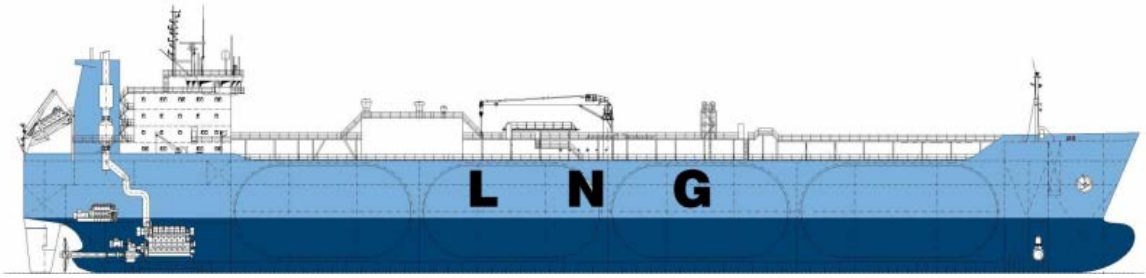
Principal particulars:

- Length o. a. 184.60 m
- Length b. p. 175.20 m
- Breadth moulded 27.60 m
- Depth moulded 18.50 m

Tanks

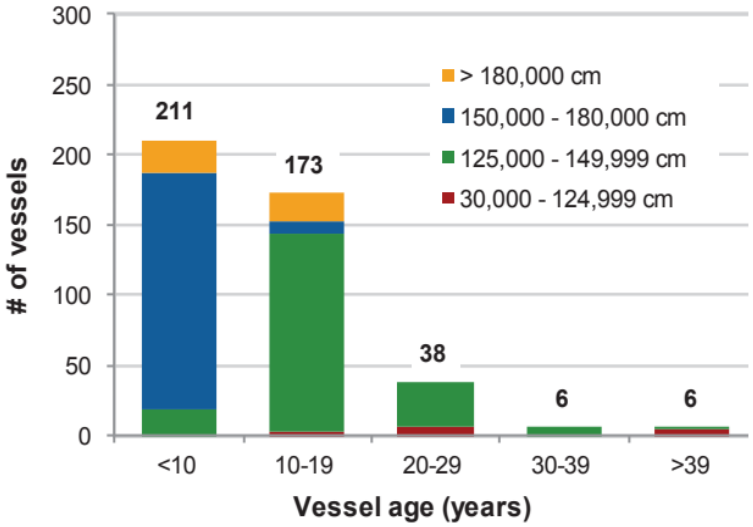
- Tank 1 conical bilobe
- Tank 2-4 bilobe

- Draught/Deadweight:
  - Design Draught 8.80 m
  - Corresponding deadweight 17,600 T
- Speed/Endurance:
  - Service speed at design draft 16.00 kn
  - Endurance 12,000 nm
- Machinery
  - Dual fuel engine 9000 kWe



Σχήμα 3.2.15 Small Scale LNG. Πηγή: TGE

Στο τέλος του 2016, το 56% του στόλου είχε ηλικία κάτω από 10 χρόνια, ένα τρανό δείγμα της μεγάλης αύξησής του στις αρχές του 2000 και το 2010, τάσεις που συνδέονται με τα καινούργια συστήματα πρόωσης. Το ηλικιακό όριο των πλοίων για τους περισσότερους πλοιοκτήτες είναι τα 35 χρόνια, αν και υπάρχουν εν ενεργεία πλοία τα οποία σε μερικές περιπτώσεις προσεγγίζουν τα 40. Το 2016, το 6% του στόλου περίπου ήταν πάνω άνω των 30 ετών, τα οποία θα εξωθούνται από την αγορά, όσο τα νεότερα και πιο αποδοτικά πλοία θα παραδίδονται.



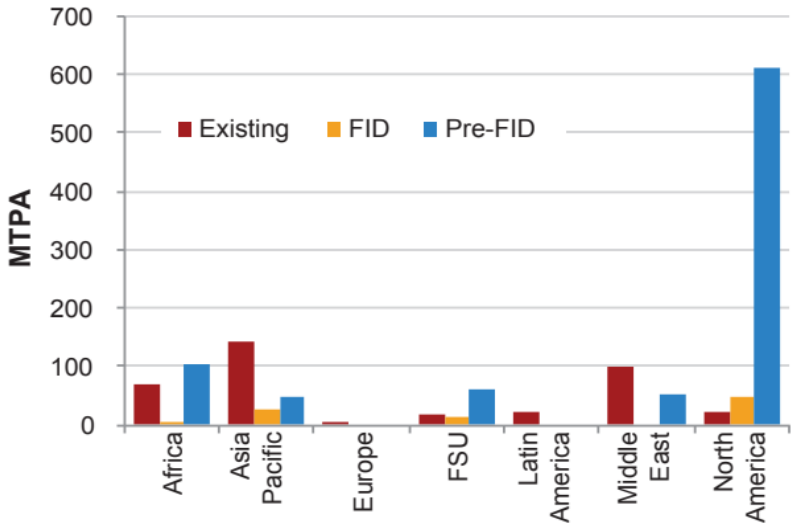
Σχήμα 3.2.11: Σχέση χωρητικότητας και ηλικίας του στόλου, Πηγή: IHS Markit

Για να μπορέσουν οι πλοιοκτήτες των γηραιότερων πλοίων να εναρμονιστούν με τις απαιτήσεις της αγοράς, πολλές φορές σκέφτονται να κάνουν μετατροπές στις εγκαταστάσεις πρόωσης, ώστε να γίνουν και πάλι ανταγωνιστικά.

2.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τον Ιανουάριο του 2017, η ονομαστική ικανότητα υγροποίησης φυσικού αερίου παγκοσμίως ανερχόταν σε 339,7 εκατ. τόνους, αυξημένη κατά 35,5 εκατ. τόνους σε σχέση με το τέλος του 2015. Τέσσερα καινούργια έργα συνολικής ικανότητας 31,7 εκατ. τόνων άρχισαν την εμπορική τους δραστηριότητα εντός του 2016: στην Αυστραλία τα Gorgon LNG T1-2 (10.4 εκατ. τόνοι), GLNG T1-2 (7.8 εκατ. τόνους) και το Australia Pacific LNG T1 (4.5 εκατ. τόνους), στις ΗΠΑ το Sabine Pass LNG (9 εκατ. τόνους) και τέλος στη Μαλαισία το MNLG T9 (3.6 εκατ. τόνους), που άρχισε την εμπορική του δραστηριότητα τον Ιανουάριο του 2017. Το 2017, η ονομαστική ικανότητα υγροποίησης αυξήθηκε κατά 25,4 εκατ. τόνους για να φτάσει τη συνολική ικανότητα των 365 εκατ. τόνων περίπου στο τέλος του έτους. Το έτος αυτό χαρακτηρίστηκε από τον πλωτό σταθμό υγροποίησης, το PFLNG Satu (1.2 εκατ. τόνους) και την έναρξη των εξαγωγών από την Αρκτική, με τα πρώτα φορτία να παραδίδονται από το Yamal LNG Train 1 (5.5 εκατ. τόνους). Από τις εξαγωγικές χώρες, η Αυστραλία αύξησε την παραγωγική της δυνατότητα με δύο νέες μονάδες (Gorgon Train 3, Wheatstone LNG Train 1), όπως και οι ΗΠΑ (Sabine Pass Train 3 & 4). Στο τέλος του χρόνου, περίπου 89 εκατ. τόνοι νέας παραγωγική δυνατότητας ήταν υπό κατασκευή, 49 εκατ. τόνοι εκ των οποίων στις ΗΠΑ κα 17 εκατ. τόνοι στην Αυστραλία. Τέλος, το 2018, περίπου 38 εκατ. τόνοι νέας δυνατότητας υγροποίησης αναμένεται να προστεθούν στην αγορά, 13 εκατ. τόνοι εκ των οποίων στις ΗΠΑ.



Σχήμα 3.3.1: Ονομαστική Ικανότητα Υγροποίησης ανά περιοχή. Πηγή: IHS Markıt

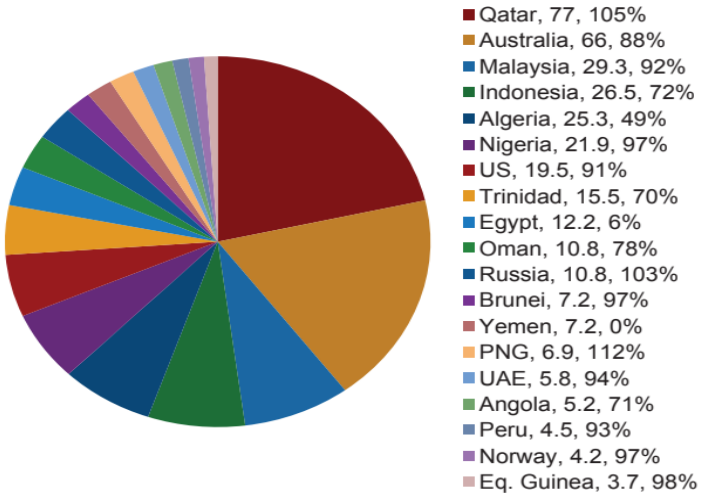
Χαρακτηριστικό είναι ότι το τρίτο τρίμηνο του 2018, οι ΗΠΑ εξήγαγαν 77 φορτία LNG, 60 εκ των οποίων από το Sabine Pass και 17 από το Cove Point. Από αυτά, τα 30 κατέληξαν στις τρεις μεγαλύτερες εισαγωγούς της Ασίας, την Ιαπωνία, την Κίνα και τη Νότια Κορέα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οι ΗΠΑ και η Αυστραλία θα έχουν την πρωτοκαθεδρία στην αύξηση της παγκόσμιας ικανότητας υγροποίησης. Το 2018 αναμένεται να φέρει την Αυστραλία στην

πρώτη θέση της παγκόσμιας κατάταξης, βάση της παραγωγικής της ικανότητας, φτάνοντας τους 65 εκατ. τόνους, από 43,7 το 2016 . Αντίστοιχα, στις ΗΠΑ, μονάδες ύψους 57,6 εκατ. τόνων είναι υπό κατασκευή.

2.3.2 Παγκοσμια Παραγωγικη Ικανοτητα

Αν και οι εξαγωγές φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί, η χρήση της συνολικής ικανότητας υγροποίησης έχει ελαφρώς μειωθεί τα τελευταία χρόνια. Έτσι, το 2016, διαμορφώθηκε στο 82%, τη στιγμή που μέχρι το 2010, ο μέσος όρος ήταν 84%. Η μείωση αυτή εξηγείται με διάφορους τρόπους, όπως ότι κάποιοι σταθμοί δεν εκμεταλλεύτηκαν πλήρως την ονομαστική ικανότητα υγροποίησης που διέθεταν για μία σειρά από λόγους, όπως η μειωμένη ζήτηση. Ακόμα, κάποιοι σταθμοί έμειναν εκτός λειτουργίας το 2016.

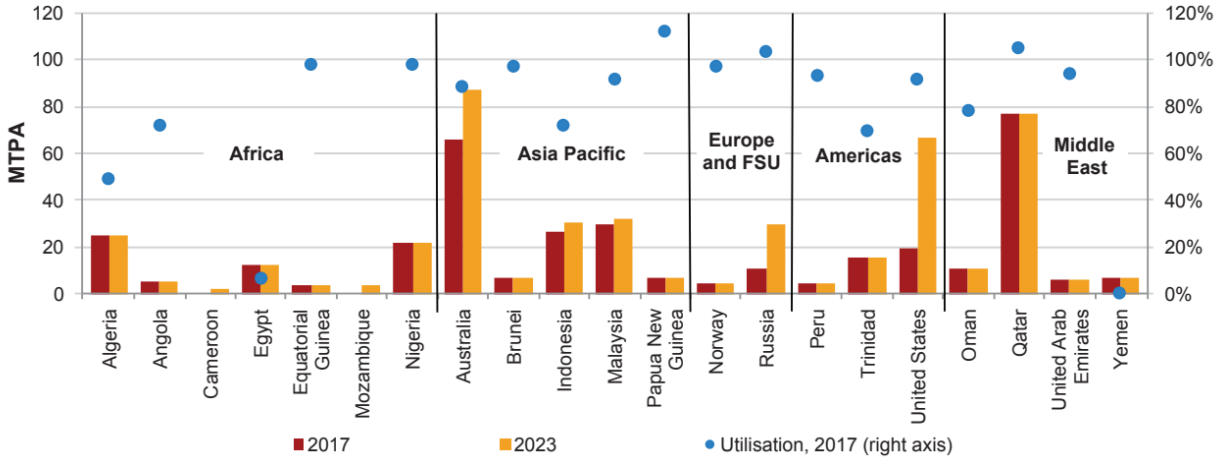


Σχήμα 3.3.2: Ονομαστική Ικανότητα Υγροποίησης ανά χώρα. Πηγή: IHS Markit, IGU

Χαρακτηριστικό παράδειγμα στα παραπάνω είναι η Υεμένη, στην οποία ο σταθμός είναι κλειστός, μιας και ο εμφύλιος πόλεμος που πλήττει τη χώρα ανάγκασε τους διαχειριστές να σταματήσουν τη λειτουργία του από τα μέσα του 2015. Μειώσεις στην παραγωγή έγιναν και σε διάφορες χώρες, όπως το Κατάρ, για να γίνουν προγραμματισμένες ή μη διαδικασίες συντήρησης στους σταθμούς υγροποίησης.

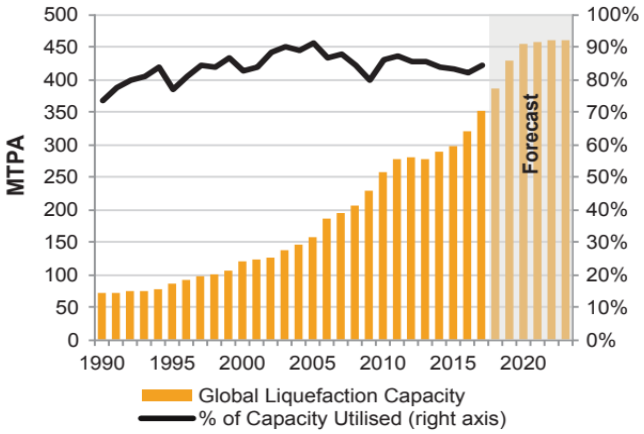
Οι παραπάνω απώλειες αντισταθμίστηκαν από το υψηλό ποσοστό χρήσης της ικανότητας υγροποίησης των υπόλοιπων σταθμών, καθώς προέκυψε η ανάγκη να καλυφθεί η ζήτηση από τις υπόλοιπες παραγωγικές χώρες. Για το 2016, χώρες όπως η Ρωσία, η Μαλαισία και η Νορβηγία χρησιμοποίησαν σχεδόν το 100% της παραγωγικής τους δυνατότητας, οι ΗΠΑ κατέγραψαν μία μικρή αύξηση λόγω του καινούργιου σταθμού που παραδόθηκε και η Αυστραλία παρέμεινε στα ίδια ποσοστά, παρόλο που παραδόθηκαν δύο νέοι σταθμοί υγροποίησης.

Στο κομμάτι της αγοράς που αφορά τους νέους σταθμούς υγροποίησης που βρίσκονται υπό κατασκευή προκύπτει ότι, η πλειονότητά, τους βρίσκεται στις ΗΠΑ (57,6 εκατ. τόνοι) και στην Αυστραλία (31,1 εκατ. τόνοι). Άλλα έργα που βρίσκονται υπό κατασκευή είναι στη Ρωσία (16.5 εκατ. τόνους), στην Ινδονησία (4.3 εκατ. τόνους) και στο Καμερούν (2.4 εκατ. τόνους).



Σχήμα 3.3.3: Ονομαστική Ικανότητα Υγροποίησης το 2017 και το 2023. Πηγή: IHS Markit, IGU

Με τα έργα αυτά προκύπτουν ανακατατάξεις στην παραγωγική ισχύ ανά χώρα. Έτσι, αν και το 2016 η Αυστραλία βρισκόταν στη δεύτερη θέση ως παραγωγός και πίσω από το Κατάρ, η κατάταξη αντιστράφηκε το 2017 καθώς, από τη μία, οι νέοι σταθμοί υγροποίησης της Αυστραλίας εισήχθησαν στην αγορά, ενώ από την άλλη το Κατάρ μείωσε την παραγωγή του, κυρίως λόγω διαδικασιών συντήρησης των εγκαταστάσεών του. Οι ΗΠΑ από τη μεριά τους, αναμένεται να αυξήσουν σταδιακά, αλλά σε σημαντικό βαθμό, την παραγωγική τους ικανότητα σε LNG την επόμενη πενταετία. Έξι έργα βρίσκονται υπό κατασκευή στην Ανατολική Ακτή και στο US GOM. Το 2016, η χώρα εξήγαγε μόνο από δύο σημεία του Sabine Pass LNG στο US Gulf Coast. Παλαιότερα, η χώρα εξήγαγε μικρές ποσότητες και από το σταθμό Kenai LNG από την πολιτεία της Αλάσκα, αλλά σταμάτησε το 2016. Τρία έργα ξεκίνησαν το 2015, καινούργιοι σταθμοί και επεκτάσεις σταθμών που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία, και αναμένεται να έχουν όλα ολοκληρωθεί μέχρι το 2019. Το Elba Island LNG (2,5 εκατ. Τόνους) ξεκίνησε την κατασκευή του το 2016, και, εκτός από το Corpus Cristi LNG, το υπόλοιπα έργα σχετίζονται με την επέκταση υπαρχόντων σταθμών υγροποίησης.



Σχήμα 3.3.4: Παγκόσμια Ικανότητα Υγροποίησης 1990-2023, Πηγή: IHS Market, Company Announcements

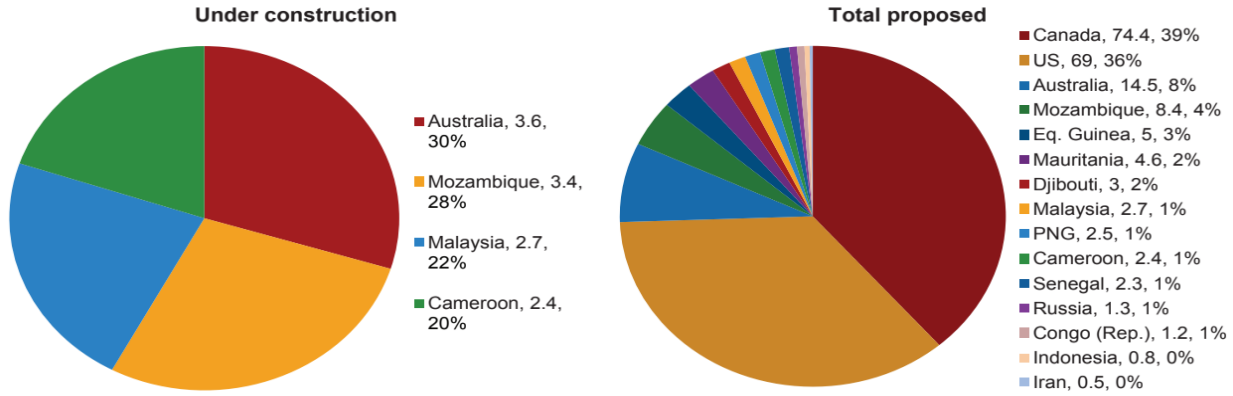
Στη Ρωσία, ο σταθμός Yamal LNG, που άρχισε να κατασκευάζεται το 2013, ολοκλήρωσε την κατασκευή του πρώτου μέρους το 2017 και το σύνολο του έργου αναμένεται να ολοκληρωθεί έως

το 2019. Μόλις ολοκληρωθεί, θα αυξήσει τη συνολική παραγωγική ικανότητα υγροποιημένου φυσικού αερίου της Ρωσίας σε 27,3 εκατ. τόνους.

Αν και η ζήτηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, φτάνοντας τον Ιανουάριο του 2017 στους 879 εκατ. τόνους, η συνολική ζήτηση κατά το 2016 κατέγραψε μικρή πτώση σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά, κυρίως λόγω της αστάθειας της αγοράς, της μεγάλης πτώσης της τιμής του πετρελαίου και την αβεβαιότητα της ζήτησης του LNG σε μέσο-μακροπρόθεσμο διάστημα. Για τους παραπάνω λόγους, τα καινούργια έργα σταθμών υγροποίησης αναμένεται ότι θα αντιμετωπίσουν ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον, με τις παρούσες συνθήκες που επικρατούν στην αγορά. Ο κύριος όγκος των έργων αυτών βρίσκεται στη Βόρεια Αμερική, με 59 καινούργιες μονάδες συνολικής ικανότητας 671 εκατ. τόνων ανά έτος να έχουν σχεδιαστεί. Από αυτές τις ποσότητες, έργα χωρητικότητας 335 εκατ. τόνων αναμένεται να γίνουν στις ΗΠΑ και 329 εκατ. τόνων στον Καναδά. Τα παραπάνω δημιουργούν μία αστάθεια στην αγορά, αφού είναι πιθανό πολλοί αγοραστές να εγκαταλείψουν τα μακροχρόνια συμβόλαια, δεδομένων των επιλογών που θα προσφέρει η αγορά. Ακόμα, τα σχέδια του Καναδά και των ΗΠΑ να εξάγουν φυσικό αέριο και με αγωγούς, δημιουργεί ένα τοπίο ακόμα πιο περίπλοκο. Μπορεί το προηγούμενο έτος, για παράδειγμα, το Μεξικό, ένας από τους μεγαλύτερους εισαγωγούς της περιοχής, να στράφηκε προς το LNG λόγω πολιτικών συγκρούσεων με την τωρινή κυβέρνηση των ΗΠΑ, αλλά αυτό μελλοντικά μπορεί να αλλάξει.

Η ανακάλυψη μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου στην Ανατολική Αφρική έχει ως αποτέλεσμα να είναι υπό σχεδιασμό σταθμοί υγροποίησης στη Μοζαμβίκη (53,4 εκατ. τόνοι) και την Τανζανία (20 εκατ. τόνοι). Βάσει των μέχρι τώρα δεδομένων, πολλοί από αυτούς τους σταθμούς θα μπουν στον εμπορικό χάρτη από το 2020. Αντίστοιχες κινήσεις γίνονται και στη Δυτική Αφρική, όπου σχέδια για πολλούς μικρότερους σταθμούς βρίσκονται στα σκαριά.

Το ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι προβλέψεις για υψηλό κόστος κατασκευής και, σε μερικές περιπτώσεις, οι χρονικές καθυστερήσεις στην πρόοδο των εργασιών, έχουν σοβαρές επιπτώσεις σε κάποια έργα της που βρίσκονται υπό κατασκευή στην Αρκτική. Έτσι, για παράδειγμα, στην Αλάσκα, το Alaska LNG (20 εκατ. τόνοι) εκτιμάται ότι θα κοστίσει περίπου 45 δις. Δολάρια, με αποτέλεσμα πολλοί επενδυτές να έχουν αποχωρήσει από την οικονομική υποστήριξη του έργου και να χρειάζεται οικονομική αναπροσαρμογή ώστε το έργο να τεθεί ξανά σε λειτουργία. Αντίστοιχες περιπτώσεις υπάρχουν και στη Ρωσία.

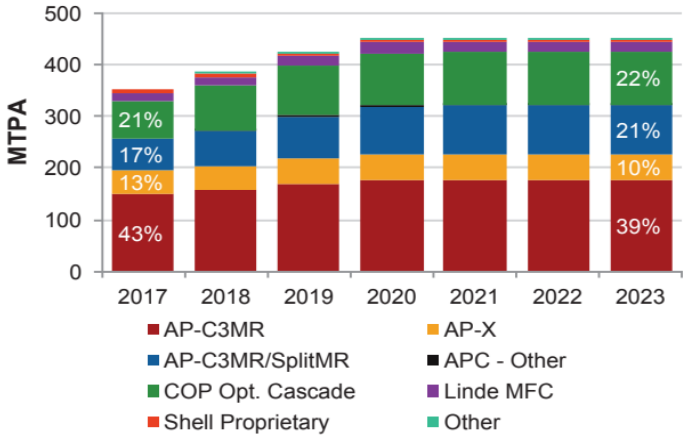


Σχήμα 3.3.5: Υπό κατασκευή ικάνότητα υγροποίησης ανά χώρα και ποσοστό της κάθε μίας. Πηγή: IHS Markit

Λόγω του υψηλού επενδυτικού κόστους, ειδικά στην Αυστραλία, καθώς και του ανταγωνισμού, οι σταθμοί υγροποίησης της περιοχής του Ειρηνικού Ωκεανού έχουν εκτιμηθεί ως μακροχρόνιες επενδυτικές ευκαιρίες. Για το λόγο αυτό, πολλά έργα βρίσκονται σε αναμονή και μάλιστα, αυτά που οι ημερομηνία έναρξης των εργασιών δεν έχει ακόμα, ανακοινωθεί αγγίζει το 60%. Μερικοί από τους σταθμούς υγροποίησης αναμένεται να παροπλιστούν τα επόμενα χρόνια, αν και κάτι τέτοιο δεν έγινε το 2016 και το 2017. Για παράδειγμα, στην Ινδονησία, το Arun LNG μετατράπηκε το 2015 σε σταθμό εισαγωγής φυσικού αερίου, όταν παροπλίστηκαν το 2014 και οι τελευταίες δύο εγκαταστάσεις υγροποίησης. Ακόμα, το 2014 παροπλίστηκαν δύο γραμμές υγροποίησης στο Skikda της Αλγερίας κα, τέλος, στην Αλάσκα, ο σταθμός Kenai LNG πήρε, μεν, παράταση δύο ετών στην άδεια εξαγωγών του στις αρχές του 2016, αλλά δεν έχει εξυπηρετήσει κάποια παραγγελία ακόμα. Αντίστοιχα παραδείγματα υπάρχουν και σε άλλες χώρες, όπως στην Αίγυπτο και το Ομάν.

2.3.3 Διαδικασιες Υγροποιησης

Οι επιλογές στη διαδικασία υγροποίησης έχουν αλλάξει αρκετά τα τελευταία χρόνια, με τη φιλοσοφία του σχεδιασμού να εστιάζεται κυρίως σε μικρότερες και πλωτές εγκαταστάσεις. Η διαδικασία Air Products χρησιμοποιούνταν από το 80% περίπου των μονάδων τα προηγούμενα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος AP-C3MR καταλάμβανε το μεγαλύτερο μερίδιο με 47%, ακολουθούμενη από την AP-X με 15% και την AP-C3MR/SplitMR με 14%. Ακόμα, η μέθοδος αυτή αποτελούσε το 59% ή 68.2 εκατ. τόνους, από τους 114.6 συνολικά, που βρίσκονταν υπό κατασκευή στις αρχές του 2017. Όμως, αν και η Air Products αναμένεται να διατηρήσει την πρώτη θέση το επόμενο χρονικό διάστημα, η διαδικασία ConocoPhillips Optimized Cascade κερδίζει σταθερά έδαφος, έχοντας οκτώ εγκαταστάσεις υγροποίησης υπό κατασκευή τον Ιανουάριο του 2017, συνολικής ικανότητας 35,9 εκατ. τόνων.



Σχήμα 3.3.6: Διαδικασίες Υγροποίησης. Πηγή: IHS Markit

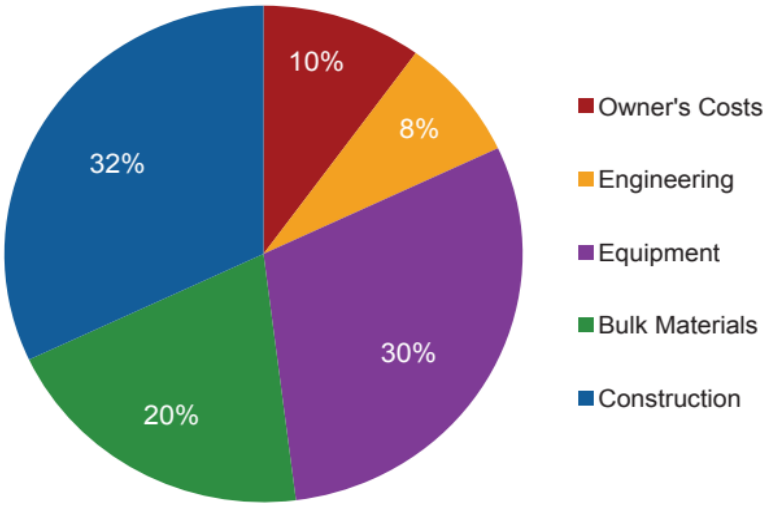
Ακόμα, το 60% των 35,3 εκατ. τόνων που τέθηκε σε λειτουργία μέχρι τον Ιανουάριο του 2016 έφεραν αυτή τη διαδικασία, αφού η ικανότητα της να αφαιρεί την υγρασία και να ξηραίνει το αέριο ταιριάζει με τις απαιτήσεις των CBM έργων σε Αυστραλία και ΗΠΑ.

Η κατασκευή διαφόρων έργων πλωτών εγκαταστάσεων υγροποίησης βρίσκεται σε εξέλιξη αυτή τη στιγμή, τα οποία λειτουργούν συμπληρωματικά στους παράκτιους σταθμούς. Τέσσερα τέτοια έργα βρίσκονταν υπό κατασκευή τον Ιανουάριο του 2017 σε Αυστραλία, Μαλαισία και Καμερούν, συνολικής ικανότητας 8,7 εκατ. τόνων. Επιπρόσθετα, 24 έργα 156,9 εκατ. τόνων ανακοινώθηκαν από τις ΗΠΑ, τον Καναδά και την Αυστραλία μέχρι τον Ιανουάριο του 2017, ενώ ακολουθούν και άλλες χώρες όπως η Ρωσία, το Ιράν και το Κονγκό. Οι επενδυτές δείχνουν προτίμηση σε αυτού του τύπου τις εγκαταστάσεις, καθώς οι μικρότερες ποσότητες μπορούν να προσελκύσουν αγοραστές που χρειάζονται μικρότερο όγκο αερίου, ενώ το συνολικό κόστος κατασκευής τους είναι αρκετά μικρότερο από τις χερσαίες εγκαταστάσεις.

2.3.4 Κεφαλαιακο Κοστος Μοναδας Υγροποιησης

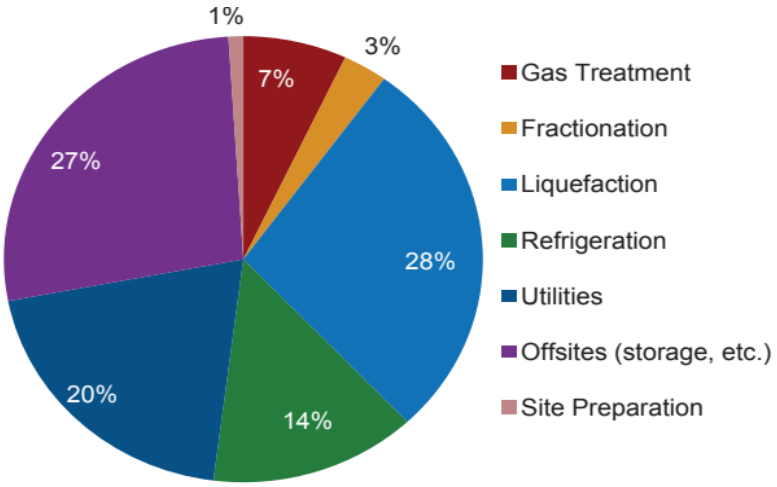
Καθώς η ισορροπία της αγοράς, όσων αφορά την προσφορά και τη ζήτηση του LNG, βρίσκεται σε οριακό σημείο, το συνολικό κόστος κατασκευής των σταθμών υγροποίησης που έχουν σχεδιαστεί θα παίξει καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση ή την παύση τους. Το κόστος των εγκαταστάσεων διαφέρει πολύ ανά περίσταση και επηρεάζεται από την τοποθεσία, την συνολική ικανότητα υγροποίησης της εγκατάστασης, τη διαδικασία υγροποίησης, τον αριθμό των δεξαμενών αποθήκευσης, το είδος του προσωπικού, καθώς και τα κανονιστικά και αδειοδοτικά έξοδα. Ακόμα, σημαντικό ρόλο παίζουν το κόστος των υλικών κατασκευής, όπως και η μέθοδος άντλησης του φυσικού αερίου.

Τα στοιχεία δείχνουν ότι η αύξηση του κόστους κατασκευής είναι πολύ μεγάλη όσο το έργο εξελίσσεται σε σχέση με την αρχική εκτίμηση, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να φτάνει το 30 έως 50%. Το κόστος ανά μονάδα υγροποίησης αυξήθηκε από μία μέση τιμή 413$/τόνο το 2000-2008 σε 987$/τόνο την περίοδο 2009-2016.



Σχήμα 3.3.7: Ανάλυση κεφαλαιουχικού κόστους (CAPEX) σταθμού υγροποίησης.
Πηγή: Oxford Institute of Energy Studies

Την ίδια περίοδο, η τιμή των greenfield projects αυξήθηκε από 507$/τόνο σε 1389$/τόνο, ενώ των brownfield projects σε 532$/τόνο από 329$/τόνο. Το κόστος κατασκευής έχει ανέβει συνολικά στη Λεκάνη του Ειρηνικού και του Ατλαντικού, όμως η Αυστραλία είναι αυτή που επηρεάζεται πιο πολύ, λόγω της διαφοράς του συναλλάγματος και της έλλειψης εξειδικευμένου εργατικού προσωπικού. Για τους παραπάνω λόγους, έχουν υπάρξει καθυστερήσεις στο σχεδιασμό και την υλοποίηση μίας σειράς μονάδων υγροποίησης. Εξαίρεση αποτελούν τα έργα κατασκευής της Μέσης Ανατολής, όπου το κόστος διατηρήθηκε σε πολύ χαμηλότερες τιμές.



Διάγραμμα 3.3.8: Ανάλυση κόστους λειτουργίας (OPEX) σταθμού υγροποίησης.
Πηγή: Oxford Institute of Energy Studies

Παρόλα αυτά, το κόστος είναι πιθανό να σταθεροποιηθεί, λόγω της τεράστιας τεχνολογικής εξέλιξης, καθώς το πάγιο κόστος ισοσταθμίζεται με την αύξηση της παραγωγικότητας. Ακόμα, οι τιμές κάποιον υλικών κατασκευής έχουν υποχωρήσει τα τελευταία χρόνια, όπως του ανοξείδωτου χάλυβα. Τέλος, υπάρχει μία κλιμακούμενη πίεση από τη μεριά των επενδυτών να βελτιστοποιηθεί το κόστος του EPC (engineering, procurement, construction) ώστε να βελτιωθεί η ανταγωνιστικότητα των σταθμών. Όλα αυτά μπορούν να θεωρηθούν ισοβαρείς κινήσεις, ως προς το αυξανόμενο κόστος, που μπορούν να επαναφέρουν την ανταγωνιστικότητα σε μία σειρά από επενδύσεις στον τομέα αυτό.

2.3.5 Πιθανοι Κινδυνοι κατα την Υλοποιηση

Όπως όλα τα μεγάλα έργα υποδομών, έτσι και ένας σταθμός υγροποίησης είναι έκθετος σε μία σειρά από παράγοντες υψηλού ρίσκου, όπως μακροοικονομικούς, εμπορικούς και πολιτικούς. Επιπρόσθετα έχει να αντιμετωπίσει κινδύνους που σχετίζονται με γεωπολιτικούς παράγοντες, αλλαγές σε περιβαλλοντικούς κανονισμούς, τις εγχώριες ανάγκες κατανάλωσης αερίου, την οικονομική δυνατότητα των επενδυτών να ανταποκριθούν στις οικονομικές απαιτήσεις του έργου, καθώς και τις απαιτήσεις της αγοράς. Οι παραπάνω παράγοντες έχουν εκτιμηθεί τα τελευταία

χρόνια από τους επενδυτές, με αποτέλεσμα πολλά έργα να έχουν μεταφερθεί χρονικά και η ολοκλήρωσή τους να καθυστερεί.

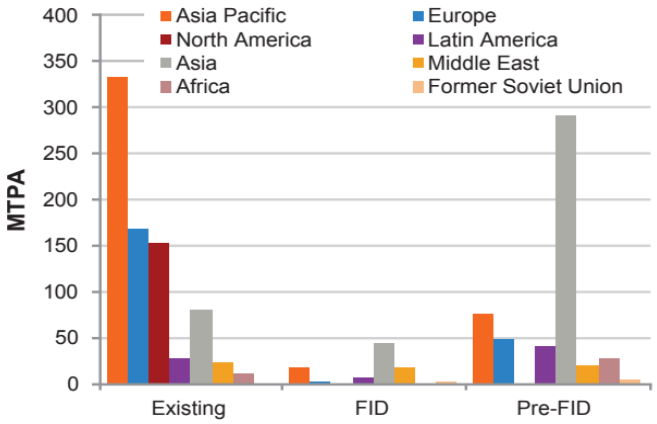
Το ρίσκο που σχετίζεται με την πολιτική αβεβαιότητα υπάρχει στις αναπτυσσόμενες, αλλά και στις αναπτυγμένες ενεργειακά περιοχές, αν και το μεγαλύτερο γεωπολιτικό ρίσκο εστιάζεται περισσότερο στην πρώτη κατηγορία χωρών Πολλές χώρες, , είτε αναπτυγμένες (ΗΠΑ), είτε αναπτυσσόμενες χώρες (Τανζανία) έχουν ιδιαίτερα αυστηρές ρυθμιστικές και περιβαλλοντικές διαδικασίες έγκρισης ενός έργου, που είναι ιδιαίτερα κοστοβόρες και χρονοβόρες. Σε άλλες χώρες, όπως το Ιράν, η Υεμένη και η Νιγηρία, επηρεάζονται από την έντονη πολιτική αστάθεια που επικρατεί.

Το ρίσκο που συνδέεται με το προφίλ των επενδυτών έγκειται, ειδικά σε ένα έργο πολυσυμμετοχικό, στο εάν μπορούν οι απαιτήσεις, η οικονομική δυνατότητα και η οικονομική στρατηγική των συμβαλλόμενων μερών να συμβαδίζει. Είναι συχνό φαινόμενο τέτοιου είδους επενδυτικές κινήσεις να αποτελούνται από συνέταιρους με διαφορετική οικονομική δυναμική. Έτσι, οι μικρότερες εταιρίες μπορεί να αδυνατούν ή να μη θέλουν να δεσμευτούν σε μία μακροχρόνια επένδυση με διαφόρων ειδών ρίσκα, ενώ οι μεγαλύτεροι οικονομικά συμμετέχοντες μπορεί να αλλάξουν επενδυτική κατεύθυνση, μιας και έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα με μία σειρά από επενδυτικές ευκαιρίες. Ένα ακόμα πρόβλημα, και ενδεχόμενο ρίσκο, είναι ότι πολλά έργα χρηματοδοτούνται από εταιρίες που είναι νέες στην αγορά του LNG, ειδικά στη Βόρεια Αμερική. Η έλλειψη εμπειρίας και τεχνογνωσίας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους ενός σταθμού, με αποτέλεσμα η υλοποίησή του να εγκαταλειφθεί ή να καθυστερήσει.

2.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.4.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Μαζί με την αύξηση της ζήτησης του LNG παγκοσμίως, αυξήθηκε και η παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης, που άγγιξε τους 850 εκατ. μετρικούς τόνους στο τέλος του 2017. Ποσοστιαία, η αύξηση της ικανότητας αεριοποίησης έφτασε το 8,6% ή 73 εκατ. τόνος σε σχέση με το τέλος του 2016 και το 6,5% ή 55 εκατ. τόνους σε σχέση με την αρχή του έτους. Κατά την ίδια περίοδο, οι χώρες εισαγωγής έφτασαν τις 40 παγκοσμίως, σε αυτές προστέθηκε και η Μάλτα. Πέντε σταθμοί αεριοποίησης παραδόθηκαν, προσθέτοντας 11,5 εκατ. τόνους στη συνολική ικανότητα αεριοποίησης. Δύο από αυτούς τους σταθμούς, σε Μάλτα και Πακιστάν, είναι πλωτοί, ενώ δύο επεκτάσεις υπαρχόντων σταθμών ολοκληρώθηκαν τη χρονιά που πέρασε σε Ταϊλάνδη και Σιγκαπούρη.

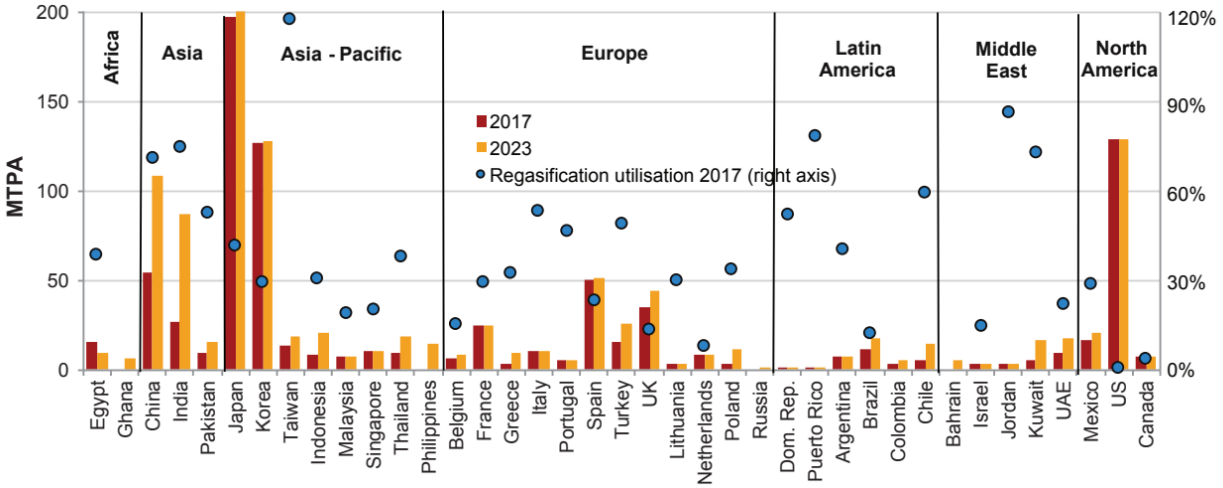


Σχήμα 3.4.1: Δυνατότητα Αεριοποίησης ανά περιοχή. Πηγή: IHS Markit

Στο τέλος του έτους, εννέα καινούργιοι παράκτιοι και δεκαπέντε χερσαίοι σταθμοί ήταν υπό κατασκευή, πέντε από τους οποίους στην Κίνα. Ακόμα, οκτώ έργα επέκτασης υπάρχοντών σταθμών βρίσκονται σε εξέλιξη σε Κίνα, Βέλγιο, Ελλάδα, Ινδία, Ταϊβάν και Ταϊλάνδη και δύο επιπλέον είναι προγραμματισμένα να ξεκινήσουν εντός του έτους. Στο τέλος του προηγούμενου έτους, η συνολική ικανότητα αεριοποίησης των σταθμών που είναι υπό κατασκευή έφτασε τους 103,5 εκατ. τόνους, το 52,3% ή 54,1 εκατ. τόνοι εκ των οποίων βρίσκονται στην Ασία. Τέλος, τα FSRU δώσει λύση για τις καταναλωτικές ανάγκες μίας σειράς χωρών, όπως η Αυστραλία, η Κροατία, η Κύπρος, οι Φιλιππίνες και το Μπαγκλαντές.

2.4.2 Παγκοσμια Ικανοτητα Αεριοποιησης

Τα τελευταία 15 χρόνια, ο αριθμός των χωρών με σταθμούς αεριοποίησης LNG έχουν τριπλασιαστεί. Επίσης, το εμπόριο του υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει επεκταθεί λόγω της ευελιξίας και της αμεσότητας που προσφέρουν τα FSRU σε μία σειρά από παλαιές και νέες αγορές. Οι χαμηλότερες τιμές του LNG αποτελούν αυτή τη στιγμή το βασικό παράγοντα ζήτησης σε μία σειρά από χώρες, όπως η Ινδία και η Κίνα. Αν και κάποιες χώρες που παραδοσιακά χρησιμοποιούν το LNG ως πηγή ενέργειας συνεχίζουν να το κάνουν, η αγορά παγκοσμίως παίρνει ώθηση από τις καινούργιες και πιο ασταθείς αγορές. Χαρακτηριστικό της διαρκούς αύξησης της ζήτησης είναι ότι, εκτός από τους πέντε σταθμούς που παραδόθηκαν το 2017, τέσσερις ακόμα είχαν παραδοθεί το 2016, δηλαδή συνολικά εννέα σταθμοί αεριοποίησης παραδόθηκαν την τελευταία διετία. Ακόμα, σε τρεις σταθμούς ολοκληρώθηκαν εργασίες επέκτασης το 2016 και συνολικά σε πέντε τα δύο τελευταία χρόνια. Εκτός από τα παραπάνω, 12 πλοία τύπου FSRU αναμένεται να παραδοθούν έως το 2021, ανεβάζοντας ακόμα περισσότερο την παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης, αλλά και την ευελιξία της αγοράς.

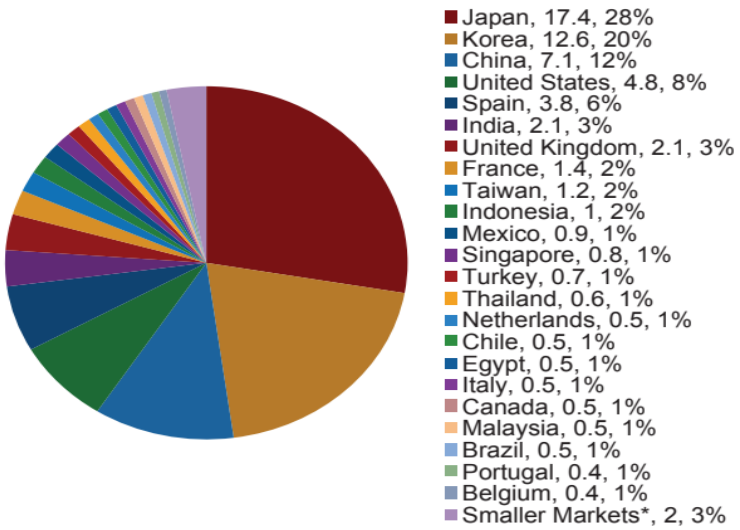


Σχήμα 3.4.2: Δυνατότητα αεριοποίησης ανά χώρα, 2017 & 2023. Πηγή: IHS Markit, IGU

Από τη συνολική ικανότητα αεριοποίησης, μόνο το 34% χρησιμοποιήθηκε το 2016. Ο βασικός λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης ξεπερνά κατά πολύ αυτήν της υγροποίησης, αφού ένας σταθμός αεριοποίησης πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να παραλάβει ποσότητες αρκετά μεγαλύτερες της μέσης κατανάλωσης. Αυτό διότι, η ζήτηση μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη σε συγκεκριμένες περιόδους του χρόνου, όπως ο χειμώνας, και η παράμετρος αυτή πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στην μελέτη ενός σταθμού. Το ποσοστό που αναφέρθηκε παραπάνω ανεβαίνει σε 41%, εάν εξαιρεθούν οι ΗΠΑ, οι οποίες από τη συνολική ικανότητα αεριοποίησης 129 εκατ. τόνους που διαθέτουν αξιοποίησαν μόνο το 1%. Η χώρα με τις μεγαλύτερες εισαγωγές σε LNG για το 2017 είναι η Ιαπωνία με 83,5 εκατ. τόνους και ακολουθείται από την Κίνα με 39 εκατ. τόνους, που το 2017 ξεπέρασε τη Νότια Κορέα, η οποία ήλθε Τρίτη, αν και αύξησε τις εισαγωγές της κατά 3,6 εκατ. τόνους. Άλλες χώρες που εισάγουν μεγάλες ποσότητες είναι η Ινδία, η Ταϊλάνδη και το Πακιστάν.

Επτά καινούργιοι σταθμοί αποθήκευσης προστέθηκαν τον Ιανουάριο του 2017, αυξάνονταν τη συνολική ικανότητα κατά 59 εκατ. κυβικά μέτρα. Μιας και η υπερπροσφορά κυριαρχεί στην αγορά του LNG, η αποθήκευση αερίου για λόγους στρατηγικής σημασίας θα αυξηθεί, ειδικά στην Ευρώπη και την Ασία, καθώς νέες ποσότητες από την πλευρά των ΗΠΑ θα εισάγονται στην αγορά. Το 42% της συνολικής δυνατότητας αποθήκευσης φυσικού αερίου παγκοσμίως εδράζεται στους είκοσι μεγαλύτερους σταθμούς αεριοποίησης. Δεκατρείς από τους είκοσι αυτούς σταθμούς βρίσκονται στην Ασία, αφού είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περιοχή με την μεγαλύτερη ζήτηση να εξασφαλίζεται η σταθερή τροφοδοσία φυσικού αερίου, ιδιαίτερα τις περιόδους του χρόνου με τη μεγαλύτερη ζήτηση. Οι μεγάλοι εισαγωγείς, όπως η Ιαπωνία, η Κίνα, η Νότια Κορέα και η Ινδία έχουν μικρούς σταθμούς αποθήκευσης αερίου διαθέσιμους έξω από κάθε σταθμό LNG.

Αν και το τελευταίο έτος οι εξαγωγές επανυγροποιημένου φυσικού αερίου μειώθηκαν λόγω της αυξημένης ζήτησης και της στροφής πολλών χωρών στη spot αγορά, πολλοί σταθμοί αεριοποίησης έχουν τη δυνατότητα να επανυγροποιούν φυσικό αέριο. Το 2017, η Γαλλία έκανε τις μεγαλύτερες εξαγωγές τέτοιου τύπου LNG, όπως και το 2016. Παλιότερα, και άλλες ευρωπαϊκές χώρες ακολουθούσαν την ίδια τακτική, όπως η Ισπανία, αν και εγκαταλείπεται ως τακτική. Χαρακτηριστικό είναι ότι από τους 25 ευρωπαϊκούς σταθμούς αεριοποίησης, οι 14 έχουν τη δυνατότητα να επανυγροποιήσουν φυσικό αέριο.



Σχήμα 3.4.3: Δυνατότητα αεριοποίησης ανά χώρα. Πηγή: IHS Markit, IGU

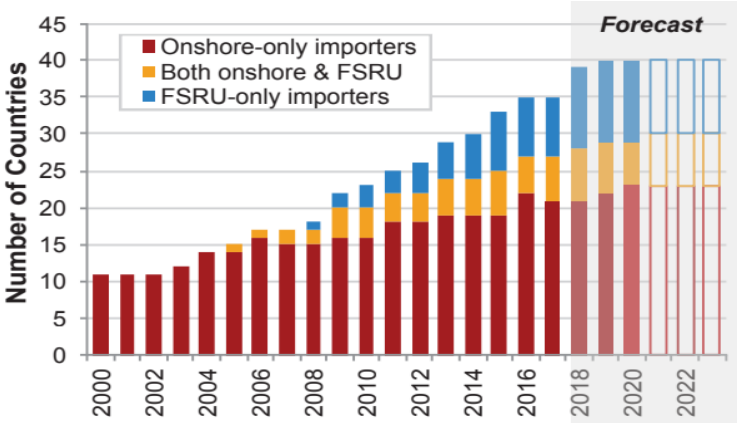
Η αποθηκευτική ικανότητα αερίου παγκοσμίως επηρεάζεται από δύο τάσεις: από τη μία μεριά οι παραδοσιακοί εισαγωγοί LNG τείνουν να αυξάνουν την αποθηκευτική τους ικανότητα και ιδιαίτερα οι χερσαίοι σταθμοί της Ασίας, ενώ από την άλλη μεριά στις καινούργιας αγορές η αποθηκευτική ικανότητα μειώνεται, κυρίως λόγω της ύπαρξης των FSRU πλοίων, τα οποία έχουν πολύ μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα από τους χερσαίους σταθμούς αεριοποίησης. Οι χερσαίοι σταθμοί έχουν μία χωρητικότητα ανάμεσα σε 200-600 εκατ. κυβικά μέτρα, ενώ τα FSRU 125-170 εκατ. κυβικά μέτρα.

Οι εγκαταστάσεις αεριοποίησης LNG διαφέρουν αρκετά ως προς το μέγεθος του πλοίου που μπορούν να δεχτούν. Γενικά οι σταθμοί σήμερα, στις ήδη υπάρχουσες αγορές, μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερου μεγέθους πλοία σε σχέση με παλαιότερα. Αντίθετα, οι νεότερες αγορές LNG συχνά χρησιμοποιούν FSRU ή μικρότερες εγκαταστάσεις, που με τη σειρά τους μπορούν να δεχτούν μικρότερα πλοία. Αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν στην πλειοψηφία τους να δεχτούν πλοία χωρητικότητας μικρότερης των 200,000 κυβικών μέτρων. Στις μεγαλύτερες, παραδοσιακές αγορές, πλοία τύπου Q-Class, δηλαδή μεγαλύτερα των 217,000 κυβικών μέτρων μπορούν να γίνουν δεκτά. Δεκαέξι από τις σαράντα διαφορετικές αγορές ή 41 από τους 114 σταθμούς αεριοποίησης είναι γνωστό ότι μπορούν να δεχτούν πλοία τύπου Q-Max, δηλαδή χωρητικότητας από 261,700 έως 266,000 κυβικά μέτρα. Είκοσι δύο από αυτούς βρίσκονται στην Ασία και κανένα στη Λατινική Αμερική ή την Αφρική.

2.4.3 Συγκριση Χερσαιων και Πλωτων Μοναδων Αεριοποιησης

Η συντριπτική πλειοψηφία των μονάδων αεριοποίησης παγκοσμίως εδράζεται στη στεριά. Πιο συγκεκριμένα, το 82% των σταθμών, τρεις στους τέσσερις που παραδόθηκαν το 2016 και δύο στους τρεις που παραδόθηκαν τον Ιανουάριο του 2017 είναι χερσαίοι. Παρόλα αυτά, το 2015, επτά νέοι σταθμοί, τέσσερις εκ των οποίων είναι FSRU, καθώς και έξι από τους σταθμούς που βρίσκονται υπό κατασκευή είναι πλωτοί, που δείχνει ότι οι τελευταίοι κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Τα FSRU είναι το ποιο κοινό μέσο

για τις νέες αγορές να εισέλθουν στην αγορά του LNG, με αποτέλεσμα να αυξάνουν το συνολικό ποσοστό των πλωτών μονάδων. Πολλές χώρες χρησιμοποιούν FSRU για να εισάγουν LNG, όπως η Κολομβία, το Πακιστάν, η Αίγυπτος και η Ιορδανία. Στο τέλος του 2016, δεκατρείς από τις τριάντα τέσσερις χώρες εισαγωγούς χρησιμοποιούσαν FSRU.



Σχήμα 3.4.4: Η άνοδος των FSRU, 2000-2023. Πηγή: IHS Markit

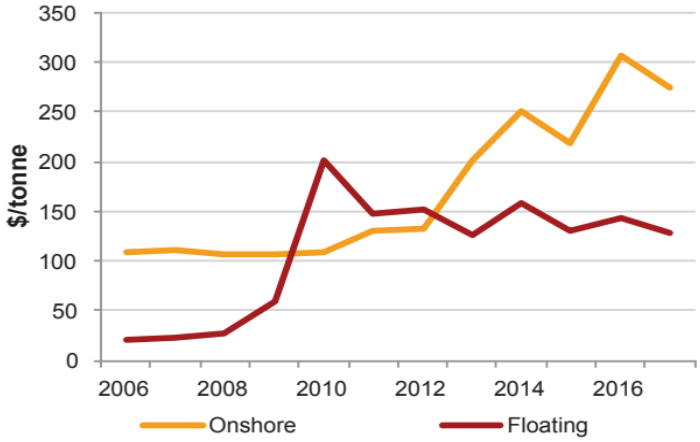
Οι χερσαίοι σταθμοί αεριοποίησης, αλλά και τα FSRU, έχουν τις δικές τους οικονομικές προκλήσεις κατά την εγκατάσταση και χρήση τους, οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από την εγχώρια αγορά. Τα τελευταία στοιχεία δείχνουν ότι οι νέοι εισαγωγείς LNG προτιμούν τη λύση του FSRU, όπως αποδεικνύεται από την Αίγυπτο, την Ιορδανία, το Άμπου Ντάμπι και το Πακιστάν. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της λύσης είναι ότι μπορούν να προσφέρουν γρήγορη σύνδεση με τη διεθνή αγορά, είναι φθηνότερα σαν επένδυση από τους χερσαίους σταθμούς, ενώ η διαδικασία αεριοποίησης είναι γρηγορότερη. Ακόμα, προσφέρουν μεγάλη ευελιξία, όταν η κατασκευή χερσαίων εγκαταστάσεων είναι δύσκολη για μία σειρά από λόγους, όπως να μην υπάρχει κατάλληλο λιμάνι για να φιλοξενήσει ένα τέτοιο σταθμό.

Από την άλλη, αναλόγως και την εγχώρια αγορά, οι χερσαίες εγκαταστάσεις μπορούν να έχουν από τη μεριά τους μία σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πλωτές. Οι χερσαίες εγκαταστάσεις έχουν στις περισσότερες περιπτώσεις μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης από τις πλωτές, που μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο, δεδομένου των αναγκών της εκάστοτε χώρας. Ακόμα δεν αντιμετωπίζουν περιορισμούς που συναντώνται συχνά στα FSRU και σχετίζονται με τη δυνατότητα εκφόρτωσης μεγάλων φορτίων. Επιπρόσθετα, τα FSRU είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν μία σειρά από προβλήματα κατά την εκφόρτωση που σχετίζονται με την απόδοση του πλοίου, άσχημες μετεωρολογικές συνθήκες και καθυστέρηση στην παράδοση του φορτίου. Τέλος, οι χερσαίες εγκαταστάσεις μπορούν, ανάλογα με τη ζήτηση, να αυξήσουν την ικανότητα αεριοποίησης και αποθήκευσης, αντίθετα με τις πλωτές εγκαταστάσεις.

2.4.4 Κοστος Μοναδων Αεριοποιησης

Το κόστος των καινούργιων μονάδων αεριοποίησης έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, και ειδικά των χερσαίων εγκαταστάσεων, μετά από μία περίοδο σχετικής σταθερότητας, από το 2006 έως το 2012. Τα FSRU γνώρισαν μία μεγάλη αύξηση κόστους το 2009-2010 και από τότε το κόστος κατασκευής τους παραμένει σχεδόν σταθερό. Τυπικά, το συνολικό κόστος μίας μονάδας εξαρτάται από τα επιμέρους κόστη τους εξοπλισμού αεριοποίησης, των δεξαμενών αποθήκευσης, των εγκαταστάσεων υποδοχής του πλοίου και των σωλήνων μεταφοράς του αερίου

προς το δίκτυο κατανάλωσης. Έτσι, το κόστος μίας χερσαίας εγκατάστασης αεριοποίησης το 2016 ανήλθε σε 334 $/τόνο, τη στιγμή που το 2015 ήταν 225 $/τόνο, καταγράφοντας μία σημαντική αύξηση. Η αύξηση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης των σταθμών αεριοποίησης, λόγω της αύξησης της μεταφορικής ικανότητας των LNG πλοίων. Με τον τρόπο αυτό, βέβαια, αγορές όπως αυτές της Ασίας, έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μεγαλύτερη σταθερότητα στην παροχή αερίου στους καταναλωτές. Το 2017 αντίθετα, η παράδοση μικρότερων σταθμών αεριοποίησης μείωσε το μέσο κόστος κατασκευής στα 212 $/τόνο, ενώ το 2018 αναμένεται να φτάσει τα 285 $/τόνο. Έτσι, όπως φαίνεται από τα παραπάνω, το κατασκευαστικό κόστος εξαρτάται από τους σταθμούς που παραδίδονται, με αποτέλεσμα να είναι έκθετο σε μεγάλες διακυμάνσεις.



Σχήμα 3.4.5: Κόστος αεριοποίησης βάσει της ημερομηνίας έναρξης της κατασκευής. Πηγή: IHS Markit

Το κεφαλαιακό κόστος των πλωτών σταθμών αεριοποίησης έχει μείνει σχεδόν σταθερό τα τελευταία χρόνια, καθώς μειώθηκε από τα 158$/τόνο που είχε φτάσει το 2014. Η αύξηση των μετατροπών συμβατικών πλοίων μεταφοράς LNG σε FSRU αναμένεται να μειώσει ακόμα περισσότερο το μέσο κεφαλαιακό τους κόστος. Δυστυχώς η εικόνα αυτή είναι θολή, λόγω των λιγοστών στοιχείων που υπάρχουν για τους πλωτούς σταθμούς που ολοκληρώθηκαν πρόσφατα. Στο τέλος του 2017, δώδεκα πλωτοί σταθμοί βρίσκονταν υπό κατασκευή, εκ των οποίων οι πέντε αναμένεται να παραδοθούν εντός του 2018. Τέλος, αντίθετα από τους χερσαίους σταθμούς που το κεφαλαιακό τους κόστος επηρεάζεται από το αυξανόμενο μέγεθος των LNG πλοίων, το μέγεθος και η χωρητικότητα των πλωτών σταθμών παραμένουν σχεδόν σταθερά, με αποτέλεσμα να διατηρεί και αυτός ο παράγοντας το συνολικό κόστος της εγκατάστασης σε σχεδόν σταθερό επίπεδο.

2.4.5 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Οι σταθμοί αεριοποίησης αντιμετωπίζουν μία σειρά από προκλήσεις που προκύπτουν από διαφόρων ειδών ρίσκα, αν και αυτά είναι λιγότερα από τα αντίστοιχα των σταθμών υγροποίησης. Για τις χερσαίες και τις πλωτές εγκαταστάσεις τα ρίσκα που καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι

τα ίδια, αν και μπορούν να περιοριστούν από τους υπεύθυνους σχεδιασμού του κάθε έργου μέσω της υιοθέτησης διαφόρων προσεγγίσεων.

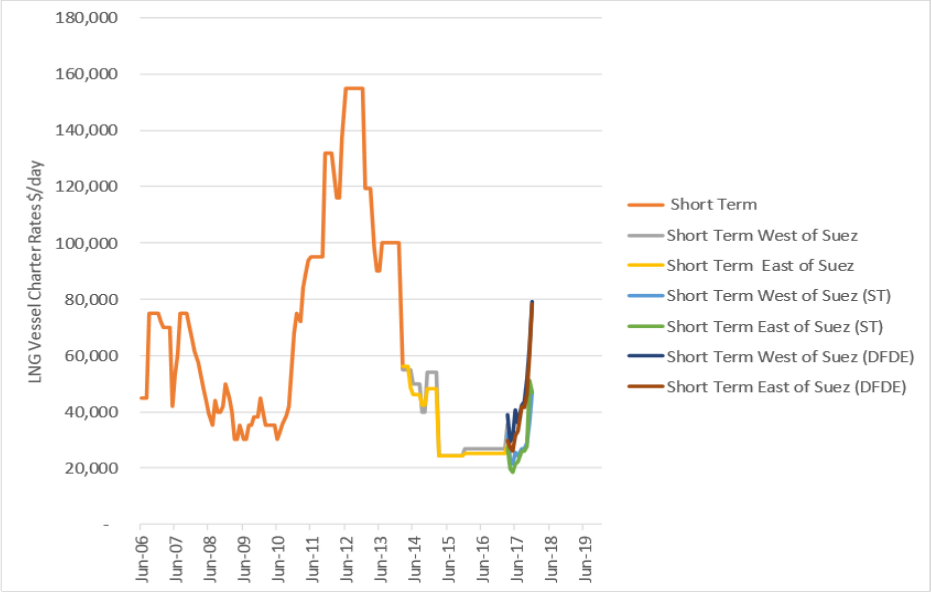
Τα ενδεχόμενα ρίσκα περιλαμβάνουν την επαρκή χρηματοδότηση του έργου, που είναι διακύβευμα, λόγω των προκλήσεων της αγοράς, καθώς και οι διαδικασίες έγκρισης, αδειοδότησης και το φορολογικό καθεστώς, που ισχύει ιδιαίτερα σε χώρες που κυριαρχεί πολιτική αστάθεια και το φορολογικό σύστημα είναι περίπλοκο. Ακόμα, οι ιδιαίτερες συνθήκες του περιβάλλοντος που θα γίνει η εγκατάσταση μπορεί να καθυστερήσουν ή και να ακυρώσουν ένα έργο, όπως έγινε με το Aguirre Gas Port FSRU στο Πουέρτο Ρίκο. Ένα ακόμα παράδειγμα ρευστότητας και κινδύνων που ενέχει αυτή η αγορά είναι η πρόσφατη (Αύγουστος 2018) διάλυση της συμφωνίας μεταξύ της νορβηγικής εταιρίας Hoegh LNG και του κράτους της Χιλής για τη ναύλωση ενός FSRU πλοίου. Αν και οι δύο πλευρές είχαν συμφωνήσει το 2015 για σύναψη εικοσαετούς συμβολαίου ναύλωσης, αρχής γενομένης του δεύτερου τριμήνου του 2018, η Hoegh έλυσε τη συμφωνία λόγω συνεχόμενων των καθυστερήσεων από την πλευρά του Κράτους της Χιλής. Έτσι η εταιρία προτίμησε τη σύναψη συμβολαίου με την Κίνα, ακόμα και αν είναι μόνο για τρία χρόνια. Ένας ακόμα παράγοντας που δημιουργεί αστάθεια και μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις είναι οι καθυστερήσεις του έργου λόγω τεχνικών προβλημάτων.

Τέλος, η σύνδεση της εγκατάστασης αεριοποίησης με τους τελικούς καταναλωτές μπορεί να υποδαυλίσει το έργο, καθώς αρκετά συχνά το δίκτυο σύνδεσης αποτελεί διαφορετικό έργο από την εγκατάσταση αεριοποίησης, ενώ, ταυτόχρονα, η αδυναμία εξασφάλισης των απαραίτητων μακροχρόνιων συμβολαίων μπορεί να δημιουργήσει σοβαρή αστάθεια στην πορεία της επένδυσης.

2.5 Η ΝΑΥΛΑΓΟΡΑ ΤΩΝ LNGC

2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

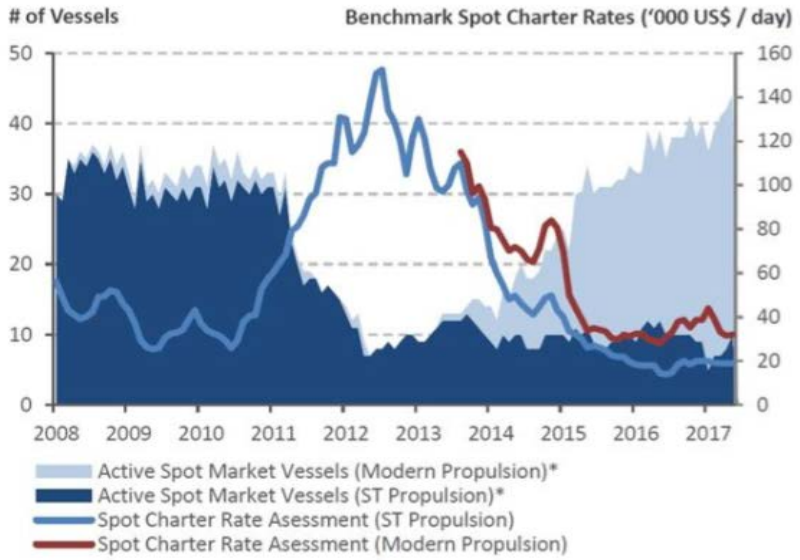
Το κόστος μεταφοράς ενός φορτίου LNG αποτελούσε πάντα έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για την ναυπήγηση νέων πλοίων ή για την επιλογή του βέλτιστου προορισμού ενός φορτίου στην spot αγορά. Ο υπολογισμός των ναύλων βασίζεται σε δεδομένα που σχετίζονται με τις εκάστοτε τιμές των βραχυπρόθεσμων συμβολαίων και υπολογίζονται από ομάδες αναλυτών εξειδικευμένων πρακτορείων. Το 2010, οι τιμές ναύλωσης των βραχυπρόθεσμων συμβολαίων ενισχύθηκαν σημαντικά, κυρίως λόγω της ζήτησης των ασιατικών αγορών, και ειδικά της Ιαπωνίας, που σχετίζεται με το ατύχημα της Φουκοσίμα. Αντίθετα, από τις αρχές του 2013, οι τιμές ναύλωσης μειώθηκαν ραγδαία από τα 155,000$ την ημέρα το 2012 σε 24,500$ την ημέρα το 2015, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.5.1: Κόστος βραχυπρόθεσμων συμβολαίων $/μέρα, 2006-2017.
Πηγή: Angus Global LNG.

Οι τιμές ναύλωσης παρέμειναν σε αυτά τα επίπεδα μέχρι τα μέσα του 2017, όπου και κατέγραψαν σημαντική άνοδο. Έως το Δεκέμβρη του 2017, οι μέσες τιμές ναύλωσης έφταναν τα 63,000$ την ημέρα, δηλαδή περισσότερο από τις διπλάσιες σε σχέση με αυτές της περιόδου 2015-2017.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθορίζουν τα ναύλα ενός πλοίου LNG. Ο πρώτος είναι το μέγεθος του πλοίου. Όπως έχει περιγράφει και παραπάνω, το μέγεθος ενός LNG πλοίου μπορεί να διαφέρει αρκετά, αν και η γενική τάση είναι ο μέσος όρος να αυξάνεται, καθώς τα καινούργια πλοία εισέρχονται στην αγορά. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 73% των πλοίων έχουν μεταφορική ικανότητα ανάμεσα σε 90,000 και 173,000 κυβικούς τόνους. Ένας άλλος παράγοντας που ρυθμίζει την τιμή των ναύλων είναι η εγκατάσταση πρόωσης, η οποία με τη σειρά της καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Οι παλιότερες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων είναι λιγότερο αποδοτικές από τις πιο καινούργιες, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα είναι μεγαλύτερα σε αυτά τα πλοία. Ακόμα, το είδος της μόνωσης των δεξαμενών, που καθορίζει το ρυθμό εξάτμισης του υγροποιημένου φυσικού αερίου επηρεάζει το μέγεθος των ναύλων, καθώς και η διαδρομή την οποία πρέπει να κάνει το πλοίο για να παραλάβει ή να παραδώσει το φορτίο του. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται κάποια παραδείγματα ημερήσιων ναύλων για βραχυπρόθεσμα συμβόλαια ανάλογα με τη διαδρομή και το είδος της εγκατάστασης πρόωσης



Σχήμα 3.5.2: Ενεργά πλοία της spot αγοράς σε σχέση με τα ναύλα. Πηγή Poten& Partners.

2.5.2 ΝΑΥΛΑ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Ο κύκλος ναύλωσης ενός LNG πλοίου περιλαμβάνει τη φόρτωση με υγροποιημένο φυσικό αέριο σε ένα σταθμό υγροποίησης με ποσότητα που αντιστοιχεί στο 98% της μεταφορικής ικανότητας των δεξαμενών του και διαρκεί περίπου μία μέρα. Ακόμα, περιλαμβάνει το χρόνο που θα χρειαστεί το πλοίο για να ταξιδέψει από το λιμάνι φόρτωσης έως το λιμάνι παραλαβής, καθώς και των συνολικών ναυτικών μιλίων που θα διανύσει.

Loading Port	**Discharge Port**	**Nautical Miles**
Barrow Island (Austalia)	Tokyo	3727
	Shanghai	3322
	Qingdao	3598
	Inchon	3649
	Kochi	2974
Qatar	Tokyo	6512
	Shanghai	5845
	Qingdao	6093
	Kochi	1798
	Inchon	6182
Sabine Pass	Tokyo	15762
	Tokyo (via Panama Canal)	9209
	Shanghai (via Panama Canal)	10081
	Isle of Grain	4897
	Inchon (via Panama Canal)	9998

Πίνακας 3.5.1: Αποστάσεις μεταξύ λιμένων εξαγωγής και εισαγωγής LNG. Πηγή: sea-distance.org

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι αποστάσεις ανάμεσα σε λιμάνια μερικών από τους μεγαλύτερους παραγωγούς και εισαγωγούς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

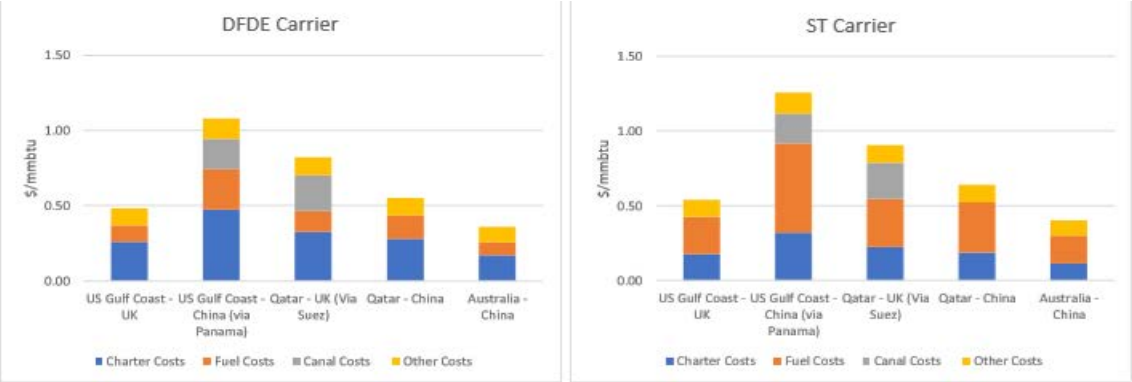
Ο συνδυασμός των αποστάσεων μεταξύ των λιμανιών φόρτωσης και παράδοσης και της εκτίμησης του κόστους των υπολοίπων βασικών παραγόντων, όπως η κατανάλωση, το κόστος καυσίμου και ο ρυθμός των ναύλων, συμπληρώνουν ένα μοντέλο εκτίμησης του κόστους μεταφοράς. Για να γίνει κατανοητό πως επηρεάζεται το κόστος μεταφοράς, παρατίθενται πέντε διαδρομές και οι εκτιμήσεις κόστους που προκύπτουν, βάση των παραδοχών που έχουν γίνει στις διάφορες μεταβλητές που τις επηρεάζουν, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα δύο διαφορετικών χρονικών περιόδων, του Ιουλίου και του Δεκεμβρίου 2017. Τα συστήματα πρόωσης είναι DFDE και Ατμοστρόβιλοι. [1]

Type of Carrier	Route	Boil off Opportunity Cost $/MMBtu	HFO Cost $/Tonne	Charter Rate $/day
DFDE	US Gulf Coast - UK	4.7	286	36,000
DFDE	US Gulf Coast - China (via Panama)	5.5	286	33,286
DFDE	Qatar - UK	4.7	286	36,000
DFDE	Qatar - China	5.5	286	33,286
DFDE	Australia - China	5.5	286	33,286
ST	US Gulf Coast - UK	4.7	286	24,333
ST	US Gulf Coast - China (via Panama)	5.5	286	22,048
ST	Qatar - UK	5.5	286	24,333
ST	Qatar - China	4.7	286	22,048
ST	Australia - China	5.5	286	22,048

Σχήμα 3.5.2: Κόστος καυσίμου και ναύλου για τον Ιούλιο 2017. Πηγή: Angus LNG

Type of Carrier	Route	Boil off Opportunity Cost $/MMBtu	HFO Cost $/Tonne	Charter Rate $/day
DFDE	US Gulf Coast - UK	7.7	349	79,342
DFDE	US Gulf Coast - China (via Panama)	9.2	349	78,421
DFDE	Qatar - UK	7.7	349	79,342
DFDE	Qatar - China	9.2	349	78,421
DFDE	Australia - China	9.2	349	78,421
ST	US Gulf Coast - UK	7.7	349	47,125
ST	US Gulf Coast - China (via Panama)	9.2	349	47,125
ST	Qatar - UK	9.2	349	47,125
ST	Qatar - China	7.7	349	47,125
ST	Australia - China	9.2	349	47,125

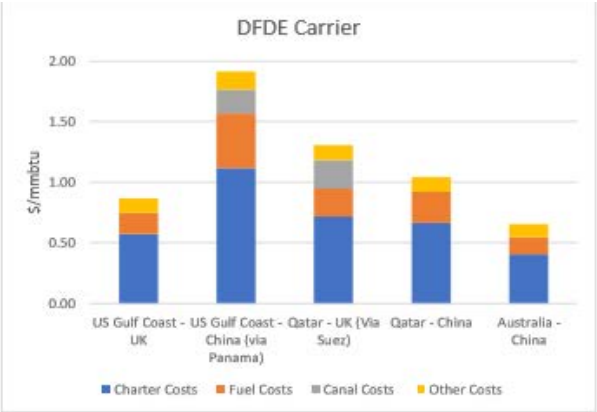
Σχήμα 3.5.3: Κόστος καυσίμου και ναύλου για τον Δεκέμβριο 2017. Πηγή: Angus LNG

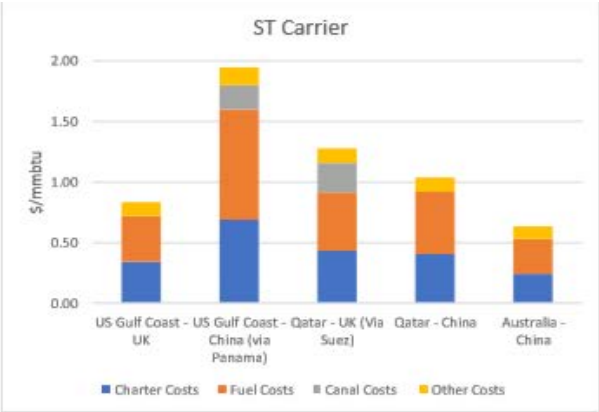


Σχήμα 3.5.3: Κόστος μεταφοράς LNG ανά κατηγορία, Ιούλιος 2017

Πηγή: The LNG Shipping Forecast: costs rebounding, outlook uncertain

Ο παραπάνω πίνακας αποτυπώνει το διαφορετικό κόστος για τη μεταφορά ενός φορτίου ανά διαδρομή, αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικές εγκαταστάσεις πρόωσης. Φαίνεται ότι οι εγκαταστάσεις ατμοστροβίλου είναι από 10 έως 16% πιο κοστοβόρες σε σχέση με τις DFDE. Ακόμα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεταφορικό κόστος μεταξύ των βασικών παραγωγών και καταναλωτών είναι σχετικά μικρό, ενώ μεταξύ των βασικών παραγωγών και μικρών ή καινούργιων καταναλωτών ενδεχομένως να είναι μεγαλύτερο. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα ίδια στοιχεία για την περίοδο του Δεκεμβρίου 2017.





Σχήμα 3.5.4: Κόστος μεταφοράς LNG ανά κατηγορία, Δεκέμβριος 2017
Πηγή: The LNG Shipping Forecast: costs rebounding, outlook uncertain

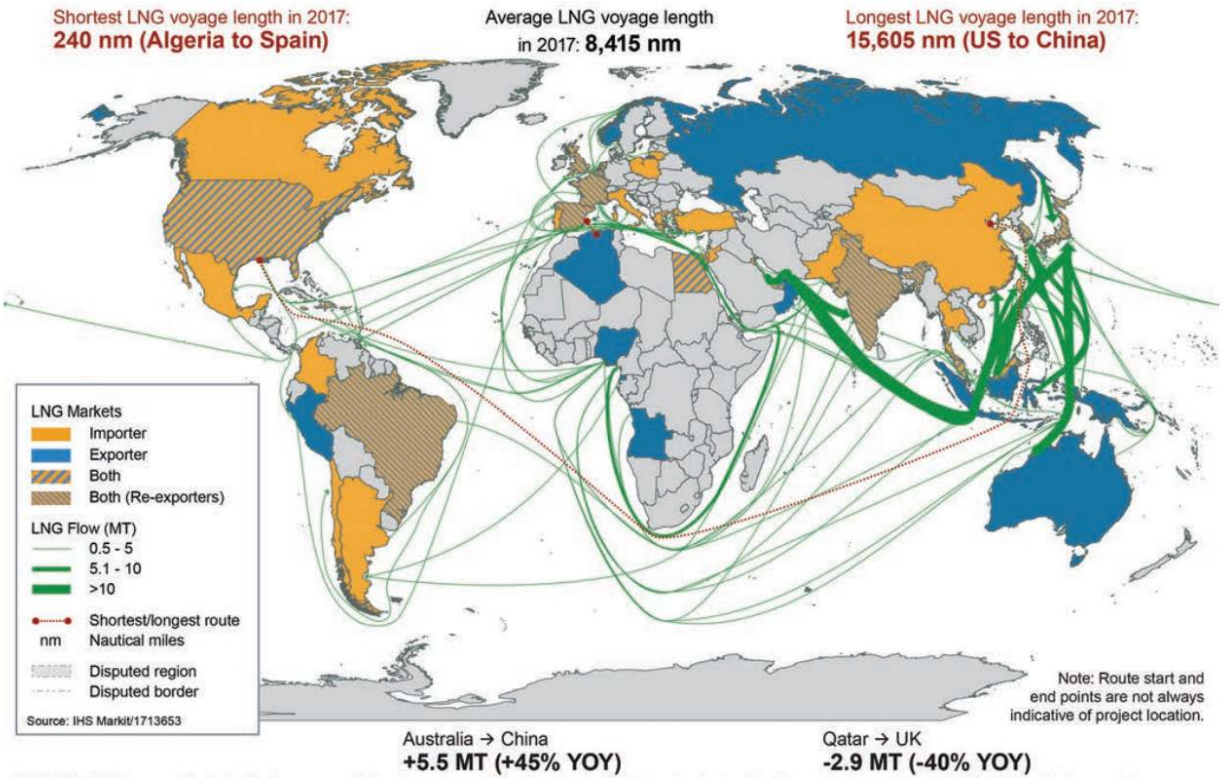
Από τον πίνακα φαίνεται ότι το κόστος μεταφοράς είναι υψηλότερο σε σχέση με τον Ιούλιο του ίδιου έτους. Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι το μεταφορικό κόστος των πλοίων με DFDE και ατμοστρόβιλους είναι σχεδόν το ίδιο. Κατά την ανάλυση των διαφόρων παραγόντων που συμβάλουν στο τελικό κόστος φαίνεται ότι, αν και το κόστος του καυσίμου είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση των πλοίων με εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων, το κόστος των ναύλων είναι πολύ μεγαλύτερο στα DFDE πλοία, λόγω της μεγάλης ζήτησης.

2.5.3 Εκτιμηση Κοστους και επιπτωσεις

Με τα τωρινά δεδομένα, το κόστος μεταφοράς του LNG φαίνεται ότι θα ενισχυθεί το επόμενο χρονικό διάστημα, λόγω της αύξησης της τιμής του πετρελαίου, που θα επηρεάσει την τιμή του μαζούτ (HFO), της ανάγκης τα ναύλα να καλύψουν ως ενός σημείου το κόστος κατασκευής των καινούργιων και πιο αποδοτικών πλοίων, καθώς και το κόστος της επένδυσης για πλοία που θα περιορίζουν το φαινόμενο της εξάτμισης του υγροποιημένου φυσικού αερίου (BOG) κατά τη μεταφορά του φορτίου.
Η αύξηση των βραχυπρόθεσμων συμβολαίων ήταν κάτι απρόσμενο για τους παράγοντες της αγοράς, λόγω των ιστορικά χαμηλών τιμών των ναύλων κατά τη διετία 2015 – 2016. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στη μεγάλη στη μεγάλη ζήτηση της Κίνας, στην προσπάθειά της να

αντικαταστήσει τον άνθρακα, που χρησιμοποιείται για θέρμανση, με φυσικό αέριο. Οι εκτιμήσεις θέλουν αυτή την τάση να συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια, με επιφύλαξη εάν και κατά πόσο μπορεί να επηρεαστεί αυτή η τάση λόγω των δασμών που ενδέχεται να επιβάλλει η Κίνα στις εισαγωγές ΥΦΑ από τις ΗΠΑ.

Η γενικότερη τάση στον τομέα του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι η απομάκρυνση από το μοντέλο των μακροπρόθεσμων συμβολαίων, όπου τα πλοία μεταφοράς LNG αποτελούσαν κομμάτι της συνεργασίας ανάμεσα σε σταθμούς υγροποίησης και αεριοποίησης. Πολλά από τα νέα έργα χρηματοδοτούνται από πετρελαϊκές εταιρίες με μεγάλο κατάλογο εν δυνάμει καταναλωτών ή η διαχείρισή τους έχει αναληφθεί τις εταιρίες αυτές, που έχουν συνάψει συμφωνίες με τους φορείς εκμετάλλευσης των σταθμών.



Σχήμα 3.5.5: Βασικοί θαλάσσιοι δρόμοι μεταφοράς LNG. Πηγή: IHS Markit

Η συνθήκη αυτή δημιουργεί νέες προοπτικές στην αγορά, καθώς και την ανάγκη κατασκευής νέων πλοίων. Η ζήτηση αυτή της αύξησης της μεταφορικής ικανότητας φαίνεται ότι πρόκειται να καλυφθεί είτε από τις ίδιες τις εταιρίες διαχείρισης των σταθμών παραγωγής (π.χ. Yamal), είτε από ανεξάρτητες ναυτιλιακές εταιρίες που προσπαθούν να εκμεταλλευθούν τις ανάγκες της αγοράς.

Οι παραπάνω συνθήκες προδιαγράφουν και το μέλλον των ναύλων στον τομέα του LNG. Το σενάριο αυτό ενισχύεται στην περίπτωση που ισχύουν δύο συνθήκες: πρώτων. ένα μεγάλο μέρος της ζήτησης που θα προέρχεται από τις αναπτυσσόμενες αγορές της Ασίας θα καλύπτει την αυξημένη παραγωγή LNG, αλλά, δεύτερον. η ζήτηση αυτή θα περιορίζεται από την τιμή του φυσικού αερίου, όταν αυτή ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο. Επιπρόσθετα σε αυτό, η αβεβαιότητα που επικρατεί στις αγορές της Ασίας ανά χώρα, καθώς και η επακόλουθη απροθυμία για σύναψη

μακροπρόθεσμων συμβολαίων που συνδέεται με την τιμή του πετρελαίου, κάνει την κατάσταση ακόμα πιο περίπλοκη. Έτσι, οι μελλοντικές επενδύσεις (FID) στον τομέα του LNG θα πρέπει να βασιστούν στις εκτιμήσεις των spot, βραχυπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων συμβολαίων, αντί για τα παραδοσιακά μακροπρόθεσμα συμβόλαια, που αποτελεί σημαντική αλλαγή στην αγορά.

2.5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

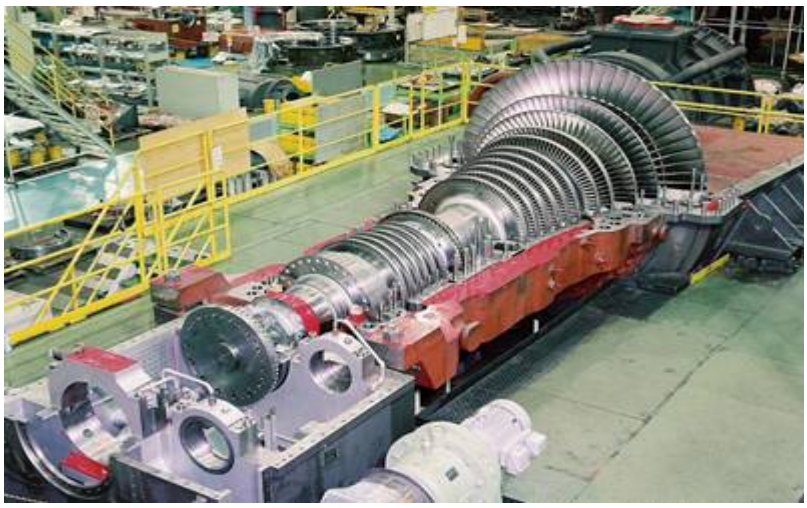
Το βασικό συμπέρασμα από την ανάλυση που έγινε παραπάνω είναι ότι ο υπολογισμός των ναύλων των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι μία σύνθετη και δυναμική διαδικασία που εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων. Μερικοί από αυτούς τους είναι σταθεροί, όπως για παράδειγμα το ενεργειακό κόστος ανά ημέρα ενός πλοίου με δεδομένη εγκατάσταση πρόωσης, καθώς και η απόσταση ανάμεσα σε συγκεκριμένα λιμάνια εξαγωγής και εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου, ενώ άλλες συνθήκες μεταβάλλονται, όπως η ζήτηση του LNG, η παραγωγή, η συνολική μεταφορική ικανότητα και το είδος των συμβολαίων. Φαίνεται ότι βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα υπάρχει μία έντονη τάση από τη μεριά των εισαγωγών να προτιμούν τα συμβόλαια μικρής διάρκειας, που μπορεί να εξηγηθεί από την αυξημένη ζήτηση LNG χωρών που δεν ήταν παραδοσιακοί εισαγωγοί. Τέλος φαίνεται ότι μπορούν να γίνουν μία σειρά από προβλέψεις για την κίνηση της αγοράς βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, αλλά δεδομένου ότι είναι εκτεθειμένη σε μία σειρά από ρίσκα, όπως η πολιτική αστάθεια, οι εκτιμήσεις μπορεί να απέχουν από την πραγματικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΡΟΩΣΗΣ LNGC

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εγκατάσταση πρόωσης είναι μία από τις σημαντικότερες επιλογές που πρέπει της πλοιοκτήτριας εταιρίας, πριν την εκκίνηση κατασκευής ενός πλοίου. Αυτό διότι, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό, όχι μόνο το κεφαλαιουχικό κόστος κατασκευής, αλλά και το κόστος λειτουργίας κατά τη διάρκεια ζωής του κάθε πλοίου, άρα και τα ναύλα του. Η ανάπτυξη της αγοράς, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αλλά και οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι αυτές που καθορίζουν τις υπάρχουσες επιλογές των συστημάτων πρόωσης, άρα και την ανταγωνιστικότητα ενός πλοίου στο σύνολό του.

Για αρκετές δεκαετίες, η κυρίαρχη επιλογή της αγοράς για τις προωστήριες εγκαταστάσεις ήταν οι ατμοστρόβιλοι. Τα συστήματα αυτά είναι απλά, μπορούν να καταναλώνουν το φυσικό αέριο που αεριοποιείται στις δεξαμενές, λόγω ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον (BOG) και οι απαιτήσεις συντήρησης είναι μικρές. Το βασικότερο μειονέκτημά τους, που έκανε επιτακτική την ανάγκη αντικατάστασής τους, είναι ο χαμηλός βαθμός θερμικής απόδοσης, που συνεπάγεται υψηλή κατανάλωση καυσίμου και υψηλή παραγωγή αέριων ρύπων.



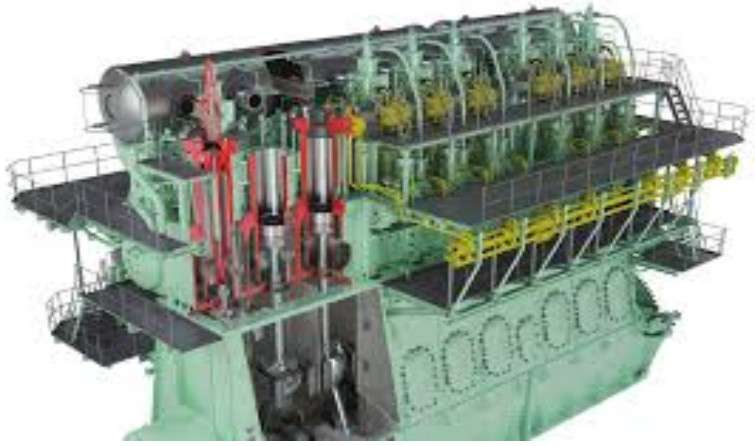
Σχήμα 4.1.1 Αεριοστρόβιλος. Πηγή: MHI

Οι κατασκευαστές που είχαν πολύχρονη εμπειρία στο κομμάτι αυτό της αγοράς, έκαναν, και συνεχίζουν να κάνουν, μία σειρά από προσπάθειες ώστε να διατηρηθεί η βασική φιλοσοφία των στροβίλων, προσαρμοσμένη όμως κατά τω δυνατών στις απαιτήσεις των καιρών. Έτσι, μία εναλλακτική που προτάθηκε ήταν οι αεριοστρόβιλοι, που η τεχνολογία τους είναι δοκιμασμένη στο χώρο της αεροναυτιλίας, και προσαρμόστηκε στις ιδιαίτερες συνθήκες της ναυτιλίας, καθώς και ο συνδυασμένος κύκλος ατμοστροβίλου και αεριοστρόβιλου, που εκμεταλλεύεται την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων που παράγονται από τον αεριοστρόβιλο για να παράξει ατμό που χρησιμοποιείται από τον ατμοστρόβιλο για την πρόωση ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, στο κομμάτι αυτό εισήχθη, τα τελευταία χρόνια, και ο κύκλος ατμοστροβίλου με αναθέρμανση ατμού (Ultra Steam Turbine – UST), όπου ένας ατμοστρόβιλος τοποθετείται σε

ενδιάμεσο στάδιο και παράγει ωφέλιμη ενέργεια από τον ατμό που αναθερμαίνεται. Αν και οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τον παραδοσιακό ατμοστρόβιλο, δεν μπορούν να φτάσουν τα επίπεδα των μηχανών εσωτερικής καύσης που πλέον μπορούν να καταναλώνουν φυσικό αέριο μαζί με υγρά καύσιμα (dual fuel) και αποτελούν ένα αναπτυσσόμενο κομμάτι της αγοράς.

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, οι μηχανές διπλού καυσίμου έκαναν δυναμικά την εμφάνισή τους στο χώρο της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η ηλεκτρική εγκατάσταση πρόωσης με μεσόστροφους κινητήρες διπλού καυσίμου, όπου οι γεννήτριες μπορούν να καταναλώνουν το φυσικό αέριο που παράγεται από την αεριοποίηση (Boil Off Gas - BOG) και να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την πρόωση με μειωτήρες και ηλεκτρικά μοτέρ, είτε για την κατανάλωση ρεύματος στις διάφορες απαιτήσεις του πλοίου ήταν η πρώτη φάση της στροφής προς τους κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Τα νεότερα συστήματα που έχουν εμφανιστεί στην αγορά, είναι δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου, που λειτουργούν είτε με υψηλή, είτε με χαμηλή πίεση αερίου καυσίμου, ανάλογα με τον θερμοδυναμικό κύκλο λειτουργίας στον οποίο βασίζονται – Diesel ή Otto. Η θερμική απόδοση είναι ιδιαίτερα υψηλή και προσεγγίζει το 50%, ενώ η εγκατάσταση αποτελείται από συμπιεστές που ανεβάζουν την πίεση στην επιθυμητή τιμή και, συνήθως, από ένα σύστημα επανυγροποίησης του φυσικού αερίου, όπου το ποσό της εξάτμισης που δεν καταναλώνεται, υγροποιείται μερικώς και επιστέφει στις δεξαμενές, ανεβάζοντας τη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας και φορτίου του συστήματος. Οι δύο παραπάνω εγκαταστάσεις χρειάζονται ειδική μεταχείριση των αέριων ρύπων για μπορούν να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις του IMO όταν καταναλώνουν αποκλειστικά υγρά καύσιμα, ενώ η εγκατάσταση υψηλής πίεσης χρειάζεται ανακύκλωση καυσαερίων και για τη φάση κατανάλωσης φυσικού αερίου ως κύριο καύσιμο. Αν και τα πλεονεκτήματα αυτών των εγκαταστάσεων είναι πολλά, μένει να αποδειχθεί η αξιοπιστία τους τα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 4.1.2 Μηχανή τύπου ME-GI. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

Όσο οι απαιτήσεις της αγοράς αλλάζουν και η τεχνολογία εξελίσσεται, τόσο θα εισάγονται στον τομέα των εγκαταστάσεων πρόωσης νέα συστήματα και καινοτομίες. Μένει να φανεί τα επόμενα χρόνια ποια από τα προαναφερθείσα συστήματα θα ικανοποιήσουν καλύτερα τις ανάγκες της εξέλιξης.

3.2 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις αρχές της δεκαετίας του ’70, οι ατμοστρόβιλοι κυριάρχησαν ως μέσο πρόωσης στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, παρόλο που την ίδια περίοδο είχαν εκτοπιστεί από σχεδόν όλα τα άλλα είδη εμπορικών και επιβατηγών πλοίων. Για αρκετά χρόνια παρέμεναν η μοναδική επιλογή πρόωσης για αυτό το κομμάτι της ναυτιλίας, κάτι το οποίο αλλάζει ταχύτατα τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, όπου και αντικαθίστανται κυρίως από παλινδρομικούς κινητήρες διπλού καυσίμου.

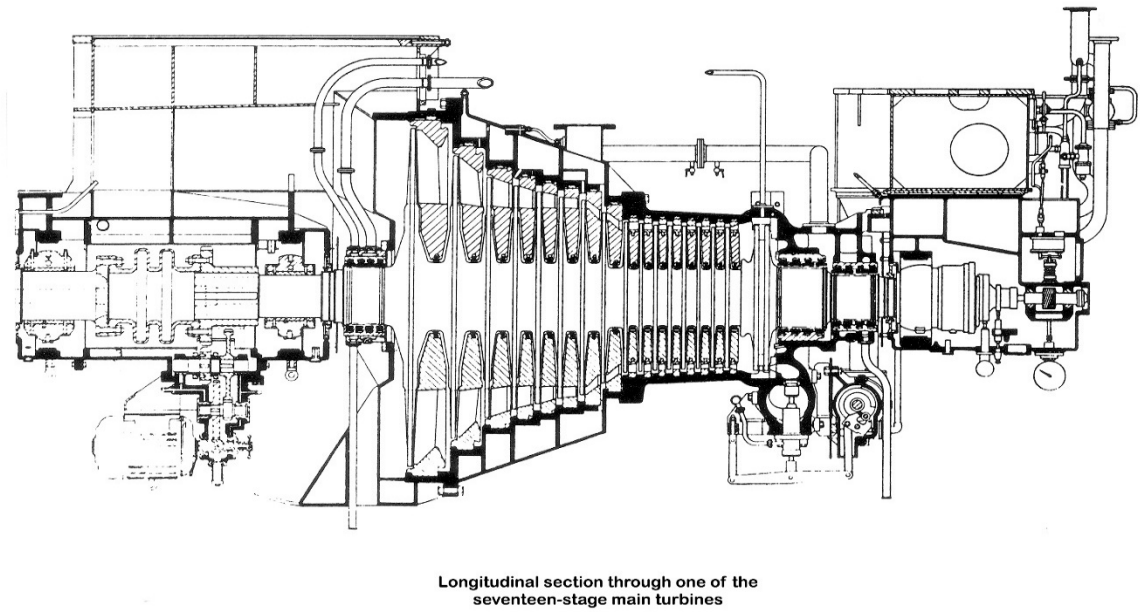
Οι συνθήκες που οδήγησαν στη διευρυμένη χρήση των ατμοστροβίλων ήταν η ανάγκη για μεγάλη παραγόμενη ισχύ, αξιοπιστία, ειδικά για ένα καύσιμο όπως το LNG, και η δυνατότητα της εγκατάστασης να χρησιμοποιεί χαμηλής ποιότητας υγρά καύσιμα, αλλά και το μέρος του φορτίου που αεριοποιείται. Τέλος, το σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης της εγκατάστασης επηρέασε σημαντικά την επιλογή αυτή.

Σχήμα 4.2.1 Ατμοστρόβιλος. Πηγή: Kawasaki Heavy Industries

Το βασικότερο μειονέκτημα, που έπαιξε και καταλυτικό ρόλο στην αναζήτηση εναλλακτικών προωστήριων εγκαταστάσεων για τα LNG, είναι η χαμηλή συνολική απόδοση των ατμοστροβίλων, που σημαίνει μεγάλη κατανάλωση καυσίμου για δεδομένη παραγωγή ισχύ, άρα και αυξημένες εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα. Ακόμα, η περιορισμένες δυνατότητες εφεδρικών συστημάτων σε περίπτωση βλάβης, η έλλειψη ναυτικών με ειδίκευση στις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις και οι περιορισμένες ικανότητες ελιγμών του πλοίου έκαναν τις παλινδρομικές μηχανές να κερδίσουν ακόμα περισσότερο έδαφος.

Με το πέρασμα του χρόνου, οι κατασκευαστές των προωστήριων αυτών εγκαταστάσεων μειώθηκαν και σήμερα παραμένουν πολύ λίγοι, με κύριο συνεχιστή την Kawasaki. Η Kawasaki έχει μακρά παράδοση στην κατασκευή αεροστροβίλων. Από το 1907 εισήχθη στο χώρο σε

συνεργασία με αμερικάνικες εταιρίες και από το 1950 και 1960 άρχισε να κατασκευάζει τα δικά της μοντέλα με τις σειρές K, S και H. Στο χώρο των LNG εισήχθη το 1980 με τους στροβίλους UC-400 και UC-450 για πλοία χωρητικότητας 125,000 m^3 και 128,000 m^3 αντίστοιχα. Η μέγιστη απόδοση των μοντέλων αυτών ήταν 29.4 MW και 33 MW. Από το 1990 και μετά παρήγαγε αεροστροβίλους που ξεκινούσαν από 8800 MW και έφταναν έως τα 36,775 MW με τους UA-500 που ήταν σχεδιασμένοι για πλοία χωρητικότητας 200,000 m^3.



Σχήμα 4.2.2 Ατμοστρόβιλος. Πηγή: Kawasaki Heavy Industries

Οι UA-500 συνέχισαν τη βασική φιλοσοφία σχεδίασης των προκατόχων τους, των UC-400. Ένας στρόβιλος υψηλής πίεσης και μία βαλβίδα ελιγμών του πλοίου είναι συναρμολογημένα μεταξύ τους σε μία κοινή βάση, ενώ ταυτόχρονα ένας στρόβιλος χαμηλής πίεσης είναι συνδεδεμένος αξονικά με έναν συμπυκνωτή. Και οι δύο αυτά μέρη είναι συνδεδεμένα με ένα μειωτήρα, που ενσωματώνει το κύριο ωστικό έδρανο. Στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης, είναι τοποθετημένα τρισδιάστατα πτερύγια υψηλής αντοχής, που η βάση τους είναι δενδροειδής για να μπορούν να έχουν καλύτερη συμπεριφορά στα ασκούμενα φορτία.

Για να γίνει η τελική περιστροφή της έλικας του πλοίου, η Kawasaki κατασκευάζει μειωτήρες που μειώνουν τις στροφές από 5000 rpm και 3300 rpm στους στροβίλους υψηλής και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα, σε 80 με 90 rpm. Αυτό το σύστημα είναι υψηλής ακρίβειας και πυκνότητας ισχύος, ικανό να παράγει συνολική ισχύ έως και 33,200 kW. Οι θερμικές και οι ελαστικές παραμορφώσεις λαμβάνονται υπόψιν στο σύστημα που η Kawasaki αποκαλεί “ultra precision tooth-surface correcting technology” και παρέχει ομοιόμορφη επαφή μεταξύ των γραναζιών.

Το συνολικό βάρος αυτής της εγκαταστάσεις είναι περίπου 380 τόνους, αρκετά αυξημένο σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο, που ζύγιζε 280 τόνους. Ακόμα, γίνεται χρήση της τεχνολογικής ανάπτυξης και η εμπειρίας από χερσαίες μονάδες, για να αυξηθεί η ενεργειακή

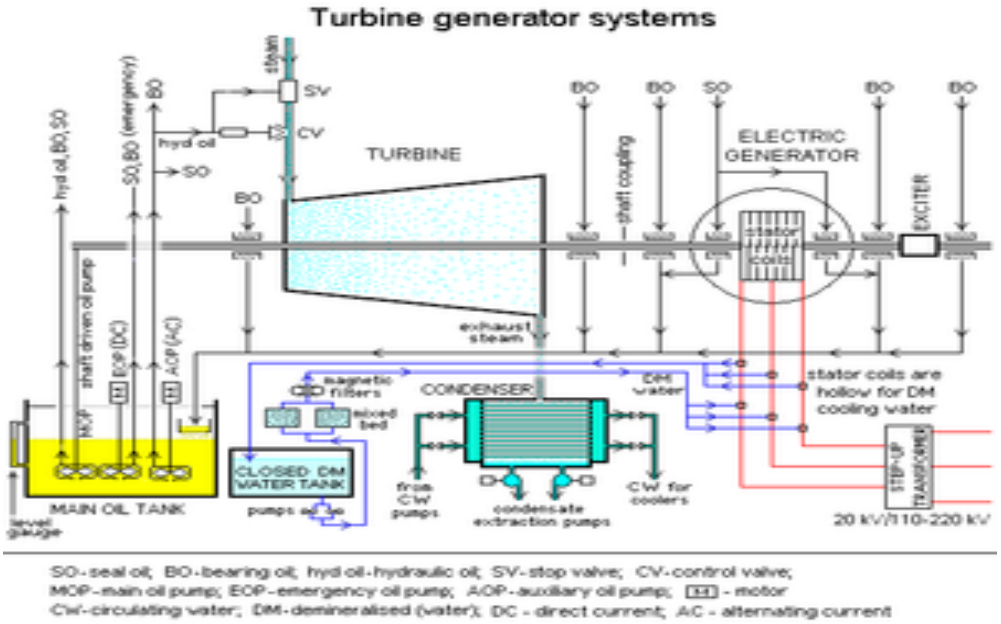
απόδοση της εγκατάστασης, ενώ η μείωση των στροφών της έλικας του πλοίου από 90 σε 84 rpm, συμβάλλει σε αυτή την κατεύθυνση.

Μία άλλη μεγάλη γιαπωνέζικη εταιρία, η Mitsubishi, έχει και αυτή σημαντική τεχνολογική εμπειρία στο συγκεκριμένο χώρο, αφού κατασκευάζει ατμοστροβίλους εδώ και σχεδόν εκατό χρόνια. Το εύρος των μοντέλων που παρέχει δίνουν τη δυνατότητα για εγκαταστάσεις πρόωσης που ξεπερνούν τα 44 MW ισχύ, με τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα να παρέχουν ευελιξία στην τελική εγκατάσταση, άρα μπορεί να προσαρμοστεί με ευκολία στι εκάστοτε απαιτήσεις.

Η ανάπτυξη, τα τελευταία χρόνια, των κινητήρων διπλού καυσίμου, είτε είναι δίχρονοι, είτε τετράχρονοι, έχει εκτοπίσει σημαντικά αυτού του τύπου τις εγκαταστάσεις πρόωσης, λόγω του αρκετά υψηλότερου βαθμού απόδοσης. Με τις δυνατότητες για αύξηση της απόδοσης και της ευελιξίας των εγκαταστάσεων αυτών να είναι περιορισμένες, φαίνεται ότι η ναυτική βιομηχανία περνά ολοκληρωτικά στην εποχή των παλινδρομικών μηχανών διπλού καυσίμου.

3.2.2 Συμβατικη Εγκατασταση Ατμοστροβιλου

Οι εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν έχουν σημαντικές διαφορές από αυτές που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα. Το σύστημα συνήθως αποτελείται από δύο καυστήρας παραγωγής ατμού για τους στροβίλους υψηλής και χαμηλής πίεσης, που μεταδίδουν την κίνηση σε ένα κιβώτιο γραναζιών. Ταυτόχρονα, ο ατμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις γεννήτριες, παρέχει ισχύ σε διάφορα βοηθητικά μηχανήματα του πλοίου και χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπως η θέρμανση των δεξαμενών πετρελαίου και ο κλιματισμός διαφόρων χώρων του πλοίου.



Σχήμα 4.2.3 Εγκατάσταση ατμοστροβίλου. Πηγή Mitsubishi Heavy Industries

Στην προσπάθεια των κατασκευαστών να ανταποκριθούν στον ανταγωνισμό, δόθηκε βαρύτητα στην αύξηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος και στην αποτελεσματική και ασφαλή διαχείριση του αεριοποιημένου φυσικού αερίου - BOG. Η διαχείριση του BOG, ώστε να μην αποτελεί σπατάλη ενέργειας και φορτίου, μπορεί να γίνει είτε με την καύση του από τις εγκαταστάσεις πρόωσης, είτε με την επανυγροποίησή του και την επιστροφή του στις δεξαμενές φορτίου.

Το πρώτο σύστημα επανυγροποίησης σε πλοίο με ατμοστρόβιλο κατασκευάστηκε από τη Mitsubishi Heavy Industries το Νοέμβριο του 2000 και αποτελεί το πρώτο σύστημα επανυγροποίησης σε πλωτή κατασκευή. Η λύση αυτή, παρόλο που αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης, προσφέρει πολύ μεγάλη ευελιξία στη διαχείριση του φυσικού αερίου που αεριοποιείται, άρα και του αερίου που καταλήγει για καύση στην προωστήρια εγκατάσταση. Η κατάσταση στην αγορά υπαγορεύει να γίνεται η μεγαλύτερη δυνατή οικονομία καυσίμου, οπότε, τέτοιου είδους επιλογές είναι ζωτικής σημασία για τα πλοία αυτά.

Η διαδικασία επανυγροποίησης χρησιμοποιεί ένα ενδιάμεσο σύστημα ψύξης, με το άζωτο να παίζει το ρόλο του ψυκτικού υγρού. Το BOG υγροποιείται και επιστρέφει πίσω στις δεξαμενές αερίου. Για τη συμπίεση του αεριοποιημένου φυσικού αερίου, το σύστημα διαθέτει δύο φυγοκεντρικούς συμπιεστές μονού σταδίου, που διανέμουν το αέριο στα καυστήρας που παράγουν ατμό και στο σύστημα επανυγροποίησης. Για τη συμπίεση του αζώτου χρησιμοποιείται ένας τρισταδιακός συμπιεστής, που τα δύο πρώτα στάδια κινούνται από έναν ατμοστρόβιλο και το τελευταίο από έναν στρόβιλο αζώτου.

3.2.3 Πλεονεκτηματα και Μειονεκτηματα

Πλεονεκτήματα

I. Πολύ εύκολη και αξιόπιστη μέθοδος αξιοποίησης του αεριοποιημένου φυσικού αερίου.
II. Η δυνατότητα της εγκατάστασης να καταναλώνει στα καυστήρας το αεριοποιημένο φυσικό αέριο σε συνδυασμό με υγρά καύσιμα χαμηλής ποιότητας.
III. Ελάχιστη κατανάλωση λιπαντικών ελαίων.
IV. Μεγάλη παραγόμενη ισχύς.
V. Χαμηλά επίπεδα ταλαντώσεων.
VI. Ο στρόβιλος χρειάζεται πολύ μικρή συντήρηση, σε αντίθεση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, και σχετικά μικρό κεφαλαιουχικό κόστος.

Μειονεκτήματα

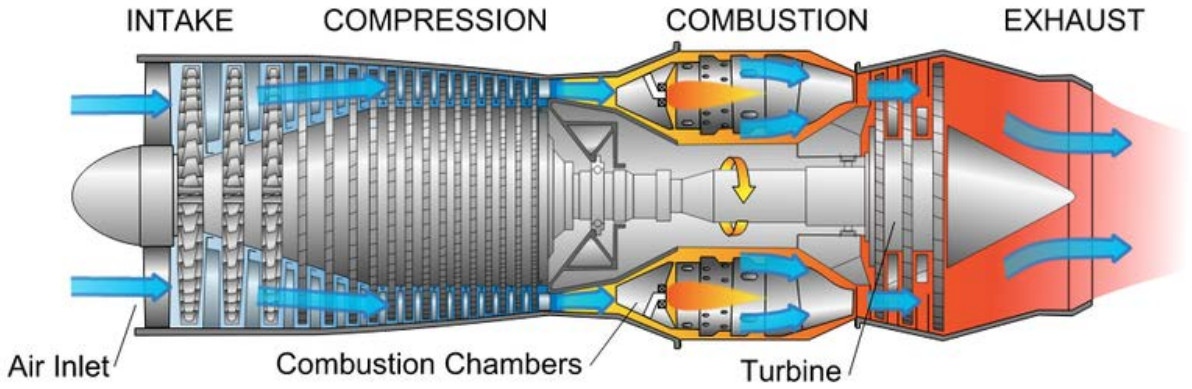
I. Χαμηλός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, που συνεπάγεται υψηλή κατανάλωση καυσίμου.
II. Δυσκολία στην εξεύρεση και εκπαίδευση ναυτικών που να γνωρίζουν ή να θέλουν να ασχοληθούν επαγγελματικά με τους ατμοστροβίλους, δεδομένου ότι είναι μία τεχνολογία που φθίνει από την αγορά και πλέον απαντάται μόνο σε παλαιότερα LNG πλοία.

III. Μεγάλος χρόνος κατασκευής και παράδοσης των στροβίλων, καθώς και τα περιορισμένα αποθέματα ανταλλακτικών, που μπορεί να οδηγήσει, σε περίπτωση βλάβης, σε καθυστερήσεις παράδοσης του φορτίου, εν αναμονή των ανταλλακτικών.
IV. Υψηλές εκπομπές ρύπων, δεδομένης της χαμηλής απόδοσης του συστήματος. Ειδικά οι τελευταίοι κανονισμοί του IMO (TIER III), δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο τη θέση των πλοίων που φέρουν αυτή την εγκατάσταση.
V. Το μηχανοστάσιο καταλαμβάνει περισσότερο χώρο σε σχέση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου.
VI. Δυσκολία στην πραγματοποίηση ελιγμών.
VII. Η εγκατάσταση προσφέρει περιορισμένη δυνατότητα εφεδρικής λειτουργίας (redundancy) σε περίπτωση μηχανικής βλάβης.

3.3 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία εναλλακτική εγκατάσταση πρόωσης, που προέκυψε από την αναζήτηση της αγοράς για πιο αποδοτικά συστήματα, είναι οι αεριοστρόβιλοι. Αν και οι αεριοστρόβιλοι έχουν μία σειρά από πλεονεκτήματα, όπως η σχέση ισχύος – βάρους, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων, η ευελιξία της εγκατάστασης, η απόδοση και η αύξηση της χωρητικότητας των δεξαμενών φορτίου, για πολλά χρόνια δεν αποτέλεσε επιλογή της ναυτιλίας, διότι διάφορα εμπόδια οικονομικής και τεχνικής φύσης αμφισβητούσαν την αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης.

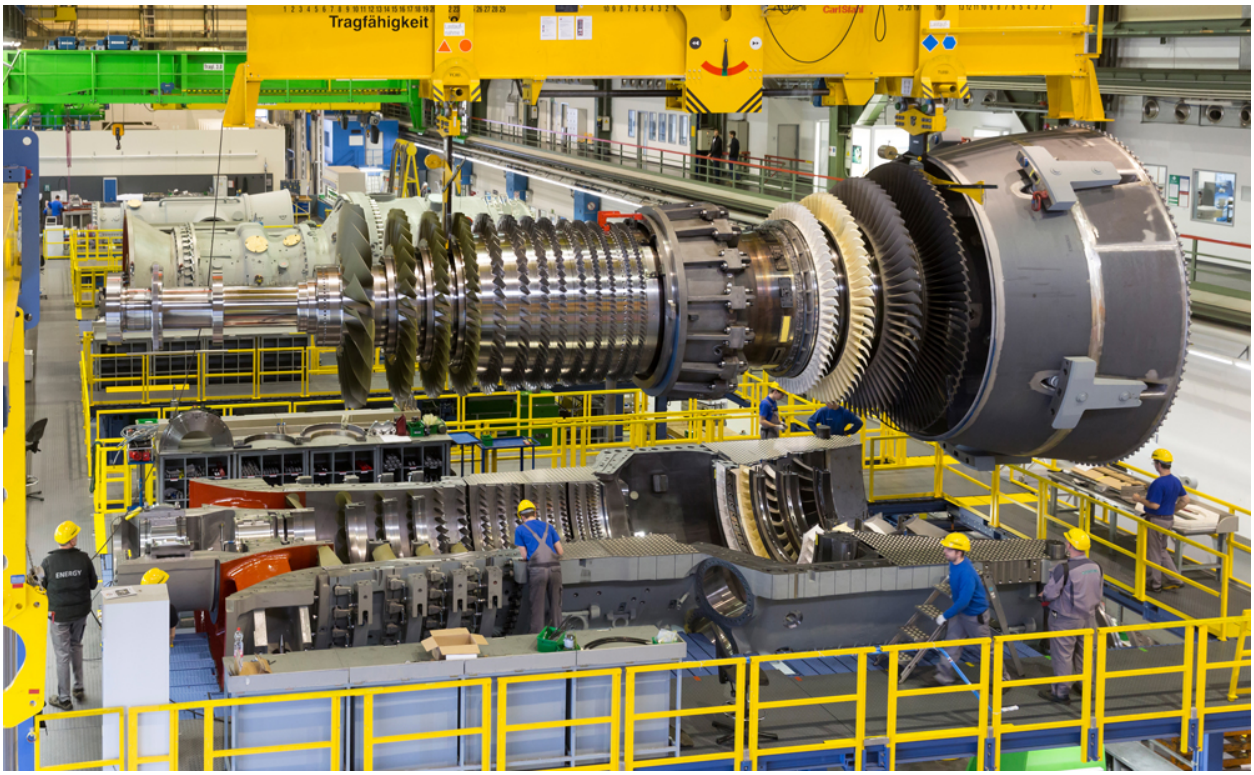


Σχήμα 4.3.1 Λειτουργία Αεριοστρόβιλου. Πηγή: Energy Education

Οι αεριοστρόβιλοι που προτείνονται από τους κατασκευαστές είναι προσαρμοσμένοι στα δεδομένα της ναυτιλίας, και έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα, σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στο απαιτητικό περιβάλλον της ναυτιλίας.

Το βασικό καύσιμο που χρησιμοποιείται σε αυτές τις εφαρμογές είναι το φυσικό αέριο, αλλά σε έκτακτες περιπτώσεις μπορεί να γίνει και χρήση του Marine Gas Oil. Για το λόγο αυτό, οι αεριοστρόβιλοι είναι χρήσιμοι για πλοία όπως τα LNG, που η εκμετάλλευση του BOG είναι επιβεβλημένη. Πιο σύνθετες εγκαταστάσεις, που περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως η ενδιάμεση ψύξη και ανάκτηση (ICR), μπορούν να πετύχουν κατανάλωση καυσίμου, άρα και απόδοση, που να προσεγγίζει αυτή των μεγαλύτερων κινητήρων Diesel. Ακόμα, υπάρχουν στρόβιλοι που έχουν τη δυνατότητα να καταναλώνουν ναυτικά καύσιμα χαμηλότερης ποιότητας, όπως HFO και MDO.

Οι εγκαταστάσεις αεριοστρόβιλων φέρουν ηλεκτρικούς εναλλάκτες, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα, που διανέμεται στο δίκτυο υψηλής τάσης. Η ηλεκτρική πρόωση με αυτή την εγκατάσταση είναι εφικτή, και θα μπορούσε να επιτελέσει ορθή επιλογή για τα LNG πλοία, καθώς προσθέτει μία σειρά από πλεονεκτήματα, όπως η ευελιξία, η εξάλειψη των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.

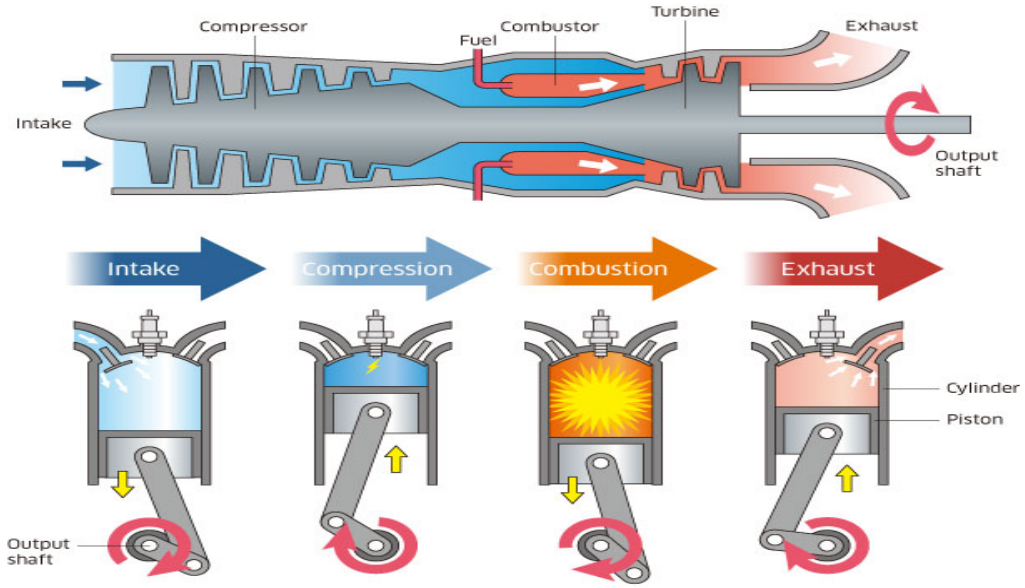


Σχήμα 4.3.2 Κατασκευή Αεριοστρόβιλου

Το σύστημα πρόωσης αυτό ικανοποιεί τις απατήσεις των LNG πλοίων για όλες τις συνθήκες λειτουργίας τους και φέρει τα απαραίτητα εφεδρικά συστήματα ώστε να παραμείνει λειτουργικό σε περίπτωση βλάβης. Για το λόγο αυτό φέρει έναν ή δύο ακόμα μικρούς αεριοστρόβιλους. Η τελική επιλογή εξαρτάται από το μέγεθος του πλοίου.

3.3.2 Λειτουργια των Αεριοστροβιλων

Οι αεριοστρόβιλοι φέρουν την καταγωγή τους από την αεροναυτιλία και αποτελούνται από δύο βασικά μέρη: το πρώτο είναι η γεννήτρια αερίων και το δεύτερο ο ελεύθερος στρόβιλος ισχύος. Η γεννήτρια αερίων είναι ο πυρήνας του αεριοστρόβιλου, εάν εξαιρεθεί η μεγάλη έλικα εισαγωγής του αέρα που βρίσκεται στο εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα. Ο ελεύθερος στρόβιλος ισχύος είναι προσαρμοσμένος στην πλευρά των καυσαερίων και ο σκοπός του είναι να μετατρέπει τη θερμική ενέργεια των αερίων σε περιστροφική, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση μίας προπέλας ή μίας γεννήτριας.



Σχήμα 4.3.3 Διαδικασία καύσης Αεροστροβίλου. Πηγή: Kawasaki Heavy Industries

Ο στρόβιλος ισχύος είναι ελεύθερος, όπως καταδεικνύει και το όνομά του, με την έννοια ότι δεν είναι φυσικά συζευγμένος με τη γεννήτρια παραγωγής των καυσαερίων, αλλά αεροδυναμικά, και το μέσο σύνδεσής του είναι τα καυσαέρια. Συγκεκριμένα για τις ναυτικές εφαρμογές της εγκατάστασης, τα πτερύγια του στροβίλου είναι επικαλυμμένα με ειδικά προστατευτικά, που αυξάνουν την αντίσταση του μετάλλου στην αλατότητα του αέρα.

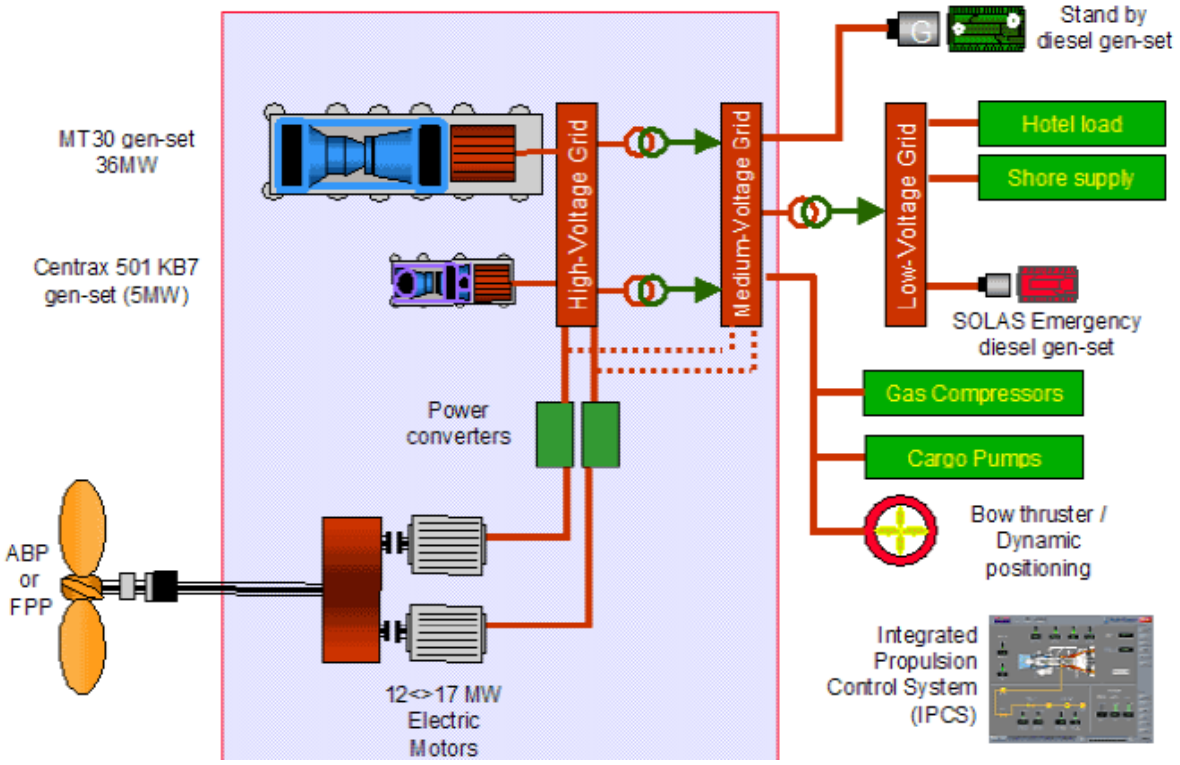
Στη ναυτική βιομηχανία, υπάρχουν μία σειρά από παρανοήσεις και λανθασμένες εντυπώσεις σε σχέση με τη λειτουργία των αεριοστρόβιλων. Είναι κοινός τόπος ότι είναι μία εγκατάσταση με υψηλή στάθμη θορύβου, κάτι που στην πραγματικότητα δεν ισχύει, καθώς οι εγκαταστάσεις που προορίζονται για τα πλοία διαφέρουν αρκετά από αυτές των αεροπλάνων και μάλιστα ο παραγόμενος θόρυβος είναι μικρότερος από αυτόν των μεγάλων δίχρονων Diesel μηχανών. Ακόμα, αντίθετα από τη γενική εντύπωση, οι αεριοστρόβιλοι έχουν τη δυνατότητα να παράγουν πολύ υψηλή ροπή. Αυτό οφείλεται στην αεροδυναμική σύζευξη του στροβίλου με τη γεννήτρια καυσαερίων, που επιτρέπει την περιστροφή της γεννήτριας, ακόμα και αν ο στρόβιλος είναι σταθερός, λόγω της αδράνειας της προπέλας. Όταν η γεννήτρια παράξει ικανή ροή αερίων, η δύναμη του στροβίλου υπερνικά την αδράνεια. Τέλος, αν και πιστεύεται ότι το σύστημα δεν είναι

ικανό να παραλάβει υψηλά στιγμιαία φορτία, κάτι τέτοιο δεν ισχύει, καθώς η αεροδυναμική ζεύξη των δύο βασικών μερών το επιτρέπει στην εγκατάσταση.

Η εγκατάσταση που περιεγράφηκε χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

1. Αεριοστρόβιλοι μηχανικής μετάδοσης: Είναι η απλούστερη από τις δύο εγκαταστάσεις και η πιο αποδοτική.
2. Αεριοστρόβιλοι ηλεκτρικής μετάδοσης: Ο βαθμός ευελιξίας του συστήματος είναι μεγαλύτερος από την προηγούμενη περίπτωση. Η κίνηση του άξονα της προπέλας γίνεται με ηλεκτρικό μοτέρ. Για το λόγο αυτό, ο αεριοστρόβιλος μπορεί να εγκατασταθεί μακριά από την προπέλα και τον άξονα. Το μέγεθος του μηχανοστασίου μπορεί να μειωθεί και να εξοικονομηθεί χώρος για μεγαλύτερη μεταφορά φορτίου.

Στη συνέχεια, φαίνεται μία τυπική εγκατάσταση αεριοστρόβιλου, που αποτελείται από έναν κύριο στρόβιλο και ένα δευτερεύον, που συνθέτουν μία εγκατάσταση ηλεκτρικής μετάδοσης της κίνησης. Στο σύστημα αυτό, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από τους στροβίλους μεταδίδεται στο μοτέρ μέσω του δικτύου διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 4.3.4 Ηλεκτρική εγκατάσταση Αεριοστρόβιλου. Πηγή: Kawasaki Heavy Industries

3.3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Πλεονεκτήματα

I. Κατά τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου, δεν παράγεται μαύρος καπνός στα χαμηλά φορτία, η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται ραγδαία, με ρυθμό περίπου 1MW το δευτερόλεπτο, ενώ κατά την εκκίνηση, τη διάρκεια και το τέλος της λειτουργίας, ο αεριοστρόβιλος ελέγχεται ηλεκτρονικά και το καύσιμο που καταναλώνεται ρυθμίζεται βέλτιστα.
II. Στο κομμάτι της συντήρησης, ο αεριοστρόβιλος υπερτερεί σε σχέση με τις μηχανές diesel, καθώς είναι απλούστερος και χρειάζεται λιγότερη συντήρηση συνολικά. Ακόμα, με τις δυνατότητες που υπάρχουν να παρακολουθείται συνεχώς η επίδοση του αεριοστρόβιλου και να μπορούν να προβλεφθούν ενδεχόμενα σφάλματα, βελτιστοποιείται η προληπτική συντήρηση της εγκατάστασης. Τέλος, το μέγεθος και το βάρος του αεριοστρόβιλου επιτρέπουν να αποσυναρμολογηθεί ολόκληρος εντός μερικών ωρών, χωρίς να χρειάζεται παρατεταμένος χρόνος αναμονής σε αγκυροβόλιο ή δεξαμενισμό.
III. Ως εγκαταστάσεις, είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες.
IV. Έχουν χαμηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου και του θείου, δεν αφήνουν στερεά κατάλοιπα από την καύση βαρέων υγρών καυσίμων και δεν παράγουν μαύρο καπνό.
V. Λιγότερο βάρος εγκατάστασης σε σχέση με τις μηχανές diesel και μικρότεροι στο μέγεθος, που σημαίνει ότι το πλοίο μπορεί να μεταφέρει περισσότερο φορτίο. Ακόμα, το μικρό βάρος δίνει σχεδιαστικά τη δυνατότητα να μετακινηθεί το μηχανοστάσιο από τον πυθμένα του πλοίου.
VI. Μειωμένες εκπομπές ρύπων, αφού οι αεριοστρόβιλοι και συχνότητες που είναι πιο εύκολο να περιοριστούν από τις αντίστοιχες μονώσεις.
VII. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων, είναι δυνατή η χρήση άλλων εγκαταστάσεων, όπως ατμοστροβίλων, για τη ανάκτηση μέρους της ενέργειας.

Μειονεκτήματα

I. Το βασικότερο μειονέκτημα σε σχέση με τις μηχανές diesel, που είναι αποτρεπτικός παράγοντας για να γίνουν κυρίαρχη επιλογή στη ναυτιλία, είναι η αρκετά μικρότερη απόδοση, αφού για παραγόμενη ισχύ 20-30 MW, η απόδοση κυμαίνεται από 36.5 έως 40%. Ακόμα, η θερμική απόδοση των κινητήρων είναι ανάλογη της παραγόμενης ισχύος. Για παράδειγμα, για παραγωγή ισχύος 2-5 MW, η απόδοση του συστήματος με δυσκολία ξεπερνά το 30%.
II. Αν και οι αεριοστρόβιλοι μπορούν να λειτουργούν είτε με αέριο, είτε με υγρό καύσιμο, είτε και με τα δύο, υπάρχουν σοβαροί περιορισμοί στην ποιότητα του καυσίμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Έτσι, τα υγρά καύσιμα χαμηλής ποιότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς τα παράγωγα της καύσης που περιέχουν θείο και βανάδιο μπορούν να διαβρώσουν τα πτερύγια του στροβίλου.

III. Το αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος μίας εγκατάστασης ατμοστροβίλου είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των κινητήρων diesel κατά περίπου 15-20%.

Τα μειονεκτήματα που παραθέτονται παραπάνω αποτελούν τους βασικούς ανασταλτικούς παράγοντες, ώστε να γίνουν οι ατμοστρόβιλοι κυρίαρχη επιλογή στη ναυτική βιομηχανία των πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου.

3.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

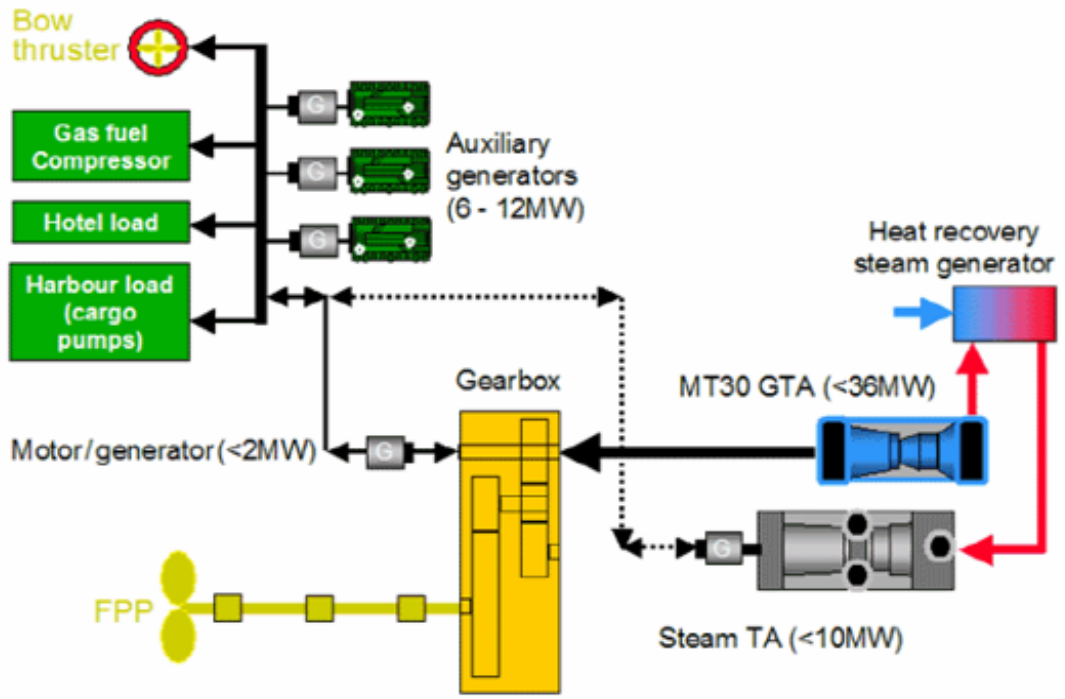
3.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω προωστήριων εγκαταστάσεων μπορεί να προσφέρει μία σειρά από πλεονεκτήματα που κάνουν αυτού του είδους το σύστημα αρκετά ανταγωνιστικό. Η ιδέα προέκυψε από την ανάγκη εκμετάλλευσης της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων που παράγονται από τον αεριοστρόβιλο. Η απόδοση του συστήματος φτάνει σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας το 40% και το μικρότερο μηχανοστάσιο που απαιτείται σε σχέση με τις εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων μπορεί να αυξήσει τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Στη συνέχεια παρατίθενται οι διαφορετικές συνθέσεις που μπορεί να απαντηθεί η συγκεκριμένη εγκατάσταση.

3.4.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

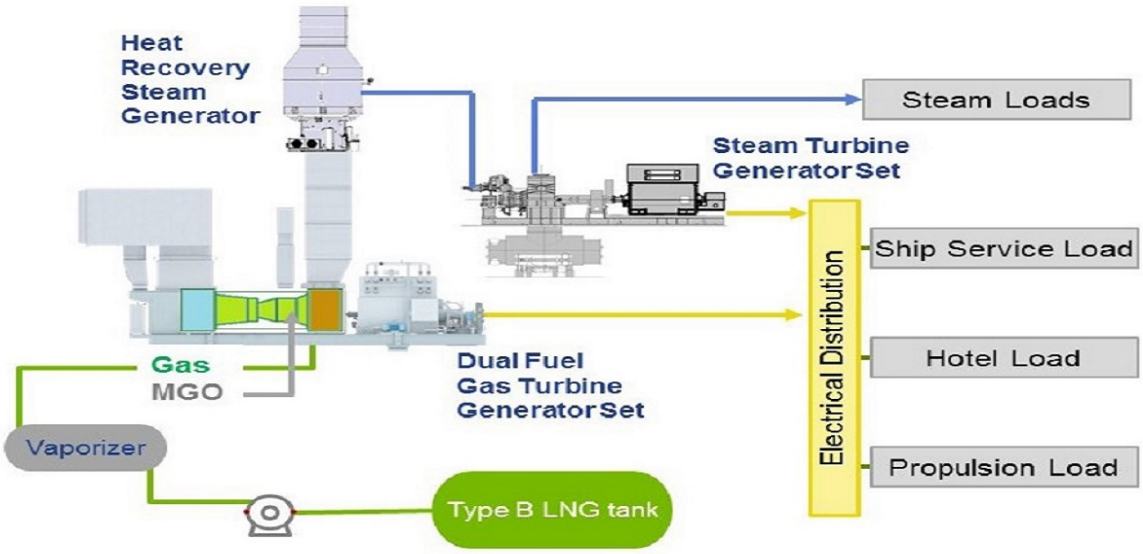
Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν αεριοστρόβιλο ισχύος από 25 έως 30 MW, έναν ατμοστρόβιλο, περίπου 10 MW, ένα καυστήρας που παράγει ατμό από τη θερμική ενέργεια των καυσαερίων, μία γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, περίπου 50 MW, ένα σύστημα μειωτήρων και ένα υδραυλικά αναστρέψιμο γρανάζι.

Ο αεριοστρόβιλος παρέχει απευθείας κίνηση στον άξονα της προπέλας, αφού πρώτα παρεμβάλλεται ένας μειωτήρας, που μειώνει τις στροφές από 3600 σε 94. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα έχει τις λιγότερες δυνατές απώλειες ενέργειας. Η θερμική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου φτάνει μέχρι και 42% με αυτή τη διάταξη, ενώ σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας το 40%. Ακόμα, η υψηλή θερμική απόδοση, σε συνδυασμό με το επιπλέον αεριοποιημένο φυσικό αέριο που προκύπτει από την αύξηση του φορτίου, μπορούν να μειώσουν ακόμα περισσότερο την κατανάλωση υγρών καυσίμων.



Σχήμα 4.4.1 Μηχανική Εγκατάσταση Αεριοστροβίλου – Ατμοστροβίλου. Πηγή: GE Marine Solutions

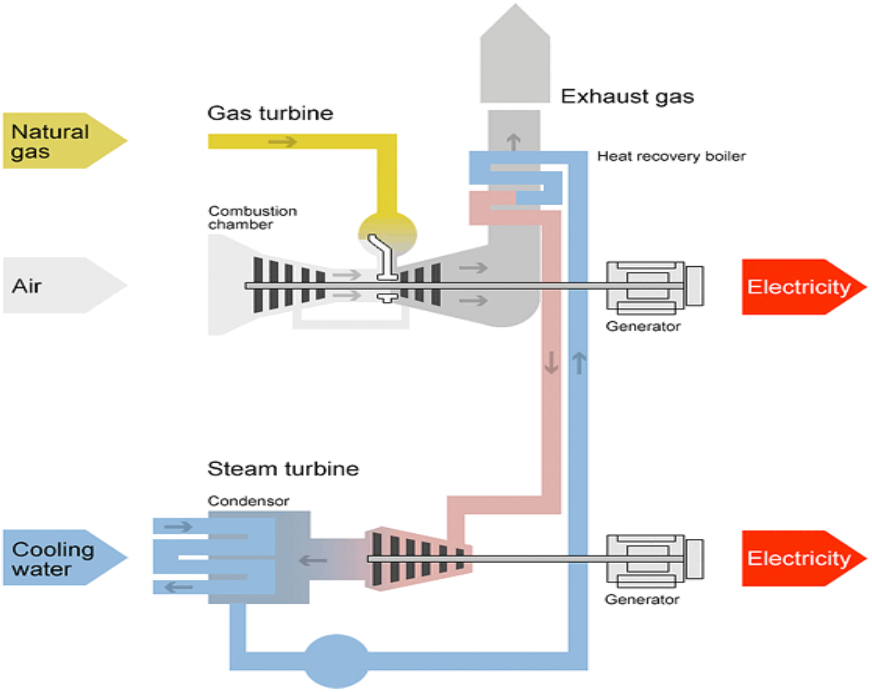
Σε περίπτωση που η εγκατάσταση φέρει ηλεκτρικό μοτέρ για να μεταφέρει την απαραίτητη ισχύ στην προπέλα μαζί με τον αεριοστρόβιλο, το σύστημα έχει την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 4.4.2 Ηλεκτρική εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου. Πηγή: Rolls Royce

3.4.3 Τυπικη Συνδυασμενη Εγκατασταση Ατμοστροβιλου και Αεριοστροβιλου

Ο συνδυασμένος κύκλος αποτελείται συνήθως από ένα βασικό και ένα βοηθητικό αεριοστρόβιλο. Η θερμοκρασία των παραγόμενων καυσαερίων είναι τέτοια, που επιτρέπει την παραγωγή ατμού, που με τη σειρά του θα χρησιμοποιηθεί στον ατμοστρόβιλο για την πρόωση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διάταξη αυτή μπορεί να προσφέρει περίπου 10% βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με τον απλό κύκλο. Η πιο συνηθισμένη εγκατάσταση είναι αυτή που οι στρόβιλοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και ο άξονας της προπέλας περιστρέφεται από μοτέρ. Για να υπάρχει η κατάλληλη εφεδρεία που απαιτείται στα LNG πλοία, εγκαθίσταται και μία γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος παλινδρομικού τύπου. Στη συνέχεια φαίνεται ένα παράδειγμα τέτοιας εγκατάστασης.



Σχήμα 4.4.3 Τυπική εγκατάσταση συνδιασμένου κύκλου. Πηγή: MHI

4.4.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

I. Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης σε σχέση με τους ατμοστροβίλους, άρα και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.
II. Μικρός όγκος και βάρος της συνολικής εγκατάστασης
III. Μειωμένο κόστος εγκατάστασης
IV. Ευελιξία στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος
V. Μικρό κόστος συντήρησης
VI. Δυνατότητα καύσης διπλού καυσίμου

VII. Η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με τα κατάλληλα εφεδρικά συστήματα ώστε να μπορεί να λειτουργεί ακόμα και σε περίπτωση βλάβης του βασικού αεριοστρόβιλου
VIII. Χαμηλά επίπεδα θορύβου και ταλαντώσεων
IX. Απλοποιημένη διάταξη μηχανοστασίου σε σχέση με τους ατμοστροβίλους, με μικρότερο σύστημα ατμού και νερού ψύξης
X. Για πλοία ίδιου σχεδιασμού με τους ατμοστροβίλους, η μεταφορική ικανότητα του πλοίου αυξάνεται, καθώς μειώνεται ο χώρος που καταλαμβάνεται από το μηχανοστάσιο.
XI. Πολύ χαμηλή κατανάλωση λιπαντικού ελαίου.
XII. Ευελιξία στα υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καύση.
XIII. Χαμηλότερα επίπεδα ρύπων

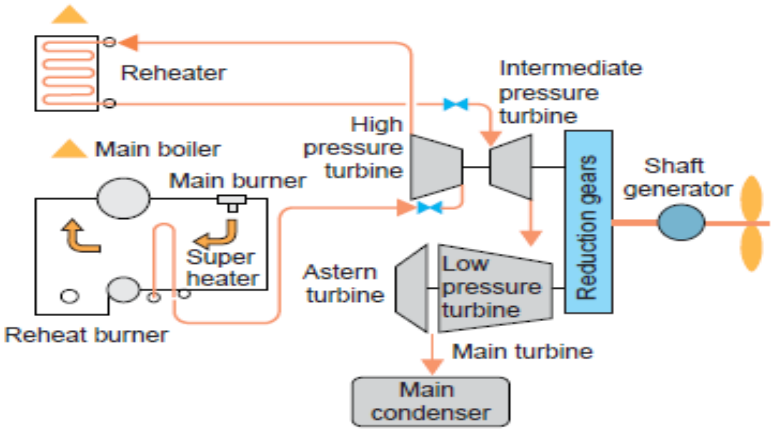
Μειονεκτήματα

I. Η πίεση του αερίου που χρησιμοποιείται για τον αεριοστρόβιλο φτάνει τα 30 bar
II. Ακριβά υγρά καύσιμα.
III. Μεγαλύτερο κεφαλαιουχικό κόστος σε σχέση με τους ατμοστροβίλους, που ξεπερνά το 5%
IV. Πιο σύνθετος και ακριβός από τον απλό κύκλο ατμοστροβίλου.
V. Τεχνολογία που δεν απαντάται συχνά στη ναυτιλία.
VI. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για να επανδρωθούν τα πλοία.
VII. Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό μοτέρ είναι ακόμα πιο περίπλοκες και ένα κομμάτι της παραγόμενης ενέργειας χάνεται στο δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.
VIII. Η απόδοση μειώνεται δραματικά στα χαμηλά φορτία και αυξάνεται πολύ η κατανάλωση. Η συμπεριφορά των κινητήρων Diesel στην αλλαγή των φορτίων είναι πολύ καλύτερη.

3.5 ULTRA-STEAM TURBINE PLANT

3.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, για αρκετά χρόνια η μοναδική επιλογή πρόωσης της ναυτικής βιομηχανίας για τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου ήταν η απλή εγκατάσταση ατμοστροβίλου. Για μία σειρά από λόγους που σχετίζονται με την απόδοση των εγκαταστάσεων πρόωσης, την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές ρύπων, τον περιορισμένο αριθμό ειδικευμένων πληρωμάτων και τη μεταφορική ικανότητα των πλοίων, η ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές επιλογές έγινε επιτακτική. Έτσι, όταν οι συνθήκες ωρίμασαν τεχνολογικά, μία σειρά από διαφορετικές προτάσεις άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους.



Σχήμα 4.5.1 Εγκατάσταση Ultra-Steam Turbine. Πηγή: MHI

Αν και οι δίχρονοι και τετράχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου κάνουν αισθητή την παρουσία τους και κερδίζουν καθημερινά έδαφος με πολύ γρήγορο ρυθμό, η προσήλωση παραδοσιακών κατασκευαστών ατμοστροβίλων, όπως η MHI, στις εγκαταστάσεις, έχει φέρει στο προσκήνιο μία νέα πρόταση βελτιωμένου συστήματος ατμοστροβίλου, τον Ultra-Steam Turbine (UST)

3.5.2 Ultra-Steam Turbine (UST)

Ο UST είναι μία εγκατάσταση που χρησιμοποιεί κορεσμένο νερό σε δύο στάδια, αφού πρώτα παρεμβάλλεται μία διαδικασία αναθέρμανσης του ατμού, που έχει ως αποτέλεσμα να αυξήσει την απόδοση του κλασσικού κύκλου ατμοστροβίλου, καθώς και τη λειτουργικότητα και τη δυνατότητα αποτελεσματικότερης συντήρησης.

	CST (conventional plant)	UST
Boiler steam conditions	6 MPa X 515°C	HP: 10 MPa X 560°C
Steam flow	BLR→HP→LP	BLR→ HP → REHTR → IP → LP
Flange standard	ANSI 900LB	ANSI 2500LB

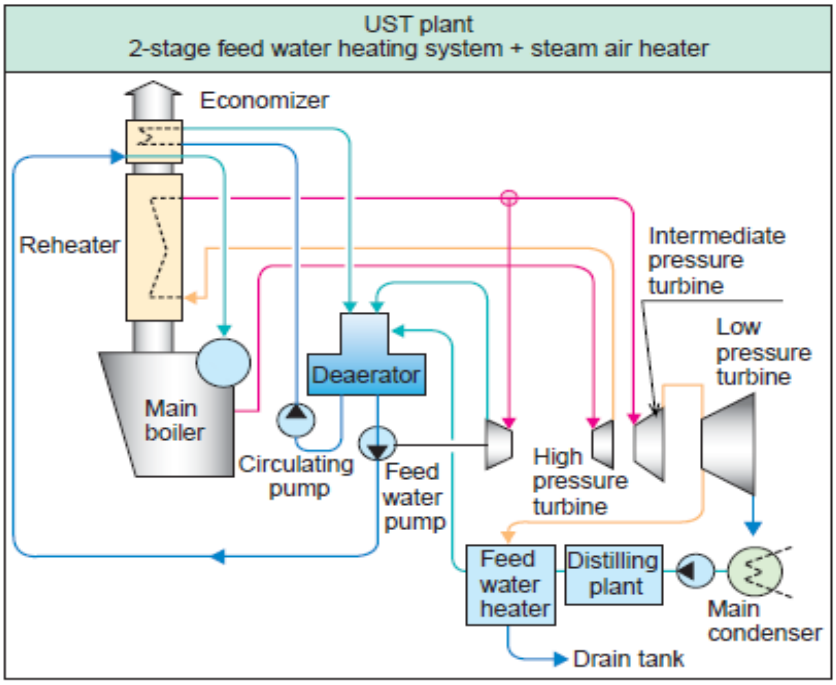
BLR: boiler, HP: high pressure turbine, LP: low pressure turbine
REHTR: reheater, IP: intermediate pressure turbine

Πίνακας 4.1 Σύγκριση εγκατάστασης Ατμοστροβίλου και UST. Πηγή: MHI

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η βασική διαφορά ανάμεσα στην εγκατάσταση αναθέρμανσης και στη συμβατική εγκατάσταση ατμοστροβίλου είναι ότι παρεμβάλλεται ένας στρόβιλος ενδιάμεσης πίεσης, ανάμεσα στο στρόβιλο υψηλής και χαμηλής πίεσης. Για να κλείσει ο θερμοδυναμικός κύκλος, το σύστημα περιλαμβάνει ένα συμπυκνωτή και ,για να γίνει η μετάδοση από της κίνησης στην προπέλα, ένας μειωτήρας στροφών. Το παραπάνω σύστημα, αν

έχει μικρή περίοδο εφαρμογής στη ναυτιλία, έχει δοκιμαστεί για ικανό χρονικό διάστημα σε χερσαίες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

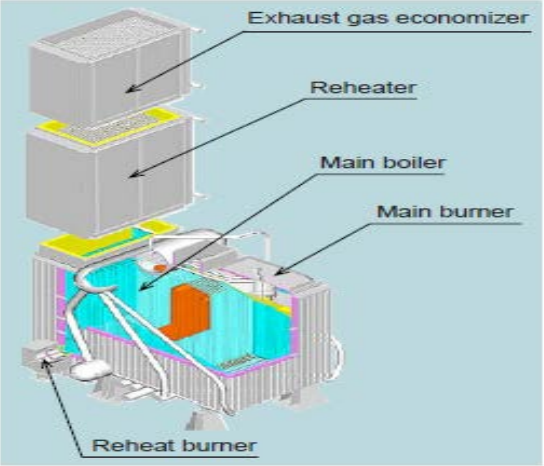
Οι ατμοστρόβιλοι υψηλής και μεσαίας πίεσης μοιράζονται το ίδιο μεταλλικό πλαίσιο προστασίας, το οποίο καταβάλλεται από μία σειρά θερμικά φορτία του υπέρθερμου ατμού και του ατμού που αναθερμαίνεται. Αντίθετα με παραπάνω, ο ατμοστρόβιλος χαμηλής πίεσης χωρίζεται από τους άλλους δύο με μία θερμική ασπίδα, ειδάλλως η μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας θα ανέπτυσσε τέτοια φορτία που θα ξεπερνούσαν την αντοχή του μεταλλικού πλαισίου.



Σχήμα 4.5.2 Εγκατάσταση Ultra-Steam Turbine. Πηγή: MHI

3.5.3 ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Το σύστημα αναθέρμανσης έχει κατασκευαστεί ώστε να πετυχαίνει μία συγκεκριμένη θερμοκρασία ατμού, χρησιμοποιώντας έναν καυστήρα. Όταν η ροή του ατμού μειωθεί, που σημαίνει ότι μειώνεται η ψύξη στις σωληνώσεις, τότε ο καυστήρας σταματάει αυτόματα τη λειτουργία του. Με τον τρόπο αυτό προστατεύονται οι σωληνώσεις του συστήματος αναθέρμανσης, αφού θα μειωθεί η θερμοκρασία των παραγώγων καύσης του καυστήρα.

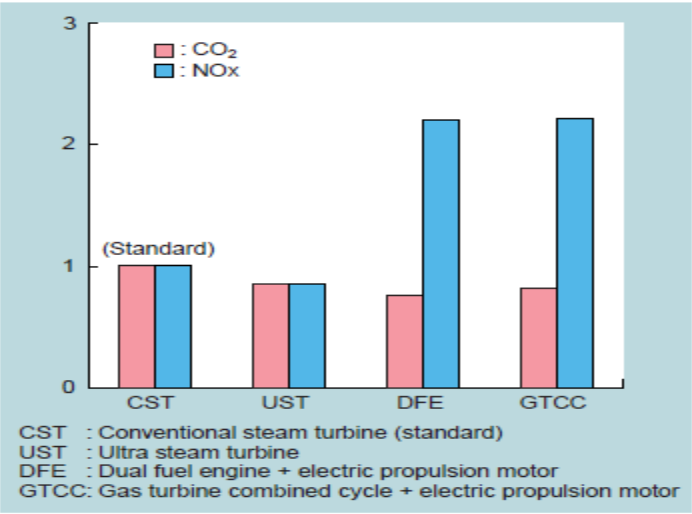


Σχήμα 4.5.3 Καυστήρας Αναθέρμανσης. Πηγή: MHI

Έτσι, το σύστημα προστατεύεται σταματώντας απλά τη λειτουργία του καυστήρα. Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι το σύστημα δε φέρει μέρη που είναι ευαίσθητα σε βλάβες, η αξιοπιστία του κατά τη μακροχρόνια λειτουργία του είναι πολύ μεγάλη.

3.5.4 Εκπομπες Ρυπων

Οι εκπομπές ρύπων στη σύγχρονη ναυτιλία είναι ένα θέμα που απασχολεί όλο και περισσότερο. Για το λόγο αυτό, οι κατασκευαστές προωστήριων συστημάτων που προσφέρουν εγκαταστάσεις φιλικές προς το περιβάλλον και συμμορφώνονται με τους νέους κανονισμούς του IMO, κάνουν τα προϊόντα τους ιδιαίτερα ελκυστικά. Στη λογική αυτή, ο UST είναι μία αρκετά ανταγωνιστική επιλογή, καθώς τα επίπεδα εκπομπής οξειδίων του άνθρακα και αζώτου κρατούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, ενώ δεν εκπέμπονται οξείδια του θείου, αφού δεν χρησιμοποιούνται βαρέα ναυτιλιακά καύσιμα. Στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνονται τα επίπεδα εκπομπής ρύπων για μία σειρά από προωστικές εγκαταστάσεις σε σχέση με τον UST:



Σχήμα 4.5.4 Εκπομπές Ρύπων. Πηγή: MHI

3.5.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Πλεονεκτήματα

I. Η θερμική απόδοση του συστήματος είναι αρκετά βελτιωμένη σε σχέση με αυτή των συμβατικών ατμοστροβίλων
II. Χαμηλά επίπεδα εκπομπών αέριων ρύπων
III. Χαμηλό κόστος συντήρησης
IV. Μεγάλη αξιοπιστία
V. Σχετικά χαμηλό αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος
VI. Μικρότερη κατανάλωση σε σχέση με τους ατμοστροβίλους
VII. Απλούστερο σύστημα σε σχέση με του κινητήρες Diesel
VIII. Μπορεί να καταναλώνει τόσο φυσικό αέριο, όσο και υγρά καύσιμα, ανάλογα με τις ανάγκες του πλοίου
IX. Έχει τα κατάλληλα εφεδρικά συστήματα ώστε να πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις των κανονισμών ασφαλείας των πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου.
X. Πολύ χαμηλή κατανάλωση λιπαντικού ελαίου.

Μειονεκτήματα

I. Μικρότερη θερμική απόδοση σε σχέση με τους κινητήρες Diesel. Η θερμική απόδοση του συστήματος είναι περίπου 35-40%, τη στιγμή που οι δίχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου προσεγγίζουν το 50%.
II. Μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τους Diesel κινητήρες, δίχρονους και τετράχρονους.
III. Η θερμική απόδοση μειώνεται πολύ στα χαμηλά φορτία της εγκατάστασης, σε αντίθεση με τους κινητήρες Diesel, που οι μεταβολές είναι αρκετά μικρότερες.
IV. Έλλειψη ειδικευμένων πληρωμάτων που να γνωρίζουν, όχι μόνο τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις, αλλά ακόμα και τις συγγενικές τους, που είναι οι ατμοστρόβιλοι.
V. Αν και έχει μηδενικές εκπομπές θείου, αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά καύσιμα βαρέου τύπου, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ακριβότερα ναυτικά καύσιμα.

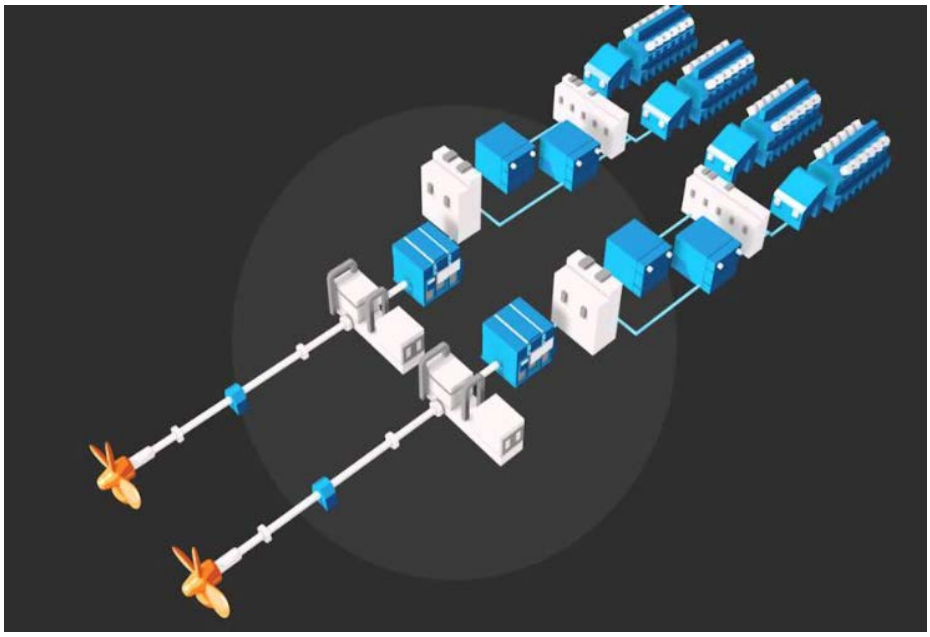
3.6 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ DFDF

3.6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αυξανόμενες ανησυχίες της διεθνούς κοινότητας για την ποιότητα του αέρα, τις εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και τα αποθέματα πετρελαίου οδήγησαν σε αυστηρότερους κανονισμούς περί εκπομπών ρύπων και εξοικονόμησης καυσίμων. Σε αυτά τα

πλαίσια ένας εναλλακτικός τρόπος πρόωσης που μελετήθηκε ήταν αυτός της ηλεκτροπρόωσης. Παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), την δεκαετία του '90 όμως παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια και αργότερα στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers) και δείχνει πλέον να πλεονεκτεί της συμβατικής πρόωσης σε ορισμένα χαρακτηριστικά.

Η διαφορά στην φιλοσοφία των δύο μεθόδων πρόωσης αφορά τον τρόπο μετάδοσης της κίνησης στους άξονες του πλοίου. Στην μεν πρώτη περίπτωση της συμβατικής πρόωσης επιτυγχάνεται από μηχανές εσωτερικής καύσης, με ή χωρίς μειωτήρα, συνδεδεμένες στις έλικες. Στην δεύτερη, όμως, υπάρχουν μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες μέσω γεννητριών παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η πρόωση επιτυγχάνεται μέσω δύο ηλεκτρικών κινητήρων μεταβλητής ταχύτητας. Στους άξονες των κινητήρων αυτών συνδέονται απευθείας με ή χωρίς χρήση κιβωτίου ταχυτήτων οι έλικες του πλοίου και έτσι με την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική υλοποιείται η πρόωση του πλοίου. Η χρήση Diesel κινητήρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το πρώτο στάδιο της υβριδικής Ντηζελοηλεκτρικής προωστήριας εγκατάστασης (Diesel electric propulsion). Ένα τυπικό σύστημα ντηζελοηλεκτρικής πρόωσης με τα κύρια δομικά του στοιχεία του φαίνεται στο σχήμα 1. Στην συνέχεια θα αναλυθεί εκτενώς η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος πρόωσης, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του, τα πεδία εφαρμογής τέτοιου είδους προωστήριων εγκαταστάσεων, καθώς και την εξέλιξη τους.

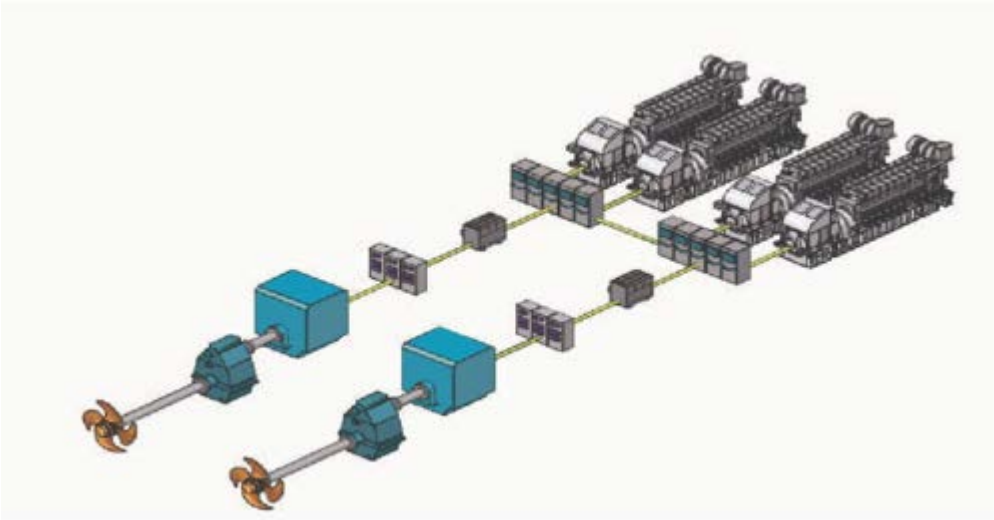


Σχήμα 4.6.1 Σύστημα Ντηζεολοηλεκτρικής πρόωσης. Πηγή: Wärtsilä

3.6.2 ΝΤΗΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ

Η ντηζελοηλεκτρική πρόωση όπως αναφέρθηκε προηγουμένως βασίζεται στην χρησιμοποίηση πετρελαιοκινητήρων ως ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, την ισχύ των οποίων παραλαμβάνουν ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι κινούν τις έλικες του πλοίου. Οι

χρησιμοποιούμενοι κινητήρες είναι μεσόστροφες και ταχύστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές.



Σχήμα 4.6.2 Δομικά στοιχεία Ντηζελοηλεκτρικής εγκατάστασης. Πηγή: Wärtsilä

Τα βασικά δομικά στοιχεία μιας diesel-electric προωστήριας εγκατάστασης φαίνονται στο σχήμα 2. Η βασική λειτουργία μιας Diesel-electric προωστήριας εγκατάστασης περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την συνεργασία των κύριων diesel κινητήρων με τις γεννήτριες, την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο με διακόπτες, μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική με ηλεκτρικούς κινητήρες. Στο τέλος της εγκατάστασης τοποθετούνται κατάλληλα προωστήρια μέσα. Τα κυριότερα στοιχεία της εγκατάστασης θα αναλυθούν στην συνέχεια

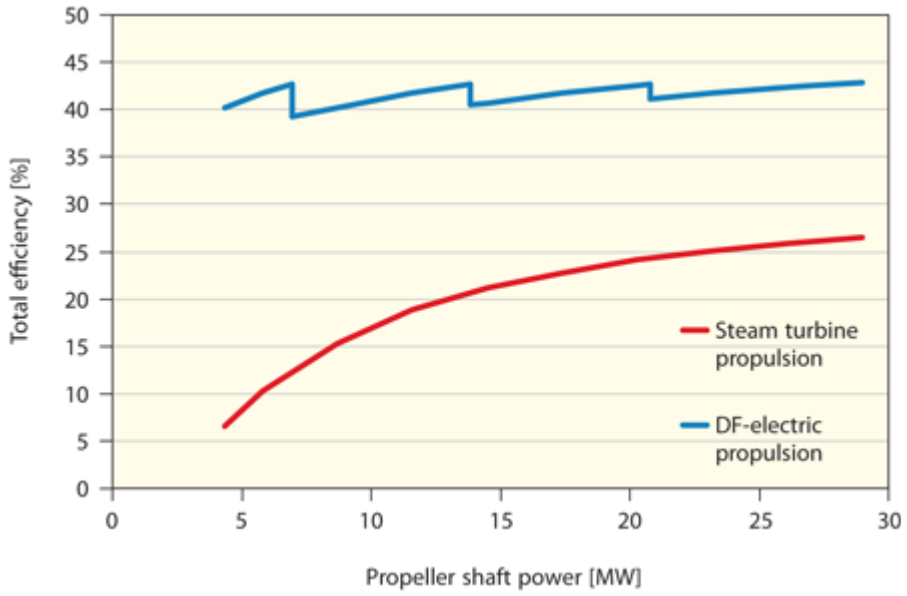
3.6.3 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΤΗΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΡΟΩΣΗΣ

Κύριες μηχανές (prime movers)

Η παραγόμενη ισχύς προέρχεται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης με diesel ή άλλο καύσιμο. Σε ένα diesel-electric σύστημα πρόωσης οι μηχανές είναι μεσόστροφες ή ταχύστροφες diesel μικρότερου βάρους και κόστους από τις αργόστροφες που χρησιμοποιούνται στην συμβατική πρόωση. Η διαθέσιμη ενέργεια σε ένα σύστημα προώσεως είναι υψηλής σημασίας και ένα diesel electric σύστημα με αριθμό κινητήρων συνδεδεμένων παράλληλα, ικανό να παράγει πλεονασματική ενέργεια, σημαίνει υψηλή αξιοπιστία, αλλά δύσκολη διάγνωση σφαλμάτων και συντηρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Οι μηχανές καύσης συνεχώς εξελίσσονται με σκοπό μεγαλύτερη απόδοση και μειωμένους ρύπους. Παρόλο την πολύ μικρή κατανάλωση του κινητήρα στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας, το 60% της παραγόμενης ενέργειας χάνεται. Επιπρόσθετα στο 50% του μέγιστης συνεχόμενης ισχύος (Max continuous Rating, MCR) η καύση δεν είναι αποδοτική με μεγάλη περιεκτικότητα σε οξείδια του αζώτου και θείου ($N0_x$, $S0_x$), η ύπαρξη των οποίων αυξάνει την ανάγκη για συντήρηση. Σε ένα diesel electric σύστημα οι diesel κινητήρες διατηρούνται στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας τους ανοίγοντας ή κλείνοντας, ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο, με σκοπό

την διατήρηση του βαθμού απόδοσης της συνολικής εγκατάστασης όσο το δυνατόν κοντά στο βέλτιστο σημείο.



Σχήμα 4.6.3 Σύγκριση απόδοσης ντηζελοηλεκτρικής πρόωσης με συμβατική πρόωση.
Πηγή: Target Global Energy Training

Γεννήτριες (Generators)

Μία ηλεκτρική γεννήτρια είναι μία διάταξη η οποία μετατρέπει την μηχανική ενέργεια, που προέρχεται από μία εξωτερική πηγή, σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η εξωτερική πηγή είναι η κύρια μηχανή Diesel. Η λειτουργία της γεννήτριας βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday.

Η γεννήτρια δεν δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια, αντί αυτού χρησιμοποιεί την μηχανική ενέργεια για να περιστρέψει μία συρμάτινη περιέλιξη εντός μαγνητικού πεδίου. Με τον τρόπο αυτό ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το δίκτυο. Η πλειοψηφία των γεννητριών που χρησιμοποιούνται σε σκάφη είναι σύγχρονες γεννήτριες (synchronous machines) παραγωγής και μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος.

Κεντρικοί διακόπτες (switchboards)

Οι κύριοι διακόπτες που χρησιμοποιούνται εξασφαλίζουν την παράλληλη λειτουργία του συστήματος. Σύμφωνα με τους κανονισμούς για την ηλεκτροπρόωση ο κάθε διακόπτης πρέπει να διαχειρίζεται την πιθανή αποτυχία του κάθε υποσυστήματος.

Μετασχηματιστές (Supply Transformers)

Τα διαφορετικά επίπεδα τάσης παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος και η εναλλαγή της φάσης αυτού είναι από τους κυριότερους λόγους χρησιμοποίησης μετασχηματιστών στην εγκατάσταση. Υπάρχουν πολλά είδη μετασχηματιστών όπως ξηρού τύπου, μόνωσης με ρητίνη και μόνωσης λαδιού (air insulated dry type, resin insulated (cast or wound), or oil/fluid insulated), οι οποίοι επιλέγονται σύμφωνα με τους κανονισμούς, με τις συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης και τις προδιαγραφές του προμηθευτή.

Ηλεκτρικοί κινητήρες (Electric propulsion motors)

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν την πιο διαδεδομένη διάταξη για μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Χρησιμοποιούνται για διάφορες λειτουργίες του πλοίου όπως η πρόωση, η δυναμική τοποθέτηση του σκάφους και η ικανοποίηση διάφορων αναγκών σε ηλεκτρικό φορτίο εντός του πλοίου.
Οι πιο διαδεδομένοι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων είναι οι:

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors).
- Ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες (Asynchronous (induction) motors).
- Σύγχρονοι κινητήρες (Synchronous motors).
- Σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (Permanent magnet synchronous motors).
- Άλλοι τύποι ηλεκτροκινητήρων για πειραματικές εφαρμογές

Προωστήρια μέσα (Propulsion units)

Σε ένα diesel-electric σύστημα προώσεως οι έλικες κινούνται συνήθως από μεταβλητής ταχύτητας ηλεκτρικούς κινητήρες και συνδέονται απευθείας ή με χρήση κιβωτίου με τον άξονα (Shaft propulsion). Το μειονέκτημα αυτής της εγκατάστασης είναι η μηχανική πολυπλοκότητα της και οι αυξημένες μηχανικές απώλειες.

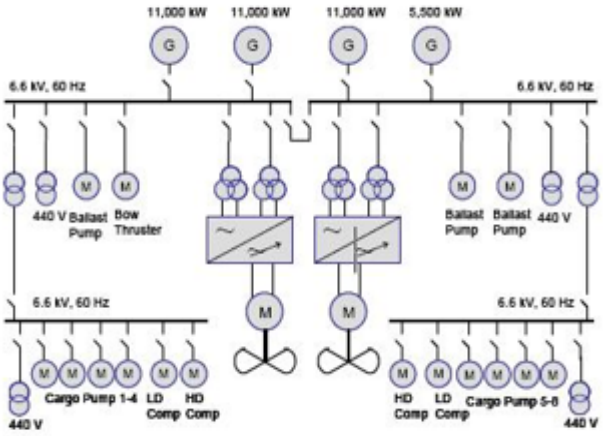
3.6.4 ΝΤΗΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΣΕ LNG CARRIES

Τα LNG carriers μέχρι τις αρχές 21^{ου} αιώνα χρησιμοποιούσαν αξιόπιστες εγκαταστάσεις πρόωσης αλλά όχι αποδοτικές (ατμοστρόβιλους) . Παρόλα αυτά τα 15 τελευταία χρόνια τα LNG carriers έχουν πραγματοποιήσει πολλές καινοτομίες και βελτιώσεις σχετικά με το σύστημα προώσεως. Τα γενικά πλεονεκτήματα της ντηζελοηλεκτρικής προωστήριας εγκατάστασης σε σχέση με αυτά της συμβατικής πρόωσης με ατμοστρόβιλο, σε συνδυασμό με τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες των LNG carriers λόγω του αυξανόμενου μεγέθους τους, οδηγεί στην αξιοποίηση της στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης στα LNG carriers περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Κύριες Μηχανές (Prime movers, dual-fuel diesel-engines)
- Γεννήτριες (Prime mover driven generators)
- Κεντρικούς διακόπτες (Main switchboard)
- Μετασχηματιστές (Propulsion transformers)
- Μετατροπείς συχνότητας (Frequency converters)
- Ηλεκτρικούς κινητήρες (Electric propulsion motors)
- Προωστήρια μέσα (Propeller(s))

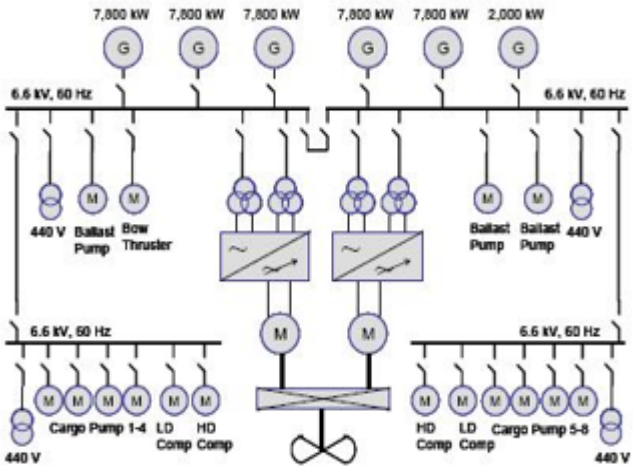
3.6.5 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Λόγω των διαφορετικών αναγκών σε ισχύ στις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του σκάφους, η χρησιμοποίηση πολλαπλών μηχανών επιτρέπει το άνοιγμα ή την σβέση τους, ώστε να ικανοποιηθούν οι συγκεκριμένες ανάγκες ισχύος για δεδομένη κατάσταση λειτουργίας. Στο διάγραμμα απεικονίζεται μία τυπική προωστήρια εγκατάσταση LNG carrier με τρείς κύριες dual-fuel γεννήτριες (Wärtsilä 12V50DF) και μία μικρότερη βοηθητική (Wärtsilä 6L50DF), παραγόμενης συνολικής ισχύος 38.5 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση επιτρέπει την ικανοποίηση της απαίτηση ισχύος της κάθε μιας από τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου (sailing fully load, ballast voyage, off-loading)



Σχήμα 4.6.4 Διάταξη με Wärtsilä 12V50DF. Πηγή: Wärtsilä

Μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική είναι η εγκατάσταση που σχεδιάστηκε από το STX ναυπηγείο στην Κορέα. Διαθέτει πέντε MAN 8L51/60 τύπου διπλού καυσίμου Diesel μηχανές με κατάλληλο σύστημα διαχείρισης της χαμένης θερμότητας. Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας αυξάνει την ενεργειακή απόδοση όλης της εγκατάστασης, έτσι ώστε να επιτρέπεται η λειτουργία της εγκατάστασης με μία κύρια μηχανή εκτός λειτουργίας.



Σχήμα 4.6.5 Διάταξη με MAN 8L51/60 dual fuel diesel engines. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

3.6.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Παράλληλη λειτουργία (Redundancy)

Η χρησιμοποίηση πολλαπλών παράλληλων μηχανών κάνει το σκάφος λιγότερο ευαίσθητο στην ενδεχόμενη βλάβη σε μία εκ των μηχανών, η οποία θα έχει επίπτωση στην ταχύτητα αλλά όχι στην ασφάλεια του.

Αξιοπιστία (Reliability)

Οι μεσόστροφες Diesel μηχανές έχουν αποδειχθεί λιγότερο αξιόπιστες από τους ατμοστρόβιλους, αλλά τα ηλεκτρικά δομικά στοιχεία της εγκατάστασης έχουν αποδείξει την αξιοπιστία τους σε μεγάλο αριθμό σκαφών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Η χρησιμοποίηση πολλαπλών παράλληλων μηχανών τύπου διπλού καυσίμου (Dual-fuel Diesel-electric, DFDE), αποτρέπουν περιπτώσεις καταστροφικής πτώσης της ισχύος. Χωρίζοντας το σύστημα παραγωγής σε δύο ανεξάρτητα υποσυστήματα οι πιθανότητες για ολική απώλεια ισχύος είναι πολύ μικρή. Το αδύναμο σημείο της εγκατάστασης μπορούν να θεωρηθούν οι κινητήρες διπλού καυσίμου η οποία αποτελεί μία σχετικά καινούρια τεχνολογία, παρόλα αυτά οι ενδείξεις ως προς την αξιοπιστία τους είναι θετικές.

Συντήρηση (Maintenance)

Οι μεσόστροφες Diesel μηχανές οι οποίες περιλαμβάνουν τις μηχανές διπλού καυσίμου και χρησιμοποιούνται στην dual-fuel diesel-electric propulsion των LNG carriers χρειάζονται περισσότερη συντήρηση και μεγαλύτερο εργατικό δυναμικό που θα αναλάβει την συντήρηση, σε σχέση με τα συστήματα πρόωσης βασιζόμενα σε ατμοστροβίλους. Εκτός από την συντήρηση των κύριων μηχανών πρέπει να ληφθεί υπόψη και η απαιτούμενη συντήρηση των ηλεκτρολογικών στοιχείων της εγκατάστασης, το κόστος της οποία αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους συντήρησης.

Λίπανση (Lube Oil)

Οι μεσόστροφες diesel μηχανές χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντικού ελαίου από αυτή των ατμοστροβίλων. Ο κύριο λόγος είναι ότι στις diesel μηχανές το λιπαντικό είναι εκτεθειμένο στην καύση μέσα στον κύλινδρο. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με βαρέα καύσιμα (Heavy fuel oil) η κατανάλωση λιπαντικού αυξάνει για να εξουδετέρωση την αύξηση του θείου που προέρχεται από την χρήση των βαρέων καυσίμων. Επιπλέον πρέπει να γίνεται χρήση κατάλληλου λιπαντικού με χαμηλότερο ή υψηλότερο δείκτη TBN όταν έχουμε εναλλαγή υγρών και αέριων καυσίμων.

Αξιοποίηση boil -off gas (GCU)

Όπως αναφέρθηκε και στα μειονεκτήματα, η χρήση ντηζελοηλεκτρικής προωστήριας εγκατάστασης προϋποθέτει επιπρόσθετο εξοπλισμό για την αξιοποίηση του boil-off gas (BOG), ο οποίος αναφέρεται ως gas combustion unit (GCU).

Ευελιξία καυσίμου (Fuel Flexibility)

Μία dual fuel diesel μηχανή λειτουργεί είτε σε αέριο καύσιμο είτε σε υγρό καύσιμο. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με αέριο καύσιμο η καύση επιτυγχάνεται με έγχυση του πιλοτικού καυσίμου MDO (Marine Diesel Oil) και με χαμηλό βαθμό συμπίεσης

(compression ratio) ώστε να έχουμε βέλτιστη λειτουργία σε αέριο καύσιμο. Ο βαθμός θερμικής απόδοσης ανέρχεται στο 47%. Ο ελαττωμένος όμως βαθμός συμπίεσης επιδρά αρνητικά στην θερμική απόδοση της καύσης με υγρό καύσιμο (MDO, HFO). Παρόλα αυτά ο τελικός βαθμός απόδοσης ολόκληρης της εγκατάστασης ανέρχεται στο 39%, μεγαλύτερο δηλαδή από τον αντίστοιχο του steam turbine drive system (32%). Η ευελιξία καυσίμου αναφέρεται ως η δυνατότητα να επιλεγεί το φθηνότερο διαθέσιμο καύσιμο, σε μία αγορά έντονων διακυμάνσεων στις τιμές των καυσίμων.

3.6.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ DIESEL-ELECTRIC

Πλεονεκτήματα

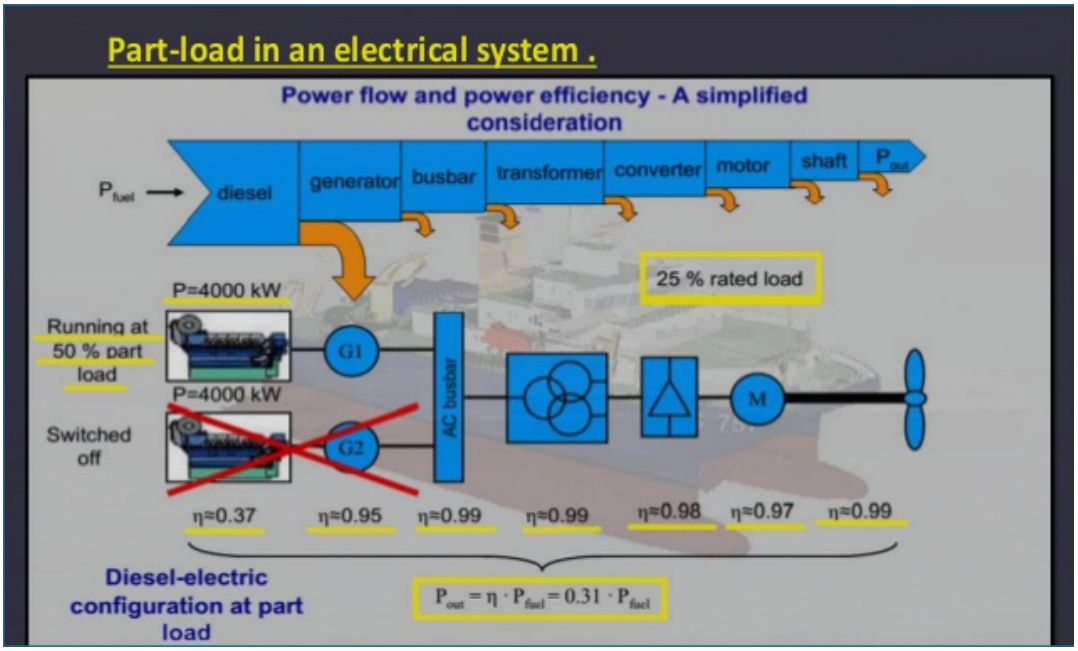
I. Βελτιωμένη θερμική απόδοση της προωστήριας εγκατάστασης, σε σχέση με τους ατμοστροβίλους.
II. Αυξημένη δυνατότητα παραγωγής πλεονασματικής ισχύος με 4 κύριες μηχανές
III. Αυξημένος διαθέσιμος χώρος για ωφέλιμο φορτίο
IV. Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε πλήρωμα με εμπειρία σε ντηζελοηλεκτρικά συστήματα, σε σχέση με τους στροβίλους.
V. Ευκολία κατά το άνοιγμα, την σβέση και την λειτουργία του συστήματος πρόωσης
VI. Η δυνατότητα επιλογής των μηχανών που θα λειτουργούν, έτσι ώστε η κάθε μια να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας συνεπάγεται χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Επιπρόσθετα, η καλή υδροδυναμική απόδοση της προπέλας στην υβριδική πρόωση συνεπάγεται περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης.
VII. Η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου συνεπάγεται και περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων.
VIII. Δεν είναι αναγκαία ο επιπλέον καθαρισμός των αέριων ρύπων, ώστε να συμμορφώνεται το σύστημα με τους τελευταίους κανονισμούς του IMO.
IX. Υψηλή αξιοπιστία, λόγω του υπεράριθμου αριθμού μηχανών. Ακόμα και αν μια μηχανή βγει εκτός λειτουργίας, υπάρχει αρκετή ισχύς ώστε το σκάφος να λειτουργεί ασφαλώς.
X. Μειωμένο κόστος του κύκλου ζωής της εγκατάστασης, ως αποτέλεσμα των μειωμένων επιχειρησιακών κοστών και κοστών συντήρησης, σε σχέση με τους ατμοστροβίλους.
XI. Βελτιωμένη ικανότητα ελιγμών του σκάφους . Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους. Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0 - 100 %.
XII. Ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου, με αποτέλεσμα την αύξηση του ωφέλιμου φορτίου στο πλοίο.
XIII. Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
XIV. Αυξημένη απόδοση του σκάφους καθώς ο ηλεκτροκινητήρας δίνει μέγιστη ισχύ και σχαμηλές ταχύτητες, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό πλεονέκτημα σε συνθήκες πάγου.

Μειονεκτήματα

I. Υψηλό κόστος επένδυσης

II. Μικρότερος βαθμός απόδοσης σε σχέση με τις δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου.
III. Οι εγκαταστάσεις με ατμοστροβίλους χρειάζονται λιγότερη συντήρηση από τις εγκαταστάσεις με Diesel
IV. Οι Diesel καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα λιπαντικού από τους ατμοστροβίλους
V. Χρησιμοποίηση πρόσθετου εξοπλισμού για την αξιοποίηση του αερίου που διαφεύγει της μόνωσης (boil-off gas).

VI. Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Οι απώλειες της ντηζελοηλεκτρικής εγκατάστασης απεικονίζονται στο σχήμα 4. Στις γεννήτριες (Generators) οι απώλειες κυμαίνονται σε ένα εύρος 3-8%, στους μετασχηματιστές 2% και 2-3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στην ηλεκτρική πρόωση μόνο όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στην βέλτιστη περιοχή.



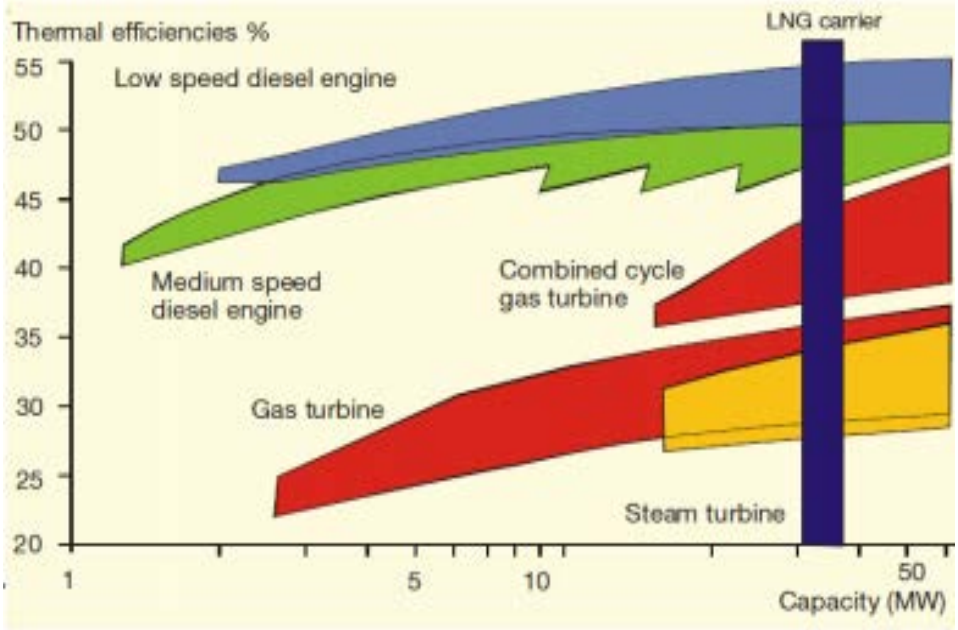
Σχήμα 4.6.6 Απώλειες ντηζελοηλεκτρικής πρόωσης. Πηγή: Port Said University

VII. Προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως. Οι αρμονικές αυτές συνιστώσες αφενός προσαυξάνουν την συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο, αφετέρου δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις. Τέλος είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων όπως τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών.

3.7 ΔΙΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ ME-GI

3.7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και στη ναυτική βιομηχανία υπάρχουν μία σειρά από επιλογές στο κομμάτι της πρόωσης, αυτή με τη μεγαλύτερη απόδοση είναι οι δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου. Χαρακτηριστικό είναι ότι η απόδοση μίας εγκατάστασης ατμοστροβίλου έχει απόδοση περίπου 30%, ενώ μία δίχρονη μηχανή σχεδόν 50%, χωρίς να υπολογίζεται το ενεργειακό κέρδος από τα βοηθητικά συστήματα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι ενεργειακές αποδόσεις των διαφόρων εγκαταστάσεων πρόωσης:



Σχήμα 4.7.1 Θερμική απόδοση συστημάτων πρόωσης LNG. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

Από το παραπάνω φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση την έχουν οι μηχανές που λειτουργούν βάσει του κύκλου Diesel, ενώ τη χαμηλότερη οι ατμοστρόβιλοι.

Αν και παλιότερα υπήρχε μία διστακτικότητα από την αγορά προς τις νέες επιλογές πρόωσης για τα LNG πλοία, που είναι έτσι και αλλιώς μία πολυέξοδη επένδυση, τα πλεονεκτήματα τα οποία έχουν οι δίχρονες μηχανές, όπως η υψηλή απόδοση, τις έχουν κάνει μία από τις δημοφιλέστερες επιλογές της αγοράς σήμερα.

Στα νεότευκτα πλοία που φέρουν αυτή την εγκατάσταση, συνδυάζεται συνήθως και με ένα σύστημα επανυγροποίησης. Οι εγκαταστάσεις επανυγροποίησης είναι ένα σύστημα που ξεκίνησε από χερσαίες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου, που οι οικονομικές ανάγκες και η εξέλιξη της τεχνολογίας τις έχει πλέον εισάγει δυναμικά στο χώρο των LNG πλοίων. Το σύστημα αυτό υπολογίζεται ότι μπορεί να υγροποιήσει BOG αξίας US$2-US$5 εκατομμυρίων δολαρίων ανά πλοίο κατ' έτος.

3.7.2 Λειτουργια των Διχρονων Μηχανων Διπλου Καυσιμου

Οι δίχρονες μηχανές αποτελούν μία εγκατάσταση πρόωσης που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο χώρο της ποντοπόρου ναυτιλίας για μία σειρά από λόγους, όπως η υψηλή θερμική απόδοση, η ασφαλής λειτουργία και η αξιοπιστία που παρέχουν. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα έγχυσης διπλού καυσίμου απευθείας στον κύλινδρο (κύκλος Diesel) εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1994 σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ιαπωνίας. Λόγω της ραγδαίας αύξησης της αγοράς του LNG και της μεταφοράς του παγκοσμίως, τα τελευταία χρόνια η εγκατάσταση αυτή, εισήχθη δυναμικά στην αγορά των πλοίων μεταφοράς LNG.

Σε σχέση με τις κλασσικές δίχρονες μηχανές, μία σειρά από μετατροπές έχουν γίνει, ώστε να γίνει εφικτή η κατανάλωση του φυσικού αερίου. Οι πιο σημαντικές από αυτές απαριθμούνται στη συνέχεια:

1) Σύστημα Εξαερισμού: Στις διπλές σωληνώσεις, αέρας διέρχεται ανάμεσα στην εσωτερική και εξωτερική σωλήνωση, ώστε το αέριο από πιθανές διαρροές να εξέρχεται από τις σωληνώσεις και να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος έκρηξης.
2) Σύστημα Αδρανούς Αερίου (Inert Gas System): Το αδρανές αέριο εισέρχεται στη σωλήνωση και καθαρίζει τα υπολείμματα του αερίου.
3) Σύστημα Ελέγχου και Ασφάλειας: Ένα όργανο ανάλυσης υδρογονανθράκων τοποθετείται στη σωλήνωση για να υπολογίζει την ποσότητά τους εντός των σωλήνων.
4) Υδραυλικό Σύστημα Απομόνωσης του Αερίου (Sealing Oil System): Υδραυλικό λάδι διοχετεύεται στη βαλβίδα αερίου για να διασφαλίσει ότι το αέριο δεν μπορεί να εισέλθει στο λάδι ελέγχου.

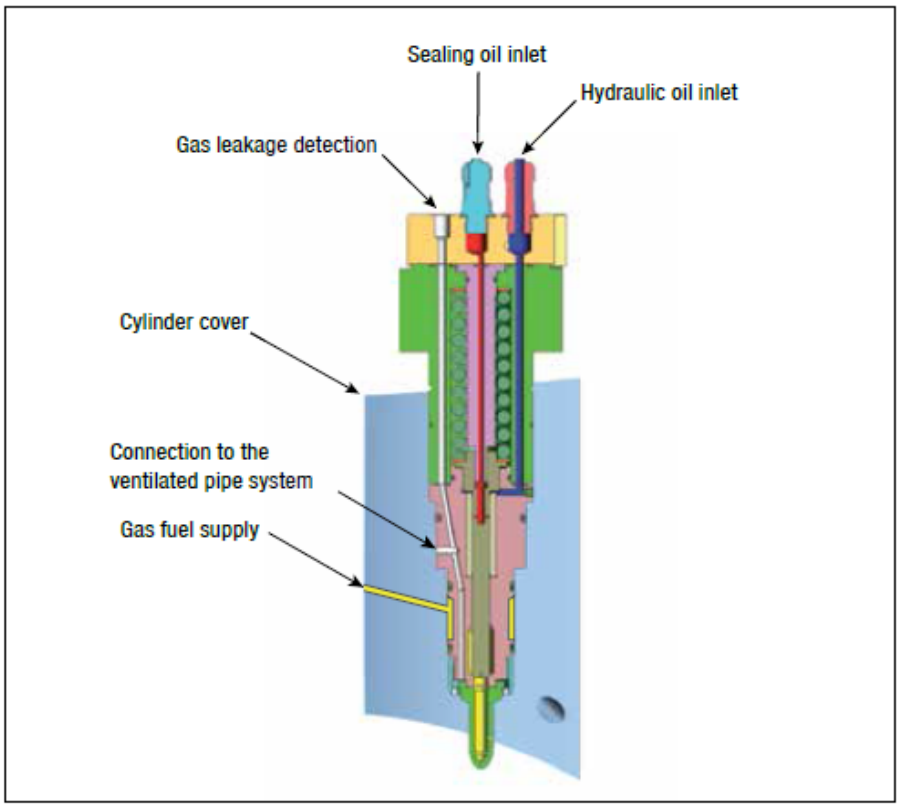
Σχήμα 4.7.2 Σύστημα εισαγωγή αερίου. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

Οποιαδήποτε βλάβη παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της φάσης καύσης του αερίου, έχει ως αποτέλεσμα να αλλάξει το καύσιμο αποκλειστικά σε πετρέλαιο. Στη συνέχεια, στη γραμμή του

αερίου διοχετεύεται αδρανές αέριο, για να συνεχίσει να είναι ασφαλής η λειτουργία της μηχανής. Η αλλαγή από το ένα καύσιμο στο άλλο γίνεται χωρίς να υπάρχει απώλεια φορτίου.

3.7.3 Σύστημα Έγχυσης Καυσίμου

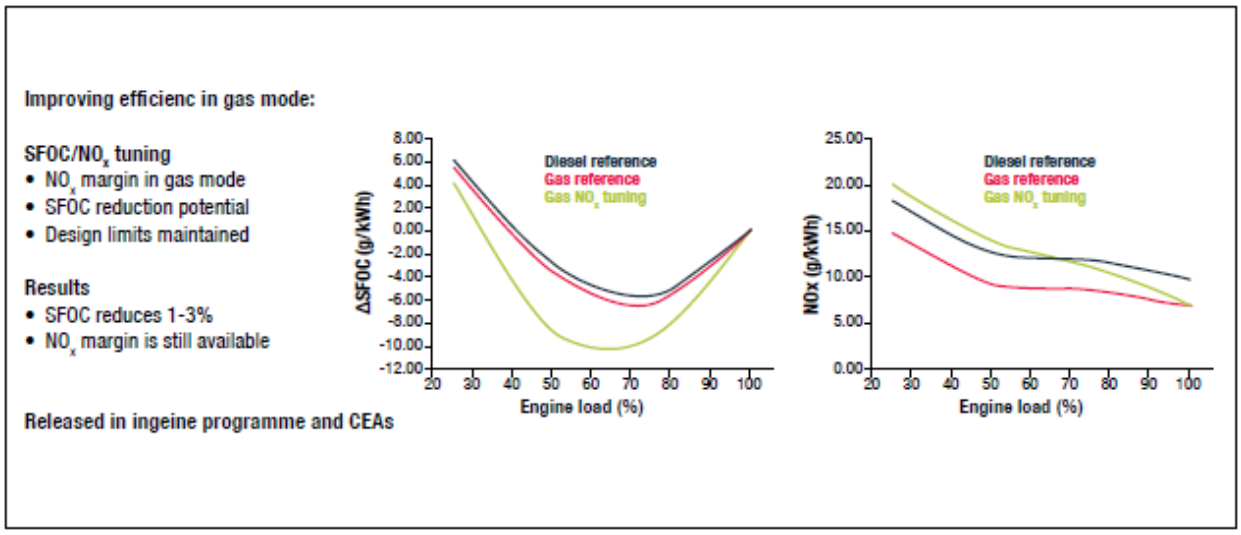
Κατά την καύση του διπλού καυσίμου, στο θάλαμο καύσης εισέρχονται το αέριο και το πιλοτικό καύσιμο. Τρεις βαλβίδες έγχυσης αερίου καυσίμου και τρεις έγχυσης πετρελαίου χρησιμοποιούνται για να γίνει η καύση. Αρχικά το υγρό καύσιμο αυταναφλέγεται και στη συνέχεια το αέριο με μεγάλη πίεση εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Με τον τρόπο αυτό απαλείφεται η πιθανότητα άναρχης αυτανάφλεξης του φυσικού αερίου και η καύση γίνεται ελεγχόμενη. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται το φαινόμενο των κρουστικών φορτίων (knocking).



Σχήμα 4.7.3 Σύστημα έγχυσης καυσίμου. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η βαλβίδα εισαγωγής του αερίου εντός του θαλάμου. Το αέριο εισέρχεται στη βαλβίδα από οπές που υπάρχουν στην κεφαλή του κυλίνδρου και βρίσκεται συνεχόμενα υπό πίεση 300 bar. Για να διατηρείται η βαλβίδα κλειστεί, χρησιμοποιείται υδραυλικό λάδι με πίεση 20 έως 50 bar μεγαλύτερη από αυτή του αερίου, η οποία απελευθερώνεται όταν πρέπει το αέριο να εισαχθεί στο θάλαμο. Από την άλλη, η μόνη αλλαγή στη βαλβίδα πιλοτικού καυσίμου είναι το στόμιό της, ενώ όλοι οι τύποι υγρών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την πρόωση στη ναυτιλία μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Συνολικά, στο σύστημα έγχυσης χρησιμοποιούνται:

i. Τρεις βαλβίδες υγρού καυσίμου
ii. Τρεις βαλβίδες εισαγωγής αερίου
iii. Μία ELGI (Electronic Gas Injection Valve) για να ανοίγουν και να κλείνουν οι βαλβίδες εισαγωγής του αέριου καυσίμου.
iv. Μία ELWI (Electrical Window and Gas Shutdown)
v. FIVA βαλβίδα, που ελέγχει το χρονισμό της μηχανής.



Σχήμα 4.7.4 Αέριοι ρύποι για λειτουργία σε πετρέλαιο και αέριο. Πηγή: MAN Diesel & Turbo

3.7.4 Συνολικη Διαμορφωση ενος LNG Πλοιου

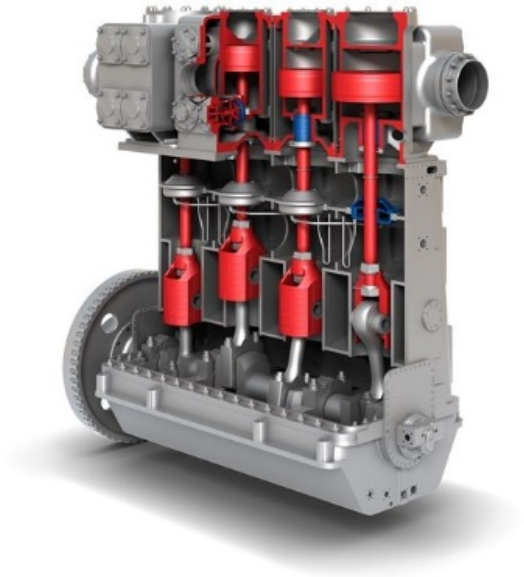
Ανεξάρτητα από τον τύπο της εγκατάστασης πρόωσης, ένα πολύ βασικό ζήτημα κατά τη λειτουργία ενός LNG πλοίου είναι η διατήρηση της πίεσης των δεξαμενών εντός συγκεκριμένων ορίων, που λέγεται Gas Management. Ειδικά για τα πλοία που χρησιμοποιούν σύστημα μόνωσης των δεξαμενών τύπου Μεμβράνης, τα περιθώρια αυτά είναι μικρά. Η διαχείριση πίεσης γίνεται με την κατανάλωση του αερίου στις κύριες μηχανές και τις ηλεκτρομηχανές, την καύση της περίσσειας καυσίμου στο GCU και την επανυγροποίηση μέρους του αερίου και την επιστροφή του στις δεξαμενές φορτίου.

3.7.5 Παροχη Αεριου Καυσιμου

Στις Δίχρονες Μηχανές υψηλής πίεσης, για να γίνει η καύση, θα πρέπει το παρεχόμενο για κατανάλωση αέριο να βρίσκεται σε πίεση 300 bar. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται πολυσταδιακοί συμπιεστές υψηλής πίεσης. Ανάλογα με το στάδιο, η τιμή της πίεσης είναι διαφορετική και με αυτό την τρόπο μπορούν να εφοδιαστούν οι ηλεκτρογεννήτριες που λειτουργούν σε χαμηλότερη πίεση (παροχή από τα αρχικά στάδια) και οι κύριες μηχανές που λειτουργούν σε υψηλή.

3.7.6 ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της εγκατάστασης των δίχρονων μηχανών υψηλής πίεσης είναι οι συμπιεστές αερίου. Ο σχεδιασμός τους θυμίζει κινητήρα, αφού αποτελούνται συνήθως από έξι κυλίνδρους-στάδια, που γίνεται η συμπίεση του αερίου. Η κίνηση στους συμπιεστές δίνεται με ηλεκτρικούς κινητήρες, που συνδέονται με το στροφαλοφόρο άξονα κάθε συμπιεστή. Η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται σε παλινδρομική μέσω ενός διωστήρα, που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε ένα βάκτρο με έμβολο. Η εισαγωγή του αερίου γίνεται με ειδικά διαμορφωμένες βαλβίδες, που είναι ανεπίστροφες. Αντίστοιχου σχεδιασμού βαλβίδες χρησιμοποιούνται και για την έξοδο του αερίου, είτε προς τα επόμενα στάδια συμπίεσης, είτε προς την έξοδο του συμπιεστή.



Σχήμα 4.7.5 Συμπιεστής αερίου καυσίμου. Πηγή: Burckhardt Compression

Μαζί με την πίεση εντός των κυλίνδρων, αυξάνεται και η θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό, ανάμεσα στα διάφορα στάδια, το αέριο διέρχεται από εναλλάκτες, ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία του πριν από την επόμενη συμπίεση. Ακόμα, τα κινούμενα μέρη των συμπιεστών λιπαίνονται από έλαια προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή. Τα έλαια εισέρχονται εντός των κυλίνδρων μόνο στο τέταρτο και στο πέμπτο στάδιο συμπίεσης και για τη συλλογή τους είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός κρυογενικού φίλτρου, που στερεοποιεί και κατακρατά τα υπολείμματα του ελαίου.

Χωρίς τους συμπιεστές δεν είναι δυνατή η λειτουργία των δίχρονων μηχανών με αέριο, καθώς αν δεν προσεγγίσει η πίεση την τιμή των 300 bar δεν μπορεί να γίνει η καύση. Ακόμα, δεν μπορεί να επιτευχθεί η επανυγροποίηση του αερίου, καθώς καθοριστικός παράγοντας της μετατροπής του αερίου σε υγρό είναι η είσοδός του στις βαλβίδες στραγγαλισμού με πολύ μεγάλη πίεση. Ακόμα, ο εφοδιασμός των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο γίνεται από τους

συμπιεστές και η παροχή δίνεται από ενδιάμεσο στάδιο συμπίεσης, καθώς οι μηχανές αυτές λειτουργούν με μικρότερη πίεση αερίου. Γίνεται, λοιπόν κατανοητό από τα παραπάνω, ότι οι συμπιεστές είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης πρόωσης, για αυτό και είναι τοποθετημένοι δύο ανά πλοίο, ώστε να είναι δυνατή η εφεδρική λειτουργία του ενός σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης του άλλου.

3.7.7 Πλεονεκτηματα και Μειονεκτηματα

Πλεονεκτήματα:

I. Μεγάλη συνολική απόδοση καυσίμου, περίπου 50% και 60 % περισσότερο από μία εγκατάσταση ατμοστροβίλου, με αποτέλεσμα να έχει τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, άρα και το μικρότερο λειτουργικό κόστος.
II. Η μεγαλύτερη απόδοση σημαίνει μικρότερη ζήτηση ενέργειας για πρόωση και πλησιάζει την ποσότητα της ενέργειας που είναι διαθέσιμη από το BOG. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μειώνεται δραστικά η ζήτηση σε υγρό καύσιμο.
III. Μεγάλη ευελιξία στο συνδυασμό των διαθέσιμων καυσίμων και των διαφορετικών φορτίων.
IV. Μικρότερο μηχανοστάσιο, άρα περισσότερος χώρος για τις δεξαμενές μεταφοράς του φορτίου.
V. Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα μηχανικών που έχουν μεγάλη εμπειρία σε δίχρονες μηχανές.
VI. Ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η λειτουργία των μηχανών αυτών είναι πολύ σε μεγάλο βαθμό γνωστή σε όλους τους συμβαλλόμενους της ναυτικής βιομηχανίας, όπως τα πληρώματα, το τεχνικό τμήμα των πλοιοκτητριών εταιριών και του προσωπικού των ναυπηγείων
VII. Για τα πλοία που λειτουργούν με δύο έλικες, αυτή η εγκατάσταση πρόωσης προσφέρει εναλλακτική επιλογή σε περίπτωση που η μία από τις δύο μηχανές σταματήσει να λειτουργεί.
VIII. Η εγκατάσταση αυτή προσφέρει να τη μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη επιλογή για τα πλοία LNG.
IX. Απλούστερη συντήρηση σε σχέση με τις τετράχρονες μηχανές διπλού καυσίμου.
X. Η φιλοσοφία του κύκλου diesel, στην οποία βασίζονται οι μηχανές αυτές, απαλλάσσει τη λειτουργία του κινητήρα από τα κρουστικά φορτία (knocking) που παρατηρούνται στις μεσόστροφες Otto μηχανές.
XI. Για τους κινητήρες με ηλεκτρονικό έλεγχο:
    i. Μικρότερη ειδική κατανάλωση και καλύτερη λειτουργία της μηχανής σε οποιοδήποτε φορτίο, χάρη στον ηλεκτρονικό χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.
    ii. Ο μηχανισμός έγχυσης είναι απλός και γνωστός στα πληρώματα, ειδικά όταν η μηχανή λειτουργεί μόνο σε υγρό καύσιμο.
    iii. Το σύστημα χρονισμού είναι αποδοτικότερο σε σύγκριση με αυτό του μηχανικού ελέγχου της μηχανής, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται καλύτερη ισορροπία στη

μηχανή και ομοιόμορφα κατανεμημένα θερμικά φορτία εντός και μεταξύ των κυλίνδρων.

iv. Ελάχιστες δυνατές στροφές για να στρέφεται το πλοίο.

Μειονεκτήματα:

I. Το αέριο προς κατανάλωση πρέπει να διατηρείται σε πίεση 300 bar περίπου, που εγείρει αρκετά ζητήματα ασφαλείας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου.
II. Η παροχή αερίου πρέπει να γίνεται σε πίεση 300 bar, για να γίνει η έγχυση μέσα στον κύλινδρο. Αυτή η διαδικασία χρειάζεται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από τους συμπιεστές του αερίου, που φτάνει το 6% περίπου της ισχύος του κινητήρα.
III. Οι συμπιεστές έχουν μεγάλο κεφαλαιουχικό κόστος και υψηλό κόστος συντήρησης.
IV. Είναι αναγκαίο ένα περίπλοκο σύστημα ελέγχου της λειτουργίας των συμπιεστών και της παροχής αερίου στις μηχανές.
V. Υψηλότερες εκπομπές οξειδίων του Νατρίου και του Θείου σε σχέση με άλλες επιλογές της αγοράς.
VI. Για να γίνει εφικτή η πτώση των ρίπων των κινητήρων στο βαθμό που να είναι εντός των νέων περιβαλλοντικών στόχων του IMO για το TIER III, χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση ενός συστήματος ανακύκλωσης καυσαερίων (EGR). Το σύστημα αυτό ανεβάζει το κόστος και την πολυπλοκότητα του συστήματος πρόωσης συνολικά.
VII. Υψηλότερο κόστος κατανάλωσης ελαίων της μηχανής, καθώς, εκτός από το έλαιο λίπανσης, οι δίχρονες μηχανές χρειάζονται και κυλινδρέλαιο.
VIII. Οι δίχρονες μηχανές έχουν μεγαλύτερο κόστος συντήρησης σε σχέση με τους ατμοστροβίλους.
IX. Για να υπάρχει η κατάλληλη εφεδρεία (redundancy) στο σύστημα πρόωσης, που απαιτείται από τους διεθνείς κανονισμούς για τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, η εγκατάσταση δύο προωστήριων συστημάτων που συνδέονται με δύο έλικες φαίνεται μονόδρομος.

3.8 ΔΙΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ X-DF

3.8.1 Εισαγωγη

Οι δίχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου είναι η βασική επιλογή των εταιριών που δραστηριοποιούνται στο χώρο της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου για τα νεότευκτα πλοία , καθώς προσφέρουν μία σειρά από συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες επιλογές της αγοράς, όπως η υψηλή απόδοση, η χαμηλή κατανάλωση καύσιμο, προσωπικό που γνωρίζει πολύ καλά τη βασικά του λειτουργία κ.α.

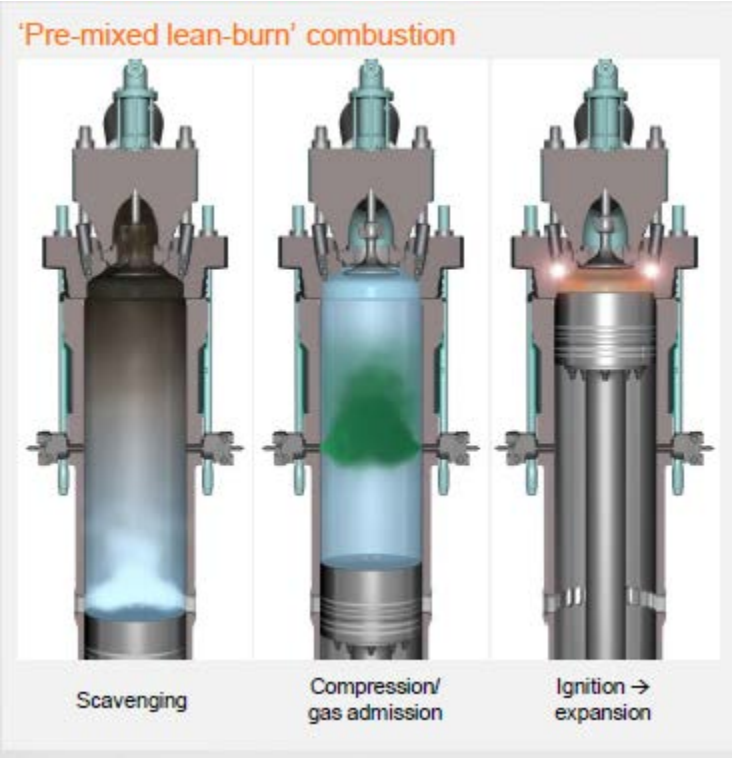
Στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε μία περιγραφή των μηχανών τύπου ME-GI, που χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι βασίζονται στον κύκλο Diesel και το αέριο καύσιμο εισάγεται στο θάλαμο καύσης σε υψηλή πίεση (300 bar), με τη βοήθεια ενός συστήματος συμπιεστών που αυξάνει την πίεση του αεριοποιημένου φυσικού αερίου. Αντίθετα με τα

παραπάνω, οι κινητήρες τύπου X-DF, βασίζονται στο θερμοδυναμικό κύκλο Otto, όπου το αέριο προ αναμειγνύεται με τον αέρα και κατά την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης. Το βασικότερο πλεονέκτημα της εγκατάστασης αυτής είναι ότι η πίεση εισαγωγής του αερίου παραμένει χαμηλή, που κάνει την εγκατάσταση συνολικά ασφαλέστερη και λιγότερο περίπλοκη. Στη συνέχεια, εκτός από τα βασικά στοιχεία που αποτελούν την εγκατάσταση, γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας, καθώς και παράθεση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του συστήματος.

Σχήμα 4.8.1 Μηχανή τύπου X-DF. Πηγή: Wärtsilä

3.8.2 Λειτουργια του Κινητηρα

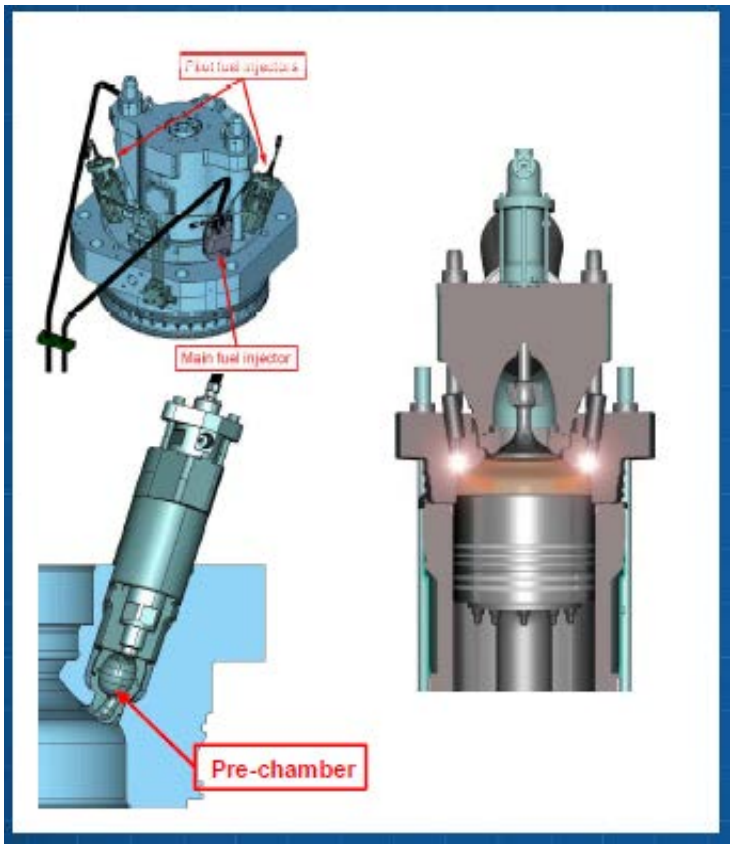
Η λειτουργία του κινητήρα αυτού διαφέρει σε αρκετά σημεία από αυτόν που περιεγράφηκε προηγουμένως. Αρχικά, ο θερμοδυναμικός κύκλος στον οποίο βασίζεται είναι αυτός του Otto. Αυτό σημαίνει ότι ο αέρας και το αέριο καύσιμο προ αναμειγνύονται εντός του θαλάμου καύσης, με την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου να αυξάνει την τύρβη εντός του κυλίνδρου και να επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμειξη. Το σημείο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς ο χρόνος ανάμειξης για ένα δίχρονο κινητήρα είναι περιορισμένος. Εάν δεν επιτευχθεί ικανοποιητική ανάμειξη, υπάρχει ο κίνδυνος της αυτανάφλεξης του φυσικού αερίου όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κρουστικά φορτία (knocking) που μειώνουν την απόδοση του κινητήρα και φθείρουν τα χιτώνια. Για να γίνει πιο ολοκληρωμένη ανάμειξη, στο χιτώνιο τοποθετούνται δύο βαλβίδες εισαγωγής αερίου, που ο χρόνος που μένουν ανοιχτές καθορίζει την ποσότητα του αερίου που θα εισέλθει στο θάλαμο, άρα και το μέγεθος του φορτίου της μηχανής.



Σχήμα 4.8.2 Διαδικασία καύσης των X-DF. Πηγή: Wärtsilä

Τα υγρά καύσιμα, είτε είναι βαρύ μαζούτ, είτε υψηλότερης ποιότητας ναυτικά καύσιμα, λειτουργούν ως σπινθήρες για τη διαδικασία καύσης του αερίου, κάνοντάς την ελεγχόμενη. Για αποτελεσματικότερη διαδικασία καύσης και καλύτερο έλεγχό της, χρησιμοποιείται προθάλαμος καύσης του υγρό καυσίμου, το οποίο και εισέρχεται στον κύλινδρο φλεγόμενο. Η ποσότητα του πιλοτικού καυσίμου που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία καύσης του αερίου είναι περίπου το 1% σε σχέση με αυτό που χρειάζεται όταν η μηχανή λειτουργεί μόνο με υγρό καύσιμο, που σημαίνει μεγάλη εξοικονόμηση χρημάτων από τα πιο ακριβά σε σχέση με το αέριο υγρά καύσιμα. Το σύστημα χρονισμού του κινητήρα ελέγχεται ηλεκτρονικά, και κατά τη διαδικασία εισαγωγής του αέρα και των καυσίμων εντός του κυλίνδρου, αλλά και κατά τη διαδικασία εξαγωγής των καυσαερίων.

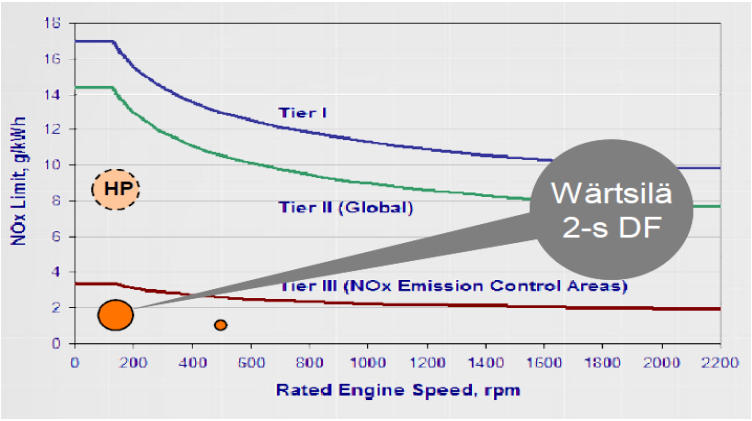
Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των κινητήρων αυτών είναι ότι, επειδή η λειτουργία βασίζεται στον κύκλο Otto και ο αέρας προ αναμειγνύεται με το αέριο καύσιμο, η είσοδος του αερίου στον κύλινδρο γίνεται με πίεση μικρότερη των 16 bar, που είναι πολύ χαμηλότερη από τα 300 bar που χρειάζονται οι κινητήρες υψηλής πίεσης. Έτσι, τα μέτρα ασφαλείας που χρειάζονται για την τροφοδοσία των μηχανών με αέριο καύσιμο είναι πολύ μικρότερα, οπότε μειώνεται και το κόστος.



Σχήμα 4.8.3 Προθάλαμος καύσης. Πηγή: Wärtsilä

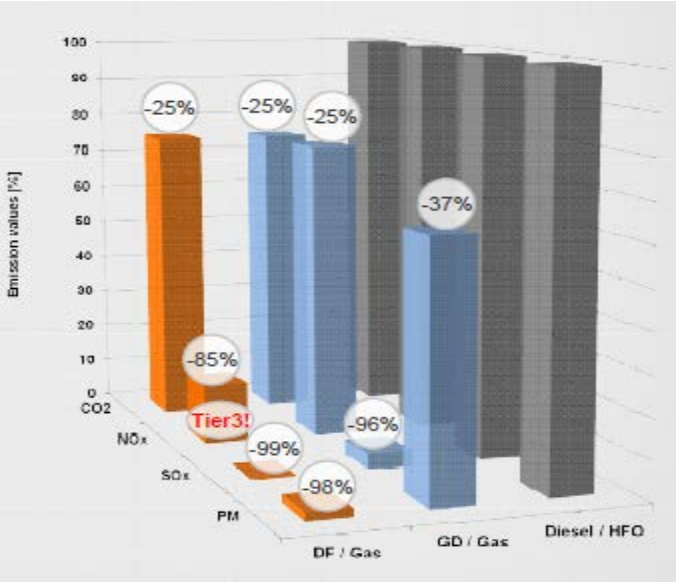
3.8.3 Εκπομπες Ρυπων

Οι μηχανές αυτές εκπληρώνουν τους πιο πρόσφατους στόχους του IMO για μείωση των εκπομπών διοξειδίων θείου και αζώτου χωρίς να χρειάζεται κάποια περαιτέρω επεξεργασία, όταν βασικό καύσιμο είναι το αέριο. Αντίθετα, όταν καταναλώνουν υγρά καύσιμα, οι εκπομπές ρύπων πρέπει να μειωθούν μέσω ανακύκλωσης των καυσαερίων ή κάποιου άλλου αντίστοιχου συστήματος.



Σχήμα 4.8.4 Αέριοι ρύποι X-DF μηχανής για καύση αερίου. Πηγή: Wärtsilä

Σε αντίθεση με τις μηχανές τύπου ME-GI, το σύστημα αυτό θέλει ειδική διαχείριση του άκαυστου μεθανίου που 'δραπετεύει' μαζί με τα καυσαέρια, επειδή δεν η βαλβίδα εξαγωγής δεν έχει προλάβει να κλείσει, όταν εισέρχεται στο θάλαμο καύσης το μείγμα αέρα και αερίου. Το μεθάνιο έχει κατά 20 έως 25 φορές μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, άρα η σωστή αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η βελτιστοποίηση του χρονισμού του κινητήρα.



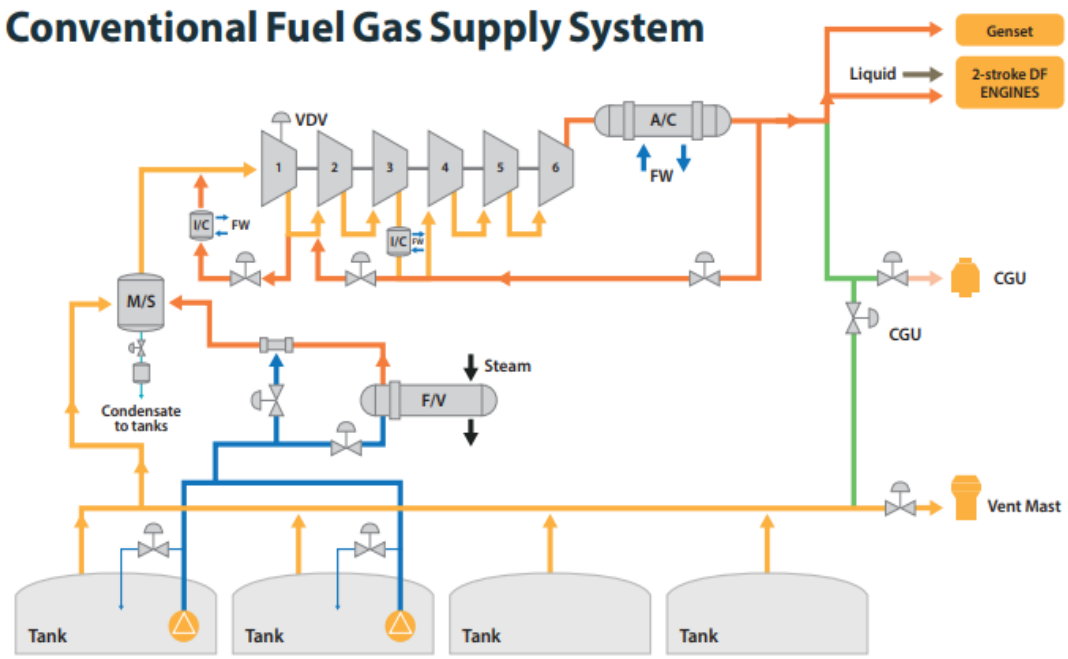
Σχήμα 4.8.5 Ανάλυση των εκπομπών ρύπων. Πηγή: Wärtsilä

3.8.4 ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΑΕΡΙΟΥ

Η συμπιεστές αερίου χαμηλής πίεσης είναι περιστροφικοί και η λειτουργία τους θυμίζει αυτή των στροβίλων. Αποτελείται από έξι διαδοχικά στάδια, όπου η πίεση αυξάνεται ομαλά από το ένα στο άλλο. Επειδή δεν υπάρχουν ραγδαίες αλλαγές στην πίεση, η ενδιάμεση ψύξη δεν είναι αναγκαία παρά μόνο σε ένα σημείο της εγκατάστασης (ανάμεσα στο 3° και το 4°), αντίθετα από τους συμπιεστές των μηχανών τύπου ME-GI. Έτσι το σύστημα είναι απλούστερο και πιο αξιόπιστο. Ένας εναλλάκτης είναι τοποθετημένος μετά την έξοδο του τελευταίου σταδίου, ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του αερίου σε επιθυμητά επίπεδα. Ακόμα, ένας εναλλάκτης ψύξης τοποθετείται αμέσως μετά την αυτόματη βαλβίδα που ρυθμίζει την ποσότητα του αερίου που θα συνεχίσει την συμπίεση μετά το πρώτο στάδιο, βάσει την κατανάλωσης των μηχανών.

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι το αέριο προς συμπίεση θα πρέπει να είναι ελεύθερο από συμπυκνώματα υγρού φυσικού αερίου. Για το λόγο αυτό τοποθετείται ένας διαχωριστής (Mist Separator) πριν την είσοδο του συμπιεστή. Ακόμα, το εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με ένα σύστημα που αεριοποιεί υγρό φυσικό αέριο, σε περίπτωση που το BOG δεν αρκεί για να εφοδιάσει τις μηχανές.

Η εγκατάσταση διαθέτει δύο τέτοιους συμπιεστές, ώστε να μπορεί ο ένας να λειτουργεί εφεδρικά σε περίπτωση βλάβης ή προγραμματισμένης συντήρησης του άλλου. Τέλος, από τα στοιχεία που έχουν προκύψει σήμερα, φαίνεται ότι οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές έξι σταδίων είναι πιο αξιόπιστοι σε σχέση με τους παλινδρομικούς, αλλά σε σχέση και με τους φυγοκεντρικούς τεσσάρων σταδίων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάποιες εγκαταστάσεις.



Σχήμα 4.8.6 Σύστημα συμπίεσης αερίου. Πηγή: Cryostar

3.8.5 Πλεονεκτηματα και Μειονεκτηματα

Πλεονεκτήματα

I. Μεγάλος βαθμός απόδοσης σε σχέση με τους ατμοστροβίλους και την ηλεκτροπρόωση
II. Μικρή κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις
III. Μικρή κατανάλωση υγρού καυσίμου όταν το βασικό καύσιμο είναι το αέριο
IV. Κατά την καύση του αερίου, το ποσοστό βοηθητικού υγρού καυσίμου είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη των μηχανών τύπου ME-GI.
V. Χαμηλή πίεση εισαγωγής του αερίου καυσίμου στο θάλαμο καύσης
VI. Λιγότερο αυστηρά μέτρα ασφαλείας σε σχέση με τους δίχρονους κινητήρες υψηλής πίεσης, σχετικά με τη γραμμή τροφοδοσίας του αέριου καυσίμου.
VII. Απλούστερη εγκατάσταση λόγω της χαμηλής πίεσης
VIII. Χαμηλό κεφαλαιουχικό κόστος εγκατάστασης

IX. Συμμορφώνεται με τους πρόσφατους κανονισμούς του IMO σχετικά με τις εκπομπές αέριων ρύπων όταν το βασικό καύσιμο είναι το αέριο, χωρίς να χρειάζεται κάποιο επιπλέον σύστημα μεταχείρισης των καυσαερίων
X. Δεδομένου ότι είναι δίχρονη μηχανή, υπάρχει ικανός αριθμός πληρωμάτων που να μπορούν να προσαρμοστούν γρήγορα στη λειτουργία της.

Μειονεκτήματα

I. Μικρότερη θερμική απόδοση από τις μηχανές τύπου ME-GI.
II. Πολύ μικρή εμπειρία από τη λειτουργία τους σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.
III. Κομμάτι από το αέριο που εισάγεται στο θάλαμο καύσης διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια (Methane Slip), με αποτέλεσμα να αυξάνει τους αέριους ρύπους που σχετίζονται με το διοξείδιο του άνθρακα.
IV. Κατά την καύση αποκλειστικά υγρών καυσίμων, χρειάζεται σύστημα διαχείρισης των καυσαερίων, ώστε να συμμορφώνεται με τους νεότερους κανονισμούς του IMO.
V. Λόγω της προ ανάμειξης, εμφανίζονται κρουστικά φορτία εντός των κυλίνδρων, με κίνδυνο να υπάρξει φθορά των χιτωνίων και μείωση της απόδοσης.
VI. Μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντικών ελαίων σε σχέση με τις μεσόστροφες μηχανές και πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τους ατμοστροβίλους.
VII. Αν και η πίεση του παρεχόμενου αερίου αυξάνεται πολύ λιγότερο από τις μηχανές τύπου ME-GI, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση συμπιεστών στο σύστημα αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε μία εκτενής ανάλυση της αγοράς του LNG σήμερα, καθώς και των τεχνικών χαρακτηριστικών των εγκαταστάσεων πρόωσης που απαντώνται στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αν και οι εγκαταστάσεις πρόωσης είναι αρκετές, λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία της αγοράς και τις προτιμήσεις των πλοιοκτητών, τρία συστήματα είναι αυτά που μονοπωλούν το ενδιαφέρον της αγοράς και συγκρίνονται στην παρούσα εργασία: οι εγκαταστάσεις Ηλεκτρικής Πρόωσης, οι δίχρονες μηχανές υψηλής πίεσης αερίου τύπου ME-GI και οι δίχρονες μηχανές χαμηλής πίεσης τύπου X-DF.

Η ανταγωνιστικότητα των εγκαταστάσεων προσεγγίζεται από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες, αυτή του Πλοιοκτήτη και αυτή του Ναυλωτή. Για το Ναυλωτή γίνεται επί τοις ουσίας μία ανάλυση ανταγωνιστικότητας, καθώς ένα σύστημα οικονομικότερο από πλευράς κατανάλωσης καυσίμου και λιπαντικών ελαίων είναι πιο ελκυστικό. Για τον Πλοιοκτήτη, μία πιο ανταγωνιστική εγκατάσταση πρόωσης θα έχει ως αποτέλεσμα ευκολότερη πρόσβαση στη ναυλαγορά και μεγαλύτερο ημερήσιο ναύλο για το πλοίο, άρα μεγαλύτερα κέρδη κατά τη διάρκεια ζωής του.

Το πρώτο κομμάτι του κεφαλαίου αφορά την ανάλυση των βασικών στοιχείων του υπό μελέτη πλοίου. Στοιχεία όπως η μεταφορική του ικανότητα, ο αριθμός των ελίκων που φέρει, καθώς και η πραγματική του μεταφορική ικανότητα παρατίθενται και αναλύονται. Στη συνέχεια επιλέγεται το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου. Στην παρούσα εργασία θεωρούνται δύο διαφορετικές διαδρομές, με άλλα λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης, καθώς και διαφορετικές χώρες εξαγωγής του φορτίου, που συνεπάγεται διαφορετική τιμή του. Για την κάθε διαδρομή θεωρείται και ένα διαφορετικός τύπος συμβολαίου, δηλαδή ένα μακροπρόθεσμο και ένα βραχυπρόθεσμο ναυλοσύμφωνο. Το είδος του συμβολαίου καθορίζει και το προσδοκώμενο ύψος του ναύλου.

Στη συνέχεια γίνεται μία τεχνική ανάλυση και σύγκριση των χαρακτηριστικών της κάθε εγκατάστασης, και συγκεκριμένα της ενεργειακής κατανάλωσης. Παρατίθενται οι καταναλώσεις των εγκαταστάσεων σε διαφορετικές ταχύτητες και καύση διαφορετικών καυσίμων και συγκρίνονται με βάση τις ME-GI μηχανές.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται η οικονομική ανάλυση του προβλήματος, καθώς και η εφαρμογή της μεθόδου κατασκευής του οικονομικού προφίλ του πλοίου, για κάθε μία από τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις πρόωσης. Για την οικονομική σύγκριση επιλέγεται η μέθοδος της Καθαρά Παρούσας Αξίας. Δύο από τις βασικές μεταβλητές της μεθόδου είναι τα έσοδα και τα έξοδα του Πλοιοκτήτη και του Ναυλωτή αντίστοιχα. Για τα έξοδα του Πλοιοκτήτη γίνεται μία εκτίμηση του αρχικού κόστους κεφαλαίου που πρέπει να επενδυθεί για την κατασκευή του πλοίου. Το αρχικό κεφάλαιο ενσωματώνεται με τη μορφή απόσβεσης στα ετήσια έξοδα του πλοίου. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα διάφορα κόστη λειτουργίας, που περιλαμβάνουν το κόστος συντήρησης, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους Δεξαμενισμών, τη μισθοδοσία των μελών του πληρώματος, τα γενικά έξοδα του πλοίου, όπως το κόστος των προμηθειών για τη σίτιση, καθώς και τα έξοδα των υπαλλήλων του γραφείου της ναυτιλιακής εταιρίας που υποστηρίζει το πλοίο. Στα έξοδα του Ναυλωτή συμπεριλαμβάνεται το κόστος καυσίμων και λιπαντικών ελαίων, καθώς και ο ημερήσιος ναύλος που καταβάλλεται στον Πλοιοκτήτη. Ακόμα, τα έσοδα του

Πλοιοκτήτη είναι τα ναύλα που υπολογίζονται σε ετήσια βάση και για τον Ναυλωτή το κέρδος από την πώληση του φορτίου. Προφανώς για διαφορετικές διαδρομές αλλάζει η τιμή πώλησης, η οποία εξαρτάται από τη χώρα εισαγωγής, καθώς και ο όγκος του καταβαλλόμενου φορτίου, μιας και από αυτόν αφαιρείται το αέριο που άλλαξε κατάσταση από υγρό σε αέριο. Από αυτό, ένα κομμάτι καταναλώθηκε στις μηχανές για την παραγωγή της απαιτούμενης μηχανικής και ηλεκτρικής ισχύος, ενώ το υπόλοιπο υγροποιήθηκε ξανά, στην περίπτωση των δίχρονων μηχανών και κάηκε στο Gas Combustion Unit, στην περίπτωση της Ηλεκτρικής Πρόωσης. Ακόμα, για τον υπολογισμό της Παρούσας Αξίας επιλέγονται τρία υπό εξέταση επιτόκια της αγοράς, καθώς και τρία σενάρια χρόνου λειτουργίας του πλοίου, δηλαδή 10, 20 και 30 χρόνια. Για τις δύο πρώτες περιπτώσεις το πλοίο πωλείται ως μεταχειρισμένο, ενώ στην τελευταία για scrap.

Δύο άλλες παράμετροι που αναλύονται είναι το Ελάχιστο Καταβληθέν Ναύλο, δηλαδή το ημερήσιο ναύλο εκείνο, με το οποίο η Καθαρά Παρούσα Αξία ισούται με το μηδέν και είναι μέτρο της ανταγωνιστικότητας της κάθε εγκατάστασης με δεδομένα έσοδα και έξοδα, καθώς και το Internal Rate of Return, που δείχνει το πόσο ευάλωτη είναι η επένδυση στις αλλαγές της αγοράς, καθώς υπολογίζει το επιτόκιο εκείνο με το οποίο η Καθαρά Παρούσα Αξία ισούται με το μηδέν, έχοντας ως δεδομένες τις υπόλοιπες τιμές.

Τέλος, εξετάζονται τρεις διαφορετικές Αναλύσεις Ευαισθησίας. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να καταδείξει τον τρόπο με τον οποίο οι διάφοροι παράμετροι της ανάλυσης επηρεάζουν, και σε ποιο βαθμό, την Καθαρά Παρούσα Αξία. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση της μελέτης, εξετάζονται τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις αρχικού κεφαλαίου και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν την Παρούσα Αξία. Στη δεύτερη περίπτωση μελετάται η επίπτωση που έχει η αλλαγή του ναύλου στην Παρούσα Αξία ενός πλοίου με μακροπρόθεσμο συμβόλαιο χρονοναύλωσης και επιλέγονται πέντε διαφορετικά ύψη ναύλων. Στην τελευταία περίπτωση μελετάται η επίπτωση της αλλαγής του ναύλου για την περίπτωση της βραχυπρόθεσμης ναύλωσης. Για να γίνει αυτό εξετάζονται τρεις υποπεριπτώσεις και θεωρούνται 15 διαφορετικά ύψη ναύλων: α) τα υψηλότερα ναύλα καταβάλλονται στον Πλοιοκτήτη κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου, β) τα χαμηλότερα ναύλα καταβάλλονται κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου και τα υψηλότερα κατά τα τελευταία και γ) η καταβολή των ναύλων είναι τυχαία. Η ανάλυση αυτή γίνεται ώστε να καταστεί σαφές, ότι την ανάλυση της Παρούσας Αξίας δεν επηρεάζει μόνο το ύψος του ναύλου, αλλά και ο χρόνος κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου που θα καταβληθεί.

4.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

4.2.1 Βασικα Στοιχεια του υπο Μελετη Πλοιου

Το πρώτο βήμα για να γίνει η ανάλυση που περιεγράφηκε παραπάνω, είναι να επιλεγούν τα βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου. Το πλοίο λοιπόν που επιλέγεται είναι ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου 173,400 cm^2, όπου οι βασικές του διαστάσεις φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

SHIP PARTICULARS	
Cargo Capacity of the Vessel	173,000
Length Overall (m)	294.9
Length Between Perpendiculars (m)	282.9

Breadth Moulded (m)	46.4
Depth Moulded (m)	26.5
Design Draft (m)	11.5
Maximum Loading	171,564
Nominal Service Speed (kn)	19.5

Πίνακας 5.1: Βασικά στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου

Τα βασικά του χαρακτηριστικά συμπίπτουν με τα πιο συνηθισμένα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου που βρίσκονται υπό κατασκευή. Το μέγιστο φορτίου που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο αντιστοιχεί στο 99.17% της μεταφορικής του ικανότητας, όπου είναι και το ανώτατο όρια κατά την φόρτωση σήμερα.

4.2.2 Επιχειρησιακο προφιλ του υπο Μελετη Πλοιου

Ιδιαίτερα σημαντική για την ανάλυση που θα γίνει στη συνέχεια είναι η επιλογή του επιχειρησιακού προφίλ του πλοίου. Η απόσταση που διανύει το πλοίο ανά ταξίδι έχει καθορίζει το συνολικό αριθμό των ταξιδιών που μπορεί να κάνει κατά έτος, άρα και τον αριθμό των φορτίων που μπορεί να μεταφέρει. Ακόμα, καθορίζει την ποσότητα του φορτίου που θα παραδοθεί, μιας και ένα κομμάτι του φορτίου θα αεριοποιηθεί λόγο της ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον και κάποιο από αυτό θα χρησιμοποιηθεί στις μηχανές ως καύσιμο. Επίσης, ανάλογα με τη χώρα εισαγωγής του LNG, η τιμή του είναι διαφορετική, άρα και το κέρδος του Ναυλωτή ενδεχομένως να διαφέρει.

VOYAGE PROFILE		
Basic Values	**Spot Charter**	**Time Charter**
Distance (Pilot-Pilot) (miles)	5098	3683
Service Speed laden voyage (kn)	19.5	19.5
Service Speed ballast voyage (kn)	16	16
Laden Voyage (Hours)	261.44	188.87
Ballast Voyage (Hours)	339.87	230.1875
Laden Voyage (Days)	10.9	7.9
Ballast Voyage (Days)	14.2	9.6
Maneuvering (Hours)	10	10
Reserve (waiting, bunkering etc.)	5	5
Loading Time (Hours)	30	30
Discharging Time (Hours)	30	30
Time per round trip (Hours)	676.31	518.37
Time per round trip (Days)	28.18	21.60
Round trips per year for DFDE Vessel	13	17

Πίνακας 5.2: Επιχειρησιακό προφίλ του υπό μελέτη πλοίου.

Στην παρούσα εργασία επιλέγονται δύο διαφορετικά προφίλ ταξιδιού, ένα για βραχυπρόθεσμο και ένα για μακροπρόθεσμο συμβόλαιο χρονοναύλωσης. Όπως μπορεί να φανεί και από τον παραπάνω πίνακα, επιλέγονται δύο βασικές ταχύτητες του πλοίου και για τα δύο προφίλ ταξιδιού.

Η πρώτη αφορά την κατάσταση που το πλοίο είναι πλήρως φορτωμένο και η ταχύτητά του θεωρείται ότι είναι 19.5 κόμβοι, ενώ στην κατάσταση που το πλοίο δεν είναι φορτωμένο η ταχύτητα θεωρείται ότι είναι 16 κόμβοι. Όπως είναι λογικό, οι ταχύτητες που έχουν επιλεγεί είναι ενδεικτικές. Στην πραγματικότητα, η ταχύτητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το χρόνο που πρέπει να παραδοθεί το φορτίο, την επιθυμητή κατανάλωση καυσίμου από τη μεριά του Ναυλωτή ή ακόμα και από τις αλλαγές τις τιμής του φορτίου. Προς χάριν της ανάλυσης, παρόλα αυτά, μία ταχύτητα αναφοράς για κάθε κατάσταση έπρεπε να επιλεγεί και η τελική επιλογή βασίστηκε σε συνήθεις ταχύτητες που απαντώνται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου. Ακόμα, ο χρόνος φόρτωσης και εκφόρτωσης, καθώς και ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται το πλοίο για να δέσει στο λιμάνι συνυπολογίζονται. Τελικά προκύπτει ο συνολικός εκτιμώμενος χρόνος του ταξιδιού για κάθε περίπτωση. Τέλος, όπως φαίνεται και στον πίνακα, στην περίπτωση του μακροχρόνιου συμβολαίου, τα ταξίδια που ολοκληρώνονται κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι κατά τέσσερα περισσότερα από ότι του βραχυπρόθεσμου συμβολαίου.

4.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ LNGC

4.3.1 Κατανάλωση Καυσίμων και Λιπαντικών Ελαίων

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία που διαχωρίζουν τις εγκαταστάσεις πρόωσης που εξετάζονται είναι η κατανάλωση καυσίμου και λιπαντικών ελαίων. Η κατανάλωση προκύπτει από το βαθμό απόδοσης και καθορίζει το ύψος του καυσίμου που καταναλώνεται, καθώς και την ποσότητα αέριων ρίπων που εκπέμπονται. Συμπερασματικά, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση της Καθαρά Παρούσας Αξίας που γίνεται για τον Ναυλωτή, αφού οι καταναλώσεις εκπίπτουν στα έξοδά του, άρα και το βαθμό ανταγωνιστικότητας της μίας εγκατάστασης ως προς την άλλη, που αφορά τον Πλοιοκτήτη. Τελικά, οι καταναλώσεις, αποτελούν σημαντικό κριτήριο για τη ναύλωση του πλοίου και επηρεάζουν το ύψος του ναύλου που μπορεί να διεκδικήσει ο Πλοιοκτήτης.

Η κατανάλωση της κάθε εγκατάστασης μετριέται σε g/ kWh και είναι είναι καλύτερη, όσο μεγαλώνει το φορτίο των μηχανών. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η κατανάλωση του κάθε συστήματος για μία δεδομένη κατάσταση φόρτωσης και ταχύτητα. Η σύγκριση γίνεται με βάση τις δίχρονες μηχανές Υψηλής Πίεσης τύπου ME-GI. Με τον όρο 'HFO Mode' περιγράφεται η καύση βαρέως ναυτικού καυσίμου από τους κινητήρες, και ως 'Gas Mode' η καύση φυσικού αερίου ως βασικό καύσιμο και υγρού καυσίμου ως βοηθητικό.

I. Daily Fuel Consumption in Ballast voyage (HFO mode)				
Speed (knots)	**Machinery**	**ME-GI**	**DFDE**	**X-DF**
19.5	M/E (MGE)	85.1 ton/day	121.9 ton/day	93.1 ton/day
	G/E	9.4 ton/day	-	8.6 ton/day
	Aux. Boiler	-	-	-
	Total	**94.5 ton/day (100 %)**	**121.9 ton/day (129 %)**	**101.7 ton/day (108 %)**
16.0	M/E (MGE)	48.6 ton/day	72.3 ton/day	52.5 ton/day
	G/E	9.4 ton/day	-	8.8 ton/day

	Aux. Boiler	-	-	0.5 ton/day
	Total	**58.0 ton/day (100 %)**	**72.3 ton/day (125 %)**	**61.8 ton/day (107 %)**
III. Daily Fuel Consumption in Laden voyage (Gas mode)				
Speed (knots)	**Machinery**	**ME-GI**	**DFDE**	**X-DF**
	M/E (MGE)	69.2 ton/day	95.0 ton/day	72.6 ton/day
	G/E	14.4 ton/day	-	11.8 ton/day
	Aux. Boiler	-	-	-
19.5	**Total**	**83.6 ton/day (100 %)**	**95.0 ton/day (114 %)**	**84.4 ton/day (101 %)**
	M/E (MGE)	38.3 ton/day	57.3 ton/day	40.4 ton/day
	G/E	14.9 ton/day	-	13.2 ton/day
	Aux. Boiler	-	-	-
16.0	**Total**	**53.1 ton/day (100 %)**	**57.3 ton/day (108 %)**	**53.6 ton/day (101 %)**
IV. Daily Fuel Consumption in Ballast voyage (Gas mode)				
Speed (knots)	**Machinery**	**ME-GI**	**DFDE**	**X-DF**
	M/E (MGE)	68.8 ton/day	94.7 ton/day	72.2 ton/day
	G/E	8.0 ton/day	-	8.3 ton/day
	Aux. Boiler	-	-	-
19.5	**Total**	**76.8 ton/day (100 %)**	**94.7 ton/day (123 %)**	**80.5 ton/day (105 %)**
	M/E (MGE)	38.6 ton/day	57.6 ton/day	40.7 ton/day
	G/E	8.0 ton/day	-	8.3 ton/day
	Aux. Boiler	-	-	-
16.0	**Total**	**46.6 ton/day (100 %)**	**57.6 ton/day (124 %)**	**49.0 ton/day (105 %)**

Πίνακας 5.3: Κατανάλωση καυσίμου σε δύο διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης και καύσιμα.

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον παραπάνω πίνακα, οι μηχανές τύπου ME-GI έχουν καλύτερη απόδοση, άρα και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου από τις άλλες δύο εγκαταστάσεις, είτε ως κύριες μηχανές σε σχέση με τις X-DF, είτε ως εγκαταστάσεις πρόωσης, που προστίθεται και η κατανάλωση των κινητήρων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη απόκλιση υπάρχει στην περίπτωση που η εγκατάσταση χρησιμοποιεί βαρύ ναυτικό καύσιμο (HFO), όπου οι ME-GI έχουν απόδοση μεγαλύτερη κατά 29% και 25% από την Ηλεκτρική Πρόωση για ταχύτητες 19.5 και 16 κόμβους αντίστοιχα. Για την καύση φυσικού αερίου ως βασικό καύσιμο, είναι εμφανές ότι ξανά οι ME-GI κινητήρες έχουν καλύτερη απόδοση και στις δύο καταστάσεις φόρτωσης σε όλες τις περιγραφόμενες ταχύτητες, αν και στην περίπτωση που το πλοίο φέρει πλήρες φορτίο, η διαφορά από τις X-DF είναι πολύ μικρή, δηλαδή της τάξης του 1%.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι η αναλογία υγρού και αέριου καυσίμου, όταν οι μηχανές βρίσκονται σε 'Gas Mode'. Σε αυτή την κατάσταση, και σύμφωνα με τις εταιρίες κατασκευής των κινητήρων, θεωρείται:

Α) Για τους ME-GI κινητήρες κατανάλωση υγρού καυσίμου 5% και αερίου 95% για ταχύτητα 19.5 κόμβων και 7% υγρό με 93% αέριο καύσιμο για ταχύτητα 16 κόμβων.

Β) Για τους X-DF κινητήρες θεωρείται κατανάλωση υγρού καυσίμου 1% και 99% αερίου για ταχύτητα 19.5 κόμβων και 1.5% υγρό και 98.5% αέριο καύσιμο για ταχύτητα 16 κόμβων.

Γ) Για όλες τους Ηλεκτροκινητήρες θεωρείται ίδια αναλογία υγρού και αερίου καυσίμου με τις X-DF για τις αντίστοιχες ταχύτητες.

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικές τιμές των καυσίμων στη διεθνή αγορά, καθώς και η θερμιδική τους αξία:

OIL AND LNG PRICES	
HFO (3-4.5% Sulphur Content) price (USD/ton)	460
LHV of HFO (kJ/kg)	40200
MDO (1-2% Sulphur content) price (USD/ton)	684
LHV of MDO (kJ/kg)	42600
MGO (0,3-1% Sulphur content) price (USD/ton)	700
LHV of MGO (kJ/kg)	42800

Πίνακας 5.4: Ενδεικτικές τιμές υγρών καυσίμων και η θερμιδική τους αξία. Αγορά Άπω Ανατολής

Αν ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου είναι σχετικά απλός χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία, για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης, ενώ είναι πιο απαιτητικός κατά τη διάρκεια της φόρτωσης και της εκφόρτωσης του πλοίου, καθώς και των ελιγμών για να μπει στο λιμάνι. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει ο τελικός υπολογισμός:

MANUEVERING, CHARGING AND DISCHARGING				
Propulsion	**Maneuvering (with Thruster)**	**Charging**	**Discharging**	**Consumption (g/kWh)**
DFDE	10,336.9	5,169.0	8,332.9	165.0
ME-GI	0.0	/	/	135.4
Gen Set for ME-GI	7,080.8	5,047.5	7,885.0	170.6
X-DF	0.0	/	/	136.8
Gen Set for X-DF	7,080.8	5,047.5	7,885.0	170.6

Πίνακας 5.5: Κατανάλωση καυσίμου κατά τη φόρτωση, την εκφόρτωση και τους ελιγμούς.

Στον πίνακα 5.5 φαίνεται ότι οι κύριες μηχανές κατά τις φάσεις αυτές του ταξιδιού είναι εκτός λειτουργίας και μόνο οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και την κάλυψη των αναγκών των διάφορων μηχανημάτων που συμβάλουν σε αυτές τις διαδικασίες, όπως του Bow Thruster. Το ίδιο ισχύει και για την Ηλεκτρική Πρόωση.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου, ο Ναυλωτής, εκτός από τα καύσιμα, καλείται να καταβάλει και το αντίτιμο των λιπαντικών ελαίων που καταναλώνονται από τις μηχανές. Ανάλογα με το είδος της μηχανής και τη συνολική παραγόμενη ισχύ η κατανάλωση αλλάζει. Η κατανάλωση ελαίου για κάθε μηχανή δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$X = P \times (\%)MRC \times T \times L$$

Όπου X: κατανάλωση λιπαντικού ελαίου, P: ισχύς της μηχανής, T: ο χρόνος λειτουργίας της μηχανής και L: ο βασικός ρυθμός παροχής ελαίου.

Lubrication Oils		
Engine and Oil Usage	**Price**	**Type of Oil**
Lubrication Oil price for DFDE (USD/ton	3778.15	Shell Melina S 30
Lubrication Oil price for ME-GI (USD/ton)	3778.15	Shell Melina S 30
Lubrication Oil price for X-DF (USD/ton)	3778.15	Shell Melina S 30
System Oil Price for ME-GI (USD/ton)	4644.81	Shell Alexia 50
System Oil Price for X-DF (USD/ton)	4645.81	Shell Alexia 50

Πίνακας 5.6: Λιπαντικά Έλαια

Οι τύποι ελαίου που χρησιμοποιούνται για τους κινητήρες σύμφωνα με τους κατασκευαστές και επιλέγονται για την παρούσα εργασία φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Τα βασικά στοιχεία για κάθε εγκατάσταση που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Propulsion	Basic Feed Rate (g/kWh)	Laden Voyage (Power kW)	Ballast Voyage (Power kW)	MCR (kW)
ME-GI	0.8	10,700	9,442.5	12,590.0
Gen. Set ME-GI	0.4	3,815.5	2,293.9	4,012.5
DFDE	0.5	26,917.2	15,974.9	9,750.0
X-DF	0.7	10,957	9,667.50	12,890.0
Gen. Set X-DF	0.4	3,126.60	2,379.20	4,012.5

Πίνακας 5.7: Στοιχεία υπολογισμού κατανάλωσης λιπαντικού ελαίου για κάθε εγκατάσταση.

4.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ

4.4.1 Καθαρα Παρουσα Αξια

Καθαρά Παρούσα Αξία είναι το άθροισμα των παρουσών αξιών των εισερχόμενων και εξερχόμενων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου. Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη των ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων που χρησιμοποιήθηκαν για μία επένδυση. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξία είναι:

$$NPV = \sum_{1}^{n} \frac{Inc_n - Exp_n}{(1+i)^n} - CAPEX + \left(\frac{SV_n}{(1+i)^n}\right)$$

Όπου NPV (Net Present Value): Καθαρά Παρούσα Αξία, Inc_n: τα έσοδα για κάθε χρονική περίοδο, Exp_n: τα έξοδα για κάθε χρονική περίοδο, i: Επιτόκιο της αγοράς, n: η χρονική περίοδος, $CAPEX$: το αρχικό κόστος κεφαλαίου και SV_n: η εναπομείνασα αξία για κάθε χρονική περίοδο.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η Καθαρά Παρούσα Αξία υπολογίζεται για τον Πλοιοκτήτη, αλλά και το Ναυλωτή, καθώς αποτελεί δείκτη ανταγωνιστικότητας για κάθε εγκατάσταση πρόωσης. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται κάθε μία από τις προαναφερθείσες παραμέτρους ξεχωριστά, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους.

4.4.2 Έξοδα για τον Πλοιοκτητη

Τα βασικά έξοδα που υπολογίζονται για τον Πλοιοκτήτη είναι δύο: α) αρχικό κόστος κεφαλαίου και β) λειτουργικά έξοδα του πλοίου κατά τη χρονική περίοδο της λειτουργίας του.

Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι διαφορετικό σε κάθε εγκατάσταση πρόωσης, καθώς τα στοιχεία του συστήματος διαφέρουν. Το συνολικό κεφάλαιο που δαπανάται υπολογίζεται από τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου, πολλαπλασιασμένη με ένα συντελεστή σε $/cm, διαφορετικό για κάθε εγκατάσταση πρόωσης, που προκύπτει ως μέσος όρος από τα στοιχεία που υπάρχουν διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά. Έτσι, στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το κόστος κεφαλαίου για κάθε πλοίο με το αντίστοιχο προωστικό σύστημα:

CAPEX				
Vessel's Propulsion	**Capacity (cm)**	**$/cm**	**Total Cost**	**Mil USD**
TFDE	173,400.00	1,072.00	185,884,800.00	185.88
MEGI	173,400.00	1,082.00	187,618,800.00	187.62
X-DF	173,400.00	1,074.00	186,231,600.00	186.23

Πίνακας 5.8: Αρχικό κόστος κεφαλαίου

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, το κόστος κεφαλαίου για τα πλοία με Δίχρονες Μηχανές Υψηλής Πίεσης τύπου ME-GI είναι μεγαλύτερο από τις άλλες δύο επιλογές, αν και σε σχέση με το συνολικό κόστος ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου , διαφέρουν ελάχιστα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τα κόστη για κάθε εγκατάσταση πρόωσης ξεχωριστά:

CAPEX FOR PROPULSION					
TFDE		**ME-GI**		**X-DF**	
Parts of Propulsion	**Cost (Mil USD)**	**Parts of Propulsion**	**Cost (Mil USD)**	**Parts of Propulsion**	**Cost (Mil USD)**
Engines	23.5	Engines (x2)	19.5	Engines (x2)	19.3
Gen Set	0	Generator Engines	4	Generator Engines	4
Reliquification System	0	Reliquification System	6	Reliquification System	6
Auxiliary Systems	17.4	Auxiliary Systems	13	Auxiliary Systems	12.2
Total	40.9	Total	42.5	Total	41.5

Πίνακας 5.9: Αρχικό κόστος κεφαλαίου για κάθε εγκατάσταση πρόωσης.

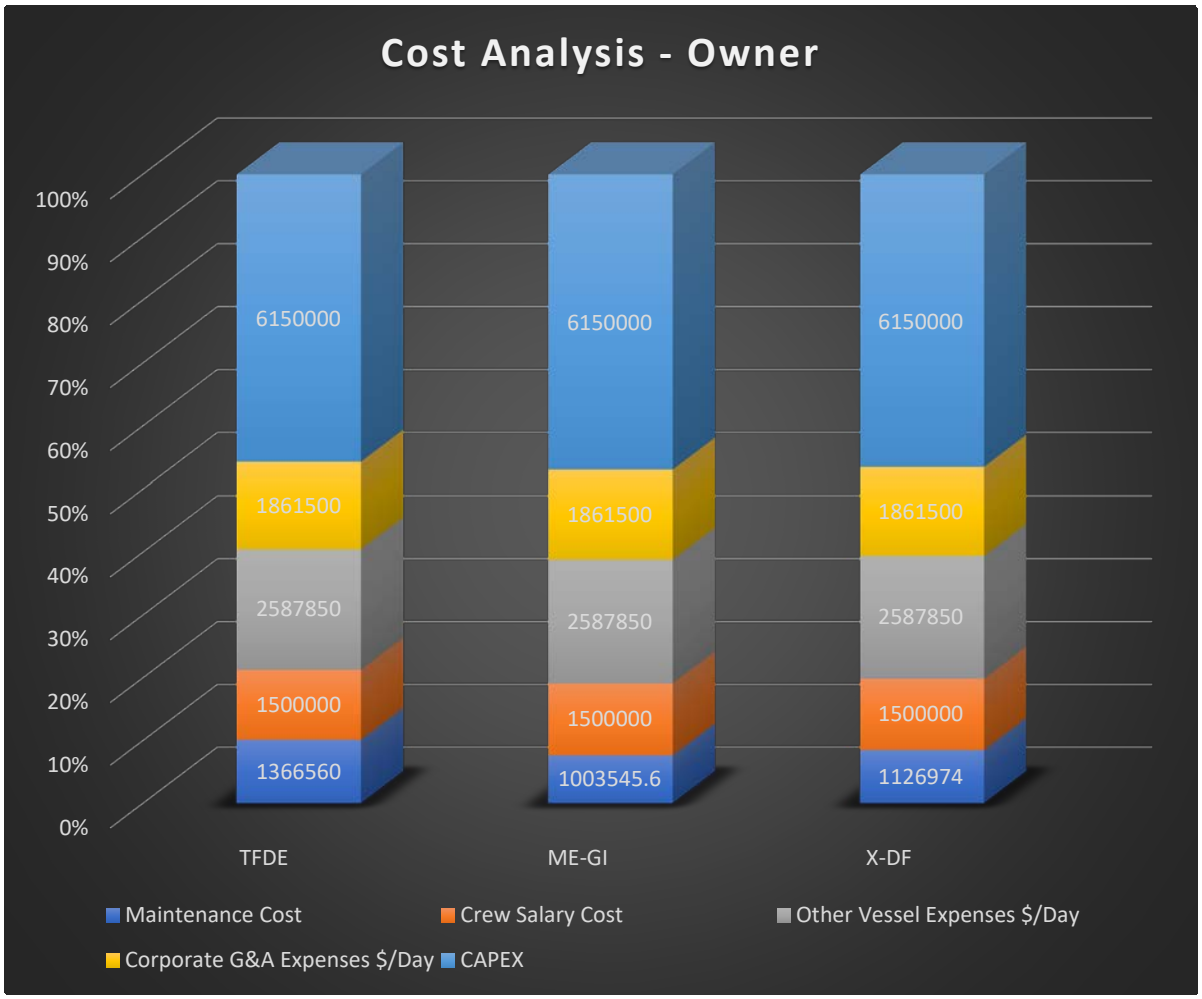
Στον πίνακα 5.9 φαίνεται ότι η διαφορά στο αρχικό κόστος κεφαλαίου του κάθε πλοίου προκύπτει σχεδόν αποκλειστικά από τη διαφορά στο κόστος των εγκαταστάσεων πρόωσης.

Τα λειτουργικά έξοδα του Πλοιοκτήτη (Operational Expenses – OPEX) χωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες: α) κόστος συντήρησης, β) μισθοδοσία του πληρώματος, γ) λοιπά έξοδα του πλοίου, όπως έξοδα σίτισης και εφοδίων και δ) λειτουργικά έξοδα της εταιρίας, π.χ. μισθοδοσία των υπαλλήλων του γραφείου που υποστηρίζουν το πλοίο. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα έξοδα για κάθε κατηγορία, καθώς και το συνολικό ετήσιο ποσό που αντιστοιχεί στα λειτουργικά έξοδα του πλοίου.

OPEX - SHIP OWNER SIDE						
Type of Propulsion	**Maintenance Cost ($/MWh)**	**Maintenance Cost (per day)**	**Crew Salary Cost (per month)**	**Other Vessel Expenses $/Day**	**Corporate G&A Expenses $/Day**	**Total Expenses Per Year (Mil. USD)**
TFDE	4	3744	125,000	7090	5100	7.34
ME-GI	2	1208.64	/	/	/	/
Gen Set for 2-Stroke ME-GI	4	1540.8	/	/	/	/
ME-GI System Total	/	2749.44	125,000	7090	5100	6.97
X-DF	2.5	1546.8	/	/	/	/
Gen Set for 2-Stroke X-DF	4	1540.8	/	/	/	/
X-DF System Total	/	3087.6	125,000	7090	5100	7.10

Πίνακας 5.10 Λειτουργικά έξοδα του πλοίου.

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται το ποσοστό που καταλαμβάνουν να επιμέρους έξοδα που προαναφέρθηκαν, σε σχέση με τα συνολικά, ανά έτος. Το αρχικό κόστος κεφαλαίου αναλύεται και λαμβάνεται ως ετήσια απόσβεση.



Διάγραμμα 5.1: Έξοδα Πλοιοκτήτη.

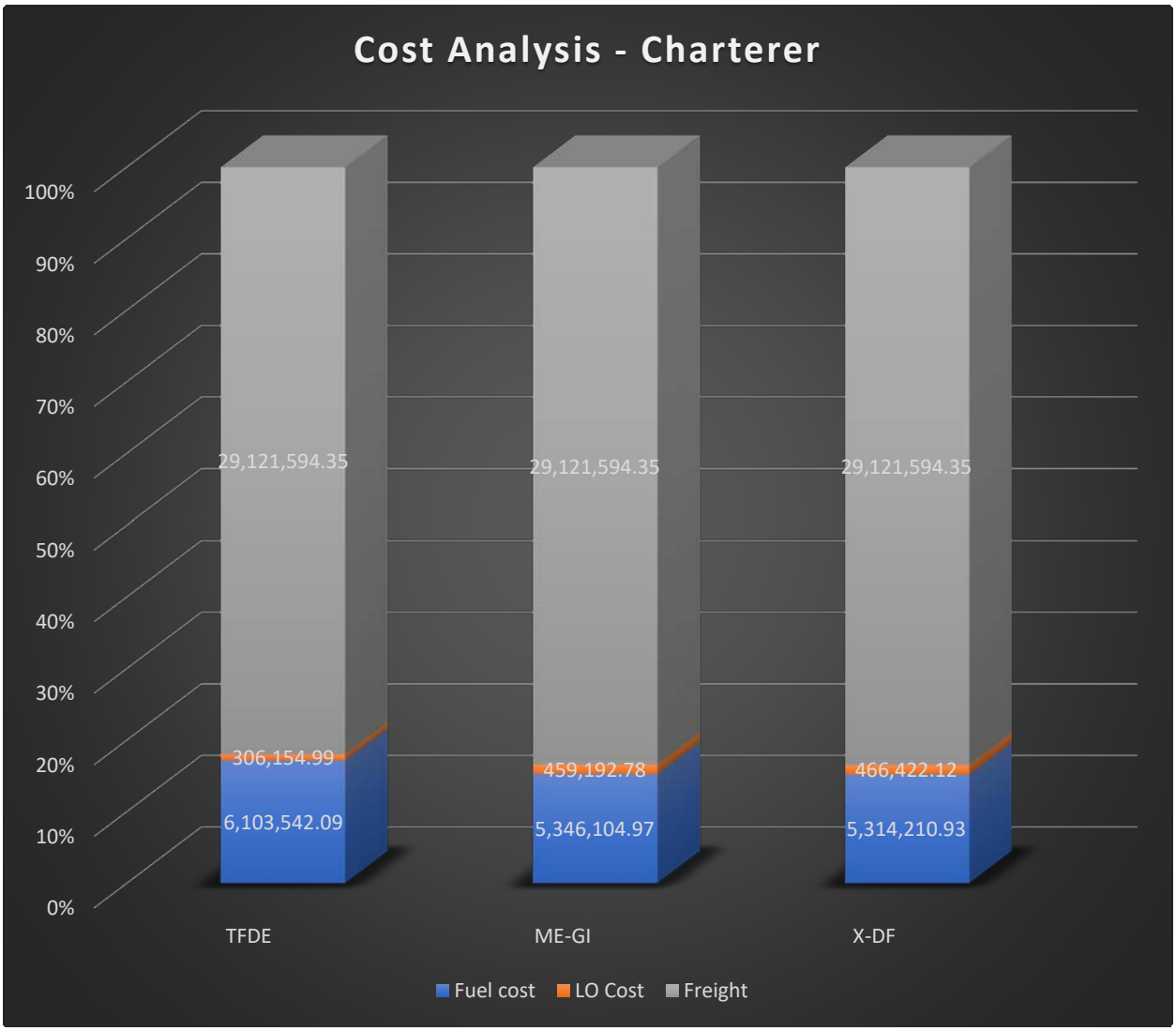
4.4.3 Έξοδα για το Ναυλωτη

Τα βασικά έξοδα που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση για τη μεριά του Ναυλωτή είναι οι καταναλώσεις καυσίμου και λιπαντικών ελαίων, καθώς και τα ημερήσια ναύλα που καταβάλλονται στον Πλοιοκτήτη. Όπως είναι φυσικό, υπάρχουν αρκετά περισσότερα έξοδα, όπως έξοδα των γραφείων και των υπαλλήλων της εταιρίας, κόστος λιμένων κ.α. τα οποία δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα εργασίας, μιας και η ανάλυση Καθαρής Παρούσας Αξίας για τον Ναυλωτή γίνεται μόνο ως απόδειξη ανταγωνιστικότητας της μίας εγκατάστασης έναντι της άλλης. Προηγουμένως, παρουσιάστηκαν αναλυτικά, τόσο οι καταναλώσεις σε καύσιμα και λιπαντικά έλαια της κάθε εγκατάστασης, όσο και οι ενδεικτικές τιμές καυσίμου και λιπαντικών ελαίων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Ακόμα, το βασικό ναύλο που καταβάλλεται στον Πλοιοκτήτη θεωρείται ίδιο για όλες τις περιπτώσεις, ώστε να γίνει κατανοητό οι διαφορές στην Παρούσα Αξία από τις καταναλώσεις και μόνο. Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας με όλα τα στοιχεία που έχουν υπολογιστεί για να προκύψουν τα έξοδα του Ναυλωτή κατά έτος.

OPEX - Spot Trip - Charterer Side							
Type of Propulsion	Fuel cost / trip Laden Voyage (USD)	Fuel cost / trip Ballast Voyage (USD)	Cost at Maneuvering & Port In/Out (USD/trip)	Lub. Oil Cost / Laden Voyage (USD)	Lub. Oil Cost / Ballast Voyage (USD)	Freight Rate (USD per Day)	Total Cost per Year (Mil. USD)
TFDE	260,889.89	205,634.94	28,365.46	13,293.86	10,256.52	79,785.19	35.85
ME-GI	196,369.76	144,691.44	186.71	18,849.96	13,786.82	/	4.85
Gen Set for 2-Stroke - ME-GI	39,545.41	28,560.41	18,696.95	1,507.52	1,178.22	/	1.16
ME-GI System Total	235,915.18	173,251.85	18,883.66	20,357.48	14,965.04	79,785.19	42.41
X-DF	199,374.80	145,301.08	192.41	19,304.13	14,117.13	/	4.91
Gen Set for 2-Stroke - X-DF	32,405.27	29,631.42	18,696.95	1,235.33	1,222.03	/	1.08
X-DF System Total	231,780.07	174,932.51	18,889.36	20,539.46	15,339.17	79,785.19	42.39
OPEX - Time Charter Trip - Charterer Side							
Type of Propulsion	Fuel cost / trip Laden Voyage	Fuel cost / trip Ballast Voyage	Cost at Maneuvering Port In/Out (USD)	Lub. Oil Cost / Laden Voyage	Lub. Oil Cost / Ballast Voyage	Freight per Day	Total Cost per Year (Mil. USD)
TFDE	225,479.30	166,618.92	24,552.41	9,603.78	6,946.55	69,785.19	33.14
ME-GI	167,729.15	115,211.91	202.35	13,617.63	9,337.55	/	5.49
Gen Set for 2-Stroke - ME-GI	34,177.92	23,141.52	22,087.27	1,089.06	797.99	/	1.46
ME-GI System Total	201,907.07	138,353.43	22,289.62	14,706.69	10,135.54	69,785.18	39.63
X-DF	172,313.66	117,732.47	208.73	13,945.73	9,561.27	/	5.62
Gen Set for 2-Stroke - X-DF	28,006.90	24,009.32	22,308.37	892.43	1,017.73	/	1.37
X-DF System Total	200,320.56	141,741.79	22,517.10	14,838.16	10,579.00	69,785.18	39.67

Πίνακας 5.11 Έξοδα Ναυλωτή κατά έτος.

Το πλοίο σε όλες τις περιπτώσεις θεωρείται ότι καταναλώνει ως βασικό καύσιμο το φυσικό αέριο. Η αναλογία ανάμεσα στο αέριο και το υγρό καύσιμο προκύπτει από το είδος της κάθε μηχανής, όπως περιεγράφηκε προηγουμένως. Επίσης, για τον υπολογισμό του λιπαντικού ελαίου χρησιμοποιείται η σχέση του προηγούμενου κεφαλαίου. Τέλος, στα έξοδα καταλογίζονται και τα ημερήσια ναύλα, που η τιμή του φαίνεται στον Πίνακα 5.11 και είναι ίδια για όλες τις εγκαταστάσεις για το λόγο που αναφέρθηκε προηγουμένως. Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στη συνέχεια εμφανίζονται τα επιμέρους έξοδα ως ποσοστό των συνολικών εξόδων και για τους τρεις τύπους εγκατάστασης πρόωσης.



Διάγραμμα 5.2: Έξοδα Ναυλωτή

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εξόδων είναι τα ημερήσια ναύλα και το μικρότερο είναι τα λιπαντικά έλαια.

4.4.4 Έσοδα για τον Πλοιοκτήτη και το Ναυλωτή

Τα έσοδα του Πλοιοκτήτη αποτελούνται αποκλειστικά από τα ναύλα που καταβάλλονται από τη μεριά του Ναυλωτή. Στην περίπτωση του βραχυπρόθεσμου συμβολαίου τα ναύλα για τα πλοία με Ηλεκτρική Πρόωση προκύπτουν από το μέσο όρο των ναύλων που καταβάλλονται για τα πλοία αυτά τα τελευταία 12 χρόνια. Για τα πλοία με ME-GI εγκατάσταση, με τα στοιχεία που υπάρχουν αυτή τη στιγμή διαθέσιμα, φαίνεται να κινούνται περίπου 20,000 $ την ημέρα παραπάνω από τα αντίστοιχα της Ηλεκτρικής Πρόωσης. Ακόμα, για τις εγκαταστάσεις τύπου X-DF φαίνεται πως κινούνται στα ίδια επίπεδα με αυτά των ME-GI. Για το μακροπρόθεσμο συμβόλαιο γίνεται μία αντίστοιχη παραδοχή και η σύνοψή τους φαίνεται στον επόμενο πίνακα:

Daily Revenues ($)		
Type of Propulsion	**Spot**	**Time Charter**
TFDE (US/Day)	79,785.19	69,785.19
ME-GI (US/Day)	99,785.19	89,785.19
X-DF (US/Day)	99,785.19	89,785.19
Yearly Revenues (Mil USD)		
Type of Propulsion	**Spot**	**Time Charter**
TFDE (US/Day)	29.12	25.47
ME-GI (US/Day)	36.42	32.77
X-DF (US/Day)	36.42	32.77

Πίνακας 5.12: Ημερήσια και Ετήσια Ναύλα και για τους δύο τύπους συμβολαίων

Τα έσοδα για το Ναυλωτή υπολογίζονται από τον όγκο του φορτίου που πωλείται, την τιμή του LNG, που εξαρτάται από τη χώρα εισαγωγής, και τον αριθμό των ταξιδιών που πραγματοποιούνται ανά χρόνο, μιας και οι αποστάσεις που διανύει το πλοίο είναι διαφορετικές, ανάλογα με τον τύπο του συμβολαίου. Για να γίνει ο υπολογισμός του φορτίου που πωλείται, πρέπει να βρεθεί το φορτίο που απομένει στο τέλος του ταξιδιού και για να γίνει αυτό πρέπει να συνυπολογιστεί ο ρυθμός αεριοποίησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου εντός των δεξαμενών (Boil-Off Gas) κατά τις διάφορες φάσεις του ταξιδιού, το αέριο που επανυγροποιείται, αυτό που καταναλώνεται από τις μηχανές και τέλος η ποσότητα που παραμένει μέσα στις δεξαμενές μετά την εκφόρτωση για να διατηρηθεί η θερμοκρασία των δεξαμενών και να χρησιμοποιηθεί για καύσιμο στο κομμάτι του ταξιδιού που το πλοίο πηγαίνει για φόρτωση. Στη συνέχεια φαίνονται το ποσοστό του αερίου που αεριοποιείται σε κάθε φάση του ταξιδιού:

Boil-off Gas Rates	
Boil-off rate in loaded condition (% per day - only methane considered)	0.108
Boil-off rate in ballast condition (% per day - only methane considered)	0.06
Boil-off rate during Maneuvering (% per day - only methane considered)	0.10
Boil-off rate during Loading (% per day - only methane considered)	0.08
Boil-off rate during Unloading (% per day - only methane considered)	0
Boil-off rate during other modes (bunkering etc.) (% per day - only methane considered)	0.10
Average density of liquid BOG (methane) (kg/m^3)	465
LHV of BOG (Methane) (kj/kg)	50000

Πίνακας 5.13: Ρυθμός αεριοποίησης του Φυσικού Αερίου.

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται τα έσοδα του Ναυλωτή, όπως προκύπτουν μετά τους υπολογισμούς:

Income for Spot Chartering Contract

Vessel's Propulsion	BOG Laden (tons/trip)	BOG Ballast (tons/trip)	BOG Maneuvering (tons/trip)	BOG Loading (tons/trip)	Consumption/ GCU (tons/trip)	Reliquification (tons/trip)	Minimum Cargo for Ballast Trip (tons)	LNG Discharged (tons)	LNG Sale Price	Profit (Mil. USD)
TFDE	940.73	679.42	16.66	99.95	1,853.70	0	1,627.5	77,491.2	6.0	301.2
MEGI	940.73	679.42	16.66	99.95	1,494.97	241.79	1,627.5	77,741.5	6.0	302.6
X-DF	940.73	679.42	16.66	99.95	1,600.20	136.56	1,627.5	77,668.5	6.0	302.2
Income for Time Chartering Contract										
Vessel's Propulsion	BOG Laden (tons/trip)	BOG Ballast (tons/trip)	BOG Maneuvering (tons/trip)	BOG Loading (tons/trip)	Consumption/ GCU (tons/trip)	Reliquification (tons/trip)	Minimum Cargo for Ballast Trip (tons)	LNG Discharged (tons)	LNG Sale Price	Profit (Mil. USD)
TFDE	940.73	679.42	16.66	99.95	1,853.70	0	1,627.5	77,491.2	12.00	790.4
MEGI	940.73	679.42	16.66	99.95	1,494.97	241.79	1,627.5	77,741.5	12.0	792.9
X-DF	940.73	679.42	16.66	99.95	1,600.20	136.56	1,627.5	77,668.5	12.0	792.2

Πίνακας 5.14: Έσοδα Ναυλωτή και για τους δύο τύπους συμβολαίου.

4.4.5 Καθαρα Παρουσα Αξια για τον Πλοιοκτητη

Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για την Καθαρά Παρούσα Αξία του Πλοιοκτήτη, πρέπει να αναλυθεί μία ακόμα ποσότητα, αυτή της Υπολειμματικής Αξίας ή Salvage Value. Στην παρούσα εργασία, η Υπολειμματική Αξία υπολογίζεται από το γινόμενο της παρούσας scrap τιμής ανά τόνο και του lightship του πλοίου. Η εξίσωση φαίνεται και στη συνέχεια:

$$SV_{n_{max}} = lightweight \times I$$

Όπου $SV_{n_{max}}$: Υπολειμματική αξία όταν δίνεται το πλοίο για scrap, n: η χρονική περίοδος λειτουργίας ανά έτη και I: η τιμή για scrap σε $/τόνο. Η ετήσια απόσβεση υπολογίζεται από τη σχέση:

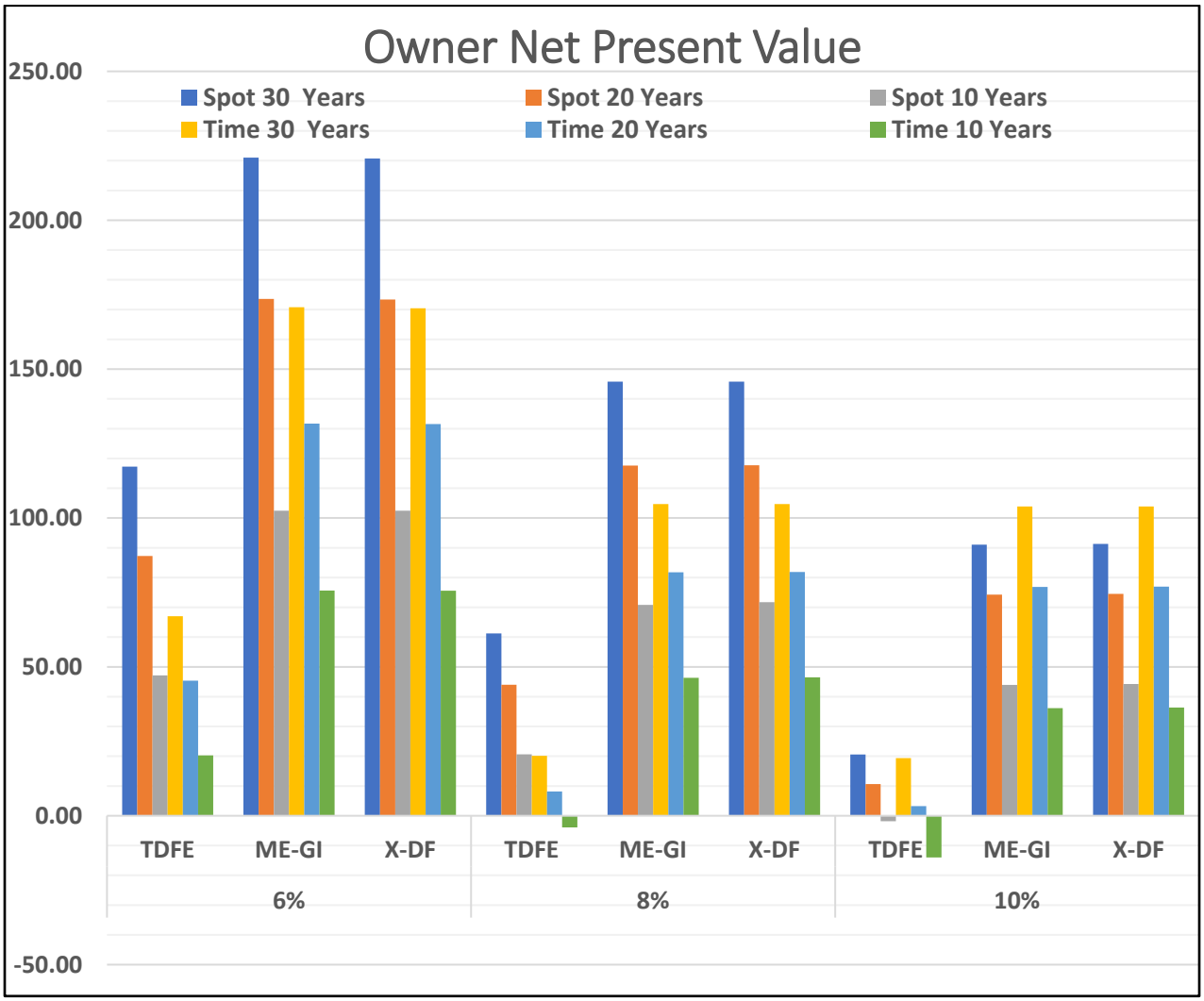
$$D_n = \left(\frac{CAPEX - SV_{n_{max}}}{n_{max}}\right)$$

Όπου D_n: η ετήσια απόσβεση και $CAPEX$: το αρχικό κεφάλαιο. Για να υπολογιστεί η Υπολειμματική Αξία για κάθε χρόνο ζωής του πλοίου, χρησιμοποιείται ο επόμενη σχέση:

$$SV_n = CAPEX - n \times D_n$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει και η προσδοκώμενη αξία μεταπώλησης του πλοίου που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξετάζονται και οι δύο τύποι συμβολαίων. Ακόμα, θεωρούνται τρεις διαφορετικοί περίοδοι λειτουργίας του πλοίου, 10, 20 και 30 χρόνια, με το πλοίο να πωλείται μετά τα 30 χρόνια για scrap, ενώ μετά τα 10 και τα 20 χρόνια για μεταχειρισμένο. Τέλος, επιλέγονται τρία διαφορετικά επιτόκια αγοράς για την ανάλυση, 6,8 και 10%, για να ερευνηθούν οι επιπτώσεις της παραμέτρου αυτής στην Παρούσα Αξία. Τα αποτελέσματα, συγκεντρωτικά και για τους τρεις τύπους πρόωσης, εμφανίζονται στο επόμενο διάγραμμα:

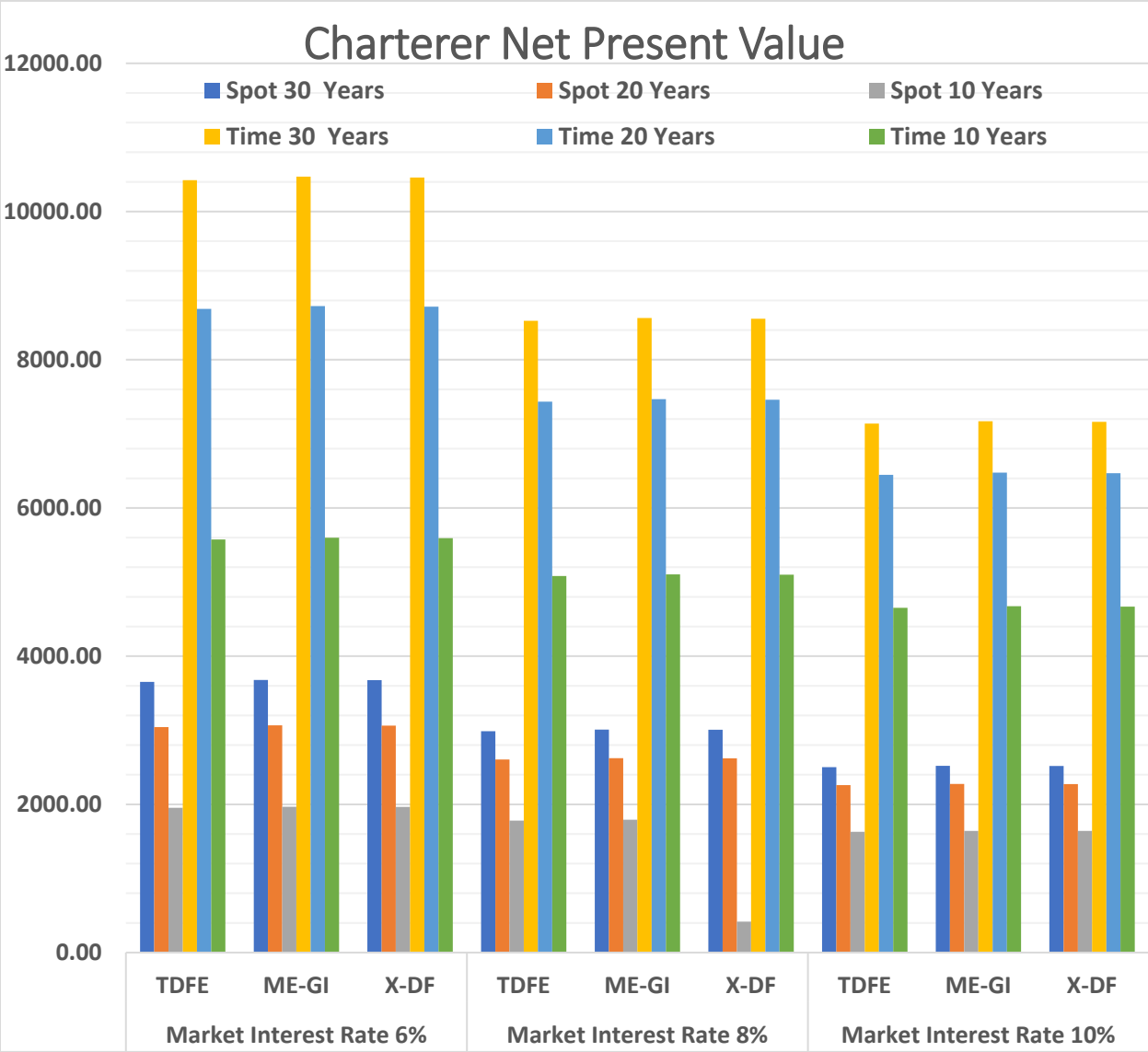


Διάγραμμα 5.3: Καθαρά Παρούσα Αξία για τον Πλοιοκτήτη.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι για τις δίχρονες μηχανές ME-GI και X-DF η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των TFDE, ανεξαρτήτως συμβολαίου ή επιτοκίου της αγοράς. Από τις δύο δίχρονες εγκαταστάσεις, φαίνεται ότι οι μηχανές Υψηλής Πίεσης τύπου ME-GI οριακά υψηλότερη Παρούσα Αξία, αν και οι τιμές τους είναι σχεδόν πανομοιότυπες. Η διαφορά αυτή ανάμεσα στις δίχρονες μηχανές και στην ηλεκτρική πρόωση οφείλεται κυρίως στη μεγάλη διαφορά του ναύλου, άρα στα έσοδα, αλλά και δευτερευόντως στα μικρότερα λειτουργικά έξοδα που έχουν οι δίχρονες μηχανές. Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο είναι ότι, για το μακροπρόθεσμο συμβόλαιο, επιτόκιο αγοράς 6 και 8% και περίοδο λειτουργίας 10 χρόνια, το αποτέλεσμα της Καθαρά Παρούσας Αξίας είναι αρνητικό. Αυτό σημαίνει ότι τα έσοδα του πλοίου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δεν επαρκούν για να καλύψουν τα έξοδά του, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ταμειακές εκροές, σενάριο το οποίο πρέπει να αποφευχθεί κατά το δυνατόν από τη διαχειρίστρια εταιρία. Τέλος, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι ταμειακές εισροές είναι μεγαλύτερες, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια λειτουργίας του πλοίου και δεν πωλείται ως μεταχειρισμένο.

4.4.6 Καθαρα Παρουσα Αξια για τον Ναυλωτη

Στην περίπτωση του Ναυλωτή θεωρούνται δύο και εδώ δύο διαφορετικοί τύποι συμβολαίου, ένα βραχυπρόθεσμο και ένα μακροπρόθεσμο, καθώς και τα ίδια επιτόκια της αγοράς και περίοδοι ναύλωσης του πλοίου. Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί είναι ως Ναυλωτής θεωρείται εταιρεία παραγωγής φυσικού αερίου και τα έξοδα εξόρυξης δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση. Αυτό διότι, για τη μεριά του ναυλωτή, σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει μία οικονομική εκτίμηση της ανταγωνιστικότητας της κάθε εγκατάστασης και όχι οικονομική μελέτη της ναύλωσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 5.4: Καθαρά Παρούσα Αξία για το Ναυλωτή.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι για το μακροπρόθεσμο συμβόλαιο η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του βραχυπρόθεσμου συμβολαίου, παρόλο που τα ναύλα που

καταβάλλονται στον Πλοιοκτήτη είναι αρκετά περισσότερα. Σε αυτό συμβάλλουν δύο παράγοντες: α) η τιμή πώλησης του καυσίμου στην χώρα εισαγωγής και β) τα ταξίδια που κάνει το πλοίο εντός ενός έτους, που είναι περισσότερα κατά τέσσερα, άρα παραδίδονται και περισσότερα φορτία, σε σχέση με το βραχυπρόθεσμο συμβόλαιο. Ένα άλλο στοιχείο είναι ότι η ME-GI μηχανές έχουν υψηλότερη Καθαρά Παρούσα Αξία, καθώς έχουν μεγαλύτερη απόδοση, άρα μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Σχεδόν ίση Καθαρά Παρούσα Αξία έχουν και οι δίχρονες μηχανές τύπου X-DF. Οι ταμειακές εισροές μειώνονται όσο μεγαλώνει το επιτόκιο της αγοράς για όλες τις περιπτώσεις. Μία σημαντική διαφορά σε σχέση με την ανάλυση για τον Πλοιοκτήτη είναι ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα της ναύλωσης, τόσο μικρότερο είναι το κέρδος, σε σχέση με μικρότερης διάρκειας συμβόλαια με αντίστοιχη χρονική διάρκεια. Έτσι, ένα συμβόλαιο 30 ετών έχει μικρότερη Καθαρά Παρούσα Αξία σε σχέση με τρία συμβόλαια 10 ετών.

4.4.7 Required Freight Rate (RFR) και Internal Rate of Return (IRR)

Μία σημαντική παράμετρος που καθορίζει την ανταγωνιστικότητα της κάθε εγκατάστασης πρόωσης είναι ο RFR. Η τιμή της παραμέτρου για κάθε μία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις δείχνει το ύψος του απαιτούμενου ναύλου, ώστε η σχέση της Καθαρά Παρούσας Αξίας να ισούται με το μηδέν. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται γνωστό το ελάχιστο ύψος ναύλου που μπορεί να απαιτηθεί ώστε το ισοζύγιο ταμειακών εισροών και εκροών να είναι μηδενικό στο τέλος της περιόδου λειτουργίας του πλοίου και δίνει στην πλοιοκτήτρια εταιρία ένα διαπραγματευτικό χαρτί σε σχέση με τον Ναυλωτή και τις υπόλοιπες πλοιοκτήτριες εταιρίες του κλάδου. Η παρακάτω ισότητα θα πρέπει να πληρείται, με το εισόδημα να είναι η μεταβλητή:

$$\sum_{1}^{n} \frac{Inc_n - Exp_n}{(1+i)^n} - CAPEX + \left(\frac{SV_n}{(1+i)^n}\right) = 0$$

Ακόμα, η παράμετρος IRR αναλύεται, ώστε να ερευνηθεί η ευαισθησία της επένδυσης στις αλλαγές της αγοράς. Για να βρεθεί ο IRR για κάθε περίπτωση, η παραπάνω σχέση ισούται με το μηδέν, με το επιτόκιο της αγοράς να είναι η μεταβλητή της εξίσωσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω παραμέτρων:

RFR									
30 Years of Operation			20 Years of Operation			10 Years of Operation			
TFDE	MEGI	X-DF	TFDE	MEGI	X-DF	TFDE	MEGI	X-DF	
56,445.00	55,796.00	55,858.00	58,950.00	58,327.00	58,367.00	62,229.00	61,640.00	61,653.00	i=6%
64,882.00	64,310.00	64,311.00	67,510.00	66,964.00	66,942.00	71,373.00	70,867.00	70,814.00	i=8%
73,810.00	73,320.00	73,254.00	76,354.00	75,890.00	75,804.00	80,600.00	80,180.00	80,055.00	i=10%
IRR									
30 Years of Operation			20 Years of Operation			10 Years of Operation			
TFDE	MEGI	X-DF	TFDE	MEGI	X-DF	TFDE	MEGI	X-DF	
11.2925%	15.5085%	15.5615%	10.7608%	15.1185%	15.1729%	9.8248%	14.1565%	14.2125%	

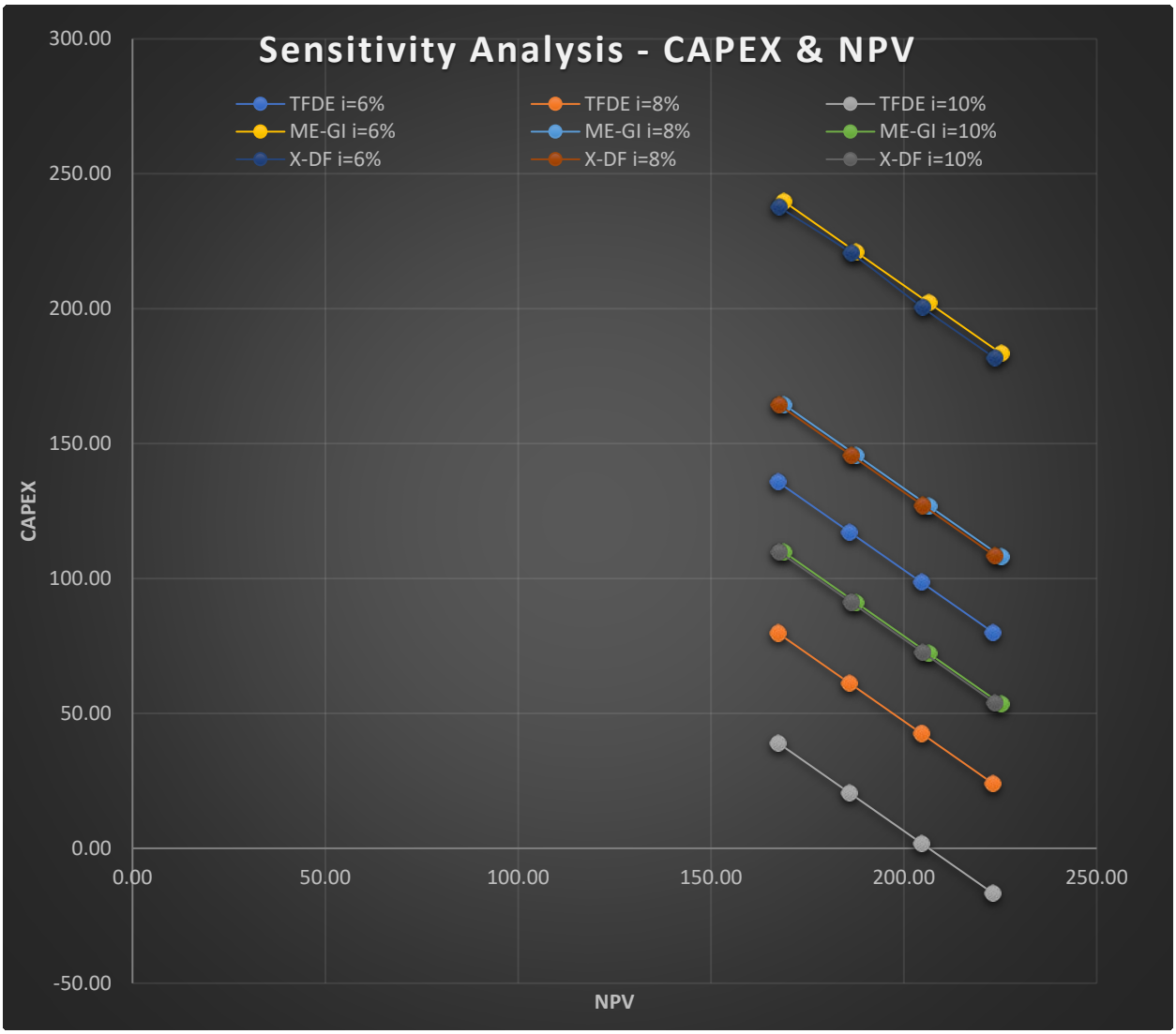
Πίνακας 5.15: RFR και IRR.

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, τις μεγαλύτερες τιμές RFR σε κάθε περίπτωση τις έχει η Ηλεκτρική Πρόωση, ενώ τις μικρότερες, ακόμα και με ελάχιστη διαφορά, τις έχει η X-DF εγκατάσταση. Συμπερασματικά, οι X-DF έχουν μεγαλύτερο περιθώριο διαπραγμάτευσης του ναύλου, σε σχέση με τις άλλες δύο εγκαταστάσεις. Τέλος, στην περίπτωση του IRR, εμφανίζεται το ίδιο μοτίβο, που σημαίνει ότι οι X-DF εγκαταστάσεις έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις αλλαγές της αγοράς, αν και ξανά με ελάχιστη διαφορά από τις ME-GI.

4.4.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

- **<u>Αλλαγή του Αρχικού Κόστους Κεφαλαίου</u>**

Η ανάλυση ευαισθησίας έχει ως στόχο να ερευνηθούν ποιες παράμετροι της Καθαρά Παρούσας Αξίας επηρεάζουν την τελική τιμή για κάθε περίπτωση και πόσο. Το πρώτο σενάριο που εξετάζεται είναι η αλλαγή του αρχικού κόστους κεφαλαίου και τα αποτελέσματα που παράγει στα πλοία με κάθε μία από τις εγκαταστάσεις πρόωσης που έχουν επιλεγεί. Τα διαφορετικά ύψη του αρχικού κεφαλαίου που θεωρούνται ανέρχονται στο 90, 100, 110 και 120% του αρχικού κόστους κεφαλαίου που υπολογίστηκε προηγουμένως. Το επιτόκιο της αγοράς θεωρείται και εδώ 6,8 και 10%, ενώ η περίοδος λειτουργίας που εξετάζεται είναι τα 30 χρόνια. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω συγκεντρωτικό διάγραμμα:



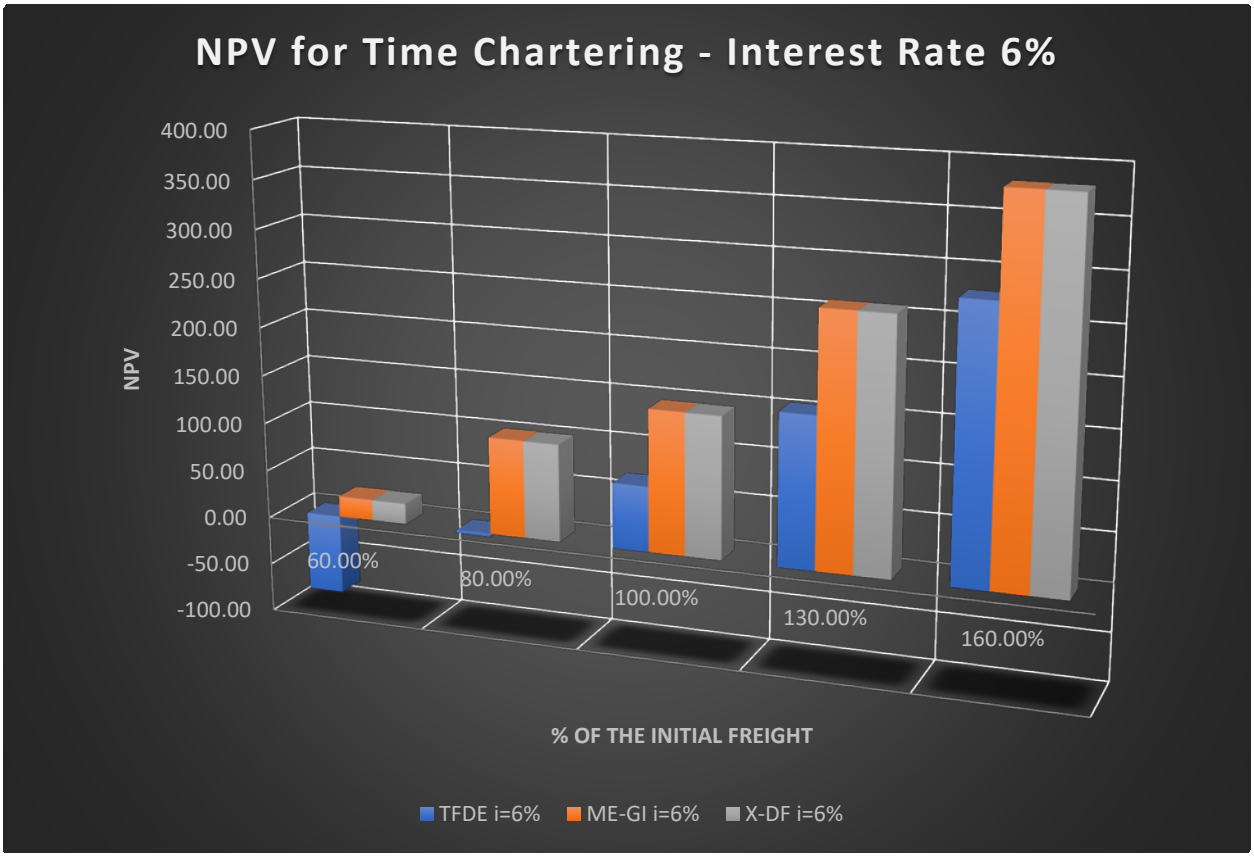
Διάγραμμα 5.5: Ανάλυση Ευαισθησίας για διαφορετικές περιπτώσεις Αρχικού Κόστους Κεφαλαίου.

Το πρώτο άμεσο συμπέρασμα από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι, όσο αυξάνεται το αρχικό κόστος κεφαλαίου, τόσο μικρότερη είναι τιμή της Καθαρά Παρούσας Αξίας, για δεδομένο ημερήσιο ναύλο. Η τιμή της Καθαρά Παρούσας Αξίας για τα πλοία με TFDE πρόωση είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των δίχρονων μηχανών σε όλα τα διαφορετικά επιτόκια της αγοράς, μιας και το ημερήσιο ναύλο είναι μεγαλύτερο. Ακόμα, η τιμή για τις ME-GI μηχανές είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο. Τέλος, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, για αύξηση του κεφαλαιακού κόστους ίση ή μεγαλύτερη του 110% του αρχικού κεφαλαίου, η Καθαρά Παρούσα Αξία για τα TFDE γίνεται αρνητική, που σημαίνει ότι, με δεδομένο ναύλο, τα έσοδα δεν αρκούν για να καλύψουν τα έξοδα, άρα αλλάζει το οικονομικό προφίλ του πλοίου, ώστε να αποφευχθούν ζημιές.

- **<u>Αλλαγή του Ημερήσιου Ναύλου για το Μακροπρόθεσμο Συμβόλαιο</u>**

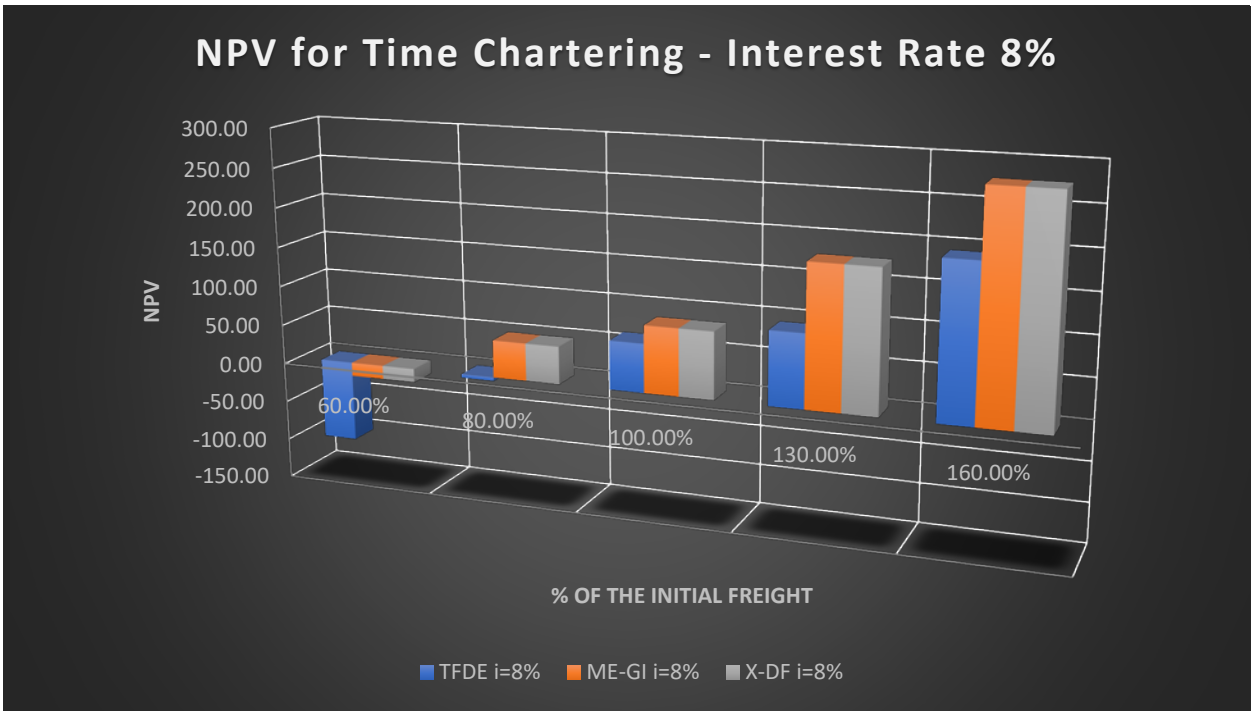
Προηγουμένως μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της αλλαγής του κεφαλαιακού κόστους στην ανάλυση της Καθαρά Παρούσας Αξίας για διάφορα σενάρια επιτοκίου της αγοράς για το μακροπρόθεσμο συμβόλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο μελετώνται οι επιπτώσεις της αλλαγής των

εσόδων στην τιμή της Παρούσας Αξίας. Για να γίνει αυτό θεωρούνται πέντε σενάρια ναύλου για το μακροπρόθεσμο συμβόλαιο: α) ναύλο ύψους 60% σε σχέση με το αρχικό που περιεγράφηκε προηγουμένως, β) ναύλο ίσο με το 80% σε σχέση με το αρχικό, γ) ίσο με το αρχικό, δ) 130% σε σχέση με το αρχικό και ε) 160% σε σχέση με το αρχικό. Η ανάλυση γίνεται και για τις τρεις εγκαταστάσεις πρόωσης. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ανάλυση της Παρούσας Αξίας για επιτόκιο της αγοράς ίσο με 6%:



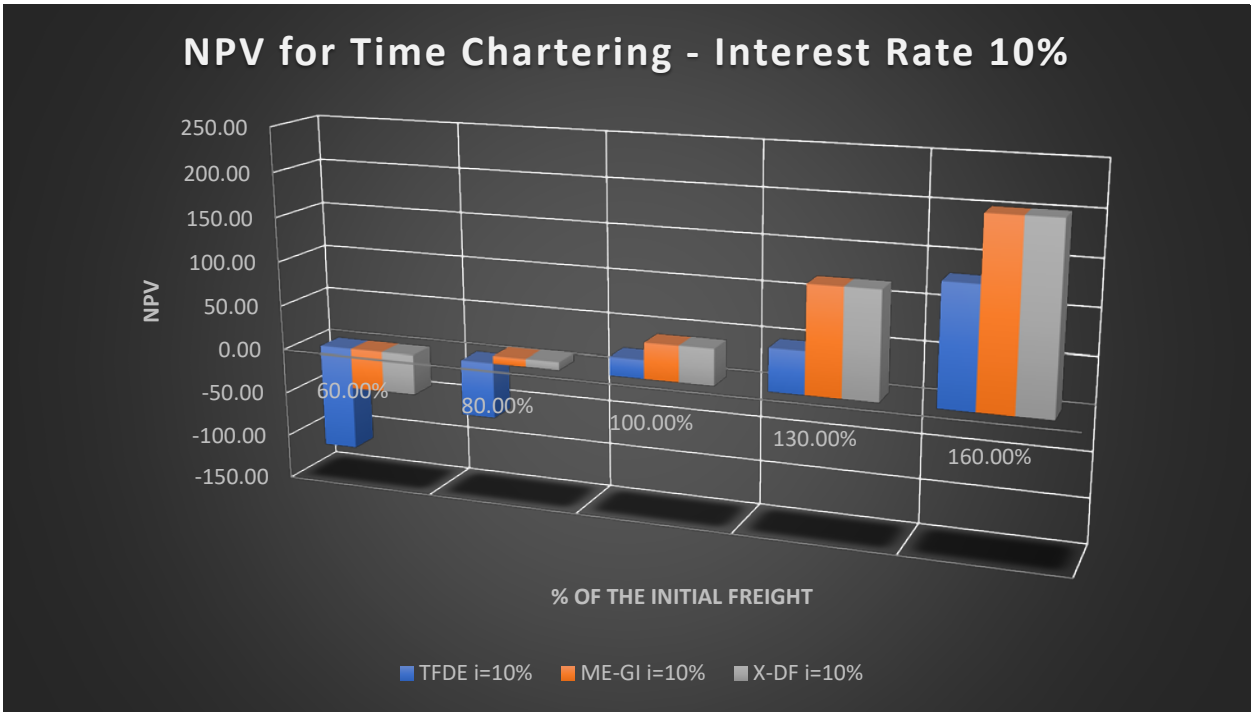
Διάγραμμα 5.6: Ανάλυση Ευαισθησίας για Μακροπρόθεσμο συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 6%

Στο επόμενο διάγραμμα, γίνεται η αντίστοιχη παρουσίαση των αποτελεσμάτων για επιτόκιο αγοράς ίσο με 8%:



Διάγραμμα 5.7: Ανάλυση Ευαισθησίας για Μακροπρόθεσμο συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 8%

Τέλος, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για επιτόκιο αγοράς 10%:



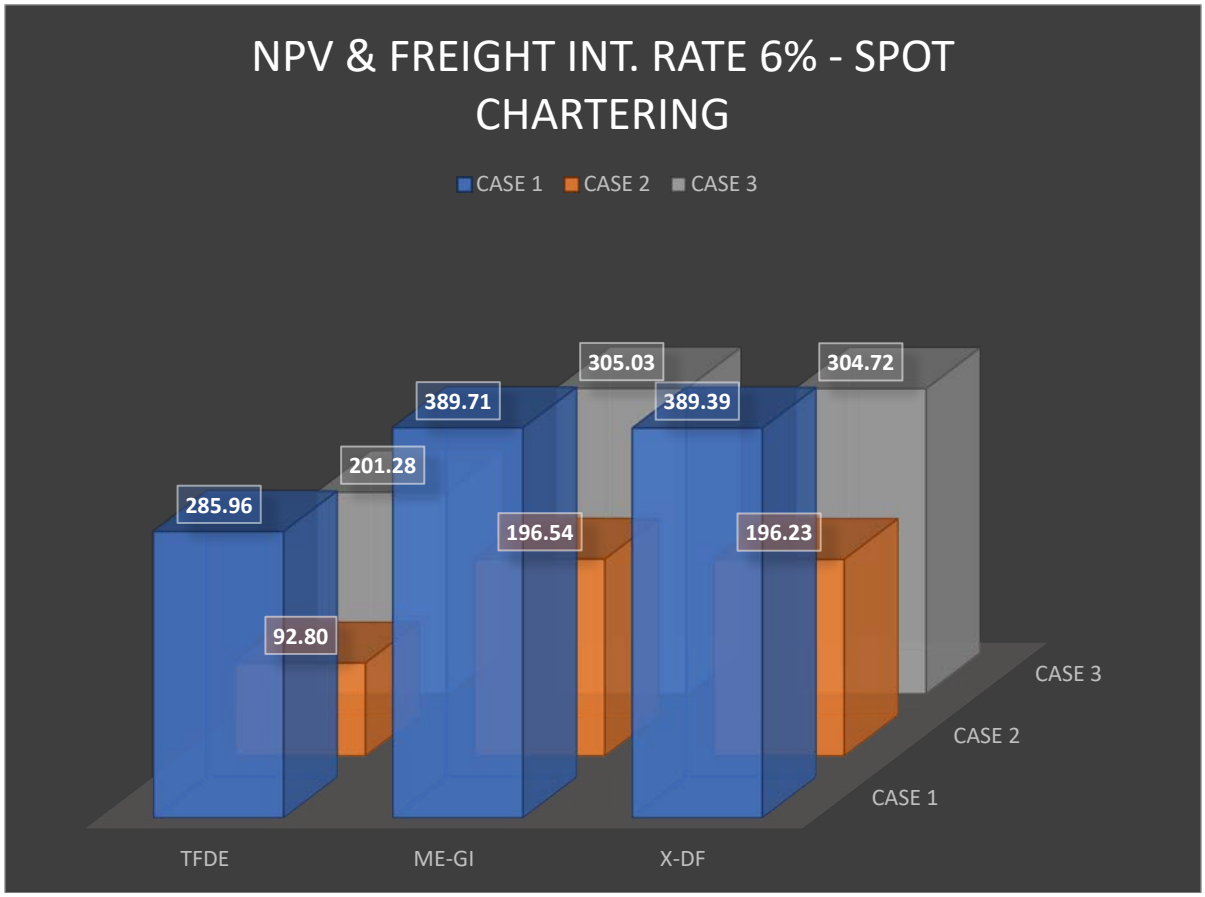
Διάγραμμα 5.8: Ανάλυση Ευαισθησίας για Μακροπρόθεσμο συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 10%

Πρώτο συμπέρασμα που μπορεί εύκολα να εξαχθεί από τα παραπάνω διαγράμματα είναι ότι, όσο περισσότερο αυξάνεται το ημερήσιο ναύλο, τόσο περισσότερο αυξάνεται η Καθαρά Παρούσα Αξία και το αντίθετο. Επίσης, τα πλοία με εγκατάσταση πρόωσης τύπου TFDE έχουν τη μικρότερη

Παρούσα Αξία, σε σχέση με τις άλλες δύο εγκαταστάσεις, λόγω διαφοράς στο ύψος των καταβαλλόμενων ναύλων και των ετήσιων εξόδων τους. Η διαφορά ανάμεσα στις δίχρονες μηχανές είναι πολύ μικρή, με τις ME-GI να είναι οριακά υψηλότερα. Ακόμα, σε όλες τις περιπτώσεις, όταν το θεωρούμενο ναύλο είναι 60%, η Παρούσα Αξία για πλοία με TFDE μηχανές είναι αρνητική, ενώ το ίδιο ισχύει για τις δίχρονες, στην περίπτωση του 10% επιτοκίου αγοράς. Η Παρούσα Αξία για τις TFDE είναι αρνητική και για την περίπτωση που το ναύλο είναι το 80% του αρχικού και το επιτόκιο της αγοράς είναι 10%. Τέλος, από την ανάλυση ευαισθησίας φαίνεται ότι επιβεβαιώνεται και η ανάλυση για τον RFR, που αναλύθηκε προηγουμένως.

- **<u>Αλλαγή του Ημερήσιου Ναύλου για Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο</u>**

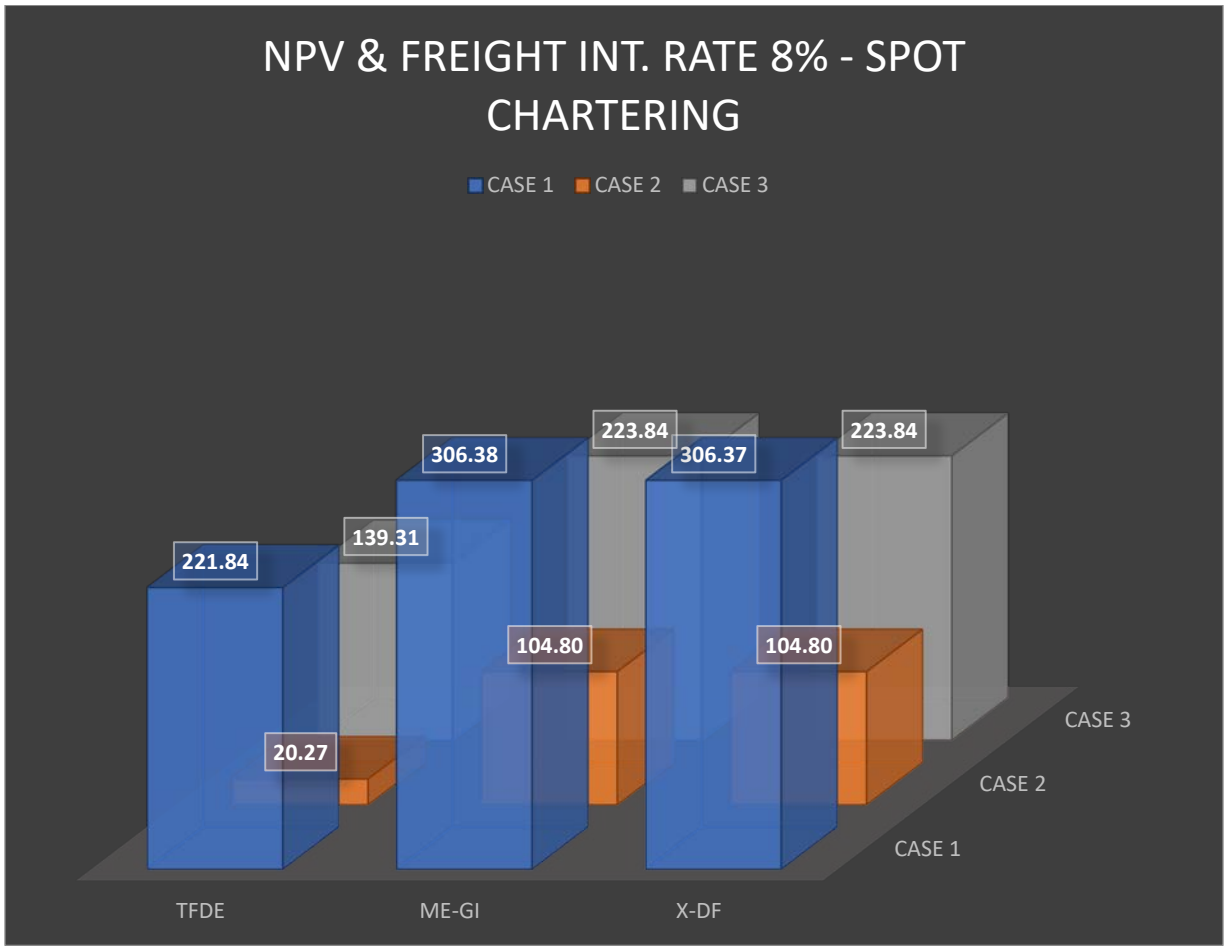
Η Ανάλυση Ευαισθησίας με θεωρούμενη αλλαγή του Ημερήσιου Ναύλου για Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο είναι πιο περίπλοκη από τις άλλες δύο περιπτώσεις που θεωρήθηκαν παραπάνω. Εδώ, ανά δύο χρόνια θεωρείται και διαφορετικό ημερήσιο ναύλο, άρα στο χρονικό διάστημα των 30 ετών, θεωρούνται 15 διαφορετικά ναύλα. Το εύρος των ναύλων είναι από 40% μικρότερο του αρχικού, έως 130% μεγαλύτερο του αρχικού. Θεωρούνται και σε αυτή την περίπτωση τρία διαφορετικά επιτόκια της αγοράς, 6,8 και 10%.



Διάγραμμα 5.9: Καθαρά Παρούσα Αξία για διαφορετικά ναύλα σε Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 6%

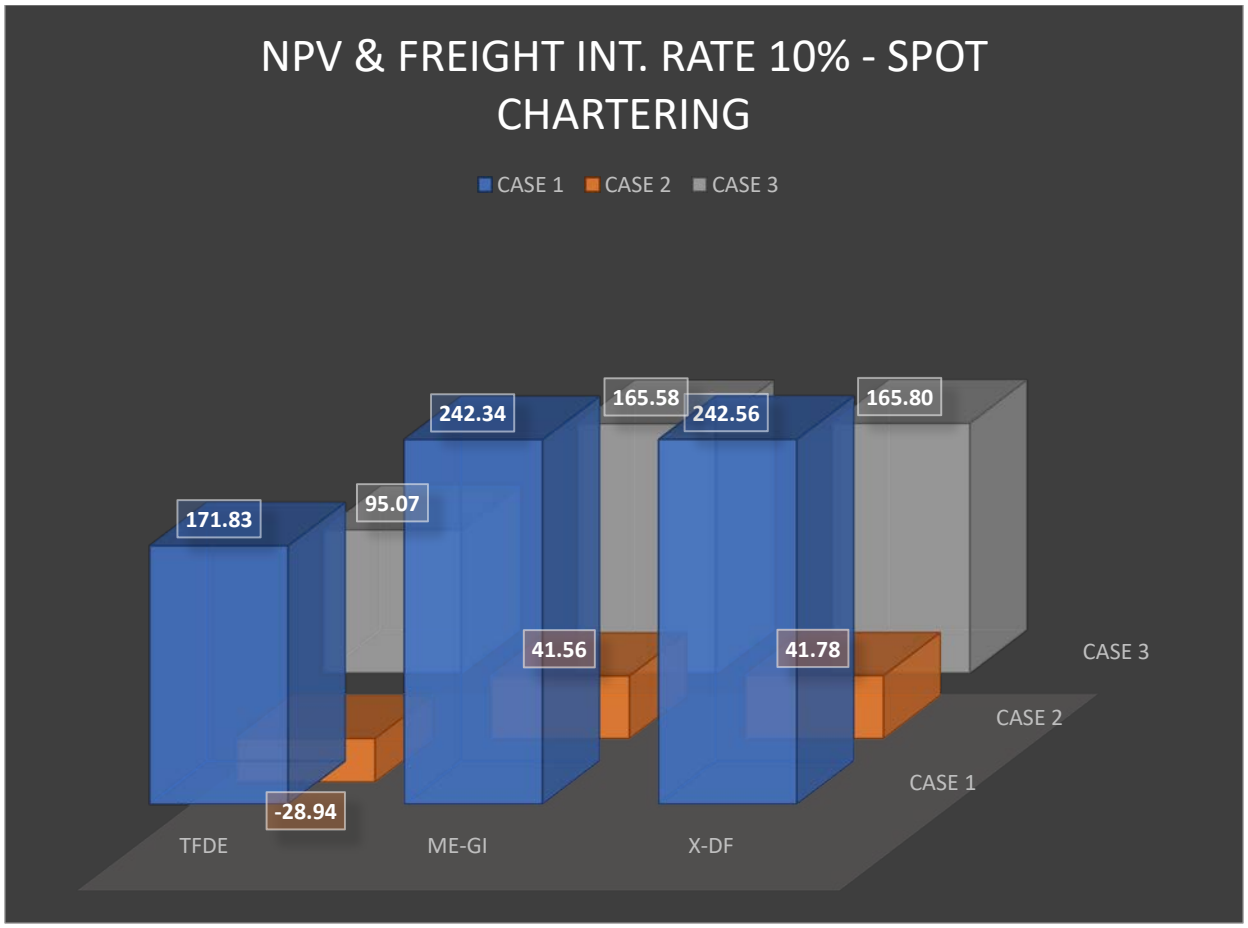
Μία σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις Ανάλυσης Ευαισθησίας είναι ότι εδώ θεωρούνται τρία ακόμα σενάρια που σχετίζονται με το έτος λειτουργίας που αντιστοιχεί το κάθε ναύλο. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση (Case 1 στο Διάγραμμα) τα μεγαλύτερα ναύλα αποδίδονται στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου, στη δεύτερη περίπτωση (Case 2 στο

Διάγραμμα) τα μικρότερα ναύλα αποδίδονται στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου και στην τρίτη περίπτωση (Case 3 στο Διάγραμμα) η απόδοση είναι τυχαία. Με τον τρόπο αυτό, επιδιώκεται να αποδειχθεί ότι η Καθαρά Παρούσα Αξία δεν επηρεάζεται μόνο από το ύψος των ναύλων, αλλά και από τον χρόνο απόδοσης του ναύλου στον Πλοιοκτήτη. Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιτόκιο αγοράς 6%. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ίδιας ανάλυσης, αλλά για επιτόκιο αγοράς 8%:



Διάγραμμα 5.10: Καθαρά Παρούσα Αξία για διαφορετικά ναύλα σε Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 6%

Τέλος, στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιτόκιο αγοράς ίσο με 10%.



Διάγραμμα 5.11: Καθαρά Παρούσα Αξία για διαφορετικά ναύλα σε Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο και επιτόκιο αγοράς 6%

Όπως φαίνεται από τα όλα τα προηγούμενα διαγράμματα, στην πρώτη περίπτωση που τα μεγάλα ναύλα αποδίδονται τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου, η Καθαρά Παρούσα Αξία είναι πολύ μεγαλύτερη από τη δεύτερη περίπτωση, που τα υψηλά ναύλα αποδίδονται τα τελευταία χρόνια της λειτουργίας του πλοίου για όλες τις διαφορετικές εγκαταστάσεις πρόωσης και επιτόκια της αγοράς. Ακόμα, στην περίπτωση που το επιτόκιο της αγοράς είναι 10%, τα πλοία με TFDE εγκατάσταση, εμφανίζουν αρνητική Καθαρά Παρούσα Αξία στο δεύτερο σενάριο απόδοσης ναύλων που θεωρήθηκε. Αντίθετα, οι δίχρονες μηχανές δεν εμφανίζουν σε καμία περίπτωση αρνητική Παρούσα Αξία. Επίσης, όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση που εξετάστηκε στην εργασία, όσο μεγαλώνει το επιτόκιο της αγοράς, όσο μικραίνει η τιμή της Παρούσας Αξίας για όλες τις διαφορετικές περιπτώσεις πρόωσης. Σα γενικό συμπέρασμα της Ανάλυσης Ευαισθησίας για το Βραχυπρόθεσμο Συμβόλαιο είναι ότι πρέπει η διαχειρίστρια εταιρία να επιδιώξει το μέγιστο δυνατό ημερήσιο ναύλο κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του πλοίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή και λειτουργία ενός αποδοτικού πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ωφελεί και τη μεριά του πλοιοκτήτη, και τη μεριά του ναυλωτή. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος πρόωσης, και ειδικά των κύριων μηχανών, είναι σημαντικότατη για τη συνολική απόδοση ενός πλοίου μεταφοράς LNG. Από τα συστήματα που είναι διαθέσιμα αυτή τη στιγμή στην αγορά, τα ευρύτερα διαδεδομένα είναι η Ηλεκτρική Πρόωση που χρησιμοποιεί γεννήτριες διπλού καυσίμου, οι δίχρονες μηχανές υψηλής πίεσης τύπου ME-GI και οι δίχρονες μηχανές χαμηλής πίεσης τύπου X-DF. Αν και η πλειοψηφία των πλοίων που έχουν κατασκευαστεί από το 2010 και μετά χρησιμοποιούν την ηλεκτρική πρόωση, τα δύο άλλα συστήματα μονοπωλούν το ενδιαφέρον της αγοράς αυτή τη στιγμή. Τελικά, η σύγκριση της λειτουργίας των πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου πρέπει να περιλαμβάνει αυτούς τους τρεις τύπους πρόωσης.

Τα οικονομικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία βασίζονται σε παραδοχές σχετικά με το ύψος των καταβαλλόμενων ναύλων, τη σχέση ανάμεσα στην τιμή των υγρών καυσίμων και του φυσικού αερίου, καθώς και του υπολογισμού του κεφαλαιακού κόστους (CAPEX) και του κόστους λειτουργίας (OPEX) του κάθε συστήματος πρόωσης. Από τα εξεταζόμενα σενάρια και τις διαφορετικές περιπτώσεις που αναλύονται στην εργασία, μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα σε σχέση με την ανταγωνιστικότητα του κάθε συστήματος.

Τα συστήματα πρόωσης τύπου ME-GI και X-DF πλεονεκτούν σε σχέση με τις παλαιότερες και λιγότερο αποδοτικές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής πρόωσης τύπου DFDE και αποτελούν και οι δύο ελκυστικές επιλογές για τα σύγχρονα LNG πλοία. Κάνοντας τη σύγκριση ανάμεσα στις προωστήριες εγκαταστάσεις τύπου ME-GI και X-DF, προκύπτει ότι η κάθε μία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, πριν γίνει η τελική επιλογή για κάθε έργο. Η τελική επιλογή της εγκατάστασης πρόωσης θα πρέπει να γίνει ξεχωριστά για κάθε πλοίο και να λαμβάνει υπόψιν παράγοντες όπως το μέγεθος του πλοίου, το προφίλ λειτουργίας (ταχύτητα, μέση απόσταση ταξιδιού, μείγμα καυσίμου, και την τιμή του LNG), το αρχικό κεφαλαιακό κόστος του κάθε συστήματος πρόωσης, το κόστος συντήρησης, καθώς και τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών και καταρτισμένου πληρώματος.

Αναφορικά με το κόστος λειτουργίας, όλες οι εναλλακτικές πρόωσης που αναφέρονται στην εργασία εμφανίζονται ιδιαίτερα βελτιωμένες στον τομέα της οικονομίας καυσίμου, με εξαίρεση την εγκατάσταση ατμοστροβίλου, αν και το κόστος συντήρησης είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τον ατμοστρόβιλο. Οι δίχρονες μηχανές έχουν το μικρότερο κόστος λειτουργίας, με το συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου και ατμοστρόβιλου να ακολουθεί. Οι τετράχρονες μεσόστροφες μηχανές διπλού καυσίμου ακολουθούν, που είναι πιο οικονομικές από τις εγκαταστάσεις ατμοστρόβιλου. Οι εγκαταστάσεις αεριοστρόβιλου έχουν το υψηλότερο κόστος λειτουργίας, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι πρέπει να καταναλώνουν υγρά καύσιμα υψηλής ποιότητας (Marine Gas Oil – MGO), που είναι και αντίστοιχα ακριβά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *"2018 World LNG Report – 27th World Gas Conference Edition*", International Gas Union, 2018
2. *"2017 World LNG Report"*, International Gas Union, 2018
3. *"The LNG Industry – GIIGNL Annual Report 2018"*, GIIGNL, 2018
4. Rogers H: *"The LNG Shipping Forecast: costs rebounding, outlook uncertain"*, The Oxford Institute of Energy Studies, March 2018
5. Songhurst B.: *"The Outlook of Floating Storage and Regasification Unit (FSRUs)"*, The Oxford Institute for Energy Studies, July 2017
6. Kasim A.: *"The Adoption of FSRU For Cost-Effective LNG Import Solution"*, Excelerate Energy L.P., November 2017
7. Hashimoto H.: *"LNG Review March 2018 – Recent Issues and Events"*, LNG Review, May 2018
8. Hatzigrigoris S.: *"Gas Fueled LNG Carriers: Challenges and Opportunities, effect on efficiency and emissions"*, Maran Gas Maritime Inc, September 2014.
9. Hatzigrigoris S., Gilmore R., Spertos A.: *"LNG Carriers: An Update on Technology"*, Maran Gas Maritime Inc., 2014
10. *"Tri-Fuel Diesel Engines"*, Maran Gas Maritime Inc.
11. Andrianou K.: *"Techno-economical Evaluation of Various Energy Systems for LNG Carriers"*, National Technical University of Athens, July 2006.
12. *"MHI UST Plant"*, Mitsubishi Heavy Industries.
13. Ito M., Hiraoka K., Matsumoto S., Tsumura K.: *"Development of High Efficiency Marine Propulsion Plant (Ultra Steam Turbine)"*, Mitsubishi Heavy Industries, September 2007.
14. Bahgat M.W., Salem A.: *"Performance Analysis of Different Propulsion Systems for LNG Carriers"*, Department of Marine Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia, Engineering Upgrading Studies Institute, Arab Academy of Science, Alexandria, Egypt, November 2017.
15. *"Dual Fuel LNGC"*, Wartsila, March 2008.
16. *"Prime Mover Portfolio for LNG Carriers"*, The MAN Diesel, June 2007.
17. *"Economic Evaluation for Modern LNG Carriers Propulsion Concepts"*, MAN Diesel & Turbo, June 2007
18. *"ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines: A Technical, Operational and Cost-Effective Solution for Ships Fueled by Gas"*, MAN Diesel & Turbo.
19. *"51/60 DF Engines. The New Prime Mover for LNG Carriers"*, MAN Diesel & Turbo, June 2007.
20. Nylund I.: *"Wartsila 2-Stroke Gas Technology – Low Pressure Dual-Fuel"*, Wartsila, November 2013.
21. Melaaen E.: *"Fuel Gas Handling System and BOG Reliquefaction for LNG Carrier"*, Wartsila, November 2013.
22. Ott M.: *"General Safety Aspects of the 2-Stroke DF Engines"*, Wartsila, November 2013.
23. *"WinGD low-pressure dual-fuel solution – the industry standard"*, Winterthur Gas & Diesel, 2015.

24. Wettstein R.: *"Applications & References"*, Winterthur Gas & Diesel, April 2015.
25. Nylund I., Ott M.: *"X-DF set to sail – Technology review"*, Winterthur Gas & Diesel, April 2015.
26. Hatzigrigoris S.: *"An update on LNG propulsion and peripheral systems"*, Maran Gas Maritime Inc., Athens.
27. *"2018 Investor Day New York"*, Gaslog Ltd, April 2018
28. *"The Next Generation of LNG Carriers"*, Flex LNG, June 2017
29. Martinez I.: *"Fuel Properties"*, 1995-2018
30. *"2018 World LNG Report"*, International Gas Union, 2018
31. *"ISO 8217:2010 Fuel Characteristics Definition"*, ExxonMobil Marine Fuels & Lubricants,
32. Hagedorn M.: *"LNG Engines Specifications and Economics"*, Wartsila, October 2014.
33. *"LNG as Ship Fuel The Future – Today"*, DNV-GL, January 2015.
34. *"WIN G&D X72DF Operation Manual 'Marine'"*, Winterthur Gas & Diesel, Switzerland, 2018
35. Παπαριστοδήμου Γ.: *"Ναυτική Ασφάλιση"*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2005.
36. Corkhill M.: *"Scrapping plays minor role in LNGC fleet balancing"*, December 2016, www.lngshipping.com
37. Rutkowski G.: *"Study of New Generation LNG Dual Fuel Marine Propulsion Green Technologies"*, Gdynia Maritime University, Gdynia, Poland, December 2016
38. Battistelli A.: *"Boil Off Gas Handling on LNG Fuelled Vessels with High Pressure Gas Injected Engines"*, Politecnico Milano 1863, Norwegian University of Science and Technology, 2015.
39. Wang B.: *"Technical and Economical Comparison of Propulsion Alternatives for Modern LNG Carriers"*.
40. *"X-DF Engines Excellence Built in - Low Pressure X-DF Engines FAQ"*, Winterthur Gas & Diesel, 2018.