

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ
ΑΕΡΙΟΥ**

Αλεξάνδρα Ντέκα

MN14069

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως
μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην
Ναυτιλία

Πειραιάς

Οκτώβριος 2017

Δήλωση αυθεντικότητας/ Copyright

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Η υπευθύνως δηλούσα

Αλεξάνδρα Ντέκα

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνέστος (Επιβλέπων)
- Βλάχος Γεώργιος
- Σαμιώτης Γεώργιος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Πρόλογος/ Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία γίνεται σύμφωνα με τον κανονισμό σπουδών του Μεταπτυχιακού προγράμματος στην Ναυτιλία του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για τον 14^ο κύκλο σπουδών. Το αντικείμενο της αφορά την τεχνολογική εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ο λόγος εκπόνησης του συγκεκριμένου θέματος είναι η ανάδειξη των τεχνολογικών στοιχείων των πλοίων αυτών καθώς και η εξέλιξη τους τα τελευταία χρόνια.

Τις πρώτες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην οικογένεια μου, στους γονείς μου και στην αδερφή μου που με στήριζαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Η συμβολή τους ήταν πολύ σημαντική για μένα καθώς η συμπαράστασή τους σε κάθε πιθανή δυσκολία αποτέλεσε καθοριστικό στοιχείο για την περάτωση των σπουδών μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Δημήτρη Δρόσο που με στήριξε εξίσου σημαντικά στην επίτευξη αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τους καθηγητές κο. Βλάχο Γεώργιο και κο. Σαμιώτη Γεώργιο. Η παρουσία τους και συνεργασία τους ήταν σημαντική καθώς βρίσκονταν στο πλευρό μου σε ό,τι χρειαζόμουν για την επίτευξη του τελικού στόχου της έρευνας.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην καθηγητή μου που με βοήθησε στην ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας, τον επιβλέπων καθηγητή αυτής της έρευνας και μέλος της εξεταστικής επιτροπής, κο Τζαννάτο Ερνεστοσπυρίδων. Μου προσέφερε την σημαντικότερη και ουσιαστικότερη συμμετοχή αφού η βοήθεια και οι παρατηρήσεις της ήταν πάντα εύστοχες και καίριες με σκοπό την διευκόλυνση της διαδικασίας και της υλοποίησής της. Τέλος ήταν πάντα στην διάθεση μου για όποια απορία και ερώτημα μου παρουσιαζόταν.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει την τεχνολογική εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου για το διάστημα 1969-2016. Το ερέθισμα για την εκπόνηση του συγκεκριμένου θέματος είχε να κάνει με το πόσο εξελίχθηκαν τεχνολογικά τα πλοία LNG μέσα στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Με τον όρο τεχνολογικά εννοούμε την εξέλιξη τους σχετικά με τα συστήματα πρόωσης τους και τους τύπους των δεξαμενών τους. Επίσης θα γίνει αναφορά για την προσφορά και ζήτηση του φυσικού αερίου σήμερα. Στόχος λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι μέσα από πολλά διαφορετικά διαγράμματα να αναδειχθεί η εξέλιξη στα παραπάνω σημεία που αναφέραμε τα οποία και θα αναλυθούν και να βγουν σημαντικά συμπεράσματα για τους λόγους που πλέον τα πλοία αυτά έχουν αλλάξει καθώς και το μέλλον τους τα επόμενα χρόνια.

Abstract

This specific project presents the technological development of liquefied natural gas transport vessels for the period 1969-2016. The stimulus for the elaboration of this issue was about the technological evolution of LNG vessels in the above mentioned period. The word ‘‘Technologically’’, refers to their evolution about their propulsion systems and the types of their tanks. Also, reference will be made to supply and demand for gas today. The aim of this study is, through many different diagrams, to highlight the evolution of the above mentioned points, which will be analyzed and made important conclusions about the reasons these ships have changed and their future in the next years.

Keywords

LNG(liquefied natural gas) , τεχνολογική εξέλιξη , propulsion systems,
tanks

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυσικό αέριο ως πηγή ενέργειας είναι άκρως φιλική στο περιβάλλον και καθόλου τοξική. Θεωρείται η πιο απλή μορφή ενέργειας και η μεταφορά του γίνεται διεθνώς μέσω διάφορων συστημάτων μεταφοράς. Ένας από τους πιο γνωστούς και διαδεδομένους τρόπους μεταφοράς είναι η υγροποίηση και η θαλάσσια μεταφορά του. Σήμερα υπάρχουν εξειδικευμένα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ,με το πρώτο πλοίο να χτίζεται το 1959 και να χρησιμοποιείται ως φορτηγό πλοίο. Σύμφωνα με πολλές πηγές πληροφόρησης ο παγκόσμιος στόλος μέχρι σήμερα αποτελείται από 433 πλοία παγκοσμίως. Αξιοσημείωτη είναι η τεχνολογική εξέλιξη τους ως προς το σύστημα πρόωσης και τον τύπο των δεξαμενών που φέρουν. Τα περισσότερα φαίνονται ατμοκίνητα αλλά τα τρέχοντα πλοία από το 2006 και μετά είναι ‘διπλού καυσίμου’ και σχεδόν όλα τα υπό κατασκευή είναι εξίσου ‘διπλού καυσίμου’. Όσον αφορά τις δεξαμενές και την εξέλιξη αυτών, παρόλο που τα περισσότερα πλοία ήταν τύπου MOSS αυτή την στιγμή ,το 95% του παγκόσμιου στόλου έχει δεξαμενές τύπου TZ.MK III και GT96.Τα LNG θεωρούνται το μέλλον της ναυτιλίας καθώς πολλά είναι αυτά που είναι υπό παραγγελία σε συνδυασμό με την συνεχή ζήτηση για φυσικό αέριο.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Διαγραμμάτων	9
1. ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	10
2.ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΑΓΩΓΟΙ	12
2.1.Επίγεια δίκτυα μεταφοράς.....	12
2.2. Υποθαλάσσια δίκτυα μεταφοράς	12
2.3. Υγροποίηση και θαλάσσια μεταφορά	12
3. ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗ ΤΟΥ LNG	15
4. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG	23
4.1. Ιστορική αναδρομή.....	23
4.2. Τύποι των πλοίων LNG.....	24
5. ΡΟΤΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ LNG	28
5.1. Οι κυριότερες διαδρομές διακίνησης LNG	28
5.2. Λιμάνια εισαγωγής κι εξαγωγής LNG	29
6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΛΟΙΩΝ LNG.....	33
6.1. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά έτος ναυπήγησης.....	33
6.3. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά ναυπηγείο ναυπήγησης	36
6.4. Συστήματα πρόωσης πλοίων LNG.....	37
6.5. Ταχύτητα πλεύσης πλοίων LNG	39
6.6. Ατμοστρόβιλη πρόωση.....	40
6.7. Πρόωση ηλεκτρο-πετρελαιοκινητήρων διπλού καυσίμου(DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC)	42
6.8. Συστήματα χαμηλής ταχύτητας με επανυγροποίηση (DRL).....	45
6.9. Συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων πρόωσης πλοίων LNG.....	47
6.10.Συστήματα δεξαμενών φορτίου πλοίων LNG.....	49
6.10.1. Δεξαμενές Τύπου MOSS.....	50
6.10.2. ΙΗΙ Πρισματικές δεξαμενές Τύπου Β.....	51
6.10.3. Δεξαμενές Μεμβράνης TGZ MARK III	52
6.10.4. Δεξαμενές τύπου GT96	53
6.10.5. Δεξαμενές τύπου CS1.....	55
7. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ LNG.....	56
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1.Χρήση ΦΑ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	15
Διάγραμμα 3-2.Μεταβολή στη ζήτηση ΦΑ σε διάφορους τομείς για το 2014-2015	16
Διάγραμμα 3-3.Παγκόσμια παραγωγή ΦΑ ανά περιοχή	17
Διάγραμμα 3-4. Παγκόσμια παραγωγή ΦΑ ανά οργανισμό	18
Διάγραμμα 3-5.Παγκόσμια ζήτηση ΦΑ ανά περιοχή	19
Διάγραμμα 3-6.Παγκόσμια ζήτηση ΦΑ ανά περιοχή	20
Διάγραμμα 6-1. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά έτος ναυπήγησης	33
Διάγραμμα 6-2.Αριθμός πλοίων LNG ανά χώρα ναυπήγησης	34
Διάγραμμα 6-3. Αριθμός πλοίων LNG ανά ναυπηγείο.....	36
Διάγραμμα 6-4. Συστήματα πρόωσης πλοίωνLNG	37
Διάγραμμα 6-5.Υπάρχοντα πλοία LNG και παραγγελίες	38
Διάγραμμα 6-6. Αριθμός παραγγελιών πλοίων LNG ανά έτος με βάση το σύστημα πρόωσης	39
Διάγραμμα 6-7. Απλοποιημένη διάταξη ατμοστρόβιλου συστήματος πρόωσης πλοίου LNG	41
Διάγραμμα 6-8.Απλοποιημένη διάταξη πρόωσης ηλεκτρο-πετρελαιοκινητήρων διπλού καυσίμου πλοίουLNG	43
Διάγραμμα 6-9.Απλοποιημένη διάταξη πρόωσης αργόστροφου πετρελαιοκινητήρα με επανυγροποίηση	47
Διάγραμμα 6-10. Αριθμός πλοίων LNG με βάση το σύστημα πρόωσης (2000-2016).....	49
Διάγραμμα 6-11. Αριθμός πλοίων LNG με βάση το σύστημα δεξαμενών φορτίου.....	50
Διάγραμμα 7-1. Εισαγωγή LNG σε Κίνα και Ευρώπη	58
Διάγραμμα 7-2.Προσφορά και ζήτηση LNG	59
Διάγραμμα 7-3. Παραγγελίες, ναύλοι και δυναμικότητα στόλου LNG.....	60
Διάγραμμα 7-4.Αριθμός πλοίων LNG ανά πλοιοκτήτρια εταιρία	62
Διάγραμμα 7-5.Αριθμός πλοίων προς ναύλωση	63
Διάγραμμα 7-6.Απόσυρση και μετατροπή πλοίων LNG	64

1. ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Φυσικό αέριο είναι ένα αέριο καύσιμο που εξάγεται από την γη και μεταφέρεται μέσω αγωγών σε αέρια κατάσταση μέχρι να φτάσει στα σημεία κατανάλωσης του. Το φυσικό αέριο όπως και το πετρέλαιο δημιουργήθηκε πριν πολλά χρόνια στους πυθμένες αβαθών θαλασσών από πολύ μεγάλες ποσότητες ύδατος, πλαγκτόν και άλλων πολλών μικρών μικροοργανισμών, την απουσία αέρα και υπό την επίδραση βακτηρίων. Κατά την διάρκεια των γεωλογικών αιώνων, το υλικό αυτό βυθίστηκε και καταπλακώθηκε από μεγάλα στρώματα γης. Τα στοιχεία που έχουμε σχετικά με την ύπαρξη του φυσικού αερίου έχουν καταγραφεί το 6000 π.χ. και το 2000 π.χ. στην περιοχή που βρίσκεται σήμερα το Ιράν. Το 900 π.χ. οι Κινέζοι ήταν οι πρώτοι που έκαναν χρήση του φυσικού αερίου και το μετέφεραν μέσω αγωγών από μπαμπού. Στην Ευρώπη όμως, η χρήση του ήταν άγνωστη μέχρι που ανακαλύφθηκε το 1659 στην Αγγλία. Αξίζει να τονιστεί ότι το 1821 η πόλη Fredonia της Νέας Υόρκης φωτιζόταν με το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο όμως για έναν περίπου αιώνα παρέμεινε στο περιθώριο της βιομηχανικής εξέλιξης καθώς δεν υπήρχε τρόπος μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις.

Η μεταφορά του μέσω ειδικών αγωγών άρχισε την δεκαετία του 1920 και μετά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο η κατανάλωση του μέχρι και σήμερα εξακολουθεί να είναι τεράστια. Σημαντικές ήταν οι παρατηρήσεις ανθρώπων που έβλεπαν διάφορες φλόγες να ξεπηδούν από το έδαφος. Επίσης με την εξάπλωση των εξορύξεων πετρελαίου παρατηρήθηκε ότι σχεδόν όλα τα κοιτάσματα πετρελαίου συνοδεύονταν με φυσικό αέριο και λόγω έλλειψης τεχνολογίας και δικτύου καιγόταν σαν φύρα και ήταν μία εικόνα που συνόδευε σχεδόν όλες τις πηγές πετρελαίου. Οι φλόγες αυτές προέρχονταν από την άνοδο του φυσικού αερίου στα επάνω στρώματα του φλοιού της γης, ταυτόχρονα με τις αστραπές οι οποίες πέφτοντας στο έδαφος έρχονταν σε επαφή με το φυσικό αέριο και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάφλεξη του και την δημιουργία για τους περισσότερους πολιτισμούς. Αντίστοιχες αναφορές για την ύπαρξη του φυσικού αερίου έγιναν επίσης σε πολύ παλαιότερες εποχές από πολλούς διαφορετικούς συγγραφείς όπως ήταν ο E.N.Tiratsoo, ο οποίος υποστηρίζει στο σύγγραμμά του "Natural Gas" ότι το φυσικό αέριο ξεκίνησε από την Κίνα κατά τον 3^ο αιώνα αλλά και κατά την διάρκεια του 17^{ου} αιώνα όπου χρησιμοποιούνταν σαν θερμαντικό μέσο για την παραγωγή φωτισμού. Η πρώτη διανομή του φυσικού αερίου μέσω δικτύου έγινε στην Νέα Υόρκη τον 18^ο αιώνα ενώ στα μισά του 19^{ου} αιώνα στις ανατολικές πολιτείες της Αμερικής υπήρχε η διανομή του μέσω αγωγών.

Το φυσικό αέριο είναι μια πηγή ενέργειας ιδιαίτερας φιλικής προς το περιβάλλον και άκρας ακίνδυνη. Αποτελείται από ένα μείγμα αερίων αλλά και υδρογονανθράκων αλλά και άλλων αερίων. Συναντάται στην φύση σε υπόγειους σχηματισμούς τόσο μόνο του όσο και με την παρουσία πετρελαίου. Η πηγή προέλευσης του είναι το κριτήριο που διαφοροποιεί την σύσταση του φυσικού αερίου. Η σχετική πυκνότητα του είναι 0,55 και θεωρείται πολύ ελαφρύ αέριο, ελαφρύτερο και από τον αέρα. Έχει αποδειχθεί ότι τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου κυμαίνονται μεταξύ 4,5%-15%. Εάν η περιεκτικότητα του μείγματος (με την ύπαρξη αέρα) σε φυσικό αέριο ξεπερνά αυτά τα όρια τότε η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί.

Το φυσικό αέριο δεν είναι καθόλου τοξικό καθώς θεωρείται η καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Κύριο συστατικό του είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως και μεγάλες ποσότητες αιθανίου, προπανίου, βουτανίου και διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, ηλίου και υδρόθειου. Θεωρείται η πιο απλή μορφή ενέργειας λόγω της παραπάνω σύστασης του και η κατανάλωση του αναμένεται ν' αυξηθεί κατά 50% στα επόμενα πενήντα χρόνια.

Πίνακας: Χημική σύσταση του Φυσικού Αερίου	
Συστατικά	% κατά όγκο σύσταση
Μεθάνιο (CH ₄)	70-90
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	5-15
Προπάνιο (C ₃ H ₈) και Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀)	< 5
CO ₂ , N ₂ , H ₂ S, κτλ.	μικρότερες ποσότητες

Πηγή: ΔΕΠΑ

Όσον αφορά την μεταφορά φυσικού αερίου, εννοείται η διεθνής μεταφορά του αλλά και η διανομή του σε τεράστιους βιομηχανικούς καταναλωτές. Προκειμένου να επιτευχθεί με ασφάλεια η μεταφορά ακολουθούνται κάποια κριτήρια όπως είναι γεωγραφικά, πολιτικά και τεχνικά. Τα συστήματα μεταφοράς του είναι τα παρακάτω:

1. Υποθαλάσσια δίκτυα μεταφοράς
2. Επίγεια δίκτυα μεταφοράς
3. Υγροποίηση και θαλάσσια μεταφορά

2.ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΑΓΩΓΟΙ

2.1.Επίγεια δίκτυα μεταφοράς

Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό φυσικού αερίου μεταφέρεται μέσω πιεστικών αγωγών. Προκειμένου να αντέχουν τις καταπονήσεις, στα δίκτυα αυτά που τοποθετούνται σε βάθος 2-2,5 m απαιτείται προστασία έναντι στην υγρασία. Οι σωλήνες του δικτύου αυτού έχουν καθοδική πορεία με συνεχές ρεύμα καθώς και μεγάλη προστασία έναντι της σκουριάς. Στα πιο χαμηλά σημεία των δικτύων αυτών υπάρχουν συστήματα συγκράτησης των συμπτυκνωμένων βαρύτερων υδρογονανθράκων. Όλη αυτή η καλή προστασία έχει ως αποτέλεσμα χρόνο ζωής τουλάχιστον 50 ετών. Σήμερα, το συνολικό μήκος αυτών των δικτύων ξεπερνά τα 10m πιεστικών αγωγών.

2.2. Υποθαλάσσια δίκτυα μεταφοράς

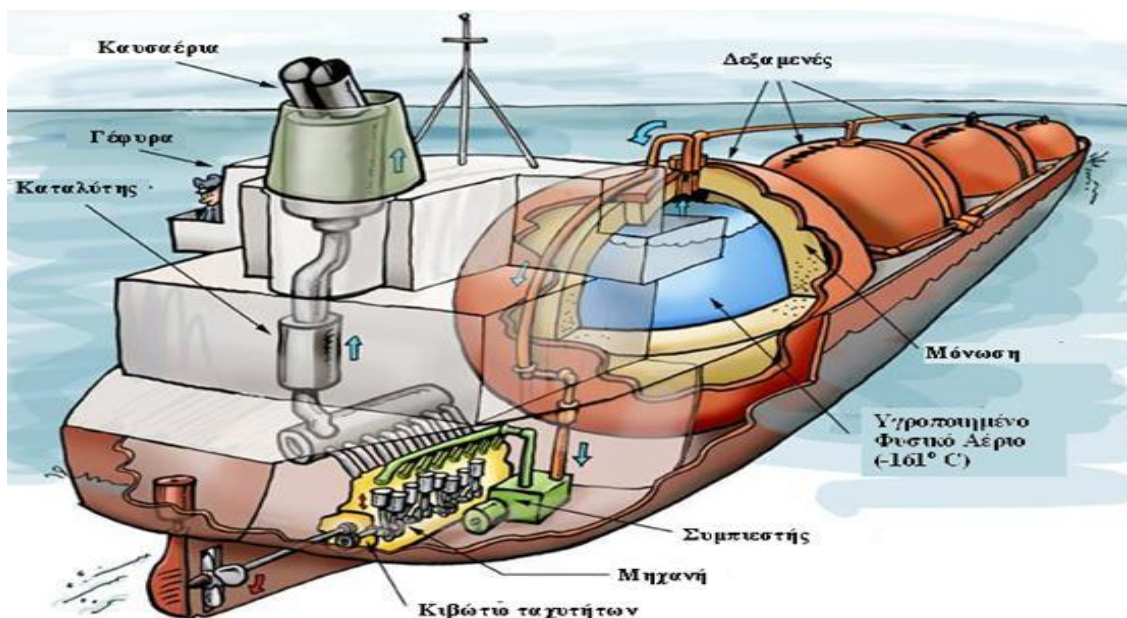
Μια άλλη μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου είναι μέσω υποθαλάσσιων αγωγών. Μέχρι σήμερα υπάρχουν τέτοιου είδους αγωγοί μήκους 450km (Βόρεια Θάλασσα) ενώ σε στάδιο μελέτης βρίσκονται αγωγοί μήκους 1000 km. Το μεγαλύτερο βάθος αυτή την στιγμή συναντάται στον αγωγό Τυνησίας-Σικελίας φθάνοντας τα 600m. Σταθμοί συμπίεσης είναι κατασκευασμένοι σε θαλάσσιες εξέδρες και καλύπτουν τις απώλειες πίεσης. Εκτιμάται ότι η πίεση λειτουργίας τους φθάνει μέχρι και 150 bar.

2.3. Υγροποίηση και θαλάσσια μεταφορά

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο εξάγεται από την γη και με ψύξη σε θερμοκρασία -160°C υγροποιείται. Αυτό γίνεται με στόχο την μεταφορά του μέσω ειδικών πλοίων για μεγάλες αποστάσεις. Το φυσικό αέριο που παράγεται στην πηγή μεταφέρεται υπό πίεση στα λιμάνια φορτώσεως και στην συνέχεια ψύχεται σε θερμοκρασία υγροποίησεως του. Το LNG αποθηκεύεται υπό ατμοσφαιρική πίεση στις δεξαμενές φορτώσεως και στην συνέχεια φορτώνεται στα πλοία, τα οποία χρησιμοποιούν το αεριοποιούμενο LNG και το μεταφέρουν στις δεξαμενές του παραλήπτη. Επειδή το ΦΑ είναι πολύ ελαφρύ αλλά πυκνώνεται σε πολύ

κρύα κατάσταση η μείωση του όγκου είναι τεράστια γιατί είναι περίπου 1 προς 600 δηλαδή ΦΑ στους -160°C γίνονται 1 μ.

Σήμερα έχουμε πλοία τύπου Moss-Rosenberg πολύ μεγάλης χωρητικότητας με αυτόνομες σφαιρικές δεξαμενές. Τα πλοία αυτά είναι πολύ καλά μονωμένα προκειμένου να περιορίζουν όσο γίνεται τις απώλειες του υγροποιημένου φυσικού αερίου λόγω της εξάτμιση του. Μια μικρή ποσότητα LNG εξατμίζεται από τη δεξαμενή κατά την αποθήκευση, την ψύξη της δεξαμενής, την διατήρηση σταθερής πίεσης στο εσωτερικό της δεξαμενής και την διατήρηση του LNG στο σημείο «βρασμού» του. Η άνοδος της θερμοκρασίας αντισταθμίζεται από με εξαερισμό του LNG από την δεξαμενή αποθήκευσης (Πηγή: University of Houston IELE, *Introduction to LNG.*)



Πηγή:kireas.org

Αξιοσημείωτο είναι ότι υπάρχουν ειδικοί σταθμοί εκφόρτωσης που περιλαμβάνουν εξέδρα παραλαβής και δεξαμενές LNG όπου και αποθηκεύεται. Στην συνέχεια μετά τις δεξαμενές το LNG μεταφέρεται στο σταθμό αεριοποίησης όπου και συμπιέζεται μέσω αντλιών σε μεγαλύτερη πίεση από αυτή του πιεστικού δικτύου. Τέλος, έχοντας υποστεί μια συγκεκριμένη επεξεργασία, το LNG μεταφέρεται στον μετρητή και στο πιεστικό δίκτυο μεταφοράς.

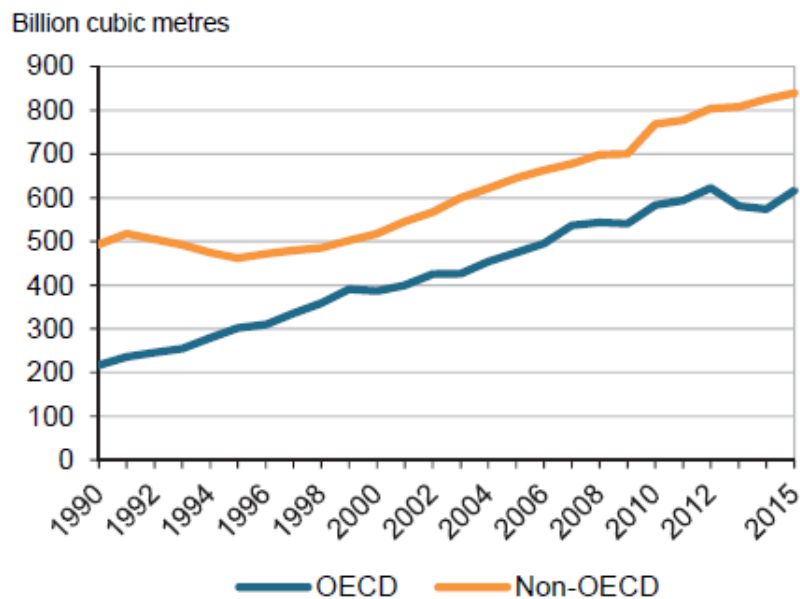
Κύκλος του ΥΦΑ



Source: CMS Energy

3. ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗ ΤΟΥ LNG

Μιλώντας για την προσφορά και την ζήτηση του φυσικού αερίου, είναι λογικό ν' αντιλαμβάνεται κανείς ότι οι αγοραστές και οι πωλητές αντιδρούν ανάλογα με τις αλλαγές στις τιμές του φυσικού αερίου. Η τιμή κάθε φορά ορίζεται βάσει του σημείου ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Το φυσικό αέριο σήμερα, χάρη στα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά του, θεωρείται το πιο περιζήτητο καύσιμο. Αρχικά, αυτή την στιγμή θεωρείται η καθαρότερη πηγή ενέργειας, έχει υψηλή θερμογόνο δύναμη, είναι πολύ φιλικό στο περιβάλλον και πολύ αποδοτικό στην καύση. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται στον οικιακό, εμπορικό και δημόσιο τομέα καθώς και στον τομέα μεταφορών και ηλεκτροπαραγωγής. Λόγω του ότι το φυσικό αέριο δεν έχει κάποιο τέλει υποκατάστατο αυτομάτως αναφερόμαστε σε ανελαστική ζήτηση, καθώς υπάρχει δυσκολία εναλλαγής σε άλλη μορφή ενέργειας.

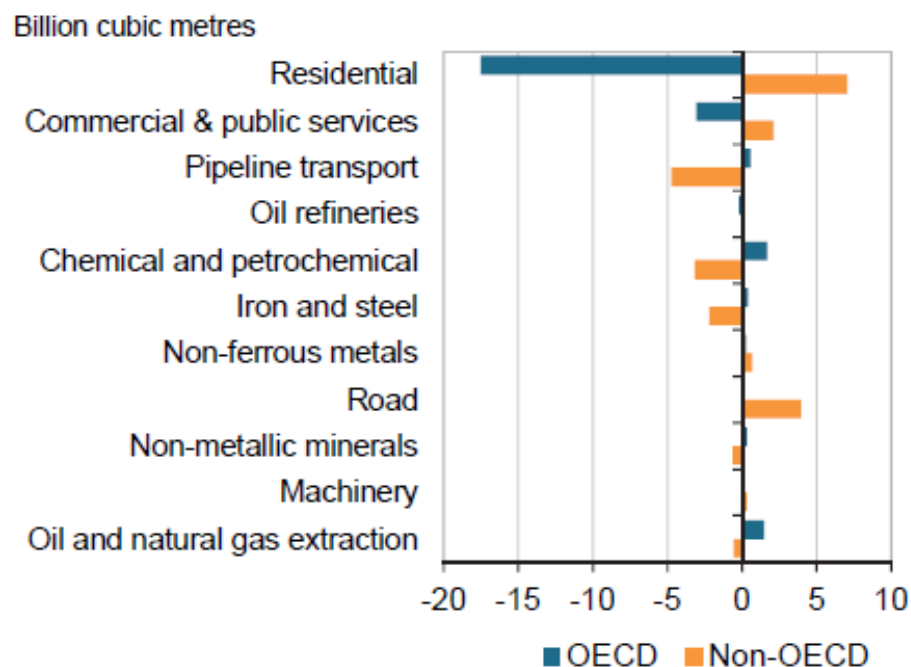


Διάγραμμα 3-1.Χρήση ΦΑ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: IEA 2017

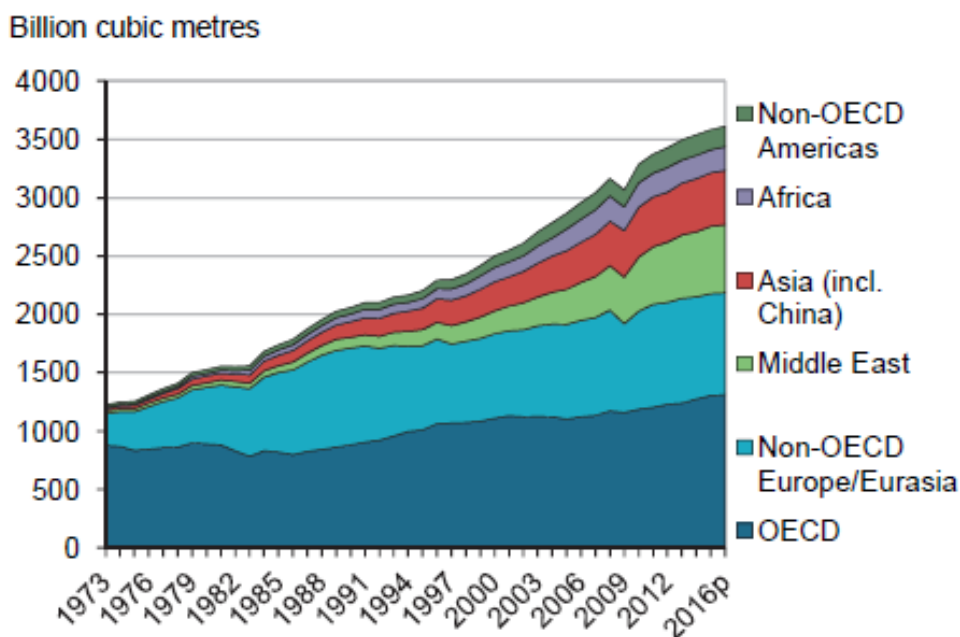
Το παραπάνω σχεδιάγραμμα απεικονίζει την χρήση ΦΑ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις χώρες του OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) και τις χώρες εκτός OECD. Όπως φαίνεται η χρήση του ΦΑ είναι σταθερά ανοδική σε αυτόν τον τομέα και σε πολλές χώρες τείνει να υποκαταστήσει τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αύξηση (+7.3%) στις χώρες του OECD για το 2015.

Ακολουθεί ραβδογράφημα όπου αποτυπώνεται η χρήση του ΦΑ και σε άλλους σημαντικούς τομείς στις χώρες OECD κι εκτός OECD, όπως στη βιομηχανία σιδήρου, χημικών, στα δυληστήρια καθώς και για οικιακή χρήση.



Διάγραμμα 3-2. Μεταβολή στη ζήτηση ΦΑ σε διάφορους τομείς για το 2014-2015
Πηγή: IEA 2017

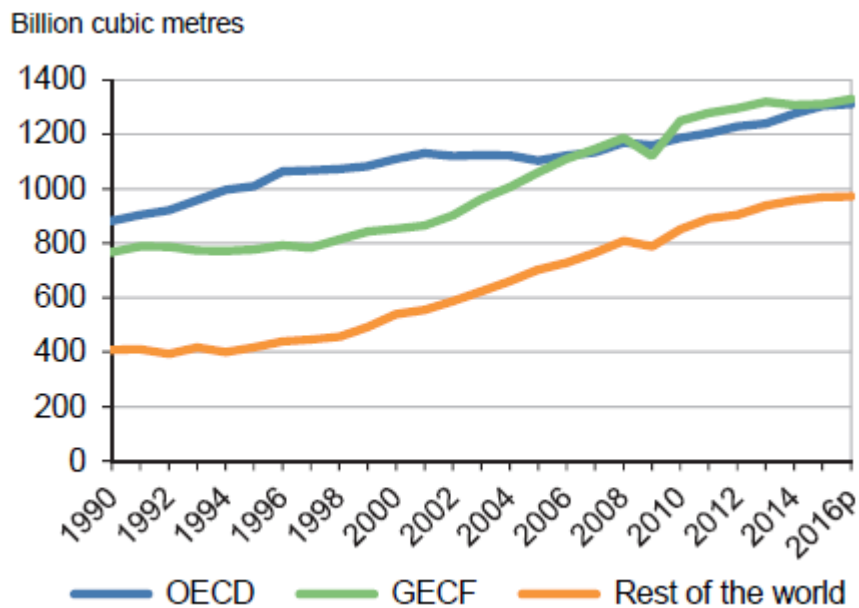
Το 2016, παρήχθησαν 3.613 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (Bcm) φυσικού αερίου παγκοσμίως, δηλαδή υπήρξε αύξηση κατά 0,8% σε σχέση με το 2015. Η παραγωγή φυσικού αερίου αυξήθηκε κάθε χρόνο από την οικονομική κρίση του 2009, ωστόσο η αύξηση το 2016 (+29,1 Bcm) είναι η μικρότερη σε αυτή την περίοδο.



Διάγραμμα 3-3. Παγκόσμια παραγωγή ΦΑ ανά περιοχή

Πηγή: IEA 2017

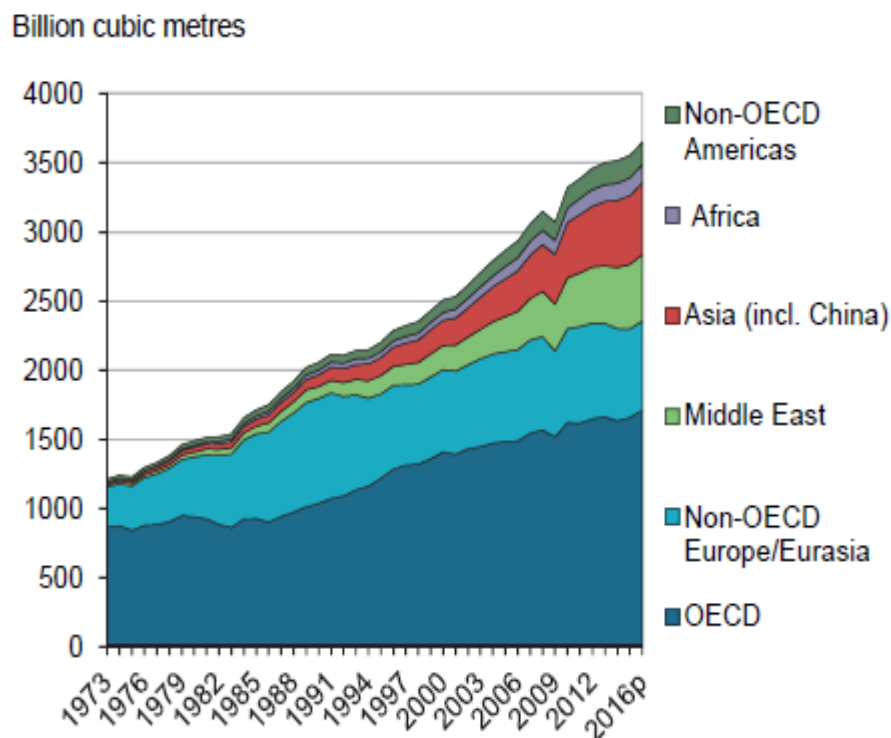
Από τα πρόσθετα 29,1 Bcm που παράχθηκαν το 2016, τα 23,1 Bcm παράγονται σε χώρες που δεν ανήκουν στον OECD ή στην Ευρώπη / Ευρασία, υπογραμμίζοντας τη σημασία των νέων παραγωγών στην αγορά. Το μερίδιο των χωρών αυτών στην παγκόσμια παραγωγή υπερδιπλασιάστηκε από το 1990 και αυξήθηκε από 16,8% έως 39,5%. Στον OECD, συνολικά, η παραγωγή φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 0,4% (από 1.304 Bcm έως 1.310 Bcm). Αυτή η ανάπτυξη προήλθε από την Αυστραλία (+21,0 Bcm) που αντιστάθμισε την πτώση στις Ηνωμένες Πολιτείες (-17,3 Bcm) και στις χώρες OECD / Ευρώπη (-3,1 Bcm). Σε χώρες εκτός Ευρώπης / Ευρασίας του OECD, η ανάπτυξη στη Ρωσία (+5,9 Bcm) και το Ουζμπεκιστάν (+1,1 Bcm) αντιστάθμισαν τις πτώσεις στο Τουρκμενιστάν (-3,9 εκατ. κυβικά εκατοστά), στη Ρουμανία (-1,2 εκατ. κυβικά μέτρα) και στο Καζακιστάν (-0,9 Bcm). Το 2016, ολόκληρη αυτή η περιοχή παρήγαγε 874 Bcm, την ίδια ποσότητα με το 2015. Αυτό η σταθεροποίηση, με την ανάπτυξη αλλού, οδήγησε σε μείωση κατά 0,2 ποσοστιαίες μονάδες στο μερίδιο της περιοχής την παγκόσμια προσφορά (24,2% το 2016).



Διάγραμμα 3-4. Παγκόσμια παραγωγή ΦΑ ανά οργανισμό

Πηγή:IEA 2017

Η παραγωγή στα μέλη του GECF(Gas Exporting Countries Forum)αυξήθηκε κατά 1,5%. Οι περισσότεροι από αυτούς τους πρόσθετους όγκους παρήχθησαν στην Αλγερία (+ 10,0%), τη Ρωσική Ομοσπονδία (+ 0,9%) και το Ιράν (+ 3,0%), χώρες οι οποίες αύξησαν την παραγωγή τους κατά 8.4 Bcm, 5.9 Bcm και 5.5 Bcm. Συνολικά, η GECF παρήγαγε 1.330 Bcm (36,8% της συνολικής προσφοράς), ελαφρώς πάνω από τον OECD (36,3%). Σε άλλες χώρες εκτός OECD και GECF, η παραγωγή αυξήθηκε κατά 0,4%, φτάνοντας τα 973 Bcm. Η Σαουδική Αραβία, η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας, η Ινδονησία, η Αργεντινή, η Μαλαισία και το Περού γνώρισαν τη μεγαλύτερο αύξηση. Το μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής αυτών των χωρών αυξήθηκε από 19,8% το 1990 σε 26,9%.



Διάγραμμα 3-5. Παγκόσμια ζήτηση ΦΑ ανά περιοχή

Πηγή: IEA 2017

Σε χώρες που δεν ανήκουν στον OECD, η ζήτηση για φυσικό αέριο αυξήθηκε (+ 2,3%). Οι χώρες που δεν ανήκουν στον OECD είχαν μεγαλύτερη κατανάλωση από το 2008, αλλά το 2016 είναι το δεύτερο έτος όπου ο ρυθμός ανάπτυξης στις χώρες εκτός OECD είναι μικρότερος από τις χώρες εντός OECD, κλείνοντας το χάσμα μεταξύ των δύο περιοχών. Διαφορετικές τάσεις χαρακτήρισαν την αύξηση της ζήτησης από το 1990 στις διάφορες περιοχές: OECD Αμερική, OECD Ευρώπη, OECD Ασία/Ωκεανία, εκτός-OECD Ευρώπη/Ευρασία και υπόλοιπος κόσμος (ειδική περίπτωση για την Κίνα):

- Στον OECD, η κατανάλωση αυξήθηκε σταθερά μεταξύ 1990 και 2000 όταν σταθεροποιήθηκε γύρω στα 800 Bcm για 10 χρόνια. Το 2010 συνεχίστηκε η αύξηση της ζήτησης μέχρι το 2016, όταν έφτασε στο ρεκόρ των 975 Bcm.

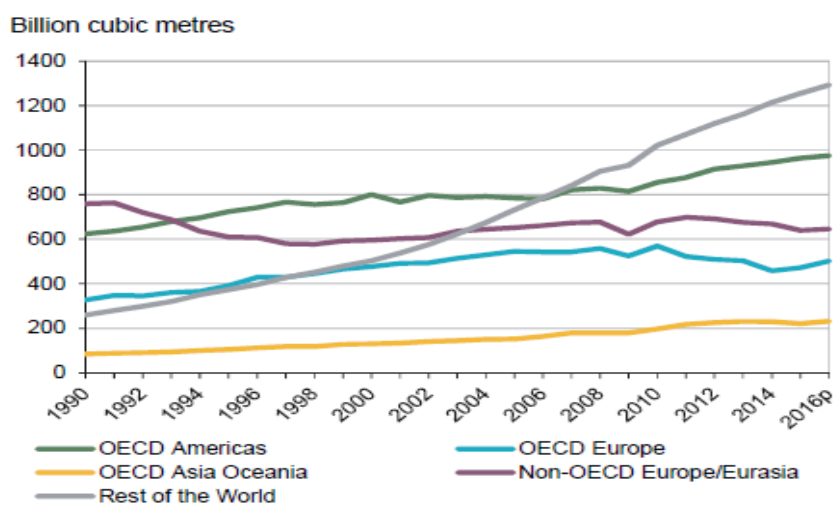
- Στις χώρες OECD/Ευρώπη, η αύξηση διατηρήθηκε μέχρι το έτος 2005, όταν σταθεροποιήθηκε μεταξύ 540 Bcm και 560 Bcm έως το 2008. Στη συνέχεια, έπεσε φτάνοντας 458 Bcm το 2014. Παρά την αύξηση των τελευταίων τριών χρόνια, εξακολουθεί να απέχει πολύ από τα προηγούμενα επίπεδα της οικονομική κρίσης του 2009. Επί του παρόντος, τα

επίπεδα ζήτησης είναι παρόμοια με το 2002. Εκτός από τους οικονομικούς παράγοντες, βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των τομέων με μεγάλη κατανάλωση ΦΑ, όπως η θέρμανση χώρων συνέβαλε στην επιβράδυνση της αύξησης της ζήτησης.

- Στις χώρες OECD Ασία / Ωκεανία, η ζήτηση αυξήθηκε επίσης σταθερά μέχρι το 2007, όταν παρέμεινε σχεδόν σταθερή για τρία χρόνια πριν αυξηθεί και πάλι το 2010 (λόγω της αύξησης της ζήτησης στην Κορέα) και το 2011 (εξαιτίας της μείωσης της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας μετά το ατύχημα της Φουκουσίμα στην Ιαπωνία). Από τότε, κυμαίνεται περίπου στα 225 Bcm.

- Στην Ευρώπη / Ευρασία εκτός OECD, η κατανάλωση φυσικού αερίου παρέμεινε αρκετά σταθερή μετά το 1994.

- Τέλος, στον υπόλοιπο κόσμο, κατανάλωση φυσικού αερίου παρουσίασε έντονο μέσο ρυθμό ανάπτυξης κατά 6,1% ετησίως τα τελευταία 20 χρόνια. Αυτή η τάση ήταν ακόμη ισχυρότερη στην Κίνα, όπου η μέση αύξηση ήταν 12,8% ετησίως κατά την ίδια περίοδο.



Διάγραμμα 3-6. Παγκόσμια ζήτηση ΦΑ ανά περιοχή

Πηγή: IEA 2017

Τα προϊόντα που ανταγωνίζεται το φυσικό αέριο είναι το πετρέλαιο θέρμανσης, το ηλεκτρικό ρεύμα, το υγραέριο, το μαζούτ και το πετρέλαιο κίνησης. Ωστόσο, αξίζει να τονιστεί, στον τομέα της ναυτιλίας, και πιο συγκεκριμένα στην ζήτηση για δεξαμενόπλοια

μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στην ναυτιλία, υπάρχουν κάποιοι βασικοί παράγοντες που προσδιορίζουν τον βαθμό ζήτησης.

Αρχικά, η απόσταση αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για την ζήτηση καθώς όσο μεγαλώνει η απόσταση από το αρχικό μέχρι το τελικό σημείο ταυτόχρονα απαιτούνται και πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας. Επιπρόσθετα, ανάμεσα στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση αξίζει ν' αναφερθεί ότι η ζήτηση επηρεάζεται εξίσου πολύ από τις κατάλληλες υποδομές που πρέπει να υπάρχουν για την σωστή εξυπηρέτηση αυτών των ειδικών πλοίων. Πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχουν ειδικές υποδομές που να διατηρούν όλα τα μέτρα ασφάλειας προκειμένου να δεχτούν αυτά τα πλοία. Άμεσα συνυφασμένος παράγοντας με τον παραπάνω είναι και οι αποθηκευτικοί χώροι. Η έλλειψη αυτών προκαλεί προβλήματα στην παγκόσμια ζήτηση. Στην προσφορά και ζήτηση του LNG υπεισέρχεται και ένας άλλος παράγων. Επί χρόνια το φυσικό αέριο καιγόταν στις πηγές σαν "φύρα" και πήγαινε χαμένο, ενώ δεν είχε δημιουργηθεί δίκτυο συλλογής/διανομής και αντίστοιχα αποθήκευσης του φυσικού αερίου και μέχρι σήμερα που υπάρχει μεγάλη ζήτηση λείπουν τα σχετικά δίκτυα. Τα τελευταία χρόνια προσπαθούν εν μέρει να τα καλύψουν με την χρήση FSU/LNG. Γενικά, οι υποδομές διανομής υστερούν στην ικανότητα απορρόφησης της ζήτησης.

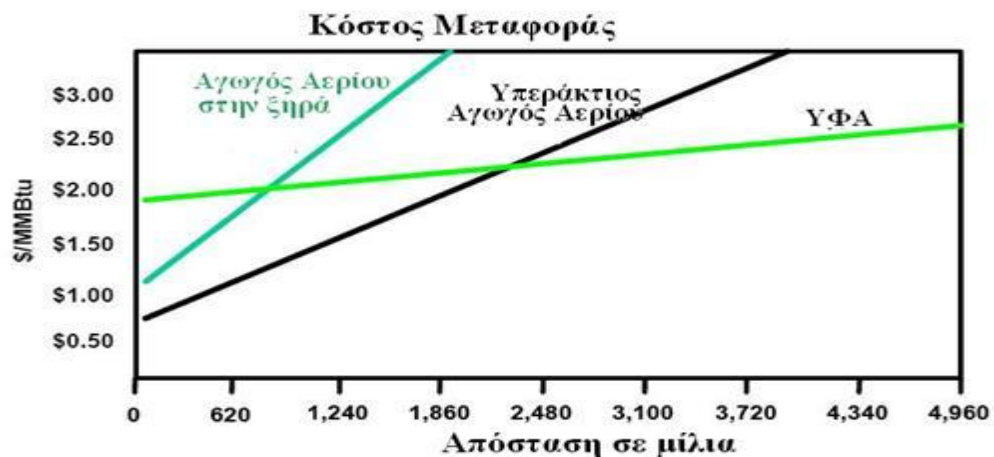
Σύμφωνα με άρθρα που έχουν δημοσιευτεί, το φυσικό αέριο κυριαρχεί σε όλες τις αναδυόμενες αγορές. Η υψηλή ζήτηση και οι χαμηλές τιμές στην αγορά καθιστούν το φυσικό αέριο ως την πιο καθαρή και συμβατή πηγή ενέργειας σε σχέση με άλλες πηγές όπως πχ το πετρέλαιο. Το γεγονός ότι υπάρχουν πολλά κοιτάσματα φυσικού αερίου σε πολλές χώρες είναι πολύ σημαντικό σχετικά με την μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα του, όμως η έλλειψη αγωγών αποτελεί πρόβλημα για την προσβασιμότητα του. Για τον λόγο αυτό, υπάρχουν πλωτές μονάδες αποθήκευσης(FSRU) που καθιστούν το φυσικό αέριο προσβάσιμο. Οι FSRU παραμένουν σε μία συγκεκριμένη θέση για μεγάλα διαστήματα όπου εκεί αποθηκεύεται το υγροποιημένο φυσικό αέριο, ενώ έχουν πολύ πιο χαμηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τις χερσαίες εγκαταστάσεις. Ο Νορβηγικός νηογνώμονας DNV GL έδειξε μεγάλο ενδιαφέρον για τις FSRU καθώς η ζήτηση τους αυξήθηκε σημαντικά. Έτσι λοιπόν, πολλές χώρες έγιναν χώρες εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου λόγω της χρήσης FSRU.

Επιπλέον τα FSRU κατασκευάζονται σε ναυπηγεία τα οποία συνήθως έχουν πολύ ταχύτερους χρόνους παράδοσης από οποιαδήποτε άλλη χερσαία κατασκευή. Αυτό έχει δημιουργήσει ανισότητα ανάμεσα στους ρυθμούς ολοκλήρωσης των εγκαταστάσεων της ξηράς (χερσαίες εγκαταστάσεις) που υστερούν, εν αντιθέσει με τις πλωτές που συνήθως είναι

έγκαιρες, με αποτέλεσμα στην αλυσίδα της μεταφοράς από την πηγή στον καταναλωτή το θαλάσσιο τμήμα της μεταφοράς να είναι συνήθως έτοιμο και η παραγωγή να αργεί πολύ να την προμηθεύσει, γι αυτό και οι τιμές μεταφοράς έχουν πέσει πολύ τα τελευταία 3-4 χρόνια (2013-2017).

Όσον αφορά, την ανταγωνιστικότητα του LNG, παρόλο που υπάρχουν πολλά αποθέματα φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο, η προσφορά του υπερβαίνει κατά πολύ την ζήτηση καθώς στις περιοχές αυτές δεν υπάρχει σημαντική αγορά. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει ότι όσο η απόσταση στην οποία το φυσικό αέριο πρέπει να μεταφερθεί αυξάνεται, τόσο η χρήση του LNG έχει οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση αγωγών. Σε γενικές γραμμές, η υγροποίηση φυσικού αερίου και η θαλάσσια μεταφορά του γίνεται φθηνότερη από τη μεταφορά φυσικού αερίου σε επίγειους αγωγούς στην ξηρά για αποστάσεις άνω των 700 μιλίων ή σε υπεράκτιους αγωγούς για αποστάσεις μεγαλύτερες από 2.200 μίλια.

Τεχνολογία Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και Κόστος σε σχέση με την Απόσταση



Source: Institute of Gas Technology.

Πηγή:kireas.org

4. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG

4.1. Ιστορική αναδρομή

Το 1959 το <<MethanePioneer>> αποτέλεσε το πρώτο πλοίο που μετέφερε υγροποιημένο φυσικό αέριο από την Λουϊζιάνα προς το Ηνωμένο Βασίλειο. Το πλοίο αυτό χτίστηκε το 1945 με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως φορτηγό πλοίο κατά την διάρκεια του Β' Παγκόσμιου πολέμου συνολικής χωρητικότητας κάτω από 5000 τόνους. Το 1960 άρχισε να κινείται το εμπόριο με την εξαγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Αλάσκα στην Ιαπωνία. Το <<MethanePioneer>> που αργότερα μετονομάστηκε σε <<Aristotle>> υπό την διαχείριση της "Stephenson Clarke Shipping" πραγματοποίησε τριάντα ταξίδια στο διάστημα 1959-1972. Αργότερα αποσύρθηκε και χρησιμοποιήθηκε σαν φορτηγίδα αποθήκευσης και το 1972 διαλύθηκε.



Εικόνα του 'Methane Pioneer' (Πηγή: HelderLine)

Μετά την απόλυτη επιτυχία που σημείωσε το <<MethanePioneer>> ακολούθησε μία σειρά πολλών τέτοιου είδους πλοίων που όσο περνούσαν τα χρόνια εξελισσόταν τεχνολογικά. Όπως και το "Methane Pioneer" και τα επόμενα 2-3 πλοία LNG ήταν self-supporting από Al-alloy πρισματικές δεξαμενές, οι οποίες ακολουθούσαν περίπου την γεωμετρία του πλοίου. Αργότερα εξελίχθηκαν τα πλοία με μεμβράνες για δεξαμενές που κατέληξαν να υπερτερούν και να κερδίζουν πάνω από 90% της αγοράς.

Το 1970 άρχισαν να χτίζονται σε πολλά ναυπηγεία πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι ο στόλος των LNG σήμερα φτάνει τα 407 πλοία και πολλά ακόμα που είναι υπό κατασκευή. Σε μια ταχέως εξελισσόμενη αγορά, τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με τις πιο σύγχρονες τεχνικές καινοτομίες όπως είναι η αυξημένη χωρητικότητα, πιο αποτελεσματικός σχεδιασμός του κύτους, καλύτερα συστήματα πρόωσης και πολλές βελτιώσεις σχετικά με τα συστήματα υγροποίησης και εκ νέου αεριοποίησης πάνω στο πλοίο. Το “Quatargas” θεωρήθηκε πρωτοπόρος στην ανάπτυξη δύο νέων κατηγοριών πλοίων μεταφοράς LNG, τα λεγόμενα Q-Flex και Q-max. Τα πλοία αυτά έχουν μεγάλη μεταφορική ικανότητα μεταξύ 210.000 και 260.000 κυβικά μέτρα, εξοπλισμένα με τελευταίας τεχνολογίας συστήματα υγροποίησης.

4.2. Τύποι των πλοίων LNG

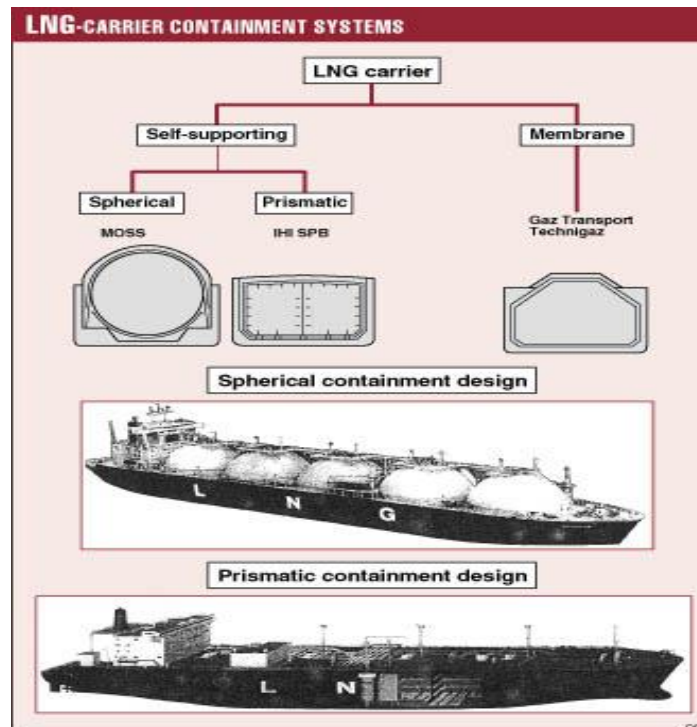
Σήμερα διακρίνονται δύο βασικοί τύποι υγραεριοφόρων πλοίων και είναι οι εξής:

- 1) Τα υγραεριοφόρα πλοία φυσικού αερίου (LNG Carriers)
- 2) Τα υγραεριοφόρα πλοία πετρελαϊκού αερίου (LPG Carriers)

Το φυσικό αέριο διατηρείται σε υγρή μορφή με ψύξη (-162°C) υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω του αυξημένου κινδύνου, τα υγραεριοφόρα πλοία είναι κατασκευασμένα με υψηλής τεχνολογίας εξοπλισμό, διατηρούνται όλα τα μέτρα ασφάλειας αλλά και αυστηροί περιορισμοί κατά την μεταφορά του. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται τόσο για την κατασκευή της γάστρας όσο και των δεξαμενών ενός πλοίου LNG θα πρέπει να είναι απαραίτητως ικανά ν’ αντέχουν όλων των ειδών τις πιέσεις, τόσο του φορτίου όσο και των άλλων θερμοκρασιών. Επίσης θα πρέπει να είναι λειτουργικά ως προς την κατασκευή αλλά και φιλικά ως προς το περιβάλλον. Τα πλοία αυτά προσεγγίζουν μόνο ειδικές προβλήτες που διαθέτουν όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας και αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών.

Τα LNG διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των δεξαμενών που φέρουν καθώς και την διαφοροποίηση στις κύριες μηχανές. Αρχικά όλα τα LNG είχαν Self-supporting tanks δηλαδή οι δεξαμενές ήταν δυνατές και με παχιά ελάσματα για να μπορούν να δέχονται το βάρος/πίεση του φορτίου. Από πάνω έμπαινε η μόνωση η οποία ήταν πολύ

παχιά για να αντέχει θερμοκρασίες έως και -170°C . Οι δεξαμενές ήταν πάντα μονωμένες και ακουμπούσαν στο εσωτερικό του πλοίου.



Αργότερα (δεκαετία 1968-1980) δημιουργήθηκε στην Γαλλία μία καινούργια τεχνική (από δύο εταιρείες που είχαν την συγκεκριμένη πατέντα) όπου οι δεξαμενές είναι πλέον λεπτές μεταλλικές μεμβράνες που δεν μπορούν να δέχονται το βάρος του φορτίου γιατί το πάχος τους κυμαίνεται περίπου μεταξύ 0.8mm μέχρι 1.6mm. Το βάρος/πίεση μεταφέρεται μέσω πολύ μεγάλης μόνωσης 300mm μέχρι 600mm στο εξωτερικό μεταλλικό σκάφος, που έχει διπλό τοίχωμα, όπως όλα τα τάνκερ. Η βασική ιδέα είναι το υγρό (-170°C) φορτίο να μην έρχεται ποτέ σε επαφή με το εξωτερικό (διπλό) τοίχωμα του πλοίου είτε είναι self-supporting είτε membrane. Σε περίπτωση που γίνει αυτό το πλοίο διαλύεται σε τέτοιες κρυογονικές θερμοκρασίες. Αξιοσημείωτο είναι ότι αργότερα αυτές οι δύο Γαλλικές εταιρείες (Gaz Technique η Techni-Gas) ενώθηκαν και έγιναν μία (GTT), η οποία σχεδόν μονοπωλεί την τεχνολογία δεξαμενών με μεμβράνες κατέχοντας πάνω από το 90% της ναυπηγικής αγοράς. Σήμερα σχεδόν όλα τα LNG είναι membrane, σε ποσοστό άνω του 95 %.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συστημάτων με μεμβράνη είναι ότι επειδή είναι λεπτές, υπάρχουν δύο στρώσεις μεμβράνης, η πρωτεύουσα που έρχεται σε επαφή με το φορτίο και η

δευτερεύουσα για την περίπτωση ζημιάς ή ατυχήματος της πρώτης. Κάτω από κάθε μεμβράνη υπάρχει μια παχιά μόνωση και έτσι αυτό το σύστημα με μεμβράνες είναι αρκετά εκτεταμένο, με τέσσερα επίπεδα, και όλο μαζί στηρίζεται στο εσωτερικό διπλό τοίχωμα του σκάφους (double hull).

1^ο επίπεδο - πρωτεύουσα μεμβράνη

2^ο επίπεδο - μόνωση

3^ο επίπεδο - δευτερεύουσα μεμβράνη

4^ο επίπεδο - μόνωση

Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν αφενός τα πλοία LNG μεμβράνης, αφετέρου τα πλοία με self-supporting tanks, τα οποία μπορεί να είναι είτε σφαιρικών δεξαμενών(τύπου Moss) είτε Prismatic IHI. Οι δεξαμενές τύπου MOSS είναι σφαιρικές και η ονομασία τους προέρχεται από τον άνθρωπο που τις έφτιαξε πρώτος και ανήκει στην Νορβηγική Ναυτιλιακή εταιρεία MOSS. Το εσωτερικό των δεξαμενών αυτών αποτελείται από ένα πολύ παχύ στρώμα μονωτικού αφρού καθώς και ένα πολύ λεπτό στρώμα σαν 'αλουμινόχαρτο'. Έχουν διάμετρο 40 μέτρα και είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο. Στην περίπτωση των σφαιρικών δεξαμενών κυριαρχεί το μειονέκτημα ότι μειώνεται αισθητά η ορατότητα μπροστά από την γέφυρα του πλοίου λόγω του όγκου καθώς θεωρείται και αρκετά πιο ευάλωτο σε πλάγιους ανέμους λόγω της μεγάλης επιφάνειας. Οι δεξαμενές αυτές ελέγχονται τακτικά περίπου ανά 3 μήνες για τυχόν βλάβες στην μόνωση τους.

Οι δεξαμενές μεμβράνης πάχους 0,7 έως 1,5 mm, είναι στην ουσία δύο στρώματα από λωρίδες πάχους 0,7 χιλιοστών και πλάτους σχεδόν μισού μέτρου. Οι δεξαμενές αυτού του τύπου δεν είναι αυτοδύναμες όπως είναι οι ανεξάρτητες δεξαμενές. Είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν θερμικές διαστολές ή συστολές χωρίς όμως να καταπονούνται και τόσο οι ίδιες οι μεμβράνες.

Οι πρισματικές δεξαμενές θεωρούνται καλύτερες από την άποψη ότι εκμεταλλεύονται καλύτερα γεωμετρικά τους χώρους του πλοίου και είναι εύκολες στην κατασκευή τους κατά την διάρκεια της ναυπήγησης του. Ωστόσο χρειάζονται μεγάλη προσοχή στην σχεδίαση τους λόγω του ότι είναι αρκετά ευάλωτες σε παφλασμούς στο εσωτερικό τους, παραμένουν όμως πολύ πιο ακριβές και γι' αυτό δεν έχουν κερδίσει ανάλογο μέρος της αγοράς.

Στα LNG μεμβράνης οι δεξαμενές είναι ενσωματωμένες στο κύτος του πλοίου ενώ στα πλοία τύπου MOSS υπάρχουν συνήθως 4-5 μη ενσωματωμένες μονωμένες σφαιρικές δεξαμενές αλουμινίου, οι οποίες προεξέχουν από το κατάστρωμα. Τα πρισματικά LNG αποτελούνται από ανεξάρτητα containers από αλουμίνιο που βρίσκονται τοποθετημένα εντός του κύτους.

5. ΠΟΤΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ LNG

Η ποιότητα του LNG μετριέται με βάση την θερμαντική ικανότητα (heating value) και έχει διαφορά από πηγή σε πηγή. Δηλαδή όταν συναντάμε υψηλότερο ποσοστό λοιπών συστατικών εκτός του μεθανίου σ' ένα κοιτάσμα, τόσο πιο μεγάλη είναι η θερμαντική του ικανότητα. Υπάρχουν δηλαδή φορτία με μεγάλη θερμαντική ικανότητα, που θεωρούνται και πλούσια, και φορτία με υψηλό ποσοστό μεθανίου που θεωρούνται φτωχά. Η μετατροπή του φυσικού αερίου σε LNG είναι άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την θερμαντική ικανότητα ενός κοιτάσματος. Έτσι λοιπόν ανάλογα με την ποιότητα του φορτίου ο κάθε παραλήπτης επιλέγει πλούσιο ή φτωχό φορτίο αντίστοιχα. Ενδεικτικά, αξίζει αναφερθούν πλούσιες πηγές όπως είναι το Κατάρ, η Νιγηρία και η Ισημερινή Γουινέα που καταλήγουν στην Ινδία, την Ιαπωνία, το Πακιστάν και την Κορέα. Ωστόσο σε περιοχές όπως ο κόλπος της Αμερικής και του Μεξικού που καταλήγουν στην Χιλή, εκεί συναντάμε φτωχά φορτία. Επίσης τα φορτία της Αυστραλίας, προορισμό έχουν την Κίνα και την Βόρεια Κορέα.

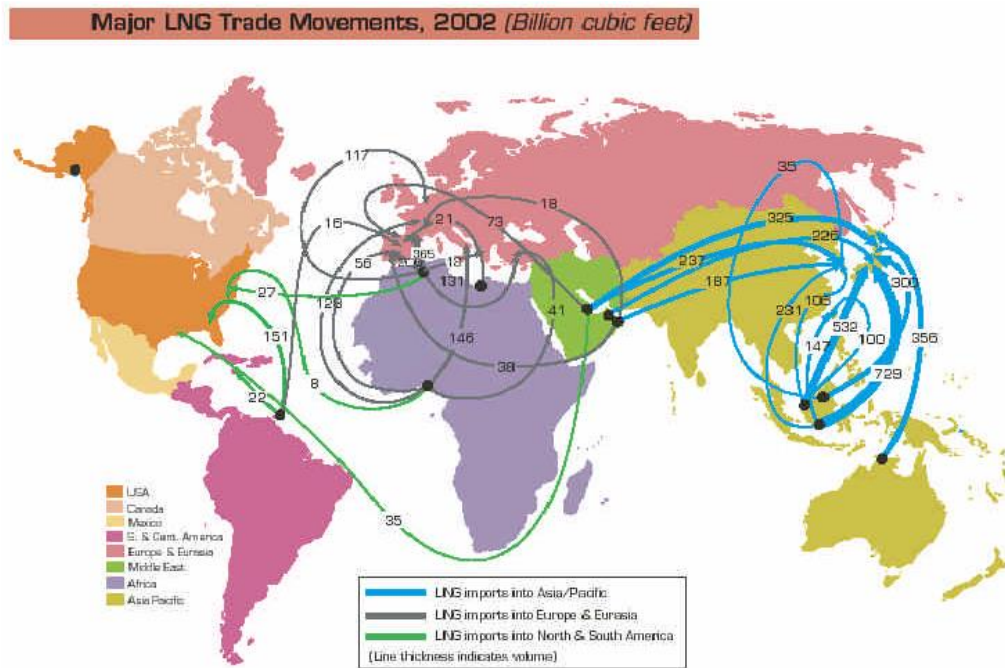
5.1. Οι κυριότερες διαδρομές διακίνησης LNG

1) Από την Μέση Ανατολή, την Κεντρική Ανατολική και Βόρεια Αφρική, το Τρινιντάντ και Τομπάγκο προς τις ανατολικές ακτές της Βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής. Το αέριο μεταφέρεται κατά μήκος των διαδρομών που διέρχονται από τον Ινδικό ωκεανό και τον Ατλαντικό.

2) Από την Ανατολική και Κεντρική Αφρική και τη Μέση Ανατολή προς την Δυτική και Νότια Ευρώπη κατά μήκος του Ατλαντικού Ωκεανού και της Μεσογείου.

3) Από την Μέση Ανατολή, το Μαλαισιανό Αρχιπέλαγος και την Αυστραλία προς τις υψηλά βιομηχανοποιημένες χώρες της Άπω Ανατολής, κατά μήκος του Ινδικού ωκεανού και των θαλασσών της Νοτιοδυτικής Ασίας.

4) Από την Αλάσκα στην Ιαπωνία, κατά μήκος των διαδρομών του Ειρηνικού Ωκεανού.



5.2. Λιμάνια εισαγωγής κι εξαγωγής LNG

Τα βασικότερα λιμάνια εξαγωγής LNG είναι τα ακόλουθα:

West Africa & Mediterranean:

- Bonny, Nigeria
- Punta Europa, Equatorial Guinea
- Soyo, Angola
- Damietta, Egypt
- Skikda, Algeria

Middle East:

- Balhaf, Yemen
- Doha, Qatar
- Das Island, Abu Dhabi, UAE
- Qalhat, Oman

Oceania:

- Dampier, Australia
- Gladstone, Australia
- Port Moresby, Papua New Guinea
- Tangguh, Indonesia
- Bontang, Indonesia
- Bintulu, Malaysia

Americas & Caribbean:

- Pampa Melachorita, Peru
- Point Fortin, Trinidad
- Freeport, USA

Τα βασικότερα λιμάνια εισαγωγής LNG είναι τα ακόλουθα:

West Africa & Mediterranean:

- Ain Sokhna, Algeria

Middle East:

- Aqaba, Jordan
- Jebel Ali, Dubai, UAE
- Mina Al Ahmadi, Kuwait

Europe:

- Barcelona, Spain
- Gate, Netherlands
- Montoir, France
- South Hook, Milford Haven, UK

Far East:

- Singapore, Singapore
- Map Ta Phut, Thailand
- Yong An, Kaohsiung,
- Pyeongtaek, S. Korea

- Incheon, S. Korea
- Dapeng, China
- Fujian, China
- Shanghai, China
- Dalian, China
- Ningbo, China
- Tianjin, China

- Zhuhai, China
- Qingdao, China
- Hainan, China
- Guangxi, China
- Senboku, Japan
- Sodegaura, Japan
- Futtsu, Japan
- Ohgishima, Japan
- Negishi, Japan
- Tobata, Japan
- Himeji, Japan

India – Pakistan:

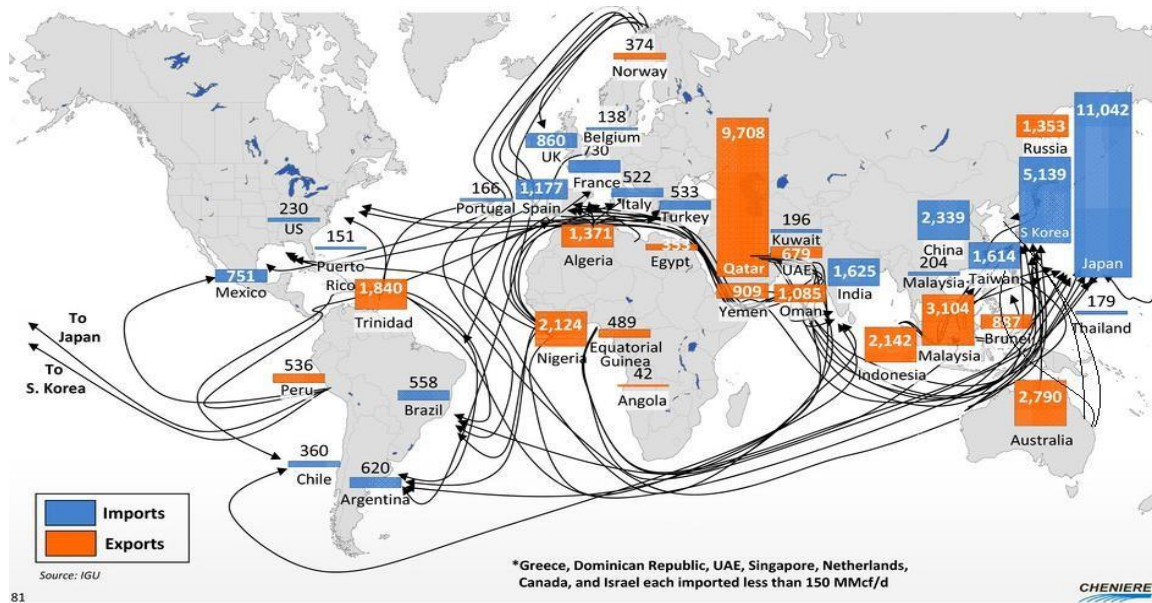
- Dahej, India
- Hazira, India
- Port Qasim, Pakistan

N. America:

- Cove Point, USA
- Elba Island, USA
- Lake Charles, USA
- Sabine Pass, USA
- Golden Pass, USA
- Freeport, USA

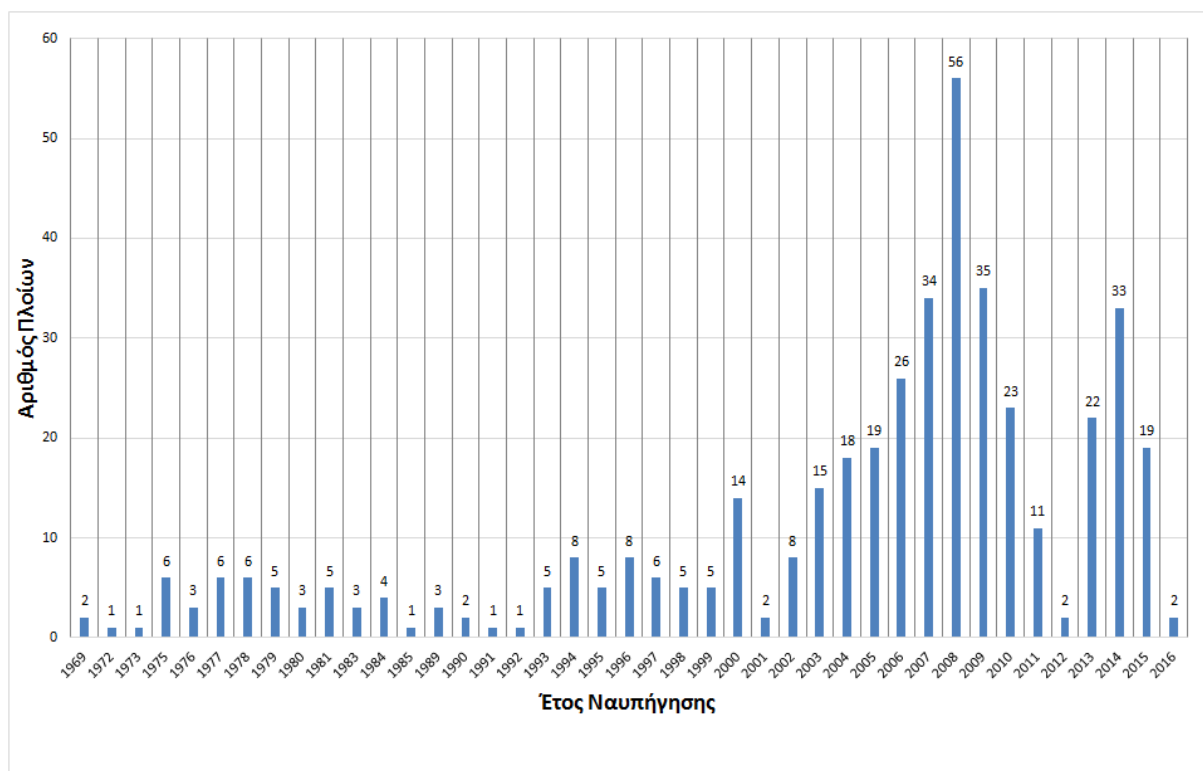
S. America:

- Mejillones, Chile
- Quintero, Chile
- Bahia Blanca, Argentina
- Gas Port, Argentina
- Bahia, Brazil



6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΛΟΙΩΝ LNG

6.1. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά έτος ναυπήγησης

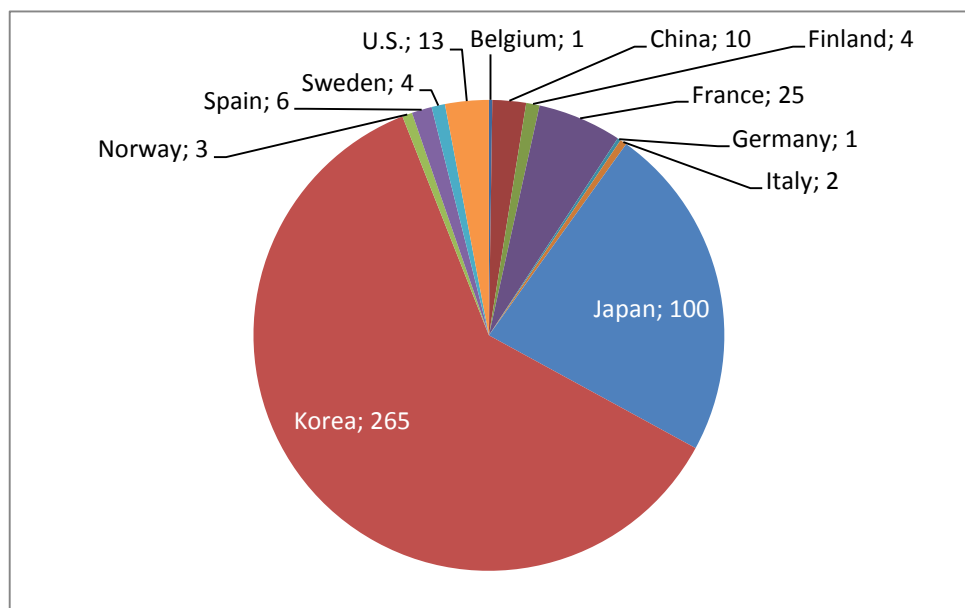


Διάγραμμα 6-1. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά έτος ναυπήγησης

Το παραπάνω ραβδογράφημα απεικονίζει την παρούσα σύνθεση του στόλου των LNG ανά έτος ναυπήγησης. Παρατηρείται ότι το διάστημα 1969-1999 ναυπηγήθηκαν αρκετά πλοία, κάτι το οποίο δείχνει ότι πολλοί εφοπλιστές δεν δίστασαν να μπουν στην αγορά των LNG καθώς από το 1960 άρχισε να υπάρχει αύξηση στο εμπόριο με την εξαγωγή του LNG από την Αλάσκα στην Ιαπωνία. Στο αμέσως επόμενο διάστημα που ακολουθεί από το 2000-2016, παρατηρείται μία μεγάλη μεταβολή στον στόλο καθώς αυξάνονται σημαντικά οι νέες παραγγελίες, με αποκορύφωμα το έτος 2008 όπου ναυπηγήθηκαν 56 πλοία αυτού του τύπου. Εξήγηση σχετικά με την αυξητική αυτή τάση δίνεται στο γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια τα πλοία αυτού του είδους αύξησαν κατά πολύ την χωρητικότητά τους, καθώς και στο γεγονός ότι πλέον υπάρχουν πολλές περισσότερες εγκαταστάσεις που μπορούν να εξυπηρετήσουν LNG.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αγορά επηρεάζεται άμεσα από την ύπαρξη των απαραίτητων εγκαταστάσεων και προδιαγραφών προκειμένου να προχωρήσει σε μεγαλύτερα πλοία που θα μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες σε πολύ μεγαλύτερα κομμάτια. Επιπρόσθετα, λόγω της σημαντικής αύξησης της ζήτησης του φυσικού αερίου, σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, ο στόλος των LNG μέχρι το 2020 θα έχει μεγαλώσει και άλλο. Είναι γεγονός ότι η αγορά των LNG βρίσκεται στο απόγειο της, με Έλληνες εφοπλιστές να προχωρούν σε νέες παραγγελίες και να χτίζονται όλο και μεγαλύτερης χωρητικότητας πλοία. Η δομή και η αλλαγή του στόλου, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις τάσεις της ζήτησης του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου. Σύμφωνα με δημοσίευμα της ‘Tradewinds’ που εκδόθηκε στις 6 Ιουνίου του 2017 αυτήν την στιγμή ο στόλος φτάνει τα 433 πλοία LNG σε όλο τον κόσμο και 101 βρίσκονται υπό παραγγελία. Άρα στα επόμενα χρόνια ο στόλος των LNG θα αγγίζει τα 534 πλοία μεταφοράς LNG.

6.2. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά χώρα ναυπήγησης



Διάγραμμα 6-2. Αριθμός πλοίων LNG ανά χώρα ναυπήγησης

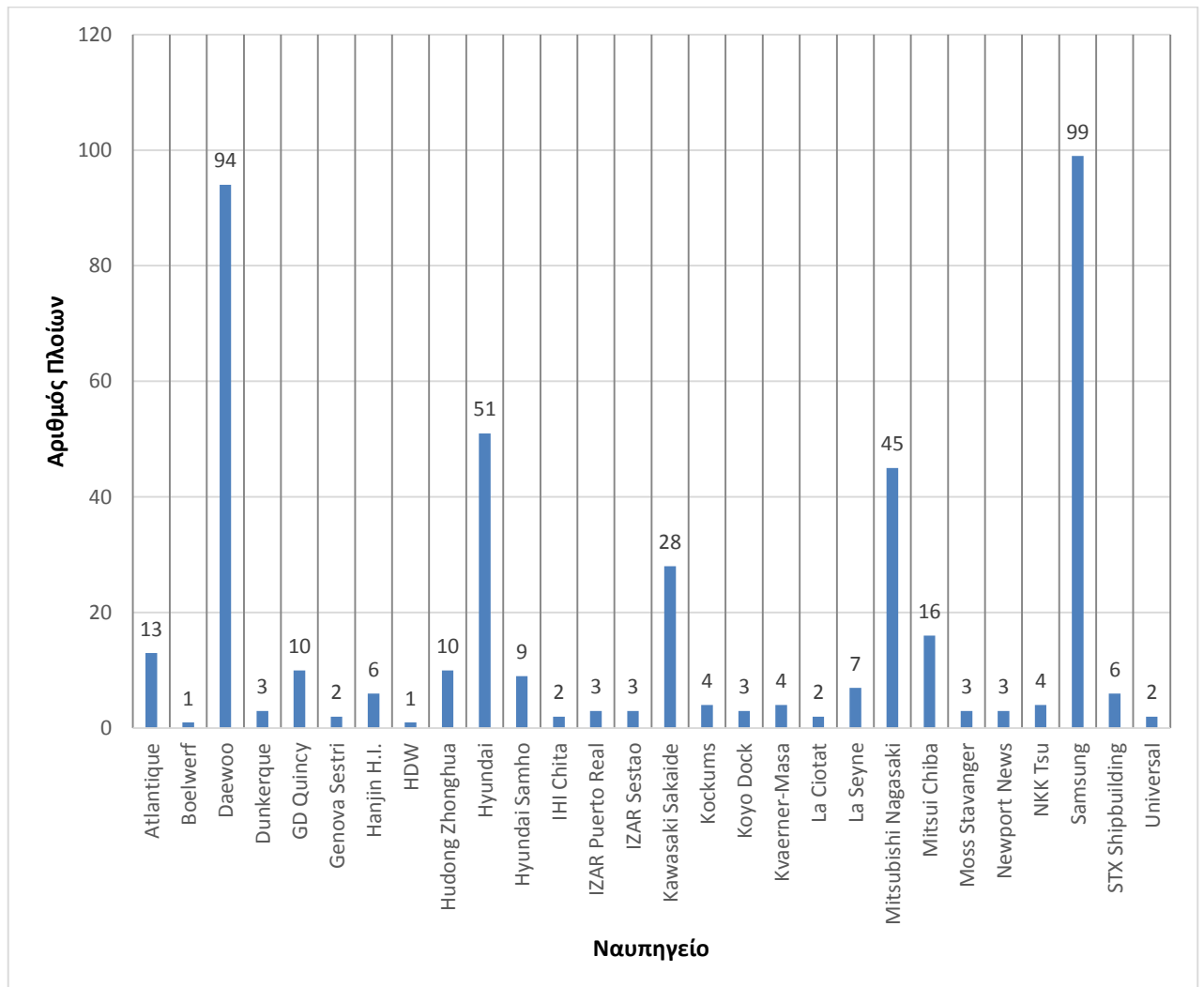
Το παραπάνω σχεδιάγραμμα απεικονίζει τις χώρες στις οποίες ναυπηγήθηκαν τα υπάρχοντα πλοία μεταφοράς LNG. Διαπιστώνουμε ότι κυριαρχούν δύο χώρες κυρίως, η Κορέα και η Ιαπωνία. Η Κορέα δείχνει να αποτελεί την χώρα στην οποία οι περισσότεροι εφοπλιστές επέλεξαν να χτίσουν, καθώς αυτή την στιγμή είναι πρώτη στην παγκόσμια ναυπηγική βιομηχανία με τους τρεις μεγαλύτερους ναυπηγικούς κολοσσούς: την Hyundai

Heavy Industries, την Daewoo shipbuilding και την Marine Engineering. Σύμφωνα με δημοσιεύματα, παρόλο που η οικονομική κρίση επηρέασε και την ναυπηγική ζώνη, τα κορεάτικα ναυπηγεία φαίνεται να διατηρούν την καλή τους εικόνα μέσω της μείωσης των ζημιών τους. Ωστόσο, στόχος τους είναι η αύξηση των οικονομικών τους μεγεθών.

Πιο συγκεκριμένα, το ναυπηγείο της SHI(Samsung Heavy Industries)το 2016 σημείωσε 5,3 δις ενώ το τρέχον έτος αύξησε την αξία των παραγγελιών της σε 6 δις. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι τέλη Μαρτίου, η SHI δέχτηκε ένα μεγάλο αριθμό παραγγελιών πλοίων μεταφοράς LNG. Το ίδιο συνέβη και με τα υπόλοιπα μεγάλα ναυπηγεία της Κορέας καθώς και εκείνα αύξησαν τα κέρδη τους το 2017 σε σχέση με το 2016. Πολλοί Έλληνες εφοπλιστές όπως ο Γ. Αγγελικούσης, Γ. Προκοπίου, Π. Λιβανός, Γ. Οικονόμου και Κ. Μαρτίνος επέλεξαν την Κορέα για να χτίσουν τα πλοία του στόλου τους καθώς δυστυχώς η Ελληνική Ναυπηγική Βιομηχανία δεν θα μπορούσε να χτίσει πλοία με τόσο ειδική τεχνογνωσία. Τέλος, βλέπουμε ότι ακολουθούν και άλλες χώρες ναυπήγησης με μικρότερα ποσοστά παραγγελιών όπως είναι το Βέλγιο, η Γαλλία, η Γερμανία κτλ.



6.3. Σύνθεση των πλοίων LNG ανά ναυπηγείο ναυπήγησης

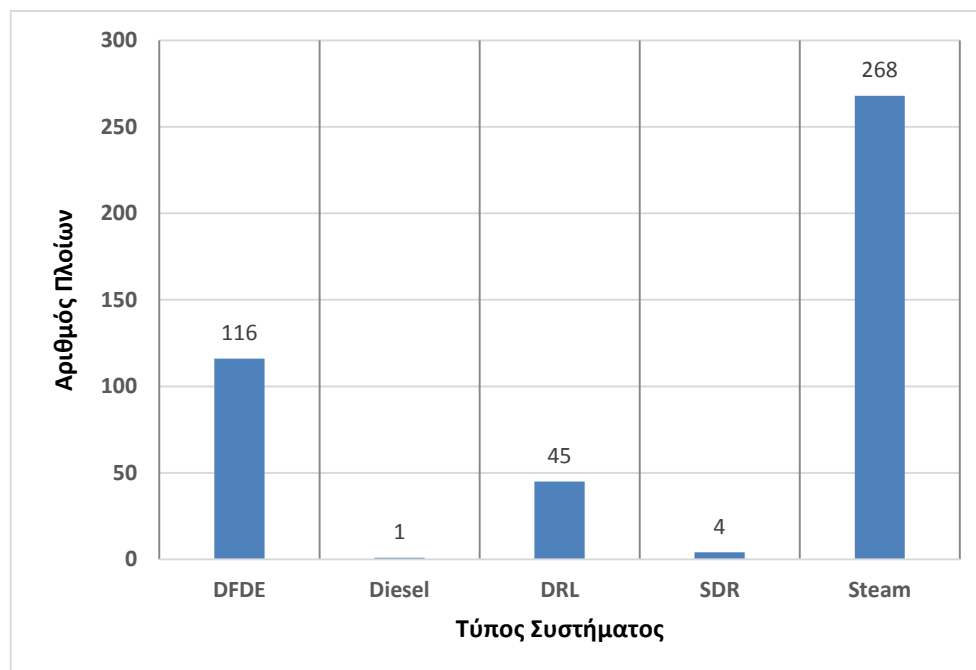


Διάγραμμα 6-3. Αριθμός πλοίων LNG ανά ναυπηγείο

Στο παραπάνω ραβδογράφημα, απεικονίζονται τα διάφορα ναυπηγεία σε διαφορετικές χώρες στα οποία επέλεξαν οι εφοπλιστές να χτίσουν τα πλοία τους. Όπως διαπιστώνεται από τους αριθμούς της κάθε στήλης που δείχνουν τον αριθμό των πλοίων που ναυπηγήθηκαν σε κάθε ναυπηγείο κυριαρχούν τρία πολύ μεγάλα ναυπηγεία αυτή την στιγμή που είναι στην πρώτη γραμμή και είναι τα εξής: η Hyundai, η Daewoo και η Samsung. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Κορέα και η Ιαπωνία είναι οι χώρες που ναυπηγήθηκαν τα περισσότερα πλοία μεταφοράς LNG. Ο λόγος αυτής της επιλογής έγκειται στο γεγονός ότι ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά για να χτιστεί σωστά ένα τέτοιο πλοίο είναι η καθαριότητα του ναυπηγείου.

Είναι πολύ σημαντικό κατά την διάρκεια της κατασκευής αυτών των πλοίων να τηρούνται κάποιοι κανόνες καθαριότητας δεδομένου ότι τα LNG φέρουν πολύ εξειδικευμένες δεξαμενές με λεπτά στρώματα μεμβρανών κλπ. Έτσι λοιπόν δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι ένας πολύ μεγάλος αριθμός πλοίων χτίστηκε στα παραπάνω ναυπηγεία καθώς είναι πολύ καθαρά. Τέλος, ένας ακόμα παράγοντας που συμβάλει στην προτίμηση αυτών των συγκεκριμένων ναυπηγείων είναι ότι έχουν το δικαίωμα και χτίζουν LNG με σύστημα φόρτωσης GT NO 96 και Mark III. Πιο συγκεκριμένα το τι σύστημα θα χρησιμοποιήσει το κάθε ναυπηγείο έχει να κάνει κυρίως με τον ποιον συνεργάζεται σχετικά με τα συστήματα αυτά. Αυτή την στιγμή το 95% του συνολικού στόλου LNG έχουν GT NO96 και MARK III.

6.4. Συστήματα πρόωσης πλοίων LNG



Διάγραμμα 6-4. Συστήματα πρόωσης πλοίων LNG

Στο παραπάνω ραβδογράφημα απεικονίζεται ο αριθμός των πλοίων LNG που ναυπηγήθηκαν από το 1969 έως το 2016. Το βασικό κριτήριο επιλογής συστημάτων πρόωσης για πλοία LNG είναι η ανάγκη καύσης boil-off αερίου, η οποία δημιούργησε μια εντελώς διαφορετική τάση σε σχέση με τον παραδοσιακό σχεδιασμό εμπορικών πλοίων. Μέχρι τις

αρχές της δεκαετίας του 2000, καθώς οι λέβητες ήταν το μόνο μέσο για την καύση boil-off αερίου, οι ατμοστρόβιλοι ήταν το ευρέως προτιμώμενο σύστημα πρόωσης. Το 2001, η GDF Suez παρήγγειλε τα δύο πρώτα πλοία LNG με σύστημα πρόωσης DFDE. Το νέο σύστημα πρόωσης έφερε σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά τη λειτουργική ευελιξία και πάνω από όλα την αποδοτικότητα, επιτρέποντας εξοικονόμηση καυσίμου έως και 40% σε σχέση με τους παραδοσιακούς ατμοστρόβιλους.

Το σύστημα πρόωσης DFDE έγινε γρήγορα το νέο πρότυπο για τα πλοία LNG, εξοπλίζοντας το 90% των νεότευκτων πλοίων το 2014. Διάφορες άλλες νέες τεχνολογίες πρόωσης, όπως η χαμηλής πίεσης βραδείας-ταχύτητας dualfuel ή η υψηλής πίεσης βραδείας-ταχύτητας αερίου-diesel, εισήλθαν πρόσφατα σε αυτήν την αγορά οδηγώντας σε περαιτέρω περικοπή των λειτουργικών δαπανών.

Στη συνέχεια παρατίθενται δύο ενδιαφέροντα διαγράμματα (πηγή Clarksons, 2015). Στο πρώτο διάγραμμα φαίνονται ο αριθμός του ενεργού στόλου LNG (>100,000 cbm) καθώς και οι νέες παραγγελίες πλοίων με βάση πάντα το σύστημα πρόωσης.

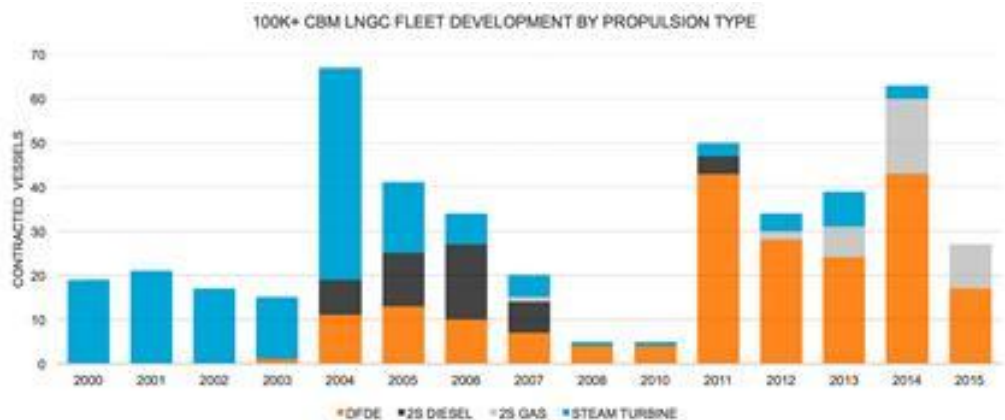


Διάγραμμα 6-5.Υπάρχοντα πλοία LNG και παραγγελίες

Πηγή:LNG propulsion alternatives

Στο δεύτερο ραβδογράφημα παρατίθεται ο αριθμός των παραγγελιών για πλοία LNG με βάση το σύστημα πρόωσης από το 2000 έως 2015. Και στα δύο ραβδογραφήματα φαίνεται

ξεκάθαρα η δραματική μείωση της κατασκευής πλοίων LNG με σύστημα ατμοστροβίλων και αντίστοιχα η κατακόρυφη αύξηση της εφαρμογής άλλων συστημάτων πρόωσης και ιδιαιτέρως DFDE.



Διάγραμμα 6-6. Αριθμός παραγγελιών πλοίων LNG ανά έτος με βάση το σύστημα πρόωσης

Πηγή: LNG propulsion alternatives

6.5. Ταχύτητα πλεύσης πλοίων LNG

Μεταξύ Νοεμβρίου 2006 και Νοεμβρίου 2009 παραδόθηκαν 119 νέα πλοία LNG. Τέσσερα πλοία ήταν κάτω από 135.000 κυβικά μέτρα, 78 πλοία ήταν Standard size και 37 πλοία μεγέθους Q-Flex / Q-Max. Από τα Standard size πλοία, τα 61 διέθεταν συστήματα πρόωσης ατμοστροβίλων και τα 17 είχαν συστήματα DFDE. Οι ταχύτητα σχεδιασμού για αυτά τα πλοία κυμαίνονταν από 18,5 κόμβους για το μικρότερο πλοίο έως 20,2 κόμβους, με τη μέση ταχύτητα να είναι 19,4 κόμβους. Όσον αφορά τα πλοία Q-Flex / Q-Max, και τα 37 είχαν συστήματα πρόωσης DRL και ταχύτητα 19,5 κόμβων.

Μετά τον Νοέμβριο του 2009 παραγγέλθηκαν 36 νέα Standard size πλοία LNG, τα οποία κυμαίνονταν από 145.000 έως 177.000 κυβικά μέτρα. Τα συστήματα πρόωσης για αυτά τα πλοία υποδεικνύουν μια αυξανόμενη προτίμηση για τα συστήματα DFDE, καθώς 25 από

αυτά τα πλοία είχαν πρόωση DFDE και 11 είχαν ατμοκίνητη πρόωση. Η ταχύτητα σχεδίασης για τα πλοία αυτά ήταν και πάλι κατά μέσο όρο 19,4 κόμβοι. Όσον αφορά τα πλοία μεγέθους Q-Flex/Q-Max, παραγγέλθηκαν 6 νέα πλοία με συστήματα πρόωσης DRL και ταχύτητα 19,5 κόμβους.

Η ταχύτητα των πλοίων LNG είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πλοία που μεταφέρουν χύδην φορτία. Ο μέσος όρος των 19,5 κόμβων έχει αποδειχτεί μια καλή ισορροπία μεταξύ του μεγέθους του συστήματος πρόωσης και της κατανάλωσης καυσίμου έναντι της απώλειας φορτίου λόγω του boil-off αερίου ή της αυξημένης κατανάλωσης ισχύος/καυσίμου για τη λειτουργία της μονάδας επανυγροποίησης, εάν υπάρχει. Λόγω των περιορισμών στους τερματικούς σταθμούς LNG, τα περισσότερα πλοία μεγέθους 180.000 κυβικών μέτρων ή λιγότερο είναι σχεδιασμένα να έχουν μέγιστο βύθισμα περίπου 11,5 μέτρων, ενώ οι μεγαλύτεροι τερματικοί σταθμοί μπορούν να φιλοξενήσουν πλοία με μέγιστο βύθισμα 12,0 μέτρων. Όλα τα πλοία Standard size είναι μονής έλικας, αλλά η απαιτούμενη ισχύς για την ταχύτητα των Q-Flex/Q-Max απαιτεί λύσεις διπλής έλικας.

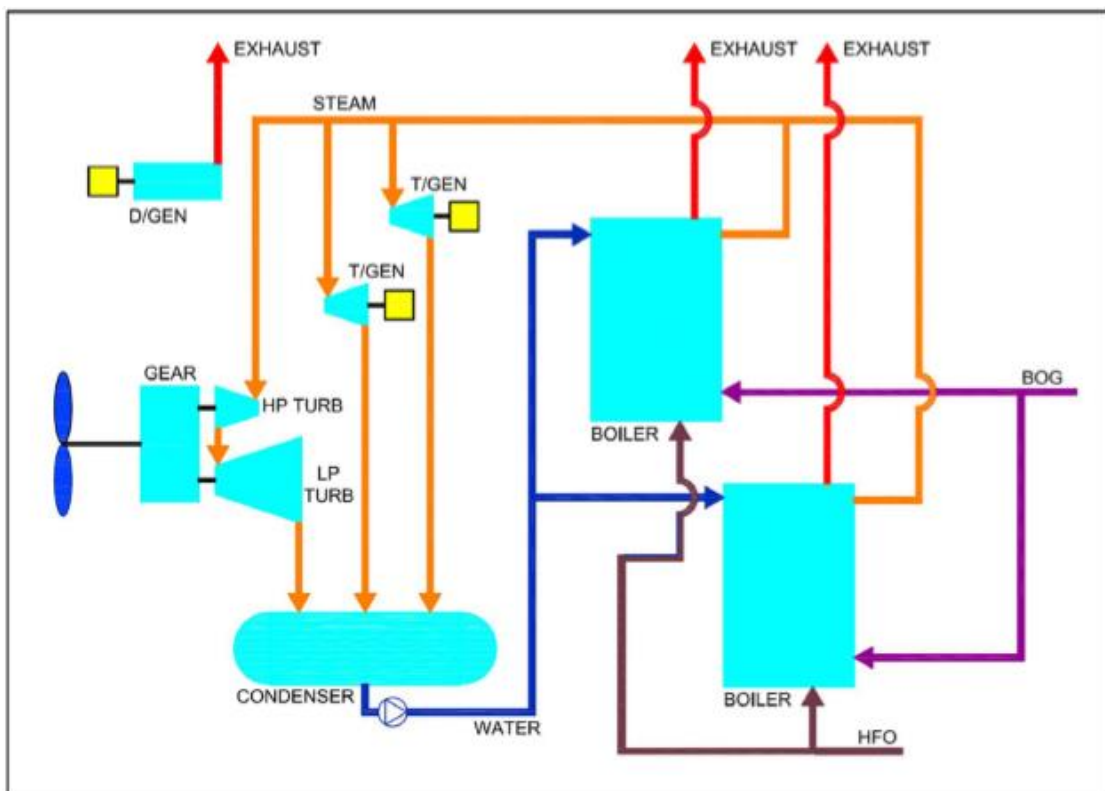
6.6. Ατμοστρόβιλη πρόωση

Η πλειονότητα των πλοίων LNG που υπάρχουν σήμερα χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα πρόωσης. Το σύστημα πρόωσης με ατμοστρόβιλο είναι μια δοκιμασμένη λύση και παρέχει μια απλή και αξιόπιστη μέθοδο διαχείρισης του boil-off αερίου. Οποιαδήποτε έλλειψη σε διαθέσιμο boil-off αέριο για καύση μπορεί να συμπληρωθεί με HFO ή με εξάτμιση του LNG για να δημιουργηθεί εξαναγκασμένο boil-off αέριο. Στην περίπτωση των πλοίων Q-Flex/Q-Max, τα οποία πρέπει να είναι διπλής έλικας, είναι πολύ δύσκολο να τοποθετηθούν παράλληλες διατάξεις ατμοστρόβιλων στα σχετικά περιορισμένα μηχανοστάσια και να έχουν ακόμα επαρκή χώρο για τον συμπυκνωτή. Συνεπώς, η πρόωση με ατμοστρόβιλους δεν θεωρείται ως λύση για τα πλοία Qflex/Qmax.

Μια τυπική εγκατάσταση ατμού αποτελείται από δύο λέβητες που διασταυρώνονται και τροφοδοτούν ατμό έναν μειωτήρα που οδηγεί μία μόνο έλικα. Ο ατμός τροφοδοτεί επίσης βοηθητικές διατάξεις, με κυριότερη τις δύο στρόβιλο-γεννήτριες που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο πλοίο. Η ισχύς κάθε στρόβιλο-γεννήτριας βασίζεται στη μέγιστη απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος που κανονικά απαιτείται κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης.

Τοποθετούνται επίσης μία, ή περιστασιακά δύο, βοηθητικές γεννήτριες ντίζελ. Το σχήμα παρακάτω είναι μια αναπαράσταση ενός τέτοιου συστήματος.

Τα συστήματα πρόωσης με αμοστρόβιλους έχουν τη χαμηλότερη συνολική απόδοση σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα διαθέσιμα συστήματα πρόωσης. Κανονικά, όλο το boil-off αέριο καταναλώνεται και το HFO είναι απαραίτητο για να συμπληρώσει τη ζήτηση ενέργειας. Σε περιόδους χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, το boil-off αέριο μπορεί να καεί στον λέβητα και ο ατμός συμπυκνώνεται και διασκορπίζεται στη θάλασσα.



Διάγραμμα 6-7. Απλοποιημένη διάταξη αμοστρόβιλου συστήματος πρόωσης πλοίου LNG

Πηγή: LNG propulsion alternatives

Τα συστήματα πρόωσης αμοστρόβιλων έχουν χαμηλές εκπομπές NOx σε σύγκριση με τα συστήματα ντίζελ, αλλά παράγουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες CO2. Όταν

λειτουργούν με boil-off αέριο, υπάρχουν ελάχιστες εκπομπές SO_x αλλά όταν συμπληρώνεται HFO, οι εκπομπές SO_x θα είναι ανάλογες με την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου.

Τα συστήματα αμμοστροβίλων έχουν μακρύ ιστορικό αξιοπιστίας στα πλοία LNG. Ο ίδιος ο αμμοστρόβιλος είναι απλός και εύκολος στη συντήρηση. Τα συνεργαζόμενα συστήματα όπως οι λέβητες, οι συμπυκνωτές, οι θερμαντήρες αέρα, οι εξοικονομητές κ.λπ. χρειάζονται επίσης συντήρηση, αλλά συνολικά η αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος είναι υψηλή.

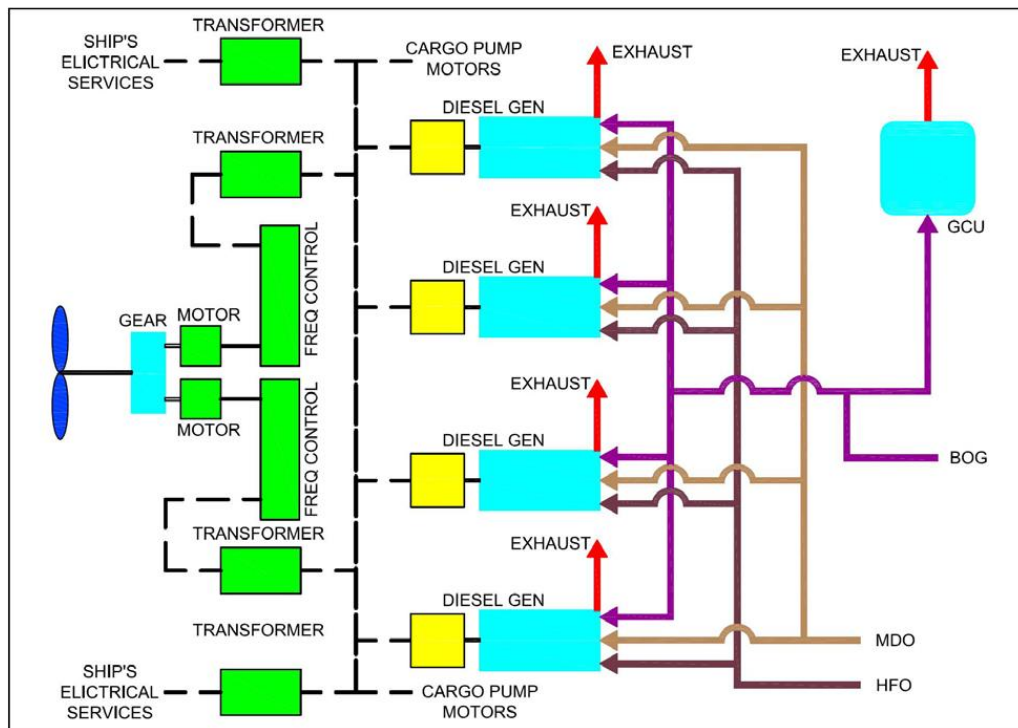
Η πρόωση με αμμοστρόβιλο αποτελεί ένα αξιόπιστο σύστημα για την εύκολη διαχείριση του boil-off αερίου, αλλά με την υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα πρόωσης.

Ένα ακόμη πιθανό πρόβλημα είναι η εξεύρεση προσωπικού που έχει τα προσόντα για τη λειτουργία μεγάλων συστημάτων αμμοστροβίλων, δεδομένου ότι κανένας άλλος τύπος πλοίων δεν χρησιμοποιεί συστήματα αμμοστροβίλων σε νέες κατασκευές.

6.7. Πρόωση ηλεκτρο-πετρελαιοκινητήρων διπλού καυσίμου(DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC)

Οι πετρελαιοκινητήρες διπλού καυσίμου μπορούν να λειτουργούν με boil-off αέριο, πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO) ή HFO. Το boil-off αέριο συλλέγεται από τις δεξαμενές φορτίου, συμπιέζεται περίπου στα 6 bar, και οδηγείται στις ηλεκτρογεννήτριες μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων διπλού τοιχώματος. Μία μικρή ποσότητα (περίπου 1%) MDO απαιτείται επίσης ως πιλοτικό καύσιμο κατά τη λειτουργία με αέριο. Οι μεγαλύτερες διαθέσιμες μηχανές διπλού καυσίμου αναπτύσσουν ισχύ από 950 έως 1000 kW ανά κύλινδρο και είναι διαθέσιμες είτε σε διάταξη εν σειρά με 6 έως 9 κυλίνδρους είτε σε διάταξη "V" με 12 έως 18 κυλίνδρους. Ο αριθμός των μηχανών και η διάταξη των κυλίνδρων επιλέγεται έτσι ώστε να παρέχεται το βέλτιστο δυνατό φορτίο για τις μηχανές που απαιτείται να είναι σε λειτουργία κατά τους διάφορους τρόπους λειτουργίας του πλοίου. Ένα πλοίο LNG 155.000 m³ έχει συνήθως τέσσερις κύριες γεννήτριες ντίζελ. Το 2009 σημειώθηκαν νέες εξελίξεις στην τεχνολογία ντίζελ οι οποίες έκαναν δυνατή την ταυτόχρονη καύση ντίζελ και αερίου στις μηχανές DFDE.

Οι γεννήτριες ντίζελ τροφοδοτούν όλη την ηλεκτρική ισχύ του πλοίου τόσο για την πρόωση όσο και για τις λειτουργίες του πλοίου. Η ισχύς παράγεται συνήθως στα 6.600 Volt και διανέμεται μέσω μετασχηματιστών στο σύστημα ελέγχου πρόωσης και στους αντίστοιχους ηλεκτροκινητήρες. Η ισχύς διανέμεται επίσης μέσω ενός συστήματος 440 Volt στα βοηθητικά μηχανήματα και στις ηλεκτρικές λειτουργίες του πλοίου. Για την πρόωση χρησιμοποιείται ένας ηλεκτροκινητήρας χαμηλής ταχύτητας ή δύο κινητήρες μέσης ταχύτητας προσαρμοσμένους στην προπέλα μέσω ενός μονοβάθμιου μειωτήρα. Οι κινητήρες μέσης ταχύτητας είναι μικρότεροι, ελαφρύτεροι και πιο αποδοτικοί, αλλά απαιτούν την ύπαρξη μειωτήρα καθώς και τα συναφή συστήματα λίπανσης και ψύξης. Τα περισσότερα Standard size πλοία LNG με σύστημα πρόωσης DFDE που παραδίδονται ή έχουν παραγγελθεί είναι μονής προπέλας. Ένα τυπικό σύστημα DFDE απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 6-8. Απλοποιημένη διάταξη πρόωσης ηλεκτρο-πετρελαιοκινητήρων διπλού καυσίμου πλοίου LNG

Πηγή: LNG propulsion alternatives

Τα συστήματα DFDE έχουν υψηλή απόδοση σε σύγκριση με τα συστήματα αμμοστροβίλων. Οι μηχανές διπλού καυσίμου δεν έχουν τόσο υψηλές αποδόσεις όσο οι μεγάλες δίχρονες μηχανές στα συστήματα DRL, αλλά η συνολική αποδοτικότητα για τα πλοία DRL θα πρέπει επίσης να καλύπτει τις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα καύσιμα που απαιτούνται για την παραγωγή ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας επανυδροποίησης. Η απαίτηση ισχύος για τη λειτουργία επανυδροποίησης είναι μεγάλη ώστε να καταστήσει την συνολική αποδοτικότητα των DFDE και DRL συστημάτων περίπου την ίδια.

Για ένα Standard size πλοίο LNG, η ροή του boil-off αερίου σε ταξίδι με φορτίο υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας είναι συνήθως πολύ κοντά στη ροή κατανάλωσης καυσίμου. Εάν το boil-off αέριο είναι ανεπαρκές, μπορεί να γίνει μετάβαση μίας ή περισσότερων μηχανών στη λειτουργία πετρελαίου. Οι περισσότερες από τις παλαιότερες μηχανές μπορούν να λειτουργήσουν μόνο με φυσικό αέριο (εκτός από το πιλοτικό καύσιμο) ή πετρέλαιο αλλά όχι και τα δύο. Ο νέος σχεδιασμός μηχανών όμως επιτρέπει την καύση πετρελαίου και αερίου ταυτόχρονα σε ένα ευρύ φάσμα αναλογιών. Η ταχύτητα του πλοίου μπορεί επίσης να προσαρμοσθεί έτσι ώστε το απαιτούμενο καύσιμο να ταιριάζει με τον ρυθμό κατανάλωσης δηλαδή να μεγαλώσει εάν υπάρχει υπερβολικό αέριο ή να μειωθεί εάν υπάρχει πολύ λίγο.

Για περιόδους όπου το πλοίο είναι σε αδράνεια ή οι καιρικές συνθήκες απαιτούν μείωση ταχύτητας ή όταν το πλοίο βρίσκεται αγκυροβολημένο, το boil-off αέριο υπερβαίνει κατά πολύ τις απαιτήσεις καυσίμου συνεπώς πρέπει να γίνουν οι σχετικές ενέργειες για την ανάληψη του επιπλέον αερίου. Εάν υπάρχει λέβητας για θέρμανση με ατμό του HFO και για άλλες λειτουργίες, τότε το αέριο μπορεί να καταναλωθεί στον λέβητα και η περίσσεια ατμού να οδηγηθεί στον συμπυκνωτή για να εκκενωθεί έτσι η θερμότητα στη θάλασσα. Εναλλακτικά, μπορεί να εγκατασταθεί μονάδα καύσης αερίου (GCU). Αυτή αποτελείται από ένα μεγάλο κλειστό θάλαμο καύσης όπου καίγεται το αέριο και στη συνέχεια αραιώνεται με καθαρό αέρα. Κατά το σχεδιασμό ενός πλοίου για μία συγκεκριμένη εμπορική διαδρομή, εάν το ταξίδι περιλαμβάνει συνήθως περιόδους αδράνειας ή χαμηλής ισχύος, όπως για κατά τη διέλευση καναλιών, μία μονάδα επανυδροποίησης προσφέρει τη δυνατότητα αποφυγής σπατάλης του boil-off αερίου στη μονάδα καύσης GCU. Κατά τη διάρκεια των ταξιδιών χωρίς φορτίο πρέπει να υπάρχει αρκετό επιπλέον φορτίο LNG για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αλλιώς οι μηχανές μπορούν να χρησιμοποιήσουν πετρέλαιο ως καύσιμο.

Δεδομένου ότι σχεδόν όλο το καύσιμο που καίγεται κατά το ταξίδι με φορτίο ενός πλοίου με σύστημα DFDE είναι φυσικό αέριο, οι εκπομπές σε SOx και CO2 είναι πολύ χαμηλές. Οι εκπομπές NOx είναι χαμηλότερες από τις τυπικές τετράχρονες μηχανές που λειτουργούν με πετρέλαιο, αλλά όχι τόσο χαμηλές όσο στα συστήματα ατμοστροβίλων. Όταν λειτουργούν με πετρέλαιο, οι εκπομπές είναι οι ίδιες με αυτές για οποιοδήποτε τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα και το SOx θα είναι ανάλογο με την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου.

Υπάρχουν μόνο λίγα χρόνια λειτουργικής εμπειρίας για τα συστήματα DFDE, αλλά τα στοιχεία που απαρτίζουν το συγκεκριμένο σύστημα έχουν αποδεδειγμένο ιστορικό υψηλής αξιοπιστίας και ευκολίας συντήρησης. Τα μεσαία ταχύτητας DFDE συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε κρουαζιερόπλοια εδώ και πολλά χρόνια ενώ έχουν τοποθετηθεί και σε ορισμένους άλλους τύπους πλοίων, όπως roll on/roll off και πετρελαιοφόρα. Η λειτουργική εμπειρία των παραπάνω πλοίων έχει αποδείξει ότι αυτά τα συστήματα πρόωσης είναι πολύ αξιόπιστα. Η τεχνολογία διπλού καυσίμου χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογές στη στεριά για πρώτη φορά το 1997. Οι πρώτες εφαρμογές σε πλοία LNG ξεκίνησαν μετά το 2004, αλλά η μέχρι τώρα εμπειρία είναι πολύ θετική.

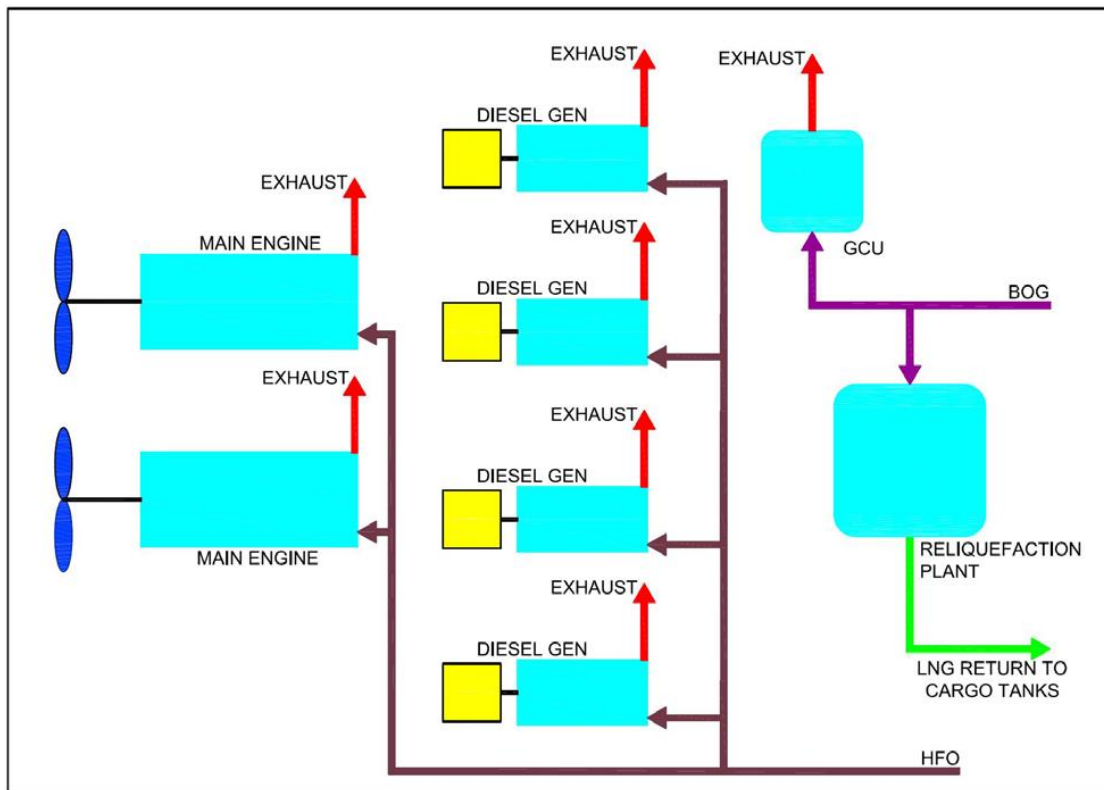
6.8. Συστήματα χαμηλής ταχύτητας με επανυγροποίηση (DRL)

Οι κινητήρες χαμηλής ταχύτητας έχουν γίνει η προτιμώμενη λύση για την πρόωση σε όλα σχεδόν τα μεγάλα πλοία για μεταφορά φορτίων όπως δεξαμενόπλοια, φορτηγά και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Δεδομένου ότι η έλικα είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον κινητήρα δεν υπάρχουν απώλειες στον μειωτήρα, οι κινητήρες έχουν τη μεγαλύτερη θερμική απόδοση σε σχέση με όλους τους άλλους, και μπορούν να λειτουργούν με HFO (Heavy Fuel Oil), το λιγότερο ακριβό από τα διαθέσιμα καύσιμα. Μόνο η δυσκολία στην αντιμετώπιση του boil-off αερίου, εμπόδισε στο παρελθόν την ευρεία εφαρμογή τους σε πλοία LNG. Με την αύξηση των μεγεθών των LNG πλοίων σε QFlex και Q-Max, ο όγκος του boil-off αερίου των δεξαμενών έχει αυξηθεί σημαντικά και είναι τώρα εντός του εύρους δυνατοτήτων του εξοπλισμού επανυγροποίησης.

Υπάρχουν πλέον 45 πλοία σε λειτουργία με εξοπλισμό επανυγροποίησης. Μια τροποποίηση αυτού του συστήματος έχει προταθεί με βάση τον πετρελαιοκινητήρα χαμηλής

ταχύτητας ο οποίος θα μπορεί να δέχεται την εισαγωγή συμπιεσμένου φυσικού αερίου στους κυλίνδρους. Αυτοί οι πετρελαιοκινητήρες απαιτούν το boil-off αέριο να έχει συμπιεστεί στα 200 έως 300 bar και μπορούν να λειτουργούν με οποιοδήποτε μίγμα πετρελαίου και αερίου. Μέχρι στιγμής κανένα πλοίο με αυτήν την εφαρμογή δεν έχει παραγγελθεί, αλλά ένας τέτοιος στατικός κινητήρας λειτουργεί στην Ιαπωνία από το 1994. Η δυνατότητα καύσης αερίου στους πετρελαιοκινητήρες χαμηλής ταχύτητας δίνει μεγαλύτερη ευελιξία κατά τη λειτουργία και επιτρέπει στον χειριστή να επιλέξει μεταξύ επανυγροποίησης και καύσης του boil-off αερίου ανάλογα με τα επίπεδα τιμών. Μια μονάδα καύσης αερίου GCU ή μια δεύτερη μονάδα επανυγροποίησης θα ήταν και πάλι απαραίτητη ως εφεδρική όταν το πλοίο είναι αγκυροβολημένο και η μία μονάδα επανυγροποίησης είναι εκτός λειτουργίας.

Ένα πλοίο DRL σε μέγεθος Q-Flex / Q-Max έχει συνήθως δύο κύριες μηχανές καύσης HFO, καθεμία από τις οποίες οδηγεί μία προπέλα σταθερού βήματος. Υπάρχουν 4 ή 5 γεννήτριες πετρελαίου για να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ισχύος των μονάδων επανυγροποίησης, των αντλιών φορτίου και άλλων λειτουργιών του πλοίου. Η ισχύς που απαιτείται για την επανυγροποίηση σε ένα πλοίο 215.000 κυβικών μέτρων μπορεί να είναι κατά μέσο όρο 6 MW στο ταξίδι με φορτίο και 5 MW στο ταξίδι χωρίς φορτίο. Κατά την εκφόρτωση δεν απαιτείται επανυγροποίηση καθώς το αέριο επιστρέφει στην στεριά. Παρέχεται όμως μια μονάδα καύσης αερίου GCU για την απόρριψη του boil-off αερίου, όποτε δεν είναι διαθέσιμη η μονάδα επανυγροποίησης. Το σύστημα πρόωσης DRL φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 6-9. Απλοποιημένη διάταξη πρόωσης αργόστροφου πετρελαιοκινητήρα με επανυγροποίηση

Πηγή: LNG propulsion alternatives

6.9. Συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων πρόωσης πλοίων LNG

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι συνολικές καταναλώσεις καυσίμου των συστημάτων DFDE και DRL είναι συγκρίσιμες μόνο όταν λαμβάνεται υπόψη το καύσιμο που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας επανυγροποίησης. Τα πλοία με DRL συνεχώς επανυγροποιούν το boil-off αέριο κατά την πλεύση και κατά την περίοδο που είναι ακυροβλημένα. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι όλο υο αρχικό φορτίο μπορεί να παραδοθεί.

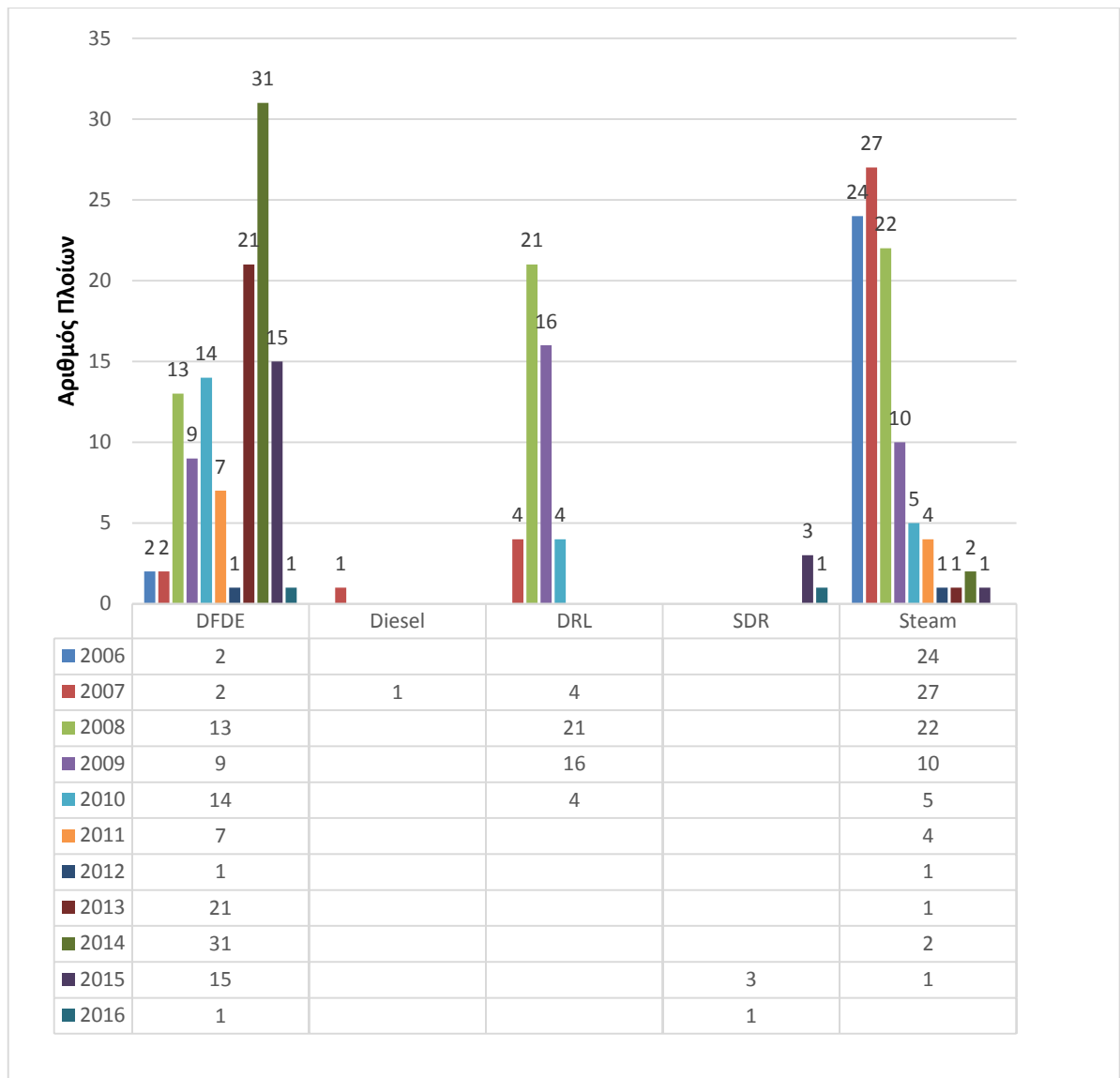
Οι εκπομπές από ένα πλοίο με σύστημα DRL που λειτουργεί με HFO θα είναι παρόμοιες με άλλα μεγάλα φορτηγά πλοία. Οι εκπομπές NOx θα είναι υψηλότερες από οποιοδήποτε άλλο εναλλακτικό σύστημα πρόωσης και οι εκπομπές SOx θα είναι ανάλογες με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, η οποία είναι συνήθως υψηλότερη στο HFO από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο πλοίων. Οι εκπομπές CO2 θα είναι σχετικά χαμηλές λόγω της υψηλής απόδοσης των μεγάλων πετρελαιοκινητήρων, αλλά όχι τόσο χαμηλές όσο των DFDE λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας του πετρελαίου σε άνθρακα. Καθώς η παγκόσμια τάση τείνει όλο και περισσότερο προς τον περιορισμό των εκπομπών που επιτρέπονται από

τα πλοία, όλο και περισσότερες περιοχές θέτουν περιορισμούς στον τύπο καυσίμου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπεριλαμβανομένης της απαγόρευσης της χρήσης του HFO κοντά στην ακτή. Αυτό μπορεί να είναι ένα πρόβλημα στην λειτουργία των πλοίων με DRL και μειώνει επίσης το οικονομικό όφελος που προέρχεται από την καύση "φθηνών" καυσίμων.

Μέσω της διαχρονικής εμπειρίας, οι πετρελαιοκινητήρες χαμηλής ταχύτητας έχουν αποδειχθεί ότι είναι η πιο αξιόπιστη και οικονομική επιλογή για την πρόωση στα περισσότερα από τα μεγάλα φορτηγά πλοία. Ανταλλακτικά, υπηρεσίες και έμπειρο προσωπικό είναι άμεσα διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τα πλοία με σύστημα DRL είναι οι μονάδες επανυδροποίησης. Οι μελέτες HAZID αυτού του συστήματος που έχουν πραγματοποιηθεί από νηογνώμονες έχουν δείξει ότι οι κίνδυνοι και τα επίπεδα ασφάλειας της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος επί του πλοίου κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα.

Βέβαια μόνο μερικά πλοία αυτού του τύπου έχουν τεθεί σε υπηρεσία για τη μεταφορά φορτίου LNG, έτσι το επιχειρησιακό ιστορικό είναι περιορισμένο. Από την άλλη πλευρά, αντίστοιχες μονάδες λειτουργούν εδώ και χρόνια στην στεριά και η τεχνολογία θεωρείται αξιόπιστη για χερσαίες εφαρμογές.

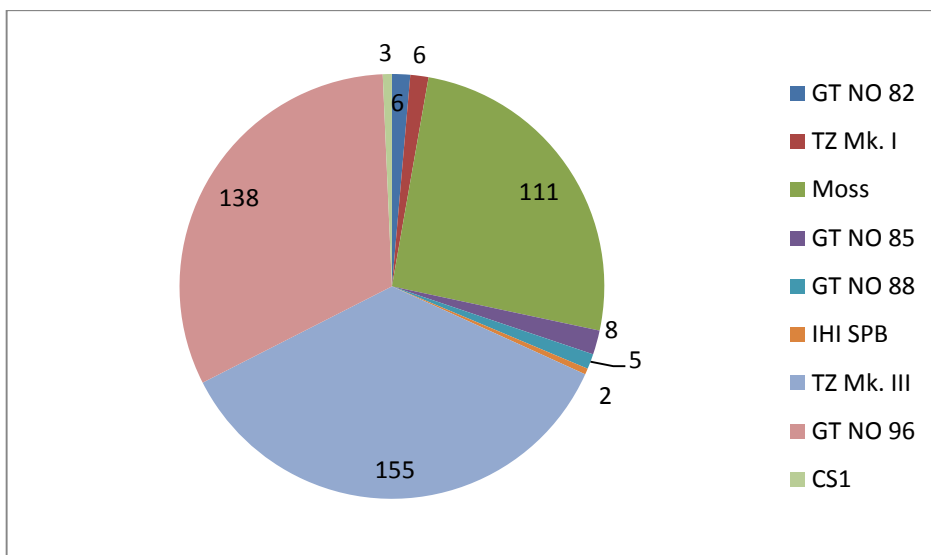
Παρακάτω παρατίθεται ένα ραβδογράφημα όπου φαίνεται ο αριθμός των πλοίων LNG που ναυπηγήθηκαν από το 2006 έως το 2016, με βάση το σύστημα πρόωσης. Στο συγκεκριμένο ραβδογράφημα φαίνεται ξεκάθαρα η στροφή από την κατασκευή πλοίων με συστήματα πρόωσης ατμοστροβίλου στην κατασκευή πλοίων με συστήματα DFDE. Ειδικότερα από το 2010 και μετά βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των νεότευκτων πλοίων είναι DFDE, ενώ πλέον η ναυπήγηση πλοίων ατμοστροβίλου είναι από ελάχιστη έως μηδενική. Είναι λοιπόν σαφές ότι παρότι ο αριθμός των πλοίων LNG με ατμοστροβίλο παραμένει σημαντικός (λόγω των παλαιότερων ναυπηγήσεων), η πλήρης αντικατάστασή τους από πλοία με πιο σύγχρονα συστήματα πρόωσης (κυρίως DFDE) δείχνει αναπόφευκτη.



Διάγραμμα 6-10. Αριθμός πλοίων LNG με βάση το σύστημα πρόωσης (2000-2016)

6.10.Συστήματα δεξαμενών φορτίου πλοίων LNG

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω υπάρχουν δύο είδη δεξαμενών των πλοίων μεταφοράς LNG οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που έχουν κατασκευαστεί, σε αυτοφερόμενες (self-supporting) και μεμβρανικές (membrane-type).



Διάγραμμα 6-11. Αριθμός πλοίων LNG με βάση το σύστημα δεξαμενών φορτίου

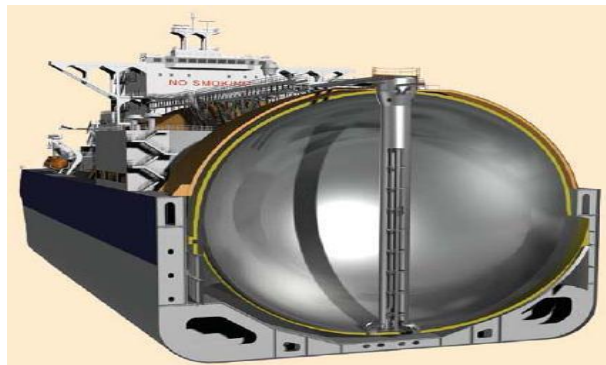
Σύμφωνα με την παραπάνω διαγραμματική προσέγγιση που αφορά τα διάφορα συστήματα δεξαμενών των πλοίων που ναυπηγήθηκαν από το 1969 έως το 2016 παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος του στόλου είχε δεξαμενές τύπου TZ.MK III,GT96 και MOSS. Παρόλο που πολλά πλοία LNG ήταν τύπου MOSS ,σήμερα είναι ελάχιστα τα ναυπηγεία που αναλαμβάνουν να φτιάξουν τέτοιου τύπου δεξαμενές. Αυτή την στιγμή ,το 95% του παγκόσμιου στόλου έχει δεξαμενές τύπου TZ.MKIII και GT96. Οι λόγοι επιλογής των δύο αυτών συγκεκριμένων συστημάτων εξηγούνται παρακάτω.

6.10.1. Δεξαμενές Τύπου MOSS

Παλαιότερα ,τα περισσότερα πλοία LNG ήταν τύπου MOSS και αποτελούνταν από 4 ή 5 σφαιρικές δεξαμενές. Ο σχεδιασμός αυτών των δεξαμενών ήταν ως εξής :Το εξωτερικό της κάθε δεξαμενής έχει ένα παχύ στρώμα αφρώδους μόνωσης που είτε τοποθετείται στο πάνελ ή σε μία πιο μοντέρνα σχεδίαση τυλίγεται στην δεξαμενή. Πάνω από αυτή τη μόνωση είναι ένα λεπτό στρώμα "αλουμινόχαρτου" που επιτρέπει τη στεγανοποίηση της μόνωσης μέσα σε ένα περιβάλλον αζώτου. Αυτό το περιβάλλον ελέγχεται διαρκώς για την παρουσία μεθανίου το οποίο υποδεικνύει διαρροή της δεξαμενής. Επιπρόσθετα, το εξωτερικό της δεξαμενής ελέγχεται κάθε τρεις μήνες για τυχόν κρύες κηλίδες που θα έδειχναν καταστροφή της

μόνωσης. Η δεξαμενή στηρίζεται γύρω από την περιφέρεια της από τον ισημερινό δακτύλιο ο οποίος στηρίζεται από ένα μεγάλο κυκλικό περίζωμα το οποίο παίρνει το βάρος της δεξαμενής κάτω στη δομή των πλοίων.

Αυτή η φούστα επιτρέπει στη δεξαμενή να επεκτείνεται και να συστέλλεται κατά τη λειτουργία ψύξης και προθέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της ψύξης ή της προθέρμανσης η δεξαμενή μπορεί να επεκταθεί ή να συστέλλεται περίπου 60 cm (24 in). Λόγω αυτής της επέκτασης και συστολής όλες οι σωληνώσεις στη δεξαμενή έρχονται στην κορυφή και συνδέονται με τις γραμμές των πλοίων μέσω εύκαμπτων φυσητήρων. Μέσα σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ένα σύνολο κεφαλών ψεκασμού. Αυτές οι κεφαλές είναι τοποθετημένες γύρω από τον ισημερινό δακτύλιο και χρησιμοποιούνται για ψεκασμό Υγρού LNG πάνω στα τοιχώματα της δεξαμενής για τη μείωση της θερμοκρασίας. Οι δεξαμενές έχουν κανονικά πίεση εργασίας έως 22 kPa (3.2 psi), αλλά αυτό μπορεί να αυξηθεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Αν και οι δύο κύριες αντλίες αντιμετωπίσουν μηχανικό πρόβλημα τότε για την εκφόρτωση οι βαλβίδες ασφάλειας/εκτόνωσης της δεξαμενής ρυθμίζονται στο 1 bar. Στη συνέχεια ανοίγει η γραμμή πλήρωσης που πηγαίνει στον πυθμένα της δεξαμενής μαζί με τις γραμμές πλήρωσης των άλλων δεξαμενών στο πλοίο. Τέλος, η πίεση αυξάνεται στη δεξαμενή με τις ελαττωματικές αντλίες που ωθούν το φορτίο στις άλλες δεξαμενές όπου μπορεί να αντληθεί.



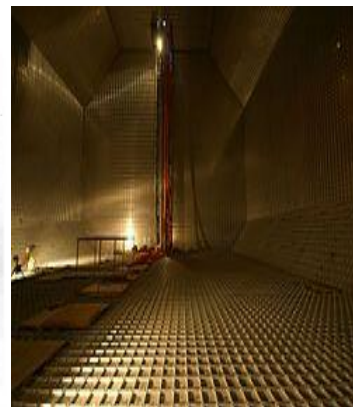
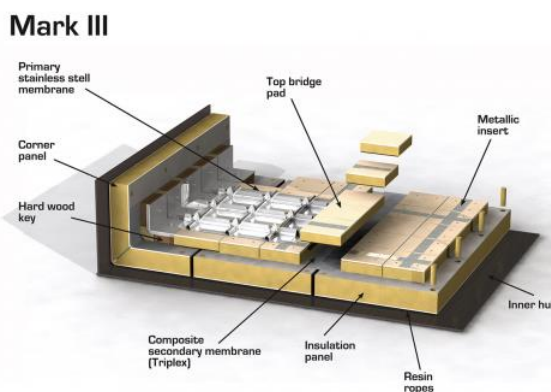
6.10.2. ΙΗΙ Πρισματικές δεξαμενές Τύπου Β

Οι Πρισματικές δεξαμενές σχεδιάστηκαν από την Ishikawajima-Harima Heavy Industries. Ανήκουν στην κατηγορία των αυτοφερόμενων δεξαμενών τύπου Β (SPB). Σήμερα, ελάχιστα πλοία έχουν αυτού του τύπου δεξαμενές. Οι δεξαμενές τύπου Β

περιορίζουν τα προβλήματα που προκαλούνται από διάφορα χτυπήματα κάτι που αποτελεί μια βελτίωση σε σχέση με τις δεξαμενές μεταφοράς μεμβρανών LNG οι οποίες ενδέχεται να σπάσουν λόγω της πρόσκρουσης, καταστρέφοντας έτσι το κύτος του πλοίου. Επιπλέον, οι δεξαμενές LNG τύπου Β του IMO μπορούν να υποστούν εσωτερικές ζημιές που οφείλονται, για παράδειγμα, σε απελευθερώσεις εσωτερικού εξοπλισμού. Αυτό ήταν κάτι που λήφθηκε υπόψη σε μετέπειτα σχεδιασμούς μετά από μερικά περιστατικά που συνέβησαν μέσα σε δεξαμενές LNG μεμβράνης.

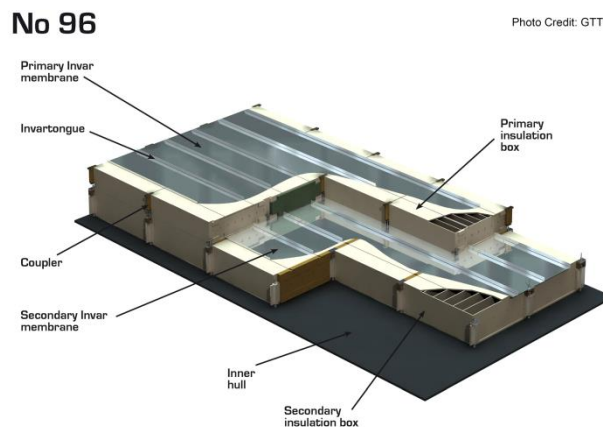
6.10.3. Δεξαμενές Μembrάνης TGZ MARK III

Αυτού του είδους οι δεξαμενές αναπτύχθηκαν από την εταιρεία Technigaz. Είναι δεξαμενές μεμβρανικού τύπου και η μεμβράνη της κάθε δεξαμενής αποτελείται από χάλυβα με ειδικές 'βάφλες' που απορροφούν τις θερμικές διαστολές όταν πλέον οι δεξαμενές έχουν κρυώσει. Το κύριο εμπόδιο είναι κατασκευασμένο από κυματοειδές ανοξείδωτο χάλυβα πάχους περίπου 1,2 mm και είναι αυτό που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό φορτίο (ή τον ατμό σε κατάσταση κενής δεξαμενής). Αυτό ακολουθείται από μία πρωτεύουσα μόνωση η οποία με τη σειρά της καλύπτεται από ένα δευτερεύον φράγμα κατασκευασμένο από ένα υλικό που ονομάζεται «τριπλό» το οποίο είναι βασικά ένα μεταλλικό φύλλο που είναι τοποθετημένο μεταξύ φύλλων υαλοβάμβακα και συμπιέζεται μεταξύ τους. Αυτό καλύπτεται και πάλι από μια δευτερεύουσα μόνωση η οποία με τη σειρά της στηρίζεται από τη δομή της γάστρας του πλοίου από το εξωτερικό.



6.10.4. Δεξαμενές τύπου GT96

Πρόκειται για δεξαμενές που αναπτύχθηκαν από την Gas Transport. Είναι δεξαμενές μεμβρανικού τύπου οι οποίες περιβάλλονται από μία πρωτεύουσα και μία δευτερεύουσα λεπτή μεμβράνη η οποία είναι κατασκευασμένη από ένα υλικό που ονομάζεται invar. Η συγκεκριμένη μεμβράνη, δεν έχει καμία σχεδόν θερμική συστολή. Το σύστημα μεμβράνης τύπου 96, είναι ένα κρυογονικό χιτώνιο που υποστηρίζεται άμεσα από το εσωτερικό κύτος του πλοίου και περιλαμβάνει δύο πανομοιότυπες μεταλλικές μεμβράνες και δύο ανεξάρτητα μονωτικά στρώματα. Η μόνωση είναι κατασκευασμένη από κουτιά κόντρα πλακέ γεμάτα με περλίτη που συνεχώς ξεπλένονται με αέριο αζώτου. Η ακεραιότητα και των δύο μεμβρανών παρακολουθείται συνεχώς μέσω της ανίχνευσης υδρογονανθράκων στο άζωτο.



Το σύστημα μεμβρανών NO96 είναι τοποθετημένο στο μεγαλύτερο μέρος του στόλου LNG καθώς παρέχει τα παρακάτω:

1) Αξιοπιστία

Η τεχνολογία διπλής μεμβράνης Invar® συνεχώς βελτιώνεται από το 1969 και εγκρίνεται από όλες τους μεγάλους νηογνώμονες. Επωφελείται από περισσότερα από 50 χρόνια εμπειρίας στη θάλασσα.

2) Ασφάλεια

Οι δύο ανεξάρτητοι χώροι μόνωσης εκκενώνονται συνεχώς με αέριο άζωτο. Η ακεραιότητα και των δύο μεμβρανών παρακολουθείται συνέχεια με ανίχνευση υδρογονανθράκων στο άζωτο.

3) Ελάχιστη θερμική καταπόνηση

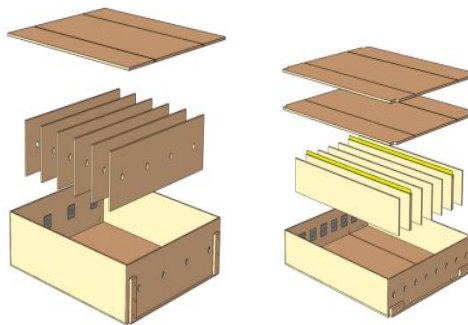
Το υλικό Invar® προσφέρει εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής συστολής, μειώνοντας έτσι τις θερμικές καταπονήσεις στο υλικό.

4) Τα εγκάρσια φορτία

Οι ταινίες μεμβράνης στερεώνονται στα κουτιά μέσω μιας συσκευής γλώσσας που επιτρέπει την ολίσθηση της μεμβράνης στην κορυφή των κιβωτίων (χωρίς διατμητική τάση) και την απορρόφηση των εγκάρσιων φορτίων διαμέσου της εκτροπής των ανυψωμένων ακμών.

5) Υψηλή Αντίσταση

Τα κιβώτια ενισχύονται εσωτερικά ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις πρόσκρουσης και να απορροφούν την ενέργεια από την κίνηση του υγρού. Επιπρόσθετα, διάφορα επίπεδα ενισχύσεων έχουν σχεδιαστεί για να προσαρμόζουν τη δύναμη των κιβωτίων στις αναμενόμενες απώλειες φορτίου μέσα στις δεξαμενές.



6) Υλικά

Τα υλικά που απαιτούνται που είναι κόντρα πλακέ και περλίτης προμηθεύονται εύκολα και είναι χαμηλού κόστους πρώτες ύλες διαθέσιμες σε όλο τον κόσμο.

6.10.5. Δεξαμενές τύπου CS1

Το CS1 σχεδιάστηκε από τις συγχωνευμένες εταιρείες Technigaz και GazTransport και αποτελείται από τα καλύτερα συστατικά των συστημάτων MkIII και No96. Το κύριο φράγμα είναι κατασκευασμένο από invar 0,7 mm (0,028 in), και δευτερεύον από το Triplex. Η πρωτογενής και δευτερεύουσα μόνωση αποτελείται από πάνελ αφρού πολυουρεθάνης. Μέχρι σήμερα, τρία πλοία με σύστημα CS1 έχουν χτιστεί από ένα ναυπηγείο αλλά από άλλα εγκατεστημένα ναυπηγεία έχει αποφασιστεί να χρησιμοποιείται μόνο το MKIII και το NO96.

7. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ LNG

Κάνοντας μια ανασκόπηση για το έτος 2016, σύμφωνα με άρθρο που δημοσιεύτηκε στα Ναυτικά Χρονικά και την ετήσια έκθεση του Διεθνούς Ομίλου Εισαγωγέων LNG -GIIGNL- (International Group of LNG Importers), το 2016 εντάχθηκαν στον παγκόσμιο στόλο 31 πλοία μεταφοράς LNG, ενώ υποβλήθηκαν μόλις 10 παραγγελίες για νέα πλοία, αντιπροσωπεύοντας το χαμηλότερο αριθμό παραγγελιών από το 2010. Έτσι, το παγκόσμιο βιβλίο παραγγελιών περιελάμβανε 137 LNG πλοία. Στο παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο LNG, κατά τη διάρκεια του 2016 παρατηρήθηκε αύξηση 7,5%, συγκριτικά με το 2015, με τις εισαγωγές του υδροποιημένου φυσικού αερίου να φθάνουν τους 263,6 εκατ. τόνους, 18 εκατ. τόνους παραπάνω από το 2015. Οι μεγαλύτερες εισαγωγές παρατηρήθηκαν στην Κίνα, την Ινδία και τη Μέση Ανατολή. Ωστόσο, παρατηρήθηκε μείωση των εισαγωγών σε Ιαπωνία, Νότια Κορέα και Ευρώπη. Για την Ευρώπη, οι εισαγωγές σε Ηνωμένο Βασίλειο, Βέλγιο και Ολλανδία κατέγραψαν μείωση κατά 26%, 58% και 42%, αντίστοιχα. Σχετικά με το άμεσο μέλλον, ο επικεφαλής του GIIGNL εξέφρασε τον κίνδυνο η ναυλαγορά των LNG να παρουσιάσει σημάδια υπερπροσφοράς χωρητικότητας, εξαιτίας διαφόρων έργων υποδομών μεταφοράς LNG που πραγματοποιούνται σε αρκετές χώρες.

Πολλά επενδυτικά σχέδια με σκοπό την επέκτασή τους στην αγορά μεταφοράς υδροποιημένου LNG έχουν θέσει ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες μέσα στις οποίες είναι η GasLog, η Tsakos και η Energy Navigation (TEN) του Ομίλου Τσάκου. Η GasLog που ασχολείται αποκλειστικά με την διαχείριση πλοίων μεταφοράς υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers), επέλεξε τα ναυπηγεία της κορεατικής Samsung και ναυπήγησε επιπλέον έξι LNG carriers. Επίσης η TEN, που ο στόλος της αποτελείται κυρίως από δεξαμενόπλοια, τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί και στα LNG Carriers. Σύμφωνα με τον πρόεδρο και διευθύνοντα σύμβουλο της εταιρείας Νίκο Τσάκο, η TEN έχει σκοπό μέχρι το 2020 να έχει ένα στόλο από πέντε ή έξι LNG Carriers. Οι επενδύσεις στον συγκεκριμένο τομέα θεωρούνται αποδοτικές, καθώς οι μακροπρόθεσμες προοπτικές του εμπορίου LNG χαρακτηρίζονται θετικές, στον βαθμό που νέα επενδυτικά έργα για παραγωγή και διάθεση LNG δημιουργούνται σε ΗΠΑ, Αυστραλία και αλλού. Προβλέψεις που έγιναν έδειξαν ότι το 2017 θεωρείται μία καλή χρονιά για τα LNG καθώς υπάρχει μια σταδιακή αύξηση των ναύλων αυτών των πλοίων, ενώ τα νεότευκτα μειώνονται. Σε συνδυασμό με την υψηλότερη

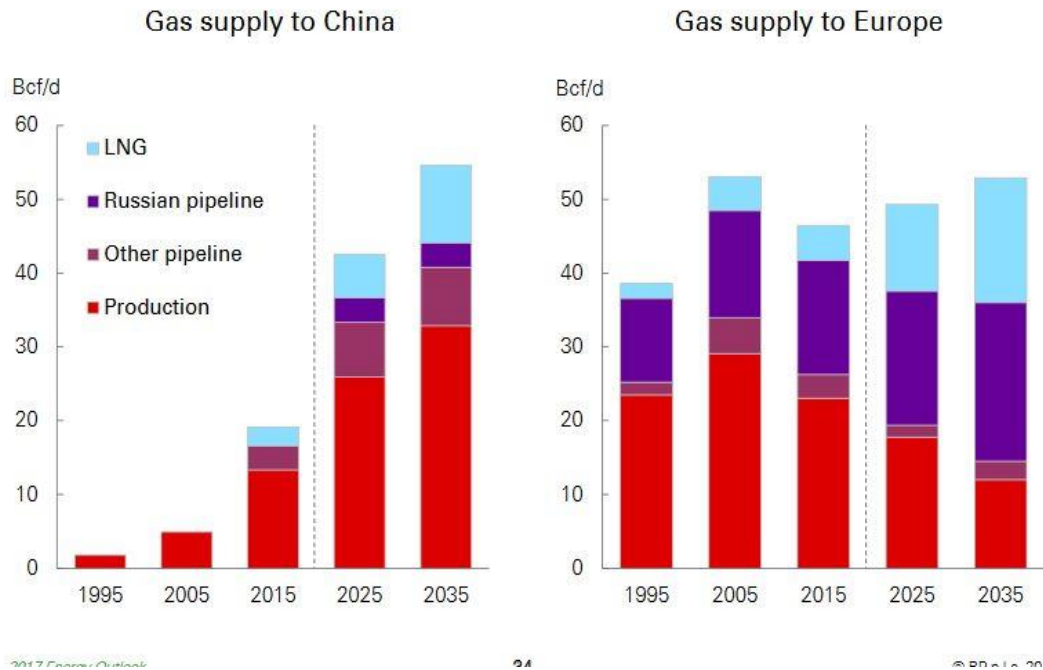
τιμή πετρελαίου αλλά και την έμφαση των χωρών σε πιο καθαρά είδη ενέργειας, το μέλλον διαγράφεται λαμπρό για το αέριο.

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συνδέεται άμεσα με την πορεία των LNG είναι η ύπαρξη πλωτών μονάδων αποθήκευσης. Σύμφωνα με την τελευταία έκδοση του «LNG Forecaster» η οποία δημοσιεύεται από την Drewry, ο συνολικός στόλος των Πλωτών Μονάδων Αποθήκευσης και Επαναεριοποίησης (FSRUs) έχει αυξηθεί κατά 20% την τελευταία πενταετία. Προς το παρόν 24 τέτοιες μονάδες λειτουργούν παγκοσμίως, οι οποίες διαθέτουν ικανότητα επεξεργασίας 82 εκατ. τόνων LNG ετησίως, ενώ αυτήν την περίοδο ναυπηγούνται ή αναμένεται να ναυπηγηθούν μονάδες οι οποίες θα έχουν την ικανότητα να επεξεργαστούν 74 εκατ. τόνους LNG ετησίως. Οι FSRUs διαθέτουν πλεονεκτήματα έναντι των χερσαίων τερματικών σταθμών εισαγωγής LNG, όπως το χαμηλό κόστος, η γρήγορη έναρξη λειτουργίας και η ευελιξία. Ωστόσο οι τιμές των ναύλων για τις μονάδες αυτές ανέρχονται σε \$100.000 ημερησίως, σημαντικά μειωμένες από τις τιμές της διετίας 2013-2015 (\$120.000-130.000 ημερησίως). Οι λόγοι για τους μειωμένους ναύλους είναι ο αυξανόμενος αριθμός παικτών στην αγορά των FSRUs, γεγονός που καθιστά τον τομέα αρκετά ανταγωνιστικό, καθώς και η μειωμένη αξία των FSRUs οδηγεί τους ναύλους σε χαμηλότερα επίπεδα.

Σύμφωνα με την Drewry, παρά τους μειωμένους ναύλους στα FSRUs, η απόδοσή τους είναι καλύτερη συγκριτικά με αυτή των πλοίων μεταφοράς LNG, αποτελώντας μια πιο αποδοτική επένδυση. Σύμφωνα με τον αναλυτή της Drewry, Shresth Sharma, «αναμένουμε να βελτιωθούν μακροπρόθεσμα οι τιμές των ναύλων για τα πλοία μεταφοράς LNG. Ωστόσο, δεν πιστεύουμε ότι οι τιμές των ναύλων για τα FSRUs θα αλλάξουν σημαντικά, λόγω του αυξανόμενου ανταγωνισμού, αλλά και της τεχνολογικής εξέλιξης που τα χαρακτηρίζει. Αναμένουμε ότι οι τιμές των ναύλων για τα FSRUs θα κυμαίνονται περίπου σε \$ 90.000-\$100.000 ημερησίως για τα επόμενα τρία με τέσσερα χρόνια, σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα από τις αντίστοιχες τιμές των ναύλων των πλοίων μεταφοράς LNG». (Πηγή: Ναυτικά Χρονικά)

Σύμφωνα με έρευνα της BP ακολουθούν διαγράμματα σχετικά με την προμήθεια και την ανάπτυξη του φυσικού αερίου.

Increasing diversity of imported gas supplies...

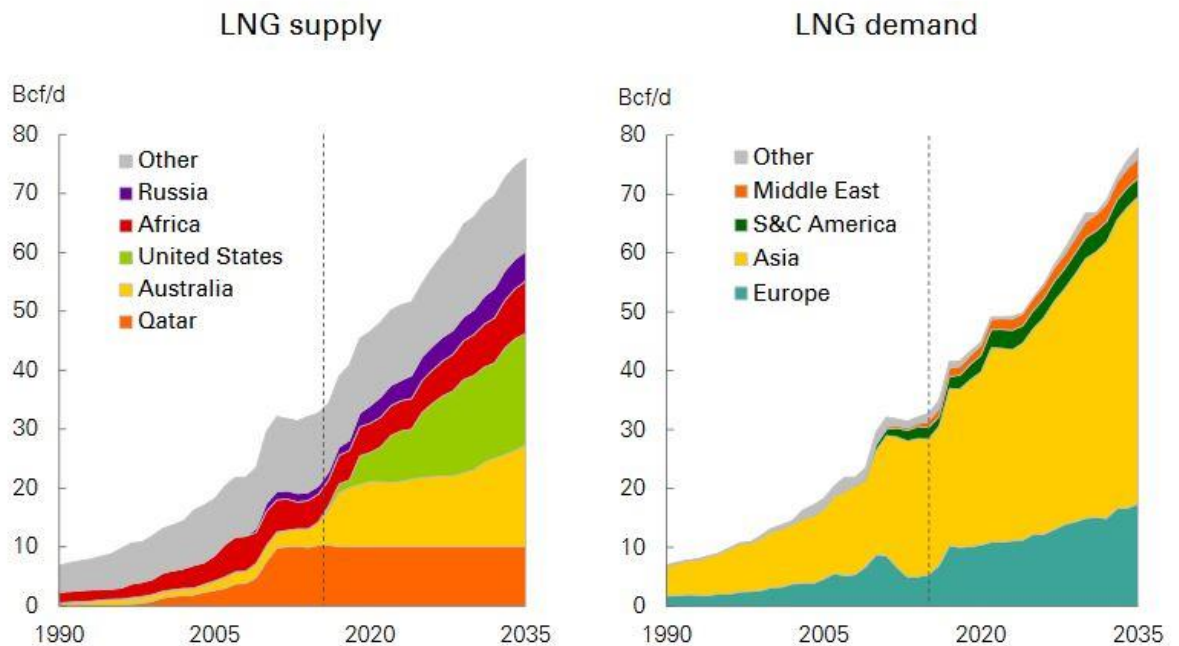


Διάγραμμα 7-1. Εισαγωγή LNG σε Κίνα και Ευρώπη

Πηγή:BP LNG industry

Στην Ευρώπη παρατηρείται ετήσια μείωση 3,2% στην παραγωγή αερίου από τις ευρωπαϊκές χώρες ενώ είναι εμφανές ότι το 80% του ΦΑ θα είναι εισαγόμενο μέχρι το 2035. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα η παραγωγή της Ευρώπης πρόκειται να μειωθεί απότομα σε ποσοστό που εκτιμάται σε 3,2% ετησίως, καθώς τα υφιστάμενα πεδία είναι ώριμα και δεν αντικαθίστανται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το μερίδιο του εισαγόμενου αερίου που καλύπτει τη συνολική κατανάλωση να αυξηθεί σχεδόν στο 80% του συνόλου έως το 2035 από περίπου 50% που ήταν το 2015.

LNG supplies grow strongly led by US and Australia...



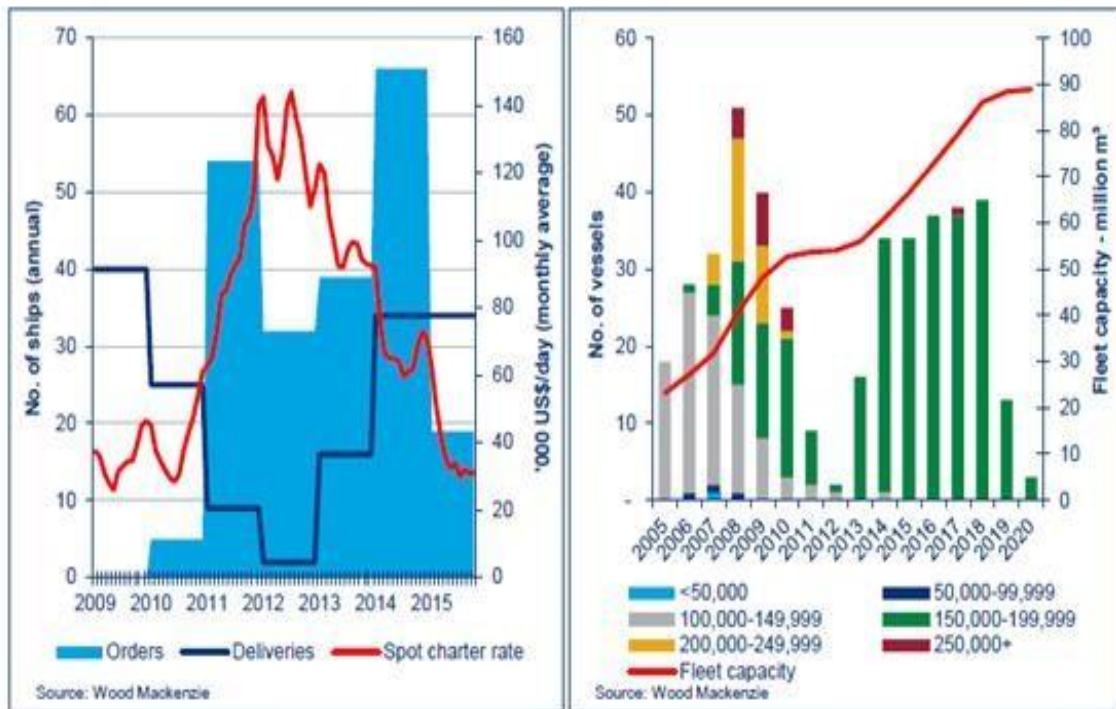
Διάγραμμα 7-2. Προσφορά και ζήτηση LNG

Πηγή: BP LNG industry

Στην παραπάνω διαγραμματική προσέγγιση διαπιστώνεται ότι το LNG αναπτύσσεται επτά φορές ταχύτερα από ότι το εμπόριο φυσικού αερίου μέσω αγωγών, έτσι ώστε μέχρι το 2035, να αναλογεί περίπου στο 50% όλου του παγκοσμίως εμπορεύσιμου αερίου από το 32% που καταλαμβάνει τώρα. Επιπρόσθετα, οι παγκόσμιες προμήθειες LNG αυξάνονται έντονα γεγονός που οφείλεται κυρίως, στην ανάπτυξη στις ΗΠΑ και την Αυστραλία.

Τέλος, η Ασία παραμένει ο μεγαλύτερος προορισμός για το LNG. Κίνα, Ινδία και άλλες ασιατικές χώρες αυξάνουν τη ζήτηση για LNG, βοηθώντας το φυσικό αέριο να αναπτυχθεί γρηγορότερα από το πετρέλαιο ή τον άνθρακα σε κάθε μία από αυτές τις οικονομίες.

Orders and deliveries v. short-term charter rates Deliveries by size range v. fleet development



Διάγραμμα 7-3. Παραγγελίες, ναύλοι και δυναμικότητα στόλου LNG
 Πηγή: Wood Mackenzie

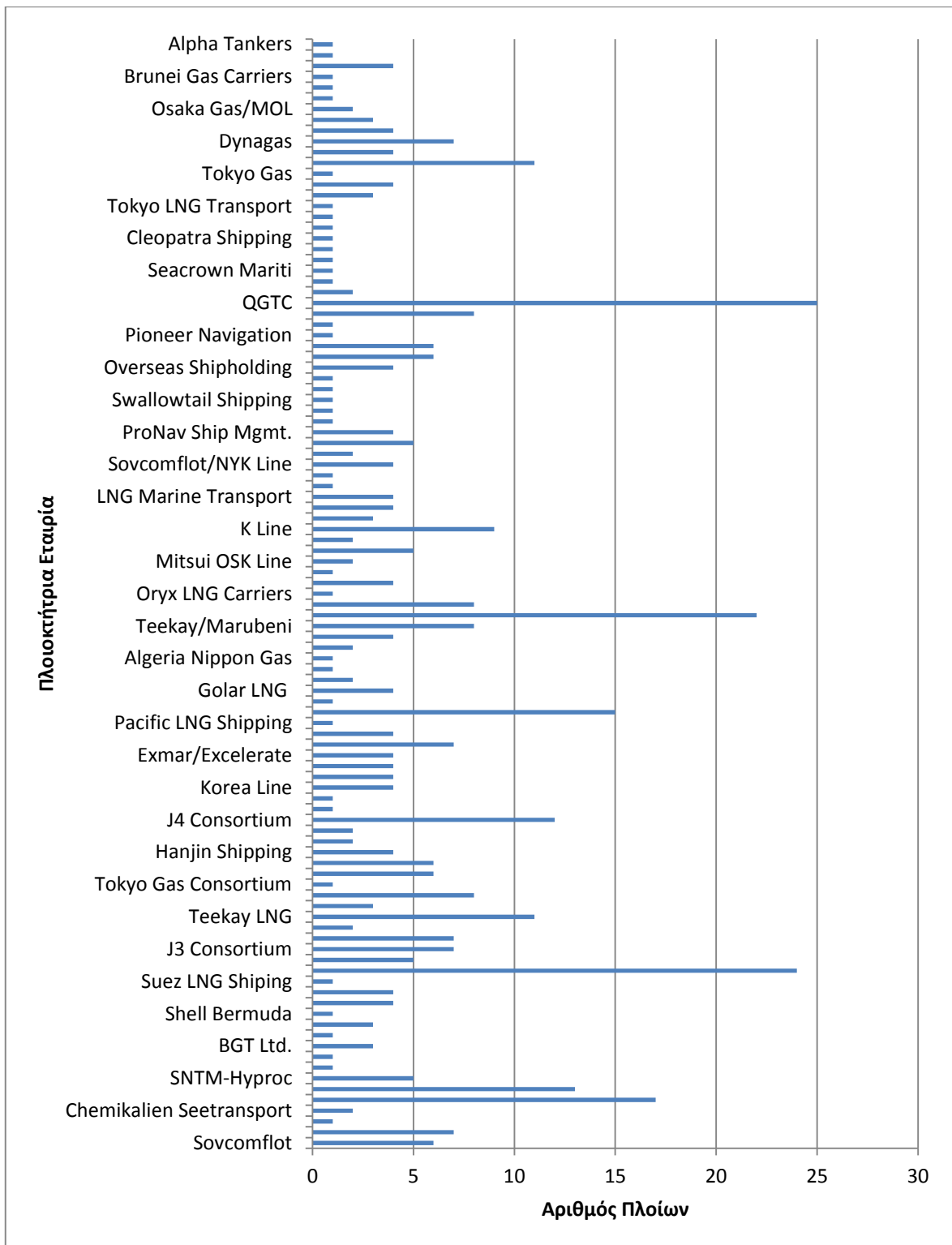
Η αγορά LNG, παρόλο που είναι μία μικρή αγορά, δεν παύει να είναι πολύ απαιτητική εξαιτίας της ιδιαιτερότητας του φορτίου. Παρατηρείται, ότι ο αριθμός των εφοπλιστών που επιλέγουν να μπουν σ αυτή την αγορά, αυξάνεται ραγδαία με νέες παραγγελίες πλοίων και με πολλές ακόμα μέχρι το 2020. Η συγκεκριμένη αγορά, δείχνει να αναπτύσσεται σημαντικά σε όρους χωρητικότητας και ο στόλος να μεγαλώνει κατά πολύ. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλη την μείωση της ζήτησης για τις αγορές των spot/short term charters η οποία έχει ως φυσικό επακόλουθο και την πτώση των ναύλων, οι παραγγελίες για νέα πλοία αυξάνονται. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι παραγγελίες ως το 2020 αυξάνονται με 142 πλοία επιπλέον να βρίσκονται σε παραγγελία.

Ωστόσο παρά το γεγονός ότι η αγορά των short term ναυλώσεων δεν πάει και τόσο καλά, οι εφοπλιστές και οι ναυλωτές επενδύουν στην αγορά των LNG καθώς κριτήριο τους είναι η αναμενόμενη αύξηση εξαγωγών LNG από διάφορες περιοχές. Οι εφοπλιστές έχοντας

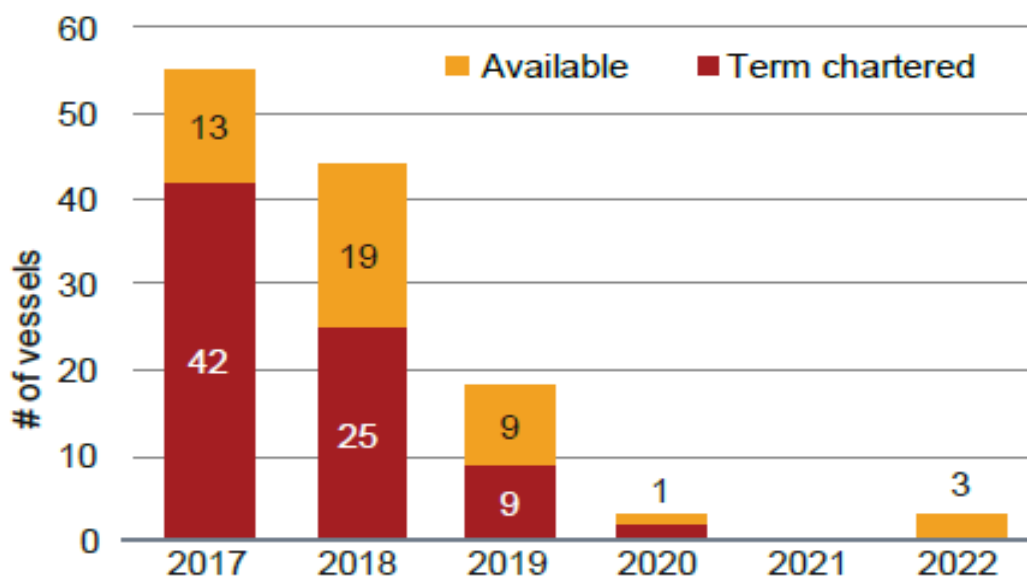
αυτό στο μυαλό τους χτίζουν πολύ μεγαλύτερα και τεχνολογικά καλύτερα πλοία. Γι' αυτό και ένα πλοίο ηλικίας 10-13 χρονών θεωρείται παλιό.

Τέλος, η πτώση των ναύλων της αγοράς οδηγεί τους ναυλωτές να παροπλίζουν τα πλοία τους σε long-term charter, μειώνοντας όμως τα Operational expenses. Επίσης στρέφονται στην spot term αγορά εξαιτίας των χαμηλών ναύλων.

Στην παρακάτω σελίδα παρατίθεται μία συνολική εικόνα των πλοιοκτητών LNG ανά τον κόσμο κατά το διάστημα 1969-2016.



Διάγραμμα 7-4. Αριθμός πλοίων LNG ανά πλοιοκτήτρια εταιρία



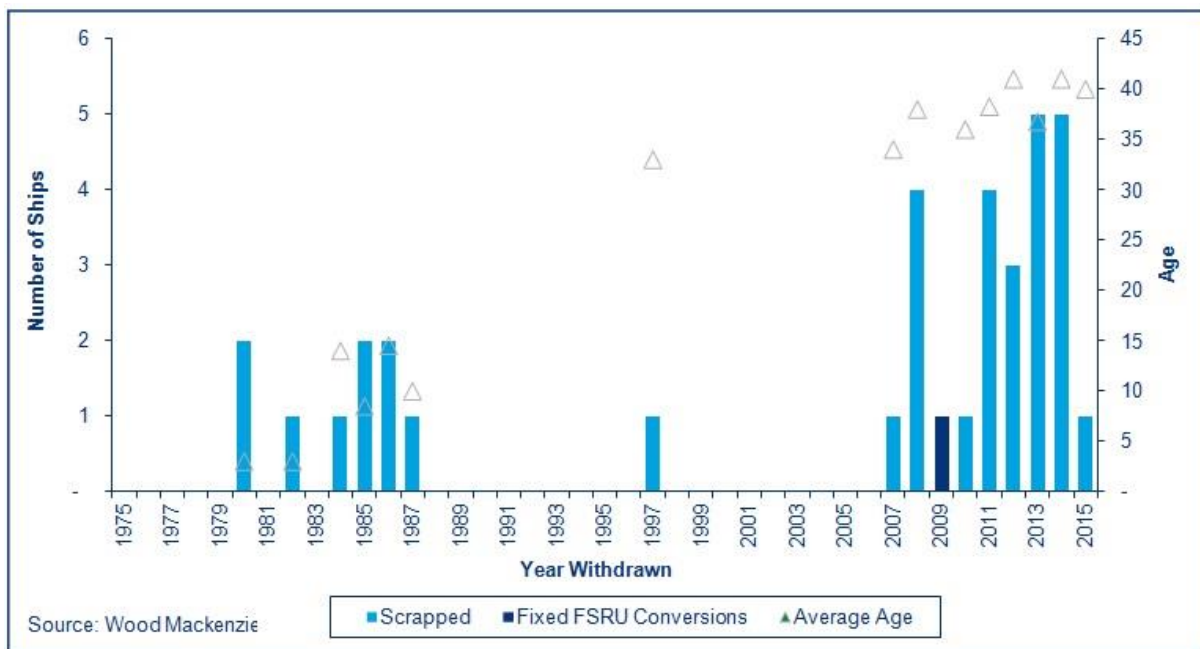
Note: Available = currently open for charter. Source: IHS Markit Markit

Διάγραμμα 7-5.Αριθμός πλοίων προς ναύλωση

Πηγή: HIS Markit

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει τις εκτιμώμενες παραδόσεις συμβατικών πλοίων LNG για το διάστημα 2017 με 2022. Στο τέλος του έτους 2016 το βιβλίο παραγγελιών περιελάμβανε 121 δεξαμενόπλοια που αναμένονταν να παραδοθούν έως το 2022. Ωστόσο παρατηρήθηκε μία σημαντική μείωση στις παραγγελίες του προηγούμενου έτους και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθυστέρησαν ταυτόχρονα και τα έργα υγροποίησης. Ένα ποσοστό της τάξεως του 66 % του παρόντος βιβλίου παραγγελιών είναι διαθέσιμο προς ναύλωση.

Το έτος 2017 επιπλέον 55 δεξαμενόπλοια θα παραδοθούν από ναυπηγεία μαζί με νέα έργα υγροποίησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι με την επέκταση του καναλιού του Παναμά που ολοκληρώθηκε τελικά, το 91% του παγκόσμιου στόλου LNG μπορεί πλέον να διέλθει μέσω του καναλιού.



Διάγραμμα 7-6.Απόσυρση και μετατροπή πλοίων LNG

Πηγή:Wood Mackenzie

Κλείνοντας παρατίθεται ένα διάγραμμα σχετικά με την απόσυρση πλοίων LNG. Σχετικά λίγα πλοία LNG έχουν αποσυρθεί από την λειτουργία και είτε πήγαν για διάλυση σε διάφορα διαλυτήρια ανά τον κόσμο είτε μετατράπηκαν σε άλλο τύπο πλοίου ή σε σταθερές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (FSRU). Σε κάθε περίπτωση ο μέσος όρος ηλικίας των πλοίων LNG που τίθενται εκτός λειτουργίας είναι αρκετά μεγάλος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε η τεχνολογική εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου με το πρώτο πλοίο αυτού του τύπου να χτίζεται το 1959. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αγορά των Lng δείχνει να δοκιμάζεται όλα αυτά τα χρόνια και να βελτιώνεται συνεχώς μέσα από πλοία πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας και με πολύ πιο εξελιγμένα συστήματα πρόωσης και δεξαμενών. Επιπρόσθετα, μέσα από την έρευνα και την ανάλυση των παραπάνω στα επιμέρους κεφάλαια διαπιστώθηκε ότι το μέλλον του κλάδου υγροποιημένου φυσικού αερίου δείχνει λαμπρό καθώς το φυσικό αέριο έχει μία πολύ μεγάλη πλεονεκτική θέση σε παγκόσμιο επίπεδο και αυτό αποτελεί σημαντική ευκαιρία για την ανάπτυξη του κλάδου.

Βέβαια μέσα σε όλο αυτό πάντα υπάρχει και ο επερχόμενος κίνδυνος για την αγορά του ΥΦΑ που περιλαμβάνει τον ρυθμό ανάκαμψης τη οικονομίας την αύξηση της ζήτησης καθώς και τον ανταγωνισμό με άλλες μορφές ενέργειας. Ωστόσο οι τάσεις για την συγκεκριμένη αγορά φαίνεται να είναι μακροπρόθεσμα θετικές με νέους 'παίκτες' να μπαίνουν σε αυτή και πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο να γίνονται σταθμοί παροχής LNG.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Seamanship International (2006), LNG operational practice
- Seamanship International (2008), LNG Shipping Knowledge Vol.2 Equipment
- Seamanship International (2008), LNG Shipping Knowledge Vol.2 Support Systems

Διαδικτυακοί Τόποι

- <http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/3062/Tsalikidi.pdf?sequence=3>
- <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/methane-pioneer-the-first-lng-ship-in-the-world/>
- http://www.britcham.org.sg/files/event_document/6/6LNG%20A5%20Booklet-FINAL.compressed.pdf
- https://www.everipedia.com/Methane_Pioneer/
- <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcdb863-8881-4263-af8d-530101f64412/UploadedFiles/c3352777fcaa4c4daa8f125c0a7c03e9.pdf>
- <http://www.clarksons.com/services/broking/lng/>
- <http://liquefiedgascarrier.com/LNG-vessel-construction.html>
- http://www.piraeusbankgroup.com/~/_media/Com/Downloads/Greek-Sectoral-Studies/2013/sectoral-LNG.pdf
- <http://www.pomorskodobro.com/en/types-of-lng-carriers.html>
- <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/4158/1/STEF492005.pdf>
- <http://docplayer.gr/1618389-Diktya-dianomis-fysikoy-aerioy-hamilis-kai-ypsilis-piesis.html>
- http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pngtech/news_files/webdoc_8_15_6_2007.pdf
- <https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK179/%CE%9A%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1%20-%20%CE%9B%CE%B9%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC/%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A6%CE%9F>

[%CE%A1%CE%91%20%CE%A5%CE%93%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%99%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%CE%A5%20%CE%A6%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A5%20%CE%91%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A5%20LNG%20TRANS POTATION.pdf](#)

- http://kireas.org/Ing_gen.htm
- <http://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/12906/file0.pdf?sequence=2>
- <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=280>
- <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/no96>
- <http://www.igu.org/news/igu-releases-2017-world-Ing-report>
- <https://www.eia.gov/naturalgas/>
- https://www.bp.com/content/dam/bp-country/en_ru/documents/publications_PDF_eng/LNGbrochure_eng.pdf
- <https://www.woodmac.com/>
- www.lr.org
- <http://splash247.com/bp-six-new-Ing-carriers/>
- <http://www.naftemporiki.gr/finance/story/1258087/ti-problepetai-gia-tin-paroxi-Ing-se-ploia-sta-limania>
- <http://www.liquefiedgascarrier.com/type-of-gas-carrier.html>
- <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
- http://www.lionshipbrokers.gr/Naftemporiki_30_Mar_15_p16.pdf
- <http://www.naftikachronika.gr/2017/07/29/strofi-pros-ta-ploia-tou-mellontos/>
- <https://powerpolitics.eu/%CF%84%CE%BF-I-n-g-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CF%80%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B7-%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BB%CE%AF%CE%B1/>