



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
στην
ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ
ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ RO-RO**

Ανδρονίκη Μπέκα

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
Δεκέμβριος 2014

Σελίδα δήλωσης αυθεντικότητας / ζητήματα 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».

Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

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:

- ΤΖΑΝΑΤΟΣ ΕΡΝΕΣΤΟΣ
- ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
- ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ (Ευχαριστίες, επισημάνσεις)

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω ειλικρινά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κο Τζανάτο Ερνέστο, για την εμπιστοσύνη, τη καθοδήγησή του, την υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας για να έρθει αισίως εις πέρας. Επιπλέον, τους καθηγητές-επιτηρητές της τριμελούς επιτροπής εξεταστικής, Τσελέντη Βασίλειο και Παπαδημητρίου Ευστράτιο, για την υπομονή, τον χρόνο, την στήριξη και την αξιολόγησή τους.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές μου του ΑΕΙ Πειραιά του τμήματος των Ναυτιλιακών Σπουδών για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της τετραετούς μου φοίτησης στο ΑΕΙ Πειραιά, για τις χρήσιμες υποδείξεις και συμβουλές τους.

Τέλος ,ευχαριστώ το στενό οικογενειακό και φιλικό μου περιβάλλον που υπέδειξε αφενός υπομονή και επιμονή κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου, που με ενθάρρυνε και με εμπύχωνε και γενικότερα με στήριζε οικονομικά και ηθικά.

Αφιερώνω, λοιπόν, την ερευνητική μου εργασία σε ανθρώπους που ενδιαφέρονται να φοιτήσουν σε ανάλογο τμήμα και να ασχοληθούν μελλοντικά και επαγγελματικά με τον κλάδο της ναυτιλίας.

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται τόσο βάσει βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όσο και μέσα από την προσωπική μου έρευνα η εφαρμογή του καυσίμου LNG σε πλοία Ro-Pax, όπως άλλωστε ορίζεται και από τον τίτλο («Η εφαρμογή του LNG ως καύσιμο στη Ro-Pax ναυτιλία»).

Παρόλο που η διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου LNG σε διεθνές επίπεδο παραμένει υψηλή, προβλέπεται η αυξητική τιμή του σε επίπεδα πετρελαίου. Επιπλέον η εξέλιξη του παγκόσμιου δικτύου υφιστάμενων και σχεδιαζόμενων εγκαταστάσεων προμήθειας LNG και η ανάπτυξη του στόλου μεταφοράς LNG είναι σημαντικά αναφορικά με τον ανεφοδιασμό των πλοίων με χρήση LNG. Ωστόσο, απαιτείται πυκνό δίκτυο, λόγω της ευελιξίας ανεφοδιασμού από τερματικές εγκαταστάσεις υγροποιημένου αερίου ή από μικρά δεξαμενόπλοια.

Σύμφωνα με Νηογνώμονες και έρευνες από κατασκευαστές ναυτικών μηχανών, η εφαρμογή LNG συμβάλλει στην μείωση εκπομπών καυσαερίων, αποτελώντας μία βιώσιμη εναλλακτική εφαρμογή, ακόμη και για τα υβριδικά ναυτικά μοντέλα μηχανών, τα οποία παράγουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρυπογόνων ουσιών. Βέβαια, αφενός είναι ένα αποδοτικό ναυτιλιακό καύσιμο, αφετέρου δεν πρέπει να παραβλεφθούν τα κόστη μετατροπής ή εγκατάστασης της μηχανής, το κόστος του δοχείου αποθήκευσης, τα λειτουργικά κόστη, το κόστος συντήρησης και τέλος το περιβαλλοντικό κόστος στα πλαίσια των επερχόμενων MBM (περιβαλλοντική επιβάρυνση ή χρηματιστήριο ανταλλαγής ρύπων). Γενικότερα, λοιπόν, αποτελεί μία ελκυστική πρόταση, ιδίως σε πλοία που προορίζονται να ταξιδεύουν σε ειδικά προστατευμένες περιοχές (ECA, SECA) (Λίγνου & Μπασδάνη, 2013).

Λέξεις κλειδιά: ναυτιλία, LNG, πλοία Ro-Pax, καύσιμο, φυσικό αέριο

Abstract

In this thesis it is studied according to the literature review and my personal research the application of fuel LNG ships Ro-Pax, as it is defined by the title ("The implementation of LNG as fuel in the Ro-Pax shipping").

Although the availability of natural gas LNG at international level remains high, the growth rate in oil levels down. Moreover, the evolution of the global network of existing and planned LNG supply facilities and the development of the LNG carrier fleet is significant with respect to the supply of ships using LNG. However, they require a dense network because of supply flexibility of terminals for liquefied gas or small tankers.

According to classification societies and research of marine machinery manufacturers, application LNG helps reduce exhaust emissions, making it a viable alternative embodiment, even for hybrid marine engine models, which produce zero emissions of pollutants. Of course, first is a fuel efficient shipping, secondly we should not overlook the conversion costs or installation of the machine, the cost of the storage container, operating costs, maintenance costs and end the environmental costs in the context of upcoming MBM (environmental charge or stock exchange of pollutants). In general, then, is an attractive proposition, especially in vessels intended to travel in specially protected areas (ECA, SECA) (Hardy & Basdanis, 2013).

Key words: shipping, LNG, ships Ro-Pax, fuel, gas

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Ερευνητικός Σκοπός κι ερευνητικά ερωτήματα.....	11
1.3 Δομή.....	11
1.4 Σημαντικότητα	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: LNG ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	13
2.1 Ορισμός και ιδιότητες LNG	13
2.1.1 Ιδιότητες του LNG.....	13
2.1.2 Εφαρμογές LNG: Ιστορία και Αξιοπιστία	14
2.1.3 Καλύτερες Πρακτικές Στη Βιομηχανία LNG.	15
2.1.4 Κανονισμοί, Πρότυπα Και Κώδικες Του LNG.	15
2.1.5 Φυσικές και χημικές ιδιότητες LNG.....	16
2.2 Σύγκριση LNG και πετρελαίου ως ναυτιλιακά καύσιμα.....	33
2.2.1 Σχηματισμός ακατέργαστου πετρελαίου	33
2.2.2 Σύνθεση Και Ταξινόμηση Του Ακατέργαστου Πετρελαίου.....	35
2.2.3 Διύλιση του αργού πετρελαίου και τα αποθέματα για την ναυτιλία	36
2.2.4 Εφαρμογές Πετρελαίου.....	39
2.2.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων σε σύγκριση με το πετρέλαιο	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΦΑ ΣΕ RO-PAX ΠΛΟΙΑ	47
3.1 Τεκμηρίωση της επιλογής των Ro-Pax.....	47
3.2 Παραδείγματα εφαρμογής LNG σε πλοία τύπου Ro-Pax.....	52
Κεφάλαιο 4 ^ο – υποδειγμα εφαρμογής LNG καυσιμου	65
4.1 Εισαγωγή	65
4.2 Μηχανές πλοίων LNG	71

4.2.1 Μηχανές LNG - RollsRoyce.....	72
4.2.2 Μηχανές LNG - Wartsilla.....	73
4.3 Τύποι δεξαμενών LNG	76
4.4 Τροφοδοσία πλοίων με LNG	78
4.4.1 Τροφοδοσία με φορτηγό	79
4.4.2 Τροφοδοσία από δεξαμενές στο λιμάνι	80
4.4.3 Κανόνες ασφαλείας κατά την τροφοδοσία	82
4.5 Η χρήση του LNG στην RO-PAX ναυτιλία στην Νορβηγία.....	83
4.5.1 Ιστορική Αναδρομή	83
4.5.2 Ναυτιλιακές εταιρίες με πλοία LNG στην Νορβηγία.....	85
4.5.3 Ευρήματα από την κατασκευή επιβατικών πλοίων που χρησιμοποιούν LNG στην Νορβηγία.....	86
4.6 Παραδείγματα Εφαρμογής LNG σε επιβατικά πλοία.....	89
4.6.1 VikingGrace.....	89
4.6.2 Glutra	92
Το σύστημα ψύξης της μηχανής παρέχει την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται έτσι ώστε να αεριοποιηθεί το LNG, το οποίο σύστημα παρέχει ενέργεια για την θέρμανση του σαλονιού όπου βρίσκονται οι επιβάτες.	95
5. Συμπεράσματα	97
Βιβλιογραφία	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία, ο στόχος είναι να διερευνηθεί η εφαρμογή του LNG ως καύσιμο σε πλοία Ro-Pax. Για το σκοπό αυτό, θα αναπτυχθεί η βιβλιογραφική επισκόπηση που θα αφορά στις ιδιότητες του LNG ως καύσιμο, καθώς και την εφαρμογή του LNG σε πλοία τύπου Ro-Pax, τόσο βιβλιογραφικά όσο και μέσω παραδειγμάτων εφαρμογής. Το πιο σημαντικό σημείο της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη υποδείγματος εφαρμογής που προέρχεται από τη συγγραφέα της εργασίας.

Τα πλοία τύπου Ro-Pax χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φορτίων, αλλά και επιβατών. Έχουν σχεδιαστεί με στόχο να προσφέρουν ταχύτητα, αξιοπιστία αλλά και ασφάλεια, καθιστώντας έτσι εφικτό το σκοπό τον οποίο καλούνται να επιτελέσουν. (Brodie, 2013)

Για να μπορεί ένα πλοίο να διαπραγματευτεί μεταφορικές υπηρεσίες στη σημερινή αγορά, θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανόνες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization- IMO) και ταξινόμησης, (νηογνώμονες). Για να μπορέσει ένα πλοίο να λάβει σχετική πιστοποίηση για την αξιοπλοΐα του θα πρέπει να ακολουθήσει κάποιους κανόνες που αφορούν τον σχεδιασμό και κατασκευή, αλλά και τη συντήρηση και λειτουργία του όσο είναι εν πλω. Η δομική διαρρύθμιση ενός πλοίου τύπου Ro-Pax έχει σχεδιαστεί με στόχο την προκαθορισμένη διαφοροποίηση προϊόντος, τη δυνατότητα χειρισμού του φορτίου του και να συμμορφώνεται με τις συμβάσεις SOLAS, MARPOL κλπ. Καθώς επίσης να εκπληρώνει τις απαιτήσεις που καθορίζονται από τους κανόνες ταξινόμησης σε ότι αφορά στην αποτελεσματική αντοχή και διάρκεια ζωής του πλοίου. (Mori, Yamamoto, Ueda, Kitamura, Ohnishi, & Doi, 2007)

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την κατασκευή πλοίων τύπου Ro-Pax είναι η διαμήκης αντοχή του κύτους τους. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των διαμήκων στεγανών, των δοκών, των συνδέσμων, των καταστρωμάτων και του πλαϊνού κελύφους των πλοίων. (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010)

Σήμερα, υπάρχει ανάγκη ώστε τα πλοία τύπου Ro-Pax να γίνουν περισσότερο αποτελεσματικά. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε μέσω της διαρρύθμισης της υπερκατασκευής τους, είτε μέσω της χαμηλότερης κατανάλωσης καυσίμων. Ιδιαίτερα για την κατανάλωση καυσίμων, αυτή αποτελεί μία από τις πιο βασικές προκλήσεις του μέλλοντος. Κατασκευάζοντας την υπερκατασκευή ενός τύπου πλοίου Ro-Pax με συνθετικά υλικά, το βάρος της κατασκευής μπορεί να μειωθεί. Μία παρόμοια δομή τύπου τρίστρωμης κατασκευής με συνθετικά υλικά χρησιμοποιείται ήδη από το Σουηδικό Ναυτικό. Η μείωση του βάρους της κατασκευής χρησιμοποιώντας το ίδιο εκτόπισμα μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερο αποτελεσματικά ταξίδια σε ότι αφορά την κατανάλωση καυσίμων και την ικανότητα μεταφοράς φορτίων. Μία ελαφρύτερη υπερκατασκευή αυξάνει επίσης τη σταθερότητα των πλοίων, μειώνοντας το κέντρο βάρους. (Mori, Yamamoto, Ueda, Kitamura, Ohnishi, & Doi, 2007)

Τέλος, ως προς την αποτελεσματικότητα της κατανάλωσης καυσίμων, έχει προταθεί εναλλακτικά και η μέθοδος της εφαρμογής του καυσίμου LNG. Αυτό συμβαίνει διότι σήμερα υπάρχουν νέοι, αυστηροί κανονισμοί που αναγκάζουν την ναυτιλιακή βιομηχανία να επανεξετάσει τις επιλογές τροφοδοσίας τους. Οι έλεγχοι των εκπομπών, που θεσπίστηκαν από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO, σε συνδυασμό με την εισαγωγή των περιοχών ελέγχου των εκπομπών στα ευρωπαϊκά, Αμερικάνικα και Καναδικά χωρικά ύδατα, θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη διεθνή ναυτιλία κατά τα επόμενα δέκα χρόνια. Το LNG είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση στα συμβατικά καύσιμα πλοίων. (Jones, 2007; Pitblado & Woodward, 2011)

Μπορεί η χρήση όμως υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων να βοηθήσει τη βιομηχανία να ανταποκριθεί σε αυτές τις προκλήσεις; Για το σκοπό αυτό στην παρούσα εργασία μελετάται η εφαρμογή κι οι ιδιότητες του υγροποιημένου φυσικού αερίου, αλλά ιδιαίτερα η εφαρμογή του στα πλοία τύπου Ro-Pax, στα οποία εστιάζεται η μελέτη αυτή.

1.2 Ερευνητικός Σκοπός κι ερευνητικά ερωτήματα

Ο ερευνητικός σκοπός της παρούσας εργασίας μπορεί να συνοψισθεί στην επόμενη φράση: **«Εφαρμογή καυσίμου LNG σε πλοία τύπου Ro-Pax: Μελλοντικές τάσεις και πρακτική εφαρμογή του μέσω υποδείγματος»**. Για την εκπλήρωση του ερευνητικού σκοπού της εργασίας αναπτύχθηκαν και περαιτέρω ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

- Ποιες οι ιδιότητες του καυσίμου LNG γενικά;
- Ποια η σύγκριση μεταξύ του καυσίμου LNG και του πετρελαίου;
- Πώς εφαρμόζεται το καύσιμο LNG σε Ro-Pax πλοία διεθνώς;
- Ποια θα μπορούσε να είναι μια υποδειγματική εφαρμογή του καυσίμου LNG σε Ro-Pax πλοία;

Για να εκπληρωθεί ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας, το θέμα θα προσεγγιστεί θεωρητικά, παραθέτοντας τις ιδιότητες του καυσίμου LNG ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό με το πετρέλαιο, αλλά και μέσω παράθεσης παραδειγμάτων και εφαρμογής του LNG στα πλοία Ro-Pax διεθνώς. Τέλος, η υποδειγματική εφαρμογή θα προκύψει μέσω της πρότασης από την ίδια τη συγγραφέα.

1.3 Δομή

Η παρούσα εργασία δομείται σε πέντε (5) συνολικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το παρόν εισαγωγικό, στο οποίο παρατίθενται κάποια στοιχεία σχετικά με τα πλοία Ro-Pax, ο ερευνητικός σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα, αλλά και η δομή και η σημαντικότητα της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο, αποτελεί βιβλιογραφική επισκόπηση ως προς τις ιδιότητες του καυσίμου LNG, αλλά και σε αντιπαράθεση με το πετρέλαιο ως καύσιμο που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία. Σκοπός είναι να διαφανούν τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα κάθε καυσίμου, τόσο ως προς την αποτελεσματικότητα του πλοίου,

όσο και ως προς τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς που διέπουν την ναυτιλία όπως MARPOL και SOLAS.

Το τρίτο κεφάλαιο, αποτελεί βιβλιογραφική επισκόπηση της εφαρμογής του LNG ιδιαίτερα σε πλοία τύπου Ro-Pax. Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό θα τεκμηριωθεί η επιλογή για την εφαρμογή του σε πλοία τύπου Ro-Pax και θα γίνει επίσης έρευνα σχετικά με παραδείγματα εφαρμογής του διεθνώς.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της εργασίας, καθώς η συγγραφέας σκοπεύει να αναπτύξει δικό της παράδειγμα εφαρμογής του καυσίμου LNG, έχοντας παρουσιάσει στα παραπάνω κεφάλαια το οικείο θεωρητικό υπόβαθρο. Σκοπός του κεφαλαίου είναι να αναπτυχθεί ένα υπόδειγμα το οποίο και θα λαμβάνει υπόψη του τόσο τις ιδιότητες του πλοίου τύπου Ro-Pax, όσο και τις ιδιότητες του LNG, με στόχο την αποτελεσματικότητα.

Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας αποτελεί τα συμπεράσματα. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συζήτηση του υποδείγματος που αναπτύχθηκε σε συνδυασμό με τα ευρήματα από το θεωρητικό υπόβαθρο που παρατέθηκε γύρω από το θέμα. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα επί του θέματος.

1.4 Σημαντικότητα

Η παρούσα εργασία είναι σημαντική, καθώς η συγγραφέας έχει διαπιστώσει πως λίγες έρευνες έχουν γίνει σχετικά με την εφαρμογή του καυσίμου LNG σε πλοία Ro-Pax διεθνώς. (Bengtsson, Fridell, & Andersson, 2012; Linstad, Asbjørnslett, & Strømman, 2012). Μάλιστα, το θέμα αυτό είναι επίκαιρο, καθώς πρόσφατα έχει ανακύψει η ανάγκη της «πράσινης ναυτιλίας», η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της στροφής από το πετρέλαιο, σε άλλες εναλλακτικές μεθόδους καυσίμων. (Linstad, Asbjørnslett, & Strømman, 2012). Τέλος, η έρευνα αυτή θα αναπτύξει ένα υπόδειγμα εφαρμογής του εν λόγω καυσίμου στα πλοία τύπου Ro-Pax, συμβάλλοντας έτσι στην επιστημονική κοινότητα, αλλά και στους επαγγελματίες του κλάδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: LNG ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

2.1 Ορισμός και ιδιότητες LNG

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (εφεξής LNG), αποτελεί πλέον την εναλλακτική λύση στη ναυτιλία, ως καύσιμο το οποίο έχει σημαντικά πιο λίγες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με το πετρέλαιο(UnitedStatesCongress, 2010). Στο σημείο αυτό θα γίνει ανασκόπηση των ιδιοτήτων του LNG, ώστε έπειτα να παρουσιαστεί η ανάλυση σχετικά με την εφαρμογή του LNG σε πλοία τύπου Ro-Pax, το οποίο είναι και το κεντρικό θέμα της εργασίας. Στη βιομηχανία του LNG χρησιμοποιούνται προηγμένες τεχνολογίες ασφαλείας και διαδικασίες, που εφαρμόζονται και διατηρούνται μέσω ενός πλήθους προτύπων, κωδικών, καθώς και έλεγχου, εξασφαλίζοντας έτσι ασφαλείς και αξιόπιστες λειτουργίες LNG(United States Congress, 2010). Παρακάτω περιγράφονται οι ιδιότητες του LNG, η ιστορία και η αξιοπιστία των λειτουργιών LNG.Η ανάλυση αυτή καταλήγει στην εξέταση προτύπων στη βιομηχανία του LNG, αναφέρει ωστόσο καλύτερες πρακτικές και τρόπους έλεγχου χρήσης του LNG.

2.1.1 Ιδιότητες του LNG.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ή LNG είναι φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση που έχει ψυχθεί στους -160°C (-260°F) και έχει μετατραπεί σε υγρό με όγκο 1/600 του αρχικού του όγκου. Το LNG είναι διαυγές, άχρωμο και άοσμο, καθώς και μη-διαβρωτικό και μη- τοξικό. Οι πιθανοί κίνδυνοι του LNG είναι το αποτέλεσμα των βασικών του ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών της κρυογονικής του φύσης, της σκέδασης και της ευφλεκτότητας. Εξαιτίας της κρυογονικής του φύσης, το LNG προκαλεί ψύξη σε οποιοδήποτε υλικό, με το οποίο έρχεται σε επαφή, και καθώς είναι υγρό, δεν εκρήγνυται και δεν είναι εύφλεκτο. Μόνο σε περίπτωση που το LNG θερμανθεί, μετατρέπεται σε αέρια μορφή (δηλ. φυσικό αέριο), εάν τότε αναμειχθεί με αέρα και έρθει σε επαφή με κάποια πηγή ανάφλεξης, το μείγμα αυτό γίνεται εύφλεκτο και εκρήγνυται (σε περιορισμένο

περιβάλλον). Όμως, για να είναι δυνατή η πρόκληση τέτοιων κινδύνων, απαιτείται απελευθέρωση του LNG(Greenwald, 1998).

2.1.2 Εφαρμογές LNG: Ιστορία και Αξιοπιστία

Το LNG δεν αποτελεί νέο τεχνολογικό επίτευγμα. Το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής LNG ιδρύθηκε το 1912 στη δυτική Βιρτζίνια και άρχισε να λειτουργεί το 1917. Τον Ιανουάριο του 1959, το πρώτο πλοίο μεταφοράς LNG πραγματοποίησε μεταφορά φορτίου LNG από το LakeCharles της Λουιζιάνα στο Ηνωμένο Βασίλειο. Παγκοσμίως λειτουργούσαν 22 τερματικοί σταθμοί εξαγωγής LNG (υγροποίηση), 46 τερματικοί σταθμοί εισαγωγής LNG (επαναεριοποίηση) και 150 πλοία μεταφοράς LNG. Από την εποχή της έναρξης της βιομηχανίας το 1959, δεν έχουν καταγραφεί θανατηφόρα δυστυχήματα, απώλεια περιεχομένου του φορτίου, μεγάλα ατυχήματα ή προβλήματα ασφάλειας είτε στο λιμάνι είτε στη θάλασσα(Jones J. , 2007).

Υπάρχουν τρεις κορυφαίες εγκαταστάσεις αποθήκευσης LNGστον Καναδά: η UnionGas κοντά στο Sudbury του Οντάριο, η Gaz Metro στο Μόντρεαλ του Κεμπέκ και, η Terasen στο Βανκούβερ. Και οι τρεις υφιστάμενες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου συμμορφώνονται με το πρότυπο CSA CAN/CSA-Z276-01. Το πρότυπο έχει υιοθετηθεί από τη νομοθεσία της Αρχής Τεχνικών Προτύπων και Ασφάλειας στο Οντάριο, το le Regie du Batiment στο Κεμπέκ, και από την Επιτροπή Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου της Βρετανικής Κολομβίας, και είναι ειδικά σχεδιασμένο έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης του LNG σε ειδικά συστήματα συγκράτησης. Μέχρι σήμερα έχουν γίνει περισσότερες από 80.000 μεταφορές φορτίων LNGσε όλο τον κόσμο, που εκτείνονται σε περισσότερα από 160 εκατομμύρια χιλιόμετρα(JonesJ. , 2007).

2.1.3 Καλύτερες Πρακτικές Στη ΒιομηχανίαLNG.

Η βιομηχανία υγροποιημένου φυσικού αερίου διαθέτει μέσα διαχείρισης και μέτρα ασφάλειας για να είναι σε θέση να εξασφαλίσει την ασφάλεια των εγκαταστάσεων LNG και των εφαρμογών του, καθώς και την προστασία του κοινού και του περιβάλλοντος. Η βιομηχανία LNG οφείλει να τηρεί πολλαπλούς κανόνες προστασίας σε σχέση με:

A) τον πρωτοβάθμιο έλεγχο (π.χ., κραμάτων χάλυβα και άλλων υλικών για τις δεξαμενές που περιέχουν LNG),

B) τον δευτεροβάθμιο έλεγχο (π.χ., οι υποδοχές υποστήριξης γύρω από τις δεξαμενές αποθήκευσης να διατηρούν την πλήρη χωρητικότητα της δεξαμενής σε περίπτωση ρήξης δεξαμενής)

Γ) τα συστήματα ασφαλείας (π.χ., συστήματα πυροπροστασίας, συστήματα έκτακτης διακοπής) και

Δ) τις αποστάσεις ασφαλείας για την προστασία των ανθρώπων και των εγκαταστάσεων (Pitblado & Woodward, 2011).

2.1.4 Κανονισμοί, Πρότυπα Και Κώδικες ΤουLNG.

Εκτός από τις διαδικασίες ασφαλείας και τις καλύτερες πρακτικές που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία, η βιομηχανία LNG πρέπει να πληροί μια ευρεία σειρά προτύπων, κωδικών και κανονισμών. Η βιομηχανία υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο όσον αφορά την ασφαλή μεταφορά και αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου από το 1917, όταν το LNG παρήχθη για πρώτη φορά (Greenwald, 1998).

Τα πρότυπα και οι κανονισμοί για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και την ασφάλεια έχουν γίνει ολοένα και πιο αυστηρά κατά τις τελευταίες τέσσερις

δεκαετίες, για την πρόληψη ατυχημάτων που σχετίζονται με το LNG και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών τους, εφόσον εκδηλώνονται (Greenwald, 1998).

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται στον Καναδά υπόκεινται σε πολλές ρυθμίσεις για να διασφαλιστεί ότι η υγεία και η ασφάλεια των ανθρώπων και του περιβάλλοντος προστατεύονται. Οι εγκαταστάσεις LNG χαρακτηρίζονται ως βιομηχανικές περιοχές και πρέπει να πληρούν όλα τα πρότυπα, τους κώδικες και τους κανονισμούς που επιβάλλονται από τις ομοσπονδιακές, επαρχιακές και δημοτικές αρχές (Greenwald, 1998).

Η Canadian Standards Association (CSA), ένας εθνικός οργανισμός προτύπων για την ανάπτυξη προτύπων δημόσιας ασφάλειας στον Καναδά, έχει ένα συγκεκριμένο πρότυπο για την παραγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου, αποθήκευσης και διακίνησης (CSA πρότυπο CAN / CSA Z276-01). Το Πρότυπο καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις και τα ελάχιστα πρότυπα για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων LNG (Greenwald, 1998).

Η βιομηχανία LNG τηρεί πρόσθετους κώδικες, κανόνες, κανονισμούς και πρότυπα που έχουν θεσπισθεί από οργανισμούς όπως, την SIGTTO (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators), το Gas Processors Association, την Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας και τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Για παράδειγμα, όλα τα πλοία και τα λιμάνια σε όλο τον κόσμο που ασχολούνται με το διεθνές εμπόριο πρέπει να συμμορφώνονται με τον Διεθνή Κώδικα Ασφαλείας Πλοίων και Λιμανιών (ISPS) που χορηγείται από τον IMO. Οι Μεταφορές στον Καναδά έχουν εφαρμόσει τον κώδικα ISPS μέσω των Κανονισμών Ασφαλείας Θαλάσσιων Μεταφορών. Οι κανονισμοί ορίζουν ότι το λιμάνι, οι εγκαταστάσεις LNG και τα πλοία οφείλουν να έχουν εγκεκριμένο σχέδιο ασφαλείας και οι υπεύθυνοι ασφαλείας να έχουν οριστεί πριν από τη λειτουργία. (Greenwald, 1998)

2.1.5 Φυσικές και χημικές ιδιότητες LNG

Ένα σημαντικό μέρος της έρευνας είναι αφιερωμένο στην κατανόηση της συμπεριφοράς του LNG. Για παράδειγμα, για την αντιμετώπιση των θεμάτων

ασφάλειας LNG, το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ ανέθεσε στο Sandia National Laboratory την εξέταση θεμάτων ασφάλειας LNG, ιδιαίτερα εκείνων που σχετίζονται με τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου(Woodward&Pitblado, 2010).

Για την καλύτερη κατανόηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου πρέπει να γίνει αναφορά στην εξέταση των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων. Οι χημικές και φυσικές αυτές ιδιότητες είναι θεμελιώδεις για την σωστή κατανόηση του LNG. Οι ίδιες οι ιδιότητες που καθιστούν το LNG μια καλή πηγή ενέργειας μπορούν επίσης να είναι επικίνδυνες αν το LNG δεν αποθηκεύεται σωστά. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά του LNG, επηρεάζουν τις προβλέψεις μας για τον τρόπο αξιολόγησης και διαχείρισης των κινδύνων που προκύπτουν από τη χρήση του. Επιπλέον, για την ακριβή κατανόηση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς του LNG, πρέπει κανείς να διακρίνει καθαρά τις ιδιότητές του ως υγρό από τις ιδιότητές του ως αέριο (Woodward&Pitblado, 2010).

Ο αναγνώστης θα παρατηρήσει ότι οι συζητήσεις για τις ιδιότητες του LNG συχνά περιέχουν δυσοίωνες προειδοποιήσεις, και απαιτούν διευκρινήσεις όπως " ανάλογα με την ακριβή του σύνθεση", επειδή τέτοια στοιχεία είναι σημαντικά για τη μελέτη της συμπεριφοράς του LNG. Είναι ανακριβές και άτοπο να προβαίνει κανείς σε καθολικές γενικεύσεις για το LNG. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να καταστεί σαφές το πώς το LNG θα συμπεριφερόταν αν απελευθερωνόταν τυχαία ή σκόπιμα (π.χ., από μια τρομοκρατική επίθεση) και να διευκρινιστούν άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσικές του ιδιότητες, γιατί το αποτέλεσμα θα επηρεαστεί από παράγοντες όπως οι τοπογραφικές συνθήκες(Woodward&Pitblado, 2010).

Η παρανόηση σχετικά με τις επιπτώσεις του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είναι ασυνήθιστο φαινόμενο και συχνά προκαλείται από τη σύγχυση, τις ελλειπείς ή ανακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του LNG. Εφόσον οι ιδιότητες καθορίζουν τη συμπεριφορά και επηρεάζουν την διαχείριση των πιθανών κινδύνων, η γνώση και η κατανόηση σχετικά με το LNG είναι απαραίτητες(Woodward&Pitblado, 2010).

Αρκετές εταιρείες LNG έχουν δεσμευτεί για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με το προϊόν τους. Για παράδειγμα, οι εταιρείες στην Ιαπωνία και τη Νότια Κορέα ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις εγκαταστάσεις τους με τις τοπικές

κοινωνίες και ενημερώνουν το κοινό για το LNG. Για παράδειγμα, η Osaka Gas Company και η Τόκιο Gas Company έχουν εγκαταστήσει σχετικά μουσεία (Gas Science Museums) σε κάθε ένα από τους σταθμούς τους. Το πρώτο άνοιξε το 1982. Περισσότερα από 50.000 παιδιά, μεταξύ άλλων επισκεπτών, επισκέπτονται τα μουσεία αυτά κάθε χρόνο και παρακολουθούν επιδείξεις των ιδιοτήτων και συμπεριφορών του LNG (BP Safety Group & IChemE's Loss Prevention Panel, 2007).

Το LNG είναι φυσικό αέριο το οποίο έχει μετατραπεί σε υγρό για τον σκοπό της αποθήκευσης ή της μεταφοράς. Το LNG (υγροποιημένο) καταλαμβάνει περίπου το 1/600 του όγκου του φυσικού αερίου. Ανάλογα με την ακριβή σύνθεση του, το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση μετατρέπεται σε υγρό στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-259\text{ }^{\circ}\text{F}$) περίπου (Shively&Ferrare, 2005).

Η εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία του LNG το καθιστά ένα κρυογονικό υγρό. Γενικώς, ουσίες με θερμοκρασία $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-48\text{ }^{\circ}\text{F}$) ή λιγότερο θεωρούνται κρυογονικές και απαιτούν ειδικές τεχνολογίες για το χειρισμό τους. Συγκριτικά, οι πιο ψυχρές φυσικές θερμοκρασίες που καταγράφονται στη γη είναι $-89.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-129\text{ }^{\circ}\text{F}$) κατά τους χειμερινούς μήνες στην Ανταρκτική και η ψυχρότερη θερμοκρασία κατοικημένης περιοχής που καταγράφηκε ήταν στην Oymyakon (Δημοκρατία των Σαχά, Ρωσία) κατά τη διάρκεια του Σιβηρικού χειμώνα ($-71.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-96,16\text{ }^{\circ}\text{F}$). Για την διατήρηση της υγρής του μορφής, το υγροποιημένο φυσικό αέριο πρέπει να φυλάσσεται σε δοχεία τα οποία λειτουργούν σαν μπουκάλια θερμός, απομονώνοντας το κρύο ή τη ζέστη. Λόγω της κρυογονικής του θερμοκρασίας, το υγροποιημένο φυσικό αέριο παγώνει οποιοδήποτε ιστό (φυτικό ή ζωικό), με το οποίο έρχεται σε επαφή και μπορεί να προκαλέσει άλλα υλικά να γίνονται εύθραυστα και να χάνουν τη δύναμη και τη λειτουργικότητά τους (Shively&Ferrare, 2005).

Για το λόγο αυτό η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του LNG είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το LNG είναι άοσμο, άχρωμο, μη-διαβρωτικό, άφλεκτο και μη τοξικό. Το φυσικό αέριο στο σπίτι μπορεί να έχει υγροποιηθεί σε κάποιο σημείο, αλλά να μετατράπηκε σε ατμό για οικιακή χρήση. Ο λόγος που το φυσικό αέριο για οικιακή χρήση διαθέτει μυρωδιά είναι επειδή προστίθεται μια αρωματική ουσία στο φυσικό αέριο πριν αποσταλεί στο δίκτυο διανομής. Αυτή η

οσμή επιτρέπει την ευκολότερη ανίχνευση των διαρροών αερίου(Shively&Ferrare, 2005).

Οι βασικές ιδιότητες της υγρής και της αέριας μορφής του LNG είναι οι εξής(Shively&Ferrare, 2005):

- Χημική σύνθεση,
- Σημείο βρασμού,
- Πυκνότητα και ειδικό βάρος,
- Ευφλεκτότητα, και
- Η ανάφλεξη και η θερμοκρασία φλόγας.

2.1.5.1 Χημική σύνθεση

Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο, που σημαίνει ότι έχει δημιουργηθεί από την εναπόθεση οργανικών υλικών και θάφτηκε στη γη εκατομμύρια χρόνια πριν. Το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν τους τύπους ορυκτών καυσίμων, γνωστούς ως "υδρογονάνθρακες", διότι τα καύσιμα αυτά περιέχουν χημικούς συνδυασμούς ατόμων υδρογόνου και άνθρακα. Η χημική σύνθεση του φυσικού αερίου αποτελεί συνάρτηση της πηγής του αερίου και του τύπου της επεξεργασίας. Είναι ένα μείγμα μεθανίου, αιθανίου, προπανίου και βουτανίου με μικρές ποσότητες βαρύτερων υδρογονανθράκων και κάποιες προσμείξεις, κυρίως αζώτου και σύνθετες ενώσεις θείου, νερού, διοξειδίου του άνθρακα και υδρόθειου που μπορεί να υπάρχουν στο αέριο τροφοδοσίας, αλλά έχουν αφαιρεθεί πριν την υγροποίηση. Το μεθάνιο είναι μακράν το κυριότερο συστατικό, συνήθως, αν και όχι πάντα, πάνω από 85% κατ' όγκο. Ο Πίνακας 1 εμφανίζει τις χημικές συνθέσεις των ενώσεων υδρογονανθράκων που συνθέτουν το φυσικό αέριο, και τις βαθμίδες τους σε όγκο όπου μπορούν να εμφανίζονται στο LNG. Ο αγωγός φυσικού αερίου μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες υδρατμών(Pitblado&Woodward, 2011).

Το LNG συχνά συγχέεται με υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (υγραέριο), το οποίο με τη σειρά του συχνά αποδίδεται λανθασμένα ως προπάνιο. Στην πραγματικότητα, το υγραέριο είναι ένα μείγμα, κυρίως, αερίων προπανίου και βουτανίου που υπάρχουν σε υγρή μορφή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, υπό μέτρια πίεση (μικρότερη από 1,5 MPa ή 200 psi). Στις ΗΠΑ, τον Καναδά και την Ιαπωνία, το υγραέριο αποτελείται κυρίως από προπάνιο (Πίνακας 2). Ωστόσο, σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η περιεκτικότητα προπανίου στο υγραέριο μπορεί να είναι χαμηλή, περίπου 50% ή λιγότερο. Επιπλέον, σε ορισμένες χώρες το υγραέριο μπορεί να περιέχει ένα σημαντικό ποσοστό σε προπυλένιο (United States Congress, 2010).

Η διαφορετική (από το LNG) σύνθεση του υγραερίου και οι φυσικές του ιδιότητες καθιστούν και τη συμπεριφορά του διαφορετική. Το προπάνιο και το βουτάνιο στο υγραέριο έχουν διαφορετικές χημικές συνθέσεις από το μεθάνιο, τον κύριο υδρογονάνθρακα του φυσικού αερίου και του LNG. Το προπάνιο και το βουτάνιο μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν ως μείγμα ή χωριστά. Και τα δύο είναι αέρια σε κανονική θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση και, όπως το μεθάνιο, εύκολα εξατμιζόμενο. Το προπάνιο υγροποιείται πολύ πιο εύκολα από ό, τι το LNG (στους -43°C [-46°P] έναντι -162°C [-259°F] για το LNG), καθιστώντας ευκολότερη τη συμπίεση και τη μεταφορά του σε φορητή δεξαμενή. Στην πραγματικότητα, το υγραέριο αποθηκεύεται ως υγρό υπό πίεση, ενώ το LNG αποθηκεύεται ως υγρό μόνο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και πίεση περιβάλλοντος (United States Congress, 2010).

Σημείο βρασμού

Το σημείο βρασμού είναι μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες διότι καθορίζει τον χρόνο στον οποίο ένα αέριο μετατρέπεται σε υγρό. Γενικά, το σημείο βρασμού ορίζεται ως «η θερμοκρασία στην οποία ένα υγρό σε ατμοσφαιρική πίεση βράζει» ή μετατρέπεται ταχύτατα από υγρό σε ατμό ή αέριο. Το σημείο βρασμού του καθαρού νερού σε ατμοσφαιρική πίεση είναι 100°C (212°F). Το σημείο βρασμού του υγροποιημένου φυσικού αερίου ποικίλλει ανάλογα με τη βασική σύνθεση, αλλά τυπικά είναι -162°C (-259°F) (Pitblado & Woodward, 2011).

Πίνακας 1: Χημική σύνθεση του LNG

Χημικό Στοιχείο	Χημικός Τύπος	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Μεθάνιο	CH ₄	87%	99%
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	<1%	10%
Προπάνιο	C ₂ H ₈	>1%	5%
Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀	>1%	>1%
Άζωτο	N ₂	0.10%	1%

Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

Όταν το ψυχρό LNG έρχεται σε επαφή με το θερμότερο αέρα, νερό ή περιβάλλον, αρχίζει να "βράζει" επειδή οι θερμοκρασίες που το περιβάλλουν είναι θερμότερες από το σημείο βρασμού του υγροποιημένου φυσικού αερίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Ο πίνακας 3 δείχνει τα σημεία βρασμού του νερού και των κοινών αερίων (Greenwald, 1998).

Η διαδικασία υγροποίησης ψύχει το φυσικό αέριο για να μετατραπεί σε υγρό το οποίο μειώνει τον όγκο που καταλαμβάνεται από το αέριο κατά περίπου 600 φορές. Το LNG μετατρέπεται ξανά σε φυσικό αέριο για διανομή στους βιομηχανικούς και οικιακούς καταναλωτές. Η διαδικασία επαναεριοποίησης θερμαίνει το LNG και το μετατρέπει ξανά σε αέριο (Shively & Ferrare, 2005).

Πίνακας 2: Ποσοστό σύνθεσης LNG κατ' όγκο

Χώρα	Προπάνιο	Βουτάνιο
Βέλγιο	50	50
Γαλλία	35	65
Ιρλανδία	100	100
Ιταλία	25	75

Γερμανία	90	10
Ηνωμένο Βασίλειο	100	100
Δανία	50	50
Ελλάδα	20	80
Ολλανδία	50	50
Ισπανία	30	70
Σουηδία	95	5

Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

Πυκνότητα και ειδικό βάρος

Η πυκνότητα είναι η μέτρηση της μάζας ανά μονάδα όγκου και είναι μια απόλυτη ποσότητα. Επειδή το LNG δεν είναι καθαρή ουσία, η πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου ποικίλλει ελαφρώς με την πραγματική σύνθεση του. Η πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου κυμαίνεται μεταξύ 430 kg/m³ και 470 kg/m³ (3,5 με 4 λίβρες / ΗΠΑ gal). Το Υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει πυκνότητα μικρότερη από την μισή πυκνότητα του νερού. Συνεπώς, ως υγρό, το LNG επιπλέει εάν χυθεί στο νερό. Το ειδικό βάρος είναι μια σχετική ποσότητα (Woodward & Pitblado, 2010).

Πίνακας 3: Σημεία βρασμού του νερού και διαφόρων κοινών αερίων

Fahrenheit (βαθμοί F)	Celsius (Βαθμοί C)	Αντίδραση
212	100	Βρασμός νερού
31	-0.5	Βρασμός βουτανίου
-27	-33	Βρασμός αμμωνίας
-44	-42	Βρασμός προπανίου
-259	-162	Βρασμός LNG

-298	-183	Βρασμός οξυγόνου
-319	-195	Βρασμός αζώτου
-422	-252	Βρασμός υδρογόνου
-454	-270	Βρασμός ηλίου
-460	-273	Απόλυτο μηδέν

Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

Πίνακας 4: Όρια ανάφλεξης καυσίμων

Καύσιμο	LFL	UFL
Μεθάνιο	5.0	15.0
Βουτάνιο	1.86	7.6
Κηροζίνη	0.7	5.0
Προπάνιο	2.1	10.1
Υδρογόνο	4.0	75.0
Αιθάνιο	2.5	>82.0

Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

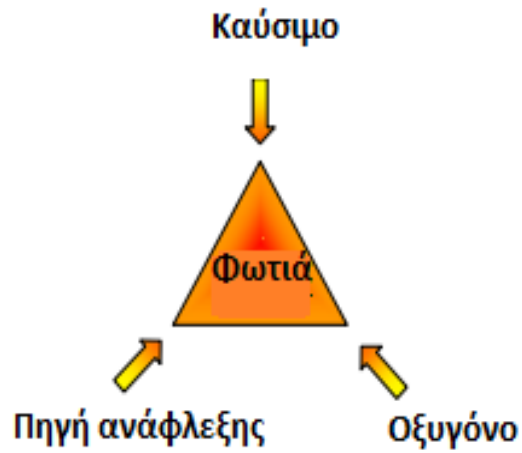
LFL: Χαμηλό όριο ανάφλεξης και UFL: υψηλό όριο ανάφλεξης – ποσοστό χημικού στοιχείου στον αέρα – πρόκληση αναφλέξης

Πίνακας 5: Θερμοκρασία αυτανάφλεξης καυσίμων

	Φυσικό αέριο	Πετρέλαιο ντίζελ	Βενζίνη
Θερμοκρασία αυτοανάφλεξης	599° C	260-371° C	226-471° C

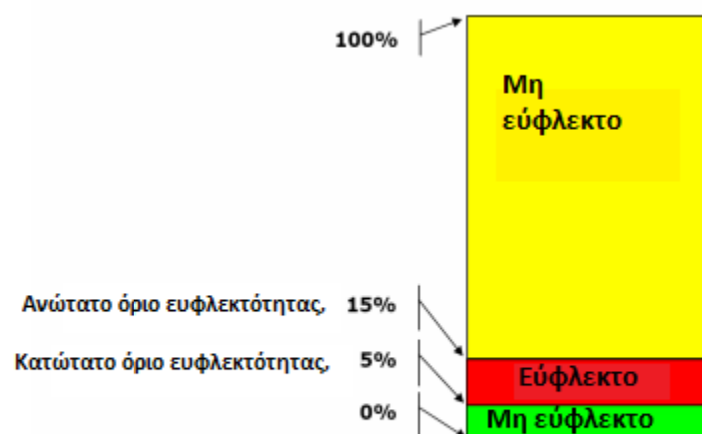
Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

Εικόνα 1: Τρίγωνο της φωτιάς



Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

Εικόνα 2: Εύρος ευφλεκτότητας μεθανίου



Πηγή στοιχείων: (Shively & Ferrare, 2005)

2.1.5.2 Ποιότητα του LNG

Η ποιότητα του LNG είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα στην αγορά LNG. Κάθε αέριο που δεν συμμορφώνεται με τις συμφωνηθείσες προδιαγραφές πώλησης και αγοράς θεωρείται αέριο ή LNG «εκτός προδιαγραφών» (off-spec) ή «εκτός ποιότητας»(Timmerhaus, 2013). Οι κανονισμοί ποιότητας εξυπηρετούν τρεις σκοπούς(Timmerhaus, 2013):

1 - να εξασφαλιστεί ότι το αέριο που διανέμεται είναι μη διαβρωτικό και μη τοξικό, και το περιεχόμενό του βρίσκεται κάτω από τα ανώτερα όρια σε H₂S(υδροθείο), ολικό θείο, CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) και Hg(υδράργυρο).

2 - να προφυλάξουν από το σχηματισμό των υγρών στα δίκτυα, μέσω των μέγιστων σημείων του νερού και των υδρογονανθράκων.

3 - να επιτρέψει τη δυνατότητα υποκατάστασης των διανεμηθέντων αερίων, μέσω ορίων στο εύρος διακύμανσης για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την καύση: περιεκτικότητα σε αδρανή αέρια, θερμιδική αξία, ο δείκτης Wobbe, ο συντελεστής ατελούς καύσης κλπ.

Στην περίπτωση των off-spec αερίων(διοξειδίου του άνθρακα και νίτρο, αερίων που μειώνουν την ενεργειακή απόδοση του μεθανίου) στο φυσικό αέριο ή LNG ο αγοραστής μπορεί να αρνηθεί να δεχθεί το φυσικό αέριο ή το LNG και ο πωλητής πρέπει να πληρώσει αποζημίωση για τις αντίστοιχες off-spec ποσότητες φυσικού αερίου. Η ποιότητα του αερίου ή υγροποιημένου φυσικού αερίου μετράται στο σημείο παράδοσης, χρησιμοποιώντας ένα όργανο, όπως ο χρωματογράφος αερίων(Timmerhaus, 2013).

Οι πιο σημαντικές ανησυχίες για την ποιότητα του φυσικού αερίου περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε θείο και υδράργυρο και την θερμαντική του αξία. Λόγω της ευαισθησίας των εγκαταστάσεων υγροποίησης προς στοιχεία θείου και υδράργυρου, το αέριο που αποστέλλεται για υγροποίηση πρέπει να εξευγενιστεί με ακρίβεια και να δοκιμάζεται ώστε να εξασφαλιστεί η ελάχιστη δυνατή συγκέντρωση των δύο αυτών στοιχείων πριν από την είσοδο της μονάδας υγροποίησης, και ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν πολλές ανησυχίες για αυτά. Ωστόσο, η κύρια ανησυχία είναι η θερμαντική

αξία του αερίου(Timmerhaus, 2013). Συνήθως η αγορά φυσικού αερίου μπορεί να χωριστεί σε τρεις αγορές όσον αφορά την αξία θέρμανσης(Timmerhaus, 2013):

- *Ασία* (Ιαπωνία, Κορέα, Ταϊβάν), όπου το αέριο που διανέμεται είναι πλούσιο, με GCV υψηλότερο από 43 MJ/m³ (n), δηλαδή 1.090 Btu / scf.
- *Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ*, όπου το αέριο που διανέμεται είναι φτωχό, με χαμηλότερο συνήθως GCV από 42 MJ/m³ (n), δηλαδή 1.065 Btu / scf.
- *Ηπειρωτική Ευρώπη*, όπου το αποδεκτό εύρος GCV είναι αρκετά μεγάλο: περίπου. 39 έως 46 MJ/m³ (η), δηλ. 990 με 1160 Btu / scf.

Υπάρχουν, επίσης, ορισμένες μέθοδοι τροποποίησης της θερμαντικής αξίας του παραγόμενου LNG στο επιθυμητό επίπεδο. Για το σκοπό της αύξησης της θερμαντικής αξίας, η προσθήκη προπανίου και βουτανίου αποτελεί μια λύση. Για το σκοπό της μείωσης της θερμαντικής αξίας, η προσθήκη αζώτου και η αφαίρεση βουτανίου και προπανίου είναι απαραίτητη διαδικασία. Η ανάμειξη με φυσικό αέριο ή υγροποιημένο αέριο είναι άλλη μία μέθοδος. Ωστόσο, όλες αυτές οι μέθοδοι, ενώ είναι θεωρητικά βιώσιμες, μπορούν να είναι δαπανηρές και η διαχείρισή τους σε μεγάλη κλίμακα δύσκολη(Timmerhaus, 2013).

Τεχνολογία υγροποίησης

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 4 διαθέσιμες διαδικασίες υγροποίησης(Timmerhaus, 2013):

- C3MR (συχνά αναφέρεται ως APCI): σχεδιάστηκε από την Air Products & Chemicals, Incorporation.
- Cascade: σχεδιάστηκε από την ConocoPhillips.
- ShellDMR
- Linde

Στο τέλος του 2012, υπήρξαν περισσότερες από 100 παραγωγικές γραμμές υγροποίησης με συνολική χωρητικότητα 297,2 MMTPA.

Η πλειοψηφία αυτών των γραμμών χρησιμοποιεί είτε την τεχνολογία APCI ή την Cascade για τη διαδικασία υγροποίησης. Οι άλλες μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται σε μια μικρή μειοψηφία εργοστασίων υγροποίησης, περιλαμβάνουν την τεχνολογία DMR της Shell και την τεχνολογία της Linde. Οι διαδικασίες αυτές είναι λιγότερο σημαντικές από τις διαδικασίες APCI ή Cascade (Mokhatab, 2012).

Η τεχνολογία APCI είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος σε μονάδες υγροποίησης LNG: από 100 γραμμές υγροποίησης σε λειτουργία ή υπό κατασκευή, 86 γραμμές, με συνολική χωρητικότητα 243 MMTPA έχουν σχεδιαστεί με βάση τη διαδικασία APCI: η δεύτερη πιο συχνή χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η διαδικασία Philips Cascade που χρησιμοποιείται σε 10 τρένα με συνολική χωρητικότητα 36,16 MMTPA. Η διαδικασία Shell DMR έχει χρησιμοποιηθεί σε 3 γραμμές με συνολική χωρητικότητα 13,9 MMTPA. Και, τέλος, η διαδικασία Linde / Statoil χρησιμοποιείται μόνο στην ενιαία γραμμή Snøhvit 4.2 MMTPA (Mokhatab, 2012).

Οι εγκαταστάσεις κυμαινόμενου υγροποιημένου φυσικού αερίου (FLNG) επιπλέον πάνω από υπεράκτιο κοίτασμα φυσικού αερίου, και παράγουν, υγροποιούν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν το LNG (και ενδεχομένως υγραέριο και άλλα συμπυκνώματα) στη θάλασσα προτού διανεμηθεί άμεσα στις αγορές. Η πρώτη εγκατάσταση LNG βρίσκεται υπό εξέλιξη από τη Shell και αναμένεται να ολοκληρωθεί περίπου το 2017 (Mokhatab, 2012).

Αποθήκευση

Οι σύγχρονες δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι συνήθως δεξαμενές πλήρους περιορισμού, με εξωτερικό τοίχωμα από σκυρόδεμα και εσωτερική δεξαμενή χάλυβα με υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο, με εξαιρετικά αποτελεσματική μόνωση μεταξύ των τοιχωμάτων. Οι μεγάλες δεξαμενές έχουν χαμηλή αναλογία διαστάσεων (ύψος προς πλάτος), με κυλινδρικό σχεδιασμό με θολωτή στέγη από χάλυβα ή σκυρόδεμα. Η πίεση αποθήκευσης σε αυτές τις δεξαμενές είναι πολύ χαμηλή, μικρότερη από 10 kPa (1,45 psig). Μερικές φορές, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση υπόγειες δεξαμενές που έχουν όμως

μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Μικρότερες ποσότητες (δηλαδή 700 m³ (190,000 γαλόνια ΗΠΑ) και λιγότερο), μπορούν να αποθηκεύονται σε οριζόντια ή κατακόρυφα δοχεία πίεσης με κενά μεταξύ των περιβλημάτων . Η πίεση στις δεξαμενές αυτές μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο από 50 kPa έως και πάνω από 1700 kPa (7 psig έως 250 psig)(Kidnay, Parrish, & McCartney, 2011).

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο πρέπει να διατηρείται κρύο για να παραμείνει υγρό, ανεξαρτήτως πίεσης. Παρά την αποτελεσματική μόνωση, θα υπάρξει αναπόφευκτα κάποια διαρροή θερμότητας στο LNG, με αποτέλεσμα την εξάτμιση του LNG. Αυτό το «απαέριο εξάτμισης» λειτουργεί για να κρατήσει την θερμοκρασία του LNG χαμηλή. Το απαέριο εξάτμισης συνήθως συμπιέζεται και εξάγεται ως φυσικό αέριο, ή υγροποιείται και αποθηκεύεται(Kidnay, Parrish, & McCartney, 2011).

Μεταφορά

Το LNG μεταφέρεται σε ειδικά σχεδιασμένα πλοία με διπλό κύτος για την προστασία των συστημάτων ελέγχου φορτίου από τυχόν φθορές ή διαρροές. Υπάρχουν διάφορες ειδικές μέθοδοι ελέγχου διαρροής για τον έλεγχο της ασφάλειας των δεξαμενών φορτίου ενός πλοίου LNG. Η μεταφορά και η διανομή είναι μια σημαντική πτυχή της αγοράς φυσικού αερίου, δεδομένου ότι τα αποθέματα φυσικού αερίου είναι συνήθως αρκετά μακριά από τις αγορές των καταναλωτών. Το φυσικό αέριο έχει πολύ περισσότερο όγκο από το πετρέλαιο όσον αφορά τη μεταφορά, και η μεγαλύτερη ποσότητα αερίου μεταφέρεται με αγωγούς. Υπάρχει ένα δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου στην πρώην Σοβιετική Ένωση, την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Το φυσικό αέριο είναι λιγότερο πυκνό, ακόμη και σε υψηλότερες πιέσεις. Το φυσικό αέριο διανύει αποστάσεις πολύ πιο γρήγορα από ό, τι το πετρέλαιο μέσω ενός αγωγού υψηλής πίεσης, αλλά μπορεί να μεταδώσει μόνο περίπου το ένα πέμπτο της ποσότητας ενέργειας ανά ημέρα, λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας. Το φυσικό αέριο συνήθως υγροποιείται σε LNG στο τέλος του αγωγού, πριν από την αποστολή του (Kidnay & Parrish, 2006).

Αγωγοί LNG με όχι ιδιαίτερα μεγάλο μήκος είναι διαθέσιμοι για μετακίνηση του προϊόντος από το πλοία LNG για χερσαία αποθήκευση. Μεγαλύτεροι αγωγοί, οι

οποίοι επιτρέπουν στα πλοία να ξεφορτώσουν το LNG σε μεγαλύτερη απόσταση από τις λιμενικές εγκαταστάσεις είναι ήδη υπό ανάπτυξη. Αυτό απαιτεί τεχνολογία pipe in pipe out λόγω των απαιτήσεων για τη διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας του LNG(UnitedStatesCongress, 2010).

Το LNG μεταφέρεται χρησιμοποιώντας τόσο βυτιοφόρα, καθώς και πλοία ειδικά σχεδιασμένα για τον σκοπό αυτό, γνωστά ως πλοία μεταφοράς LNG. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα πρέπει, μερικές φορές, να τεθεί σε κρυογονικές θερμοκρασίες για να αυξηθεί η χωρητικότητα του στο δεξαμενόπλοιο. Οι πρώτες εμπορικές μεταφορές ship-to-ship (STS) πραγματοποιήθηκαν τον Φεβρουάριο του 2007 στις εγκαταστάσεις της Flotta στο Scapa Flowwith, όπου 132.000 m³ υγροποιημένου φυσικού αερίου μεταφέρθηκαν μεταξύ των σκαφών Excalibur και Excelsior. Μεταφορές έχουν επίσης πραγματοποιηθεί από την Shipmanagement Exmar, βελγική ιδιοκτήτρια εταιρεία πλοίου μεταφοράς αερίου στον Κόλπο του Μεξικού, η οποία περιλάμβανε τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου από ένα συμβατικό πλοίο μεταφοράς LNG σε πλοίο επαναεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNGRV). Πριν από αυτή την εμπορική άσκηση, το LNG μεταφερόταν μεταξύ δύο πλοίων σε ελάχιστες περιπτώσεις ως αναγκαιότητα(Shively&Ferrare, 2005).

Τερματικοί Σταθμοί

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις, συχνά μέσω θαλάσσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τερματικοί σταθμοί LNG είναι ειδικά κατασκευασμένα λιμάνια που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την εξαγωγή ή εισαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου(Greenwald, 1998).

Ψύξη

Η μόνωση, όσο αποτελεσματική και αν είναι, δεν είναι αρκετή για να διατηρήσει την χαμηλή θερμοκρασία του LNG. Αναπόφευκτα, η διαρροή θερμότητας θερμαίνει και

εξατμίζει το LNG. Η συνηθισμένη πρακτική στην βιομηχανία του LNG είναι η αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως κρυογονικό σε σημείο βρασμού. Δηλαδή, το υγρό αποθηκεύεται στο σημείο βρασμού του για την πίεση στην οποία είναι αποθηκευμένο (ατμοσφαιρική πίεση). Καθώς ο ατμός βράζει, η θερμότητα για την αλλαγή φάσης ψύχει το υπόλοιπο υγρό. Επειδή η μόνωση είναι πολύ αποτελεσματική, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας, μόνο μια σχετικά μικρή ποσότητα απαερίου εξατμίσσης είναι αναγκαία. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται επίσης αυτόματη ψύξη. Το απαέριο εξατμίσσης από χερσαίες δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου συνήθως συμπιέζεται και τροφοδοτείται στα δίκτυα αγωγών φυσικού αερίου. Μερικά πλοία μεταφοράς LNG χρησιμοποιούν απαέριο εξατμίσσης για τα καύσιμα (Woodward&Pitblado, 2010).

Περιβαλλοντικές ανησυχίες

Τα θέματα που συνήθως αναφέρονται περιλαμβάνουν: έμφαση στο κλίμα, η οποία συνδέεται με την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην εξόρυξη (ωστόσο, στην πραγματικότητα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα της αλυσίδας εφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι χαμηλότερες από ό, τι σε αγωγούς φυσικού αερίου από απομακρυσμένα πεδία αν ληφθούν υπόψη αντίστοιχες αποστάσεις μεταφοράς), υγροποίηση, αεριοποίηση και μεταφορά. Μερικές ομάδες έχουν εντοπίσει απελευθέρωση οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων από εργοστάσια, τα οποία επιδεινώνουν το άσθμα και τις αναπνευστικές παθήσεις. Ωστόσο, οι εκπομπές καύσης από τις μονάδες υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είναι μεγαλύτερες από αυτές μιας μονάδας παραγωγής φυσικού αερίου με παρόμοιες απαιτήσεις σε ενέργεια. Τονομικό πλαίσιο στα περιβαλλοντικά θέματα σχετίζεται με τον τόπο εγκατάστασης και με δαπανηρές επενδύσεις σε υποδομές που απαιτούνται για εναλλακτικές λύσεις φιλικότερες προς το περιβάλλον (BPSafetyGroup&ICChemE'sLossPreventionPanel, 2007).

Ένας τυπικός τερματικός σταθμός υγροποίησης και εξαγωγής LNG, που εξάγει 4,5 εκατ. τόνους υγροποιημένου φυσικού αερίου αναμένεται να παράγει με τη σειρά του 1,2 εκατ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα σε άμεσες εκπομπές. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με την καύση των 4,5 εκατ. τόνων υγροποιημένου

φυσικού αερίου ισοδυναμούν με περίπου 12 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα(BPSafetyGroup&IChemE'sLossPreventionPanel, 2007).

Στη Δυτική Ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου έχουν προταθεί έως και τρεις νέοι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου, περιβαλλοντικές ομάδες, όπως η Pacific Environment, η Rate payers for Affordable Clean Energy και η Rising Tide έχουν αντιταχθεί σε αυτήν την πρωτοβουλία. Μολονότι οι σταθμοί παραγωγής φυσικού αερίου εκπέμπουν περίπου το μισό του διοξειδίου του άνθρακα ενός αντίστοιχου σταθμού παραγωγής άνθρακα, η καύση φυσικού αερίου που απαιτείται για την παραγωγή και τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου στους σταθμούς προσθέτει 20 έως 40 τοις εκατό περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι η καύση φυσικού αερίου. Ωστόσο, η εκτίμηση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη τον κύκλο ζωής των εκπομπών από την παραγωγή φυσικού αερίου, οι εκπομπές αυτές περιλαμβάνουν σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα από τη συμπίεση του φυσικού αερίου και τη μεταφορά. **Με βάση κάθε μεταφερόμενο χιλιόμετρο, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του LNG είναι χαμηλότερες από τις εκπομπές φυσικού αερίου μέσω αγωγών**(BPSafetyGroup&IChemE'sLossPreventionPanel, 2007).

Το φυσικό αέριο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το πιο φιλικό προς το περιβάλλον ορυκτό καύσιμο επειδή έχει τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά μονάδα ενέργειας, και επειδή είναι κατάλληλο για χρήση σε σταθμούς υψηλής απόδοσης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι εκπομπές από το LNG είναι χαμηλότερες από τις εκπομπές φυσικού αερίου μέσω αγωγών, πράγμα που αποτελεί συγκεκριμένο ζήτημα στην Ευρώπη, όπου οι σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου μεταφέρονται μέσω αγωγών αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα από τη Ρωσία, και παράλληλα σχεδιάζονται νέοι τέτοια αγωγοί. Ωστόσο, οι εκπομπές από το φυσικό αέριο που μεταφέρεται ως υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι υψηλότερες από ό, τι αυτές του φυσικού αερίου που παράγεται τοπικά στο σημείο της καύσης, καθώς οι εκπομπές που σχετίζονται με τις μεταφορές είναι χαμηλότερες(BPSafetyGroup&IChemE'sLossPreventionPanel, 2007).

Ασφάλεια και ατυχήματα.

Το φυσικό αέριο με την ιδιότητα του καύσιμου χαρακτηρίζεται ως εύφλεκτο υλικό. Για να εξασφαλιστεί η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία, λαμβάνονται συγκεκριμένα μέτρα στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων LNG(Han&Lim, 2012).

Σε υγρή κατάσταση, το LNG δεν εκρήγνυται και δεν φλέγεται. Για την καύση του LNG, απαιτείται πρώτα εξάτμιση και στη συνέχεια, ανάμειξη με τον αέρα σε κατάλληλες αναλογίες (το εύρος ευφλεκτότητας είναι 5% έως 15%), και στη συνέχεια ανάφλεξη. Σε περίπτωση διαρροής, το LNG εξατμίζεται γρήγορα, μετατρέπεται σε αέριο (μεθάνιο και ίχνη αερίων), και αναμειγνύεται με τον αέρα. Αν αυτό το μείγμα είναι εντός του φάσματος ευφλεκτότητας, υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης η οποία θα δημιουργήσει πυρκαγιές και κινδύνους θερμικής ακτινοβολίας(Kumar, etal., 2011).

Η διαφυγή του αερίου από τα οχήματα που χρησιμοποιούν το LNG μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο ευφλεκτότητας, αν τα οχήματα βρίσκονται σταθμευμένα σε εσωτερικούς χώρους για περισσότερο από μία εβδομάδα. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του, ο ανεφοδιασμός οχημάτων που χρησιμοποιούν LNG απαιτεί εκπαίδευση για να αποφευχθεί ο κίνδυνος για κρυοπαγήματα. Δεξαμενόπλοια LNG έχουν πλεύσει πάνω από 100 εκατομμύρια μίλια χωρίς να έχει καταγραφεί θάνατος εν πλω ή σοβαρό ατύχημα(Kumar, etal., 2011).

Αρκετά επιτόπια ατυχήματα που περιλαμβάνουν ή σχετίζονται με το LNG αναφέρονται παρακάτω(Weintrit&Neumann, 2013):

1944, 20 Οκτωβρίου. Στην East Ohio Natural Gas Company μια δεξαμενή υγροποιημένου φυσικού αερίου εξερράγη στο Κλήβελαντ του Οχάιο. 128 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στην έκρηξη και την πυρκαγιά. Η δεξαμενή δεν διέθετε τοίχο στήριξης και κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια του Β 'Παγκοσμίου Πολέμου. Ο χάλυβας της δεξαμενής κατασκευάστηκε με μια εξαιρετικά χαμηλή ποσότητα νικελίου, το οποίο σημαίνει ότι η δεξαμενή είναι εύθραυστη όταν εκτίθεται στις ακραίες θερμοκρασίες του LNG. Η δεξαμενή εξερράγη, με αποτέλεσμα την έκχυση υγροποιημένου φυσικού αερίου στο αποχετευτικό σύστημα της πόλης. Το LNGεξατμίστηκε και μετατράπηκε σε αέριο, το οποίο εξερράγη.

1979 Οκτώβριος, Lusby, Μέριλαντ, στην εγκατάσταση LNG του Cove Point μια σφραγίδα αντλίας έσπασε, απελευθερώνοντας ατμούς αερίου (όχι LNG), οι οποίοι εισήλθαν σε έναν ηλεκτρικό αγωγό. Ένας εργαζόμενος έσβησε ένα διακόπτη, προκαλώντας την ανάφλεξη των ατμών αερίου, με αποτέλεσμα ένας εργαζόμενος να χάσει τη ζωή του, ένας άλλος να τραυματιστεί σοβαρά, καθώς και μεγάλες ζημιές στο κτίριο. Ως αποτέλεσμα του ατυχήματος, οι Εθνικοί Κώδικες πυρκαγιάς άλλαξαν.

2004 19 Ιανουαρίου, Skikda, Αλγερία. Έκρηξη στην εγκατάσταση υγροποίησης LNG Sonatrach. 27 σκοτώθηκαν, 56 τραυματίστηκαν, τρία τρένα LNG καταστράφηκαν και η παραγωγή του 2004 μειώθηκε κατά 76%. Ένας λέβητας ατμού που ήταν μέρος μιας αμαξοστοιχίας υγροποίησης εξερράγη, προκαλώντας μια τεράστια έκρηξη αερίων υδρογονανθράκων. Η έκρηξη σημειώθηκε στον αποθηκευτικό χώρο ψύξης προπανίου και αιθανίου.

2.2 Σύγκριση LNGκαι πετρελαίου ως ναυτιλιακά καύσιμα

Έχοντας παρουσιάσει παραπάνω τις πλήρεις ιδιότητες του LNG, στο σημείο αυτό θα γίνει συγκριτική εξέταση του LNGκαι του πετρελαίου ως ναυτιλιακών καυσίμων. Για το σκοπό αυτό, αρχικά θα γίνει παράθεση των ιδιοτήτων του πετρελαίου, ώστε να γίνει εφικτή περαιτέρω η σύγκρισή τους.

2.2.1 Σχηματισμός ακατέργαστου πετρελαίου

Η γενικά αποδεκτή θεωρία είναι ότι το ακατέργαστο πετρέλαιο σχηματίστηκε πριν από εκατομμύρια χρόνια, από τα υπολείμματα των φυτών και των ζώων που ζούσαν στις θάλασσες. Δεδομένου ότι έχασαν τη ζωή τους, βυθίστηκαν στο βυθό της θάλασσας, θάφτηκαν με άμμο και λάσπη, αποτελώντας ένα πλούσιο οργανικό στρώμα. Σταθερά, αυτά τα στρώματα είχαν συσσωρευτεί, με δεκάδες μέτρα πάχος. Η άμμος και η λάσπη μετατράπηκαν σε ιζηματογενή πετρώματα, και τα οργανικά υπολείμματα μετατράπηκαν σε σταγονίδια πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το

πετρέλαιο και το φυσικό αέριο διέρχονται μέσω του πορώδους βράχου και τελικά παγιδεύονται από ένα αδιαπέραστο στρώμα βράχου και συγκεντρώνονται στο υψηλότερο σημείο (Gluyas & Swarbrick, 2003).

Για τον σχηματισμό ενός κοιτάσματος πετρελαίου / αερίου, απαιτείται η παρουσία τεσσάρων γεωλογικών χαρακτηριστικών (Gluyas & Swarbrick, 2003):

- 1) το αρχικό πέτρωμα: περιέχει κατάλληλη οργανική ύλη, η οποία, κάτω από τις συνθήκες θερμότητας και πίεσης, παράγει υδρογονάνθρακες.
- 2) ο αποταμιευτήρας: ένα πορώδες στρώμα βράχου στον οποίο διατηρούνται οι υδρογονάνθρακες.
- 3) ο περιφερειακός μονωτήρας: μια πέτρα ή πηλός, ο οποίος αποτρέπει την διαφυγή των υδρογονανθράκων.
- 4) η παγίδα: ένας σχηματισμός βράχου που έχει καμφθεί σε ένα θόλο ή έχει αποκοπεί, γεγονός το οποίο εμποδίζει τη διαφυγή των υδρογονανθράκων, είτε προς τα πάνω ή προς τα πλάγια.

Οι παραπάνω παράγοντες πρέπει να συμβούν στη σωστή χρονική στιγμή, στον κατάλληλο τόπο και με τη σωστή σειρά, ώστε το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο να διαμορφωθούν και να παγιδευτούν. Επί του παρόντος, η επιτυχής εξερεύνηση πετρελαίου βασίζεται σε σύγχρονες τεχνικές, όπως η σεισμική έρευνα. Η θεμελιώδης αρχή της σεισμικής έρευνας είναι η πρόκληση σεισμικού παλμού στην επιφάνεια της γης ή κοντά σε αυτήν και να καταγράφουν τα πλάτη και ο χρόνος ταξιδιού των κυμάτων που επιστρέφουν στην επιφάνεια μετά την ανάκλαση ή όταν διαθλώνται από το περιβάλλον σε ένα ή περισσότερα στρώματα βράχων. Μόλις αποκτηθούν τα σεισμικά δεδομένα, πρέπει να μεταποιηθούν σε μια μορφή κατάλληλη για γεωλογική εξέταση και ανίχνευση κοιτασμάτων πετρελαίου (Gluyas & Swarbrick, 2003).

2.2.2 Σύνθεση Και Ταξινόμηση Του Ακατέργαστου Πετρελαίου

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα μείγμα πολλών διαφορετικών υδρογονανθράκων και μικρών ποσοτήτων ακαθαρσιών. Η σύνθεση του ακατέργαστου πετρελαίου μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την πηγή του. Κοιτάσματα ακατέργαστου πετρελαίου από την ίδια γεωγραφική περιοχή μπορεί να διαφέρουν σημαντικά λόγω των διαφορετικών στρωμάτων σχηματισμού πετρελαίου (Selley, 1997).

Οι διαφορετικές ταξινομήσεις του ακατέργαστου πετρελαίου είναι οι εξής (Selley, 1997):

1) Με βάση το είδος των υδρογονανθράκων:

- παραφινικό αργό πετρέλαιο
- ναφθενικό αργό πετρέλαιο
- ασφαλτικό (αρωματικό) αργό πετρέλαιο

Κάθε τύπος αργού πετρελαίου περιέχει τους τρεις διαφορετικούς τύπους υδρογονανθράκων, αλλά το σχετικό ποσοστό τους μπορεί να ποικίλει ευρέως. Παραδείγματα αυτών των τύπων ακατέργαστου πετρελαίου που αντιστοιχούν σε μια οριοθετημένη γεωγραφική περιοχή είναι το παραφινικό ακατέργαστο πετρέλαιο στη Σαουδική Αραβία, το ναφθενικό ακατέργαστο πετρέλαιο σε ορισμένους σχηματισμούς της Νιγηρίας και το ασφαλτενικό ακατέργαστο πετρέλαιο στη Βενεζουέλα.

2) Με βάση τη βαρύτητα API τους: Όσο χαμηλότερη είναι η πυκνότητα του αργού πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερη και η βαρύτητα του API. Η υψηλότερη βαρύτητα API σημαίνει ότι το ακατέργαστο πετρέλαιο περιέχει πολυτιμότερα και χαμηλότερου σημείου κλάσματα ζέσεως.

3) Με βάση την περιεκτικότητα σε θείο: Η ολοένα αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον και η επιρροή στους υπολογισμούς κόστους διύλισης αποτελούν την βάση για την τρίτη ταξινόμηση:

- αργό πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο

- αργό πετρέλαιο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο

2.2.3 Διύλιση του αργού πετρελαίου και τα αποθέματα για την ναυτιλία

Τα διυλιστήρια πετρελαίου είναι ένα πολύπλοκο σύστημα πολλαπλών ενεργειών και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε ένα δεδομένο διυλιστήριο εξαρτώνται από το επιθυμητό προϊόν σχιστόλιθου και τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού του ακατέργαστου μείγματος πετρελαίου (Economides, Hill, Ehliq-Economides, & Zhu, 2012). Καθώς η διύλιση σήμερα είναι πολυπλοκότερη, έχει σαφή αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά των ναυτιλιακών ντίζελ και Intermediate Fuel Oil (IFO) καυσίμων (Economides, Hill, Ehliq-Economides, & Zhu, 2012).

Όλοι οι τύποι πετρελαίου IFO έχουν καλά χαρακτηριστικά ανάφλεξης, λόγω του υψηλού ποσοστού των παραφινικών υλικών που υπάρχουν στο ατμοσφαιρικό υπόλειμμα, και της παραφινικής φύσης των χρησιμοποιούμενων αραιωτικών μέσων. Η μεγάλη ποσότητα των παραφινικών υδρογονανθράκων στο ναυτιλιακό καύσιμο απευθείας απόσταξης οδηγεί σε σχετικά χαμηλές πυκνότητες των προϊόντων αυτών, εξασφαλίζοντας εύκολο και αποτελεσματικό καθαρισμό καυσίμων εν πλω (Economides, Hill, Ehliq-Economides, & Zhu, 2012).

Σύνθετη διύλιση

Η διαδικασία σύνθετης διύλισης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μέρη (Economides, Hill, Ehliq-Economides, & Zhu, 2012):

- 1) απόσταξη αργού πετρελαίου (ατμοσφαιρική και απόσταξη κενού)
- 2) Τα ρεύματα από την μονάδα αποστάξεως κενού μετατρέπονται μέσω καταλυτικών και θερμικών διεργασιών πυρόλυσης.

Τα σύνθετα διυλιστήρια έχουν ευνοηθεί από τις αρχές της δεκαετίας του '80 και έχουν ως στόχο να αυξήσουν την παραγωγή βενζίνης. Τα κύρια στοιχεία του ναυτικού καυσίμου από διυλιστήρια τύπου καταλυτικής πυρόλυσης ρευστοποιημένης

κλίνης (FCC) με ιξωδόλυση είναι τα ίδια αποστάγματα με εκείνα της ευθείας διύλισης (ελαφρύ και βαρύ πετρέλαιο), καθώς και του πετρελαίου και φυσικού αερίου καταλυτικής πυρόλυσης (LCO) και του προϊόντος πυθμένα(HCO)(Devold, 2013).

Τα ατμοσφαιρικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για τη μονάδα κενού και σπάνια είναι διαθέσιμα για ανάμειξη καυσίμου(Devold, 2013).

Ναυτιλιακό πετρέλαιο (MGO / DMA)

Ένα νέο συστατικό έχει εμφανιστεί – το LC(G)O (πετρέλαιο και φυσικό αέριο καταλυτικής πυρόλυσης) - που περιέχει περίπου 60% αρωματικά. Λόγω του αρωματικού χαρακτήρα του LC(G)O, η πυκνότητα ενός ναυτιλιακού πετρελαίου αναμειγμένου με LC(G)O θα είναι υψηλότερη από ό, τι κατά τη χρήση πετρελαίου ενός διωλιστηρίου τύπου ατμοσφαιρικής απόσταξης. Η πυκνότητα τυπικά θα είναι κοντά στα 860 kg/m³ (σε 15 ° C). Δεν υπάρχουν διαφορές στην απόδοση ή το χειρισμό με την ατμοσφαιρική απόσταξη τύπου ελαφρού πετρελαίου(MIadenov, 2013).

Ναυτιλιακά καύσιμα MDO / DMB

Τα ναυτιλιακά καύσιμα MDO / DMB έχουν συνήθως ένα χαμηλότερο αριθμό κετανίου από το ναυτιλιακό πετρέλαιο, καθώς και μεγαλύτερη πυκνότητα. Σε ένα διωλιστήριο καταλυτικής πυρόλυσης, τα καύσιμα MDO / DMB μπορούν να περιέχουν υψηλότερο ποσοστό LC(G)O από το ναυτιλιακό πετρέλαιο. Σε όλο τον κόσμο, το ναυτιλιακό πετρέλαιο έχει περιεκτικότητα σε θείο μεταξύ περίπου 0,3 και 2,0% κατά μάζα. Λόγω της πρόσφατης νομοθεσίας της ΕΕ, αυτό το ποσοστό ισχύει τα χωρικά ύδατα που ανήκουν στην ΕΕ όπως και για τη βενζίνη, ήτοι έως και 0,20% μάζα. από την 1η Ιουλίου, 2000 (απαλλαγή από την υποχρέωση για την Ελλάδα). Αυτό θα έχει επίδραση στην οξύτητα των αερίων καύσης, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την λίπανση των σκαφών που χρησιμοποιούν ναυτιλιακό πετρέλαιο, κυρίως όταν προσεγγίζουν συχνά λιμάνια της Ε.Ε.(MIadenov, 2013).

Ναυτιλιακά καύσιμα MDO/DMC.

Με ατμοσφαιρική διύλιση, τα ναυτιλιακά καύσιμα MDO/DMC μπορεί να περιέχουν έως και 10% IFO είτε με ναυτιλιακά καύσιμα DMA ή DMB. Με σύνθετη διύλιση, τα ναυτιλιακά καύσιμα MDO/DMC δεν αντιστοιχούν πλέον σε μια συγκεκριμένη σύνθεση και η ανάμειξη αυτής της τάξης απαιτεί μεγάλη προσοχή για την πρόληψη προβλημάτων σταθερότητας ή/και καύσης(Devold, 2013).

IFO-380: Ο τύπος αυτός συνήθως κατασκευάζονται στο διωλιστήριο και περιέχει διασπασμένα υπολείμματα, HCO και LC(G)O. Αυτά τα τρία συστατικά επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του διασπασμένου IFO-380. Η απόσταξη υπό κενό μειώνει την υποχώρηση των υπολειμμάτων κατά περίπου 20% του ακατέργαστου αποθέματος, και αναπόφευκτα οδηγεί σε μια συγκέντρωση των βαρύτερων μορίων σε αυτό το κλάσμα. Η ιξωδόλυση μετατρέπει περίπου το 25% των υπολειμμάτων κενού σε κλάσματα απόσταξης(Devold, 2013).

Αυτό σημαίνει ότι περίπου το 15% του αρχικού αργού πετρελαίου παραμένει σαν διασπασμένο υπόλειμμα. Η περιεκτικότητα σε ασφαλτίνη, θείο και μέταλλα στο διασπασμένο υπόλειμμα είναι 3 έως 3,5 φορές υψηλότερη από ό, τι σε ατμοσφαιρικό υπόλειμμα. Η ιξωδόλυση επηρεάζει την μοριακή δομή: μόρια είναι διασπασμένα θερμικώς και αυτό μπορεί να επιδεινώσει τη σταθερότητα των ασφαλτενίων(Devold, 2013).

Το HCO (τυπικό ιξώδες στους 50 ° C: 130 mm² / s) περιέχει περίπου 60% αρωματικά, και είναι ένα υψηλής πυκνότητας κλάσμα: η πυκνότητα στους 15 ° C είναι πάνω από 1 kg / l (συνήθως 1,02). Είναι το κλάσμα της μονάδας FCC. Η καταλυτική διαδικασία αυτής της μονάδας βασίζεται σε πυριτικό αργίλιο. Μία μηχανική φθορά του καταλύτη λαμβάνει χώρα κατά τη διαδικασία FCC, και τα καταλυτικά περιεχόμενα απομακρύνονται από το HCO στο διωλιστήριο. Αυτή η αφαίρεση, ωστόσο, δεν είναι 100% αποτελεσματική, και ένας ορισμένος αριθμός καταλυτικών περιεχομένων παραμένει στην HCO, και από εκεί καταλήγουν σε βαρύ καύσιμο, αναμειγμένο με HCO. Η αρωματικότητα του HCO βοηθά στην εξασφάλιση της βέλτιστης σταθερότητας του διασπασμένου μείγματος καυσίμου(Devold, 2013).

Το LC (G) O (τυπικό ιξώδες στους 50 ° C: 2,5 mm² / s) έχει την ίδια αρωματικότητα με το HCO, αλλά είναι ένα κλάσμα αποστάγματος της μονάδας FCC, με ένα εύρος απόσταξης συγκρίσιμο με εκείνο του πετρελαίου εσωτερικής καύσης. Με μια τυπική πυκνότητα 0,94 kg / l στους 15 ° C, χρησιμοποιείται για να τελειοποιήσει την ανάμειξη βαρέως ναυτιλιακού καυσίμου, όπου γενικά το όριο μέγιστης πυκνότητας των 0,9910 kg / l πρέπει να τηρείται (Devold, 2013).

IFOs <380 mm² / s: Αυτές οι κατηγορίες συνήθως αναμειγνύονται ξεκινώντας από 380 mm² / s IFOs (στοις 50 ° C), με τη χρήση ενός κατάλληλου αραιωτικού μέσου (ναυτιλιακό πετρέλαιο, πετρέλαιο κίνησης, LC(G)O, ή ένα μίγμα αυτών). Η σύνθεση του μίγματος θα πρέπει να αναλυθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητα του προϊόντος, ενώ την ίδια στιγμή να πληρούνται τα άμεσα ή έμμεσα όρια πυκνότητας (Devold, 2013).

2.2.4 Εφαρμογές Πετρελαίου

Οι εφαρμογές πετρελαίου βασίζονται στην ενέργεια που παρέχεται μέσω της καύσης πετρελαίου. Η καύση του πετρελαίου (αντίδραση οξειδωσης) απελευθερώνει μεγάλη ποσότητα θερμότητας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού, π.χ. για τουρμπίνες ατμού. Ο υψηλός όγκος (πίεση) των αερίων καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την οδήγηση μηχανημάτων ή για μια τουρμπίνα αερίου. Όταν το πετρέλαιο καίγεται, μία ποσότητα θερμότητας απελευθερώνεται, η οποία ορίζεται από την ειδική ενέργεια (Διεθνής Μονάδα MJ / kg) του καυσίμου (Ropital, 2010).

Θερμικά εργοστάσια χρησιμοποιούν αυτή τη θερμότητα για την παραγωγή ατμού, η οποία οδηγεί στη συνέχεια σε τουρμπίνες ατμού, παρέχοντας έτσι μηχανική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόωση ή να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια (Ropital, 2010).

Όσον αφορά στους ναυτιλιακούς κινητήρες και τις τουρμπίνες αερίου, η μηχανική ενέργεια που παρέχεται από τα αέρια καύσης χρησιμοποιείται άμεσα είτε για την πρόωση, είτε για την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια για σταθμούς παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας. Για μεγαλύτερες εφαρμογές, το κόστος βελτιστοποίησης της αποτελεσματικότητας και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί οδηγούν στην εισαγωγή της συμπαραγωγής. Στην συμπαραγωγή, μέρος της ενέργειας που χάνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διατίθεται υπό την μορφή ατμού χαμηλής πίεσης, κατάλληλου για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών θέρμανσης(Poirier&Zaccour, 1991).

Οι διάφοροι τύποι των εφαρμογών πετρελαίου και τα περιβαλλοντικά ζητήματα έχουν οδηγήσει σε διαφορετικούς τύπους των προδιαγραφών των καυσίμων. Αυτές είναι πολύ πιο απαιτητικές από ότι το αρχικό πετρέλαιο n ° 6 ή οι απαιτήσεις Bunker C όταν όλα βαρέα καύσιμα χρησιμοποιούνται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και τουρμπίνες ατμού. Τα πρότυπα εκπομπών για τις θερμικές μονάδες μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά, ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή. Εφόσον το συνολικό διοξείδιο του θείου (SO₂) που εκπέμπεται, προέρχεται από το θείο στα καύσιμα, τα πρότυπα εκπομπών για το SO₂ περιορίζουν αυτόματα την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, εκτός από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, όπου το πρότυπο μπορεί να είναι οικονομικά εφικτό με αποθείωση καυσαερίων(Harrison, 2011).

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, οι ντίζελ κινητήρες πλοίων ήταν το κύριο μέσο προώθησης των πλοίων. Αρχικά, από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, οι διαφορετικοί τύποι βαρέων ναυτιλιακών καυσίμων παρέμειναν ταυτισμένοι μόνο με το μέγιστο ιξώδες τους. Το βαρύ καύσιμο που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά διωλιστήρια ήταν αποτελεσματικό. Τα λειτουργικά προβλήματα που σχετίζονται με τα καύσιμα προέκυψαν με τη γενικευμένη αναβάθμιση της λειτουργίας του διωλιστηρίου κατά το δεύτερο ήμισυ της δεκαετίας του 1970 στη σύνθετη δύλιση. Το 1982 δημοσιεύθηκαν από την British Standard Organization (BS MA 100) και την CIMAC (Conseil International de Machines à Combustion) οι προδιαγραφές των ναυτιλιακών καυσίμων(Harrison, 2011).

Το διεθνές πρότυπο ISO υπάρχει από το 1987: ISO 8217 (αναθεωρήθηκε το 1996). Ο δεδηλωμένος στόχος του ISO 8217 είναι να καθορίσει τις απαιτήσεις για τα καύσιμα πετρελαίου για χρήση σε κινητήρες ντίζελ πλοίων και λέβητες, και η καθοδήγηση των ενδιαφερομένων μερών, όπως οι σχεδιαστές ναυτιλιακού εξοπλισμού, οι προμηθευτές και οι αγοραστές των ναυτιλιακών καυσίμων(Harrison, 2011).

Οι πιο σημαντικές προδιαγραφές για την διασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργία του κινητήρα που χρησιμοποιεί καύσιμο σύνθετης δύλισης είναι οι εξής(Harrison, 2011):

- Ανώτατο όριο πυκνότητας - Σημαντική για την κλασική λειτουργία καθαρισμού, και για να εξασφαλισθεί η ικανοποιητική ποιότητα ανάφλεξης για καύσιμα χαμηλού ιξώδους.
- Μέγιστο όριο αργιλίου και πυριτίου - Σε ένα σύνθετο διυλιστήριο, το HCO χρησιμοποιείται ως συστατικό ανάμειξης. Τα μέρη πυριτικού αργιλίου του καταλύτη της μονάδας καταλυτικής πυρόλυσης που έχουν υποστεί μηχανική βλάβη δεν απομακρύνονται πλήρως από το ρεύμα HCO, και βρίσκονται πίσω στο ποσό mg / kg σε βαρύ καύσιμο αναμειγμένο με HCO. Προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές στο σύστημα καυσίμου επί του σκάφους, είναι απαραίτητο να περιοριστεί η ποσότητα του αργιλίου και του πυριτίου σε ένα βαθμό, η οποία μπορεί να απομακρυνθεί επαρκώς από το σύστημα καθαρισμού των καυσίμων του πλοίου.
- Μέγιστο συνολικό όριο ιζημάτων - Η σταθερότητα της ασφαλίτης επιδεινώθηκε από τη διαδικασία ιξωδύλωσης και τα προβλήματα αστάθειας μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στον καθαρισμό καυσίμου, εξ ου και η ανάγκη προδιαγραφής για να εξασφαλιστεί η επαρκής σταθερότητα των καυσίμων.

Μία πολύ λιγότερο διαδεδομένη εφαρμογή των βαρέων καυσίμων είναι οι τουρμπίνες αερίου υψηλής αντοχής και απόδοσης: εδώ οι απαιτήσεις προδιαγραφών για τα καύσιμα πριν από την προσθήκη είναι πολύ περισσότερες, και μπορούν να επιτευχθούν μόνο με σχολαστικό προ-καθαρισμό του καυσίμου. Ο καθαρισμός καυσίμου συνίσταται στην απομάκρυνση των αλκαλίων με προκαθορισμό καυσίμου και με πρόληψη της διάβρωσης από το βανάδιο με την προσθήκη μαγνησίου που αντιδρά με το βανάδιο για τον σχηματισμό μη διαβρωτικών ενώσεων(Harrison, 2011).

2.2.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων σε σύγκριση με το πετρέλαιο

Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως καύσιμο πλοίων έχει κερδίσει πρόσφατα μεγαλύτερο ενδιαφέρον όχι μόνο στην Ευρώπη, αλλά και στην Ασία και τις ΗΠΑ (Maxwell&Zhu, 2011). Υπάρχουν τρεις αξιοσημείωτοι τρόποι που, στο σύνολό τους, καθιστούν το υγροποιημένο φυσικό αέριο από τις πλέον υποσχόμενες νέες τεχνολογίες για τη ναυτιλία (Maxwell&Zhu, 2011):

1. Χρησιμοποιώντας το LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο μειώνονται οι εκπομπές σε οξείδιο του θείου (SOx) κατά 90% έως 95%. Αυτό το επίπεδο μείωσης θα ενταχθεί στο πλαίσιο των λεγόμενων Περιοχών Ελέγχου των Εκπομπών (ECA, Emission Control Areas) μέχρι το 2015. Μια παρόμοια μείωση αναμένεται να εφαρμοστεί στην παγκόσμια ναυτιλία μέχρι το 2020.
2. Η χαμηλότερη περιεκτικότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε άνθρακα σε σύγκριση με παραδοσιακά ναυτιλιακά καύσιμα επιτρέπει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από 20% έως 25%. Κάθε ολίσθηση του μεθανίου κατά την πετρέλευση ή τις ανάγκες χρήσης πρέπει να αποφεύγεται για να διατηρηθεί αυτό το πλεονέκτημα.
3. Το LNG αναμένεται να είναι λιγότερο δαπανηρό από ότι το ναυτιλιακό πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO), που θα πρέπει να χρησιμοποιείται εντός των ECA, αν δεν εφαρμόζονται άλλα τεχνικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών SOx. Οι σημερινές χαμηλές τιμές του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ δείχνουν ότι η διαμόρφωση τιμής - με βάση το ενεργειακό περιεχόμενο - χαμηλότερης από αυτήν του HFO φαίνεται ότι είναι δυνατή, ακόμη και αν ληφθεί υπόψη η μικρής κλίμακας διανομή υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Η χρήση των προϊόντων απόσταξης

Η χρήση των προϊόντων απόσταξης για μεγάλο χρονικό διάστημα αποτελεί απλή λύση για την τήρηση των προσεχών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων για τη μέγιστη

επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο. Το σύστημα καυσίμου θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ένα ψυγείο ή ψύκτη για να καλύψει τις απαιτήσεις σε καύσιμα ιξώδους για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος καυσίμου του κινητήρα. Επίσης, απαιτείται και ένα κατάλληλο λιπαντικό. Για τη λειτουργία σε μη-ECA περιοχές, το σύστημα καυσίμου θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει με το νέο καύσιμο (LSHFO, με 0,5% σε θείο) που ενδεχομένως να εισαχθεί το 2020(Kumar, etal., 2011).

Σενάριο τιμών καυσίμων

Η βασική υπόθεση για το σενάριο της τιμής των καυσίμων είναι μια συνεχής αύξηση των τιμών που οφείλεται στην αναμενόμενη αύξηση του κόστους παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα καύσιμα MGO και LSHFO αναμένεται να αυξηθούν ταχύτερα από HFO και το LNG με μεγαλύτερη αύξηση της ζήτησης. Ως έτος έναρξης για το σενάριο των τιμών των καυσίμων ορίζεται το 2010 με 650 \$ / t (= 15,3 \$ / mmBTU) για το HFO και 900 \$ / t (= 21,2 \$ / MMBtu) για το MGO. Η τιμή του LNG ορίζεται σε 13 \$ / mmBTU που περιλαμβάνει μικρής κλίμακας κόστος διανομής των 4 \$ / mmBTU. Υποτίθεται ότι οι δαπάνες διανομής δεν αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου(Morosuk&Tsatsaronis, 2011).

Αποτελέσματα

Τα ετήσια πλεονεκτήματα κόστους, σε σύγκριση με το πλοίο αναφοράς που χρησιμοποιεί τα απαιτούμενα καύσιμα ανάλογα με το χρόνο και την τοποθεσία, μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις που περιγράφονται παραπάνω για κάθε τεχνολογία και μέγεθος σκάφους. Τα πλεονεκτήματα κόστους είναι το άθροισμα της μείωσης του κόστους των καυσίμων, του πρόσθετου κόστους λειτουργίας και των χαμένων (αρνητικών) κερδών(Griffin, 2012).

Για ένα πλοίο 2.500 TEU που λειτουργεί κατά 65% εντός της Ευρωπαϊκής ECA, προβλέπονται σημαντικά πλεονεκτήματα κόστους στη χρήση LNG ή από το 2015, όταν τεθούν σε ισχύ αυστηρές απαιτήσεις για την ποιότητα των καυσίμων. Ο χρόνος

απόσβεσης της επένδυσης είναι μικρότερος για λύσεις χωρίς WHR λόγω του σχετικά υψηλού κόστους επένδυσης(Griffin, 2012).

Αποτελέσματα - χρόνος απόσβεσης της επένδυσης

Τα οφέλη των τεχνολογιών, όπως LNGεξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης για όλες τις παραλλαγές τίθενται σε λειτουργία από το 2015. Ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης είναι μικρότερος για τα μικρότερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (2.500 TEU και 4.600 TEU). Αυτό προκαλείται από την σχετικώς μικρότερη επένδυση τους σε εφαρμογή του συστήματος LNG σε σύγκριση με τα μεγάλα σκάφη. Με έκθεση 65% σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης σε συστήματαLNG μπορεί να επιτευχθεί για τα μικρότερα σκάφη σε λιγότερο από δύο έτη(Griffin, 2012).

Συγκρίνοντας τις διαφορετικές τεχνολογίες, φαίνεται ότι το σύστημα LNG προσφέρει μικρότερο χρόνο απόσβεσης από ένα scrubber* για σκάφος 2500 TEU (με τη χρήση του τυποποιημένου σεναρίου τιμών των καυσίμων). Ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης είναι μεγαλύτερος για τις παραλλαγές με WHR λόγω του υψηλότερου κόστους των επενδύσεων(Griffin, 2012).

Σε λειτουργία μικρότερη από 20% σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης σε συστήματαscrubber είναι μεγαλύτερος από 60 μήνες, γεγονός το οποίο δείχνει ότι η απόσβεση επιτυγχάνεται μόνο μετά την εισαγωγή του προτύπου ποιότητας LSHFO το 2020(Griffin, 2012).

Ένα σκάφος 4.600 TEU, που λειτουργεί κατά 11% εντός μίας Περιοχής Ελέγχου Εκπομπών, προσφέρει επίσης μικρότερο χρόνο απόσβεσης για συστήματα LNG σε σύγκριση με την εγκατάσταση του scrubber. Παρομοίως με ένα σκάφος 2.500 TEU, ένα σύστημα WHR δεν συντομεύει τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης. Τα συστήματα WHR προσφέρουν μεγαλύτερα οφέλη σε μεγάλα σκάφη με εγκατεστημένο κινητήρα υψηλής ισχύος και συναφείς εξοικονομήσεις. Ως εκ τούτου, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης για ένα σύστημα LNG ή scrubber όταν

εφαρμόζεται σε ένα δοχείο 14.000 TEU είναι μικρότερος με την εφαρμογή ενός συστήματος WHR(Griffin, 2012).

Το σύστημα LNG προσφέρει μικρότερο χρόνο απόσβεσης από ένα σύστημα scrubber για ένα μεγάλο σκάφος (χρησιμοποιώντας το σενάριο των τιμών των καυσίμων). Μόνο σε υψηλότερα ποσοστά λειτουργίας σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών μπορεί το scrubber να έχει μικρότερο χρόνο απόσβεσης από το Σύστημα LNG. Αυτό αποδεικνύει ότι, όταν χρησιμοποιούνται οι σταθερές υποθέσεις, τα συστήματα LNG προσφέρουν μικρότερους χρόνους αποπληρωμής από ό, τι τα συστήματα scrubber(Griffin, 2012).

Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο υπόσχεται λιγότερες εκπομπές και, λαμβάνοντας υπόψη τις σωστές συνθήκες, μικρότερο κόστος καυσίμων(Griffin, 2012). Η ελκυστικότητα του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο σε σύγκριση με συστήματα scrubber αποδεικνύεται με τις εξής τρεις παραμέτρους(Griffin, 2012):

- Ποσοστό λειτουργίας εντός των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών.
- Διαφορά τιμής μεταξύ LNG και HFO.
- Το επενδυτικό κόστος για το σύστημα δεξαμενής LNG.

Με την έκθεση κατά 65% σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης σε συστήματα LNG προβλέπεται σε λιγότερο από δύο έτη για τα μικρότερα πλοία (χρησιμοποιώντας το πρότυπο σενάριο των τιμών των καυσίμων(Han & Lim, 2012).

Για σκάφος 2.500 TEU, η σύγκριση της απόσβεσης για το scrubber και το Σύστημα LNG, και οι κυμαινόμενες τιμές υγροποιημένου φυσικού αερίου, δείχνουν ότι το σύστημα LNG είναι ελκυστικό εφόσον η τιμή του είναι ίση ή μικρότερη από αυτήν του HFO, αν τα καύσιμα συγκρίνονται με βάση το ενεργειακό τους περιεχόμενο(Pitblado & Woodward, 2011).

Για τα μεγαλύτερα σκάφη που λειτουργούν κατά κανόνα λιγότερο σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, π.χ. ένα σκάφος 14.000 TEU, το σύστημα LNG έχει τον μικρότερο χρόνο απόσβεσης (κατά το πρότυπο σενάριο των τιμών των καυσίμων που

χρησιμοποιούνται), και η χρήση ενός συστήματος WHR μειώνει περαιτέρω τον χρόνο απόσβεσης(Han & Lim, 2012).

Η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου που παραδίδεται στο πλοίο είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Οι βασικές τιμές του LNG είναι διαφορετικές στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία. Οι Ευρωπαϊκές βασικές τιμές του LNG φαίνονται ελκυστικές, περίπου 10 \$/mmBTU ακόμη και με προσθήκη κόστους διανομής μικρής κλίμακας. Η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου έως και 15 \$ / mmBTU θα μπορούσε να καταστήσει τα συστήματα LNG ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των scrubber από την άποψη της απόσβεσης για τα μικρότερα πλοία (Han & Lim, 2012).

Η μικρής κλίμακας διανομή υγροποιημένου φυσικού αερίου μόλις τώρα αρχίζει να γίνεται διαθέσιμη στην Ευρώπη (εκτός της Νορβηγίας) αναμένεται πως θα καθοριστεί το επίπεδο των τιμών του LNG. Το μοντέλο για την πρόβλεψη του κόστους και των οφελών των συστημάτων LNG, scrubber και WHR εν πλω για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες για τη μελέτη πρόσθετων μεταβλητών. Οι επιλογές περιλαμβάνουν διαφορετικό μέγεθος πλοίου, συμπεριλαμβανομένου προφίλ διαδρομής σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών και άλλα χαρακτηριστικά της δεξαμενής υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο έχει γίνει πραγματικότητα για τη διεθνή ναυτιλία. Η εταιρεία BitViking ξεκίνησε τη λειτουργία χρησιμοποιώντας LNG τον Οκτώβριο του 2011 και έχει πιστοποιηθεί από το GL(Timmerhaus, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ LNG ΣΕ RO-PAXΠΛΟΙΑ

3.1 Τεκμηρίωση της επιλογής των Ro-Pax

Το Ro-Pax είναι ένα είδος πλοίου που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των τροχοφόρων φορτίων και επιβατών. Έχουν σχεδιαστεί για να διαθέτουν ταχύτητα, αξιοπιστία και ασφάλεια και έχουν χαρακτηριστικά που καθιστούν δυνατή την πραγματοποίηση του σκοπού τους (House, 2005).

Για ένα πλοίο να είναι σε θέση να διαπραγματεύεται στην αγορά σήμερα, θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανόνες του IMO. Για να επιτύχει την πιστοποίηση της κατηγορίας, πρέπει να ακολουθείται ένα συγκεκριμένο σύνολο κανόνων για κάθε τύπο του πλοίου κατά τις φάσεις σχεδιασμού και κατασκευής, ακόμα και όταν είναι σε υπηρεσία. Η δομική διάταξη ενός πλοίου Ro-Pax έχει σχεδιαστεί για να καλύψει μια αποφασιστική διαφοροποίηση των προϊόντων, να πραγματοποιήσει τη μεταφορά του φορτίου του, έχοντας συμμορφωθεί με τη SOLAS και τη MARPOL, κλπ. και να εκπληρώσει τις απαιτήσεις που καθορίζονται από τους νηογνώμονες, όταν πρόκειται για απόλυτη δύναμη και αντοχή (House, 2005).

Το σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εξέταση του σχεδιασμού των πλοίων τύπου Ro-Pax είναι η διαμήκης αντοχή του κύτους. Αυτό έχει διεκπεραιωθεί με διαμήκη διαφράγματα, δοκούς, δοκίδες, πλάκες καταστρώματος και πλευρικό περίβλημα. Ο κύριος σκοπός της μελέτης είναι το σημείο τομής μεταξύ της ανωδομής και του ανώτατου καταστρώματος. Αυτό το τμήμα εξετάζεται επειδή μια κακή κατασκευή στον τομέα αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες συγκεντρώσεις τάσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές του κύτους όταν εκτίθεται σε δυνάμεις επί μακρό χρονικό διάστημα (House, 2005).

Όπως συμβαίνει με όλα τα άλλα είδη πλοίων, η πρόοδος είναι απαραίτητη για την αποτελεσματικότητα των πλοίων Ro-Pax. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την οικοδόμηση, για παράδειγμα, της ανωδομής (House, 2005).

Το Ro-Pax είναι ένα πλοίο που έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά τροχοφόρων φορτίων και επιβατών. Το όνομα Ro-Pax σημαίνει roll-on / roll-off επιβατηγό σκάφος. Με το

Roll on roll off εννοείται ότι το φορτίο μπορεί να αναδιπλωθεί ή να ξεδιπλωθεί μέσα και έξω από το πλοίο και για να μπορεί ένα πλοίο να χαρακτηριστεί ως Ro-Pax, η ικανότητα μεταφοράς επιβατών πρέπει να είναι τουλάχιστον 12 επιβάτες, σύμφωνα με την DNV (House, 2005).

Ένα από τα πρώτα πραγματικά πλοία Ro-Pax ήταν το StenaTraveller, κατασκευασμένο το 1991, με ταχύτητα 18 κόμβους, χωρητικότητα 245 επιβατών, 180l.m., και ολική χωρητικότητα 18000m.t. Από τότε επικράτησε η τάση κυρίως για αυξημένη χωρητικότητα και μέγεθος. Σήμερα, το M/SHollandica είναι ένα από τα μεγαλύτερα πλοία Ro-Pax του στόλου της Stena Lines. Κατασκευασμένο το 2010, με ταχύτητα 20 κόμβων, χωρητικότητας 1200 επιβατών, και ολική χωρητικότητα 64000m.t (House, 2005).

Από άποψη σημείου διαφοροποίησης του προϊόντος, τα πλοία Ro-Pax σχεδιάζονται για να διαθέτουν ταχύτητα, αξιοπιστία και ασφάλεια. Θα πρέπει να είναι γρήγορα, καθώς μεταφέρουν ανθρώπους, αξιόπιστα, διότι θα χρειαστεί να κρατήσουν το πρόγραμμά τους και ασφαλή, δεδομένου ότι πρέπει να βεβαιωθεί η ασφάλεια των επιβατών και του πολύτιμου φορτίου (Gaythwaite, 2004).

Τα πλοία Ro-Pax διανύουν συχνά μικρές αποστάσεις, δεδομένου ότι μεταφέρουν επιβάτες. Συχνά είναι μεγάλο πλεονέκτημα για τις εταιρείες μεταφορών να είναι σε θέση να μεταφέρουν ρυμουλκούμενα με τους οδηγούς μέσα στο πλοίο για κάποια χρονική περίοδο του ταξιδιού, έτσι ώστε ο οδηγός να μπορεί να ξεκουράζεται, ενώ επιτελείται η μεταφορά του φορτίου, καθώς μια τέτοια ενέργεια συνεπάγεται και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Για να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει τον σκοπό του, ένα πλοίο Ro-Pax έχει κοινά χαρακτηριστικά, όπως λεπτό κύτος, ράμπες πρόσβασης, καταστρώματα οχημάτων σε διαφορετικά ύψη για να μεταφέρει αυτοκίνητα και φορτηγά, καταλύματα για τους επιβάτες και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις (Gaythwaite, 2004).

Κανόνες για τη νηολόγηση

Όσον αφορά την κατασκευή ενός πλοίου, πρέπει να ακολουθηθούν πολλοί κανόνες για τη νηολόγηση του πλοίου. Υπάρχουν γενικοί κανόνες κατασκευής για όλα τα

πλοία, και στη συνέχεια πιο συγκεκριμένοι κανόνες ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Για να επιτευχθεί η χρήση του σταυρού της Μάλτας, συμβόλου της DNV το οποίο χρησιμοποιείται από τα πλοία που κατασκευάστηκαν υπό την επίβλεψή της, πρέπει να ακολουθούνται οι εξής κανόνες (Gaythwaite, 2004).

Το 1A1 είναι ο κύριος χαρακτήρας της κατηγορίας και ο συμβολισμός δηλώνει τις απαιτήσεις για το κύτος, τις εγκαταστάσεις μηχανημάτων και τον εξοπλισμό. Επίσης, υπάρχουν και οι συμβολισμοί κλάσης που περιέχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για κάθε τύπο πλοίου. Στην περίπτωση του πλοίου Ro-Pax, οι κανόνες του συμβολισμού της κλάσης για τα πλοία που μεταφέρουν περισσότερους από 12 επιβάτες πρέπει να τηρείται. Πρόκειται για τον συμβολισμό κλάσης των επιβατηγών πλοίων και καλύπτει την επάρκεια του σκάφους σε δύναμη, σταθερότητα, συστήματα σωληνώσεων, ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ενοργάνωση και αυτοματισμό, ασφάλεια και πυρασφάλεια. Σε σύγκριση με ένα πλοίο Ro-Ro, το Ro-Pax έχει πιο αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και τη σταθερότητα λόγω του μεγαλύτερου αριθμού επιβατών (Gaythwaite, 2004).

Δεδομένου ότι τα πλοία Ro-Pax έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά οχημάτων σε κλειστά καταστρώματα και μερικές φορές σε ανώτατο κατάστρωμα, πρέπει να τηρείται επίσης ο συμβολισμός ως Car Carrier, ο οποίος μπορεί να περιλαμβάνει συμβολισμούς Car Ferry A και B, για τη μεταφορά οχημάτων στο κλειστό κατάστρωμα και στο ανώτατο κατάστρωμα. Στην περίπτωση σιδηροδρομικών πορθμείων, υπάρχουν περαιτέρω συμβολισμοί (Gaythwaite, 2004)

Δομική διάταξη

Η δομική διάταξη του πλοίου Ro-Pax έχει σχεδιαστεί για να καλύψει την παραπάνω περιγραφόμενη διαφοροποίηση των προϊόντων, την επίτευξη αυτών των κοινών χαρακτηριστικών, να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς της SOLAS και της MARPOL, κλπ. και να εκπληρώσει τις απαιτήσεις που καθορίζονται από τους νηογνώμονες, όταν πρόκειται για την ισχύ και την αντοχή (Wegelein, 2005).

Δεδομένου ότι ο σκοπός των πλοίων Ro-Pax είναι η φόρτωση οχημάτων μέσα από τις πόρτες και τις ράμπες σε όλο το μήκος των καταστρωμάτων φορτίου από τα οπίσθια

προς τα εμπρόσθια διαφράγματα, δεν υπάρχουν εγκάρσια διαφράγματα. Ο σκοπός των εγκάρσιων διαφραγμάτων είναι να δώσουν εγκάρσια αντοχή στο πλοίο και να διαιρέσουν το πλοίο σε στεγανά διαμερίσματα. Ωστόσο, αυτά θα μειώσει σημαντικά την ικανότητα φορτίου και την ευκολία φόρτωσης / εκφόρτωσης. Από την στιγμή που τα πλοία Ro-Pax έχουν πολλαπλά καταστρώματα, μεγάλες υπερκατασκευές και ανώτατα καταστρώματα χωρίς ανοίγματα καταπακτής, η εγκάρσια δύναμη δεν είναι σημαντική. Λόγω αυτού του γεγονότος και της μεγάλης αναλογίας B/L (ακτίνα/ μήκος) λόγος, η στρέψη έχει ένα σχετικά χαμηλό αντίκτυπο στα πλοία Ro-Pax(Wegelein, 2005).

Καταστρώματα φορτίου και ράμπες

Τα οχήματα που φορτώνονται στα καταστρώματα φορτίου του σκάφους Ro-Pax αντικαθίστανται από βαριά φορτία άξονα κάτω από τους τροχούς του οχήματος. Αυτά τα φορτία μεταφέρονται στην εγκάρσια δομή κάτω από τις πλάκες καταστρώματος με βραχίονες φορτώσεως(Wegelein, 2005).

Η μονάδα εξαερισμού του πλοίου πρέπει να έχει την ικανότητα να αφομοιώνει καπνούς από τα οχήματα που φορτώνονται έτσι ώστε οι οδηγοί των οχημάτων να βγαίνουν από το πλοίο με ασφαλή τρόπο. Οι ράμπες είναι συχνά βαριές δομές και πρέπει να διαστασιοποιηθούν σωστά. Εάν οι ράμπες είναι μεγάλου μεγέθους θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα αντοχής στη δομή του κύτους των πλοίων. Σε αυτήν την περίπτωση, απαιτούνται περισσότερα υλικά για την ενίσχυση του κύτους, το οποίο θα αυξήσει το βάρος του άφορτου πλοίου ακόμη περισσότερο. Οι ράμπες μικρού μεγέθους με σχεδιασμό για χαμηλά φορτία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αναποτελεσματικότητα της διακίνησης φορτίου (Wegelein, 2005).

Η Διαμήκης αντοχή

Το πιο σημαντικό δομικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εξέταση του σχεδιασμού πλοίων Ro-Pax είναι η διαμήκης αντοχή του κύτους. Τα πλοία Ro-Pax συχνά αναφέρονται ως πλοία hogging. Η κύρτωση αυτών των πλοίων

είναι αποτέλεσμα των λεπτών γραμμών του κύτους στα εμπρόσθια και οπίσθια τμήματα, των μεγάλων χώρων φορτίου που εκτείνονται σε όλο το μήκος των πλοίων και των μεγάλων βαρών στις εμπρόσθιες και οπίσθιες ράμπες. Δεδομένου ότι η μέγιστη ροπή κάμψης είναι στο μέσο του πλοίου, αυτό μπορεί να δημιουργήσει ένα πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί. Τα διαμήκη προβλήματα αντοχής επιλύονται με την αύξηση του πάχους των διαμήκων διαφραγμάτων, δοκών και ενισχυτικών ελασμάτων ή με τη χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής (Wegelein, 2005).

Μία μεγάλη διανομή πίεσης εμφανίζεται στο σημείο τομής μεταξύ της ανωδομής και του ανωτάτου καταστρώματος. Οι μεγάλες πιέσεις σε μεγάλο χρονικό διάστημα μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές στην πλάκα του ανώτατου καταστρώματος, αν αυτές δεν έχουν κατασκευαστεί κατάλληλα. Το μέγεθος της πίεσης που διανέμεται εξαρτάται από το μήκος της υπερδομής είναι και τον σχεδιασμό της διατομής. Μια απότομη διατομή (περίπου 90 μοίρες) οδηγεί σε πολύ υψηλές τοπικές πιέσεις, ενώ οι μεγαλύτερες, λιγότερο απότομες γωνίες τομής μπορεί να μειώσουν την πίεση. Οι διατομές με στρογγυλεμένες γωνίες μειώνουν περαιτέρω τις συγκεντρώσεις πίεσης με την κατανομή των πιέσεων σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Μια άλλη λύση για την αύξηση της ανθεκτικότητας στην περιοχή αυτή είναι να προστεθεί δύναμη στην διαμήκη δομή γύρω από την εγκάρσια διατομή για τη μείωση της κύρτωσης των πλοίων (Wegelein, 2005).

Μελλοντικές Τάσεις

Μία από τις κύριες προκλήσεις για όλους τους τύπους πλοίων στο μέλλον είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Με την κατασκευή της ανωδομής του πλοίου Ro-Pax με σύνθετο υλικό, το βάρος άφορτου πλοίου μπορεί να μειωθεί. Μία δομή σάντουιτς των σύνθετων υλικών χρησιμοποιείται ήδη στο σουηδικό ναυτικό και θα μπορούσε να αποτελεί κατάλληλο υλικό. Η μείωση του βάρους άφορτου πλοίου, διατηρώντας παράλληλα την ίδια μετατόπιση θα οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικά ταξίδια όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου και η πρόσληψη του φορτίου μπορεί να πραγματοποιηθεί. Μια ελαφριά δομή αυξάνει την σταθερότητα των πλοίων με τη μείωση του κέντρου βάρους (Wegelein, 2005).

Μια άλλη πτυχή του σχεδιασμού για τη βελτίωση είναι το πλάτος του πλοίου και η ευελιξία στον χειρισμό του φορτίου. Ένα ευρύτερο πλοίο έχει ως αποτέλεσμα

μεγαλύτερη πρόσληψη φορτίου και με ευέλικτη διακίνηση, τα φορτία μπορεί να ποικίλουν (Wegelein, 2005).

Οι διεθνείς προσπάθειες για τη διατήρηση του παγκόσμιου περιβάλλοντος έχουν σταθερή επιτάχυνση από την 3η σύνοδο της Διάσκεψης των Μερών της Σύμβασης Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή το 1977. Οι δημόσιοι, ιδιωτικοί, και ακαδημαϊκοί τομείς στην Ιαπωνία έχουν προωθήσει ενεργά την πολιτική Modal Shift, με στόχο την αποτελεσματικότερη κατανομή των βασικών προϊόντων και τη μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων. Οι πρόσφατες ανοδικές τάσεις στις τιμές των καυσίμων, ωστόσο, θέτουν σοβαρά προβλήματα για τη λειτουργία των ναυτιλιακών εταιριών με την απώλεια εμπορικών κερδών από την λειτουργία των πλοίων. Εν τω μεταξύ, η ΜΗΙ έχει δεσμευτεί για την ανάπτυξη πλοίων RO-PAX χαμηλής κατανάλωσης καυσίμων, σε μία προσπάθεια να βοηθήσει την εναρμόνιση των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων των ναυτιλιακών εταιριών με το παγκόσμιο περιβάλλον(Wegelein, 2005).

3.2 Παραδείγματα εφαρμογής LNGσε πλοία τύπου Ro-Pax

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα πλοία RO-PAX μεγάλων αποστάσεων (πλοία RO-PAX που διανύουν θαλάσσιες διαδρομές 300 χιλιομέτρων ή και περισσότερο, χωρίς επιστροφή) έχουν συμβάλει στην εσωτερική κατανομή των βασικών προϊόντων(Nikoroulou, Cullinane, &Jensen, 2013).

Ο σημαντικός στόχος για τις εταιρείες επιβατηγού ναυτιλίας είναι να μειωθεί η διαφορά του χρόνου διέλευσης μεταξύ των πλοίων τους και των οχημάτων χερσαίων μεταφορών όπως φορτηγά και τρένα. Η ζήτηση για ταχύτερα πλοία παραμένει υψηλή ακόμα και τώρα(Nikoroulou, Cullinane, &Jensen, 2013).

Η μεγαλύτερη ταχύτητα, ωστόσο, είναι μόνο μία από τις πολλές ανησυχίες των εταιρειών της επιβατηγού ναυτιλίας. Πιο σημαντική είναι η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για καλύτερη οικονομία καυσίμου για την μείωση της επιβάρυνσης του παγκόσμιου περιβάλλοντος και η μείωση των οικονομικών πιέσεων από την ταχεία

κλιμάκωση των τιμών του πετρελαίου. Έτσι, η επίτευξη των αντικρουόμενων στόχων για μεγαλύτερη ταχύτητα και καλύτερη οικονομία καυσίμου είναι αδιαμφισβήτητης σημασίας στο σχεδιασμό και τη μηχανική των πλοίων RO-PAX νέας γενιάς(Nikoroulou, Cullinane, &Jensen, 2013).

Κατά τη διάρκεια της 3ης συνόδου της Διάσκεψης των Μερών της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή που πραγματοποιήθηκε το 1997, οι συμμετέχουσες χώρες συμφώνησαν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου στις τιμές-στόχο, ή τη μείωση των εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 (ο στόχος για την Ιαπωνία είναι η μείωση κατά 6%). Σύμφωνα με μια έρευνα (3) από το Υπουργείο Χωροταξίας, Υποδομών και Μεταφορών, οι εκπομπές CO₂ από τις εγχώριες μεταφορές στην Ιαπωνία κατά το οικονομικό έτος 1990 ήταν 217 εκατομμύρια τόνοι CO₂. Από το ποσό αυτό, οι εκπομπές από τα πλοία ήταν 6,3% (13,7 εκατ. τόνοι CO₂). Μέχρι το οικονομικό έτος 2005, οι εκπομπές είχαν αυξηθεί σε 257 εκατομμύρια τόνους CO₂, εκ των οποίων 5,0% (12,9 εκατ. τόνοι CO₂) ήταν οι εκπομπές από πλοία. Αν και οι εκπομπές CO₂ για το σύνολο του πεδίου μεταφοράς τείνουν να αυξάνονται, η αναλογία των εκπομπών από τα πλοία σε σχέση με το σύνολο των εκπομπών έχει μειωθεί. Μετά την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο το Φεβρουάριο του 2005, το ιαπωνικό Υπουργικό Συμβούλιο έθεσε ως στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ της βιομηχανίας για την τήρηση του πρωτοκόλλου, σε συνάντηση τον Απρίλιο του 2005. Οι σιδηρόδρομοι και τα αεροσκάφη, των οποίων οι εκπομπές CO₂ αυξήθηκαν, αναμένονται να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των μεμονωμένων μονάδων. Αν και οι συγκεκριμένες τιμές στόχοι για τα πλοία δεν έχουν ακόμη καθορισθεί, οι προσδοκίες είναι υψηλές. Για να συνειδητοποιήσουμε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη διανομή εμπορευμάτων, κυρίως, σύμφωνα με την πολιτική Modal Shift για την προώθηση των σιδηροδρομικών και θαλάσσιων μεταφορών, έχει οριστεί ένας μάλλον υψηλός στόχος για τη μείωση του CO₂ (σε σχέση με τα διάφορα άλλα μέτρα που λαμβάνονται στον τομέα της μεταφορές συνολικά). Τα πλοία που προορίζονται για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων και μεγάλων ποσοτήτων φορτίου προφανώς αναμένονται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη συνολική προσπάθεια για τη μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων(Weintrit&Neumann, 2013).

Η απότομη αύξηση του κόστους των καυσίμων θέτει σαφώς ένα μεγάλο εμπόδιο στη λειτουργία των ναυτιλιακών εταιρειών. Αρκετά πλοία Ro-rax, τα οποία ήταν γνωστά για την χαμηλή κατανάλωση καυσίμων, αναλύθηκαν σύμφωνα με τον προτεινόμενο δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας EEDI. Διαπιστώθηκε ότι το EEDI έχει ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση ορίων ταχύτητας για τα πλοία. Διαπιστώθηκε επίσης ότι αυτός ο τύπος του πλοίου μπορεί να εκπληρώσει τις απαιτήσεις του EEDI μόνο σε αρνητικές αντιστάσεις κύματος για την επιθυμητή ταχύτητα σχεδιασμού τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο παρόν EEDI παραβιάζει κοινώς αποδεκτές φυσικές αρχές της τροφοδοσίας των πλοίων. Επομένως, προβλέπεται να επανεξεταστεί ο δείκτης EEDI ή να αναθεωρηθεί ο ορισμός για τα όρια ταχύτητας στο μέλλον (Klanac, Jalonen, &Varsta, 2007).

Στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Αμβούργου, ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης (EEDI) έχει εφαρμοστεί στο υπάρχον λογισμικό σχεδιασμού πλοίων, επιτρέποντάς τους να χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων περίπου 60 πρόσφατων κατασκευών πλοίων Ro-Rax, στην οποία περιλαμβάνονται αξιόπιστα δεδομένα μοντέλων δοκιμών σε σχέση με την υδροδυναμική απόδοση των πλοίων που ερευνήθηκαν. Η προτεινόμενη αρχική τιμή της DNV έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση ενός απαιτούμενου EEDI και τις επιπτώσεις του στο σχεδιασμό του πλοίου. Πρώτον, όλα τα πλοία ερευνήθηκαν σε σχέση με τον δείκτη EEDI και βρέθηκαν να είναι συμμορφωμένα με τις έρευνες της DNV. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γενική διασπορά των δεδομένων είναι σημαντική. Διαπιστώθηκε επίσης ότι αυτή η μεγάλη διασπορά δεν αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα των καυσίμων των διαφόρων πλοίων, αλλά αντιπροσωπεύει μόνο το έλλειμμα του προτεινόμενου δείκτη EEDI. Ως εκ τούτου, ορισμένα πλοία είχαν ερευνηθεί αναλυτικότερα (Klanac, Jalonen, &Varsta, 2007).

Η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής: Για ένα δεδομένο πλοίο με ένα συγκεκριμένο νεκρό βάρος και ταχύτητα, ο απαιτούμενος δείκτης EEDI είχε ως αποτέλεσμα μια εγκατάσταση κύριου κινητήρα μέγιστης απόδοσης για την πρόωση. Ο υπολογισμός αυτός ισχύει για το full scant ling draft του πλοίου. Σχετικά με το βύθισμα σχεδίασης, συμπεριλαμβανομένης της θάλασσας και του περιθωρίου του κινητήρα, αυτή η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εγκατάστασης από το EEDI οδηγεί σε μια μέγιστη ταχύτητα, την οποία μπορεί να επιτύχει το πλοίο στο βύθισμα σχεδίασης σε συνθήκες σχεδιασμού. Για όλα τα πλοία Ro-rax διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη

ταχύτητα είναι δραστικά μικρότερη σε σύγκριση με την ταχύτητα για την οποία το πλοίο είχε σχεδιαστεί, έτσι ώστε ο ισχύων δείκτης EEDI σαφώς οδηγεί σε σημαντική μείωση της ταχύτητας για τα πλοία Ro-pax. Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι ο σχεδιασμός του πλοίου μπορεί να είναι αναποτελεσματικός, αυτά όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμων, καθώς η απώλεια ταχύτητας που προκύπτει είναι υψηλή. Ως εκ τούτου, ερευνήθηκε περαιτέρω η δυνατότητα βελτίωσης των σχεδιασμών των πλοίων όσον αφορά την υδροδυναμική απόδοση. Σε ένα δεύτερο στάδιο, αποδεικνύεται ότι ένα πλοίο πρέπει να λειτουργεί στην επιθυμητή ταχύτητα σχεδιασμού του και πρέπει να βελτιστοποιηθεί ώστε να πληροί τις απαιτήσεις του EEDI. Αυτό οδηγεί σε μια θεωρητική μείωση της αντίστασης πλοίων, η οποία πρόκειται να επιτευχθεί με τη βελτιστοποίηση. Καθώς η αντίσταση τριβής δύσκολα μπορεί να επηρεαστεί από τον σχεδιαστή του πλοίου, ειδικά για πλοία χαμηλής κατανάλωσης καυσίμων με μικρούς συντελεστές αντίστασης, η μόνη δυνατότητα για βελτιστοποίηση είναι η μείωση της αντίστασης κυματισμού. Ως εκ τούτου, έχει υπολογιστεί η αναγκαία αντίσταση κυματισμού, προκειμένου το πλοίο να εκπληρώνει τις απαιτήσεις του δείκτη EEDI. Ως παράδειγμα, έχει επιλεγεί το πλοίο που έχει την καλύτερη υδροδυναμική απόδοση της βάσης δεδομένων, το οποίο εκπροσωπείται από το μικρότερο συντελεστή παραμένουσας αντίστασης CR. Το πλοίο έχει δείκτη 48,6, ενώ ο απαιτούμενος δείκτης ανέρχεται σε 29,0. Από την άλλη πλευρά, το πλοίο έχει μία εξαιρετικά χαμηλή ζήτηση ισχύος στην ταχύτητα σχεδιασμού του σε 22,5 κόμβους, που υποδεικνύεται από μια εξαιρετικά χαμηλή τιμή CR $0.8E-3$ σε ταχύτητα σχεδιασμού (Klanac, Jalonen, & Varsta, 2007).

Ο κύριος στόχος του EUFP6 IMPROVE ήταν να σχεδιάσει 3 διαφορετικούς τύπους πλοίων επόμενης γενιάς, με την ενσωμάτωση διαφόρων πτυχών του δομικού σχεδιασμού του πλοίου σε ένα επίσημο πλαίσιο, καθώς και η εφαρμογή του. Η φύση της ναυπηγικής βιομηχανίας στην Ευρώπη τείνει προς την δημιουργία μικρών σειρών από πολύ εξειδικευμένα πλοία (σε αντίθεση με τα κορεατικά και τα κινέζικα ναυπηγεία). Έτσι, το project IMPROVE έχει ασχοληθεί με πλοία τα οποία, με πολύπλοκες δομές και κριτήρια σχεδιασμού, και είναι στην κορυφή της λίστας για την προσαρμογή. Η κοινοπραξία IMPROVE προσδιόρισε την επόμενη γενιά των μεγάλων πλοίων RO-PAX, μεταφορέων προϊόντων / χημικών και φορτηγά πλοία LNG μεταφοράς φυσικού αερίου, ως τα καταλληλότερα πλοία, στα οποία τα

ευρωπαϊκά ναυπηγεία θα πρέπει να επικεντρώσουν τις προσπάθειές τους (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010).

Τα πλοία Ro-Pax έχουν κατασκευαστεί για να συνδυάζουν δύο είδη μεταφορών: τις υπηρεσίες roll on roll off (όπως τρέιλερ, ημιρυμουλκούμενα, αυτοκίνητα και ειδικό φορτίο) και τη μεταφορά των επιβατών, με απώτερο σκοπό το κέρδος. Η στενή συνεργασία μεταξύ του ναυπηγείου και του ιδιοκτήτη κατά τη φάση σχεδιασμού και την προετοιμασία των τεχνικών προδιαγραφών είναι ένα βασικό στοιχείο για την επίτευξη των παραπάνω αποτελεσμάτων. Η ανάπτυξη των νέων προϊόντων απαιτεί ταυτόχρονο σχεδιασμό, όπου οι νέες γενιές σχεδιασμού του προϊόντος πρέπει να αναπτυχθούν σε ένα περιβάλλον πολλαπλών κριτηρίων λήψης αποφάσεων συμπεριλαμβανομένου του πολλαπλού σταδίου αξιολόγησης για τον σχεδιασμό λειτουργιών και ιδιοτήτων. Γενικός στόχος είναι η αύξηση των κερδών του πλοιοκτήτη, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής των ναυπηγείων. Για τη μεγιστοποίηση των βασικών δεικτών απόδοσης (KPI) για ένα πλοίο Ro-Pax πολλαπλών καταστρωμάτων, ενσωματώθηκαν διάφορες πτυχές του δομικού σχεδιασμού του πλοίου στην διαδικασία πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010). Εκτός από τις υπάρχουσες μεθόδους και εργαλεία, χρησιμοποιείται μια σειρά από νέα εργαλεία που θα αναπτυχθούν στο πλαίσιο του project IMPROVE. Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο διασυνδεδεμένα επίπεδα (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010):

(1) γενικός σχεδιασμός του πλοίου (GD) - Βελτιστοποίηση και επιλογή.

(2) δομικός σχεδιασμός του πλοίου (SD) - βελτιστοποίηση, επιλογή και ανάλυση.

Όσον αφορά τον γενικό σχεδιασμό του πλοίου οι στόχοι ήταν:

- Επιλογή κύτους, φιλικού προς την αντίσταση,
- Μικρότερος κινητήρας πρόωσης για την ίδια ταχύτητα,
- Μειωμένη κατανάλωση καυσίμων,
- Επιλογή μιας μορφής κύτους προκειμένου να μειωθεί το μήκος του μηχανοστασίου (αυξημένο μήκος του χώρου φόρτωσης).

Σχετικά με τον δομικό σχεδιασμό του πλοίου, οι στόχοι ήταν (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010):

- Μείωση VCG (καλύτερη σταθερότητα).
- Μειωμένο βάρος άφορτου πλοίου (μειωμένη μετατόπιση και δύναμη πρόωσης)
- Μειωμένο κόστος συντήρησης

Η μεγαλύτερη προσοχή δόθηκε στον γενικό σχεδιασμό του πλοίου (ναυπηγικοί υπολογισμοί: ταχύτητα, δύναμη, σταθερότητα των ζημιών κ.λπ.) που εκπονήθηκε στην ULJANIK, όπου έγιναν και οι αντίστοιχες συγκρίσεις των επιλεγμένων παραλλαγών πρόωσης. Στο πλαίσιο των απαιτήσεων, κατά τον σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη μεγάλες διακυμάνσεις σε εποχιακές συναλλαγές (1600 άτομα το καλοκαίρι, το χειμώνα 100 άτομα) (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010).

Η μεθοδολογία σχεδιασμού του project IMPROVE ορίζει τρία επίπεδα σχεδιασμού (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010):

I. Πλοίο πρότυπο είναι το υπάρχον πλοίο ή το πρωτότυπο του ναυπηγείου,

II. Το νέο πλοίο είχε σχεδιαστεί κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου του έργου. Το σχέδιο υλοποιήθηκε κυρίως με τη χρήση της υφιστάμενης μεθοδολογίας και θα περιλαμβάνει βελτιώσεις στις κύριες διαστάσεις, τη γενική διάταξη, την υδροδυναμική και την προώθηση,

III. Το βελτιωμένο πλοίο προέκυψε αρχίζοντας από το επίπεδο σχεδιασμού II και χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από την πολυκριτηριακή δομική βελτιστοποίηση.

Το έργο του Ro-Pax, που αναπτύχθηκε πριν από δέκα έτη από την ULJANIK, έχει θεωρηθεί ως πλοίο πρότυπο. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του πλοίου που δίνονται παρακάτω.

- Κύριες διαστάσεις: Ολικό μήκος - 193 + 4 m, Πλάτος - 29,0 μ., βύθισμα - 6,7 m
- Η ταχύτητα δοκιμής - 24.5 κόμβοι
- ικανότητες φορτίου - Ρυμουλκούμενα 3000, διάδρομοι lanemeters + 300 αυτοκίνητα

- Ικανότητες: HFO - 1400 m³
- , DO - 250 t, FW - 1200 m³
- , SW - 600 m³
- Επιβάτες: 166 καμπίνες + 400 καθίσματα αεροσκαφών
- Πλήρωμα 74 καμπίνες

Η βελτιστοποιημένη σχεδίαση (Επίπεδο II), έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση τα πλοία Ro-Pax (Επίπεδο I), όπως η απλότητα των συστημάτων, η βελτιστοποιημένη ευελιξία, η βελτιστοποιημένη αξιοπλοΐα και η μεγιστοποιημένη άνεση (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, &Prebeg, 2010).

Οι κύριες διαστάσεις του σχεδιασμού RO-PAX περιλαμβάνουν την βελτιστοποιημένη χρήση του λογισμικού TRIDENT/SEAKING (λογισμικό ULJANIK / USCS), προκειμένου να επιτευχθεί ελάχιστη κύρια δύναμη του κινητήρα και επαρκής σταθερότητα. Οι ικανότητες φορτίου, οι περιορισμοί στις κύριες διαστάσεις, στην ταχύτητα δοκιμής κλπ. ορίζονται από τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη. Αναπτύχθηκε μια νέα εφαρμογή, η οποία αποτελεί ένα καλύτερο συνδυασμό των κύριων διαστάσεων με σκοπό την ελαχιστοποίηση της αντίστασης. Η αρχική μορφή του κύτους ήταν μέρος του μεγαλύτερου PCTC της Uljanik, το οποίο στη συνέχεια πήρε μια νέα μορφή (Επίπεδο II) με μικρότερη αντίσταση (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, &Prebeg, 2010).

Σε σύγκριση με το πλοίο πρότυπο, η βελτιστοποιημένη σχεδίαση χρειάζεται 2900 kW (περίπου 11%), λιγότερη δύναμη λόγω των διαφορετικών κύριων στοιχείων και της μορφής του κύτους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του νέου πλοίου είναι τα εξής (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, &Prebeg, 2010):

- Ολικό μήκος: περίπου 193 m
- Μήκος σκάφους μεταξύ καθέτων στην ίσαλο γραμμή: 180 m
- Πλάτος: 29,8 m

- Βύθισμα κάτω από την ίσαλο: 7.5 m
- Συντελεστής αντίστασης: 0,53
- Ταχύτητα δοκιμής: 24,5 κόμβοι
- Κύρια ισχύς του κινητήρα (MCR): 14940 kW
- Ικανότητες: HFO - 860 m³
, DO - 440 t, FW - 1000 m³
, SW - 600 m³
- Επιβάτες: 350 καμπίνες + 200 καθίσματα αεροσκαφών
- Πλήρωμα: 85 καμπίνες

Η φόρτωση/ εκφόρτωση των οχημάτων γίνεται με πρυμναία κεκλιμένα επίπεδα σε τέσσερα καταστρώματα. Τα φορτηγά και ρυμουλκούμενα είναι σταθμευμένα στο πάνω μέρος της δεξαμενής, στο κατάστρωμα εξάλων και στο ανώτερο κατάστρωμα, ενώ τα αυτοκίνητα και τα μικρότερα οχήματα βρίσκονται, σύμφωνα με τη Νέα Καινοτομική Σχεδίαση του πλοίου Ro-Pax, στο δεύτερο κατάστρωμα. (D. Dundara, O. Kuzmanović). Το συνολικό μήκος διαύλου είναι 3000 m συν 300 αυτοκίνητα. Υπάρχουν δύο γνωστοί τρόποι για σύνδεση των μεταφορών με κεκλιμένα επίπεδα στα διάφορα καταστρώματα. Το ένα ξεκινάει από το πάνω μέρος της δεξαμενής προς το κύριο κατάστρωμα με την επέκταση της γέφυρας προς τη δεύτερη γέφυρα, και το άλλο ξεκινάει από το κύριο προς το ανώτερο κατάστρωμα. Η επιβίβαση των επιβατών γίνεται και μέσω πρυμναίων κεκλιμένων επιπέδων με ανεγκυστήρες στα καταστρώματα ενδιαίτησης (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010).

Μετά τη βελτιστοποίηση των κύριων στοιχείων, ερευνήθηκαν δύο εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού πρόωσης (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, & Prebeg, 2010):

Παραλλαγή I (Variant I): Ένας κύριος κινητήρας χαμηλής ταχύτητας συνδέεται απευθείας με έλικα με μόνιμο βήμα με λάμπα προώθησης για την αύξηση της κύριας απόδοσης του έλικα. Ο βοηθητικός έλικας κινείται με την άμεση ηλεκτρική κίνηση των 5000 kW που χρησιμοποιούν κωνικούς οδοντωτούς τροχούς στην κορυφή και το

κάτω μέρος του ποδιού. Τα γρανάζια για την καθοδήγηση ενεργοποιούνται μέσω των ηλεκτρικών κινητήρων που ελέγχονται από τη συχνότητα. Ο χώρος του μηχανοστασίου χωρίζεται σε τρία μέρη: κύριο μηχανοστάσιο με κύριο κινητήρα με ισχύ από 14900 kW, βοηθητικό μηχανοστάσιο με 4 κινητήρες συνολικής ισχύος περίπου 9000 kW και μηχανοστάσιο με ηλεκτρονικούς μετατροπείς για τον χειρισμό του ενεργού έλικα πηδαλιουχίας.

Παραλλαγή II (VariantII): Δύο κύριοι κινητήρες μεσαίας ταχύτητας σε συνδυασμό με το κιβώτιο ταχυτήτων και με έλικα CP με δύο «retractables idethrusters» προωστήρες. Ο χώρος του μηχανοστασίου χωρίζεται σε τέσσερα μέρη: κύριο μηχανοστάσιο με δύο κύριους κινητήρες ισχύος 8400 kW ο κάθε ένας, βοηθητικό μηχανοστάσιο με 4 κινητήρες συνολικής ισχύος περίπου 8.000 kW, χώρος προωραίου αναδιπλούμενου προωστήρα και χώρος ηλεκτρικά αναδιπλούμενου πρυμναίου προωστήρα. Οι αναδιπλούμενοι προωστήρες θα λειτουργούν μόνο στο λιμάνι.

Ο κύριος σκοπός της νέας ιδέας πρόωσης είναι να αποφευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η λειτουργία των ηλεκτροκίνητων προωστήρων κατά την θαλασσοπλοΐα, δηλαδή να χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια ελιγμών στο λιμάνι (χωρίς ρυμουλκά) και να έχει δύο ανεξάρτητες πηγές πρόωσης, προκειμένου να επιτύχει το 100 % του συμβολισμού (notation). Οι ιδιοκτήτες απαιτούν να μην σταματάει ποτέ η λειτουργία του πλοίου και ζητούν την επιλογή δύο κύριων κινητήρων σε συνδυασμό με το κιβώτιο ταχυτήτων προς ένα CP-έλικα (VariantII). Η διάταξη αυτή δίνει τη δυνατότητα λειτουργίας του πλοίου με έναν κύριο κινητήρα σε λειτουργία, πραγματοποιώντας την συντήρηση από τον άλλο κύριο κινητήρα. Η επιλεγμένη ρύθμιση VariantII έχει 9% μικρότερη απόδοση σε σχέση με την Variant I (Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, &Prebeg, 2010).

Οι στόχοι που αφορούν την χαμηλή κατανάλωση καυσίμων και την αύξηση του Iapometer στο πάνω μέρος της δεξαμενής (χωρητικότητα φορτίου) έχουν επιτευχθεί. Σε σύγκριση με το πλοίο πρότυπο, η νέα σχεδίαση (Επίπεδο II) απαιτεί περίπου 7900 kW λιγότερη ενέργεια, το βάρος των μηχανημάτων μειώνεται κατά 450 τόνους, η κατανάλωση καυσίμων είναι μειωμένη κατά 28% και, τέλος, το σύστημα πρόωσης είναι πιο αξιόπιστο. Επίσης υπάρχουν 2 ανεξάρτητοι χώροι κινητήρα και 2

ανεξάρτητα συστήματα πρόωσης(Dundara, Kuzmanović, Žanić, Andrić, &Prebeg, 2010).

Πολυκριτηριακή διαρθρωτική βελτιστοποίηση του σχεδιασμού

Ο κύριος σκοπός του επιπέδου III είναι να αυξηθεί περαιτέρω η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται στον σχεδιασμό του επιπέδου II με την εφαρμογή διαρθρωτικής βελτιστοποίησης του σχεδιασμού σε σχέση με τους γενικούς υπολογισμούς του πλοίου(Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008).

Όσον αφορά το γενικό επίπεδο του πλοίου, έχουν προταθεί και αξιολογηθεί πολλές τυπολογικές / γεωμετρικές ιδέες με βάση τον νέο σχεδιασμό πλοίων (Επίπεδο II), το οποίο λειτουργούσε ως πρωτότυπο. Δύο διαφορετικές έννοιες της ανωδομής συνδέθηκαν με κάθε μία από τις τρεις παραλλαγές στην μέση περιοχή του πλοίου που προτάθηκαν από την ULJANIK (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008). Με αυτόν τον τρόπο ο συνολικός αριθμός των έξι διαφορετικών μοντέλων παραλλαγών διατυπώθηκαν προκειμένου να εκτελεστεί διαρθρωτική βελτιστοποίηση για κάθε μία από αυτές (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008):

1. Αριθμός καταστρωμάτων ανωδομής. Δύο παραλλαγές της ανωδομής (xT: δύο και τρεις βαθμίδες), αλλά με την ίδια συνολική έκταση σε καταστρώματα ενδιαίτησης.
2. Εγκάρσια θέση του διαμήκου διαφράγματος μεταξύ του καταστρώματος 1 και του καταστρώματος 3 (xG).

Έχουν εξεταστεί τρεις διαφορετικές θέσεις.

Για τον σκοπό δομικού σχεδιασμού των πλοίων πολλαπλών καταστρωμάτων (όπως το Ro-Pax), έχει δημιουργηθεί μια αποτελεσματική πολυκριτηριακή διαδικασία για την επίλυση της τυπολογικής βελτιστοποίησης μέσω δύο κύριων εργασιών(Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008):

(A) βελτιστοποίηση τοπολογίας/γεωμετρίας

(B) βελτιστοποίηση κατασκευής/υλικών των προτιμώμενων παραλλαγών από την εργασία (A)

Τα γενικά κωνικά μοντέλα πλοίων 3DFEM, σύμφωνα με τους κανονισμούς της κλάσης επιλέχθηκαν ως το κατάλληλο μοντέλο για τη διαρθρωτική βελτιστοποίηση και των δύο εργασιών. Κάθε ένα από τα έξι γενικά 3DFEM μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό διαρθρωτικού σχεδιασμού MAESTRO (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008).

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό χωρίζονται σε τυπολογικές, γεωμετρικές και κατασκευαστικές μεταβλητές. Η τοπολογική μεταβλητή ήταν ο αριθμός των καταστρωμάτων ανωδομών (xT: δύο και τρεις βαθμίδες). Η γεωμετρική μεταβλητή ήταν το εύρος των κατώτατων αμπαριών (xG: τρεις διαφορετικές θέσεις των διαμήκων διαφραγμάτων στο χώρο του φορτίου). Οι κατασκευαστικές μεταβλητές ήταν η διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων (xS: 14 κατασκευαστικές μεταβλητές ανά stiffened panel). Τα xT και xG είναι πολύ σημαντικά για το γενικό επίπεδο του πλοίου, επειδή η μείωσή τους θα μπορούσε να μειώσει ενδεχομένως τον αριθμό εξοπλισμού (το κόστος του εξοπλισμού). Από το ναυπηγείο παρέχεται η λειτουργία περιορισμού για τον αριθμό εξοπλισμού με βάση γεωμετρικές μεταβλητές σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία βελτιστοποίησης. Επίσης, με την αύξηση της έκτασης του κατώτατου αμπαριού, αυξάνεται επίσης η ολική χωρητικότητα (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008).

Η διαρθρωτική βελτιστοποίηση των διαφόρων ιδεών σχεδιασμού για συγκεκριμένους στόχους (κόστος, μάζα, VCG, ασφάλεια, κλπ.) όσον αφορά οι τοπολογικές, γεωμετρικές και κατασκευαστικές μεταβλητές επιτρέπει την σύγκριση μεταξύ τους. Στο πλαίσιο του γενικού σχεδιασμού, η επιλογή του σχεδιαστή θα πρέπει να πραγματοποιείται ως δεύτερο καθήκον του σχεδιασμού, χρησιμοποιώντας τα παγκόσμια μέτρα για την ποιότητα του σχεδιασμού στο πλαίσιο των βελτιστοποιημένων παραλλαγών. Παράλληλα με το δομικό μέρος, η ULJANIK πραγματοποίησε γενικούς ναυπηγικούς υπολογισμούς (ευστάθεια μετά από βλάβη, δύναμη, αντοχή, ικανότητα φορτίου, κλπ.) για κάθε μία από τις τρεις παραλλαγές στην τομή. Επίσης, για κάθε παραλλαγή, οι υπολογισμοί ευστάθειας μετά από βλάβη έχουν πραγματοποιηθεί για να επιτευχθεί το ελάχιστο βάθος καταστρώματος εξάλων, που πληροί τα κριτήρια ευστάθειας (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008).

Κάθε ομάδα μπορεί να περιέχει επιμετάλλωση, νευρώσεις, εγκάρσια πλαίσια και διαμήκη δοκό. Οι σχεδιαστικοί περιορισμοί και οι απαιτήσεις ήταν οι εξής (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008):

(Α) οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές για το ύψος του εγκάρσιου ενισχυμένου νομέα του καταστρώματος καθορίζονται από το ναυπηγείο.

(Β) οι ελάχιστες τιμές για το πάχος του τμήματος επιμετάλλωσης και του ενισχυτικού αντίστασης της διατομής προσδιορίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της BV, ως ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος των ελασμάτων και της αντίστασης της διατομής που μπορούν να υποστηρίξουν τα φορτία τροχού.

(Γ) Για τη δομική αντοχή, χρησιμοποιήθηκε το προσαρμοσμένο σύνολο παραμέτρων επάρκειας MAESTRO.

Οι στόχοι του σχεδιασμού που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των έξι δομικών παραλλαγών ήταν: το δομικό βάρος, το κόστος του υλικού και της θέσης των VCG. Όλες οι εκδόσεις έχουν βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης MAESTROSLP κατά τη διάρκεια 10 κύκλων σχεδιασμού. Η Μάζα, το κόστος και το VCG κάθε μοντέλου υπολογίστηκαν με τη χρήση των ενσωματωμένων λειτουργιών του λογισμικού MAESTRO. Τα μέτρα ασφαλείας καθορίστηκαν με κανονικοποιημένα κριτήρια επάρκειας. Ο σχετικός δείκτης επάρκειας έχει υπολογιστεί για τις τρεις ενότητες που χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση (S1M1, S1M2 και S1M3). Το ύψος του πλοίου για τα προτεινόμενα μοντέλα προσδιορίστηκε μετά τη διεξαγωγή της βελτιστοποίησης (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008). Με βάση τη σύγκριση μεταξύ των έξι μοντέλων (αρχικά και προτεινόμενα), έχουν επιτευχθεί τα ακόλουθα αποτελέσματα (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008):

- Η συνολική μάζα του κάθε μοντέλου μειώθηκε με επιτυχία από περίπου 200 σε 300 τόνους για όλες τις παραλλαγές (ανάλογα με το μοντέλο).
- Το κόστος παραγωγής και VCG μειώθηκαν με επιτυχία.
- Η ασφάλεια αυξήθηκε λόγω του μικρότερου αριθμού των ανικανοποίητων περιορισμών και του μεγαλύτερου σχετικού δείκτη επάρκειας.

•Το ύψος όλων των μοντέλων ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο λόγω του μεγαλύτερου ύψους των εγκάρσιων δοκών στα καταστρώματα 2 και 3.

Οι επιρροές του xT και xG για τον δομικό σχεδιασμό συνοψίζονται ως εξής(Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008):

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των δύο ιδεών ανωδομής (xT), μίας με δύο βαθμίδες (υπερσύγχρονων 20, 21 και 22) και εκείνης με τρία καταστρώματα υπερδομής (υπερσύγχρονων 30, 31 και 32), βρίσκεται στην διαμήκη (δοκός κύτους) κατανομή των τάσεων κατά μήκος και ύψος του πλοίου. Λόγω του γεγονότος ότι η υπερδομή με δύο καταστρώματα είναι πολύ μεγάλη, το 80-90% του μήκους του πλοίου συμμετέχει στην κάμψη του κύτους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από ότι οι παραλλαγές με πολύ μικρότερη ανωδομή με τρία καταστρώματα. Η σύγκριση των διαμήκων πιέσεων για το LC2 δίνεται για δύο παραλλαγές υπερσύγχρονων Ro-Pax 22 και Ro-Pax30 (Žanić, Prebeg, Andrić, Kitarović, & Grgić, 2008).

Κεφάλαιο 4^ο – υπόδειγμα εφαρμογής LNG καυσίμου

4.1 Εισαγωγή

Νέες μορφές ενέργειας, λιγότερο ρυπογόνες για το περιβάλλον, αναζητά η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία με στόχο τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τα βλέμματα είναι στραμμένα στη χρήση φυσικού αερίου ως καυσίμου στα πλοία. Πρόκειται για ένα από τα θέματα συζήτησης στη ναυτιλία, το «receiving a lot of attention». Σύμφωνα με τους ειδικούς, «το LNG είναι το καύσιμο του μέλλοντος», έχει μάλιστα χρησιμοποιηθεί από ένα μικρό αριθμό πλοίων, τα λεγόμενα gas ships, για κάποιο χρονικό διάστημα.

Σήμερα υπάρχει μεγάλος αριθμός προτάσεων για την κατασκευή μηχανών για πλοία που θα μπορούν να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως καύσιμο. Σε πρώτη φάση, το φυσικό αέριο θα χρησιμοποιηθεί στη ναυτιλία μικρών αποστάσεων και στα επιβατηγά πλοία.

Στην Φινλανδία έχει ήδη κατασκευαστεί το πρώτο μεγάλο επιβατηγό – ferry που θα χρησιμοποιεί ως καύσιμο το LNG το οποίο παραδόθηκε στις αρχές του 2013. Το πλοίο αυτό, το οποίο θα παρουσιάσουμε σε επόμενες παραγράφους είναι παγκοσμίως το πιο φιλικό προς το περιβάλλον επιβατηγό πλοίο, με ελάχιστες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Έχει μεταφορική ικανότητα 2.800 επιβατών και 1.100 μέτρα για Ι.Χ. αυτοκίνητα και υπηρεσιακή ταχύτητα 22 κόμβων.

Η Νορβηγία θεωρείτε πρωτοπόρος στην κατασκευή επιβατικών – ferries που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LNG.

Επίσης, ο Lloyd's Register πιστοποίησε το πρώτο παγκοσμίως «chemical tanker», το Argonon, χωρητικότητας 6.100 dwt, της ναυτιλιακής εταιρείας Argono Shipping. Έχει μήκος 110 μέτρα, ναυπηγήθηκε στο Rotterdam's Shipyard Trico BV και έχει τη δυνατότητα να κάνει το ταξίδι Ρότερνταμ - Βασιλεία χωρίς ανεφοδιασμό. Το LNG ως καύσιμο τείνει να ταιριάζει στα ferries, αφού κάνουν δρομολόγια

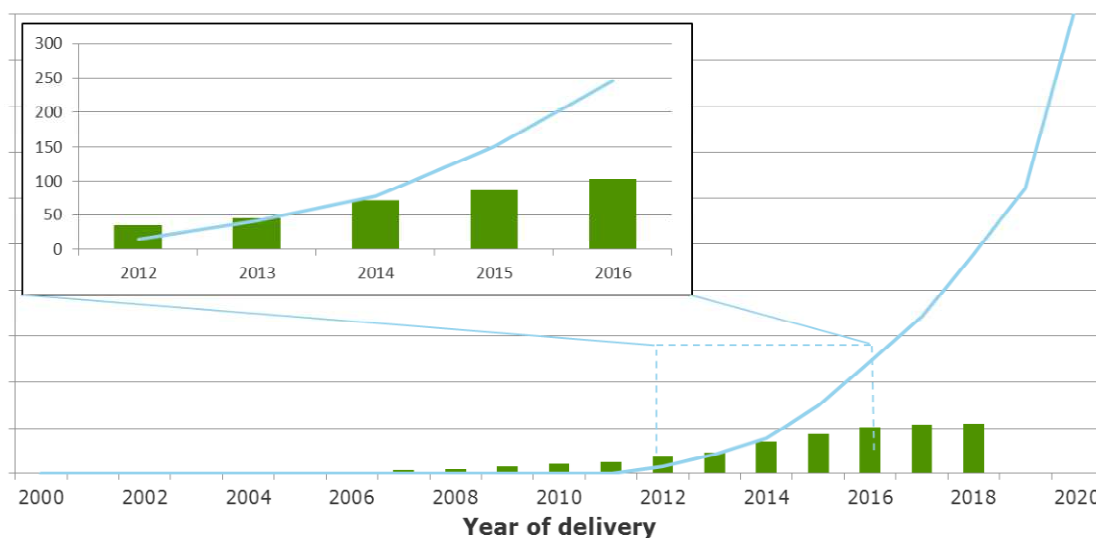
ανάμεσα σε συγκεκριμένα λιμάνια με ειδικά LNG terminals που διευκολύνουν τον ανεφοδιασμό τους. Ανάλογες υποδομές αυτή τη στιγμή δεν υπάρχουν για άλλου τύπου πλοία συμπεριλαμβανομένων και των κρουαζιερόπλοιων. Το φυσικό αέριο είναι επίσης ιδανικό για τη ναυτιλία μικρών αποστάσεων και στις ποτάμιες μεταφορές, αφού τα ταξίδια τους γίνονται είτε κοντά σε πολυπληθής πόλεις είτε περνούν μέσα από αυτές και μπορεί με αυτό τον τρόπο να μειωθεί η βλαβερή εκπομπή αερίων.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης φυσικού αερίου για καύσιμο στα πλοία είναι ότι μειώνει σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα ρύπανσης.

Σύμφωνα με πληροφορίες, οι περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες, μεταξύ των οποίων και ελληνικών συμφερόντων, μελετάνε το θέμα πολύ σοβαρά και σκέφτονται να εκπονήσουν προγράμματα για πιθανές νέες παραγγελίες για ναυπηγήσεις πλοίων ώστε να γίνει η διερεύνηση εγκατάστασης των ειδικών για LNG μηχανών από την αρχή και να μη χρειαστεί να τις μετατρέψουν στη συνέχεια, κίνηση που θα ήταν σαφώς πιο με μεγαλύτερο κόστος, προσβλέποντας σε μια εφικτή λύση συμμόρφωσης προς τους επερχόμενους νέους κανονισμούς για την μείωση των εκπομπών ρύπων από τα πλοία.

Μάλιστα στον IMO υπάρχει κώδικας για τα chemical tankers τον οποίο τα επόμενα χρόνια θα τον τροποποιήσουν για να φτιάξουν διατάξεις για τα πλοία που θα κινούνται με φυσικό αέριο.

Η ανάπτυξη και η κατασκευή επιβατικών πλοίων που κινούνται με LNG είναι μεγάλη. Σύμφωνα με το Wuersing (2014) η ανάπτυξη της κατασκευής πλοίων που χρησιμοποιούν LNG φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.



Σχήμα 1: Κατασκευή πλοίων που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο

Πηγή Medium sized LNG ferries for Norway By Ingvald Fardal and Fjord Line AS-
www.fjordline.com

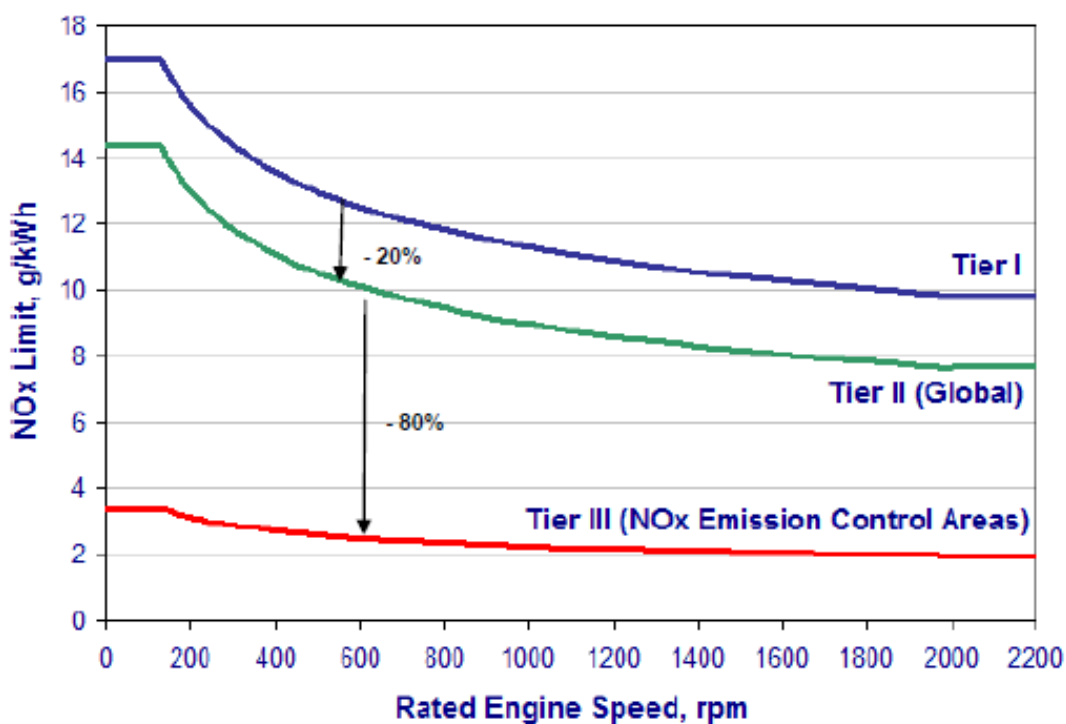
Από το γράφημα συμπεραίνουμε πως υπάρχει ραγδαία ανάπτυξη στην κατασκευή πλοίων που κινούνται με LNG και τα πλοία αυτά θα ξεπεράσουν τα 100 το έτος 2017. Θα πρέπει να σημειώσουμε πως στην εικόνα 1 αυτά τα νούμερα αφορούν επιβεβαιωμένες παραγγελίες.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquified Natural Gas) είναι φυσικό αέριο που έχει ψυχθεί στους -161 βαθμούς Κελσίου και στην θερμοκρασία αυτή αυτό συμπυκνώνεται σε ένα υγρό, το οποίο είναι άχρωμο, άοσμο, μη-διαβρωτικό, και μη τοξικό. Το LNG είναι ένα κρυογενές αέριο υπό την έννοια ότι πρέπει να διατηρείται σε αυτή την θερμοκρασία γιατί αλλιώς επιστρέφει στην αέρια κατάσταση του.

Το LNG καταλαμβάνει το $1/600$ του όγκου που καταλαμβάνει το φυσικό αέριο στην αέρια κατάσταση του και αυτή η ιδιότητα του το κάνει να είναι αποτελεσματικό όσον αφορά τη μεταφορά του. Το κόστος μεταφοράς του lng σε σύγκριση με το φυσικό αέριο (αγωγοί) είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας.

Αυτό το κόστος καθιστά οικονομικά αποτελεσματικό για τη μεταφορά στα ειδικά σχεδιασμένα πλοία μεταφοράς LNG σε μεγάλες αποστάσεις με αποτέλεσμα να μπορέσει να ανοίξει η αγορά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου ή δεν μπορούν να κατασκευαστούν. Επιβατικά πλοία που κινούνται με LNG υπάρχουν κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες όπως η Νορβηγία, η Φινλανδία και η Σουηδία ενώ στο στάδιο της κατασκευής βρίσκονται επιβατικά πλοία που θα κινούνται με LNG μεταξύ Αργεντινής και Ουρουγουάης. (Boylston, et.al, 2012)

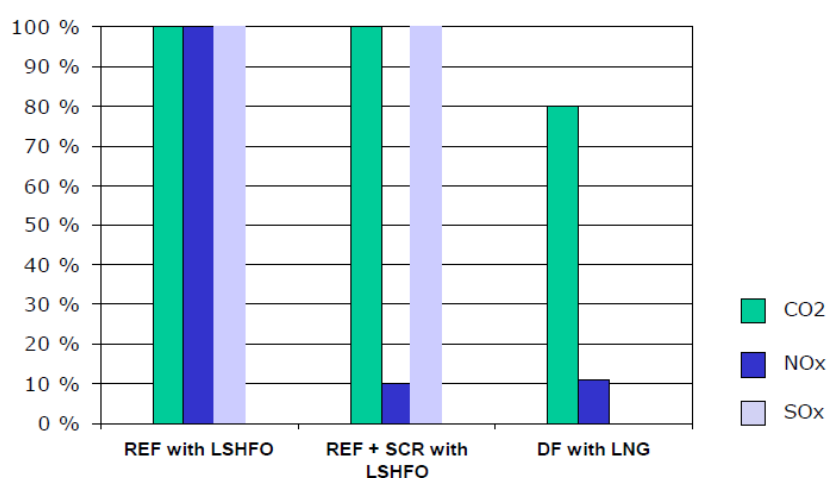
Στο κομμάτι των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου η χρήση του LNG ως καύσιμου για τα επιβατικά πλοία θα προκαλέσει μείωση των εκπομπών αυτών. Η συμφωνία Tier III, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα απαιτεί από την ναυτιλιακή βιομηχανία την μείωση των εκπομπών κατά 80% των οξειδίων του αζώτου για συγκεκριμένες στροφές λειτουργίας των μηχανών. (Robinson, 2011)



Σχήμα 2: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου από την Ναυτιλία

Πηγή: LNG application for Modern ROPAX Ferries, IUMI PRESENTATION, 2011

Η συμφωνία αυτή θα ισχύει από 1/1/2016 για όλα τα πλοία που θα κατασκευάζονται. Οπότε βλέπουμε πως σε λίγα χρόνια η χρήση του LNG ως καύσιμου στην επιβατική ναυτιλία θα γίνει απαραίτητη προκειμένου να επιτυγχάνονται οι περιβαλλοντικοί στόχοι που θέτονται. Ο Fardal (2013) επισήμανε στο παρακάτω σχήμα την θεαματική μείωση εκπομπών του οξειδίου του αζώτου, του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου από την χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο.

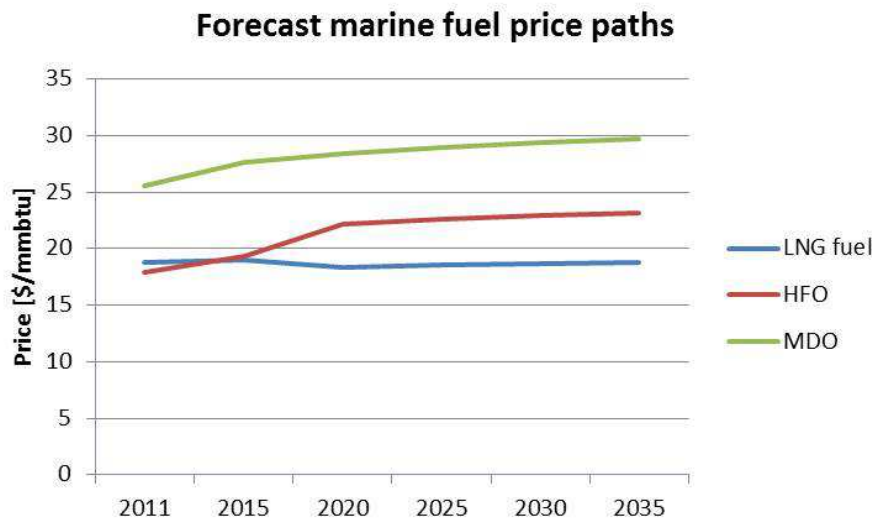


Σχήμα 3: Σύγκριση εκπομπών αερίων με την χρήση LNG ως καύσιμο στην Ναυτιλία

Πηγή Medium sized LNG ferries for Norway By Ingvald Fardal and Fjord Line AS-
www.fjordline.com

Παράλληλα το κόστος των καυσίμων είναι τέτοιο που η χρήση του LNG είναι αρκετά φθηνότερη από το πετρέλαιο Αυτό από μόνο του θα οδηγήσει τις ναυτιλιακές εταιρίες στην χρήση του LNG καθώς αυτό, ως καύσιμο εκτός από περιβαλλοντικά φιλικό θα είναι και οικονομικά αποδοτικό και θα ρίξει το λειτουργικό κόστος των πλοίων.

Στην επόμενη εικόνα και σύμφωνα με τον Robinson (2011) φαίνεται η διαφορά στην τιμή των καυσίμων στην ναυτιλία.

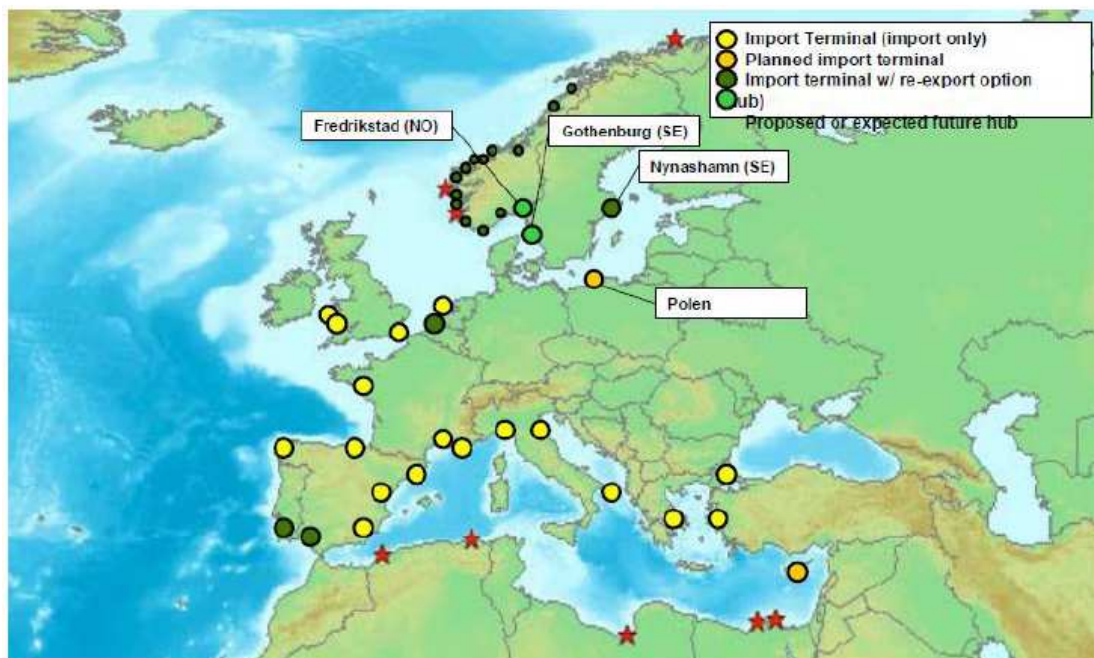


Πηγή DNV GL international homepage , 2013

<http://blogs.dnvgl.com/lng/2013/03/forecast-marine-fuel-prices/>

Το θέμα του ανεφοδιασμού μπορεί να λυθεί με την κατασκευή και λειτουργία τερματικών σταθμών και κόμβων LNG στις περιοχές όπου κινούνται τα πλοία. Στις Σκανδιναβικές χώρες υπάρχει ήδη ένα ανεπτυγμένο δίκτυο τέτοιων σταθμών και κόμβων και για αυτό βλέπουμε πως στην Νορβηγία, στην Σουηδία και στην Φινλανδία έχει αναπτυχθεί αρκετά η χρήση του LNG στην Ro-Paxναυτιλία. Στην εικόνα 1 ο Fardal (2013) μας δίνει έναν χάρτη με τις τοποθεσίες που υπάρχουν δίκτυα ανεφοδιασμού LNG στις περιοχές αυτές.

Στην Ελλάδα υπάρχει το νησάκι της Ρεβυθούσας και ίσως σε μερικά χρόνια δούμε και στην χώρα μας επιβατικά πλοία που θα κινούνται με LNG καύσιμο. Το αρνητικό είναι πως στην χώρα μας έχουμε μόνο έναν σταθμό ανεφοδιασμού με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολος ο ανεφοδιασμός των πλοίων καθώς πολλά πλοία κάνουν πολλαπλές διαδρομές σε διάφορους προορισμούς ενώ αρκετά από αυτά τον ένα χρόνο πραγματοποιούν δρομολόγια σε μια γραμμή και τον άλλο σε κάποια άλλη. Η κατασκευή τερματικού σταθμού στην Κρήτη για την μεταφορά φυσικού αερίου από την Κύπρο και από τις περιοχές νότιας της Κρήτης στο μέλλον, ίσως δώσει μια λύση σε αυτό το πρόβλημα.



Εικόνα 3: Δίκτυα ανεφοδιασμού LNG στην Ευρώπη

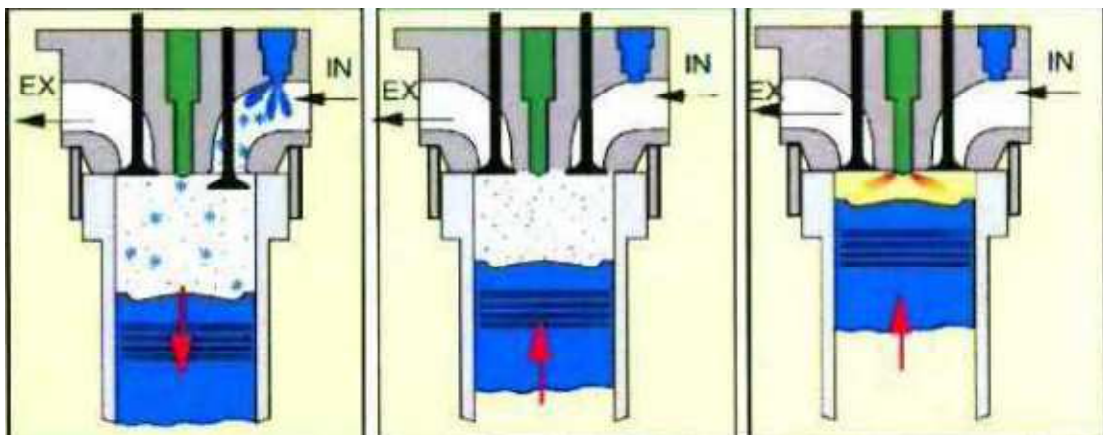
Πηγή Medium sized LNG ferries for Norway By Ingvald Fardal and Fjord Line AS-
www.fjordline.com

4.2 Μηχανές πλοίων LNG

Μεγάλη πρόοδος και ανάπτυξη έχει επιτευχθεί στις μηχανές πλοίων που χρησιμοποιούν LNG. Υπάρχουν αρκετά ήδη μηχανών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλοίο. Ο Wursing (2014) ταξινόμησε αυτές τις μηχανές στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μηχανές που χρησιμοποιούν μόνο φυσικό αέριο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - 1) Χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο
 - 2) Μίξη καυσίμου πριν την εισαγωγή του στον κύλινδρο
 - 3) Ανάφλεξη με σπινθήρα

- Τετράχρονες μηχανές με ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - 1) Χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο
 - 2) Μίξη καυσίμου πριν την εισαγωγή του στον κύλινδρο
 - 3) Ανάφλεξη από προπομπό πετρελαίου
- Δίχρονες μηχανές με ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - 1) Υψηλή ή χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο
 - 2) Μίξη καυσίμου κατά την διάρκεια της συμπίεσης και της καύσης
 - 3) Μίξη καυσίμου μετά το τέλος της συμπίεσης
 - 4) Ανάφλεξη από προπομπό πετρελαίου



Εικόνα 4: Συμπίεση αέρα και φυσικού αερίου (α,β) και ανάφλεξη με την βοήθεια πετρελαίου(γ)

Πηγή :Dual fuel engine development and design, Mika Ojutkangas, Wärtsilä Ship Power 2010

4.2.1 Μηχανές LNG - Rolls-Royce

Η εταιρία Rolls-Royce (Bergen) τις τελευταίες δεκαετίες έχει κάνει μεγάλη έρευνα και έχει αναπτύξει τεχνολογίες για την καύση του φυσικού αερίου σε ναυτικές μηχανές. Κατασκεύασε την πρώτη της μηχανή το 2005 και σήμερα τουλάχιστον 5 επιβατικά πλοία χρησιμοποιούν τις μηχανές της Rolls-Royce στην Νορβηγία.

Οι μηχανές της Rolls-Royce χρησιμοποιούν το σύστημα ανάφλεξης με σπίθα όπου ένα πλούσιο μίγμα καυσίμου αποτελούμενο από φυσικό αέριο και αέρα

εισάγεται σε έναν προθάλαμο και αναφλέγεται έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ισχυρή πηγή ανάφλεξης με σπύθα μέσα στον κύλινδρο.

Στις μηχανές της Rolls-Royce υπάρχει περισσότερος αέρας μέσα στον κύλινδρο από ότι πραγματικά χρειάζεται και αυτό γίνεται για να μειώνονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον κύλινδρο με αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών NO_x. Ακόμη και στις χαμηλές στροφές, οι μηχανές της Rolls-Royce έχουν αρκετά μειωμένες εκπομπές αερίων.

Οι μηχανές που έχει παράγει η εταιρία Rolls-Royce είναι οι ακόλουθες:

- Gas B Engines που λειτουργούν στις 720-750 στροφές με ισχύ 6760 – 9380 ίππων
- Gas C Engines που λειτουργούν στις 900-1000 στροφές με ισχύ 1960-3260 ίππους (Caughlan και Larsen, 2010)

4.2.2 Μηχανές LNG - Wartsilla

Η εταιρία κατασκευής μηχανών πλοίων Wartsilla κατασκευάζει αποκλειστικά μηχανές dual-fuel, δηλαδή μηχανές οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν και με φυσικό αέριο και με πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια η εταιρία έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και στην κατασκευή μηχανών μικρού μεγέθους για επιβατικά πλοία κυρίως πάντα όμως τεχνολογίας dual-fuel.

Οι μηχανές της Wartsilla χρησιμοποιούν μια μικρή ποσότητα πετρελαίου για να γίνει η ανάφλεξη του καυσίμου στον κύλινδρο των μηχανών που χρησιμοποιούν LNG ως καύσιμο όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Οι μηχανές της Wartsilla έχουν χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του θείου, είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες και μπορεί να γίνει η μετάβαση από πετρέλαιο σε LNG ακόμα και όταν το πλοίο βρίσκεται εν κινήσει. (Caughlan και Larsen, 2010)

Η εταιρία κατασκευής μηχανών πλοίων Wartsilla έχει αναπτύξει 3 μοντέλα μηχανών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν LNG ή πετρέλαιο. Τα μοντέλα των μηχανών αυτών είναι:

- Wärtsilä 20DF με ισχύ 1400-2100 ίππων
- Wärtsilä 34DF με ισχύ 3500-9300 ίππων
- Wärtsilä 50DF με ισχύ 7640-23000 ίππων

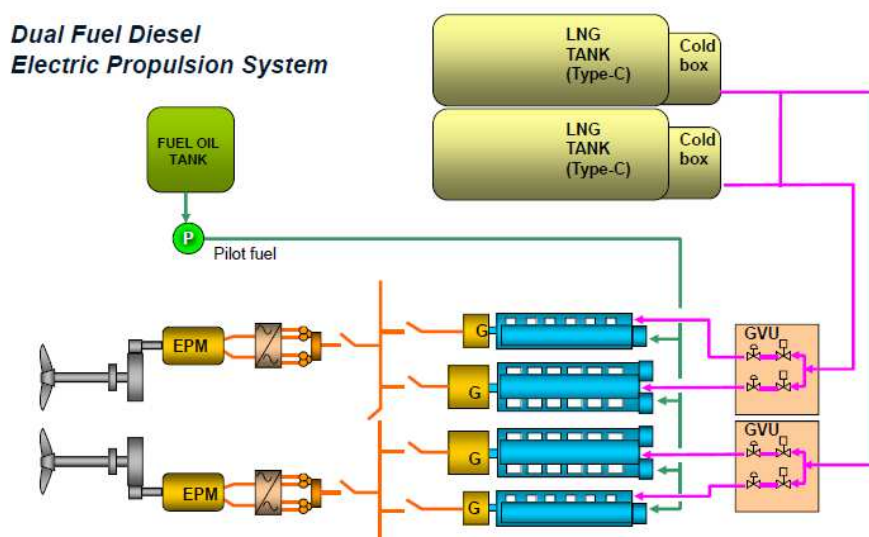
Τα χαρακτηριστικά των μηχανών αυτών σύμφωνα και με τον Levander, 2011 είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλή αποδοτικότητα
- Χαμηλή πίεση του αερίου (4-5 bar)
- 25-30% χαμηλότερες εκπομπές CO₂ εξαιτίας του χαμηλού ποσοστού του άνθρακα ως προς το υδρογόνο
- 85% χαμηλότερες εκπομπές NO_x εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε αέρα του καυσίμου
- Καθαρότερη καύση του καυσίμου
- Ευαισθησία στην ποιότητα του καυσίμου που εξαρτάται από τον αριθμό μεθανίου
- Μηδενικές εκπομπές SO_x καθώς το Θείο απομακρύνεται από το καύσιμο όταν αυτό υγροποιείται
- Δεν εκπέμπεται καπνός που να είναι ορατός
- Δεν υπάρχουν επικαθίσεις κατάλοιπων καυσαερίων
- Δυνατότητα προσαρμογής καυσίμου από φυσικό αέριο σε πετρέλαιο και το αντίστροφο.
- Δυνατότητα προσαρμογής στις ήδη υπάρχουσες μηχανές πλοίων με μετασκευή και μετατροπή αυτών.



Εικόνα 5: Η μηχανή 20DF της εταιρίας Wartsila ,
 Πηγή: Oskar Levander, 2011 FUEL SELECTION FOR FERRIES Concept design,
 MLS INTERFERRY 2011

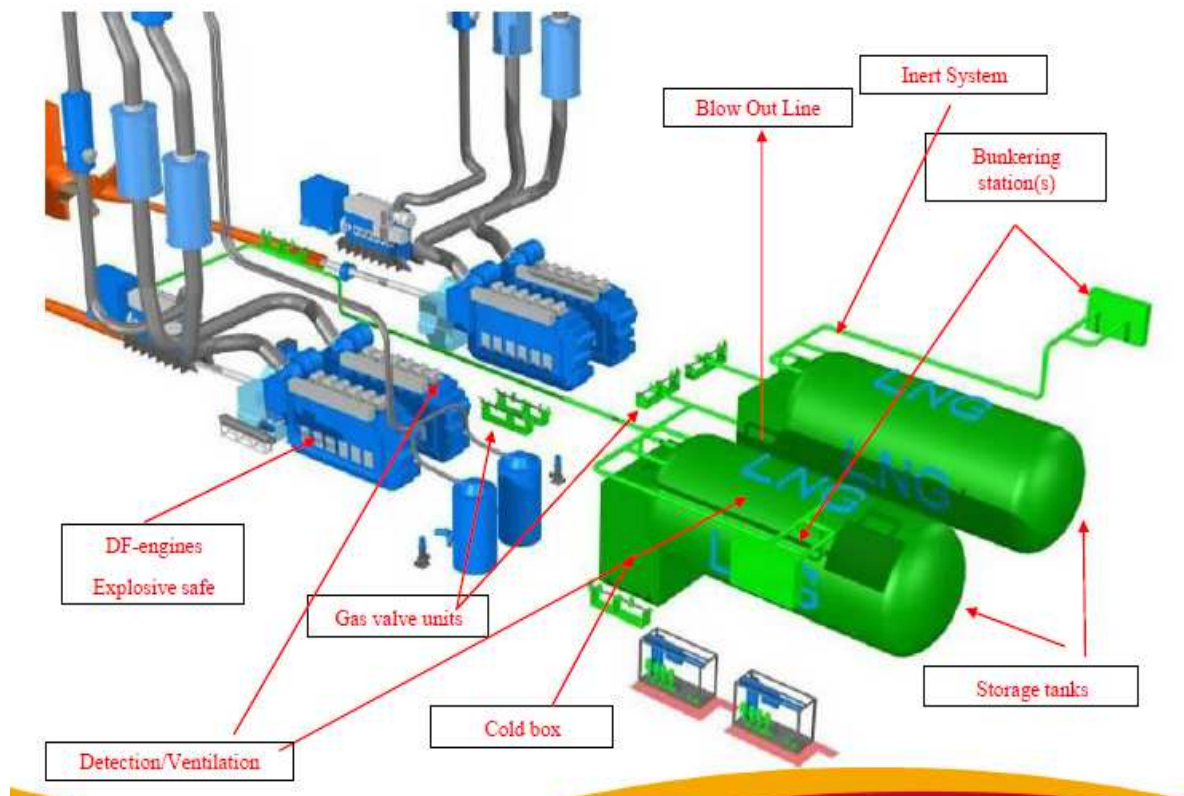
Μια τυπική συνδεσμολογία μηχανής Dual Fuelμας παρουσιάζει ο Unseki (2014) όπου φαίνονται οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNGκαι η συνδεσμολογία τους με τις κύριες μηχανές του πλοίου.



Σχήμα 4: Συνδεσμολογία μηχανής

Πηγή Medium sized LNG ferries for Norway By Ingvald Fardal and Fjord Line AS-
www.fjordline.com

Ο Wursing (2013) μας παρουσιάζει την εγκατάσταση της μηχανής και την τοποθεσία της στο πλοίο Viking Line.



Εικόνα 6: Εγκατάσταση μηχανής στο πλοίο

Πηγή Medium sized LNG ferries for Norway By Ingvald Fardal and Fjord Line AS-
www.fjordline.com

4.3 Τύποι δεξαμενών LNG

Υπάρχουν αρκετοί τύποι δεξαμενών για την αποθήκευση του LNG στα πλοία. Ο Unseki (2013) κατηγοριοποίησε τις δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στα πλοία βάση του σχήματος τους και σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά τους.

Οι δεξαμενές κατηγοριοποιούνται σε:

- 1) Πρισματικές δεξαμενές

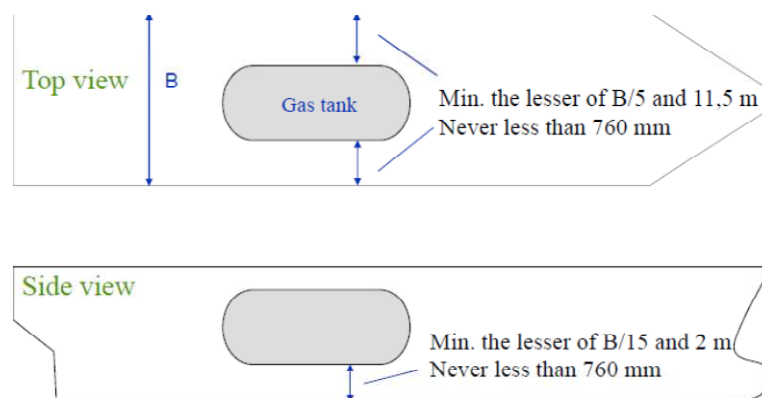
Οι πρισματικές δεξαμενές μπορούν να δεχτούν πίεση μέχρι 0,7 bar, χρειάζονται μεγάλο χώρο για να εγκατασταθούν στο πλοίο και η τροφοδοσία τους με LNG γίνεται από έξω. Έχουν χωρητικότητα πάνω από 5000 m³ αλλά έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής.

2) Σφαιρικές δεξαμενές

Οι σφαιρικές δεξαμενές μπορούν να δεχτούν πίεση μέχρι 1 bar, χρειάζονται μικρό χώρο για να εγκατασταθούν στο πλοίο και το κόστος τους είναι εξίσου υψηλό με αυτό των πρισματικών δεξαμενών. Έχουν χωρητικότητα πάνω από 5000 m³.

3) Κυλινδρικές δεξαμενές

Είναι ίσως οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα πλοία. Μπορούν να δεχτούν μεγάλη πίεση, μέχρι 10 bar αλλά έχουν λιγότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τις σφαιρικές και πρισματικές δεξαμενές αλλά επίσης έχουν και μικρότερη χωρητικότητα αφού αυτές φτάνουν μέχρι τα 1000 m³. Ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάστασή τους είναι μικρότερος σε σχέση με τις πρισματικές και σφαιρικές δεξαμενές ενώ στις εικόνες 5 και 6 βλέπουμε την τοποθέτηση της κυλινδρικής δεξαμενής στο πλοίο Viking Energy.



Εικόνα 7:: Τοποθεσία κυλινδρικών δεξαμενών στο μέσο του πλοίου

Πηγή Torill Grimstad Osberg, October 2011, Gas fuelled engine installations in ships, Background, status, safety, some solutions, Interferry Barcelona



Εικόνα 8: Τοποθέτηση κυλινδρικής δεξαμενής στο πλοίο Viking Energy

Πηγή Experiences from Norway on LNG as ship fuel.pyp Helsinki 18th November 2011 Ulf T Freudendahl

4.4 Τροφοδοσία πλοίων με LNG

Η τροφοδοσία των επιβατικών πλοίων – ferryboats με LNG είναι ένα ζήτημα που απαιτεί πολύ μεγάλη ασφάλεια και σωστούς χειρισμούς. Η διαδικασία αυτή είναι περισσότερο περίπλοκη σε σχέση με την τροφοδοσία των πλοίων με πετρέλαιο και απαιτεί προσαρμογές στην λειτουργία του πλοίου.

Υπάρχουν δυο διαφορετικές μέθοδοι για την τροφοδοσία του πλοίου με LNG:

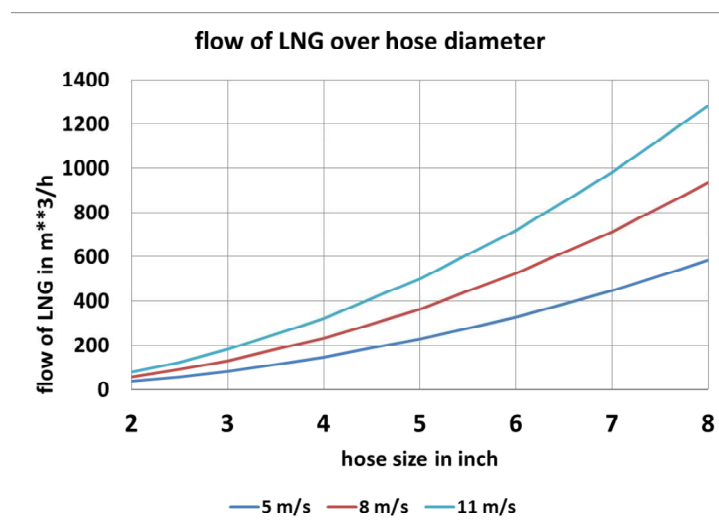
- τροφοδοσία από φορτηγό στο λιμάνι
- τροφοδοσία από δεξαμενές που βρίσκονται στο λιμάνι

Στην Νορβηγία, τα επιβατικά πλοία της εταιρίας TideSjøόταν μεταφέρουν μόνο επιβάτες, τροφοδοτούνται από φορτηγό στο λιμάνι. Τα μέτρα ασφαλείας του προσωπικού, ο εξοπλισμός τους και οι συσκευές παρακολούθησης είναι πιο

εξελιγμένα σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνται κατά την τροφοδοσία πετρελαίου.

4.4.1 Τροφοδοσία με φορτηγό

Η τροφοδοσία ενός επιβατικού πλοίου γίνεται με την βοήθεια ενός σωλήνα ο οποίος προσαρμόζει επάνω στην δεξαμενή του πλοίου. Με την βοήθεια αζώτου καθαρίζεται ο σωλήνας πριν και μετά την τροφοδοσία έτσι ώστε να εξασφαλιστεί πως δεν θα υπάρχουν διαρροές. Στο παρακάτω διάγραμμα του Wursig (2014) μπορούμε να δούμε την ποσότητα του αερίου που μεταφέρεται σε συνάρτηση με την διάμετρο της μάνικας τροφοδοσίας. Το προσωπικό που ασχολείται με την τροφοδοσία του πλοίου με LNG έχει περάσει από ειδική εκπαίδευση για την συγκεκριμένη διαδικασία και φοράνε πάντα ρούχα που αντέχουν στην φωτιά. (Boylston, et.al., 2012) Συνήθως υπάρχουν 3 άτομα που ασχολούνται με την τροφοδοσία του πλοίου με LNG. Ο αρχιμηχανικός που συντονίζει και ελέγχει την διαδικασία και 2 υπάλληλοι που βρίσκονται ο ένας, στην είσοδο της δεξαμενής του πλοίου και ο άλλος στο φορτηγό. Και οι 3 υπάλληλοι μπορούν να μιλάνε μεταξύ τους μέσω ασύρματων συσκευών έτσι ώστε να συντονίζεται καλύτερα η διαδικασία.



Σχήμα 5: Τροφοδοσία LNG σε σχέση με την διάμετρο της μάνικας

Πηγή: Dr.Wursig G, Technology outlook and future development of LNG as ship fuel, Naples, 2014

Μόλις τελειώσει η διαδικασία τροφοδοσίας καθαρίζεται ο σωλήνας και τα στόμια με άζωτο και γίνονται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι ασφαλείας για τυχόν διαρροές.



Εικόνα 9: Τροφοδοσία πλοίου με LNG από φορτηγό

Πηγή Experiences from Norway on LNG as ship fuel.pyp Helsinki 18th November 2011 Ulf T Freudendahl

4.4.2 Τροφοδοσία από δεξαμενές στο λιμάνι

Σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο πρακτικό και λειτουργικό η δημιουργία εγκαταστάσεων με μεγάλες δεξαμενές στο λιμάνι έτσι ώστε να τροφοδοτούνται με LNG από εκεί τα πλοία. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει μεγαλύτερες ποσότητες LNG να μεταφέρονται στα πλοία σε συντομότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την τροφοδοσία από φορτηγό. (Freudendahl, 2011) Επιπροσθέτως η διαδικασία της τροφοδοσίας μέσω δεξαμενών από το λιμάνι είναι πιο απλή σε σχέση με αυτήν της τροφοδοσίας μέσω φορτηγού και απασχολούνται λιγότερα άτομα με την τροφοδοσία.

Στην Νορβηγία η εταιρία παροχής αερίου Gasnor έχει δημιουργήσει τέτοιες εγκαταστάσεις με μεγάλες δεξαμενές όπου μπορούν τα επιβατικά πλοία να τροφοδοτηθούν με LNG. Οι δεξαμενές βρίσκονται μερικές εκατοντάδες μέτρα από την προβλήτα και υπάρχουν θέσεις για την ανεξάρτητη τροφοδοσία περισσότερων επιβατικών πλοίων, την ίδια στιγμή.



Εικόνα 10: Δεξαμενές LNG σε εγκατάσταση της εταιρίας Gasnor

Πηγή Experiences from Norway on LNG as ship fuel.pyp Helsinki 18th November 2011 Ulf T Freudendahl

Υπάρχουν υπόγειοι σωλήνες που μεταφέρουν το φυσικό αέριο από τις δεξαμενές σε μια μάνικα η οποία βρίσκεται στην προβλήτα όπου θα τροφοδοτηθεί το πλοίο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια τέτοια εγκατάσταση σε προβλήτα. Η σύγχρονη λειτουργία της εγκατάστασης είναι απαραίτητη για τον σωστό προγραμματισμό των τροφοδοτήσεων των πλοίων με LNG καθώς ο κύκλος τροφοδοσίας των πλοίων λαμβάνει χώρα κάθε 3 ημέρες. (Boynston,et.all,2012)



Εικόνα 11: Μάνικα σε προβλήτα μεταφοράς LNG από δεξαμενή

Πηγή Experiences from Norway on LNG as ship fuel.pyp Helsinki 18th November 2011 Ulf T Freudendahl

4.4.3 Κανόνες ασφαλείας κατά την τροφοδοσία

Το φυσικό αέριο σε μορφή LNGθα πρέπει να διατηρείται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες όπως προαναφέρθηκε. Για αυτό τον λόγο οι δεξαμενές των πλοίων θα πρέπει να μην αδειάζουν ποτέ τελείως αλλά να υπάρχει λίγο αέριο LNGστον πυθμένα της δεξαμενής. Αυτό συμβαίνει επειδή εάν μια δεξαμενή αδειάσει τελείως είτε για λόγους συντήρησης είτε για άλλους λόγους, τότε αυτή θα χάσει την θερμοκρασία της και θα αρχίσει να θερμαίνεται. Όταν θα ξαναγίνει τροφοδοσία με LNGθα χρειαστεί να περάσει ένα χρονικό διάστημα, μερικών ημερών συνήθως, έτσι ώστε η δεξαμενή να έχει την σωστή χαμηλή θερμοκρασία. Το άδειασμα της δεξαμενής έχει επιπτώσεις επίσης και στο μέγεθος της δεξαμενής λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών εξαιτίας του φαινομένου της συστολής και της διαστολής. (Wursig,2014)

4.5 Η χρήση του LNG στην RO-PAX ναυτιλία στην Νορβηγία

Η Νορβηγία έχει πολύ μεγάλο μήκος ακτογραμμών και πολλά νησιά τα οποία όμως βρίσκονται μέσα στα φιόρδ. Το γεωλογικό ανάγλυφο της χώρας κάνει απαγορευτική και πανάκριβη την κατασκευή δρόμων και γεφυρών ενώ σε πολλές περιπτώσεις είναι απλά αδύνατο να κατασκευαστούν τέτοια έργα προκειμένου να ενωθούν τα νησιά με την ενδοχώρα.

Η μοναδική οδός για την μεταφορά προϊόντων και ανθρώπων από και προς τα νησιά ήταν και παραμένουν τα επιβατικά – ferryboats. Μέχρι πρόσφατα όλα τα επιβατικά πλοία στην Νορβηγία χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμο το πετρέλαιο. Αυτό όμως αρχίζει σιγά και σιγά και αλλάζει και η χρήση του LNGως καύσιμο στην RO-PAXναυτιλία κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος. (Boylston,et.all,2012)

4.5.1 Ιστορική Αναδρομή

Η Νορβηγία είναι η ηγέτιδα δύναμη στην κατασκευή και χρήση επιβατικών πλοίων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LNGκαι σήμερα είναι η πρώτη χώρα που έχει επιβατικά – ferryboatπου κινούνται με LNG. Η Νορβηγική κυβέρνηση αποφάσισε το 1995 να χρηματοδοτήσει την έρευνα για την μελέτη και την κατασκευή ενός επιβατικού – ferryboatτο οποίο θα χρησιμοποιεί το LNGως καύσιμο. Επειδή δεν υπήρχαν ούτε κανονισμοί, ούτε οδηγίες για ένα τέτοιο έργο, γράφτηκαν κάποιες πρόχειρες οδηγίες και θεσπίστηκαν κάποιοι πρόχειροι κανονισμοί που αποτέλεσαν τον προπομπό για τα επόμενα επιβατικά πλοία που θα κινούνταν με LNG. Οι κανονισμοί αυτοί γράφτηκαν από το Νορβηγικό κράτος σε συνεργασία με την εταιρία MRFη οποία μετά μετεξελίχτηκε σε Fjord 1 και την εταιρία Marintek. (Stokholm and Roldsoy,2002)

Οι οδηγίες και οι κανονισμοί που αναπτύχθηκαν είχαν να κάνουν με:

- Μείωση του κινδύνου της έκρηξης στην περιοχή του πλοίου όπου θα αποθηκεύεται το LNG
- Την μείωση του όγκου των χώρων αποθήκευσης και μεταφοράς του LNG
- Διαχωρισμό του χώρου των μηχανών σε 2 χώρους με διαφορετικούς σωλήνες μεταφοράς του καυσίμου
- Τοποθέτηση διπλών σωλήνων για την μεταφορά του καυσίμου στις μηχανές
- Εξάλειψη του κινδύνου ανθρωπίνων απωλειών σε περίπτωση έκρηξης και δυνατότητα του πλοίου να προσεγγίσει το κοντινότερο λιμάνι σε περίπτωση έκρηξης
- Δυνατότητα εντοπισμού διαρροών του φυσικού αερίου σε όλα τα μέρη του πλοίου από όπου περνάνε οι σωλήνες μεταφοράς.(Boylston,et.all,2012)

Η κεντρική ιδέα ήταν η μεταφορά ενέργειας από τις κύριες μηχανές στις προπέλες μόνο που για λόγους ασφαλείας η κύρια μηχανή που θα λειτουργούσε με LNG ήταν τοποθετημένη στο επάνω μέρος του πλοίου και όχι στα κατώτερα μέρη αυτού. Το πρώτο πλοίο που κατασκευάστηκε, το Glutra, όπως θα δούμε και στην συνέχεια είχε την μηχανή του στο επάνω μέρος. Αυτό στην πορεία άλλαξε και οι μηχανές τοποθετούνταν στο κάτω μέρος του πλοίου.

Η ανακάλυψη μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου στις δυτικές ακτές της χώρας το 1997 επέτρεψε την χρήση του LNG στην RO-PAX ναυτιλία σε ένα χαμηλό κόστος κάνοντας την λειτουργία των επιβατικών πλοίων που χρησιμοποιούν το LNG οικονομικά βιώσιμη.

Το 1997 η Νορβηγική κυβέρνηση αποφάσισε να κατασκευάσει 2 πλοία που κινούνται με φυσικό αέριο, το ένα με LNG και το άλλο με CNG. Σύμφωνα με τον Bergheim (2010) το project με την κατασκευή του πλοίου που θα χρησιμοποιούσε CNG δεν έγινε ποτέ.

Το πρώτο επιβατικό πλοίο στην Νορβηγία που κινούνταν με LNG είναι το Glutra το οποίο θα παρουσιάσουμε εκτενώς σε επόμενη παράγραφο. Το Glutra κατασκευάστηκε

το 2000 και μπορεί να μεταφέρει 100 αυτοκίνητα και 300 επιβάτες. Το κόστος κατασκευής ήταν 30% περισσότερο σε σχέση με την κατασκευή ενός πλοίου που θα κινούταν με πετρέλαιο αλλά θεωρήθηκε αποδεκτό επειδή από την κατασκευή αυτή θα αποκτιόνταν τεχνογνωσία η οποία θα οδηγούσε σε μείωση του κόστους κατασκευής σε επόμενα πλοία που θα κατασκευάζονταν για να χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο. (Einang και Haavik, 2000)

Το 2011 η εταιρία Fjord 1 έχει 12 επιβατικά πλοία τα οποία κινούνται με LNG και ακόμα περισσότερα τα οποία είναι υπό κατασκευή στα ναυπηγεία. Το Gluttrato οποίο ήταν το πρώτο που κατασκευάστηκε, το 2010 ανακαινίστηκε και πλέον μπορεί να μεταφέρει 182 αυτοκίνητα και 350 επιβάτες.

4.5.2 Ναυτιλιακές εταιρίες με πλοία LNG στην Νορβηγία

Fjord 1 - MRF

Η εταιρία Fjord 1 δημιουργήθηκε το 2001 μετά την συγχώνευση 2 μεγάλων ναυτιλιακών εταιριών της Νορβηγίας. Η εταιρία απορρόφησε την εταιρία Møreog Romsdal Fylkesbåtar γνωστή ως MRF που κατασκεύασε το πρώτο επιβατικό-ferryboat που κινούνταν με LNG, το Gluttrato 2000. Το συγκεκριμένο πλοίο θα το παρουσιάσουμε σε επόμενη παράγραφο. Η εταιρία εκτός από επιβατικά – ferryboats διαχειρίζεται εμπορικές μεταφορές καθώς και λεωφορεία που πραγματοποιούν αστικές μεταφορές.

Η εταιρία διαθέτει έναν στόλο αποτελούμενο από 60 πλοία εκ των οποίων τα 12 κινούνται με LNG και είναι η μεγαλύτερη ναυτιλιακή εταιρία της Νορβηγίας στα εσωτερικά δρομολόγια. Η εταιρία αυτή όπως και άλλες ναυτιλιακές εταιρίες στην Νορβηγία πραγματοποιούν επιβατικές μεταφορές στις ακτές της Νορβηγίας μετά από συμφωνία και σύμβαση που έχει υπογραφεί μεταξύ της εταιρίας και του Νορβηγικού κράτους.

TideSjo

Η ναυτιλιακή εταιρία TideSjo είναι μια από τις παλαιότερες ναυτιλιακές εταιρίες της Νορβηγίας με ιστορία 160 χρόνων. Η εταιρία αυτή την στιγμή λειτουργεί και διαχειρίζεται 3 επιβατικά πλοία – ferryboats γύρω από την πρωτεύουσα της χώρας, το Όσλο τα οποία μπορούν να μεταφέρουν μέχρι και 600 επιβάτες το καθένα. Η δημοτική αρχή του Όσλο, έθεσε σαν όρο στο συμβόλαιο της με την TideSjo την λειτουργία επιβατικών πλοίων τα οποία θα κινούνταν με LNG. (Boylston, et. all, 2012)

4.5.3 Ευρήματα από την κατασκευή επιβατικών πλοίων που χρησιμοποιούν LNG στην Νορβηγία

Οι Νορβηγικές ναυτιλιακές εταιρίες που κατασκευάζουν και διαχειρίζονται τα επιβατικά πλοία τα οποία κινούνται με LNG, η Fjord 1, η TideSjo, και ο Νορβηγικός προμηθευτής LNG η Gasnor, κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα σε ότι αφορά την κατασκευή και λειτουργία επιβατικών πλοίων με την χρήση του LNG. (Boylston, et. all, 2012)

Κόστος Κατασκευής: Το κόστος κατασκευής ενός επιβατικού πλοίου που κινείται με LNG είναι ακριβότερο κατά 15-20% σε σχέση με την κατασκευή ενός πλοίου που κινείται με πετρέλαιο. Η Νορβηγική κυβέρνηση όμως επιδοτεί με το 80% του κόστους κατασκευής, την κατασκευή ενός πλοίου που μειώνει τις εκπομπές του NO_x

Φόρος για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (carbontaxcredits): Εξαιτίας των μειωμένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία που κινούνται με LNG, οι εταιρίες πληρώνουν αρκετά μειωμένους φόρους για τις εκπομπές που προκαλούν με αποτέλεσμα να μειώνεται το λειτουργικό τους κόστος. Σύμφωνα με τον Boylston, et. all (2012) η σύγκριση των εκπομπών μεταξύ ενός πλοίου που κινείται με LNG και ενός πλοίου που κινείται με πετρέλαιο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Fuel Type	Sulfur Oxide	Nitrous Oxide	Particulate Matter	Carbon Dioxide
Marine ultra low sulfur diesel oil, 0.1%	0.4	8-11	1.5	580-630
LNG	0	2	0	430-482

Πίνακας 6: Σύγκριση εκπομπών αερίων μεταξύ πλοίων που κινούνται με LNG και πετρέλαιο

Πηγή Boylston J,-Cedar River Group, Evaluating the use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries – Final Report, Washington,2012

Από τον πίνακα 1 φαίνεται πως τα πλοία που κινούνται με LNG έχουν 19% μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, 91% λιγότερες εκπομπές NO_x και μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων

Συντήρηση του πλοίου: Το κόστος της συντήρησης ενός πλοίου που κινείται με LNG είναι περίπου στα ίδια επίπεδα με αυτά ενός πλοίου που κινείται με πετρέλαιο.

Εκπαίδευση πληρώματος: Τα πληρώματα των εταιριών Fjord 1 και TideSjo περνάνε από εκπαίδευση σχετικά με τους κινδύνους που κρύβει η χρήση του LNG, την φιλοσοφία σχετικά με το επείγον κλείσιμο των μηχανών σε περίπτωση κάποιου συμβάντος (emergency shutdown philosophy) καθώς επίσης τους γίνεται και επίδειξη των πιθανών εκρήξεων που μπορεί να συμβούν. Τα πληρώματα της TideSjo περνάνε μια διήμερη εκπαίδευση σχετικά με τις διαδικασίες του ανεφοδιασμού του πλοίου με LNG έτσι ώστε αυτοί να είναι εξοικειωμένοι με αυτές τις διαδικασίες. Από την άποψη του αριθμού του πληρώματος δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση σε σχέση με την λειτουργία ενός πλοίου που κινείται με πετρέλαιο.

Κόστος LNG: Το κόστος του LNG καυσίμου είναι οριακά ακριβότερο από το πετρέλαιο και το ενεργειακό κόστος των πλοίων που κινούνται με LNG είναι οριακά παραπάνω από αυτό των πλοίων που κινούνται με πετρέλαιο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως στην Νορβηγία το κόστος του φυσικού αερίου είναι συνδεδεμένο με το κόστος του πετρελαίου και για αυτό όταν ακριβαίνει το πετρέλαιο, ακριβαίνει και το φυσικό αέριο και το αντίστροφο. Αυτός ο κανόνας όμως δεν βρίσκει εφαρμογή στα περισσότερα κράτη.

Προμήθεια του LNG: Τα πλοία των εταιριών Fjord 1 και TideSjo προμηθεύονται LNG είτε από τους παράκτιους τερματικούς σταθμούς είτε από τον στόλο της εταιρίας Gasnor ο οποίος αποτελείται από 16 πλοία μεταφοράς και τροφοδοσίας LNG.



Εικόνα 12: Πλοίο μεταφοράς LNG της Gasnor

Πηγή Experiences from Norway on LNG as ship fuel.pyp Helsinki 18th November 2011 Ulf T Freudendahl

Παράλληλα υπάρχουν και μόνιμες εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού με δεξαμενές οι οποίες μπορούν να ρίξουν το κόστος της μεταφοράς και ανεφοδιασμού ενός πλοίου. Το μειονέκτημα της κατασκευής αυτών των εγκαταστάσεων είναι πως κοστίζει ακριβά η κατασκευή τους και προκειμένου να γίνει απόσβεση θα πρέπει να γίνεται ανεφοδιασμός μεγάλων ποσοτήτων LNG.

Συμβόλαια στην Νορβηγική Αγορά LNG: Η εταιρία Gasnor υπογράφει συνήθως 10ετή συμβόλαια με τις ναυτιλιακές εταιρίες στις οποίες εγγυάται μια σταθερή τιμή του φυσικού αερίου προσαρμοσμένη στις ανάγκες των καταναλωτών.

Σχεδιασμός των πλοίων: Ο σχεδιασμός των πλοίων των εταιριών Fjord 1 και TideSjo έχει πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε διαθέτουν το σύστημα του

επείγοντος κλεισίματος της μηχανής (Emergency Shutdown System) ενώ οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNG βρίσκονται στα κατώτατα μέρη του πλοίου. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε πως οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNG χρειάζονται μεγαλύτερο χώρο μέσα στο πλοίο σε σχέση με της μηχανές πετρελαίου. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μείωση των διαθέσιμων θέσεων των αυτοκινήτων που μπορεί να μεταφέρει ένα πλοίο.

Η διάρκεια ζωής ενός επιβατικού πλοίου που κινείται με φυσικό αέριο είναι 30 χρόνια και είναι η μισή διάρκεια ζωής σε σχέση με τα 60 χρόνια που έχουν τα εμπορικά πλοία. Αυτό οδηγεί σε μετασκευές και ανακαινίσεις των υπάρχοντων πλοίων προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους και να είναι οικονομικά αποδοτική η επένδυση.

4.6 Παραδείγματα Εφαρμογής LNG σε Ro-ραχπλοία

4.6.1 Viking Grace

Το πλοίο Viking Grace της Φινλανδικής εταιρίας Viking Line είναι το μεγαλύτερο επιβατικό πλοίο που χρησιμοποιεί το LNG ως καύσιμο. Κατασκευάστηκε στα ναυπηγεία της πόλης Turku στην Φινλανδία και παραδόθηκε στα τέλη του 2013. Πραγματοποιεί δρομολόγια μεταξύ Σουηδίας – Φινλανδίας και Εσθονίας. Το Viking Grace είναι το μεγαλύτερο πλοίο αυτής της κατηγορίας με συνολικό μήκος 214 μέτρα μπορεί να μεταφέρει 2800 επιβάτες έχει 200 άτομα σαν πλήρωμα και διαθέτει ράμπες μήκους 500 μέτρων για αυτοκίνητα. Το πλοίο μπορεί να πιάσει ταχύτητα 22 κόμβων. Χρησιμοποιούνται 4 μηχανές της εταιρίας Wartsilla τύπου 8L50DF.



Εικόνα 13: Το μεγαλύτερο πλοίο που κινείται με LNG, το Viking Grace

Πηγή Levander O., Fuel selection for ferries, Interferry, Barcelona, 2011

Το πλοίο διαθέτει μια κυλινδρική δεξαμενή αποθήκευσης του LNG στην οποία υπάρχουν βαλβίδες για τον ανεφοδιασμό του πλοίου. Διαθέτει όλα τα συστήματα ασφάλειας σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις οδηγίες που έχουν εκδοθεί και διαθέτει σύστημα ανίχνευσης διαρροών σε όλο το μήκος των σωλήνων μεταφοράς του LNG.

Στην εικόνα 14 φαίνεται η τοποθέτηση των δεξαμενών στο πλοίο όπου αυτές βρίσκονται στο πίσω μέρος του πλοίου. (Levander, 2011)



Εικόνα 14: Τοποθεσία των δεξαμενών στο πλοίο Viking Grace

Πηγή Levander O., Fuel selection for ferries, Interferry, Barcelona, 2011

Μηχανή LNG του πλοίου Viking Grace

Το επιβατικό πλοίο Viking Grace χρησιμοποιεί τέσσερις μηχανές της εταιρίας Wartsilla 8L50DF. Όπως έχει προαναφερθεί η εταιρία Wartsilla κατασκευάζει μηχανές αποκλειστικά dual-fuel που σημαίνει πως μπορούν να λειτουργούν είτε με πετρέλαιο είτε με LNG. Η εναλλαγή από το ένα καύσιμο στο άλλο μπορεί να γίνει ομαλά και κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής ενώ ο σχεδιασμός είναι τέτοιος που μπορεί να δώσει την ίδια απόδοση ανεξαρτήτως του τι καυσίμου χρησιμοποιείται.

Η αρχή λειτουργίας της μηχανής είναι η καύση του ενός όχι πλούσιου μίγματος που επιτρέπει μεγάλο λόγο συμπίεσης με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας της μηχανής σε συνδυασμό με την μείωση των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αυτή, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται και οι εκπομπές NO_x. Ο έλεγχος της μηχανής πραγματοποιείται ηλεκτρονικά καθώς επίσης και η έγχυση του καυσίμου ελέγχεται ηλεκτρονικά.

Ο κυριότερος λόγος που η μηχανή 8L50DF χρησιμοποιείται με επιτυχία και είναι από τις δημοφιλέστερες μηχανές που χρησιμοποιούνται στα πλοία, είναι η ανώτερη απόδοση πρόωσης που προσφέρει στο πλοίο. Επίσης με την χρήση του LNG η μηχανή είναι περιβαλλοντικά φιλική καθώς με την χρήση καυσίμου LNG η μηχανή εκπέμπει 85% λιγότερο NO_x και 25% λιγότερο CO₂ σε σύγκριση με μια συμβατική μηχανή που λειτουργεί με πετρέλαιο. Τα ποσοστά αυτά είναι ακόμα χαμηλότερη σε σύγκριση με τα ποσοστά που θέτει ο IMO σε σχέση με τις εκπομπές καυσαερίων από τα πλοία. Επιπροσθέτως, όπως είδαμε και στον πίνακα 1 σε προηγούμενη παράγραφο οι εκπομπές των οξειδίων του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μηδενικές.

Η μηχανή 8L50DF παρουσιάζεται στην εικόνα 13. Από την εταιρία Wartsilla συλλέξαμε και παρουσιάζουμε στον πίνακα 2 τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής. (<http://www.wartsila.com/en/references/viking-grace>)



Εικόνα 15: Η μηχανή της Wartsilla 8L50DF που χρησιμοποιείται στο πλοίο Viking Grase

Πηγή :Dual fuel engine development and design, Mika Ojutkangas,Wärtsilä Ship Power 2010

\

Cylinder bore	500 mm	Fuel specification:	
Piston stroke	580 mm	Fuel oil	700 cSt/50oC
Cylinder output	950, 975 kW/cyl		7200 sR1/100 F
Speed	500, 514 rpm	ISO 8217, ISO-F-DMX, DMA & DMB	
Mean effective pressure	20.0 bar	Natural gas	Methane number: 80
Piston speed	9.7, 9.9 m/s	LHV: min.28 MJ/NM ³ , 5.5 bar, BSEC 7110 kJ/kWh	

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής 8L50DF

Πηγή :Dual fuel engine development and design, Mika Ojutkangas,Wärtsilä Ship Power 2010

4.6.2 Glutra

Το επιβατικό – ferry boat Glutra ήταν το πρώτο που κατασκευάστηκε, το 2000, για να χρησιμοποιεί το LNGως καύσιμο. Ανήκει στην εταιρία MRFκαι αργότερα με την

συγχώνευση των εταιριών MRF και Fjord1 πέρασε στην κατοχή της ενοποιημένης εταιρίας.

Έχει συνολικό μήκος 95 μέτρα και αρχικά μετέφερε 300 επιβάτες και 100 αυτοκίνητα ενώ μετά από μετασκευές που πραγματοποιήθηκαν μπορεί να μεταφέρει σήμερα 350 επιβάτες και 180 αυτοκίνητα. Είναι σχεδιασμένο να κινείται με ταχύτητα 12 κόμβων. Χάρη στην διαμόρφωση που έχει όπου η πλώρη και η πρύμνη είναι ακριβώς ίδιες, μπορεί να αποβιβάσει και να επιβιβάσει επιβάτες και αυτοκίνητα μέσα σε 5 λεπτά χωρίς να χρειάζεται να γίνουν μανούβρες πρυμνοδέτησης. Στην εικόνα 14 φαίνεται το πρώτο επιβατικό – ferryboat που κινείται με LNG, το Glutra. (Einang and Haavik, 2002)



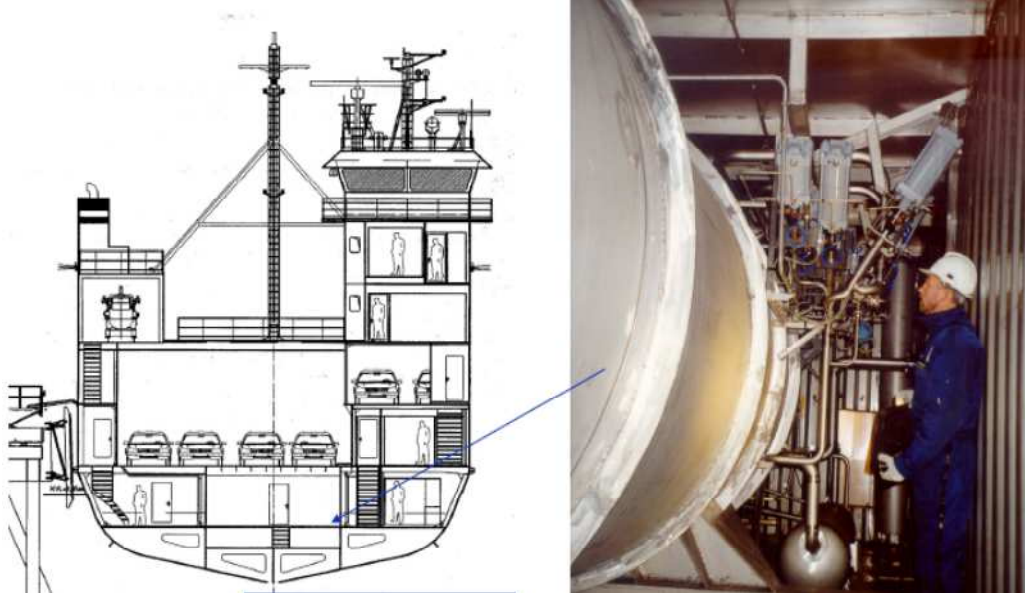
Εικόνα 16: Το επιβατικό – ferry boat Glutra

Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stokholm , Statoil Research Center, Norway

Δεξαμενές καυσίμου και μηχανή πλοίου Glutra

Οι δεξαμενές καυσίμου LNG έχουν χωρητικότητα $27,3\text{m}^3$ και επιτρέπεται να τροφοδοτηθούν με LNG στο 85% της χωρητικότητάς τους. Οι δεξαμενές είναι

τοποθετημένες στο κατώτερο μέρος του πλοίου απομονωμένες με διπλά τοιχώματα και είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτα φύλλα χάλυβα. (Freudendahl,2011) Στην εικόνα 15 φαίνεται η τοποθεσία που βρίσκονται οι δεξαμενές καυσίμου.

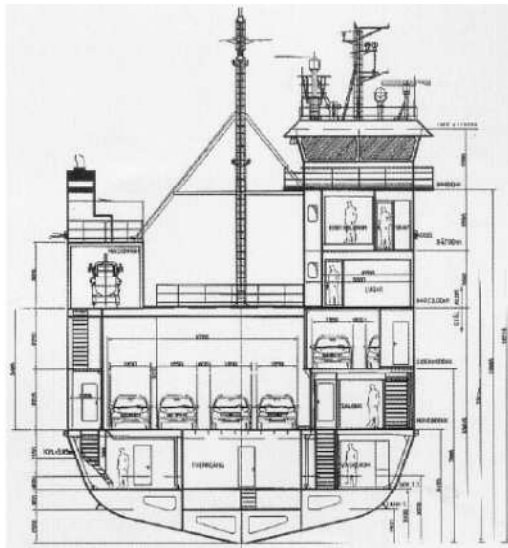


Εικόνα 17: Τοποθεσία δεξαμενών καυσίμου στο Glutra

Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stokholm ,Statoil Research Center, Norway

Το αέριο LNG πριν τροφοδοτήσει τις μηχανές του πλοίου οι οποίες βρίσκονται στο ανώτερο μέρος του πλοίου σε διαφορετικούς χώρους η μια από την άλλη, αεριοποιείται.

Για λόγους ασφαλείας οι μηχανές του πλοίου είναι τοποθετημένες αρκετά απομακρυσμένες από τις δεξαμενές του LNG. Στην εικόνα 16 φαίνονται οι μηχανές του πλοίου οι οποίες βρίσκονται στο πάνω αριστερά μέρος του πλοίου ενώ στην εικόνα 17 φαίνονται 2 από τις 4 μηχανές του πλοίου στο επάνω μέρος του.



Εικόνα 18: Επάνω αριστερά διακρίνονται οι μηχανές του πλοίου Glutra

Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stokholm ,Statoil Research Center, Norway



Εικόνα 19: 2 από τις 4 μηχανές του πλοίου Glutra

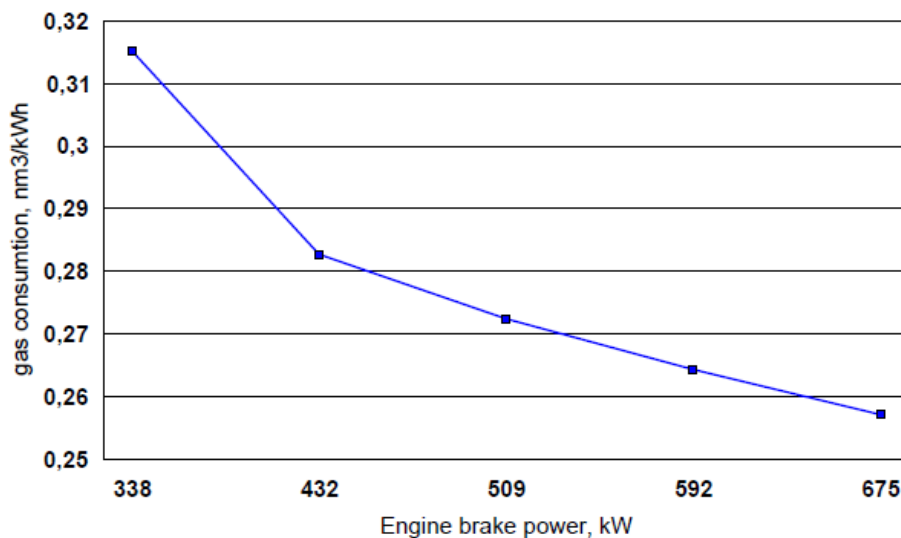
Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stokholm ,Statoil Research Center, Norway

Το σύστημα ψύξης της μηχανής παρέχει την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται έτσι ώστε να αεριοποιηθεί το LNG, το οποίο σύστημα παρέχει ενέργεια για την θέρμανση του σαλονιού όπου βρίσκονται οι επιβάτες.

Όλο το σύστημα των σωλήνων μεταφοράς του αερίου καθώς και οι εγκαταστάσεις του αερίου παρακολουθούνται από έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να μπλοκάρουν και να απομονώνουν το αέριο μεταξύ των βαλβίδων διακοπής όταν αυτό ξεπερνά κάποια όρια. Επίσης οι αισθητήρες που βρίσκονται μέσα στους χώρους των μηχανών είναι ρυθμισμένοι έτσι ώστε να προειδοποιούν όταν το καύσιμο-μίγμα περιέχει παραπάνω από 20% αέρα. Όταν 2 από τα 4 συστήματα ειδοποιούν ταυτόχρονα με το ένα από αυτά να περιέχει αέρα σε ποσοστό πάνω από 60% τότε ενεργοποιείται το σύστημα που κλείνει τις μηχανές.

Οι μηχανές του πλοίου είναι τέσσερις μηχανές της εταιρίας Mitsubishi όπου η κάθε μια παράγει 675 kW στις 1500 στροφές και παράγουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για όλα τα συστήματα του πλοίου καθώς και για την πρόωση του πλοίου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την απόδοση της μηχανής όπου φαίνεται πως όσο μεγαλύτερη απόδοση έχει η μηχανή τόσο λιγότερη είναι η κατανάλωση.



Σχήμα 6: Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την απόδοση της μηχανής στο Glutra

Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stokholm ,Statoil Research Center, Norway

Οι μηχανές λειτουργούν με τουρμπίνες και υπάρχει ένας προθάλαμος καύσης ο οποίος πυροδοτεί και αναφλέγει το μίγμα του αερίου με τον αέρα. Το 10% του αερίου που τροφοδοτείται στις μηχανές του πλοίου αναφλέγεται στον προθάλαμο καύσης. Αυτό, παρέχει υψηλή ενέργεια ανάφλεξης και ακόμη καλύτερη καύση του μίγματος. Σύμφωνα με τους Stockholm και Roaldsoy (2002) αυτό το σύστημα δίνει 90% λιγότερες εκπομπές NO_x σε σχέση με τις μηχανές πετρελαίου ενώ μετρήσεις που έγιναν πάνω στο Glutra κατά την διάρκεια του ταξιδιού του έδειξαν πως η μείωση στις εκπομπές NO_x ήταν της τάξης του 80%.

Ανεφοδιασμός με LNG

Ο ανεφοδιασμός του πλοίου πραγματοποιείται κάθε 5-6 ημέρες και διαρκεί 2 ώρες προκειμένου το πλοίο να τροφοδοτηθεί με 47 m³LNG. Ο ανεφοδιασμός γίνεται στο λιμάνι από φορτηγό που μεταφέρει LNG της εταιρίας Statoil. Το LNG μεταφέρεται από το φορτηγό στο πλοίο μέσω μιας μάνικας και μπορεί να διοχετευτεί είτε κατευθείαν στον πυθμένα της δεξαμενής είτε να διοχετευτεί από το πάνω μέρος της δεξαμενής. Περισσότερα για τον ανεφοδιασμό με φορτηγό αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Στην εικόνα 18 φαίνεται ο ανεφοδιασμός του Glutra από φορτηγό στο λιμάνι.



Εικόνα 20: Ανεφοδιασμός του επιβατικού – ferry boat Glutra στο λιμάνι

Πηγή : LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY. - THE WORLD FIRST FERRY TO RUN ON LNG, P. M. Stockholm ,Statoil Research Center, Norway

5. Συμπεράσματα

Η χρήση του LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία έχει κάποια πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Ο Robinson (2011) έκανε μια σύνοψη των πλεονεκτημάτων αλλά και των μειονεκτημάτων για την χρήση του LNG ως καύσιμου στην ναυτιλία και είναι τα ακόλουθα:

Πλεονεκτήματα:

- Είναι συμβατό με την νομοθεσία και την οδηγία Tier III η οποία θα εφαρμοστεί το 2016 και οδηγεί σε λιγότερες εκπομπές αερίων SO_x και NO_x
- Εκπέμπει 20% περίπου λιγότερο CO₂ για την ίδια ισχύ σε σχέση με άλλα ναυτιλιακά καύσιμα
- Έχει τις ελάχιστες δυνατές επιπτώσεις στον σχεδιασμό των πλοίων η τοποθέτηση των μηχανών που λειτουργούν με LNG
- Δεν παράγονται κατάλοιπα καυσαερίων και ο κινητήρας παραμένει πιο καθαρός
- Δεν χρειάζονται περαιτέρω αναλώσιμα και ανταλλακτικά για τις μηχανές
- Η τιμή του LNG στην αγορά είναι χαμηλότερη και ανταγωνιστικότερη σε σχέση με το ναυτιλιακό πετρέλαιο

Όπως όμως προαναφέρθηκε η χρήση του LNG στην RO-PAX ναυτιλία έχει και κάποια μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά σύμφωνα με τον Robinson (2011)

Μειονεκτήματα:

- Δεν υπάρχει ακόμα μεγάλο δίκτυο τερματικών σταθμών και δίκτυο διανομής του LNG
- Το αέριο θα πρέπει να αποθηκεύεται σε υγρή κατάσταση στους (-162°C)
- Μειώνεται η αυτονομία του πλοίου όταν αυτό κινείται με LNG

- Η νομοθεσία και οι κανόνες που διέπουν την χρήση του LNGστην επιβατική ναυτιλία είναι ακόμα υπό διαμόρφωση.
- Η μετασκευή των υπάρχοντων μηχανών σε μηχανές που θα μπορούν να χρησιμοποιούν LNGείναι αρκετά δύσκολη και στην ουσία απαιτείται να μπει καινούρια μηχανή στο πλοίο. Αυτό αυξάνει το αρχικό κόστος εγκατάστασης

Γενικότερα θα μπορούσα να πούμε πως η χρήση LNGως καύσιμο στην RO-PAXναυτιλία θα συνίσταται σαν η καλύτερη μακροπρόθεσμη λύση τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά σε καινούρια πλοία που κατασκευάζονται τώρα και όχι τόσο στα ήδη υπάρχοντα πλοία καθώς η αντικατάσταση των μηχανών είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και ακριβή λύση. Το δίκτυο διανομής αρχίζει σιγά σιγά και αναπτύσσεται σε ολόκληρη την Ευρώπη ενώ στις Σκανδιναβικές χώρες, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1 είναι ακόμα πιο πυκνό.

Η κατασκευή του πρώτου επιβατικού πλοίου – ferryboatπου κινείται LNG, του Glutra,το 2000 ήταν μια δύσκολη περίπτωση όσο και πρόκληση ταυτόχρονα καθώς δεν υπήρχαν οδηγίες και κανονισμοί που θα έπρεπε να ακολουθηθούν αλλά έπρεπε να καθοριστούν εκείνη την στιγμή. Η κατασκευή των επιβατικών πλοίων που κινούνται με LNGείναι κατά 10% ακριβότερη από αυτή της κατασκευής των πλοίων που κινούνται με πετρέλαιο αλλά η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και διοξειδίου του αζώτου είναι υποχρεωτική στην Νορβηγία ενώ θα είναι και υποχρεωτική και παγκοσμίως από την 1/1/2016 με την συνθήκη TierIII.

Βιβλιογραφία

- Bengtsson, S., Fridell, E., & Andersson, K. (2012). Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping. *Energy Policy*, 44, 451-463.
- BP Safety Group, & IChemE's Loss Prevention Panel. (2007). *LNG Fire Protection and Emergency Response* (2ηεκδ.). The Institution of Chemical Engineers.
- Brodie, P. (2013). *Dictionary of Shipping Terms* (6th εκδ.). Informa Law.
- Devold, H. (2013). *Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to Oil and Gas Production*. lulu.com.
- Dundara, D., Kuzmanović, O., Žanić, V., Andrić, J., & Prebeg, P. (2010). *New Innovative design of Ro-Pax Ship*. Ανάκτηση Ιούνιος 5, 2013, από http://www.hrbi.hr/brodogradnja/images/stories/SORTA/sorta10/engleski/t7-3%20dundara_F.pdf
- Economides, M., Hill, D., Ehliq-Economides, C., & Zhu, D. (2012). *Petroleum Production Systems* (2ηεκδ.). Pearson.
- Gaythwaite, J. (2004). *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repairing of Vessels* (2ηεκδ.). American Society of Civil Engineers.
- Gluyas, J., & Swarbrick, R. (2003). *Petroleum Geoscience*. Wiley-Blackwell.
- Greenwald, G. (1998). *Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Projects*. Kluwer Law International.
- Griffin, P. (2012). *Liquefied Natural Gas: The Law and Business of LNG* (2ηεκδ.). Globe Law and Business.
- Han, C., & Lim, Y. (2012). LNG Processing: From Liquefaction to Storage. *Computer Aided Chemical Engineering*, 31, 99-106.

- Harrison, T. (2011). *Legal Issues in Bunkering: An Introduction to the Law Relating to the Sale and Use of Marine Fuel*. Petrosport Limited.
- House, D. (2005). *Cargo Work: for Maritime Operations* (7ηεκδ.). A Butterworth-Heinemann Title.
- Jones, J. (2007). LNG shipping. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2), 597.
- Kidnay, A., & Parrish, W. (2006). *Fundamentals of Natural Gas Processing*. CRC Press.
- Kidnay, A., Parrish, W., & McCartney, D. (2011). *Fundamentals of Natural Gas Processing* (2ηεκδ.). CRC Press.
- Klanac, A., Jalonen, R., & Varsta, P. (2007). Multi-stakeholder decision-making in the risk-based design of a RO-PAX double bottom for grounding. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 221(1), 1-15.
- Kumar, S., Kwon, H.-T., Choi, K.-H., Lim, W., Cho, J., Tak, K., καισυν. (2011). LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. *Applied Energy*, 88(12), 4264-4273.
- Linstad, H., Asbjørnslett, B., & Strømman, A. (2012). The importance of economies of scale for reductions in greenhouse gas emissions from shipping. *Energy Policy*, 46, 386-398.
- Maxwell, D., & Zhu, S. (2011). Natural gas prices, LNG transport costs, and the dynamics of LNG imports. *Energy Economics*, 33(2), 217-226.
- Mladenov, P. (2013). *Marine Biology: A Very Short Introduction*. OUP Oxford.
- Mokhatab, S. (2012). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing* (2ηεκδ.). Gulf Professional Publishing.
- Mori, T., Yamamoto, A., Ueda, N., Kitamura, T., Ohnishi, K., & Doi, A. (2007). Approaches of the EnergySaving RO-PAX Ferry for the Next Generation. *Technical Review*, 44(3), 1-5.

- Morosuk, T., & Tsatsaronis, G. (2011). Comparative evaluation of LNG – based cogeneration systems using advanced exergetic analysis. *Energy*, 36(6), 3771-
- Dr.Wursig G, Technology outlook and future development of LNG as ship fuel,Naples,2014
- Freudendahl U., Experiences from Norway on LNG as ship fuel, Helsinki,2011
- Boylston J,-Cedar River Group, Evaluating the use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries – Final Report, Washington,2012
- Robinson J., LNG application for RO-PAX modern ferries, Brittany ferries, 2011
- Caughlan S, LNG Use for Washington State Ferries, The Glosten associates, 2010
- Unseki T., Environmentally Superior Vessels with LNG as Fuel – Achievements and prospects for near future, The 7th Asian shipbuilding Experts Forum (ASEF),2013
- Wartsilla Engines – Wartsilla 20DF,2013
- Fardal I., Medium sized LNG ferries for Norway, Fjord Line AS,2013
- Levander O., Fuel selection for ferries, Interferry,Barcelona,2011
- R. M. Stokholm,- Roaldsoy J.S, LNG USED TO POWER THE FERRY “GLUTRA” IN NORWAY, Oslo,2002
3778.
- Nikopoulou, Z., Cullinane, K., & Jensen, A. (2013). The role of a cap-and-trade market in reducing NO_x and SO_x emissions: Prospects and benefits for ships within the Northern European ECA. *Proceedings of the Institution of*

- Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 227(2), 131-154.
- Pitblado, R., & Woodward, J. (2011). Highlights of LNG risk technology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(6), 827-836.
- Poirier, A., & Zaccour, G. (1991). *Maritime and Pipeline Transportation of Oil and Gas: Problems and Outlook - Proceedings of the Conference HEC-Montreal, April 23 and 24, 1990*. Editions Technip.
- Ropital, F. (2010). *Corrosion and Degradation of Metallic Materials: Understanding of the Phenomena and Applications in Petroleum and Process Industries* . Editions Technip .
- Selley, R. (1997). *Elements of Petroleum Geology*. Academic Press.
- Shively, B., & Ferrare, J. (2005). *Understanding Today's Global LNG Business*. Enerdynamics LLC.
- Timmerhaus, K. (2013). *Advances in Cryogenic Engineering: Volume 22*. Springer Us.
- United States Congress. (2010). *Safety and Security of Liquefied Natural Gas Terminals and Their Impact on Port Operations*. Lightning Source UK Ltd.
- Wegelein, F. (2005). *Marine Scientific Research: The Operation and Status of Research Vessels and Other Platforms in International Law*. Brill.
- Weinrit, A., & Neumann, T. (2013). *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Maritime Transport & Shipping* . CRC Press.
- Woodward, J., & Pitblado, R. (2010). *LNG Risk Based Safety: Modeling and Consequence Analysis*.
- Wiley-Blackwell. Einang M., LNG fueling the future ships, LNG Seminar 28th of November , Shanghai ,2011

Per Magne Einang and Konrad Magnus Haavik, *The Norwegian LNG Ferry*, Norwegian Marine Technology Research Institute and the Norwegian Maritime Directorate, Yokohama, 2012

Žanić, V., Prebeg, P., Andrić, ., Kitarović, S., & Grgić, M. (2008). *Multicriteria Structure Design of Ro-Pax Ship*. Ανάκτηση Ιούλιος 20, 2013, από http://www.uljanik.hr/fileadmin/user_upload/sorta_prez/7/MULTICRITERIA_STRUCTUREAL_DESIGN_Prez.pdf

Πηγές από το Ίντερνετ

- 1) <http://www.wartsila.com/en/references/viking-grace>
- 2) <http://sarc.gr/readmore.php?id=778447&grp=376430>