



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΠΜΣ:

Βιομηχανική Διοίκηση και
Τεχνολογία

Κατεύθυνση:

Διοίκηση Logistics (Logistics
Management)

Εφοδιαστική Αλυσίδα Πηγών Ενέργειας μέσω LNG



Φεβρουάριος, 2016

Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	5
1.1 Η σημαντικότητα του θαλάσσιου συστήματος μεταφορών.....	5
1.2 Το φυσικό Αέριο	6
1.2.1 Ιστορική Αναδρομή	7
1.3 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο	8
1.3.1 Ιστορική Αναδρομή	9
1.3.2 Ιδιότητες του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου	10
1.3.3 Πλεονεκτήματα μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω πλοίων συγκριτικά με τη μεταφορά μέσω αγωγών αερίου	11
1.4 Χρήση του LNG	12
1.4.1 Χρήση ως Καύσιμο Αυτοκινήτων & Αεροπολάνων	13
1.4.2 Χρήση ως καύσιμο σε πλοία	13
1.4.3 Χρήση στον Οικιακό τομέα	14
1.4.4 Χρήση στη Βιομηχανία	15
1.5 Η κατάσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην παγκόσμια αγορά	16
1.6 Ο Ελληνικός Στόλος	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ LNGTANKERS	21
2.1 Υγραεροφόρα Πλοία – LNGTankers	21
2.2 Το Πρώτο Tanker –Πρότυπο.....	22
2.3 Η Εξέλιξη στην Κατασκευή LNG.....	24
2.4 Τύποι Δεξαμενών	26
2.4.1 Δεξαμενή Μεμβράνης	26
2.4.2 Δεξαμενή Moss - Σφαιρικές Δεξαμενές.....	29
2.5. Κατασκευαστές.....	33
2.6 Σχεδιαστικά Στοιχεία	33
2.7 Κύκλος ζωής ενός LNGTanker	34
2.8 Απαιτήσεις Κατασκευής	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ LNG	36
3.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα LNG	36
3.2 Ανάλυση Σταδίων	39
3.2.1 Αναζήτηση–Εξόρυξη	39

3.2.2 Υγροποίηση	40
3.2.3 Μεταφορά Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου	43
3.2.4 Αποθήκευση σε Τερματικούς Σταθμούς και Διανομή	44
3.2.5 Φαινόμενο Εξατμιζόμενων Αερίων (Boil-OffGas -BOG).....	46
3.3 Επίπεδα Σχεδιασμού Αλυσίδας LNG	47
3.4 Η Ασφάλεια στην Αλυσίδα του LNG.....	48
3.4.1 Πιθανοί κίνδυνοι	49
3.4.2 Απροσδόκητη κίνδυνοι.....	50
3.4.3 Επίπεδα Ασφαλείας.....	51
3.4.4 Πρότυπα ασφαλείας	55
3.4.5 Οι κανονισμοί ασφαλείας στην Ελλάδα.....	56
3.5 Συμβόλαια LNG	57
3.5.1 Βραχυπρόθεσμα Συμβόλαια LNG – ShortTerm	57
3.5.2 Μακροπρόθεσμα Συμβόλαια LNG – LongTerm	57
3.6 Κοστολόγηση Αλυσίδας LNG	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ LNG	60
4.1 Ο Σταθμός ΥΦΑ στην Αδριατική	60
4.2 Οικονομικά Οφέλη από το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο	66
4.3 Διαμόρφωση των τιμών LNG	67
4.4 Η μεταφορά LNG στο μέλλον	68
4.5 SWOT Analysis Βιομηχανίας LNG	69
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	73
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	74
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	77

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι απαιτήσεις της σημερινής κοινωνίας για ενέργεια συνεχώς αυξάνονται την τελευταία δεκαετία. Σημαντικές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, έχουν γίνει όλο και λιγότερο ελκυστικές λόγω της αλματώδους αύξησης των τιμών αλλά και των περιβαντολλογικών συνεπειών. Παρ' όλα αυτά, το φυσικό αέριο, και πιο συγκεκριμένα το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG - Liquefied Natural Gas), έρχεται να αναπληρώσει τις όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας και να καλύψει την παγκόσμια αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά αποδοτικό, ελκυστικό από περιβαντολλογική σκοπιά, εύκολο στη χρήση του και αποτελεί κυρίαρχη επιλογή για την παραγωγή ενέργειας.

Σε παγκόσμια κλίμακα, ο σημαντικότερος τρόπος για τη μεταφορά του φυσικού αερίου διενεργείται σε αέρια μορφή μέσω αγωγών. Ωστόσο, η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω πλοίου LNG αποτελεί ίσως και το ταχύτερο αναπτυσσόμενο σύστημα μεταφοράς ενέργειας στον κόσμο, λόγω καινοτόμων λύσεων στα διεθνή logistics και των συνεχών τεχνολογικών εξελίξεων όσον αφορά το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφοδιαστική αλυσίδα πηγών ενέργειας μέσω LNG. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται το φυσικό αέριο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο, η ιστορική αναδρομή, οι ιδιότητες, η χρήση του LNG, η κατάστασή του στην παγκόσμια αγορά και ο ελληνικός στόλος. Το δεύτερο κεφάλαιο περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των LNG Tankers, την εξέλιξή τους στην κατασκευή, τους τύπους δεξαμενών τους, τους κατασκευαστές, τα σχεδιαστικά στοιχεία, τον κύκλο ζωής ενός LNG Tanker και τις απαιτήσεις κατασκευής τους. Εν συνεχεία, το τρίτο κεφάλαιο αναλύει την εφοδιαστική αλυσίδα του υγροποιημένου φυσικού αερίου, και πιο συγκεκριμένα, τα στάδιά του, τις πολιτικές ασφαλείας που πρέπει να εφαρμόζονται, τους κανονισμούς ασφαλείας στην Ελλάδα, τα συμβόλαια LNG και την κοστολόγηση αλυσίδας LNG. Στο τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια μελέτη περίπτωσης η οποία αφορά τον Σταθμό Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στην Αδριατική, αναφέρονται τα οικονομικά οφέλη, η διαμόρφωση των τιμών LNG και παρουσιάζεται μια ανάλυση SWOT για τη βιομηχανία LNG. Η παρούσα μελέτη ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και στο τέλος της εργασίας παρατίθεται η βιβλιογραφία.

ABSTRACT

The requirements of contemporary society for energy is constantly increasing in the last decade. Important sources of energy such as oil and coal, are becoming less and less attractive because of the sudden price increases and the existing environmental consequences. Nevertheless, natural gas, and more specifically the Liquefied Natural Gas (LNG), comes to fill the ever increasing demands of modern society and to meet the growing global energy demand. It has proven to be cost effective, attractive from of Environmental terms, easy to use and is a dominant choice for energy production.

On a global scale, the most important way of natural gas transport is carried out in gaseous form via pipelines. However, the transportation of liquefied natural gas by ship LNG is, perhaps, the fastest growing energy transportation system in the world, due to innovative solutions in international logistics and the constant technological developments concerning liquefied natural gas.

The subject of this thesis is the supply chain energy sources via LNG tankers. In the first chapter are presented the natural gas, the liquefied natural gas, the historical background, the properties and the use of LNG, its situation on the global market, and the Greek fleet. The second chapter describes the technical characteristics of LNG Tankers, their evolution in construction, the types of LNG tanks, the manufacturers, design elements of LNG tankers, the life cycle of an LNG Tanker and the construction requirements. Subsequently, the third chapter analyzes the supply chain of liquefied natural gas, and more specifically, its stages, the security policies that must be implemented, the safety regulations in Greece, the types of contracts and costing in LNG chain. The last chapter performs a case study concerning the Liquefied Natural Gas Terminal in the Adriatic, the economic benefits, the configuration of LNG prices and a SWOT analysis for the LNG industry. This study is completed with the conclusions derived from the literature review and the literature.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.1 Η σημαντικότητα του θαλάσσιου συστήματος μεταφορών.

Το θαλάσσιο σύστημα μεταφορών διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στο διεθνές εμπόριο και την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, καθώς ενίσχυσε τη γρήγορη εκβιομηχάνιση, την εξαίεψη και την άρση των εμποδίων στις εμπορικές συναλλαγές, την οδική αποσυμφόρηση, κ.λπ.. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν μέρος της υποδομής μεταφορών κάθε χώρας και τις επηρεάζουν σε οικονομικό, πολιτικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά, η αύξηση των θαλάσσιων ατυχημάτων (π.χ. από διαρροή πετρελαίου) έχει προκύψει από την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης και προσφοράς των πηγών ενέργειας (όπως πετρέλαιο και φυσικό αέριο) και την ελαχιστοποίηση του κόστους τόσο για τους αναμενόμενους κινδύνους όσο και για τις μεταφορές, η οποία έχει οδηγήσει σε χαμηλό επίπεδο ασφάλειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο σύστημα των θαλάσσιων μεταφορών, ο σχεδιασμός της κυκλοφορίας και οι κίνδυνοί του εξαρτώνται από μεταβλητούς παράγοντες. Επομένως, στην προσομοίωση της θαλάσσιας μεταφοράς που θα ακολουθείται από τους εξαγωγείς επιβάλλεται να ακολουθούν τέσσερις κύριους σκοπούς: α) τη διευκόλυνση του σχεδιασμού του λιμανιού, την αξιολόγηση των επιπέδων εξυπηρέτησης του συστήματος θαλάσσιων μεταφορών, την ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την αξιολόγηση των κινδύνων στο θαλάσσιο σύστημα μεταφορών (Christiansen, et al. 2007; van Dorp & Merrick, 2011).

Εικόνα 1: Μη επανδρωμένα εμπορικά πλοία



Πηγή: www.4news.gr

1.2 Το φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο, ως πηγή ενέργειας, παρουσίασε πρωτοφανή αύξηση της ζήτησης παγκοσμίως την τελευταία δεκαετία. Το ίδιο αποτελεί πρόκληση στην υπεροχή του πετρελαίου ως κύρια πηγή ενέργειας και έχει λάβει δεσπόζουσα θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχει η γενική τάση ότι η ανοδική πορεία του φυσικού αερίου θα συνεχιστεί, αν δεν επιταχυνθεί (Parfomak & Flynn, 2004).

Το φυσικό αέριο είναι μια μορφή καυσίμου, η οποία σχηματίζεται στο υπέδαφος, με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του πετρελαίου. Η σύσταση του περιλαμβάνει κυρίως έναν άοσμο και άχρωμο υδρογονάνθρακα, το μεθάνιο. Περιλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες σε μικρότερη σύσταση, όπως προπάνιο, βουτάνιο, αιθάνιο, καθώς και ορισμένες ουσίες σε πολύ μικρά ποσοστά όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το άζωτο, το υδρόθειο και τέλος το νερό. Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή από την οποία γίνεται η εξόρυξη. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός ότι απουσιάζει τελείως από τη σύσταση του το μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι ιδιαίτερα τοξικό (Γεωργίου, 2015).

Πίνακας 1: Χημική Σύσταση Φυσικού Αερίου

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

Πηγή: Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση (Τσιούπης, 2012).

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα πρώτα στοιχεία ανακάλυψης του φυσικού αερίου χρονολογούνται το 2000 π.Χ. στην σημερινή περιοχή του Ιράν. Μελέτες που έχουν γίνει, απέδειξαν πως οι πρώτοι που έκαναν χρήση του φυσικού αερίου ήταν οι Κινέζοι και το οποίο μετέφεραν με σωλήνες κατασκευασμένους από μπαμπού (Αχνιώτης, 2012).

Η Μεγάλη Βρετανία ανακάλυψε το φυσικό αέριο το 1659 αλλά κατάφερε να το εμπορευτεί πολλά χρόνια αργότερα, περίπου το 1790. Στην Αμερική, οι κάτοικοι της πολιτείας Fredonia της Νέας Υόρκης, παρατήρησαν το 1821 φυσαλίδες αερίου να αναδύονται στην επιφάνεια από ένα ρυάκι. Ο Αμερικάνος «πατέρας» του φυσικού αερίου, William Hart, δημιούργησε το πρώτο πηγάδι φυσικού αερίου στην Fredonia το οποίο είχε βάθος 8 μέτρα και αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί για φωτισμό των δρόμων. Το φυσικό αέριο κατάφερε να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία περίπου δυο δεκαετίες αργότερα, με την πρώτη εταιρεία φυσικού αερίου την Fredonia Gas Light να ιδρύεται το 1858 (Saleem, 2004).

Η πραγματική πρόοδος στην χρήση του φυσικού αερίου πραγματοποιήθηκε μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Στα μέσα του 1950, χώρες όπως η Βενεζουέλα, το Ιράν, η Ρουμανία και τα Αραβικά Εμιράτα αρχίζουν να χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ως πηγή ενέργειας ενώ η ανακάλυψη κοιτασμάτων στην Ιταλία και στην Γαλλία εισήγαγε το αέριο και στην Ευρώπη (Saleem, 2004).

Σήμερα, τα μεγαλύτερα αποθέματα φυσικού αερίου έχουν βρεθεί στην Ρωσία, στο Ιράν και στο Κατάρ. Μεταξύ των μεγαλύτερων παραγωγών είναι η Ρωσία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και ακολουθούν η Νορβηγία, η Αλγερία και το Ιράν. Τέλος, οι μεγαλύτερες χώρες καταναλώτριες είναι οι ΗΠΑ και η Ρωσία (BP, 2008).

Το φυσικό αέριο εισήχθη για πρώτη φορά στην Ελλάδα το 1988 όταν ιδρύθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ). Η ΔΕΠΑ ανήκει κατά 35% στην εταιρεία Ελληνικά Πετρέλαια Α.Ε. και κατά 65% στο Ελληνικό Δημόσιο. Ο κύριος λόγος, ίδρυσης της εταιρείας αυτής, είναι η προσπάθεια της Ελλάδας να απομακρυνθεί από την εξάρτηση του πετρελαίου (Γρομπανόπουλος, 2013).

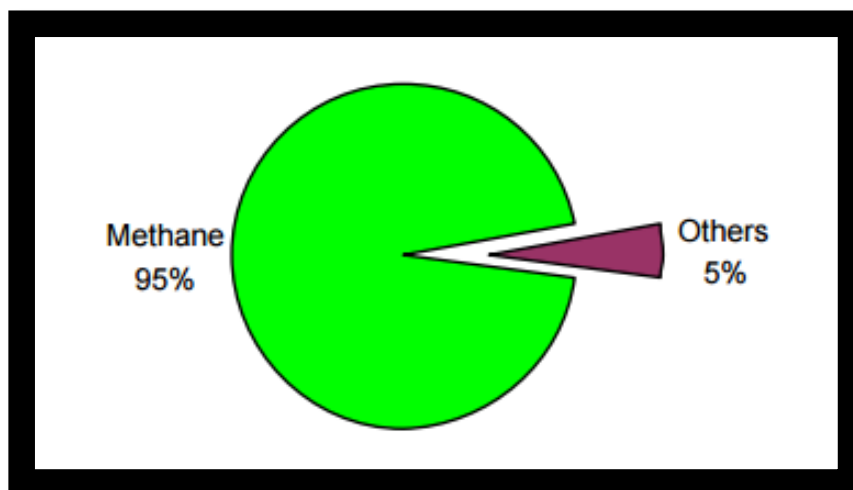
1.3 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Η κύρια αιτία που πραγματοποιείται η υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η μείωση του όγκου κατά 600 φορές εξαιτίας της αλλαγής φάσης από αέριο σε υγρό. Στην φυσική του κατάσταση το φυσικό αέριο είναι μια ογκώδης μορφή ενέργειας η οποία απαιτεί τεράστιες δεξαμενές αποθήκευσης. Επίσης, είναι απαραίτητο να κατασκευαστούν τεράστια δίκτυα αγωγών για την μεταφορά του από το σημείο παραγωγής στο τελικό σημείο κατανάλωσης λόγω της ογκώδης φυσικής μορφής (Καρώνης κ.λπ., 2007).

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου έρχεται να υπερνικήσει όλα αυτά τα εμπόδια επιτρέποντας την μεταφορά του με πλοία και την χρησιμοποίηση του ως πηγή ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα την μεγάλης μείωσης του όγκου λόγω της υγροποίησης αποτελεί το γεγονός ότι σε 1m^3 υγροποιημένου φυσικού αερίου αντιστοιχούν 600 Nm^3 μη υγροποιημένου φυσικού αερίου (Κροκιδάς, 1991).

Το φυσικό αέριο υγροποιείται με πίεση κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση και ψύξη στους -160°C περίπου (Αχνιώτης, 2012). Η διαδικασία υγροποίησής του περιλαμβάνει αρχικά τον καθαρισμό από ξένες προσμίξεις, όπως νερό, χώμα, ήλιο, και στη συνέχεια, συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή μέσω της ψύξης. Απομακρύνοντας αυτές τις προσμίξεις δεν μπορούν να δημιουργηθούν στερεές ουσίες με την ψύξη του φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα το υγροποιημένο φυσικό αέριο να περιέχει κυρίως μεθάνιο (Τσιούπης, 2012).

Εικόνα 2: Σύσταση LNG



Πηγή: Foss,

Για να μειωθεί η θερμοκρασία του φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι, οι οποίες είναι οι εξής (Κρητικός, 2011):

1. Η καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών, η οποία σταμάτησε να χρησιμοποιείται το 1970. Περιλαμβάνει τρία στάδια προκειμένου να επιτευχθεί η χαμηλή θερμοκρασία που απαιτείται. Το πρώτο στάδιο χρησιμοποιεί το προπάνιο, το δεύτερο είναι ένα στάδιο συμπύκνωσης που χρησιμοποιεί το αιθυλένιο και το τρίτο στάδιο χρησιμοποιεί το μεθάνιο.
2. Η μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών, η οποία ολοκληρώνει την υγροποίηση σε ένα στάδιο. Ο εξοπλισμός είναι λιγότερο σύνθετος από την καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών αλλά η κατανάλωση ισχύος είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη κατά την υγροποίηση και για αυτόν τον λόγο η χρήση της δεν είναι διαδεδομένη.
3. Η Προ-ψυγμένη μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών, η οποία είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων μεθόδων, και είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος.

1.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Δυο φυσικοί του 17^{ου} αιώνα, ο Robert Boyle και ο Edme Mariotte παίρνουν τα εύσημα καθώς ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν ότι ο αέρας μπορεί συμπιεστεί. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου έγινε για πρώτη φορά τον 19^ο αιώνα από τον Βρετανό χημικό Michael Farada ενώ πειραματιζόταν με την υγροποίηση διάφορων αερίων. Στην πραγματικότητα όμως, ήταν ο Γερμανός χημικός Karl Von Linde ο οποίος κατασκεύασε την πρώτη μηχανή ψύξης του φυσικού αερίου στο Μόναχο το 1873. Η εμπορευματοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ξεκίνησε το 1917 όταν χτίστηκε το πρώτο εργοστάσιο LNG στην Δυτική Βιρτζίνια στην Αμερική. Παρ' όλα αυτά, η πρώτη προσπάθεια χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πραγματοποιήθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Ενώ, η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης αυτής της μεθόδου πραγματοποιήθηκε με την υγροποίηση του μεθανίου από την υπηρεσία των μεταλλείων των ΗΠΑ το 1924 (Πανάς, 2005).

1.3.2 Ιδιότητες του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο αλλά συνήθως δίνεται τεχνητά μια οσμή κυρίως για λόγους ασφαλείας ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περιπτώσεις διαρροής. Εμφανίζει δυο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πετρέλαιο. Αρχικά, παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας. Επίσης, οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα, μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα περίπου 25-30%, τις εκπομπές οξειδίων του θείου σχεδόν στο μηδέν και τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου περισσότερο από 80% (Γεωργίου, 2015).

Ο όγκος του Υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι κατά 600 φορές μικρότερος από τον όγκο του στην φυσική του κατάσταση ενώ διατηρεί την ίδια ποιότητα και το βάρος του είναι μόνο το 45% του νερού, με αποτέλεσμα να μπορεί να μεταφερθεί εύκολα τόσο από πλοία όσο και από αυτοκίνητα-φορτηγά. Επιπλέον, έχει υψηλή απόδοση αποθήκευσης, καταλαμβάνει μικρότερο χώρο και αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα καθώς απαιτούνται μικρότερες επενδύσεις όσο αφορά στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης του. Τέλος, τα συστατικά του είναι μη τοξικά, καθώς δεν περιέχεται μονοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να καεί πλήρως. Μετά από την καύση του προκύπτει διοξείδιο του άνθρακα και νερό, κάτι το οποίο καθιστά ένα καθαρό είδος ενέργειας (Yaoguangetal., 2007).

Εικόνα 3: Σύνθεση Τυπικού Φυσικού Αερίου και ΥΦΑ



Πηγή: http://kireas.org/Inq.htm#Inq_0

1.3.3 Πλεονεκτήματα μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω πλοίων συγκριτικά με τη μεταφορά μέσω αγωγών αερίου

Ανάμεσα στις δυο μεθόδους μεταφοράς του φυσικού αερίου, μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω δεξαμενόπλοιου ή μεταφορά φυσικού αερίου μέσω αγωγών, υπάρχουν διάφορα κριτήρια επιλογής από την πλευρά των παραγωγών, τα οποία είναι τα εξής (Notteboom, 2011):

1. Το κόστος σε συνάρτηση με τη απόσταση του τελικού αποδέκτη αποτελεί το κυριότερο κριτήριο επιλογής. Σύμφωνα με έρευνες, κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας από την παραγωγή στην αγορά, παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η απόσταση του τόπου παραγωγής προς την υποψήφια αγορά τόσο μεγαλύτερο ήταν και το κόστος μεταφοράς του φυσικού αερίου μέσω αγωγών, σε αντίθεση με τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω δεξαμενόπλοιου. Επομένως, στην περίπτωση όπου οι αποστάσεις είναι μεγάλες, η μεταφορά μέσω LNG tanker φαίνεται να είναι πολύ πιο ανταγωνιστική στην αγορά.
2. Ωστόσο, το κόστος μόνο δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή του τρόπου μεταφοράς. Οι αγωγοί μπορεί να χρειαστεί να περάσουν από πολλές περιοχές-χώρες, ενώ το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου συνήθως απαιτεί μόνο μία διαδρομή η οποία είναι από το λιμάνι φόρτωσης στο λιμάνι εκφόρτωσης. Στην περίπτωση των αγωγών, η έλλειψη ή η δυσκολία των διαπραγματεύσεων διαμετακόμισης αλλά και οι συνθήκες (και ενδεχομένως το υψηλό κόστος διέλευσης), δίνει πλεονεκτική θέση στη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω πλοίου καθώς απλοποιεί τη διαδικασία διεκπεραίωσης του έργου, μειώνοντας το χρόνο διεκπεραίωσης και προσφέροντας επιπλέον πλεονέκτημα κόστους.
3. Επιπλέον παράγοντας επιλογής του τρόπου μεταφοράς αποτελεί η «Ασφάλεια». Η μεταφορά αερίου μέσω αγωγών απαιτεί ιδιαίτερο σύστημα ασφάλειας εφοδιασμού καθώς οι εγκαταστάσεις του διασχίζουν διάφορες χώρες. Το σύστημα ασφάλειας στην περίπτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι εξίσου σημαντικό αλλά διαφορετικό, καθώς η συνέπεια ενός θαλάσσιου ατυχήματος δεν θα ήταν σε τέτοιο βαθμό καταστροφική και θα είχε μόνο περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
4. Η διαφοροποίηση στον τρόπο εφοδιασμού αποτελεί μία άλλη πτυχή της «Ασφάλειας». Πιο συγκεκριμένα, στην αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου καθώς αυξάνονται οι πιθανοί αποδέκτες του, αυξάνεται και η ευελιξία της προσφοράς μεταξύ των αγορών. Για παράδειγμα, εάν μια αγορά δεν μπορεί να παραλάβει ένα φορτίο, το πλοίο μπορεί να κατευθυνθεί προς άλλη αγορά. Ακόμη, εάν μια πηγή

τροφοδοσίας αντιμετωπίζει πρόβλημα, το φορτίο μπορεί να διοχετευθεί στην αγορά από άλλη πηγή.

Επιπροσθέτως, ενώ το πετρέλαιο και όλα τα παράγωγα του μεταφέρονται με δεξαμενόπλοια ήδη από την δεκαετία του 1860, χρειάστηκε να περάσει ένας ολόκληρος αιώνας για να ξεκινήσει η διακίνηση του αερίου με πλοία. Ο κύριος λόγος αυτής της καθυστέρησης ήταν η ταχεία εξέλιξη της παγκόσμιας βιομηχανίας πετρελαίου, η οποία οδήγησε στην αλματώδη ανάπτυξη της μεταφοράς πετρελαίου σε μεγάλες αποστάσεις. Ένας άλλος λόγος ήταν οι σημαντικές τεχνικές προκλήσεις που προκύπτουν κατά την μεταφορά του φυσικού αερίου δεξαμενόπλοια που διασχίζουν τους ωκεανούς. Η φόρτωση, αποθήκευση και μεταφορά πετρελαίου είναι σχετικά εύκολη αλλά αντίθετα το φυσικό αέριο, πρέπει να μετατραπεί σε υγρό σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, και τότε να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί σε αυτή τη μορφή (Tusiani&Shearer,2007).

1.4Χρήση του LNG

Στον τομέα των μεταφορών, το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει σαν καύσιμο σχεδόν οποιοδήποτε τύπο οχήματος όπως π.χ. Ι.Χ.Ε. αυτοκίνητα, μοτοσικλέτες, μεγάλα και μικρά φορτηγά, τρένα, πλοία, ακόμη και αεροσκάφη. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας αλλά και τον οικιακό τομέα.

Σχήμα1: Χρήση του LNG



1.4.1 Χρήση ως Καύσιμο Αυτοκινήτων & Αεροπλάνων

Η SanDiago & Electric ήταν η πρώτη εταιρεία που πειραματίστηκε με την χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στις μηχανές αυτοκινήτων λόγω του γεγονότος ότι, ως καύσιμο, δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Για την χρήση του ΥΦΑ στην αυτοκίνηση πρέπει να λαμβάνονται υψηλά μέτρα ασφαλείας για την πλήρωση του ρεζερβουάρ των αυτοκινήτων. Επιπλέον, έχουν γίνει προσπάθειες ώστε το υγροποιημένο φυσικό αέριο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στα αεροπλάνα μαζί με την χρήση του Jet fuel. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει υψηλή θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα βάρους με αποτέλεσμα να μειώνεται το βάρος των αεροσκαφών. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, πρόκειται για ένα καθαρό καύσιμο το οποίο δεν περιέχει θείο με αποτέλεσμα να μην διαβρώνεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός του αεροπλάνου (Κροκίδης, 1991).

1.4.2 Χρήση ως καύσιμο σε πλοία

Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία αποτελεί μια βιώσιμη εναλλακτική λύση (για το παγκόσμιο εμπόριο) σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων έως σήμερα, καθώς ο κλάδος της ναυτιλίας μπορεί να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις και κανονισμούς με τις εκπομπές αερίων και ρύπων. Οι τρεις κύριοι ρύποι που εκπέμπουν τα πλοία είναι οι εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο ως αέριο του θερμοκηπίου συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Η μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία είναι δυνατή μόνο με την καύση λιγότερου πετρελαίου ή με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων.
- Οξείδιο του θείου (SO_x), το οποίο όταν συνδυάζεται με νερό σχηματίζει την «όξινη βροχή» η οποία είναι επιβλαβείς για το θαλάσσιο περιβάλλον.
- Το οξείδιο του αζώτου (NO_x), το οποίο συμβάλλει στο σχηματισμό του όζοντος στην ατμόσφαιρα και σχηματίζει επίσης την "όξινη βροχή" όταν συνδυάζεται με νερό. Μπορεί να βλάψει άμεσα την υγεία των ανθρώπων προκαλώντας άσθμα και καρδιοπάθεια.

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά στην Ευρώπη, την Ασία και τις ΗΠΑ χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο στα πλοία. Οι λόγοι για τους οποίους το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες νέες τεχνολογίες για τη ναυτιλία είναι οι εξής:

1. Με τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία μειώνει τις εκπομπές του οξειδίου του θείου (SO_x) κατά 90-

95% σε σύγκριση με άλλα καύσιμα. Ο Οργανισμός Ελέγχου των Εκπομπών (Emission Control Areas - ECAs) έχει καθορίσει αυτό το επίπεδο μείωσης ως υποχρεωτικό από το 2015.

2. Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία επιτρέπει τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 20-25%, καθώς το υγροποιημένο φυσικό αέριο περιέχει άνθρακα σε πολύ χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα των πλοίων.
3. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι πολύ πιο ελκυστικό, εμπορικά, σε σύγκριση με το χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο του πετρελαίου εσωτερικής καύσης των πλοίων, λόγω των ανταγωνιστικών τιμών και το γεγονός ότι θα απαιτηθεί να χρησιμοποιηθεί εντός των κανονισμών του Οργανισμού Ελέγχου των Εκπομπών (Emission Control Areas - ECAs) (Brenntro et al, 2013).

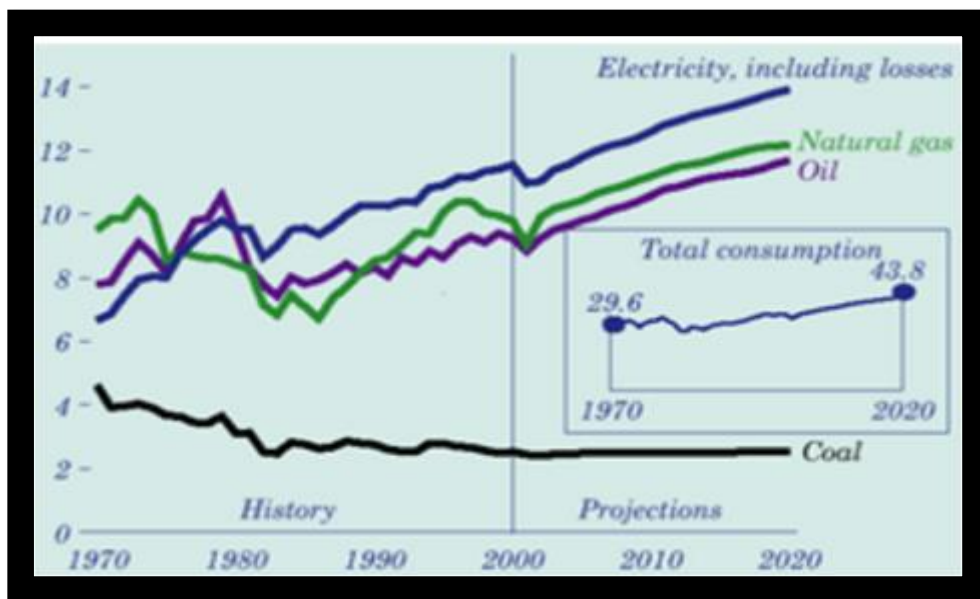
1.4.3 Χρήση στον Οικιακό τομέα

Το φυσικό αέριο είναι μία από τις πιο προσιτές μορφές ενέργειας διαθέσιμες στον οικιακό καταναλωτή. Ιστορικά, το φυσικό αέριο είναι οικονομικότερη πηγή ενέργειας σε σχέση με την ηλεκτρική, όσον αφορά την οικιακή χρήση. Δεν είναι μόνο η χαμηλή τιμή του, αλλά το γεγονός ότι έχει επίσης μια σειρά από ποικίλες χρήσεις. Οι πιο γνωστές χρήσεις του φυσικού αερίου γύρω από το σπίτι είναι η θέρμανση και το μαγείρεμα. Οι νέες κατασκευές σπιτιών προτιμούν ως μέθοδο θέρμανσης το φυσικό αέριο καθώς ο οικιακός χρήστης έχει άμεση γνώση της ποσότητας φυσικού αερίου που έχει καταναλωθεί, μέσω της καταγραφής του μετρητή, και πληρώνει μόνο για την ποσότητα αυτή, χωρίς επιπρόσθετα τέλη όπως συμβαίνει με τους καυστήρες πετρελαίου. Επιπλέον, το φυσικό αέριο είναι άμεσα διαθέσιμο σε όλους τους χώρους χρήσης, με σταθερή και μόνιμη παροχή, χωρίς την ανάγκη παραγγελίας και δεξαμενής αποθήκευσης. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο έχουν αυξήσει την δημοτικότητα λόγω της αποτελεσματικότητάς τους. Μολονότι πολλές συσκευές που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο είναι ακριβές στην αγορά τους έχουν μεγαλύτερη αναμενόμενη διάρκεια ζωής, και απαιτούν σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης (Natural Gas Organization).

1.4.4 Χρήση στη Βιομηχανία

Το φυσικό αέριο έχει μια πληθώρα χρήσεων στην βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι αποτελεί βασικό συστατικό για τα εν λόγω προϊόντα, όπως πλαστικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά, κ.λπ.. Στην πραγματικότητα όμως, η βιομηχανία είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής φυσικού αερίου, αντιπροσωπεύοντας το 43% της χρήσης φυσικού αερίου σε όλους τους τομείς. Το φυσικό αέριο είναι η δεύτερη πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας στην βιομηχανία, ακολουθώντας σθεναρά τον ηλεκτρισμό. Οι βιομηχανικές εφαρμογές για το φυσικό αέριο είναι πολλές και μοιάζουν πολύ με αυτές της οικιακής χρήσης, για παράδειγμα θέρμανση ή ψύξη και μαγείρεμα. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται επίσης για την επεξεργασία των αποβλήτων και την αποτέφρωση, για την ξήρανση και αφύγρανση, του γυαλιού, για την επεξεργασία τροφίμων, και τροφοδοτεί βιομηχανικούς λέβητες. Μπορεί επίσης, να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την κατασκευή ενός αριθμού χημικών ουσιών και προϊόντων. Αέρια όπως βουτάνιο, αιθάνιο και προπάνιο μπορεί να εξάγεται από το φυσικό αέριο για να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για προϊόντα όπως τα λιπάσματα και διάφορα φαρμακευτικά προϊόντα (Natural Gas Organisation, 2013).

Εικόνα 4: Κατανάλωση Ενέργειας Πρωτογενούς Τομέα



Πηγή: EIA Annual Energy Outlook 2002

1.5 Η κατάσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην παγκόσμια αγορά

Η ιστορία της βιομηχανίας του υγροποιημένου φυσικού αερίου φτάνει σχεδόν τα πενήντα χρόνια. Η πρώτη σύμβαση προμήθειας υγροποιημένου φυσικού αερίου έγινε για την εξαγωγή του φυσικού αερίου από το εργοστάσιο υγροποιημένου φυσικού αερίου GL4Z από το λιμάνι της Αλγερίας στη Μεγάλη Βρετανία και τη Γαλλία το 1964. Μετά από 5 χρόνια υπογράφηκαν άλλες τρεις συμβάσεις, από την Αλγερία στη Γαλλία, από τη Λιβύη προς την Ιταλία και την Ισπανία και από την Αλάσκα στην Ιαπωνία (Vaitelis, 2014).

Πίνακας 2: Η ανάπτυξη της αγοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Keyfigures	1995	2000	2005	2012
Number of liquefaction trains	44	56	68	89
LNG production capacity, millions of tons	89	122	171	282
Number of LNG regasification terminals	280	334	380	668
Number of tankers	66	104	167	378
LNG trade volume, millions of tons	74	92	130	236
LNG share of international gas trade %	20,5	26	26,2	30

Πηγή: Vaitelis, 2014

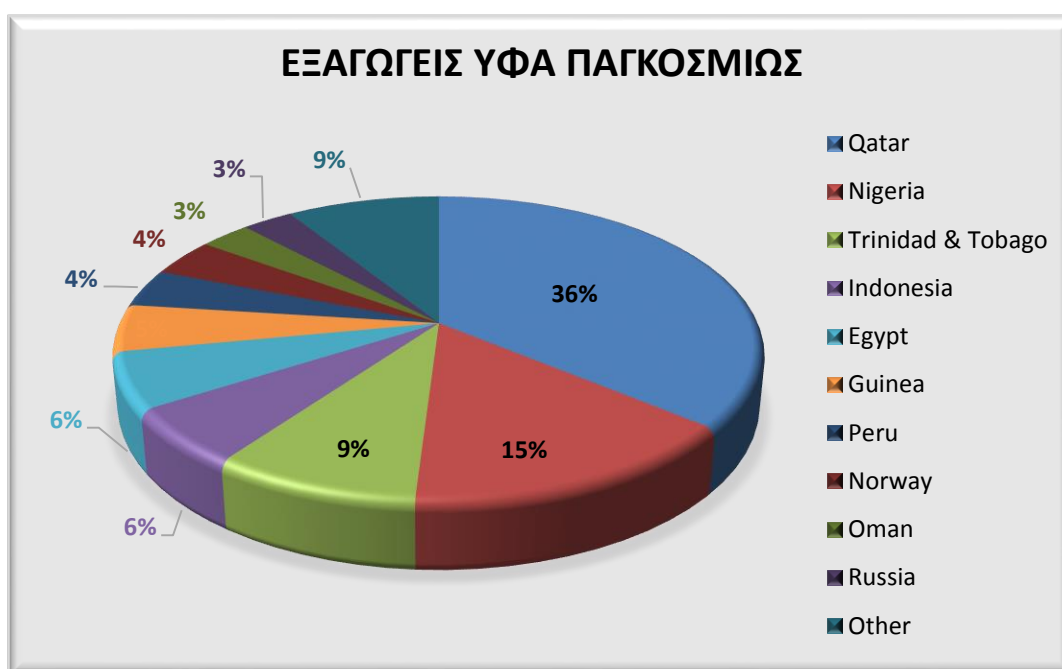
Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι ο αριθμός των τρένων υγροποίησης διπλασιάστηκε από το 1995 έως το 2012, ενώ η παραγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου σχεδόν τριπλασιάστηκε. Ο αριθμός των τερματικών σταθμών επαν-αεριοποίησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου αυξήθηκε σχεδόν τρεις φορές. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αντιστοιχεί στο 30% του παγκόσμιου εμπορίου στον τομέα του αερίου, εξάγεται σε 18 χώρες, και 26 χώρες έχουν τερματικούς σταθμούς επαν-αεριοποίησης. Επίσης, τα τελευταία επτά χρόνια ο αριθμός των χωρών εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει αυξηθεί κατά 40%, και οι εισαγωγείς κατά 70%. Η κατάσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην παγκόσμια αγορά σύντομα θα επαναπροσδιοριστεί καθότι μετά από 30 χρόνια συνεχούς αύξησης οι παγκόσμιες ροές μειώθηκαν κατά 1,6% από το 2011 έως το 2012. Η συρρίκνωση αυτή οφείλεται κυρίως στα προβλήματα

προσφοράς λόγω εγχώριων και πολιτικών εξελίξεων στη Νοτιοανατολική Ασία, στη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αμερική. Παρ' όλα αυτά, το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου στον κόσμο κατέχει η Ιαπωνία και η Κορέα (σχεδόν 52%). Το Κατάρ είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας υγροποιημένου φυσικού αερίου στον κόσμο (36% του συνόλου), ακολουθεί η Νιγηρία κατέχοντας το 15% της αγοράς και στη συνέχεια η Ινδονησία, η Αίγυπτος, η Ισημερινή Γουινέα και η Ρωσία (www.igu.org).

Η παγκόσμια αύξηση στη ζήτηση ενέργειας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21ου αιώνα. Το φυσικό αέριο θεωρείται ως το υποκατάστατο του πετρελαίου και το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω της θάλασσας συνέβαλε στην ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς, η οποία παρουσιάζει ομοιότητες αλλά και διαφορές με την αγορά του πετρελαίου. Η χρήση του φυσικού αερίου ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προώθησε την ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου υγροποιημένου φυσικού αερίου, προκειμένου να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Το φυσικό αέριο προσδίδει οικονομικά οφέλη, επεξεργάζεται πιο γρήγορα, είναι φιλικό προς το περιβάλλον, μπορεί να καεί άμεσα ως καύσιμο (στους τομείς των νοικοκυριών και της βιομηχανίας) με πολύ υψηλή απόδοση και ελάχιστες απώλειες (Gkonis & Psaraftis, 2009).

Στη συνέχεια, ακολουθούν δυο διαγράμματα, όπου φαίνεται το μερίδιο κάθε χώρας υγροποιημένου αερίου στην παγκόσμια αγορά.

Σχήμα 2: Οι εξαγωγείς υγροποιημένου φυσικού στην παγκόσμια αγορά



Πηγή: Vaitelis, 2014

Σχήμα 3: Οι εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού στην παγκόσμια αγορά



Πηγή: Vaitelis, 2014

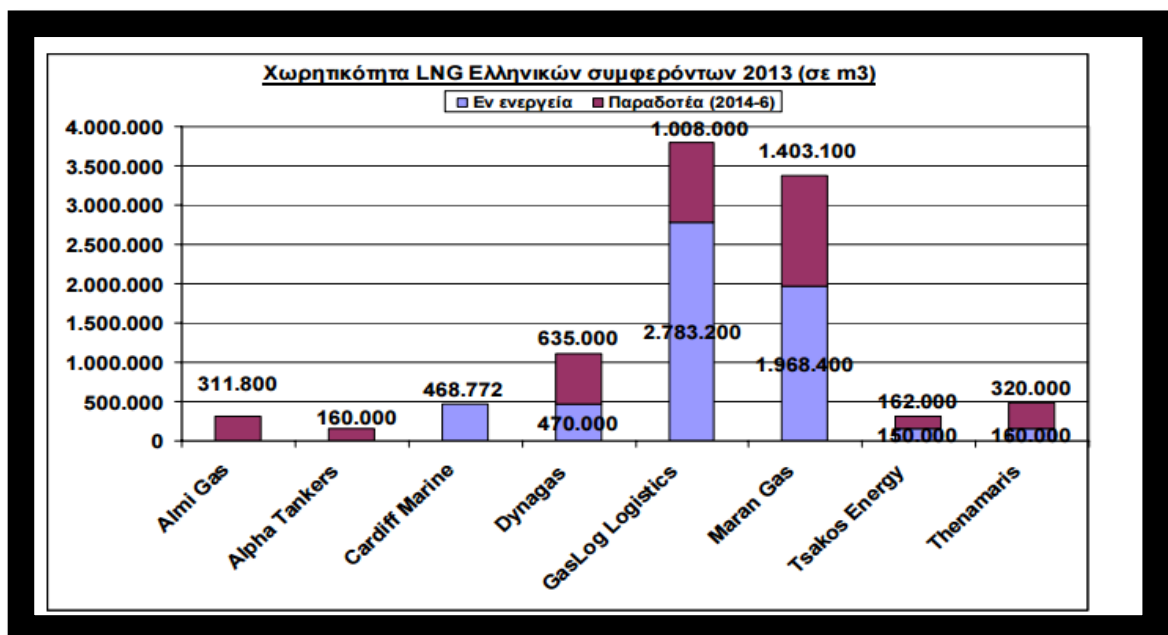
1.60 Ελληνικός Στόλος

Η μεταφορά Υγροποιημένου Αερίου παγκοσμίως αποτελεί έναν αρκετά ελπιδοφόρο κλάδο της ναυτιλίας με αποτέλεσμα να έχει κερδίσει και το ενδιαφέρον της Ελληνικής ναυτιλιακής κοινότητας. Ο βαθμός ενδιαφέροντος των ελληνικών ναυτιλιακών εταιρειών είναι τόσο μεγάλος, που περισσότερες από τις μισές παραγγελίες πλοίων τύπου LNG είναι για ελληνικά συμφέροντα.

Σήμερα, η χώρα μας κατέχει κυρίαρχη θέση στην παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά αφού οι Έλληνες πλοιοκτήτες ελέγχουν περισσότερα από 3.670 πλοία όλων των τύπων, που καλύπτουν περίπου το 17% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της UNCTAD για το 2012, η χωρητικότητα του ελληνόκτητου εμπορικού στόλου ανέρχονταν σε 224,1 εκατ. τόνους (dwt) έναντι 217,7 της Ιαπωνίας, 125,6 της Γερμανίας, 124 της Κίνας, 56,2 της Νότιας Κορέας και 54,6 των ΗΠΑ (Δαγκαλιδής, 2013).

Στον τομέα του LNG δραστηριοποιούνται (ή έχουν πλοία υπό κατασκευή) 8 εταιρίες Ελληνικών συμφερόντων με συνολικά 52 πλοία συνολικής χωρητικότητας 8.331.399 m³ (μαζί με τα παραδοτέα την επόμενη ζετία). Το έτος 2011, οι Έλληνες εφοπλιστές έγραψαν στο βιβλίο παραγγελιών, σύμφωνα με στοιχεία του οίκου GA Moundreas, 347 παραγγελίες νεότευκτων πλοίων από τα οποία 29 αφορούσαν πλοία μεταφοράς LNG με προτίμηση τα ναυπηγεία της Νότιας Κορέας (Hyundai και Daewoo) και της Κίνας (Μπαρδούνιας, 2012).

Εικόνα 5: Χωρητικότητα Ελληνικού Στόλου LNG-2013.



Πηγή: Τράπεζα Πειραιώς

Οι κύριες Ελληνικές ναυτιλιακές που δραστηριοποιούνται σήμερα στην μεταφορά LNG είναι η εταιρεία Thenamaris με συνολικά τρία πλοία, η εταιρεία Almi Gas με δυο νεόκτιστα πλοία, η Alpha Tankers με ένα πλοίο χωρητικότητας 160.000 κυβικών μέτρων. Κυρίαρχη Ελληνική εταιρεία είναι GasLog-Maran με συνολικά 17 LNG πλοία και ακολουθεί η Dynagas με 7 πλοία στον στόλο της. Μικρό ποσοστό της εγχώριας αγοράς κατέχουν οι εταιρείες Cardiff Marine και TENN με ένα πλοίο η καθεμία (Δαγκαλίδης, 2013).

Οι ναυτιλιακές αυτές εταιρείες εμφανίζονται να συγκροτούν τον μεγαλύτερο ανεξάρτητο στόλο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου παγκοσμίως, σε μια περίοδο που οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ετοιμάζονται να προστεθούν στη λίστα με τους μεγαλύτερους εξαγωγείς αερίου στον κόσμο, μαζί με τους Ρώσους, τους Αυστραλούς και τους Καταρινούς. Με την τεχνολογική επανάσταση στην εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου και την ανάγκη για φθηνότερα και καθαρότερα καύσιμα κυρίαρχη, οι εξαγωγές LNG απογειώνονται. Και εδώ εντοπίζεται ένα από τα μεγαλύτερα επενδυτικά στοιχεία στην ιστορία του ελληνικού εφοπλισμού, καθώς η αξία των παραγγελιών και του εν ενεργεία στόλου υπολογίζεται ότι υπερβαίνει τα 12 δισ. δολάρια (Μπέλος, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ LNG TANKERS

2.1 Υγραεροφόρα Πλοία – LNG Tankers

Σύμφωνα με την κωδικοποίηση NACE 2 rev.¹ η θαλάσσια μεταφορά υγροποιημένου αερίου υπάγεται στον κωδικό 50.20 Θαλάσσιες και ακτοπλοϊκές μεταφορές εμπορευμάτων χωρίς όμως να υπάρχει μεγαλύτερη ανάλυση (Eurostat, 2013).

Τα Υγραεροφόρα είναι πλοία σχεδιασμένα και κατασκευασμένα ώστε να μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία που απαιτούν ιδιαίτερη μεταχείριση, τόσο κατά την διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης, όσο και κατά την ίδια τη μεταφορά. Τα πρώτα πλοία τύπου LNG έκαναν την εμφάνισή τους στα μέσα της δεκαετίας του 1950 και η διάρκεια κατασκευής τους μπορεί να απαιτήσει έως και 3 χρόνια, λόγω των ειδικών υλικών και σχεδιαστικών απαιτήσεων (Woodward & Pitblado, 2010).

Γενικότερα, τα πλοία μεταφοράς LNG θεωρούνται από τα πιο ασφαλή πλοία στον εμπορικό στόλο σήμερα. Όσον αφορά τη βιοτεχνία της ναυπηγικής, έχει δημιουργηθεί η φήμη ότι είναι πολύ καλά σχεδιασμένα, κατασκευάζονται, συντηρούνται και λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να πετυχαίνεται και να εξασφαλίζεται η ασφάλεια (Vanemetal., 2007).

¹European Classification of Economic Activities (NACE). Η κωδικοποίηση NACE 2 rev είναι το αποτέλεσμα μιας μακρόχρονης διαβούλευσης που διήρκεσε πέντε χρόνια στην οποία συμμετέχουν η Ευρωπαϊκή Ένωση, Εθνικές Στατιστικές Υπηρεσίες, η Ένωση Ευρωπαϊκού Εμπορίου και Επιχειρήσεων, η Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα και το Τμήμα Στατιστικής των Ηνωμένων Εθνών. Το έργο έχει συντονιστεί από την Eurostat. (STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMUNITIES)

2.2 Το Πρώτο Tanker –Πρότυπο

Οι αποστολές Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου μέσω της θαλάσσιας οδού ξεκίνησαν ως αποτέλεσμα σημαντικής πίεσης να γίνει χρήση των πρόσφατα ανακαλυφθέντων αποθεμάτων φυσικού αερίου και να γίνει διακοπή της καύσης ενός προϊόντος που μπορούσε να αποδειχτεί αρκετά χρήσιμο (Woodward & Pitblado, 2010).

Στην δεκαετία του 1950, οι εταιρείες Union Stock yards, Chicago and Continental Oil κάτω από την κοινή επωνυμία Constock, εξερεύνησαν για πρώτη φορά την ιδέα μεταφοράς και χρησιμοποίησης υγροποιημένου αερίου. Το πλάνο τους ήταν να αγοράσουν αέριο από τον Κόλπο του Περσικού, να το υγροποιήσουν, να το μεταφέρουν δια της θαλάσσιας οδού και να το διοχετεύσουν στην βιομηχανία επεξεργασίας φαγητού.

Παρόλο που οι αρχικές οικονομικές προβλέψεις έδειχναν ευσίωνες, ο Αμερικάνικος Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων FDA (Food and Drug Administration USA) δεν ενέκρινε την ιδέα αυτή, καθώς φοβόταν τη μόλυνση των τροφίμων. Μετά από την αποτυχία λήψης της πολυπόθητης έγκρισης από τον Αμερικάνικο Οργανισμό η εταιρεία Union Stock yards αποχώρησε από το σχήμα αυτό (Noble, 2009).

Παρά τα πολλά γραφειοκρατικά προβλήματα, η εταιρεία Constock έρχεται σε συμφωνία με το Βρετανικό Συμβούλιο Αερίου για να κατασκευαστεί το πρώτο πλοίο-μεταφορικό μέσο για υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το πρώτο LNG Tanker, με την ονομασία Methane Pioneer, απέπλευσε στις 25 Ιανουαρίου 1956 από τον ποταμό Calcasieu στον κόλπο της Λουϊζιάνας και μετά από 27 ημέρες ταξιδιού έφτασε στον προορισμό του, το Ηνωμένο Βασίλειο. Με χωρητικότητα 5034 τόνους και 5 πρισματικές δεξαμενές, το Methane Pioneer αποτελούσε ένα ανακατασκευασμένο φορτηγό πλοίο του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου και η μεταμόρφωση του αποτελεί σημαντικό γεγονός καθώς απέδειξε πως πλέον η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι δυνατόν να επιτευχθεί με ασφάλεια (Γεωργίου, 2015).

Με μήκος 103.2 μέτρα (338,5 πόδια-ft), πλάτος 15.24 μέτρα (50,0 πόδια-ft), βύθισμα 5.49 (18 πόδια-ft) το Methane Pioneer ήταν το πρώτο ντιζελοκίνητο πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου που είχε την ικανότητα να ξεφορτώσει στην θάλασσα (Noble, 2009).

Εικόνα 6: Μοντέλο του Methane Pioneer.



Πηγή: sciencemuseum.org.uk

Το 1960, η εταιρεία SHELL ενώνεται με την εταιρεία Constock, η οποία ήταν εταιρεία πρωτοπόρος στην μεταφορά φυσικού αερίου, και σχηματίζουν την Conch International Methane Limited, διεθνούς εμβέλειας, η οποία μετακινήθηκε από τα αποθέματα της Βενεζουέλας στα προσφάτως ανακαλυφθέντα αποθέματα φυσικού αερίου της Αλγερίας (Curt, 2004).

2.3Η Εξέλιξη στην Κατασκευή LNG

Μετά την παράδοση του φυσικού αερίου στην Αγγλία, μέσα στους επόμενους δεκατέσσερις μήνες, επτά ακόμη φορτία παραδόθηκαν με ελάχιστα έως μηδενικά προβλήματα. Η επιτυχία του Methane Pioneer, οδήγησε την εταιρεία SHELL να παραγγείλει την κατασκευή δυο Tankers, με σκοπό αποκλειστικά την μεταφορά LNG, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το Methane Princess και το Methane Progress ήταν κατασκευασμένα στα ναυπηγεία Vickers Armstrong και Harland & Wolff αντίστοιχα. Τα πλοία αυτά μήκους 189 μέτρα (621 πόδια-ft), πλάτους 25 μέτρα (82 πόδια-ft), εξοπλισμένα με αλουμιένιες δεξαμενές χωρητικότητας 27.000 κυβικών μέτρων (m³) ξεκίνησαν το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου μεταξύ Αλγερίας και Ηνωμένου Βασιλείου το 1964 και υλοποίησαν σχεδόν 1.000 ταξίδια το καθένα μέχρι να καταλήξουν, στα τέλη της δεκαετίας του 1990, για σκράπ (Curt, 2004).

Το 1962 η εταιρεία Phillips ανακαλύπτει πηγή φυσικού αερίου κοντά την πόλη Kenai της Αλάσκα, ενώ σχεδόν ταυτόχρονα, το 1963, η εταιρεία Shell ανακαλύπτει φυσικό αέριο στο Κρατίδιο του Μπρουνέϊ. Και οι δυο εταιρείες επιδίωξαν να κυριαρχήσουν στην αγορά αερίου της Ιαπωνίας. Μετά από μια σκληρή μάχη η εταιρεία Phillips υπογράφει τον Μάρτιο του 1967 το πρώτο συμβόλαιο πώλησης υγροποιημένου αερίου στην Ασία και πιο συγκεκριμένα με την εταιρεία Tokyo Gas και Tokyo Electric (The British Chamber of Commerce in Singapore, 2014).

Στη συνέχεια, προκειμένου να επιτευχθεί η συμφωνία χρησιμοποιήθηκαν δεξαμενές πλοίων οι οποίες είχαν σχεδιαστεί από την εταιρεία Worms & Co στο Παρίσι. Αυτός ο σχεδιασμός έγινε αργότερα γνωστός ως «Gaz Transport design». Καθώς οι απαιτήσεις της Ασίας για Φυσικό Αέριο όλο και αυξάνονταν, τα πλοία χωρητικότητας 37.000 κυβικών μέτρων δεν μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες της Ασιατικής αγοράς. Για αυτό τον λόγο, ναυπηγήθηκαν δύο νέα δεξαμενόπλοια, το Artic Tokyo και το Polar Alaska, χωρητικότητας 71.500 κυβικών μέτρων το καθένα στο ναυπηγείο Kockums της Σουηδίας (Noble, 2009).

Στην Γαλλία, το πλοίο Jules Verne κατασκευάστηκε με σκοπό να μεταφέρει 50 εκατομμύρια κ.π (κυβικά πόδια) φυσικού αερίου την ημέρα από το λιμάνι Azrew την Αλγερία στην Χάβρη. Πολύ σύντομα η Γαλλία ανέπτυξε τον στόλο της κατασκευάζοντας 7 πλοία αποκλειστικά για την μεταφορά LNG. Τα πλοία αυτά ήταν εξοπλισμένα με δεξαμενές από νικέλιο χωρητικότητας 25.000 κυβικών μέτρων και οι οποίες ήταν ένας συνδυασμός γεωμετρικών σχημάτων (Woodward & Pitblado, 2010).

Το 1973 η εταιρεία Höegh ναυπηγεί το πρώτο LNG Tanker με σφαιρικές δεξαμενές, ονομαζόμενο Norman Lady, στο ναυπηγείο Rosenberg στην Νορβηγία (Leroy, 2012).

Λόγω του γεγονότος ότι αποτελεί μια καινοτομία στον χώρο της νηολογίας, το Norman Lady υποβλήθηκε σε πολλούς και πιεστικούς ελέγχους ασφαλείας σε σχέση με όλα τα πλοία τα οποία είχαν κατασκευαστεί μέχρι τότε (Andreassen & Valsgard, 2002).

Ταυτόχρονα με την Ευρώπη, την δεκαετία του 1970, η Αμερική αρχίζει να δείχνει μεγάλο ενδιαφέρον για την ναυπήγηση LNG Tankers. Για το λόγο αυτό, η ίδια η κυβέρνηση χρηματοδοτεί τα αμερικάνικα ναυπηγεία παρέχοντας τους δάνεια και εγγυήσεις. Συνολικά τρία ναυπηγεία δέχτηκαν την πρόκληση αυτή και το αποτέλεσμα ήταν 16 πλοία (Noble, 2009).

Επιπροσθέτως, η μεγάλη κατασκευαστική εταιρία Hyundai παρέδωσε το πρώτο της πλοίου μεταφοράς LNG στις αρχές του 1990. Η εταιρεία Hyundai κατασκεύασε πλοία χωρητικότητας 138.000 κυβικών μέτρων, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο το ναυπηγείο της το πρώτο παγκοσμίως που παράγει τόσο δεξαμενές τύπου Moss όσο και Μεμβρανικές δεξαμενές τέτοιων διαστάσεων. Από την πρώτη παράδοση των πλοίων μεταφοράς LNG πίσω στις αρχές της δεκαετίας του 1990 μέχρι σήμερα η Hyundai έχει διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην κατασκευή των LNG πλοίων (Global Security Organisation).

Χρειάστηκαν τριάντα τρία χρόνια για να φτάσει ο παγκόσμιος στόλος LNG στα 100 δεξαμενόπλοια. Αυτή η αργή αύξηση του στόλου οφείλεται κυρίως στις προκλήσεις της αγοράς και όχι σε τεχνικά προβλήματα (Woodward & Pitblado, 2010).

Περνώντας στα πιο πρόσφατα επιτεύγματα, το δεξαμενόπλοιο Arctic Princess παραδόθηκε στους ιδιοκτήτες του τον Ιανουάριο του 2006 και για εκείνη την περίοδο αποτελούσε το μεγαλύτερο LNG δεξαμενόπλοιο που κατασκευάστηκε στην ιστορία. Με μήκος 288 μέτρα μπορεί να μεταφέρει 147.000 κυβικά μέτρα υγροποιημένο αέριο στις τέσσερις σφαιρικές του δεξαμενές, καθεμία με διάμετρο 42 μέτρα. Αξιοσημείωτο είναι πως ένα πλήρες φορτίο του Arctic Princess μπορεί να καλύψει την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση όλων των νοικοκυριών μιας πόλης 45.000 κατοίκων (www.globalsecurity.org).

Σήμερα, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας καθώς και οι νέες απαιτήσεις σε φυσικό αέριο οδήγησαν σε ναυπηγήσεις μεγαλύτερων πλοίων. Η Qatargas παρήγγειλε δυο πρωτοπόρα πλοία, το Q-Flex και το Q-Max, με χωρητικότητα 210.000 και 260.000 κυβικά μέτρα, αντίστοιχα (Noble, 2009).

Στατιστικά η χωρητικότητα του στόλου των LNG παγκοσμίως, από 5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το 1980, αυξήθηκε σε 35 εκατομμύρια το 2007, φτάνοντας τα 55 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2010(NGR 2007).

2.4 Τύποι Δεξαμενών

Τα πλοία LNG σχεδιάζονται για να μεταφέρουν το φορτίο τους σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία περίπου -162°C . Λόγο αυτής της ιδιαιτερότητας υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αρχικά πρέπει να αποφευχθεί η επαφή της γάστρας του πλοίου με το υγροποιημένο αέριο και επιπλέον να πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές ροές από και προς τις δεξαμενές, ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία και ο όγκος αντίστοιχα (Κυριαζή&Βολάκης,2010).

Κατά την πορεία κατασκευής των LNG πλοίων, υπήρξαν πολλές προσπάθειες, νέα και πρωτοπόρα σχέδια για τον τρόπο και το σχεδιασμό της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, έχουν επικρατήσει δύο κύριοι τύποι πλοίων μεταφοράς LNG. Αυτά που έχουν μεμβρανικού τύπου δεξαμενές, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής του πλοίου και αυτά που έχουν σφαιρικές (Moss-type) δεξαμενές, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από την υπόλοιπη κατασκευή του πλοίου. Από τα δυο τελευταία υπάρχει μια τάση προτίμησης για τα συστήματα μεμβρανικού τύπου λόγω της καλύτερης εκμετάλλευσης του χώρου της γάστρας και λόγω του χώρου που προσφέρουν στο κατάστρωμα (Γεωργίου, 2015).

Οι εταιρείες Gaz Transport και Technigaz, οι οποίες είναι δυο εταιρείες κορυφαίες στην ανάπτυξη των δεξαμενών μεταφοράς LNG, ενώθηκαν και σχημάτισαν την εταιρεία GTT (Saglametal., 2012).

2.4.1 Δεξαμενή Μembrάνης

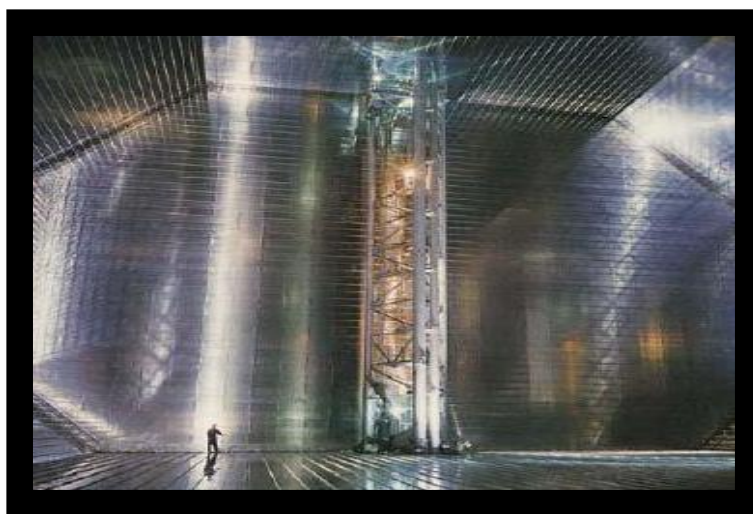
Η τεχνολογία του συστήματος δεξαμενής μεμβράνης ήταν μια σημαντική ανακάλυψη από άποψη κόστους και εισήγαγε ένα νέο σχεδιασμό και μια νέα κατασκευαστική πνοή στη ναυπηγική βιομηχανία. Χορηγοί της ήταν ο Oivind Lorentzen, πλοιοκτήτης από το Όσλο και μια εταιρεία με έδρα στο Ντάλας, οι οποίοι έκαναν επίδειξη μιας χαμηλής θερμοκρασίας ενσωματωμένης δεξαμενής για τις θαλάσσιες μεταφορές υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η τεχνολογία που εμπλέκεται σε αυτό το σχέδιο επιτρέπει τη μείωση του κόστους κατασκευής περίπου 25% και βελτιώνει τη συνολική ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών ΥΦΑ.

Μια δεξαμενή μεμβράνης αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό τοίχωμα (μεμβράνη πάχους 0,5 mm) από σιδηρονικέλιο. Η εξωτερική του πλευρά καλύπτεται από ένα μονωτικό στρώμα πάχους 200 mm συνήθως από περλίτη, στη συνέχεια από μια δεύτερη μεμβράνη ίδια με την πρώτη και

εξωτερικά πάλι από ένα παρόμοιο μονωτικό στρώμα περλίτη. Η μόνωση αυτή ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας από τις δεξαμενές φορτίου.

Η οροφή της δεξαμενής περιορίζει τους ατμούς και σε περίπτωση διαρροής, η δεξαμενή από σκυρόδεμα, σε συνδυασμό με το σύστημα μόνωσης, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μπορεί να συγκρατήσει το υγρό. Οι δεξαμενές μεμβράνης χωρίζονται σε διαμερίσματα και με αυτόν τον τρόπο επιτρέπουν την αποδοτικότερη χρήση του όγκου αποθήκευσης του πλοίου (Woodward & Pitblado, 2010).

Εικόνα 7: Το εσωτερικό μιας δεξαμενής μεμβράνης



Πηγή: Liquefied gas carrier

Στην σχεδίαση της δεξαμενής μεμβράνης MarkIII, κύριο υλικό είναι το ανοξείδωτο ατσάλι και η μόνωση ενισχύεται με πολυουρεθάνη.

Εικόνα 8: Χαρακτηριστικό των μεμβρανικών δεξαμενών είναι η επίπεδη κορυφή



Πηγή: Gaz transport & Technigaz

Μη μόνιμες Πρισματικές Δεξαμενές Μembrάνης

Μια υποκατηγορία των Δεξαμενών Μembrάνης είναι οι μη μόνιμες Πρισματικές Δεξαμενές. Σε αυτόν τον σχεδιασμό γίνεται προσπάθεια να συνδυαστεί η αποδοτική χρήση του κενού μεταξύ του κύτους του πλοίου με τη δομική ανεξαρτησία μιας αυτοστηριζόμενης δομής. Κατά το παρελθόν, αρκετά σκάφη ναυπηγήθηκαν με αυτόν τον τύπο δεξαμενής παρά το γεγονός ότι είναι αρκετά ακριβά. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός πως δεν έχει αναφερθεί κανένα πρόβλημα με αυτού του τις δεξαμενές (Καρώνης κ.λπ., 2007).

Εικόνα 9: Σήμερα μόνο 2 μικρά δεξαμενόπλοια έχουν υιοθετήσει αυτή την μορφή



Πηγή: Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 50 No. 2

2.4.2 Δεξαμενή Moss - Σφαιρικές Δεξαμενές

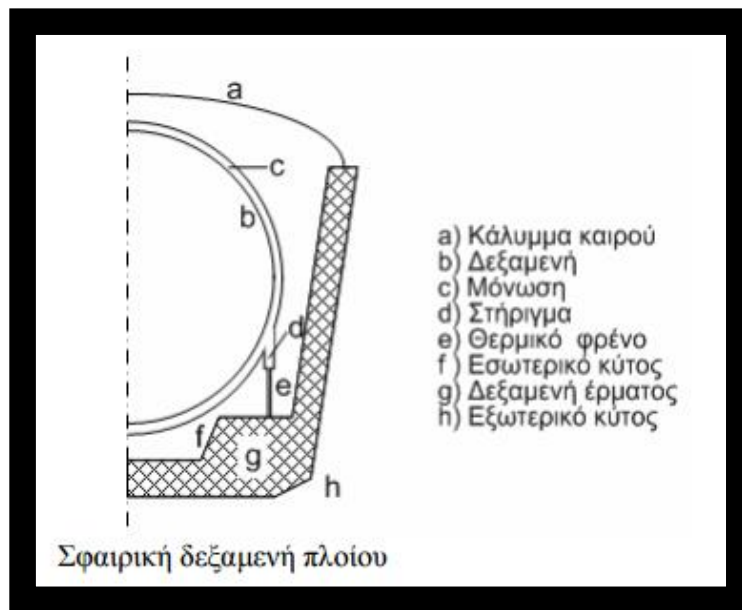
Κατά τα πρώιμα χρόνια σχεδιασμού δεξαμενόπλοιων, οι σφαιρικές μεμβράνες ήταν οι πιο σύνηθες και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες. Παρ' όλα αυτά, σύντομα ο τύπος αυτός δεξαμενών έπεσε σε δυσμένεια από τους ναυπηγούς καθώς με αυτόν τον τρόπο το κλειστό μέρος του κήτους χρησιμοποιείται λιγότερο αποτελεσματικά (Vaudoion, 2000). Η δεξαμενή έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τον κώδικα αεριοφόρων του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ τύπου Β δεξαμενή) (Καλαμαράς, 2013).

Ο συγκεκριμένος τύπος δεξαμενής κατασκευάστηκε για πρώτη φορά από την Νορβηγική εταιρεία Moss Maritime. Το εξωτερικό μέρος της δεξαμενής διαθέτει μια παχιά επίστρωση από αφρώδη μόνωση που είτε εφαρμόζεται στα πάνελ είτε τυλίγεται γύρω από την δεξαμενή στα πιο νέα σχέδια. Πάνω από αυτή την μόνωση υπάρχει μια λεπτή επίστρωση φύλλου αλουμινίου που επιτρέπει την διατήρηση ξηρού περιβάλλοντος. Το περιβάλλον συνεχώς ελέγχεται για τυχόν διαρροή φυσικού αερίου. Επίσης, το εξωτερικό της δεξαμενής ελέγχεται τακτικά (ανά 3 μήνες) για τυχόν επικίνδυνα σημεία που υποδεικνύουν καταστροφή της μόνωσης (Σκαβάρας, 2014).

Κάθε σφαιρική μεμβράνη υποστηρίζεται σε κυλινδρικά στηρίγματα. Κάθε δεξαμενή είναι μονωμένη και τοποθετημένη μεταξύ των διαφραγμάτων σε ένα χωριστό τμήμα του πλοίου. Αυτά τα διαμερίσματα καλύπτονται με αδρανές άζωτο. Συχνά, δείγματα του αζώτου εξετάζονται, δειγματοληπτικά, για να εντοπιστούν διαρροές LNG (Καρώνης κ.λπ., 2007).

Το κύριο χαρακτηριστικό των σφαιρικών δεξαμενών είναι το "equatorial ring", στο οποίο στηρίζεται η δεξαμενή μέσω μιας μεγάλης κυκλικής διάταξης που μεταβιβάζει το βάρος της δεξαμενής στην κατασκευή του πλοίου. Στο εσωτερικό κάθε δεξαμενής, υπάρχει μια σειρά από κεφαλές ψεκασμού. Αυτές οι κεφαλές εφαρμόζονται γύρω από τον δακτύλιο και χρησιμοποιούνται για τον ψεκασμό του LNG στα τοιχώματα της δεξαμενής, ώστε να "πέσει" η θερμοκρασία (Γεωργίου 2015).

Εικόνα 10: Ανάλυση Σφαιρικής Δεξαμενής



Πηγή:(Καρώνης κ.λπ., 2007)

Μια συνήθης πρακτική είναι να διατηρείται 5-10% του φορτίου μετά την εκφόρτωση σε μια δεξαμενή, για την ψύξη δεξαμενών οι οποίες δεν διαθέτουν καθόλου φορτίο πριν την πρώτη φόρτωση ή ύστερα από δεξαμενισμό. Αυτό πρέπει να γίνει σταδιακά διότι διαφορετικά η απότομη αλλαγή θερμοκρασίας θα καταστρέψει τις δεξαμενές. Η διάρκεια της ψύξης είναι περίπου 36 ώρες σε μια δεξαμενή τύπου Moss, οπότε η ψύξη των δεξαμενών γίνεται πριν την άφιξη στο λιμάνι και κατά αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος (Σκαβάρας, 2014).

Οι σφαιρικές δεξαμενές έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής, είναι περίπου 20% ακριβότερες από τα πλοία με δεξαμενές μεμβράνης, και απαιτούν περισσότερο χρόνο για την κατασκευή τους. Στατιστικά, για ένα δεξαμενοφόρο με σφαιρικές δεξαμενές χωρητικότητας 145.000 κυβικών εκατοστών χρειάζονται 26-28 μήνες κατασκευής, ενώ για ένα αντίστοιχο με δεξαμενές μεμβράνης χρειάζονται 24 μήνες (Dorigoni et al., 2008).

Τα πλοία με σφαιρικές δεξαμενές έχουν το μειονέκτημα της μειωμένης ορατότητας μπροστά από τη γέφυρα του πλοίου, ενώ είναι αρκετά πιο ευάλωτα σε πλάγιους ανέμους λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας (Τσαλικίδη,2009).

Οι δεξαμενές μεμβράνης και οι σφαιρικές δεξαμενές σχεδιάστηκαν με για πολύ μεγάλους όγκους δεξαμενών και έχουν αρνητικό αντίκτυπο στα μεσαίου μεγέθους δεξαμενόπλοια.

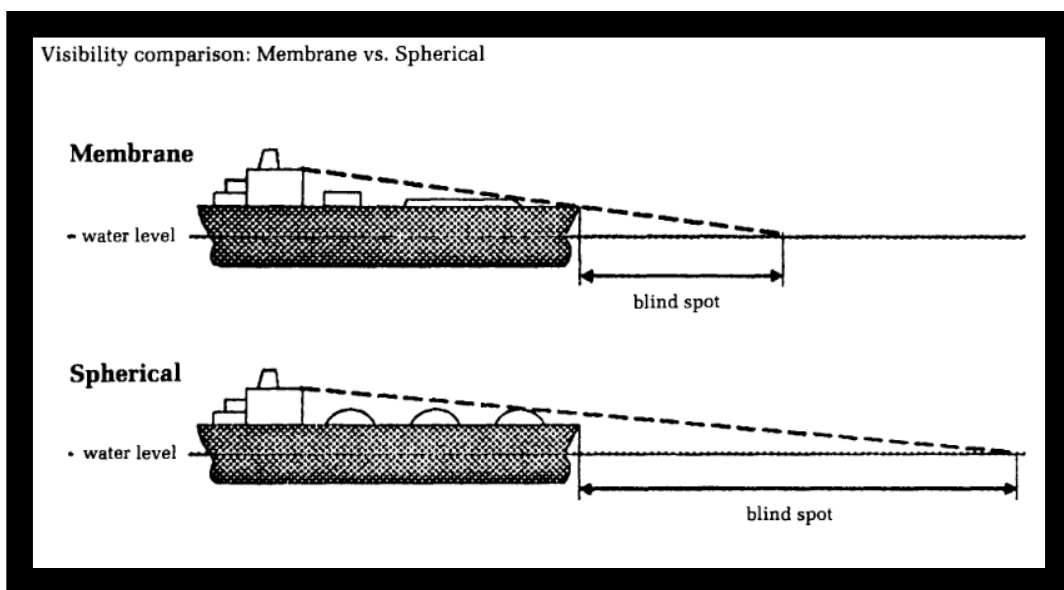
Εικόνα 11: Οι σφαιρικές δεξαμενές επεκτείνονται πάνω από το κατάστρωμα και απαιτούν θολωτά καλύμματα



Πηγή: Energy and Resources

Συγκρίνοντας τα δυο είδη δεξαμενών, η κύρια διαφορά τους είναι πως οι δεξαμενές μεμβράνης χρησιμοποιούν καλύτερα τον όγκο του πλοίου. Παρόλα αυτά, έχει παρατηρηθεί πως οι δεξαμενές μεμβράνης έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα διαρροής και η επισκευή τους είναι ιδιαίτερα ακριβή (Moon,etal., 2005).

Εικόνα 12: Σύγκριση ορατότητας των δυο τύπων δεξαμενών.



Σε αντίθεση με τα τυπικά πλοία που κατατάσσονται με βάση το βάρος τους, τα LNG πλοία κατατάσσονται με βάση τον όγκο τους. Ο λόγος είναι πως το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει λιγότερη από τη μισή μάζα του νερού στον ίδιο όγκο (περίπου 0,45 κιλά/λίτρο), και αυτό εξηγεί γιατί το βύθισμα όταν είναι φορτωμένο διαφέρει ελάχιστα από το βύθισμα έμφορτο. Συχνά, αυτό δημιουργεί δυσκολίες στο χειρισμό σε λιμάνια με αέρα, λόγω της μεγάλης επιφάνειας που παρουσιάζουν (Τσαλικίδη,2009).

Το μέσο μέγεθος των πλοίων μεταφοράς LNG έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Το 2013 η μέση χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου ήταν 150.000 κυβικά εκατοστά. Οι κατασκευαστές επιδεικνύουν μια κλίση προς τα μεγάλα μεγέθους πλοία, με την χωρητικότητα των νεότευκτων LNG σήμερα να φτάνουν τα 165.000 κυβικά μέτρα χωρητικότητα (IGU, 2014).

Οι διαστάσεις των σύγχρονων πλοίων είναι εξωπραγματικές. Ένα τυπικό δεξαμενόπλοιο έχει πέντε δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου αερίου. Το μεγαλύτερο πλοίο σήμερα είναι το Q-Maxto οποίο σχεδιάστηκε να μεταφέρει να αποθέματα υγροποιημένου φυσικού αερίου του Κατάρ (Pitblado & Woodward, 2011).

2.5. Κατασκευαστές

Όσον αφορά τους κατασκευαστές, σήμερα, δυο ήπειροι έχουν ναυπηγεία τα οποία είναι ικανά να κατασκευάσουν πλοία μεταφοράς LNG. Οι ήπειροι αυτοί είναι η Ευρώπη και η Ασία. Αρχικά, η Ευρώπη είχε το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς στις παραγγελίες κατασκευής, ενώ από το 2006 και έπειτα τα ναυπηγεία της Ανατολής έρχονται πρώτα στην προτίμηση όσων επιθυμούν να κατασκευάσουν ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου αερίου. Δεδομένου ότι η ίδια η μετατόπιση πραγματοποιήθηκε και στο εμπόριο, είναι ευκόλως κατανοητό διότι οι αγοραστές δείχνουν προτίμηση στα ναυπηγεία της Ασίας. Καθώς οι κύριες χώρες κατανάλωσης LNG, ιδιαίτερα η Κορέα και η Ιαπωνία, είναι έντονα βιομηχανοποιημένες χώρες ήταν αναμενόμενο να ήθελαν ένα μεγάλο κομμάτι της μεταφοράς LNG – ένα μονοπάτι το οποίο αργότερα ακολούθησε κι η Κίνα. Κατά τα πρώτα χρόνια οι ευρωπαίοι νηολόγοι και σχεδιαστές έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην σχεδίαση αυτών των πολύ ιδιαίτερων πλοίων. Σήμερα, τα Ασιατικά ναυπηγεία κυριαρχούν στην ναυπηγική βιομηχανία, με την Κορέα να είναι ο κυρίαρχος στην κατασκευή LNG πλοίων συγκεκριμένα (Tusian & Shearer, 2007).

2.6 Σχεδιαστικά Στοιχεία

Τα πλοία LNG αποτελούνται από δυο βασικά στοιχεία, την γάστρα και τον κρουγονικό τομέα, όπου είναι το τμήμα του πλοίου το οποίο διασφαλίζει τη σωστή φύλαξη του φορτίου. Είναι πολύ σημαντικό, όλου του τύπου τα πλοία, να κατασκευάζονται με διπλά τοιχώματα, τόσο στον πυθμένα όσο και στα πλαϊνά, έτσι ώστε να υπάρχει η ελάχιστη διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου σε περίπτωση ρήγματος ή σε περίπτωση ατυχήματος (Αδαμαντίδης, 2008).

Σύμφωνα με την Lloyd's Register ², η γάστρα του δεξαμενόπλοιου κατασκευάζεται συνήθως από έναν συνδυασμό βαθμών ελαφρού χάλυβα σύμφωνα με την θερμοκρασία που επικρατεί μέσα σε αυτήν. Βασικός σχεδιαστικός σκοπός είναι η αποφυγή της άμεσης επαφής του LNG με την μεταλλική κατασκευή της γάστρας του πλοίου ώστε η θερμοκρασία του χάλυβα να μην πέσει πιο κάτω από εκείνη για την οποία έχει δοκιμαστεί και εγκριθεί.

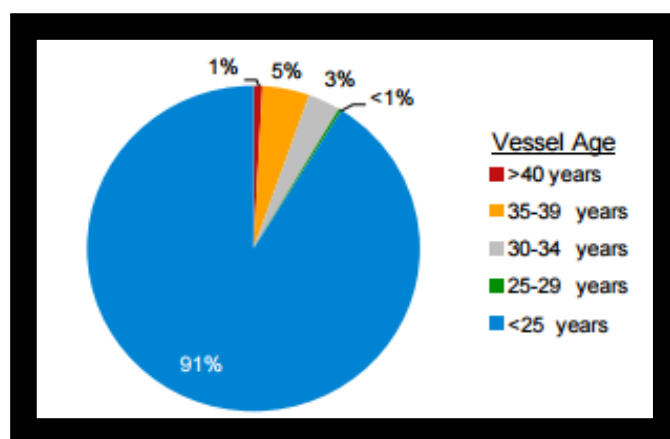
² Η Lloyd's Register είναι ένας κορυφαίος παγκόσμιος Φορέας Πιστοποίησης Συστημάτων Διαχείρισης, ο οποίος παρέχει υπηρεσίες πιστοποίησης, επαλήθευσης και εκπαίδευσης σε πλήθος εταιρειών ανά τον κόσμο. (Πηγή: <http://www.greece.lrga.com/>)

Όσο αφορά στα μηχανολογικά στοιχεία των LNG tankers, τα παλαιότερα πλοία χρησιμοποιούσαν συμβατικούς κινητήρες ατμού, ενώ τα νεότερα πλοία χρησιμοποιούν κινητήρες ντίζελ χαμηλής ταχύτητας. Τα σημερινά πλοία έχουν εξοπλιστεί επίσης με διπλούς κινητήρες ντίζελ έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ασφάλεια (Gkonis & Psaraftis, 2009). Αυτού του τύπου τα LNG πλοία είναι, σε γενικές γραμμές, λιγότερο ρυπογόνα από άλλου τύπου πλοία της ναυτιλίας, διότι μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο ως καύσιμο (Lloyd's List, 2009).

2.7 Κύκλος ζωής ενός LNG Tanker

Η βιομηχανία έχει αποδείξει ότι ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο συντηρείται σωστά και τακτικά μπορεί να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 20 χρόνια. Η μακροβιότητα ενός δεξαμενόπλοιου οφείλεται σε συνεχείς επενδύσεις των ιδιοκτητών και στην προσκόλληση τους στην τήρηση αυστηρών πολιτικών συντήρησης (Tusiani & Shearer, 2007). Μέχρι τα τέλη του 2013, η μέση ηλικία του παγκόσμιου στόλου πλοίων LNG ήταν κατά μέσο όρο 11 χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη την αλματώδη αύξηση παραγγελιών νέων πλοίων η οποία προέκυψε το 2014. Το ίδιο έτος, το 91% των πλοίων που βρισκόταν σε χρήση ήταν ηλικίας μικρότερης των 25 χρόνων. Σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας, οι πλοιοκτήτες ξεκινούν την απόσυρση των πλοίων όταν αυτά φτάσουν την ηλικία των 30 ετών, κάτι το οποίο δεν αποκλείει κάποια πλοία να λειτουργούν για σχεδόν 40 χρόνια. Σήμερα, το 10% του παγκόσμιου στόλου είναι σχεδόν 30 ετών, με τους ιδιοκτήτες να αρνούνται να τα αποσύρουν και να τα χρησιμοποιούν για μικρής διάρκειας συμβόλαια (IGU,2014).

Εικόνα 13: Μέση ηλικία παγκόσμιου στόλου LNG.



Πηγή: HIS

2.8 Απαιτήσεις Κατασκευής

Έχοντας ως σκοπό την συμμετοχή στην παγκόσμια διακίνηση εμπορευμάτων τα LNG Tankers θα πρέπει, όπως και τα περισσότερα εμπορευματοφόρα πλοία, να πληρούν κάποιες αυστηρές προδιαγραφές.

Το 1976 ο οργανισμός IMO, ένας οργανισμός διαπιστευμένος από τα Ηνωμένα Έθνη, δημοσίευσε τον Διεθνή Κώδικα Μεταφοράς Αερίου (International Gas Carrier Code- IGC Code) με σκοπό να παρέχει ένα διεθνές πρότυπο στην κατασκευή των LNGδεξαμενόπλοιων. Οι απαιτήσεις του κώδικα περιλαμβάνουν κριτήρια σχεδιασμού των δεξαμενών, αποδεκτά υλικά κατασκευής, την τοποθεσία των δεξαμενών και των σωληνώσεων και την ασφάλεια κατά την ναυπήγηση. Σήμερα, όλες οι κυβερνήσεις στηρίζουν τον κώδικα αυτό (Tusiani & Shearer, 2007).

Οι κανονισμοί αυτού του κώδικα, συμπεριλαμβάνουν περιορισμούς ζημιών στις δεξαμενές φορτίου και την επιβίωση του πλοίου σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης, διαρρυθμίσεις του πλοίου για την ασφάλεια του φορτίου, τα υλικά κατασκευής, περιβαλλοντολογικές προδιαγραφές, καθώς επίσης καθορίζει και θέματα πυρασφάλειας (Eygres&Bruce,2012).

Οι κανονισμοί του οργανισμού IMO, σε συνδυασμό με τους τοπικούς κανονισμούς κάθε χώρας, ενσωματώνονται επί το πλείστον σε διεθνείς νόμους. Επιπλέον οι διεθνείς συμβάσεις που διέπουν την ναυτιλία περνούν μέσω του ιδίου οργανισμού. Όμως ο οργανισμός IMO, αυτός καθαυτός, δεν έχει εκτελεστική εξουσία. Κάθε χώρα που έχει συνάψει συμφωνία με τον IMO είναι υποχρεωμένη, μέσω της εθνικής της νομοθεσίας, να εφαρμόσει τις διεθνείς συμβάσεις (Tusiani & Shearer, 2007).

Όλα τα πλοία LNG που κατασκευάστηκαν από το 1976 και μετά αναμένεται να έχουν ενσωματώσει στο σχεδιασμό τους όλα τα χαρακτηριστικά ασφαλείας που συνιστάται από τον οργανισμό IMO και είναι απαραίτητο να διαθέτουν πιστοποιητικό καταλληλότητας (Harris, 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ

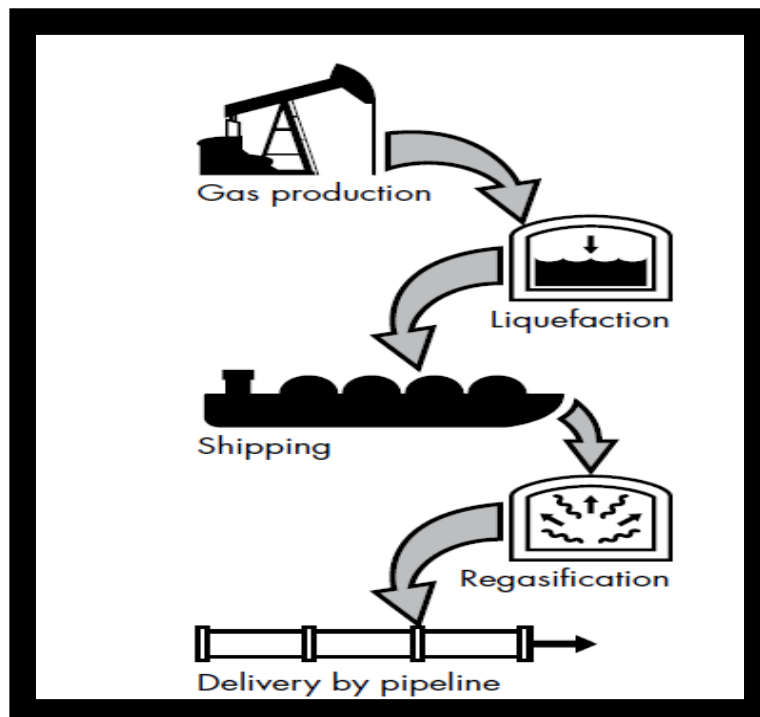
ΑΛΥΣΙΔΑ LNG

3.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα LNG

Η αλυσίδα του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, έχει εξελιχθεί ως μια συνέχεια από ανεξάρτητα και ασύνδετα έργα. Κατά τα πρώτα χρόνια, το φυσικό αέριο είχε θεωρηθεί ως λιγότερο επιθυμητό παραπροϊόν του πετρελαίου, εν αντιθέσει με σήμερα που τα κοιτάσματα θεωρούνται πολύτιμοι φυσικοί πόροι.

Η βιομηχανία LNG ανήκει στην τυπική βιομηχανική αλυσίδα, η οποία αποτελεί μια ολόκληρη αλυσίδα, ξεκινώντας από την εξόρυξη και την εκμετάλλευση του φυσικού αερίου, μέσω της μεταφοράς και της επανααεριοποίησης του μέχρι την κατανάλωση από τον τελικό καταναλωτή (Yaoguangetal., 2007).

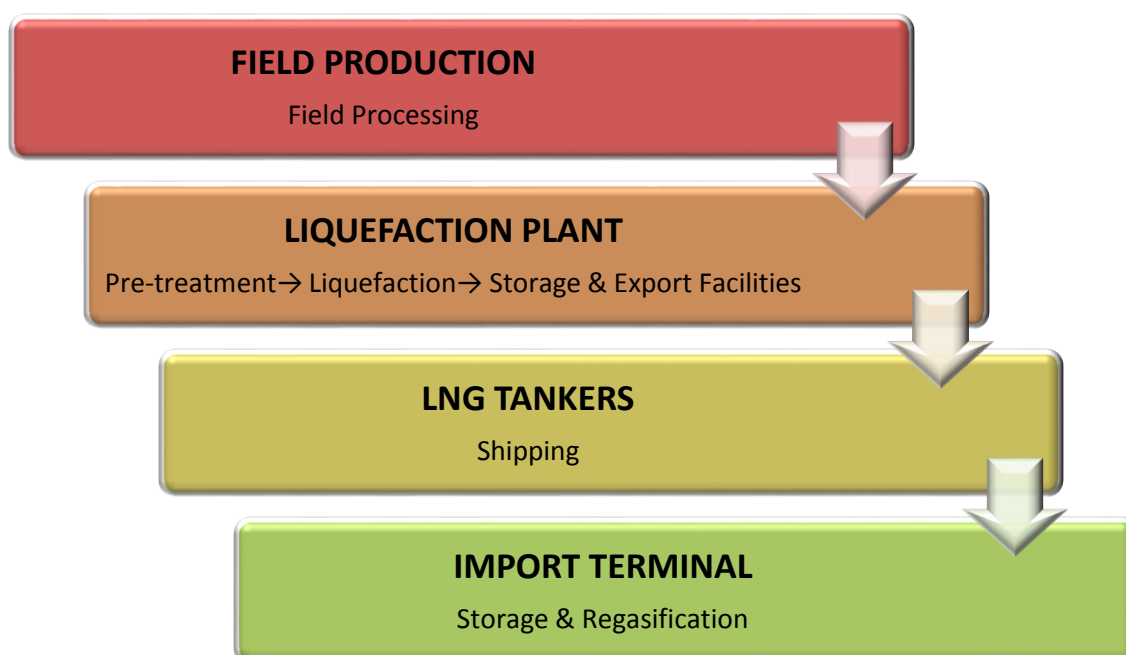
Εικόνα 14: Η αλυσίδα υγροποιημένου φυσικού αερίου



Η αλυσίδα LNG (LNG Chain) περιλαμβάνει το στάδιο της Αναζήτησης-Εξόρυξης, ακολουθεί η φάση της υγροποίησης στις κατάλληλες εγκαταστάσεις, στη συνέχεια η μεταφορά από το σημείο υγροποίησης προς τον τελικό προορισμό και τέλος, η αποθήκευση και αεριοποίησή του (Τσιούπης, 2012).

Στην εφοδιαστική αλυσίδα μπορούν να διακριθούν τέσσερα διαφορετικά στάδια του υγροποιημένου φυσικού αερίου (Σχήμα 4), τα οποία είναι η εξερεύνηση του φυσικού αερίου, η υγροποίηση, η ναυτιλία και η επανααεριοποίησή του. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας για καθένα από αυτά τα στάδια έχει συμβάλει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους και βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποτελεσματικότητας σε κάθε στάδιο, με αποτέλεσμα να έχει ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου στις παγκόσμιες αγορές (Nikhalat et al., 2010).

Σχήμα4. Η εφοδιαστική αλυσίδα LNG



Πηγή: Nikhalat et al (2010)

Η παραγωγή φυσικού αερίου αποτελεί δραστηριότητα μεγάλης έντασης κεφαλαίου και μεγάλων επενδύσεων, καθώς η επεξεργασία του αποτελεί το 15-20% του συνολικού κόστους και η μονάδα υγροποίησης το 30-45% του συνολικού κόστους (αφαίρεση ρύπων και υγροποίηση φυσικού αερίου με τη χρήση των ψυκτικών).

Η μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου (10-30% του συνολικού κόστους) απαιτεί ειδικά δεξαμενόπλοια διπλών τοιχωμάτων και μονωμένα ώστε να μεταφέρουν το φορτίο σε θερμοκρασία -161°C . Λόγω του αυξανόμενου αριθμού των ναυπηγείων τα οποία είναι ειδικά εξοπλισμένα για την κατασκευή δεξαμενόπλοιων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, η τιμή αγοράς ενός τέτοιου δεξαμενόπλοιου μειώθηκε κατά την τελευταία δεκαετία. Επιπλέον, με την αύξηση του μεγέθους των πλοίων και τις τεχνολογικές εξελίξεις στα συστήματα πρόωσης, το κόστος μεταφοράς έχει μειωθεί και αυτό σημαντικά.

Το τελευταίο τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας υγροποιημένου φυσικού αερίου αφορά την αποθήκευση και την επαναεριοποίηση στο τερματικό σταθμό (15-25% του συνολικού κόστους). Μέσω της διαδικασίας επαναεριοποίησης, το υγρό μετατρέπεται σε φυσικό αέριο και στη συνέχεια αντλείται προκειμένου να διανεμηθεί στους τελικούς δέκτες-χρήστες, οι οποίοι μπορεί να είναι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (30% της παγκόσμιας χρήσης), βιομηχανίες πλαστικών και λιπασμάτων (27%) και οικιακοί χρήστες (21%) (ΕΙΑ, 2010).

3.2 Ανάλυση Σταδίων

3.2.1 Αναζήτηση-Εξόρυξη

Η άντληση του φυσικού αερίου είναι μια δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε όλο τον κόσμο.

Στο πρώτο αυτό στάδιο, γίνεται αναζήτηση πηγών φυσικού αερίου από εξειδικευμένους επιστήμονες οι οποίοι αναλύουν τη γεωλογική δομή του εδάφους. Πολλές φορές, το φυσικό αέριο ανακαλύπτεται τυχαία, ενώ γίνεται αναζήτηση πετρελαίου. Μετά από μια σειρά μελετών και εφόσον αποδειχθεί, μέσω αναλύσεων, ότι υπάρχει πιθανότητα να βρεθούν κοιτάσματα αερίου, τότε πραγματοποιείται η γεώτρηση. Αν η πηγή κριθεί βιώσιμη τότε γίνεται η εξόρυξη (Γεωργίου, 2015).

Η πρακτική εντοπισμού κοιτασμάτων φυσικού αερίου έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία είκοσι χρόνια με την έλευση της τεχνολογίας. Στα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης της βιομηχανίας, η αναζήτηση γινόταν με βάση ενδείξεις που υπήρχαν στα επιφανειακά κοιτάσματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Η συνήθης πρακτική ήταν η δημιουργία γεωτρήσεων υπεδάφους πριν υπάρξουν τεκμηριωμένες αποδείξεις ότι υπάρχουν κοιτάσματα στην Γη. Η διαδικασία αυτή, όμως, ήταν δύσκολη και αναποτελεσματική. Σήμερα, με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, οι γεωλόγοι εξετάζουν την επιφάνεια της γης και αναλύουν αν, από γεωλογικής άποψης, υπάρχουν κοιτάσματα εκμεταλλεύσιμα (www.naturalgas.org).

Παρόλα αυτά, η ένδειξη ύπαρξης φυσικού αερίου δεν είναι αρκετή για να πραγματοποιηθεί ένα τόσο μεγάλο πρότζεκτ. Πρέπει να έχουν γίνει εκτενείς μελέτες έτσι ώστε να αποδειχθεί πως υπάρχουν αρκετά κοιτάσματα τα οποία και θα τροφοδοτούν την αγορά με φυσικό αέριο για τα επόμενα 20 με 30 χρόνια (Tusiani & Shearer, 2007).

Μετά από μελέτες των γεωλόγων, μόλις εντοπιστούν ικανά κοιτάσματα φυσικού αερίου τότε ξεκινά η γεώτρηση με τρυπάνι. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι αρκετά δαπανηρή και, επιπροσθέτως, περιλαμβάνει μεγάλο ρίσκο καθώς δεν είναι πάντα βέβαιο πως θα βρεθεί φυσικό αέριο (www.naturalgas.org).

3.2.2 Υγροποίηση

Το επόμενο στάδιο μετά την εξόρυξη είναι η υγροποίηση του φυσικού αερίου. Πιο συγκεκριμένα, το φυσικό αέριο το οποίο αντλείται από την γη, φιλτράρεται σε ειδικές μονάδες. Οι μονάδες υγροποίησης αποτελούνται από αρκετές εγκαταστάσεις σε παράλληλη διάταξη με σκοπό το διαχωρισμό και την αφαίρεση των διαφόρων ξένων ουσιών του φυσικού αερίου πριν την υγροποίηση. Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό εξάγονται, επειδή προκαλούν βλάβη στις εγκαταστάσεις υγροποίησης. Οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες που περιέχονται διαχωρίζονται και πωλούνται ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία πετροχημικών ή σαν καύσιμο. Μετά την επεξεργασία, το φυσικό αέριο υποβάλλεται σε υγροποίηση στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Έτσι, στο παρόν στάδιο, μετατρέπεται σε υγρή μορφή και αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από μεθάνιο. Για να αποκτήσει τη μέγιστη μείωση όγκου, το αέριο υγροποιείται μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας ψύξης που καθιστά δυνατή την ψύξη του αερίου σε θερμοκρασία περίπου -162°C (Γεωργίου, 2015).

Πιο αναλυτικά, η υγροποίηση του φυσικού αερίου πραγματοποιείται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο, απομακρύνεται από το φυσικό αέριο όλη η υγρασία και άλλα στοιχεία που περιέχονται. Στο δεύτερο στάδιο, ακολουθεί η ψύξη στους -35°C ώστε να γίνει διαχωρισμός των βαρύτερων υδρογονανθράκων από το μεθάνιο. Αυτή η επεξεργασία έχει ως αποτέλεσμα το υγροποιημένο φυσικό αέριο να είναι πιο καθαρό και να έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο σε σχέση με το μη υγροποιημένο φυσικό αέριο. Στο τρίτο, και τελικό στάδιο, το φυσικό αέριο ψύχεται στους -160°C οπότε μεταβαίνει στην υγρή φάση, η οποία έχει την εμπορική ονομασία LNG (Φλέσσας, 2009).

Η υγροποίηση του Φ.Α. λαμβάνει μέρος σε ειδικές διατάξεις σωληνώσεων που αποκαλούνται "trains". Η δυναμικότητάς τους φτάνει τα 3–4 εκατομμύρια τόνους LNG ετησίως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραγωγική μονάδα στο Τρινιντάντ της Κεντρικής Αμερικής η οποία κατασκευάστηκε τον Μάρτιο του 2004. Η διαδικασία της υγροποίησης απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα ποσοστό (5-15%) του φυσικού αερίου ως καύσιμο για το εργοστάσιο (Φλέσσας, 2009).

Εικόνα 15: Εγκαταστάσεις LNG Company of Trinidad and Tobago.



Πηγή: Atlantic LNG Co

Οι εγκαταστάσεις υγροποίησης του φυσικού αερίου αποτελούνται από τις εξής τρεις μονάδες (Κροκίδης, 1991):

1. Μονάδα Επεξεργασίας: Στη μονάδα αυτή το φυσικό αέριο επεξεργάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά σωματίδια του διοξειδίου του άνθρακα, του νερού και των διαφόρων συστατικών τα οποία λόγω υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών υπάρχει πιθανότητα να δημιουργήσουν προβλήματα στην μονάδα.
2. Μονάδα Υγροποίησης: Είναι η μονάδα στην οποία το φυσικό αέριο αλλάζει κατάσταση από αέριο σε υγρό μέσω κατάλληλων διαδικασιών.
3. Βοηθητική Μονάδα: Εδώ ανήκουν βοηθητικές μονάδες όπως αυτή της πυρασφάλειας και της προστασίας από διαρροές.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι υγροποίησης του φυσικού αερίου, όπου ανάλογα με τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται η κατάλληλη, (Καρώνης κ.λπ., 2007; Γρομπανόπουλος,2013):

1. **Διαδικασία Ψύξης σε Σειρά:** Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί συστοιχίες απλών ψυκτικών μονάδων σε σειρά και είναι από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν. Κάθε ψυκτικός κύκλος παρέχει ψύξη σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται κυρίως προπάνιο, αλλά και αιθυλένιο και μεθάνιο, για να παρέχεται μια ευρεία και ισορροπημένη σειρά ψύξης. Μετά από τη συμπίεση, διαμορφώνονται τρία επίπεδα θερμοκρασιών για καθένα από τα τρία ψυκτικά και έτσι δημιουργείται μια ακολουθία εννέα βαθμίδων. Κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας αντιστοιχεί σε μια προκαθορισμένη ελάττωση πίεσης για την εξάτμιση του ψυκτικού σε εναλλαγή θερμότητας με την τροφοδοσία φυσικού αερίου και ένα ξεχωριστό ρεύμα ψυκτικού που απαιτεί ψύξη. Με αυτόν τον τρόπο, αφαιρείται θερμότητα από το φυσικό αέριο σε διαδοχικά χαμηλότερες θερμοκρασίες δηλαδή, το ψυκτικό βράζει σε διαδοχικά χαμηλότερη πίεση.
2. **Διαδικασία Ψύξης με Μίγμα Ψυκτικών:** Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί έναν ιδιαίτερα σύνθετο σχεδιασμό και υψηλό κόστος επένδυσης εγκατάστασης κάτι το οποίο δεν την καθιστά ελκυστική. Σύμφωνα με την διαδικασία, χρησιμοποιείται συνδυασμός ψυκτικών όπως βουτάνιο, προπάνιο, άζωτο πεντάνιο σε κατάλληλες αναλογίες. Η διεργασία με μίγμα ψυκτικών αυτή έχει αποδώσει καλά σε διάφορες εγκαταστάσεις και είναι μια απλοποιημένη διαδικασία σε σύγκριση με την Διαδικασία Ψύξης σε Σειρά. Εντούτοις, δεν είναι αρκετά αποδοτική ώστε να είναι οικονομική.
3. **Διαδικασία με Μίγμα Ψυκτικών και Προκαταρκτική Ψύξη,** η οποία αναπτύχθηκε στις αρχές τις δεκαετίας του '70 και αποτελεί συνδυασμό των δυο προηγούμενων. Η διαδικασία αυτή είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη και χρησιμοποιεί δυο χωριστά συστήματα ψύξης, έναν κύκλο ψύξης με προπάνιο σε σειρά και ακολουθεί ψύξη με ένα μείγμα ψυκτικών που περιλαμβάνει προπάνιο, αιθάνιο, μεθάνιο και άζωτο.

Οι πρώτες εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου στην Αλγερία και την Αλάσκα χρησιμοποιούσαν την μέθοδο Ψύξης με Μίγμα Ψυκτικών χρησιμοποιώντας ως ψυκτικό προπάνιο, αιθυλένιο και μεθάνιο. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις όμως χρησιμοποιείται ως μέθοδος ψύξης η Διαδικασία με Μίγμα Ψυκτικών και Προκαταρκτική Ψύξη. Ωστόσο, οι έρευνες έχουν δείξει πως τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων είναι παρόμοια (Αχνιώτης, 2012).

3.2.3 Μεταφορά Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια, τα LNG Tanker, τα οποία, όπως έχει αναλυθεί, είναι σχεδιασμένα ειδικά για να χειρίζονται την χαμηλή θερμοκρασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου και τα οποία είναι μονωμένα για να περιορίζουν την απώλεια υγροποιημένου αερίου λόγω εξάτμισής του. Οι απώλειες αυτές χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση των καυσίμων των πλοίων. Σύμφωνα με το World Gas Intelligence (2008), σε ένα τυπικό ταξίδι εκτιμάται ότι περίπου το 0,1% - 0,25% του φορτίου ΥΦΑ εξατμίζεται κάθε μέρα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της μόνωσης και την ταχύτητα του ταξιδιού. Σε ένα ταξίδι 20 ημερών μπορεί να εξατμιστεί από το 2%-6% του συνολικού όγκου του εμπορεύματος που βρίσκεται στις δεξαμενές.

Από την στιγμή που το φυσικό αέριο βρίσκεται στις δεξαμενές των πλοίων σε κατάσταση βρασμού, μέρος του φορτίου εξατμίζεται σε καθημερινή βάση. Το ποσοστό του αερίου που εξατμίζεται, είναι συνάρτηση της χωρητικότητας των δεξαμενών και στις οποίες μεταφέρεται και όπως προαναφέρθηκε, το φυσικό αέριο που εξατμίζεται χρησιμοποιείται ως καύσιμο από τα ίδια τα LNG Tanker. Λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας του φυσικού αερίου στους -160°C περίπου, το ίδιο το υγροποιημένο αέριο είναι αυτό που διατηρεί την θερμοκρασία της δεξαμενής χαμηλή. Επομένως, αν μια δεξαμενή μεταφοράς αδειάσει, σταδιακά, θα ανέβει και η θερμοκρασία της. Λόγω του γεγονότος ότι είναι δαπανηρό να ψύξουν τις δεξαμενές του πλοίου πριν από κάθε φόρτωση, πάντα μια μικρή ποσότητα LNG αφήνεται στις δεξαμενές μέχρι να επαναφορτωθεί νέο εμπόρευμα (Gronhaug & Christiansen, 2009).

Το φυσικό αέριο είναι ένα εποχικό καύσιμο. Καθώς χρησιμοποιείται κυρίως για την θέρμανση οικιακών χρηστών, έχει παρατηρηθεί ότι η ζήτηση για φυσικό αέριο είναι μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες. Η αναλογία των φορτίων μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα στην Ευρώπη είναι μεταξύ 1:5 και 1:10. Η παραγωγή, η μεταφορά, η αποθήκευση, και οι εγκαταστάσεις διανομής πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να μπορούν χειριστούν αυτές τις μεταβολές της ζήτησης (Natural Gas Organization, 2013).

Ένας επίσης διαδεδομένος τρόπος μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι με βυτία μεταφοράς. Είναι συνήθως κατασκευασμένες από χάλυβα και έχουν ελεγχθεί σε πίεση 100–500 psi (7–35 bar). Σημειώνεται ότι κατά την μεταφορά, οι δεξαμενές αυτές ποτέ δεν πληρώνονται τελείως, αλλά αφήνεται χώρος για διαστολή, κατά τη μεταφορά, λόγω της αυξομείωσης της εξωτερικής θερμοκρασίας (Κρητικός, 2011).

3.2.4 Αποθήκευση σε Τερματικούς Σταθμούς και Διανομή

Όταν το πλοίο αγκυροβολήσει στο λιμάνι, το υγροποιημένο φυσικό αέριο, μέσω των αντλιών του πλοίου μεταφέρεται στις χερσαίες δεξαμενές αποθήκευσης. Η διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου 12 ώρες (Φλέσσας, 2009).

Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι ένα σημαντικό κομμάτι της αλυσίδας LNG στις οποίες έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό τους καθώς απαιτούν υψηλό κόστος κατασκευής (Καρώνης, κ.λπ., 2007).

Μετά το τέλος του ταξιδιού, όταν φτάσει στον τελικό προορισμό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο, όπως και τα περισσότερα αγαθά μπορεί να αποθηκευτεί για απεριόριστο χρονικό διάστημα (www.naturalgas.org). Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι είτε πάνω από την επιφάνεια της γης είτε κάτω και διατηρούν την θερμοκρασία χαμηλή για να αποφευχθεί το φαινόμενο της εξάτμισης. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο χαρακτηρίζεται ως κρυογονικό και διατηρείται στην υγρή του κατάσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι υπόγειες δεξαμενές πλεονεκτούν έναντι των υπέργειων λόγω της μικρότερης ατμοποίησης αλλά καθώς ελαχιστοποιούν τους κινδύνους διαρροής (Γεωργίου, 2015).

Οι πρώτες δεξαμενές αποθήκευσης κατασκευάστηκαν στην πόλη Κλήβελαντ της Αμερικής, για να καλυφθεί η υψηλή κατανάλωση σε φυσικό αέριο κατά την χειμερινή περίοδο, στις αρχές τις δεκαετίας του 1940. Αρχικά κατασκευάστηκαν τρεις δεξαμενές χωρητικότητας 2500m³ με τοιχώματα από χάλυβα και μόνωση από φελλό. Στο ενδιάμεσο κενό μεταξύ τοιχώματος και μόνωσης υπήρχε άζωτο για την αδρανοποίηση σε περίπτωση διαρροής. Αρκετά χρόνια αργότερα, κατασκευάστηκε μια τέταρτη δεξαμενή. Η τελευταία δεξαμενή είχε χωρητικότητα 4500m³ και ήταν κατασκευασμένη από νίκελ και για την μόνωση χρησιμοποιήθηκε υαλοβάμβακας. Κατά την διάρκεια της αρχικής ψύξης των δεξαμενών, δημιουργήθηκαν κάποιες ρωγμές, οι οποίες και δεν επισκευάστηκαν σωστά. Η παράλειψη αυτή, σε συνδυασμό με τις μικροδομήσεις που δέχονταν οι δεξαμενές λόγω διέλευσης τραίνου κοντά στις εγκαταστάσεις των δεξαμενών, είχε σαν αποτέλεσμα την διαρροή του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε μια από τις τέσσερις δεξαμενές. Στις 20 Οκτωβρίου του 1944, συνέβη στην πόλη Κλήβελαντ, το μεγαλύτερο ατύχημα στην ιστορία του το υγροποιημένου φυσικού αερίου (Κροκίδης, 1991).

Τα σχέδια των δεξαμενών έχουν εξελιχθεί με το πέρασμα των ετών και επιπλέον έχουν εφαρμοστεί περισσότερο πολύπλοκες αναλύσεις δεδομένων ασφαλείας στις εγκαταστάσεις LNG.

Μετά την τροφοδοσία των δεξαμενών με το υγροποιημένο φυσικό αέριο ακολουθεί η επαναεριοποίησή του, η οποία είναι η διαδικασία κατά την οποία το υγροποιημένο φυσικό αέριο θερμαίνεται για να επανέλθει πάλι στην αέρια φάση του. Για να πραγματοποιηθεί αυτό γίνεται χρήση ζεστού νερού για να θερμανθεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο μέσω σωληνώσεων. Η διαδικασία της επαναεριοποίησης απαιτεί ποσά ενέργειας πολύ μικρότερα σε σύγκριση με την ενέργεια που απαιτείται για την υγροποίηση. Αφού ολοκληρωθεί η τελευταία διαδικασία το αέριο προωθείται από μεγάλους συμπιεστές στους αγωγούς διανομής (Φλέσσας, 2009).

Οι εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης και αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι γνωστές με την ονομασία Τερματικοί Σταθμοί. Στην Ελλάδα λειτουργεί ένας τερματικός σταθμός ΥΦΑ στο νησί της Ρεβυθούσας στην Αττική. Ο Σταθμός ΥΦΑ σχεδιάστηκε και λειτουργεί, σύμφωνα με τις αυστηρότερες προδιαγραφές ασφαλείας τόσο για τους εργαζομένους στο νησί όσο και για τους κατοίκους των γύρω περιοχών. Η τεχνική Δυναμικότητα Αεριοποίησης ΥΦΑ του Σταθμού της Ρεβυθούσας είναι ίση με 12.470.000 Nm³ και ο μέγιστος διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος ΥΦΑ είναι ίσος με 110.000 m³ (ΔΕΣΦΑ, 2007).

Εικόνα 16: Τερματικός Σταθμός Ρεβυθούσας.



Πηγή : ΔΕΣΦΑ ΑΕ

Κατά το στάδιο της διανομής, το φυσικό αέριο παραλαμβάνεται από τα περιφερειακά κέντρα αποθήκευσης και μεταφέρεται στους οικιακούς χρήστες και τις βιομηχανίες. Τα δίκτυα διανομής έχουν αυξηθεί με την πάροδο των ετών επειδή έχουν κατασκευαστεί εγκαταστάσεις αερίου σε πολλές πόλεις πολύ πριν ακόμα γίνει διαθέσιμο το φυσικό αέριο. Για αυτόν το λόγο, τα δίκτυα διανομής αποτελούνται από κεντρικούς αγωγούς διαφορετικών διαμέτρων και διαφορετικών υλικών που έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικά έτη (Καρώνης κ.λπ., 2007).

Το αέριο διοχετεύεται μέσω αγωγών σε εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, ενεργοβόρες βιομηχανικές μονάδες και στο δίκτυο διανομής προς τους τελικούς καταναλωτές, ενώ ενδέχεται κάποιες ποσότητες LNG να διοχετεύονται αυτούσιες στην αγορά με ειδικά τραίνα ή φορτηγά μεταφοράς LNG. Πριν από τη μεταφορά του αερίου μέσω αγωγών από το τερματικό προς τα δίκτυα διανομής, μπορεί να ρυθμίζεται η θερμοκρασία του αερίου μέσω αλλαγών της περιεκτικότητας του σε άζωτο ή αναμειγνύοντας το με άλλα αέρια (Δαγκαλίδης, 2013).

3.2.5 Φαινόμενο Εξατμιζόμενων Αερίων (Boil-OffGas -BOG)

Το φαινόμενο των εξατμιζόμενων αερίων, συμβαίνει κατά την αποθήκευση του LNG σε δεξαμενές. Το φυσικό αέριο ψύχεται στους -160°C περίπου για να υγροποιηθεί, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι δεξαμενές στις οποίες αποθηκεύεται, είτε είναι υπόγειες είτε υπέργειες, έχουν ως στόχο να διατηρήσουν την θερμοκρασία του χαμηλή. Αυτό συχνά είναι αδύνατον λόγω της μεταφοράς θερμότητας από το περιβάλλον με συνέπεια να υπάρχουν απώλειες. Αν ο όγκος του φορτίου της δεξαμενής είναι σταθερός, τότε η πίεση του υγροποιημένου φυσικού αερίου αυξάνεται μέσα στην δεξαμενή. Αν η πίεση είναι σταθερή, τότε η θερμοκρασία του υγρού αυξάνεται με αποτέλεσμα να φτάνει σε σημείο βρασμού, και στο οποίο εξατμίζεται. Οι ατμοί που δημιουργούνται αποτελούν το φαινόμενο των εξατμιζόμενων αερίων. Στην περίπτωση των δεξαμενών ΥΦΑ, στόχος είναι να διατηρείται σταθερή η πίεση, οπότε το εξατμιζόμενο αέριο διοχετεύεται με κατάλληλες διατάξεις, είτε προς επανα-υγροποίηση για επανα-αποθήκευση στις δεξαμενές, είτε για τη χρήση του ως καυσίμου (Ursan, 2011).

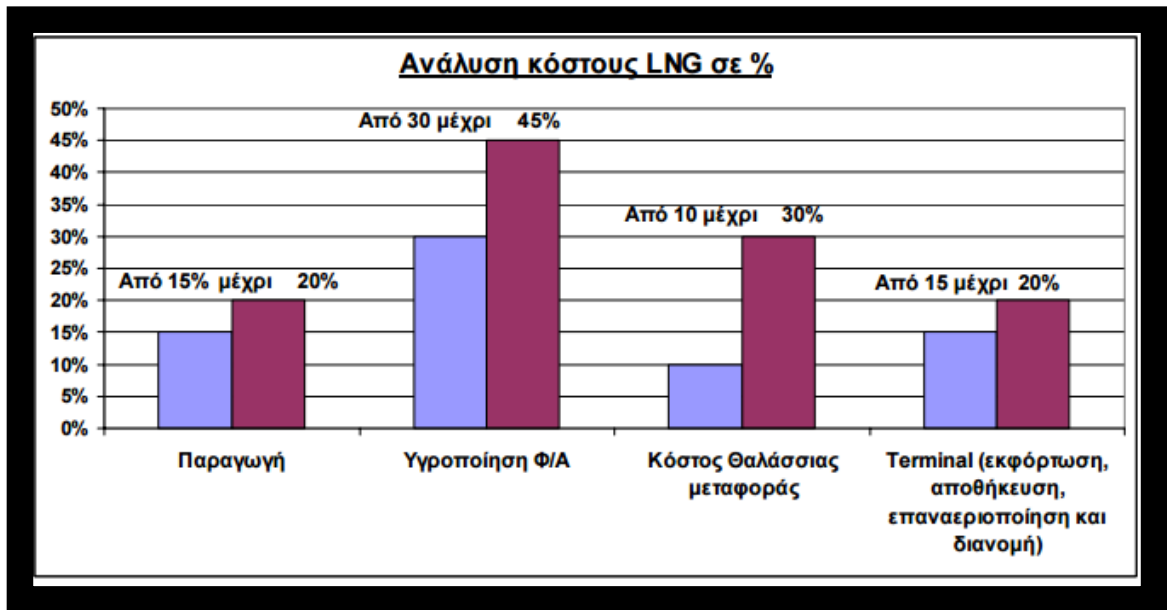
3.3 Επίπεδα Σχεδιασμού Αλυσίδας LNG

Είναι σύνηθες να γίνεται διάκριση μεταξύ τριών επιπέδων σχεδιασμού με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες, κατά το σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού LNG (Stremerschetal., 2008; Andersson etal., 2010):

1. Ο πρώτος είναι ο Μακροχρόνιος Στρατηγικός Σχεδιασμός. Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός περιλαμβάνει συνήθως τις αποφάσεις σχετικά με τις επενδύσεις που είναι απαραίτητες να γίνουν και μακροπρόθεσμες συμβάσεις που θα έχουν αντίκτυπο πολλά χρόνια αργότερα.
2. Ο επόμενος σχεδιασμός Αλυσίδας ΥΦΑ είναι το Ετήσιο πρόγραμμα Διανομής LNG (Annual Delivery Programme –ADP). Αυτός ο σχεδιασμός είναι ουσιαστικά ένα τακτικό πρόβλημα προγραμματισμού με τυπικό χρονικό ορίζοντα 12-18 μήνες. Κατά τον σχεδιασμό του ADP, στόχος είναι να καθοριστεί το βέλτιστο πρόγραμμα στόλου συμπεριλαμβανομένων των ημερομηνιών παράδοσης στους τερματικούς σταθμούς των διαφόρων πελατών. Το πρόγραμμα επίσης θα πρέπει να πληροί τους περιορισμούς των αποθεμάτων ΥΦΑ καθώς και τους περιορισμούς των σύμβασης των πελατών.
3. Τέλος υπάρχει ο Επιχειρησιακός Σχεδιασμός, ο οποίος αφορά την ενημέρωση ή την επανα-ενημέρωση των προγραμμάτων παράδοσης του στόλου λόγω διαφόρων οικονομικών ή λοιπών προβλημάτων.

Η παραγωγή, η υγροποίηση, η μεταφορά καθώς και η αποθήκευση του LNG είναι έργα ιδιαίτερα υψηλής έντασης κεφαλαίου καθώς απαιτούνται μεγάλα κεφάλαια για την δημιουργία των εγκαταστάσεων. Το γεγονός αυτό ευνοεί την δημιουργία μακροχρόνιων συμβολαίων με τους αγοραστές και μειώνει το ρίσκο μιας τόσο ακριβής επένδυσης (Tusiani&Shearer, 2007).

Εικόνα 17: Ανάλυση κόστους σταδίων LNG



Πηγή: LNG Shipping, Barry Rogliano Salles, 2012

3.4Η Ασφάλεια στην Αλυσίδα του LNG

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει μελετηθεί περισσότερο σε σχέση με το πετρέλαιο καθώς αποτελεί ένα δημιούργημα της σύγχρονης εποχής. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ότι είναι ένα ρευστό προϊόν χαμηλής θερμοκρασίας, εύφλεκτο, και το νέφος ατμών που δημιουργεί είναι τόσο πυκνό που μπορεί να προκαλέσει ασφυξία (Καρώνης κ.λπ., 2007).

Στην πάροδο των χρόνων, έχουν υπάρξει ατυχήματα, εντούτοις η βιομηχανία έχει επιδείξει αξιοζήλευτη ασφάλεια τα τελευταία έτη. Σε συνολικό επίπεδο, η βιομηχανία LNG έχει ένα εξαιρετικό ρεκόρ ασφάλειας σε σύγκριση με τα διυλιστήρια και άλλες εγκαταστάσεις πετροχημικών. Περίπου 220 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι υγροποιημένου φυσικού αερίου παραδίδονται ετησίως με ασφάλεια για πάνω από σαράντα χρόνια χωρίς σημαντικά προβλήματα, είτε στα λιμάνια εκφόρτωσης είτε στην ανοιχτή θάλασσα. Η βιομηχανία του υγροποιημένου φυσικού αερίου κατέχει ένα εντυπωσιακό ρεκόρ ασφάλειας, παρ' όλο που από την έναρξη της έχουν παραδοθεί πάνω από 33,000 φορτία LNG παγκοσμίως σε πολυσύχναστα λιμάνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το έτος 2000 όπου στον

κόλπο του Τόκυο εισερχόταν ένα φορτίο LNG κάθε 20 ώρες (Bainbridge, 2002; Parfomak & Flynn, 2004).

Συνολικά 25 ατυχήματα έχουν καταγραφεί στην εξέλιξη της βιομηχανίας του LNG και μόνο σε 5 από αυτά υπήρξαν θύματα. Το μεγαλύτερο δυστύχημα, σε κόστος ζωών, ήταν αυτό στις πρώτες εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου στο Κλήβελαντ της Αμερικής το 1944. Η έλλειψη προδιαγραφών ασφαλείας σε συνδυασμό με το λάθος από ανθρώπινο παράγοντα οδήγησε στον θάνατο 128 ατόμων (Woodward & Pitblado, 2010).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η καθιέρωση αυστηρών προτύπων έκαναν τις εγκαταστάσεις LNG ασφαλέστερες αλλά παρ' όλα αυτά οι κίνδυνοι παρέμεναν καθώς το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Το πιο πρόσφατο δυστύχημα συνέβη τον Ιανουάριο του 2004 σε εγκαταστάσεις υγροποίησης στην Αλγερία και στοίχισε την ζωή σε 27 ανθρώπους ενώ υπήρξαν και 56 τραυματίες (Junnola, Jill et al, 2004).

3.4.1 Πιθανοί κίνδυνοι

Οι πιθανοί κίνδυνοι του υγροποιημένου φυσικού αερίου και οι συνέπειες αυτών, είναι ένα ζήτημα που απασχολεί τους χειριστές των εγκαταστάσεων LNG και τις γειτονικές κοινότητες των εγκαταστάσεων αυτών. Τα τέσσερα διακριτά στάδια διασφάλισης που έχουν σχεδιαστεί παρέχουν πολλαπλά επίπεδα ασφαλείας έναντι των παρακάτω κινδύνων (Foss, 2003; Μπαλαούρας, 2008):

- **Έκρηξη:** πιθανότητα έκρηξης υπάρχει στο φορτίο των δεξαμενών όταν αναφλέγεται ή όταν απελευθερώνεται ανεξέλεγκτα κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης. Για να πραγματοποιηθεί η ανεξέλεγκτη ελευθέρωση πρέπει η δεξαμενή να έχει σπάσει ή τρυπήσει. Δεδομένου ότι το LNG αποθηκεύεται σε ατμοσφαιρική πίεση - δηλαδή, όχι υπό πίεση - μια ρωγμή στην δεξαμενή δεν θα δημιουργήσει μια άμεση έκρηξη.
- **Επαφή με το ψυκτικό υγρό:** καθώς το LNG αποτελεί κρυογονικό υλικό σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με τον άνθρωπο, τότε το σημείο της επαφή παγώνει αμέσως. Για αυτόν τον λόγο, το προσωπικό εγκατάστασης πρέπει να φοράει γάντια, μάσκες προσώπου και άλλα προστατευτικά ρούχα για προστασία από το υγρό κατάψυξης κατά την είσοδό του στις δυνητικά επικίνδυνες περιοχές. Αυτός ο πιθανός κίνδυνος περιορίζεται εντός των ορίων των εγκαταστάσεων και δεν επηρεάζει τις γειτονικές κοινότητες.

- **Σύννεφα Ατμού:** καθώς το LNG απομακρύνεται από μια δεξαμενή με ελεγχόμενη θερμοκρασία, αρχίζει να ζεσταίνεται, επιστρέφοντας από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Αρχικά, το αέριο είναι ψυχρότερο και βαρύτερο από τον περιβάλλοντα αέρα. Έτσι, δημιουργεί μια ομίχλη - ένα νέφος ατμού - πάνω από το υγρό που απελευθερώνεται. Καθώς το αέριο θερμαίνεται λόγω της εξωτερικής θερμοκρασίας, αναμιγνύεται με τον περιβάλλοντα αέρα και αρχίζει σταδιακά να διαλύεται. Το σύννεφο αυτό ατμού μπορεί να αναφλεχθεί εάν συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης.
- **Πυρκαγιά σε πλοίο LNG:** στην περίπτωση που δημιουργηθεί ένα ρήγμα κοντά στις πλευρές του πλοίου μπορεί να τρυπήσει η δεξαμενή αποθήκευσης του LNG και να επιτραπεί η διαρροή του υγρού στην επιφάνεια της θάλασσας. Το LNG είναι ελαφρύτερο από το θαλασσινό νερό. Επιπλέον, χωρίς να αναμιχθεί, στην επιφάνεια του νερού, εξαπλώνεται γρήγορα και είναι εκτεθειμένο στον αέρα. Στη περίπτωση που αναφλεχθεί, η λίμνη του LNG θα καίγεται μέχρι να εξατμιστεί όλο το αέριο. Η πυρκαγιά που καίει χιλιάδες τόνους LNG μέσα σε λίγα λεπτά είναι πολύ μεγάλη, και βρίσκεται έξω από το εύρος της πυροσβεστικής εμπειρίας. Τέτοιες πυρκαγιές δεν μπορούν να καταπολεμηθούν, ενώ η θερμική ακτινοβολία τους μπορεί να προκαλέσει ζημιές στους ανθρώπους και να κάψει κτίρια.

3.4.2 Απροσδόκητη κίνδυνοι

Οι απροσδόκητοι κίνδυνοι είναι διαφορετικοί από τους κινδύνους ρουτίνας που προαναφέρθηκαν, ως προς την αβεβαιότητα για το εάν ή πότε θα μπορούσαν να λάβουν χώρα. Παγκοσμίως, πρέπει να υπάρχουν γενικοί κανόνες επιβολής ασφαλείας για την προστασία όλων των τύπων των εγκαταστάσεων και δημοσίων χώρων, συμπεριλαμβανομένων και τους τερματικούς σταθμούς λειτουργίας LNG. Ένας σοβαρός κίνδυνος είναι η πιθανότητα τρομοκρατικού χτυπήματος τόσο στα πλοία μεταφοράς LNG όσο και στις εγκαταστάσεις στην στεριά. Μετά την τρομοκρατική επίθεση στις ΗΠΑ την 11^η Σεπτεμβρίου έχουν εκφραστεί από την παγκόσμια κοινότητα πολλές ανησυχίες οι οποίες πρέπει να ακουστούν προσεκτικά (Paltrinierietal., 2015).

Κατά την εκτίμηση του κινδύνου των έργων LNG, οι εταιρείες που ασχολούνται με τις εγκαταστάσεις LNG εξετάζουν διεξοδικά τον κίνδυνο από τις έντονες κινήσεις του εδάφους, τις σεισμικές δονήσεις καθώς και τις κατολισθήσεις στην περιοχή. Οι αντισεισμικές απαιτήσεις σχεδιασμού των

εγκαταστάσεων περιγράφονται στα πρότυπα NFPA 59-A³ του 2001. Δεν υπάρχουν γνωστά συμβάντα διαρροών υγροποιημένου φυσικού αερίου από δεξαμενές αποθήκευσης λόγω της σεισμικής δραστηριότητας. Στην πραγματικότητα, το 1995, καμία από τις δεξαμενές αποθήκευσης LNG στο Kobe της Ιαπωνίας δεν υπέστη κάποια ζημιά κατά τη διάρκεια ενός σεισμού 6,8 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ. Η Ιαπωνία είναι ένας από τους μεγαλύτερους χρήστες υγροποιημένου φυσικού αερίου παγκοσμίως με αποτέλεσμα να έχει πολλές δεξαμενές αποθήκευσης. Η Ιαπωνία είναι επίσης μια από τις πιο σεισμικά ενεργές περιοχές του κόσμου (Foss, 2003).

3.4.3 Επίπεδα Ασφαλείας

Υπάρχει διαδεδομένη η αντίληψη πως τα πλοία που μεταφέρουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι πλωτές βόμβες. Επιπλέον, πιστεύεται πως η έκρηξη σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να έχει την δυναμικότητα μια μικρής ατομικής βόμβας. Στην πραγματικότητα όμως, οι στατιστικές δείχνουν κάτι διαφορετικό. Στην υγρή του μορφή το φυσικό αέριο δεν είναι εκρηκτικό. Για να πραγματοποιηθεί μια έκρηξη πρέπει, το ίδιο να εξατμιστεί και να αναμειχθεί με άλλα αέρια (Αχινιώτης, 2012).

Οι συνθήκες ασφαλείας στην βιομηχανία του LNG διακρίνονται σε τέσσερα σημαντικά επίπεδα. Τα επίπεδα αναλύονται ως εξής:

A) Πρωτοβάθμιο Επίπεδο Ασφαλείας:

Αποτελεί το πρώτο στάδιο απαίτησης ασφαλείας και είναι το πιο σημαντικό. Κατά το πρωτοβάθμιο στάδιο, περιγράφονται όλοι οι περιορισμοί που απαιτούνται για την ασφαλή αποθήκευση του LNG. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο, όπως έχει αναφερθεί, αποτελεί κρυογενή ουσία και χρειάζεται σωστή επιλογή υλικών εξοπλισμού ώστε να διαχειρίζονται οι χαμηλές θερμοκρασίες. Το υλικό που χαρακτηρίζεται πιο ασφαλές για την αποθήκευση του LNG είναι ο χάλυβας με υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο, το αλουμίνιο και ο ανοξείδωτος χάλυβας. Το εσωτερικό τμήμα της δεξαμενής κατασκευάζεται από χάλυβα με περιεκτικότητα 9% σε νικέλιο. Επίσης, η εσωτερική δεξαμενή τοποθετείται πάνω σε ένα μονωτικό υλικό το οποίο μοιάζει με αφρό. Τα τοιχώματα των δεξαμενών είναι διπλά, δηλαδή μεταξύ του εσωτερικού τοιχώματος της δεξαμενής και του εξωτερικού υπάρχει ένα κενό στο οποίο

³ Πρότυπο ασφαλείας για την παραγωγή, αποθήκευση, και διαχείριση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. <http://www.nfpa.org>

τοποθετείται μόνωση για προστασία. Η δεξαμενή έχει επίπεδο μεταλλικό πυθμένα και για την κατασκευή της χρησιμοποιείται επίσης σκυρόδεμα. Η αντοχή της δεξαμενής πρέπει να είναι τέτοια, που θα αντισταθμίζει την υδροστατική πίεση που ασκεί το LNG(BP,2007).

Όσο αφορά τις δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στα πλοία μεταφοράς, αυτές κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα και από κράμα σιδηρονικελίου γνωστό με την ονομασία invar. Ως μονωτικό υλικό χρησιμοποιείται αφρώδες πολυβυνιλοχλωρίδιο και περλίτης. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται και άζωτο, το οποίο είναι στοιχείο αδρανές, δηλαδή δεν αντιδρά με άλλα αέρια (Φλέσσας, 2009).

Εικόνα 18: Στις δεξαμενές γίνεται χρήση περλίτη ως μονωτικό υλικό



Πηγή:BP

B) Δευτεροβάθμιο Επίπεδο ασφαλείας

Το δευτεροβάθμιο επίπεδο, αποτελεί επέκταση του πρωτοβάθμιου επιπέδου και διασφαλίζει ότι σε περίπτωση διαρροής LNG, αυτό απομονώνεται και η διαρροή ελέγχεται με τα κατάλληλα μέσα. Μια μέθοδος αποφυγής εξάπλωσης της διαρροής είναι η δημιουργία αναχώματος γύρω από τις δεξαμενές. Ιδιαίτερα στις δεξαμενές μονού τοιχώματος, δημιουργείται μια τάφρος χωρητικότητας μεγαλύτερης από αυτής των δεξαμενών έτσι ώστε σε περίπτωση διαρροής η τάφρος να χρησιμεύσει ως φράγμα και να συγκρατήσει το υγροποιημένο φυσικό αέριο και το ίδιο να παραμείνει ελεγχόμενο. Όσον αφορά τις δεξαμενές διπλού τοιχώματος, το εξωτερικό περίβλημα είναι κατασκευασμένο από 9% νίκελ και ενισχυμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση διαρροής από την εσωτερική δεξαμενή, η εξωτερική είναι σχεδιασμένη να διατηρήσει το υγροποιημένο φυσικό αέριο και τους ατμούς του (BP,2007).

Στατιστικά στοιχεία των χερσαίων εγκαταστάσεων δείχνουν πως το πρωτοβάθμιο επίπεδο ασφαλείας λειτουργεί σωστά αφού ποτέ δεν έχει ενεργοποιηθεί το δευτεροβάθμιο επίπεδο (Φλέσσας, 2009).

Γ) Συστήματα Ασφαλείας

Στο τρίτο επίπεδο ασφαλείας, στόχος του σχεδιασμού ασφαλείας είναι να ελαχιστοποιηθεί η διαρροή του LNG και να αμβλυνθούν οι συνέπειες αυτής της απελευθέρωσης. Για τον παραπάνω λόγο, όλες οι σύγχρονες εγκαταστάσεις LNG είναι εξοπλισμένες με όλα τα απαραίτητα συστήματα ασφαλείας όπως πυρανίχνευση και ανίχνευση υδρογονανθράκων. Το σύστημα ανίχνευσης πυρός βρίσκεται κυρίως στην οροφή των δεξαμενών αλλά και στην προβλήτα φόρτωσης-εκφόρτωσης και είναι συνδεδεμένο με συναγερμό έτσι ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία διακοπής λειτουργίας σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τα συστήματα ανίχνευσης υδρογονανθράκων βρίσκονται τοποθετημένα ανά ορισμένα μέτρα γύρω από τις δεξαμενές καθώς και στην προβλήτα, και ανιχνεύουν, σε περίπτωση διαρροής τους υδρογονάνθρακες που απελευθερώνονται. Η τακτική συντήρηση των συστημάτων αυτών είναι ζωτικής σημασίας για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία τους (Foss, 2003).

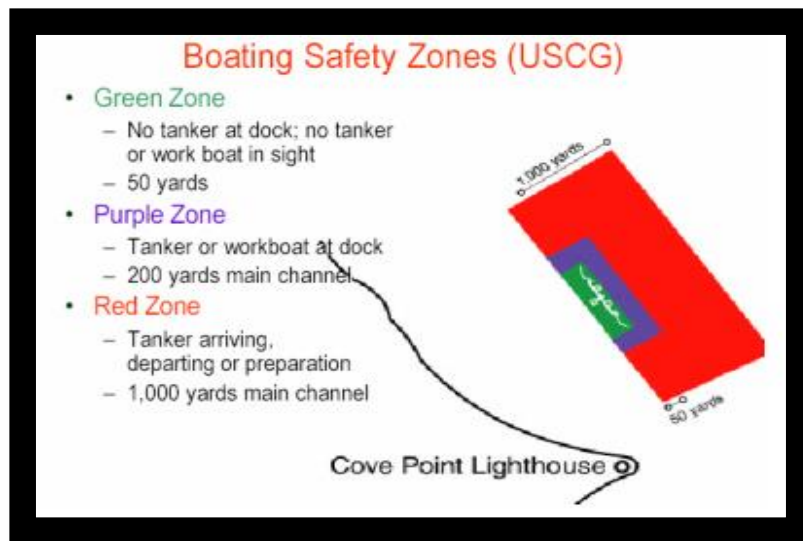
Δ) Ασφάλεια στην Χωροθέτηση

Οι κανονισμοί ασφαλείας καθορίζουν ποια είναι η σωστή οριοθέτηση του σταθμού LNG. Η τοποθεσία κατασκευής είναι ήσσονος σημασίας καθώς πρέπει να έχουν μια ζώνη ασφαλείας για τις περιπτώσεις διαρροής και κυρίως για τις περιπτώσεις πυρκαγιάς. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Φυσικού Αερίου, η χιλιομετρική ακτίνα της ασφαλούς ζώνης μιας εγκατάστασης LNG, υπολογίζεται κάθε φορά ξεχωριστά από ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα των ανέμων που πνέουν στην περιοχή, τη μέση θερμοκρασία και την υγρασία (Φλέσσας, 2009).

Τα πρότυπα οριοθέτησης επίσης υποδεικνύουν την καταλληλότητα της περιοχής για την κατασκευή μιας υποδομής υγροποίησης. Οι εγκαταστάσεις πρέπει να βρίσκονται σε ασφαλή απόσταση από άλλες βιομηχανίες και να μην είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές (Κροκιδάς, 1991).

Οι ζώνες ασφαλείας διαφέρουν για τα πλοία που διέρχονται από ένα σταθμό υγροποίησης σε αντίθεση με τα ελλιμενισμένα πλοία. Οι αποστάσεις ασφαλείας καθορίζονται από την λιμενική αρχή κάθε χώρας καθώς και από τον πλοίαρχο του πλοίου. Οι ζώνες ασφαλείας για τα LNG πλοία έχουν θεσμοθετηθεί για δυο λόγους. Πρώτον, για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα σύγκρουσης του πλοίου και δεύτερον για να προστατευτεί το προσωπικό που βρίσκεται στην αποβάθρα αλλά και οι εγκαταστάσεις (Foss, 2003).

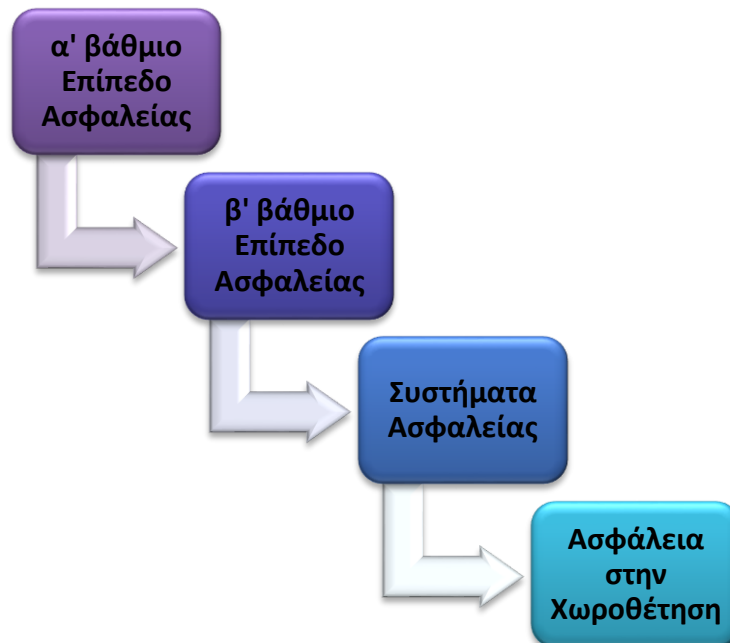
Εικόνα 19: Ζώνη Ασφαλείας Τερματικού Σταθμού Cave Point, USA



Πηγή:Foss

Παρά το απaráμιλλο ιστορικό ασφάλεια των δεξαμενόπλοιων LNG θα πρέπει ακόμα να έχουμε κατά νου ότι μια στιγμιαία, απελευθέρωση ολόκληρου του φορτίου μπορεί να αποτελέσει ένα εξαιρετικά επικίνδυνο και καταστροφικό συμβάν (Bubbico, et al., 2009).

Σχήμα 5: Σχηματική Αναπαράσταση Επιπέδων ασφαλείας



3.4.4 Πρότυπα ασφαλείας

Για την εύρυθμη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδα LNG, αναγκαίος κρίθηκε ο καθορισμός πρότυπων κανονισμών ασφαλείας. Πριν από την κατασκευή της εγκατάστασης υγροποίησης ή της αποθήκευσης φυσικού αερίου, εκπονούνται μελέτες οι οποίες αναλύουν την καταλληλότητα της χωροταξικά, την περιβαντολλογική επίπτωση μιας τέτοιας εγκατάστασης στην Γη, την αξιολόγηση των λειτουργικών περιορισμών και κινδύνων που συνδέονται με την κατασκευή, των τερματικών σταθμών και τη μεταφορά του μέσω της θαλάσσιας οδού του υγροποιημένου φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων και της πιθανότητας σεισμού. Επιπλέον, πραγματοποιούνται εκτιμήσεις πιθανών επιπτώσεων από την ίδρυση και την λειτουργία εγκαταστάσεων για τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν ωκεανογραφικές και μετεωρολογικές αναλύσεις προκειμένου να προσδιοριστεί αν η πρόσβαση από τα πλοία LNG είναι εφικτή και ασφαλής, και εάν η λειτουργία των νεόκτιστων εγκαταστάσεων θα επηρεάσει την λειτουργία των υφιστάμενων πλωτών οδών (Foss, 2003).

Εκτενείς έρευνες που αφορούν τα πρότυπα ασφαλείας έχουν διεξαχθεί κυρίως από τις χώρες που αποτελούν τους μεγαλύτερους παραγωγούς φυσικού αερίου όπως η Αλγερία αλλά και χώρες που εντάσσονται στους μεγαλύτερους καταναλωτές όπως η Ιαπωνία, η Κορέα αλλά και η Ευρώπη. Οι συγκεκριμένες χώρες έπρεπε να κάνουν σημαντικές επενδύσεις σε πολιτικές και κανονισμούς με σκοπό να υποστηρίξουν την ασφάλεια τόσο στις εγκαταστάσεις όσο και στην μεταφορά του LNG. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα ασφαλείας της εφοδιαστική αλυσίδα LNG είναι τα εξής (Φλέσσας, 2009; Foss, 2003):

- EN 1473. Το συγκεκριμένο πρότυπο περιλαμβάνει κανονισμούς που αφορούν τις χερσαίες εγκαταστάσεις φυσικού αερίου και τον απαραίτητο εξοπλισμό.
- EN 1160. Καθορίζει τα γενικά χαρακτηριστικά του LNG.
- EEMUA 147. Αποτελεί ένα σύνολο προτάσεων για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ασφαλών δεξαμενών αποθήκευσης.

Παγκόσμιοι κανόνες και νόρμες έχουν επιβληθεί και διέπουν τη μεταφορά LNG με πλοία και προβλέπουν επίσης την εποπτεία των πλοίων. Τα πρότυπα αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- 33 CFR 160.101 – Ασφάλεια λιμανιών –Έλεγχος πλοίων
- 33 CFR 165.20 – Ζώνες Προστασίας –Ελεγχόμενες περιοχές πλοήγησης πλοίων
- 33 CFR 165.20 –Έλεγχος περιοχών πλοήγησης και περιοχών περιορισμένης ζώνης ασφαλείας.

3.4.5Οι κανονισμοί ασφαλείας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχουν θεσμοθετηθεί την τελευταία εικοσαετία συγκεκριμένοι κανόνες ασφαλείας που διέπουν τις ενέργειες μεταφοράς επικίνδυνων υλών. Οι κανόνες αυτοί έχουν δημοσιευθεί με την μορφή Προεδρικών Διαταγμάτων ή Υπουργικών Αποφάσεων στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως και η συμμόρφωση των εμπλεκομένων σε αυτά είναι υποχρεωτική. Ενδεικτικά, κάποιος από τους κανόνες ασφαλείας της Ελλάδας (Κρητικός, 2011):

- ✚ ΠΔ 419/93 (ΦΕΚ 178/Α/6-10-93) Επικύρωση του Διεθνή Κώδικα LBC για την κατασκευή και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνα χημικά
- ✚ ΥΑ 1218.85/1/97 (ΦΕΚ 101/Β/14-2-97) Αποδοχή των Κωδικών του IMO για τη μεταφορά
- ✚ επικινδύνων χημικών χύμα (BCH) και υγροποιημένων αερίων χύμα (GC). Αναφέρεται και στα πιστοποιητικά καταλληλότητας που πρέπει να φέρουν τα πλοία.
- ✚ ΥΑ 3131.2/01/94 (ΦΕΚ 119/Β/94) και ΥΑ 3131.2/16/96 (ΦΕΚ 453/Β/96) Μέτρα ασφαλείας κατά τις εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης επικινδύνων ουσιών και καταλοίπων που μεταφέρονται από δεξαμενόπλοια από/σε βυτιοφόρα οχήματα για το Λιμένα Θεσσαλονίκης.
- ✚ ΥΑ 3131.2/09/94 (ΦΕΚ 448/Β/94) Μέτρα ασφαλείας κατά τις εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης επικινδύνων ουσιών και καταλοίπων που μεταφέρονται από δεξαμενόπλοια από/σε βυτιοφόρα οχήματα για το Λιμένα Πειραιά
- ✚ ΠΔ 346/94 (ΦΕΚ 183/Α/31-10-94) Αναφέρεται σε αναφορές των πλοίων που καταπλέουν- αποπλέουν σε ελληνικούς λιμένες και μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία. Αναφέρεται στις διαδικασίες της αναφοράς, τις υποχρεώσεις όλων των εμπλεκομένων (πλοιάρχων, πλοηγών, αρμοδίων αρχών κ.λπ.), τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις ασφαλείας του πλοίου, τα απαραίτητα πιστοποιητικά, τα μέτρα σε περίπτωση ατυχήματος κ.λπ..

3.5 Συμβόλαια LNG

Στην περίπτωση του θαλάσσιου εμπορίου LNG, γενικότερα παρατηρείται αύξηση των διαφόρων συμβολαίων στην αγορά, καθώς η ζήτηση και η προσφορά είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Οι 2 κυριότεροι τύποι συμβολαίων παρουσιάζονται παρακάτω.

3.5.1 Βραχυπρόθεσμα Συμβόλαια LNG – Short Term

Παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος του εμπορίου υγροποιημένου φυσικού αερίου εξακολουθεί να λαμβάνει χώρα σε «ανελαστικούς» όρους, τα τελευταία χρόνια την εμφάνιση τους έχουν κάνει τα βραχυπρόθεσμα συμβόλαια τα οποία αντιπροσωπεύουν το 10-15% της συνολικής αγοράς. Παρατηρείται μια αλματώδης αύξηση, αν αναλογιστεί κανείς πως μέχρι το 1997 τα βραχυπρόθεσμα συμβόλαια αποτελούσαν μόνο το 1,5% του παγκόσμιου εμπορίου υγροποιημένου φυσικού αερίου. Οι αλλαγές αυτές αποδεικνύουν την σύγκρουση μεταξύ των δύο δομικά μοντέλα της διεθνούς βιομηχανίας υγροποιημένου φυσικού αερίου, δηλαδή το παραδοσιακό risk – averse μοντέλο που βασίζεται σε συμβόλαια και το μοντέλο της ελεύθερης αγοράς. Τα συμβόλαια αυτά ονομάζονται “spot” και κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι η χρονική διάρκεια δέσμευσης η οποία είναι σχεδόν ένα έτος. Δεν είναι ασυνήθιστο για ένα πλοίο μεταφοράς LNG να αποκλίνει από την αρχική του πορεία με σκοπό να επωφεληθεί από το αρμπιτράζ ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και τις τιμές (Gkonis & Psaraftis, 2009).

Οι κύριες χώρες που δραστηριοποιούνται στην αγορά spot είναι από την μεριά των εισαγωγέων οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ιαπωνία, η Κορέα και η Ισπανία και από την μεριά των παραγωγών το Κατάρ, η Αλγερία, το Ομάν και το Τρινιντάντ (Φλέσσας, 2009).

3.5.2 Μακροπρόθεσμα Συμβόλαια LNG – Long Term

Παρ’ όλα αυτά, στο διεθνές εμπόριο του υγροποιημένου φυσικού αερίου κυριαρχούν τα μακροχρόνια συμβόλαια τα οποία ονομάζονται σύμφωνα αγοράς και πώλησης (SPA, Sales and Purchase Agreements). Τα συμβόλαια αυτά επισυνάπτονται μεταξύ όλων των μερών που αποτελούν μια ολοκληρωμένη αλυσίδα τροφοδοσίας LNG. Στους όρους των συμβολαίων καθορίζονται όροι όπως ποιο πλοίο κάνει την μεταφορά και για ποιο χρονικό

διάστημα, πόσα φορτία θα δέχεται ο τερματικός σταθμός ετησίως, την ποσότητα που πρέπει να υγροποιείται από το εργοστάσιο ετησίως κ.λπ.(Φλέσσας, 2009).

Τα μακροχρόνια συμβόλαια συνάπτονται συνήθως για 20 χρόνια και σκοπός τους είναι να μειωθούν οι οικονομικοί κίνδυνοι για τους επενδυτές του έργου εξασφαλίζοντάς τους την ικανότητα να εξοφλήσουν τα δάνεια που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των εγκαταστάσεων δίνοντας ταυτόχρονα στους μετόχους του έργου την εύλογη απόδοση των επενδύσεών τους. Πιο αναλυτικά, μέσω των συγκεκριμένων συμβολαίων τα εργοστάσια διασφαλίζουν πως η παραγόμενη ποσότητα υγροποιημένου φυσικού αερίου θα διοχετευτεί στην αγορά σε προκαθορισμένη τιμή, κατάλληλη για την επίτευξη κέρδους. Παράλληλα, οι πλοιοκτήτες εξασφαλίζουν πως οι ακριβές τους επενδύσεις θα κερδοφορήσουν δεδομένου πως θα έχουν κλείσει συγκεκριμένο αριθμό δρομολογίων για την μεταφορά φορτίων. Τα συμβόλαια διέπονται από συγκεκριμένους όρους και η παραβίαση των οποίων επιφέρει την επιβολή ποινών. Σχεδόν όλα τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια SPA περιέχουν τις ονομαζόμενες take-or-pay διατάξεις. Όπως δηλώνει και το όνομα, εάν ο αγοραστής παραλείψει να λάβει τις ποσότητες LNG της σύμβασης, θα πρέπει να πληρώσει κανονικά το ποσό που περιγράφεται στο συμβόλαιο, παρόλο που η ποσότητα αυτή δεν έφτασε ποτέ στον προορισμό της (Tusiani & Shearer, 2007; Φλέσσας, 2009).

Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις μεταξύ προμηθευτών και εισαγωγέων, θα συνεχίσουν να κυριαρχούν στο διεθνές εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου αλλά θα προσαρμοστούν στις ανάγκες της αγοράς ενσωματώνοντας πιο ευέλικτους όρους (Gkonis & Psaraftis, 2009).

3.6 Κοστολόγηση Αλυσίδας LNG

Οι εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου βρίσκονται στην υψηλότερη κλίμακα ενεργειακών επενδύσεων. Επιπλέον, απαιτούν τεράστια οικονομική δέσμευση και υψηλά κεφάλαια για την κατασκευή τους. Κύριος λόγος του μεγάλου κόστους κατασκευής είναι η μεγάλες ποσότητες κρυογονικών υλικών που απαιτούνται για να διατηρείται το LNG στην υγρή του μορφή και τα πολύπλοκα συστήματα ασφαλείας που πρέπει να εφαρμόζονται (Bartsch, 1998).

Το τελικό κόστος του LNG εξαρτάται (Φλέσσας, 2009):

- Σε ποσοστό 15-20% από το κόστος εξόρυξης-παραγωγής και μεταφοράς του φυσικού αερίου από την πηγή των κοιτασμάτων στο εργοστάσιο υγροποίησης.
- Σε ποσοστό 30-45% από το κόστος υγροποίησης, προσωρινής αποθήκευσης και φόρτωσης στα πλοία μεταφοράς.
- Σε ποσοστό 10-30% από το κόστος μεταφοράς του υγροποιημένου αερίου από τα LNG Tankers. Το κόστος μεταφοράς προσδιορίζεται κυρίως από το κόστος ναύλωσης ενός πλοίου. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία για την τιμή των ναύλων, θεωρούμε ότι είναι παρόμοιες με τις τιμές ναύλων που αφορούν το πετρέλαιο και οι οποίες κυμαίνονται στα 150.000\$ ημερησίως. Σε περίπτωση που έχουν συναφθεί μακροχρόνια συμβόλαια η τιμή ανέρχεται στα 65.000\$ ημερησίως.
- Σε ποσοστό 15-25% από το κόστος λειτουργίας των τερματικών σταθμών.

Την δεκαετία του 2000, η παγκόσμια προσοχή στρέφεται στο φυσικό αέριο και στην καθαρή μορφή ενέργειας που αποτελεί. Όλο και περισσότεροι επιχειρηματίες επενδύουν στην κατασκευή τερματικών σταθμών με αποτέλεσμα να παρέχονται περισσότερα χρήματα για έρευνα. Νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται με αποτέλεσμα το κόστος της υγροποίησης σταδιακά να μειώνεται (Γεωργίου, 2015).

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Φυσικού Αερίου⁴ (Gas Technology Institute –GTI), το κόστος της Αλυσίδας LNG, και πιο συγκεκριμένα το κόστος υγροποίησης του φυσικού αερίου, έχει μειωθεί περίπου 35-50% τα τελευταία 10 χρόνια.

Με δεδομένα από τον ανεξάρτητο φορέα Διαχείρισης Πληροφοριών Ενέργειας (Energy Information Administration) η κατασκευή ενός εργοστασίου LNG με ικανότητα παραγωγής 8 εκατομμυρίων τόνους ετησίως στοιχίζει 2 δις \$. Περίπου το 50% αφορά την κτηριακή δομή, το 30% τον μηχανολογικό εξοπλισμό και το υπόλοιπο 20% διάφορα έξοδα (EIA,2003).

⁴ Το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Φυσικού Αερίου είναι ένας μη κερδοσκοπικός ερευνητικός οργανισμός. Ειδικεύεται στην έρευνα στην αλυσίδα εφοδιασμού φυσικού αερίου ώστε να προσφέρει αποδοτικές και ασφαλείς λύσεις. (<http://www.gastechnology.org/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΕΛΕΤΗ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ LNG

4.1 Ο Σταθμός ΥΦΑ στην Αδριατική



Ο σταθμός LNG στην Αδριατική είναι η πρώτη παγκόσμια υπεράκτια Gravity Based κατασκευή (Gravity Based Structure - GBS) για την εκφόρτωση, αποθήκευση και επαναεριοποίηση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG). Βρίσκεται 15 χιλιόμετρα ανοικτής θαλάσσης στο Πόρτο Λεβάντε, στη βόρεια Αδριατική Θάλασσα, τοποθετημένος περίπου 15 χιλιόμετρα από τις Ιταλικές ακτές στη βόρεια Αδριατική Θάλασσα. Ο σταθμός αυτός είναι μια state-of-the-art εγκατάσταση η οποία δημιουργήθηκε για να παρέχει στην εγχώρια αγορά φυσικού αερίου μια νέα και αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Ο συγκεκριμένος σταθμός εγκαινιάστηκε τον Οκτώβριο του 2009 και έχει τριπλασιάσει τη δυναμικότητα εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αέριο της Ιταλίας με ονομαστική δυναμικότητα αεριοποίησης 8 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως (775 εκατ. κυβικά πόδια φυσικού αερίου ανά ημέρα). Το προαναφερθέν νούμερο, αντιπροσωπεύει περίπου το 10% της κατανάλωσης φυσικού αερίου της χώρας και βοηθά στην βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού του φυσικού αερίου. Το 92% περίπου της δυναμικότητας της αεριοποίησης έχει δεσμευθεί με μακροπρόθεσμες συμβάσεις και ο Σταθμός λειτουργεί σε ποσοστά της τάξης του 85% από την έναρξη της λειτουργίας του. Τα πλοία μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου φθάνουν στο

αγκυροβόλιο για την εκφόρτωση κάθε 4-5 ημέρες, κατά μέσο όρο. Η ασφάλεια και αξιοπιστία της λειτουργίας του Σταθμού είναι εξαιρετική – καθώς δεν έχει δημοσιοποιηθεί κάποιο σημαντικό ή αξιοσημείωτο ατύχημα που να αφορά το προσωπικό, τις συνολικές διαδικασίες ή κάποιο περιβαλλοντικό συμβάν. Η μελέτη περίπτωσης αυτή περιγράφει τα τεχνικά και επιχειρησιακά επιτεύγματα αυτού του μοναδικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου, τονίζοντας μερικές από τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη λειτουργία του (Mangia & Carlesimo, 2013).

Ο τερματικός σταθμός υγροποίησης φυσικού αερίου στην Αδριατική είναι η πρώτη παγκόσμια υπεράκτια Gravity Based κατασκευή για την εκφόρτωση, αποθήκευση και επαναεριοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ο σταθμός αυτός είναι συνδεδεμένος με το ιταλικό εθνικό δίκτυο διανομής αερίου μέσω αγωγών οι οποίοι διαπερνούν υποβρύχια την εγκατάσταση. Σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και βρίσκεται υπό την λειτουργία της ιταλικής εταιρείας Terminale GNL Adriatico Srl, η οποία ιδρύθηκε το 2005 από τις Qatar Petroleum, ExxonMobil και Edison, οι οποίες ενώθηκαν για να σχηματίσουν της εταιρεία Adriatic LNG. Στην πραγματικότητα, ο σταθμός ξεκίνησε να κατασκευάζεται στην πόλη Algéciras της Ισπανία το 2005 και ολοκληρώθηκε το 2008. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκε από την Ισπανία στην Ιταλία τον Αύγουστο του 2008 και χρειάστηκε να περάσει ένας χρόνος για να γίνουν οι κατάλληλες επισκευές για να ξεκινήσει η λειτουργία του. Η σημασία της υποδομής αυτής έχει αναγνωρισθεί από τις ιταλικές και ευρωπαϊκές αρχές. Επιπλέον, ο σταθμός έχει κηρυχθεί ως ένα έργο των ιταλικών και ευρωπαϊκών στρατηγικών συμφερόντων, αντίστοιχα, από τη CIPE και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή(IGU, 2011).

Εικόνα 20: Ο σταθμός LNG στην Αδριατική



Πηγή: european oil and gas

Ο σταθμός ALNG (Andriatic LNG) αποτέλεσε ένα δύσκολο έργο, που για την εκπόνηση του, χρειάστηκε η αποτελεσματική διαχείριση μιας μεγάλης σειράς τεχνικών και κυβερνητικών επαφών και την εισαγωγή πολλών νέων τεχνολογιών και καινοτομιών με σκοπό να φέρουν το αέριο προϊόν σε μια προηγουμένως απρόσιτη αγορά.

Το 80% της χωρητικότητας του Σταθμού – δηλαδή περίπου 6,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά έτος, bcm/y – χρησιμοποιείται από την εταιρεία Edison, με συμβόλαιο που αφορά μια περίοδο 25 ετών, για την αεροποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου το οποίο εισάγεται από το Κατάρ. Το υπόλοιπο 20% (περίπου 1,6 bcm/y) είναι ανοικτό για την πρόσβαση τρίτων και κατανέμεται σύμφωνα με τις διαδικασίες που ορίζονται από το Υπουργείο Οικονομικής Ανάπτυξης της Ιταλίας και την Ιταλική Ρυθμιστική Αρχή Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου (European Oil & Gas, 2014).

Οι δεξαμενές αποθήκευσης, κατά το μεγαλύτερο μέρος τους βρίσκονται κάτω από το νερό, έτσι ώστε η θερμοκρασία τους να είναι σχεδόν στους 25°C. Οι δεξαμενές αυτές διαθέτουν δυναμικότητα 125.000 κυβικά μέτρα και είναι κατασκευασμένες από χάλυβα και κράμα νικελίου, σχεδιασμένο να αντέχει σε θερμοκρασίες από -162°C που απαιτείται για να διατηρηθεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο σε υγρή μορφή. Η πρόκληση που αντιμετώπισε το συγκεκριμένο πρότζεκτ ήταν ότι δεν ήταν δυνατόν να ξεκινήσει το

γέμισμα των δεξαμενών με υγροποιημένο φυσικό αέριο λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού τους. Δεδομένου ότι οι δεξαμενές αποτελείται από τρεις ενότητες που συγκολλούνται μεταξύ τους, η ανησυχία ήταν ότι η διαρθρωτική ακεραιότητα των δεξαμενών έπρεπε να διατηρηθεί από ένα ενιαίο σύστημα ψύξης (Mangia & Carlesimo, 2013).

Εικόνα21: Μακέτα σταθμού



Πηγή: Jan De Nul Group

Επίσης έπρεπε να διασφαλιστεί πως η θερμοκρασία στον πυθμένα της δεξαμενής δεν θα κρύωνε πολύ περισσότερο από την υπόλοιπη δεξαμενή. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται στον σταθμό με LNG tanker και το οποίο πρέπει να εκφορτωθεί στις δεξαμενές αποθήκευσης μέσω των βραχιόνων εκφόρτωσης. Η εκφόρτωση του υγροποιημένου αερίου γίνεται με την βοήθεια ειδικών βραχιόνων εκφόρτωσης. Επειδή ο σταθμός είναι μια σταθερή δομή σε αντίθεση με τα δεξαμενόπλοια τα οποία δεν είναι, παρουσιάζεται σημαντικό πρόβλημα ιδιαίτερα όταν η θάλασσα δεν είναι ήρεμη και κινεί το δεξαμενόπλοιο σε σχέση με τον τερματικό σταθμό. Οι ειδικοί βραχίονες εκφόρτωσης έχουν κατασκευαστεί για να αντέχουν σε πολύ μεγάλο εύρος κίνησης σε σχέση με το τυπικό εύρος κίνησης βραχιόνων σε ένα λιμάνι. Μια τέτοια πρόβλεψη είναι αναγκαία καθώς η Βόρεια Αδριατική βιώνει κάποιες ακραίες καιρικές συνθήκες που μπορούν να εμφανιστούν ξαφνικά και να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια της εκφόρτωσης (Mangia & Carlesimo, 2013; Wilkens Weather Technologies).

Εικόνα 22: Βραχίονες εκφόρτωσης LNG



Πηγή: Mangia, 2013

Ο τερματικός σταθμός λαμβάνει δυο με τρία φορτία δεξαμενόπλοια την εβδομάδα και το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται σε δύο ειδικές δεξαμενές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Στη συνέχεια, με μια ελεγχόμενη διαδικασία, η πλατφόρμα αεριοποιεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Μετά την αεριοποίηση στον τερματικό σταθμό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα σταλεί στην ακτή μέσω ενός αγωγού 76 εκατοστά διαμέτρου που είναι κατασκευασμένος κάτω από το βυθό προκειμένου να αποφεύγονται οι αλληλεπιδράσεις με τις περιβαλλοντολογικές και θαλάσσιες δραστηριότητες. Ο αγωγός καταλήγει στην ξηρά νότια του ποταμού Πάδου και εν συνεχεία επεκτείνεται, επάνω στο έδαφος πλέον, μέχρι τον τερματικό σταθμό που συνδέεται με το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου (Posenato, 2009).

Αξιοπρόσεκτο σημείο αποτελεί το γεγονός ότι κατά την πρώτη εκφόρτωση μετά την έναρξη της λειτουργίας του σταθμού, οι δεξαμενές έπρεπε να ψυχθούν σταδιακά και μεθοδικά πριν την εισαγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τα δεξαμενόπλοια. Αυτό έγινε κυρίως με έκχυση υγρού αζώτου για ένα χρονικό διάστημα λίγων ημερών. Ειδικά ψεκαστικά στην κορυφή της δεξαμενής βοήθησαν να εξισωθεί η θερμοκρασία και η πίεση του υγρού αζώτου στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Σωλήνες κατά μήκος του πυθμένα της δεξαμενής μετέφεραν το υγρό άζωτο σε όλο της το μήκος. Αισθητήρες εντός των δεξαμενών παρακολουθούσαν συνεχώς κατά την διάρκεια της διαδικασίας τις θερμοκρασίες και το επίπεδο της πίεσης στα διάφορα τμήματα της δεξαμενής για να εξασφαλίσουν ότι τα κρίσιμα όρια δεν παραβιάστηκαν. Στη συνέχεια, ακολούθησε η εισαγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου στις δεξαμενές. Αυτή είναι μια διαδικασία η διήρκεσε κατά μέσο όρο 12 ώρες και η οποία έπρεπε να πραγματοποιηθεί με μεγάλη προσοχή και χωρίς διακοπές (Wilkens Weather Technologies).

Εικόνα 23: Πλοίο LNG πλησιάζει τον Τερματικό Σταθμό της Αδριατικής



Πηγή: Mangia

Η συγκεκριμένη μονάδα έχει υιοθετήσει τα υψηλότερα πρότυπα προστασίας του περιβάλλοντος κατά τα οποία εφαρμόζει στις καθημερινές εργασίες. Έχει περάσει με επιτυχία τέσσερις περιβαλλοντολογικές εκτιμήσεις και για να ξεκινήσει την λειτουργία του χρειάστηκε να εκδώσει ειδικά άδεια λειτουργίες. Επιπλέον ο Σταθμός έχει εκδώσει περισσότερες από 100 ειδικές οδηγίες προστασίας του περιβάλλοντος και έχει ενεργοποιήσει προγράμματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης τόσο για την κατασκευή όσο και για τη λειτουργία του (IGU, 2011).

4.2 Οικονομικά Οφέλη από το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Στον κλάδο των μεταφορών το υγροποιημένο φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές, καθώς η ζήτησή του αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον, λόγω των αυστηρότερων κανονισμών στις εκπομπές αερίων και ρύπων και τη θετική εξέλιξη των τιμών του φυσικού αερίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Αποτέλεσμα της διευρυμένης ζήτησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στον τομέα των μεταφορών είναι η οικονομική ανάπτυξη και απασχόληση.

Πιο συγκεκριμένα, η συνολική ζήτηση του φυσικού αερίου αναμένεται να αυξηθεί από 3.149 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2008 σε 4.535 bcm το 2035. Δηλαδή, μια αύξηση της κλίμακας του 44% και μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 1,4%. Το 84% της αύξησης στην παγκόσμια χρήση του φυσικού αερίου κατά την περίοδο έως το 2035 αναμένεται να εισάγεται από περιοχές εκτός του ΟΟΣΑ, ενώ η ζήτηση από την Κίνα αναμένεται να αυξηθεί κατά 5,9%, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη περιοχή (Kamalakkannan & Madhavan, 2012).

Έτσι λοιπόν, σε πιο απλούς όρους, μία μικρής κλίμακας υγροποιημένου φυσικού αερίου δραστηριότητα μπορεί να δημιουργήσει 8000 επιπλέον θέσεις εργασίας, με αποτέλεσμα μια πρόσθετη οικονομική αύξηση των 2,7 δισεκατομμυρίων ευρώ για την περίοδο έως το 2030, αυστηρότερους κανονισμούς για τις εκπομπές αερίων και ρύπων, ευνοϊκότερη εξέλιξη των τιμών, κ.λπ.. Η εργασία, στον κλάδο αυτό, σχετίζεται με τον τομέα της προετοιμασίας, το εμπόριο υπηρεσιών, τον εξοπλισμού, τη μηχανική, την τεχνική εξειδίκευση, την επεξεργασία και μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου, κ.λπ..

Στον τομέα των μεταφορών, η αξιοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου παρουσιάζει τις εξής οικονομικές επιπτώσεις (Vaitelis, 2014):

1. Επενδύσεις σε πλοία και φορτηγά που λειτουργούν με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Στην περίπτωση όπου οι πλοιοκτήτες και οι ιδιοκτήτες φορτηγών στραφούν στο υγροποιημένο φυσικό αέριο, θα πρέπει να επενδύσουν σε νέα πλοία ή φορτηγά ικανά να λειτουργούν με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Η απόφαση αυτή καθορίζει και το πόσο γρήγορα το μικρό μέγεθος της αγοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου θα αναπτυχθεί.
2. Οι επενδύσεις σε υποδομές για το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Οι κατασκευαστές μηχανών, οι πλοιοκτήτες και οι ιδιοκτήτες φορτηγών θα επενδύσουν στη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου μόνο εάν είναι βέβαιοι για την ολοκλήρωση των υποδομών υγροποιημένου φυσικού αερίου.

3. Οι επενδύσεις σε βιο-υγροποιημένο φυσικό αέριο (bio-LNG). Εξακολουθούν να γίνονται συζητήσεις σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης του βιο - υγροποιημένου φυσικού αερίου.
4. Διαφοροποίηση του μείγματος καυσίμων. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως νέο (εναλλακτικό) καύσιμο μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερο ρυθμό αύξησης των τιμών του πετρελαίου ή ακόμη και μείωση, το οποίο θα επηρεάσει θετικά την οικονομική ανάπτυξη.
5. Η ανταγωνιστική θέση των χωρών μπορεί να βελτιωθεί με την έγκαιρη συμμετοχή.
6. Οι επιπτώσεις στην υγεία ως αποτέλεσμα της μείωσης των εκπομπών.

4.3 Διαμόρφωση των τιμών LNG

Σε αντίθεση με το πετρέλαιο που οι τιμές του διαμορφώνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, οι τιμές του φυσικού αερίου διαμορφώνονται σε τοπικό επίπεδο. Καθώς υπάρχει ένας αγοραστής και ένας πωλητής, οι τιμές διαπραγματεύονται μεταξύ των δυο συναλλασσομένων. Ακολουθώντας τους κανόνες της ελεύθερης αγοράς, ο πωλητής απαιτεί μια τιμή που καλύπτει το λειτουργικό του κόστος, την απόσβεση του επενδυμένου κεφαλαίου, τους κινδύνους και ο αγοραστής συμφωνεί στην τιμή που του επιτρέπει να έχει περιθώριο κέρδους.

Πιο αναλυτικά, καθώς οι τιμές καθορίζονται σε τοπικό επίπεδο, η τιμή του LNG διαμορφώνεται βάσει του σημείου ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Τόσο οι αγοραστές, όσο και οι πωλητές αντιδρούν στις εναλλαγές της τιμής του LNG. Η προσαρμοστικότητα αυτή στις διακυμάνσεις των τιμών, ενώ είναι φυσιολογική στα αγαθά λόγω της ελεύθερης αγοράς, δεν είναι τόσο έντονη στην αγορά του LNG, διότι στη συγκεκριμένη αγορά η ζήτηση δεν εμφανίζει μεγάλο βαθμό προσαρμοστικότητας, αλλά είναι ανελαστική. Αυτό συμβαίνει γιατί το φυσικό αέριο δεν έχει τέλει υποκατάστατο (IEA, 1998).

Κατά το πρόσφατο παρελθόν, υπήρχε μια εικασία πως οι τιμές πώλησης του LNG θα συγκλίνουν. Η ιδέα βασιζόταν πως η μεταφορά του αερίου μέσω της θαλάσσιας οδού, θα συνέδεε τις περιφερειακές αγορές, όπως Αμερική, Ασία, Ευρώπη και άρα τον τρόπο τιμολόγησης (Ritz, 2014). Ωστόσο, οι τιμές του φυσικού διαφέρουν σημαντικά σε όλο τον κόσμο και οι διαφορές έχουν γίνει ακόμα πιο έντονες μετά το ατύχημα στην Φουκουσίμα τον Μάρτιο του 2011 (IGU, 2013).

4.4 Η μεταφορά LNG στο μέλλον

Λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών μεταφοράς, του αυξημένου κόστους για την κατασκευή ενός πλοίου και των κινδύνων που ελλοχεύουν κατά την μεταφορά, εξετάζεται σήμερα η προοπτική της κατασκευής πλοίων που θα μεταφέρουν φυσικό αέριο σε στερεοποιημένη μορφή με στόχο την εκμετάλλευση μικρού και μεσαίου μεγέθους πεδίων. Η ένυδρη, κρυσταλλική μορφή αυτή του φυσικού αερίου ονομάζεται Natural Gas Hydrate (NGH) και αποτελείται συνήθως από pellets διαμέτρου 5–20 mm μορίων νερού που περιβάλλουν τα μόρια μεθανίου, αιθανίου, προπανίου, κ.α. Το υλικό αυτό έχει ειδικό βάρος 0.85–0.95 σχεδόν διπλάσιο του LNG ενώ ένα κυβικό μέτρο περιέχει 170 κυβ. μέτρα αερίου σε κανονικές συνθήκες (ενώ το LNG 600 κυβ. μέτρα). Η συντήρηση του υλικού στη μορφή αυτή σε χώρο φορτίου πλοίου απαιτεί θερμοκρασίες -20°C , πολύ υψηλότερες δηλαδή από τη θερμοκρασία των -162°C που απαιτείται για το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Αν πράγματι αυτή η ιδέα τελεσφορήσει, τότε θα πρέπει να σχεδιαστούν νέα πλοία για την μεταφορά του αερίου σε αυτή την μορφή. Ένας πρώτος πειραματικός σχεδιασμός έχει πραγματοποιηθεί και το πλοίο που έχει σχεδιαστεί έχει χωρητικότητα 160.000 κυβ. μέτρων, μήκος 275 μέτρα και πλάτος 46 μέτρα (Κυριαζή & Βολάκης, 2010).

4.5 SWOT Analysis Βιομηχανίας LNG

Το εργαλείο Swot Analysis αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία στρατηγικού σχεδιασμού. Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται τα Δυνατά σημεία (**S**trength) του κλάδου του LNG και οι Αδυναμίες (**W**eakness). Παρουσιάζονται οι Ευκαιρίες (**O**pportunities) που υπάρχουν στην Βιομηχανία σήμερα αλλά και οι Απειλές (**T**hreats).

SWOT ANALYSIS	
Strength	Weakness
<ul style="list-style-type: none"> • Το LNG αποτελεί καθαρό καύσιμο και πηγή ενέργειας. • Υγροποιημένη μορφή που μπορεί εύκολα να μεταφερθεί. • Το φυσικό αέριο αποτελεί δελεαστική πηγή ενέργειας τόσο για οικιακή χρήση όσο και για την βιομηχανία λόγω της χαμηλής τιμής και της υψηλής απόδοσης. 	<ul style="list-style-type: none"> • Η Βιομηχανία LNG είναι κλάδος υψηλού κινδύνου όσο αφορά την απόδοση κερδών. • Επένδυση Υψηλού Κεφαλαίου για την απόκτηση παγίων στοιχείων αλλά και δημιουργία εγκαταστάσεων. • Μακροχρόνιες Συμβάσεις με σκληρούς όρους αποτρέπει την είσοδο στον κλάδο.
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη τεχνολογίας για ελαχιστοποίηση κόστους στην αλυσίδα LNG. • Ανάγκη ανανέωσης του στόλου LNG λόγω γήρανσης αλλά και προσαρμογής στις προδιαγραφές που απαιτούν οι νέες ναυτικές διαδρομές (μεγέθη πλοίων, ειδικά χαρακτηριστικά). • Άνοιγμα των θαλάσσιων διαδρομών (Αρκτικής-Ασίας και ΗΠΑ-Ασίας μέσω της διώρυγας του Παναμά) που θα πολλαπλασιάσουν το μεταφορικό έργο. 	<ul style="list-style-type: none"> • Στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. • Περιορισμένα κοιτάσματα Φυσικού Αερίου. • Πιθανή αύξηση τιμών πετρελαίου συμπαρασύρει και τις τιμές LNG. • Ολιγοπωλιακές συνθήκες παγκόσμιας αγοράς. Μικρός αριθμός προμηθευτών και αγοραστών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό αέριο, ως πηγή ενέργειας κατέχει δεσπόζουσα θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η υγροποίησή του έρχεται να υπερνικήσει πολλά εμπόδια επιτρέποντας την μεταφορά του με πλοία και την χρησιμοποίηση του ως πηγή ενέργειας. Το ΥΦΑ έχει μελετηθεί περισσότερο σε σχέση με το πετρέλαιο καθώς αποτελεί ένα δημιούργημα της σύγχρονης εποχής.

Η παγκόσμια αύξηση στη ζήτηση ενέργειας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21ου αιώνα. Το φυσικό αέριο θεωρείται ως το υποκατάστατο του πετρελαίου και το εμπόριο ΥΦΑ μέσω της θάλασσας συνέβαλε στην ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς, η οποία παρουσιάζει ομοιότητες αλλά και διαφορές με την αγορά του πετρελαίου.

Γενικότερα, τα πλοία μεταφοράς LNG θεωρούνται από τα πιο ασφαλή πλοία στον εμπορικό στόλο σήμερα, καθώς είναι καλά σχεδιασμένα, κατασκευάζονται, συντηρούνται και λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να πετυχαίνεται και να εξασφαλίζεται η ασφάλεια.

Η βιομηχανία LNG ανήκει στην τυπική βιομηχανική αλυσίδα, περιλαμβάνοντας όλα τα στάδια από την εξόρυξη μέχρι την κατανάλωση από τον τελικό καταναλωτή. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, για καθένα από αυτά τα στάδια, έχει συμβάλει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους και βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποτελεσματικότητας σε κάθε στάδιο, με αποτέλεσμα να έχει ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα του ΥΦΑ στις παγκόσμιες αγορές.

Σε συνολικό επίπεδο, η βιομηχανία LNG έχει ένα εξαιρετικό ρεκόρ ασφαλείας σε σύγκριση με τα διυλιστήρια και άλλες εγκαταστάσεις πετροχημικών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η καθιέρωση αυστηρών προτύπων έκαναν τις εγκαταστάσεις LNG ασφαλέστερες αλλά παρ' όλα αυτά οι κίνδυνοι παρέμεναν καθώς το ΥΦΑ μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Έτσι λοιπόν, για την εύρυθμη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδα LNG, υπάρχουν καθορισμένα πρότυπα κανονισμών ασφαλείας, καθώς και εκτιμήσεις πιθανών επιπτώσεων από την ίδρυση και την λειτουργία εγκαταστάσεων για τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα.

Στον κλάδο των μεταφορών το ΥΦΑ παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές, καθώς η ζήτησή του αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον, λόγω των αυστηρότερων κανονισμών στις εκπομπές αερίων και ρύπων και τη θετική εξέλιξη των τιμών του φυσικού αερίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Αποτέλεσμα της διευρυμένης ζήτησης του ΥΦΑ στον τομέα των μεταφορών είναι η οικονομική ανάπτυξη και απασχόληση.

Σε αντίθεση με το πετρέλαιο που οι τιμές του διαμορφώνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, οι τιμές του φυσικού αέριου διαμορφώνονται σε τοπικό επίπεδο. Καθώς υπάρχει ένας αγοραστής και ένας πωλητής, οι τιμές διαπραγματεύονται μεταξύ των δυο συναλλασσομένων. Πιο αναλυτικά, καθώς οι τιμές καθορίζονται σε τοπικό επίπεδο, η τιμή του LNG διαμορφώνεται βάσει του σημείου ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, καθώς το φυσικό αέριο δεν έχει τέλει υποκατάστατο.

Η δομή της αγοράς ΥΦΑ αρχικά χαρακτηριζόταν από ολιγοπώλιο, το οποίο απαρτιζόταν από λίγες μεγάλες υπό κρατικό έλεγχο ή υπαγόμενες σε κανονιστικούς ελέγχους εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Όμως, με την απελευθέρωση του εμπορίου στο ΥΦΑ έχει συμβάλει στην περαιτέρω ανάπτυξη της ναυτιλίας, και πιο συγκεκριμένα στον πολλαπλασιασμό των δεξαμενόπλοιων ΥΦΑ, στην αύξηση του μεγέθους τους αλλά και στην επέκταση της κλίμακας των εισαγωγών και εξαγωγών.

Η μείωση του κόστους σε όλα τα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας του ΥΦΑ έχει προκαλέσει πολλές νέες επενδύσεις στη ναυτιλία. Με την επέκταση των μονάδων υγροποίησης, οι εξαγωγείς ΥΦΑ στρέφονται σε νέες αγορές προκειμένου να απορροφήσουν το πλεόνασμα τους.

Ο στόλος ΥΦΑ είναι ένας από τους νεότερους στόλους. Ο αριθμός των τερματικών σταθμών αυξάνεται, όχι μόνο στις ήδη υπάρχουσες χώρες εξαγωγής ή εισαγωγής, αλλά και στις χώρες οι οποίες έχουν τη φιλοδοξία να εισέλθουν στην αγορά του ΥΦΑ.

Παρ' όλα αυτά, οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ βρίσκονται στην υψηλότερη κλίμακα ενεργειακών επενδύσεων και απαιτούν τεράστια οικονομική δέσμευση και υψηλά κεφάλαια για την κατασκευή τους.

Γενικότερα, διαπιστώνεται ότι το ΥΦΑ έχει μακρά ιστορία και τα τελευταία 50 χρόνια η χρήση του έχει τριπλασιαστεί λόγω πολιτικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών αλλαγών. Η ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου στο ΥΦΑ οφείλεται στην προτίμηση του φυσικού αερίου ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να καλυφθεί η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Το εμπόριο ΥΦΑ αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς στην αγορά του Ατλαντικού η οποία πιθανότατα στη συνέχεια να ξεπεράσει και την αγορά της Ασίας - Ειρηνικού. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την υιοθέτηση του ΥΦΑ είναι οι πολιτικές στις διάφορες χώρες, η διαθεσιμότητα εναλλακτικών λύσεων, η απόκλιση των τιμών των καυσίμων και η ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών.

Τέλος, όσον αφορά την Ελλάδα, ο βαθμός ενδιαφέροντος των ελληνικών ναυτιλιακών εταιρειών είναι τόσο μεγάλος, που οι περισσότερες από τις μισές παραγγελίες πλοίων τύπου LNG είναι για ελληνικά συμφέροντα. Οι ναυτιλιακές εταιρείες στην Ελλάδα, συγκροτούν έναν από τους μεγαλύτερους ανεξάρτητους στόλους μεταφοράς ΥΦΑ παγκοσμίως, σε μια

περίοδο που οι ΗΠΑ ετοιμάζονται να προστεθούν στη λίστα με τους μεγαλύτερους εξαγωγείς αερίου στον κόσμο, μαζί με τους Ρώσους, τους Αυστραλούς και τους Καταρινούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αδαμαντίδης (2008), «Μελέτη επιπτώσεων από τη διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου από υγραεριοφόρα σκάφη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
2. Αχνιώτης Χ. (2012), «Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο Παραγωγή, Μεταφορά, Αποθήκευση», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας
3. Γεωργίου Χρ. (2015), «Μελέτη & Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG Carrier)», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
4. Γρομπανόπουλος Στρ.(2013), «Το LNG ως Ευρωπαϊκή Στρατηγική Επένδυση», Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών, Θεσσαλονίκη
5. Δαγκαλίδης Αθ.(2013), «Δεξαμενόπλοια LNG», Κλαδική Μελέτη, Τράπεζα Πειραιώς
6. Καλαμαράς Κ.(2013), «Σχεδιασμός Μεταλλικής Δεξαμενής Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
7. Καρώνης Δ., Λόης Ε., Στούρνας Σ., Ζαννίκος Φ.(2007), «Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
8. Κρητικός Κ. (2011), «Εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου κατά τη μεταφορά υγροποιημένου αερίου», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
9. Κροκιδάς Α.(1991), «Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο – Η νέα πηγή ενέργειας στην Ελλάδα», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
10. Κυριαζή Ρ.& Βολάκης Σ.(2010), «Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος».
11. Μπαλαούρας Ι. (2008) «Ανάπτυξη και Εφαρμογή Μοντέλου Επιπτώσεων για τη Διαρροή Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου από Υγραεριοφορα Σκάφη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
12. Μπαρδούνιας Ν.(2012), «Στροφή Ελλήνων εφοπλιστών σε πλοία κοντέινερ και LNG», Άρθρο της Καθημερινής, ηλεκτρονική μορφή, 01/04/2012
13. Μπέλος Η.(2014), «Η ποντοπόρος ναυτιλία και τα LNG φέρνουν πιο κοντά Ελλάδα και ΗΠΑ», , Καθημερινή Έντυπη Έκδοση 09.02.2014
14. Πάνας Μ.Α., (2005), «Τάσεις και προοπτικές της αγοράς LNG», Πανεπιστήμιο Αιγαίου
15. Σκαβάρης Π. (2014), «Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου -LNG Carrier», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
16. Τσαλικίδη Ι.(2009), «Η Τεχνολογική Εξέλιξη των Πλοίων LNG, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

17. Τσιούπης Γ. (2012), «Επιλογή θέσης χωροθέτησης τερματικού σταθμού υγροποίησης φυσικού αερίου στην Κύπρο και εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
18. Φλέσσας Σ. (2009), «Η διεισδυση του lng στην Ευρώπη. Δυνατότητες – Προοπτικές», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Andersson H., Christiansen M. & K. Fagerholt (2010), "Transportation Planning and Inventory Management in the LNG Supply Chain", Energy, Natural Resources and Environmental Economics Part of the series Energy Systems pp. 427-439
2. Andreassen J. & S. Valsgard (2002), "Managing Innovation using the Norman Lady and Höegh Galleon as Case Studies", Det Norske Veritas AS Paper Series
3. Bainbridge P. (2002), VP BP Global LNG, LNG in North America and the Global Context, University of Houston
4. Bartsch U. (1998), "Financial Risks and Rewards in LNG Projects", Oxford Inst. for Energy Studies, United Kingdom
5. BP (2008), Statistical Review of World Energy, BP Process Safety Series, LNG Fire Protection and Emergency Response, Institution of Chemical Engineers
6. Brenntro J., Garcia Agis J.J. & A. Thirion (2013), "Use of LNG in the Maritime Transport Industry", NTNU, Norwegian University of Science and Technology, Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics (IPT), NTNU Semester Project in TGP4140 – Natural Gas, Trondheim November 2013
7. Christiansen M., K. Fagerholt, et al. (2007), "Maritime transportation" Transportation, Vol. 14, pp. 189-284
8. Curt B. (2004), "Marine Transportation of LNG - Ship Acquisition Manager", QatargasII, Intertanko Conference 29/03/2004
9. Dorigoni S., Mazzei L., Pontoni F. & A. Sileo (2008), "LNG Shipping: A Descriptive Analysis", USAEE North American Conference, New Orleans, USA, http://www.usaee.org/usaee2008/submissions/OnlineProceedings/Paper_Dorigoni.pdf
10. EIA - Energy Information Administration (2003), International Energy Outlook 2003, Official Energy Statistics from the U.S. Government
11. EIO - Energy Information Administration - EIA (2010), International Energy Outlook 2010, Official Energy Statistics from the U.S. Government
12. European Oil & Gas (2014), Strategic infrastructure, No. 116

13. EUROST: Energy, transport and environment indicators 2010
Luxemburg: Publications Office of the European Union 2013
14. Eyres D.J. & G.J. Bruce (2012), "Ship Construction, 7th Edition",
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Np7cyt0AFnIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Eyres+%26+Bruce+Ship+Construction+Seventh+Edition&ots=Ewbcw2Avhi&sig=8x5P8BvQPRkcTqInj8pISsNOdU&redir_esc=y#v=onepage&q=Eyres%20%26%20Bruce%20Ship%20Construction%20Seventh%20Edition&f=false
15. Foss M. (2003), "LNG Safety and Security", Center for Energy Economics at the Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin
16. Foss M. (2012), "An overview on liquefied natural gas (LNG)", its properties, the LNG industry, and safety considerations, Texas
17. Gkonis K. G. & H. N. Psaraftis (2009), "The Lng Market And A Game Theory Approach to Competition in Lng Shipping", Maritime Economics & Logistics, Vol. 11, pp. 227-246
18. Gronhaug R. & M. Christiansen (2009), "Supply Chain Optimization for the Liquefied Natural Gas Business", Innovations in Distribution Logistics, Vol. 619 of the series Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems pp. 195-218
19. Harris F. S. (1993), "Safety features on LNG ships", Cryogenics, Vol. 33, No. 8, pp. 772-777.
20. Hayes M. H. (2006), "Flexible LNG Supply and Gas Market Integration: A Simulation Approach for Valuing the Market Arbitrage Option", Stanford University, 06/08/2006, http://iis-db.stanford.edu/evnts/4582/Hayes_LNG_Arbitrage.pdf
21. IEA - International Energy Agency (1998), World Energy Outlook 1998 Edition
22. IGU (2011), "Adriatic LNG: The energy lives here", IGU Publications, pp. 68-87
23. IGU (2013) "World LNG Report — 2013 Edition", International Gas Union, Norway
24. IGU (2014), "World LNG Report", International Gas Union
25. Junnola, Jill et al. (2004), "Fatal Explosion Rocks Algeria's Skikda LNG Complex", Oil Daily
26. Kamalakannan S. & B. Madhavan (2012), "Drivers for demand of liquefied natural gas in a growing global market. AMET International Journal of Management"
<http://www.ametjournal.com/attachment/ametjournal-4/Dev-Article-1-Kamalakannan.pdf>
27. Kumara S., Kwonb H.T., Choib K.H., Lima W., Choa J.H., Taka K. & I. Moon (2011), "LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development", Applied Energy, Vol. 88, No. 12, pp. 4264-4273
28. Leroy P.A. (2012), "History, trends and prospects for LNG shipping", International Seminars by IENE

29. Lloyd's List εφημερίδα (2009), "LNG" special report, δημοσίευση 20 Φεβρουαρίου 2009.
30. Mangia C. & A. Carlesimo (2013), "A FULLY OPERATION REALITY",
31. Moon K., Chang D. & D. Lee (2005), "Comparison of Spherical and Membrane Large LNG Carriers in Terms of Cargo Handling", Gastech
32. Natural Gas Pricing in Competitive Markets, Τεύχος 285, International Energy Agency, 1998.
33. NGR (2007), "Natural Gas Market Review 2007", International Energy Agency.
34. Nikhalat H., Zavitsas K., Bell M.G.H. & M. Elhajj (2010), "Predicting the future of LNG Market: A Review and Comparison of Oil and LNG Industries Performance Indicators and Risk Factors", Annual Conference of the International Association of Maritime Economists, Lisbon, 7-9 July 2010
35. Noble P.G. (2009), "A short history of LNG shipping 1959-2009", Texas Section, SNAME
36. Paltrinieri N., Tugnoli A. & V. Cozzani (2015), "Hazard identification for innovative LNG regasification technologies", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 137, pp. 18-28
37. Parfomak P.W. & A.M. Flynn (2004), "Liquefied Natural Gas (LNG) Import Terminals: Siting, Safety and Regulation", Congressional Research Service, The Library of Congress, <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA468225>
38. Pitblado R.M. & J.L. (2011), Woodward "Highlights of LNG Risk technology", Journal of Loss Prevention in Process Industries, Vol. 24, pp. 827-836
39. Posenato A. (2009), "From the Heart of the Middle East, the Energy of the Future: North Adriatic LNG Terminal", Transit Stud Rev, Vol. 16, pp. 571-576
40. Ritz R. (2014), "Price discrimination and limits to arbitrage: An analysis of global LNG markets", Energy Economics, Vol. 45, pp. 324-332
41. Saglam H., Brandt U. & B. Wodecki (2012), "LNG Carriers", Marine Structural Engineering, <http://202.114.89.60/resource/pdf/4765.pdf>
42. Saleem A. (2004), "LNG Tanker Market", MSc Maritime Economics & Logistics, Rotterdam University
43. Stremersch G., Michalek J. & S. Hecq (2008), "Decision support software tools for LNG supply chain management", Gastech
44. The British Chamber of Commerce, September (2014), "LNG 50 - A Celebration of the First Commercial Shipment of LNG - Connecting Singapore to the global LNG market"
45. Tusiani M. D. & G. Shearer (2007), "LNG - A Nontechnical Guide", PennWell Corporation, USA, <https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=b14hnWUAOPYC>

- <http://www.desfa.gr>, http://www.kireas.org/lng.htm#lng_0, <http://naturalgas.org/>, <http://www.globalsecurity.org/>
- <http://www.desfa.gr>, Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου Α.Ε.
- http://kireas.org/lng.htm#lng_0, Σύλλογος Περιβάλλον και Πολιτισμός
- <http://naturalgas.org/>
- <http://www.globalsecurity.org/>
46. Urgan M. (2011), "The LNG task force - What is boil-off?", PhD, November
47. Vaitelis L., 2014, "The drivers and obstacles for the adoption of LNG by various companies in an Arctic Context", Master Thesis in Energy Management, University of Nordland
48. van Dorp, J. R. & J. R. W. Merrick (2011), "On a risk management analysis of oil spill risk using maritime transportation system simulation", Annals of Operations Research, Vol. 187, No 1, pp. 249-277
49. Vanem E., Antao P., Del Castillo de Comas F. & R. Skjong (2007) "Formal Safety Assessment of LNG Tankers", 10th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures Houston- Texas, United States of America, American Bureau of Shipping
50. Vaudolon A. (2000), "Liquefied gases - Marine transportation and storage", Witherby Seamanship Institute, London
51. Wilkens Weather Technologies (), "Case Study: Adriatic LNG Terminal (Installation and Operation)",
52. Woodward J. L. & R. M. Pitblado (2010), "LNG Risk Based Safety - Modeling and Consequence Analysis", Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
53. Yaoguang Z., Yonghong Z., Hongwei C., Dan W. & M. Zhaobin (2007), "Distribution and Chain Pattern of Liquefied Natural Gas Industry in China", Chinese Geographical Science, Vol.17, No.3, pp. 203-209

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. <http://www.desfa.gr>, Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου Α.Ε.
2. http://kireas.org/lng.htm#lng_0, Σύλλογος Περιβάλλον και Πολιτισμός
3. <http://naturalgas.org/>
4. <http://www.globalsecurity.org/>