

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Στην

ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΤΟ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ
ΟΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

MN17041

Διπλωματική Εργασία

Που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών
του Πανεπιστημίου Πειραιά ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού

Πειραιάς

Οκτώβρης 2019

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / COPYRIGHT

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

ΣΕΛΙΔΑ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

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

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

Παρδάλη Αγγελική (Επιβλέπουσα Καθηγήτρια)

Χλωμούδης Κωνσταντίνος

Πολέμης Διονύσιος

Η έγκριση της Διπλωματική Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ένας μεγάλος κύκλος της ακαδημαϊκής μου εκπαίδευσης ολοκληρώνεται. Ένα κοπιαστικό αλλά συνάμα πολύ όμορφο ταξίδι που φτάνοντας στο τέλος νοιώθω γεμάτος εμπειρία και γνώση που θα με ακολουθούν σε όλη μου τη ζωή. Δεν θα μπορούσα σε αυτό το σημείο να μην πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην μητέρα μου και τη γιαγιά μου που χωρίς αυτές δεν θα μπορούσα να έχω καταφέρει τίποτα ούτε να είμαι σε αυτό το σημείο που είμαι τώρα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές του Πανεπιστημίου Πειραιά για την γνώση και της συμβουλές που μου παρείχαν. Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Κα Παρδάλη, που με την συμβολή και την βοήθεια της μπόρεσα και ολοκλήρωσα την παρούσα διπλωματική εργασία.

Πίνακας περιεχομένων

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1. ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	11
1.1 ΟΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, Η ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	11
1.2 ΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΤΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	15
1.3 Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	21
1.4 Η ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ LNG – LNG VALUE CHAIN	28
2 ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΩΣ ΦΟΡΤΙΟ	33
2.1 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΜΠΟΡΙΟ ΤΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	33
2.2 ΟΙ ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΤΟΥ LNG ΑΝΑ ΧΩΡΑ	38
2.3 ΟΙ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΤΟΥ LNG ΑΝΑ ΧΩΡΑ	41
2.4 Η ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ LNG	44
2.5 ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ LNG	48
3 ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΑΙΑΣ	60
3.1 ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΤΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΑΙΑ	60
3.2 Ο ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ MARPOL ANNEX VI ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ	66
3.3 ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ECA	68
4 ΤΟ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΑΙΑ	73
4.1 ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΩΣ ΕΝΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΑΙΑ	73
4.2 Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΑΙΑ	78
4.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΝΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕ LNG	84

4.4 ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	88
5 ΟΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ.....	91
5.1 ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ LNG	91
5.2 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕ LNG	95
5.2.1 TRUCK TO SHIP (TTS) – ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΒΥΤΙΟΦΟΡΟ ΟΧΗΜΑ ...	97
5.2.2 SHIP TO SHIP (STS) – ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΟ ΣΕ ΠΛΟΙΟ.....	98
5.3 FSRU – FLNG.....	101
5.3.1 FSRU – FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNITS.....	101
5.3.2 FLNG FLOATING LNG.....	105
5.4 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ LNG (SMALL SCALE LNG)	108
5.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	114
5.5.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	114
5.5.2 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	116
5.6 ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ LNG ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	117
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	126

Σύντομογραφίες

Bcm: billion cubic meters

BOG: Boil off gas

DFDE: Dual fuel diesel electric

ECA: Emission Control Area

FLNG: Floating Liquefied Natural Gas

FPSO: Floating Production Storage and Offloading

FSRU: Floating Storage and Regasification Units

GHG: Green House Gases

GTT: Gaztransport and Techgaz

HFO: Heavy Fuel Oil

HSFO: High Sulphur Fuel Oil

IMO: International Maritime Organization

LNG: Liquefied Natural Gas

LSFO: Low Sulphur Fuel Oil

LSMGO: Low Sulphur Marine Gas Oil

ME-GI: M-type, Electronically controlled, Gas Injection

MDO: Marine Diesel Oil

MGO: Marine Gas Oil

MMBtu: Million British thermal units

MT: Million Tones

MTPA: Million Tones per Annum

NGLs: Natural Gas Liquids

NOx: Nitrogen Oxides

PM: Particulate Matter

SOx: Sulphur Oxides

SSD: Slow Speed Diesel

SSLNG: Small – Scale LNG

STS: Ship to Ship

TFDE: Tri-fuel Diesel Electric

TPS: Shore Tank to Ship

TTS: Truck to Ship

Περίληψη

Ο σκοπός καθώς και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να περιγράψουμε το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως ένα αποτελεσματικό και ανταγωνιστικό καύσιμο για τα πλοία. Θα αναλύσουμε λεπτομερώς τα πλεονεκτήματα που παρέχει το LNG ως ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο. Επιπλέον θα αναλύσουμε και θα δώσουμε έμφαση στην ανάγκη υπάρξεις υποδομών LNG, τη λύσεις μπορούν να δώσουν αυτές οι υποδομές καθώς και πως θα γίνεται ο ανεφοδιασμός των πλοίων. Ακόμα θα αναλύσουμε το LNG ως φορτίο, τα πλοία που τα μεταφέρουν και τους λόγους που οδηγούν το LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία καθώς και τους κανονισμού που θέσπισε ο IMO για τα καύσιμα στα πλοία και το LNG πληροί όλες τις προϋποθέσεις.

Abstract

The purpose and subject of this study is to describe liquefied natural gas as an efficient and competitive fuel for ships. We will analyze in detail the benefits of LNG as an environmentally friendly fuel. In addition, we will analyze and emphasize the need for LNG infrastructure, the solutions these infrastructures can provide and how to refuel the ships. We will also analyze LNG as a cargo, the ships that carry it, and the reasons that drive LNG as a fuel for shipping, as well as the IMO regulations on fuels on ships and LNG that meet all the requirements.

Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει τα πλεονεκτήματα της χρήσης του LNG ως καύσιμο για την ναυτιλία, καθώς και να εκτιμήσει της ανάγκες σε λιμενικές υποδομές και τους τρόπους που τα πλοία μπορούν να ανεφοδιαστούν με LNG. Επιπλέον στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξήγηση βασικών εννοιών όσο αναφορά την χρησιμοποίηση του LNG ως καύσιμο και να αποτελέσει ένα χρήσιμο οδηγό για μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτόν και επιπλέον, μια πρόταση για όσους διαχειρίζονται πλοία να υιοθετήσουν την χρήση αυτής της τεχνολογίας για των ανεφοδιασμών των πλοίων τους.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι να γίνει αναλυτική εξέταση μέσω κατάλληλης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, των συνθηκών που επικρατούν την αγορά του LNG καθώς και πως θα μπορέσει να γίνει ένα εναλλακτικό καύσιμο στην ναυτιλία μέσω της υλοποίησης λιμενικών υποδομών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή για το πως ορίζεται το LNG, ποια είναι τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του, οι κίνδυνοι που δημιουργεί, η διαδικασία της παραγωγής του, καθώς και η αλυσίδα της αξίας του LNG.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο LNG ως φορτίο, δηλαδή οι εισαγωγές και οι εξαγωγές του, το πως τιμολογείται καθώς και αναλυτική περιγραφή των πλοίων που μεταφέρουν το LNG.

Στο τρίτο κεφάλαιο ασχολούμαστε με τις επιπτώσεις που δημιουργούν τα παραδοσιακά καύσιμα στο περιβάλλον, καθώς και τους διεθνείς κανονισμούς σχετικά με την πρόσληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε λεπτομερώς τα πλεονεκτήματα του LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία σε σχέση με της εναλλακτικές επιλογές και η σύγκριση γίνεται με βάση τα περιβαλλοντικά του οφέλη, την τιμή και το κόστος εγκατάστασης της νέας αυτής τεχνολογίας.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 εξετάζουμε ένα σημαντικό παράγοντα για να μπορέσει το LNG να γίνει ένα ανταγωνιστικό καύσιμο στην ναυτιλία και αυτό είναι οι λιμενικές υποδομές που χρειάζονται να γίνουν. Επίσης γίνεται αναλυτική περιγραφή στους τρόπους ανεφοδιασμού.

1. ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.1 Οι φυσικές ιδιότητες, η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο για να έχει νόημα η μεταφορά του και να είναι οικονομικά αποδοτική, πρέπει από την αέρια του κατάσταση να μετατραπεί σε υγρή μορφή. Το φυσικό αέριο ακόμα αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων με άζωτο που όταν υγροποιείται, γίνεται ένα διαυγές άχρωμο και άοσμο υγρό. Αυτό ονομάζεται υγροποιημένο φυσικό αέριο, όπου μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε θερμοκρασία πολύ κοντά στο σημείο βρασμού του σε ατμοσφαιρική πίεση.

Το **Liquefied Natural Gas (LNG)**, είναι το όνομα που δίνεται στο φυσικό αέριο που έχει μετατραπεί σε υγρή μορφή με ψύξη σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία περίπου στους -162°C (-260°F), έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει πιο εφικτή και με ευκολότερο τρόπο η μεταφορά και η αποθήκευση του. Ο όγκος του φυσικού αερίου στην υγρή του κατάσταση είναι περίπου 600 φορές μικρότερος από τον όγκο του στην αέρια του κατάσταση. Αυτή η διαδικασία, που αναπτύχθηκε τον 19ο αιώνα, καθιστά δυνατή τη μεταφορά φυσικού αερίου σε μέρη όπου οι αγωγοί δεν φθάνουν. Ως αποτέλεσμα, το μεθάνιο μεταφέρεται συνήθως ως κρυογονικό υγρό. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018)

Τα κύρια συστατικά του LNG είναι το μεθάνιο, όπου αποτελείται από 83% έως και 97%, επίσης αποτελείται από μικρότερες ποσότητες από αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο καθώς και άζωτο. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου γίνεται μέσω μιας διαδικασία όπου αφαιρούνται οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα καθώς και βαρύτεροι υδρογονάνθρακες και στην συνέχεια το φυσικό αέριο ψύχεται στους -162°C για να μετατραπεί σε υγροποιημένο φυσικό αέριο. Τα παραπάνω στοιχεία τα βλέπουμε τόσο

από το διάγραμμα 1.1 αλλά και από τον πίνακα 1.1. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018)

Το μεθάνιο είναι το πρώτο που απελευθερώνεται ως ατμός, όταν το LNG εξατμίζεται. Ο ατμός που θα απελευθερωθεί θα αποτελείται σχεδόν από καθαρό μεθάνιο, όταν δεν έχει εξατμιστεί περισσότερο από το 70% του υγρού. Όταν το LNG απελευθερώνεται στο περιβάλλον, σχηματίζονται κρύοι ατμοί. Οι κρύοι ατμοί αυτοί που δημιουργούνται από την εξάτμιση του LNG είναι αρχικά βαρύτεροι από τον αέρα με αποτέλεσμα να διασκορπίζονται κοντά στο έδαφος. Όταν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα θερμαίνονται σταδιακά και συμπεριφέρονται ουδέτερα σε θερμοκρασίες περίπου στους -110 °C. Σε θερμοκρασίες και πίεση περιβάλλοντος, το φυσικό αέριο έχει πυκνότητα περίπου 0,72kg/m³. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018)

Όσο αναφορά την πυκνότητα του LNG είναι μικρότερη από το ήμισυ του νερού, επομένως το LNG καταλαβαίνουμε ότι θα επιπλέει και όπως αναφέραμε και παραπάνω άμα απελευθερωθεί το LNG από μια δεξαμενή θα αιωρείται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μέχρις ότου ο ατμός να θερμανθεί και να γίνει ελαφρύτερος από τον αέρα και να διαλυθεί. (ABS, LNG Bunkering: Technical and Operational advisory)

Το LNG σε σχέση με το Heavy Fuel Oil έχει τη μισή του πυκνότητα, αλλά η θερμαντική του αξία είναι 20% μεγαλύτερη. Θεωρώντας τη χαμηλή πυκνότητα αλλά και τη υψηλότερη τιμή θέρμανσης, θα χρειαστούμε 1,8 φορές περισσότερο LNG που πρέπει να καταναλωθεί ως καύσιμο, σε σχέση με το Heavy Fuel Oil έτσι ώστε να εισπράξουμε το ίδιο αποτέλεσμα. Το LNG όταν αποθηκεύεται σε δεξαμενές πλοίων για να μεταφερθεί, κατά την διάρκεια του ταξιδιού ένα μέρος του φορτίου ξανά γίνεται αέριο και αυτό γίνεται λόγω διαρροής θερμότητας που περνάει από το περιβάλλον τη μόνωση των δεξαμενών. Εάν αυτό το αέριο που εξατμίζεται καταναλωθεί από τους κινητήρες του πλοίου τότε το LNG που βρίσκεται στις δεξαμενές του πλοίου θα διατηρήσει την θερμοκρασία του καθώς και την πίεση του, διαφορετικά η θερμοκρασία και η πίεση θα αυξηθεί. (ABS, LNG Bunkering: Technical and Operational advisory)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπόρευμα στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και κερδίζει όλο και περισσότερο μερίδιο αγοράς λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Η σύνθεση του φυσικού αερίου αποτελεί συνάρτηση τόσο της πηγής αερίου όσο και του τύπου επεξεργασίας που υφίσταται πριν από την υγροποίηση. Η διαδικασία υγροποίησης, η οποία απομακρύνει τις ακαθαρσίες και τα περισσότερα από τα βαρύτερα υγρά που υπάρχουν στο φυσικό αερίου, έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ καθαρό προϊόν το LNG. Το μεθάνιο είναι μακράν το κύριο συστατικό του LNG και είναι συνήθως, αν και όχι πάντα, μεγαλύτερο από 85% κατά όγκο. Ωστόσο, το LNG μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες αιθανίου, προπάνιου, βουτανίου και άλλων βαρύτερων υδρογονανθράκων και αζώτου. Όσο αναφορά την σύνθεση του LNG, οι διαφορές που θα έχει αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η τιμή θέρμανσης του.

Πίνακας 1.1: Η χημική σύνθεση του LNG και τα συστατικά του

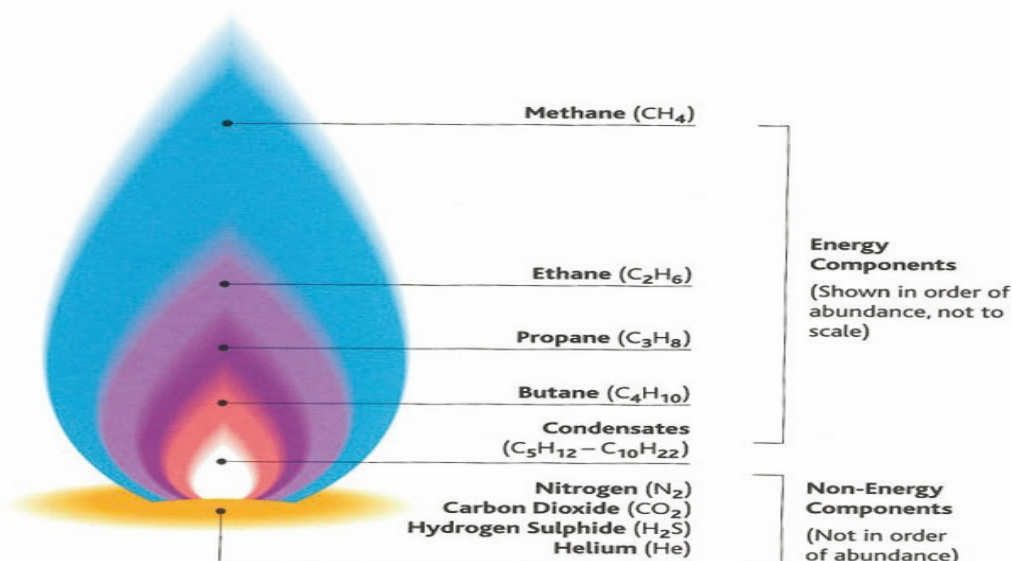
Όνομα συστατικού	Χημικός τύπος	Σύνθεση (μοριακό Ποσοστό)	Μέση σύνθεση (μοριακό ποσοστό)	Σημείο βρασμού σε απόλυτη τιμή 1 bar	Πυκνότητα υγρού στο σημείο βρασμού
<i>Μεθάνιο</i>	CH ₄	84% έως 99%	90,40%	-161,5	426
<i>Αιθάνιο</i>	C ₂ H ₆	0,1% έως 14%	6,40%	-88,6	544,1
<i>Προπάνιο</i>	C ₃ H ₈	0% έως 4%	1,80%	-42,5	580,7
<i>Βουτάνιο</i>	C ₄ H ₁₀	0% έως 2,5%	0,90%	-5	601,8
<i>Αζωτο</i>	N	0% έως 1,8%	0,50%	-196	808,6

Πηγή: ABS, LNG Bunkering Technical and Operational Advisor

Αμα συγκρίνουμε το πως φορτώνεται το Heavy Fuel Oil σε σχέση με το LNG σε δεξαμενές για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα για τα πλοία θα διαπιστώσουμε ότι ο τρόπος της φόρτωσης είναι διαφορετικός και αυτό έχει να κάνει με τα ιδιαίτερα

χαρακτηριστικά που έχει το LNG ως καύσιμο. Τέτοιες διαφορές έχουν να κάνουν ως προς τη θερμοκρασία που μεταφέρεται, καθώς το LNG μεταφέρεται ως ένα υγρό που «βράζει» και έλος ότι οι ατμοί του LNG είναι πιο επικίνδυνα σε σχέση με το πετρέλαιο. (ABS, LNG Bunkering: Technical and Operational advisory)

Διάγραμμα 1.1: Η σύσταση του φυσικού αερίου



Πηγή: Liquefied Gas Handling principles on ships and in terminals (LGHP4), Fourth Edition , SIGTTO

Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή όπως άλλων καυσίμων όπως το πετρέλαιο, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Η γη έχει τεράστιες ποσότητες φυσικού αερίου, αλλά μεγάλο μέρος της είναι σε περιοχές μακριά από όπου χρειάζεται το αέριο. Για να μεταφερθεί το καύσιμο αυτό καθαρότερο στους ωκεανούς, το φυσικό αέριο πρέπει να μετατραπεί σε υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), μια διαδικασία που ονομάζεται υδροποίηση.

Το LNG επιστρέφεται σε αέρια κατάσταση σε σταθμούς εισαγωγής και επαναεριοποίησης LNG σε όλο τον κόσμο. Μόλις θερμανθεί για να γίνει φυσικό αέριο,

διασκορπίζεται μέσω αγωγών για χρήση από σπίτια και επιχειρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους: Οι οικιακές χρήσεις φυσικού αερίου περιλαμβάνουν το μαγείρεμα, τη θέρμανση κατοικιών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι εμπορικές χρήσεις φυσικού αερίου περιλαμβάνουν θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή προϊόντων όπως λιπάσματα, χρώματα και φάρμακα, όπως και την χρήση του ως καύσιμο.

Το αέριο έχει ήδη δημιουργήσει μια ισχυρή τροχιά ανάπτυξης κατά την τελευταία δεκαετία. Η άνοδος των σχιστολιθικών πετρωμάτων στις ΗΠΑ, η ταχεία επέκταση της υποδομής LNG και η σημαντική ανάπτυξη της αγοράς στη Μέση Ανατολή και την Ασία έχουν συμβάλει στη μετατροπή της παγκόσμιας βιομηχανίας. Παρ'όλα αυτά, το αέριο έχει αναμφισβήτητα δεν έχει ακόμη επιτύχει τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, το μερίδιο του φυσικού αερίου στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητο από το 2010, με οριακή αύξηση μόνο να αρχίζει να επιτυγχάνεται το 2017. (IGU, Global gas report 2018)

Ανακεφαλαιώνοντας το κύριο συστατικό του LNG είναι το μεθάνιο, όπου από όλα τα καύσιμα υδρογονανθράκων έχει την χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και ως εκ τούτου της καλύτερες προϋποθέσεις για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που είναι μείζον θέμα συζήτησης στην ναυτιλία. Η διαδικασία που παράγει το LNG διασφαλίζει ότι δεν περιέχει θείο. Για αυτό τον λόγο η χρήση του LNG ως καύσιμο δεν παράγει εκπομπές οξειδίων του θείου όπως θα αναλύσουμε σε μεταγενέστερα κεφάλαια. (DNV-GL, Assessment of selected alternative fuel and technologies, 2018)

1.2 Οι κίνδυνοι του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Όπως είχαμε αναφερθεί και προηγουμένως το LNG δεν είναι τοξικό. Ωστόσο υπάρχουν αρκετοί κίνδυνοι που σχετίζονται με το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε μερικούς από αυτούς:

- I. Το φυσικό αέριο όταν είναι σε υγρή μορφή είναι λογικό να μην μπορεί να καεί αλλά ούτε να εκραγεί. Όμως, γίνεται επικίνδυνο όταν απελευθερωθεί για παράδειγμα κατά την διαδικασία ανεφοδιασμού, που μπορεί να υπάρξει διαρροή με αποτέλεσμα να σχηματιστεί ένα σύννεφο ατμού, καθώς το LNG όταν βρίσκεται σε συνθήκες περιβάλλοντος έρχεται σε σημείο βρασμού. Για να προκληθεί φωτιά ή έκρηξη, το νέφος ατμού πρέπει να βρίσκεται σε εύφλεκτο εύρος, το οποίο για το μεθάνιο είναι μεταξύ 5 και 15% κατ 'όγκο στον αέρα και πρέπει να υπάρχει μια πηγή ανάφλεξης. (βλέπε διάγραμμα 1.3)
- II. Το LNG μπορεί να προκαλέσει «κρύα εγκαύματα» (ή «κρυοπαγήματα») όταν έρχονται σε επαφή με το δέρμα κλπ. λόγω της κρυογονικής του θερμοκρασίας, αφού όπως αναφέραμε και προηγουμένως ότι το φυσικό αέριο υγροποιείται στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-260\text{ }^{\circ}\text{F}$). Όταν το δέρμα έρθει σε επαφή με το LNG, το αποτέλεσμα θα είναι παρόμοιο με τα θερμικά εγκαύματα και η επαφή με ευαίσθητες περιοχές όπως για παράδειγμα τα μάτια, κατά την διάρκεια της επαφής μπορεί να καταστραφεί ο ιστός. Επίσης άμα εισπνεύσουμε το κρύο αέρα που εξέρχεται από το LNG ο πνευμονικός ιστός μπορεί να πάθει βλάβη. Άρα κάθε επαφή του LNG με το δέρμα προκαλεί κρυοπαγήματα.
- III. Το LNG μπορεί να προκαλέσει ένα «εύθραυστο κάταγμα» στο κύτος χάλυβα του πλοίου, και πάλι λόγω της κρυογονικής θερμοκρασίας. Εάν το LNG έρχεται σε επαφή με το χάλυβα του πλοίου που είναι κατασκευασμένο από το ναυπηγείο, η εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία του LNG καθιστά το χάλυβα εύθραυστο, αυτό μπορεί να προκαλέσει καταστροφές στο κατάστρωμα του πλοίου καθώς και να καταστραφεί ο μηχανικός εξοπλισμός και διάφορα άλλα μηχανήματα του πλοίου.
- IV. Ο LNG εξατμίζεται για να δώσει περίπου 600 όγκους αερίου (μεθανίου) για κάθε 1 όγκο υγρού LNG. Συνεπώς, εάν χυθεί LNG, υπάρχει κίνδυνος ασφυξίας σε κλειστό χώρο. Εάν η συγκέντρωση του μεθανίου είναι αρκετά υψηλή στον αέρα, υπάρχει κίνδυνος ασφυξίας για το προσωπικό στην άμεση περιοχή, ιδιαίτερα εάν η απελευθέρωση λαμβάνει χώρα σε περιορισμένους χώρους.

Όσο αναφορά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού, ένας πολύ σοβαρός κίνδυνος είναι να πάρει φωτιά σε περιοχές όπως οι πλωτές εγκαταστάσεις και στα συστήματα

σωληνώσεων. Επειδή το φυσικό αέριο είναι πολύ εύφλεκτο, ο κίνδυνος της πυρκαγιάς είναι τόσο υψίστης σημασίας λόγο ότι το φυσικό αέριο θα προκαλέσει επέκταση της φωτιάς. Αυτό μπορεί να γίνει, λόγο ότι η θερμότητα από τη φωτιά θα κάνει το LNG να βράσει πάρα πολύ γρήγορα και αν αυτό γίνει κοντά στην εστία πυρκαγιάς μπορεί να καταστρέψει το σύστημα που τροφοδοτεί το καύσιμο, επεκτείνοντας έτσι το κίνδυνο. Ένας τρόπος να αποτραπεί ο κίνδυνος είναι η αποφυγή απελευθέρωσης αερίου και να αποκλειστούν οι εστίες πυρκαγιάς στο χώρο που γίνεται ο ανεφοδιασμός των πλοίων με καύσιμο. Τέλος πρέπει να ληφθούν τα σχετικά μέτρα για το πως θα περιορίσουν την φωτιά και δεν θα την αφήσουν να εξαπλωθεί κοντά σε περιοχές λειτουργίας της μονάδας ανεφοδιασμού. (ABS, LNG Bunkering: Technical and Operational advisory)

Όταν το LNG απελευθερώνεται και αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια πυρκαγιάς, χαρακτηριστικό του είναι η έντονη φλόγα που παράγει καθώς και η υψηλής ένταση ακτινοβολίας (200-300 kw/m²). Άρα ο κίνδυνος που έχει η φωτιά που προκαλείται από το LNG, για τους ανθρώπους και τις εγκαταστάσεις γίνεται απόλυτα κατανοητό ότι είναι αρκετά μεγαλύτερος από πυρκαγιές που γίνονται από άλλα καύσιμα όπως η βενζίνη ή το πετρέλαιο τύπου ντίζελ. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018)

Εικόνα 1.1: Σύννεφα ατμού υγροποιημένου φυσικού αερίου



Πηγή: <https://www.tradewindsnews.com/weekly/769623/mol-outlines-lessons-learned-from-lng-ship-cargo-release>

Συγκεκριμένα το LNG όταν το συγκρίνουμε με τα συνηθέστερα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως το Heavy Fuel Oil και το Marine Gas Oil, θα δούμε ότι παρουσιάζουν διαφορετικούς κινδύνους. Είναι απαραίτητη προϋπόθεση κατά όλα τα στάδια που θα γίνεται ο ανεφοδιασμός με LNG σε ένα πλοίο να αποφεύγεται, η απελευθέρωση του LNG κατά όλη αυτή την διαδικασία. Έαν απελευθερωθεί σε κανονικές θερμοκρασίες και πιέσεις περιβάλλοντος, θα σχηματίσει εύφλεκτους ατμούς. Ακόμα όταν το φυσικό αέριο είναι στην υγρή του μορφή, δηλαδή σε LNG, όταν έρχεται σε επαφή με το χάλυβα του πλοίου μπορεί να προκαλέσει συστολή στο μέταλλο με αποτέλεσμα να προκληθεί ρωγμή. Επομένως όταν γίνονται σχέδια και διαδικασίες για το πως θα λειτουργήσει το σύστημα ανεφοδιασμού με LNG, πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση στο να μην υπάρξει διαρροή LNG σε όλα τα στάδια που θα γίνεται ο ανεφοδιασμός. (ABS, LNG Bunkering: Technical and Operational advisory)

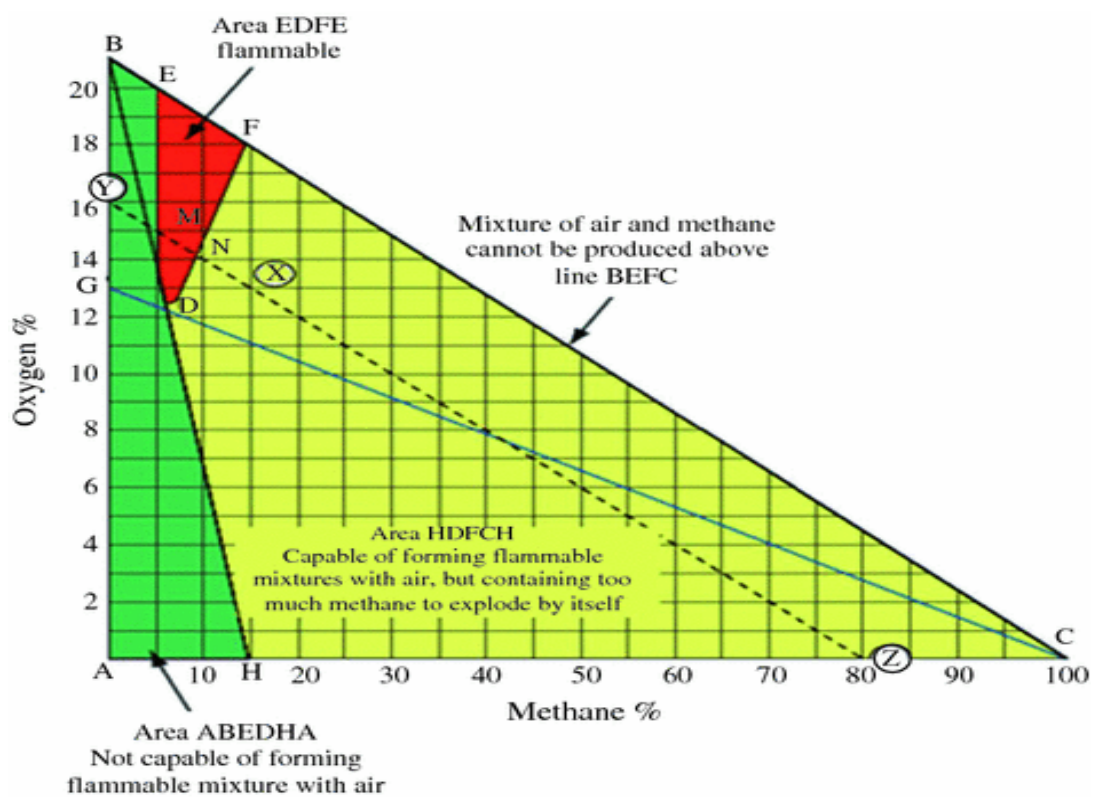
Οι τρεις κύριοι στόχοι ασφαλείας για τις επιχειρήσεις ανεφοδιασμού είναι οι εξής:

- Να αποφύγουν τυχόν επικίνδυνη απελευθέρωση αερίου ή υγρού.
- Σε περίπτωση απελευθέρωσης, να αποτρέψουν ή να περιορίσουν τυχόν επικίνδυνες καταστάσεις.
- Εάν συμβεί κάποιο επικίνδυνο συμβάν, να περιορίσουν τις συνέπειες και τις επιβλαβείς επιπτώσεις.

Το LNG αποθηκεύεται στους -260°F και είναι ένα εύφλεκτο καύσιμο, το οποίο, όταν χυθεί, εξαπλώνεται και εξατμίζεται. Εάν δεν αναφλεγούν γρήγορα, οι εύφλεκτοι ατμοί που παράγονται τείνουν να εξαπλώνονται πλευρικά, επειδή είναι βαρύτεροι από τον αέρα όταν είναι κρύο. Έτσι μπορούν να κινηθούν προς τα κάτω ως σύννεφο ατμού. Για μια μεγάλη διαρροή LNG στο νερό (όπως το περιεχόμενο μιας δεξαμενής πλοίου), ένα σύννεφο ατμού LNG μπορεί να παρασύρει αρκετά μίλια από τη θέση μιας διαρροής υπό σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες εάν δεν συναντήσει πηγές ανάφλεξης κατά τη διαδρομή. Ως εκ τούτου, ένα σύννεφο ατμών LNG είναι δυνητικά πιο επικίνδυνο από το φυσικό αέριο (σε κανονικές θερμοκρασίες) το οποίο θα αυξηθεί και θα διασκορπιστεί πολύ πιο ακάθαρτα στον αέρα. Σε ένα ατύχημα δεξαμενόπλοιου, μια διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου στο νερό δεν θα περιοριστεί. Το υγρό θα

εξαπλωθεί γρήγορα στην επιφάνεια του νερού μέχρι να εξατμιστεί μέσα σε λίγα λεπτά, ανάλογα με τον όγκο της διαρροής. Σε περίπτωση ατυχήματος στη γη, ένα δίχτυ γύρω από τη δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να περιέχει το υγρό και ο ρυθμός εξάτμισης περιορίζεται από την επιφάνεια που καλύπτεται από το υγρό. Το σύννεφο ατμών μπορεί να διασκορπιστεί ακίνδυνα ή, αν αναφλεγεί, μπορεί να προκύψει σημαντική και σοβαρή πυρκαγιά. Σε γενικές γραμμές, οι συνολικοί κίνδυνοι των συστημάτων προμήθειας LNG είναι πιθανώς μικρότεροι από τους κινδύνους ορισμένων ενεργειακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. (Van Horn & Wilson, 1977)

Διάγραμμα 1.2: Το επίπεδο ανεφλεξιμότητας του μεθάνιο



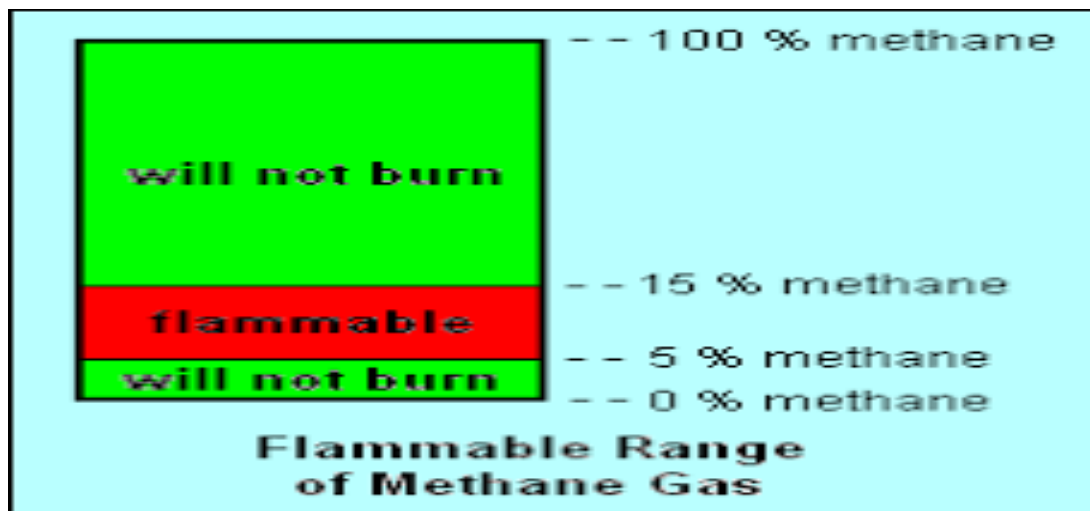
Πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-08948-5_3

Στο διάγραμμα 1.2, ο κάθετος άξονας (A-B) αντιπροσωπεύει μείγματα οξυγόνου-αζώτου χωρίς παρουσία μεθανίου, όπου κυμαίνεται από 0% οξυγόνο (100% άζωτο) στο σημείο A έως 21% οξυγόνο (79% άζωτο) στο σημείο B. Ο οριζόντιος άξονας (A-C) αντιπροσωπεύει μείγματα μεθανίου-αζώτου χωρίς παρουσία οξυγόνου, που κυμαίνεται από 0% μεθάνιο (100% άζωτο) στο A και από 100% μεθάνιο (0% άζωτο) στο σημείο C. Η εύφλεκτη περιοχή είναι το τρίγωνο EDF, κάθε μείγμα της οποίας η

σύνθεση αντιπροσωπεύει από ένα σημείο που βρίσκεται εντός της περιοχής αυτής είναι εύφλεκτο.

Είναι χαρακτηριστικό του ότι το LNG σε σχέση με άλλους υδρογονάνθρακες, όπως το LPG, η βενζίνη και η κηροζίνη, παρουσιάζουν τα ίδια στοιχεία δηλαδή ότι καίγονται γρήγορα και η φωτιά που προκαλούν είναι έντονη. Αρά το LNG δεν είναι πιο επικίνδυνο σε σχέση με άλλα καύσιμα εκ πρώτης όψεως. Όταν οι ατμοί του φυσικού αερίου προέρχονται από το LNG και είναι σε κλειστό χώρο μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη. Όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα 1.3, οι ατμοί του LNG είναι εύφλεκτοι εντός συγκεκριμένου ορίου. Αφού το LNG αποτελείται από μεθάνιο στο μεγαλύτερο ποσοστό του, τα όρια ευφλεκτότητας του μεθανίου είναι μεταξύ 5 και 15%. Άρα ο κίνδυνος που έχει το LNG σε σχέση με τα άλλα καύσιμα είναι η ταχεία εξάτμιση του αλλά και ότι ο ατμός του μπορεί να εξαπλωθεί σε μεγάλες αποστάσεις (Van Horn & Wilson, 1977)

Διάγραμμα 1.3: Ποσοστό που το μεθάνιο είναι εύφλεκτο



Πηγή:https://marinechemistassociation.com/02%20MCA%20FCLC%20LNG%20Properties_Characteristics.pdf

Ένας λόγος που το LNG μπορεί να συνεισφέρει στην πιθανότητα καταστροφής ενός πλοίου είναι η πολύ ψυχρή θερμοκρασία του. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, μερικά μέταλλα γίνονται εύθραυστα και όταν το υγροποιημένο φυσικό αέριο έρθει σε επαφή με υλικά που δεν έχουν σχεδιαστεί ειδικά για χαμηλή θερμοκρασία, μπορεί να

προκύπτει κάποιο ρωγμή όπως είπαμε και παραπάνω στο μέταλλο του πλοίου. Λόγω της εύθραυστης συμπεριφοράς του χάλυβα (ενός τύπου μετάλλου που χρησιμοποιείτε στη κατασκευή πλοίων), όταν ψύχεται σε θερμοκρασία που είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να οδηγήσει σε θραύσμα αυτών των μετάλλων στο κύτος του πλοίου. Χαρακτηριστικά τα πλοία που μεταφέρουν LNG κατά την διάρκεια τις φορτώσεις αλλά και τις εκφόρτωσης στα σημεία που είναι τα manifolds, κάτω από αυτά το μέταλλο που υπάρχει εκεί είναι όπως το υλικό που είναι κατασκευασμένες και οι δεξαμενές αυτών των πλοίων έτσι ώστε όταν από ατύχημα πέσει το LNG κατά την διάρκεια που φορτώνει στο μέταλλο να μην γίνει ζημιά στο πλοίο. Ο ανοξειδωτος χάλυβας διατηρεί την ολκιμότητα του σε χαμηλές θερμοκρασίες και για το λόγο αυτό είναι και πιο ανθεκτικός σε επαφή με τα κρυογονικά υγρά. Ένα μέτρο προλήψεις που χρησιμοποιούν τα πλοία που μεταφέρουν LNG είναι κατά την διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης στα πλάγια του πλοίου εκεί που βρίσκονται τα manifolds του πλοίου να ρίχνεται στο πλάι νερό έτσι ώστε να προστατευτεί το εξωτερικό περίβλημα του πλοίου.

Τελειώνοντας το LNG είναι εξαιρετικά εύφλεκτο, έχει γρήγορη διάδοση φλόγας, μεγάλη ταχύτητα καύσης έως και δύο φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τη βενζίνη, υψηλή θερμοκρασία φλόγας και ισχυρή ακτινοβολία θερμότητας με αποτέλεσμα να το κάνουν αρκετά επικίνδυνο και να έχει την δυνατότητα να προκαλέσει μια μεγάλη περιοχή φωτιάς. Ακόμα το LNG όπως είπαμε μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο πλοίο, όταν έρθει σε επαφή με το μέταλλο, θέτοντας έτσι σε κίνδυνο την δομή του πλοίου . Η εύκολη εξάτμιση του LNG σε θερμοκρασία δωματίου κάνει την πίεση και τη θερμοκρασία μέσα στο κέλυφος να ανεβαίνουν εύκολα, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η δομή του.(Li Jianhua & Huang Zhenghua, 2012)

1.3 Η παραγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Η ζήτηση του φυσικού αερίου αυξάνεται και αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται, κυρίως λόγω της χρήσης του ως καθαρού καύσιμου. Τα αποθέματα φυσικού αερίου κατανέμονται αρκετά ομοιόμορφα σε όλο τον κόσμο, παρέχοντας περισσότερες επιλογές στους εισαγωγείς που τους καθιστούν λιγότερο εξαρτημένους από τις

προμήθειες άλλων ορυκτών καυσίμων. Η τρέχουσα ζήτηση και η προσεγγιστική μελλοντική ζήτηση ενέργειας δεν μπορούν να καλυφθούν από τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οπότε το LNG παρέχει μια ελκυστική εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα ορυκτά καύσιμα. Η παραγωγή του φυσικού αερίου κατέγραψε μεγάλες ογκομετρικές αυξήσεις το 2018, όπως βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα 1.4. Η παραγωγή του αυξήθηκε κατά 5,2%, ο υψηλότερος ρυθμός από το 2010 και περισσότερο από το διπλάσιο του μέσου ρυθμού αύξησης της τάξεως του 2,3%. Οι ΗΠΑ (86bcm) και η Ρωσία (34 bcm) αντιπροσωπεύουν σχεδόν τα δύο τρίτα της παγκόσμιας ανάπτυξης. (BP Statistical Review of world energy, 2019)

Το Φυσικό αέριο μπορεί να βρεθεί :

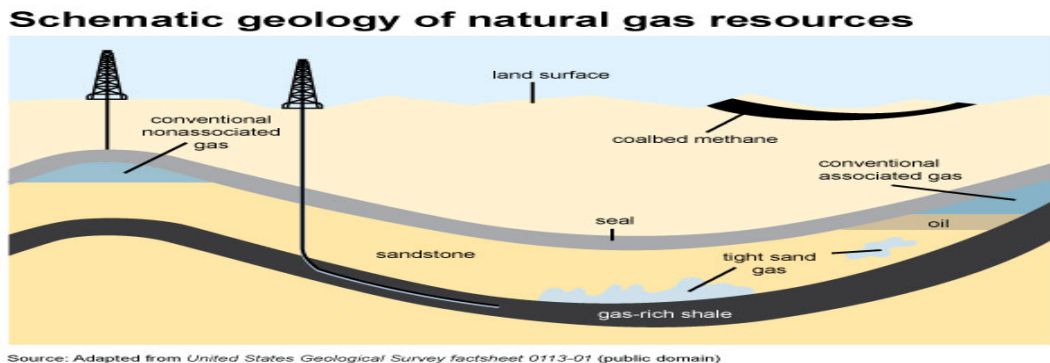
- Σε υπόγεια ‘wells’ που είναι οι κύριες πηγές φυσικού αερίου.
- δεξαμενές συμπακνωμάτων (πεντάνια και βαρύτεροι υδρογονάνθρακες)
- Μεγάλα πεδία πετρελαίου

Στην περίπτωση πετρελαιοπηγών, το φυσικό αέριο μπορεί να είναι είτε σε διάλυμα με το αργό πετρέλαιο είτε ως ανώτατο όριο αερίου πάνω από αυτό. (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, SIGTTO)

Το φυσικό αέριο συναντάται σε σχίσματα ονομάζεται συμβατικό φυσικό αέριο και μπορεί να εξαχθεί από τη γη είτε μέσω φυσικής πίεσης είτε μέσω άντλησης. Το φυσικό αέριο εμφανίζεται επίσης σε κάποιους σχηματισμούς σχιστόλιθου, ψαμμίτη και άλλους τύπους ιζηματογενών πετρωμάτων. Αυτό το φυσικό αέριο αναφέρεται ως αντισυμβατικό. Το φυσικό αέριο συναντάται επίσης σε κοιτάσματα αργού πετρελαίου είτε στο έδαφος είτε στο βυθό του ωκεανού. Αυτά τα βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα 1.2. (https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_home)

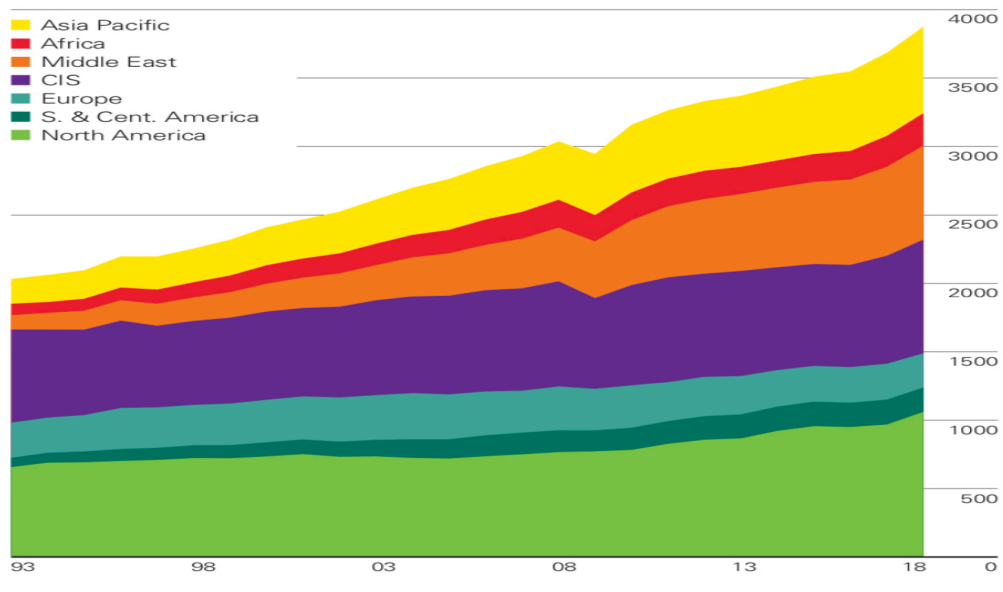
Το φυσικό αέριο περιέχει μικρή ποσότητα βαρύτερων υδρογονανθράκων, οι οποίες είναι συλλογικά γνωστές ως Natural Gas Liquids-NGLs. Αυτό είναι επιπλέον των διαφόρων ποσοτήτων νερού, διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αζώτου και άλλων μη υδρογονανθράκων.

Εικόνα 1.2: Σχηματική γεωλογία πόρων φυσικού αερίου



Πηγή: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_home

Διάγραμμα 1.4: Παραγωγή φυσικού αερίου ανά περιοχή



Πηγή: BP Statistical Review of world energy, 2019

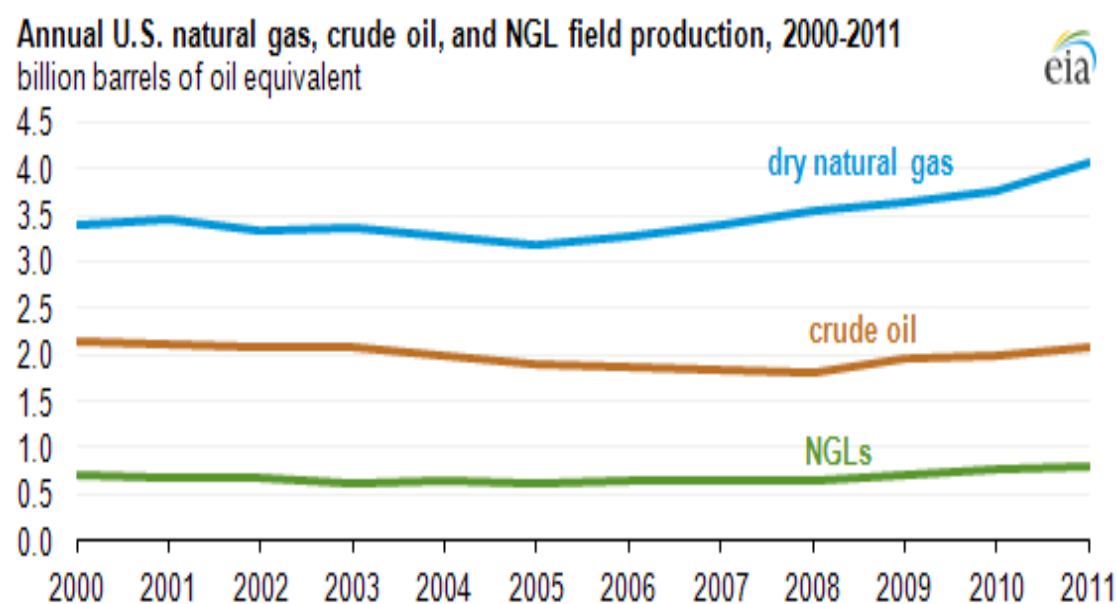
Πριν προχωρήσουμε παρακάτω, αρχικά πρέπει να εξηγήσουμε τι εννοούμε με τον όρο Natural Gas Liquids-NGLs.

Τα υγρά φυσικού αερίου (NGLs) είναι υδρογονάνθρακες - στην ίδια οικογένεια μορίων με το φυσικό αέριο και το αργό πετρέλαιο, που αποτελείται αποκλειστικά από άνθρακα

και υδρογόνο. Αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, ισοβουτάνιο και πεντάνιο. Υπάρχουν πολλές χρήσεις για τα NGLs, που καλύπτουν σχεδόν όλους τους τομείς της οικονομίας. Τα NGLs χρησιμοποιούνται ως εισροές για τα πετροχημικά φυτά, καίγονται για τη θέρμανση του χώρου και το μαγείρεμα και αναμειγνύονται με καύσιμα οχημάτων. Οι υψηλότερες τιμές του αργού πετρελαίου συνέβαλαν στην αύξηση των τιμών του NGLs και, με τη σειρά του, παρείχαν κίνητρα για την εξόρυξη πλούσιων σε υγρά πόρων με σημαντικό περιεχόμενο από το NGLs. (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, SIGTTO)

Οι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου στοχεύουν ολοένα και περισσότερο σε πλούσια σε υγρά τμήματα των λεκανών ύδρευσης λόγω των υψηλότερων τιμών του αργού πετρελαίου, οι οποίες επηρεάζουν την αξία των NGLs. Η παραγωγή πεδίου NGLs αναπτύσσεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, αντιπροσωπεύοντας ένα σημαντικό μέρος της εικόνας της προσφοράς. Τα NGLs εξάγονται από το ρεύμα παραγωγής φυσικού αερίου σε μονάδες επεξεργασίας φυσικού αερίου. Τα σημερινά αυξημένα επίπεδα εγχώριας ανάπτυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν ωθήσει την παραγωγή NGLs σε υψηλό όλων των εποχών (βλ. Διάγραμμα 1.5), γεγονός που οδηγεί σε ανησυχίες σχετικά με τους περιορισμούς μεταποίησης και διανομής τα επόμενα χρόνια.

Διάγραμμα 1.5: Η παραγωγή φυσικού αερίου, αργού πετρελαίου και NGL



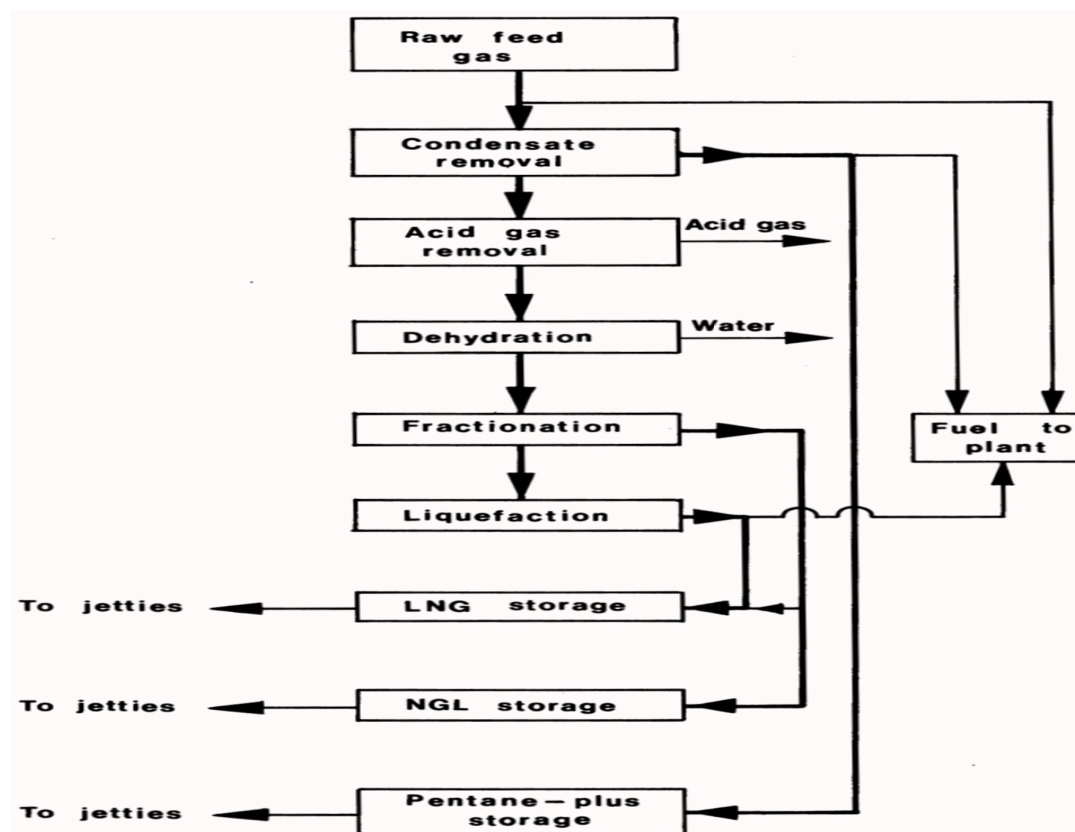
Πηγή: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=5930>

Αρά το NGLs αποτελείται από αιθάνιο, LPG και συμπυκνώματα αερίου. Το NGLs δεν πρέπει να συγχέονται με το gas to liquids (GTL) , το οποίο είναι μια διαδικασία διύλισης για τη μετατροπή φυσικού αερίου ή άλλων αερίων υδρογονανθράκων σε υδρογονάνθρακες μακρύτερης αλυσίδας, όπως βενζίνη ή ντίζελ. Ωστόσο, οι μονάδες GTL έχουν την ικανότητα να απογυμνώνουν το μεθάνιο από το ρεύμα αερίων και να φορτώνουν ακατέργαστο NGLs σε gas carrier με ψυκτικές δεξαμενές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα πλοία τροποποιούνται με πρόσθετη χωρητικότητα συμπιεστών για αποστολή σε πελάτες που μπορούν να δεχθούν φορτία πλούσια σε αιθάνιο. Το NGLs τυπικώς μεταφέρεται σε θερμοκρασία -80°C και ατμοσφαιρική πίεση ή σε μείον 45°C σε πίεση ατμών 5 bar. (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, SIGTTO)

Το ποσοστό των Natural Gas Liquids που περιέχεται στο ακατέργαστο φυσικό αέριο ποικίλλει από τη μια περιοχή στην άλλη. Ωστόσο, τα Natural Gas Liquids είναι γενικά μικρότερα σε ποσοστά του συνολικού φυσικού αερίου σε πηγές αερίου από ότι όταν βρίσκονται σε δεξαμενές συμπυκνωμάτων ή αργού πετρελαίου. Ανεξάρτητα από την προέλευσή τους, το φυσικό αέριο απαιτεί επεξεργασία για την απομάκρυνση των βαρύτερων υδρογονανθράκων και των μη υδρογονανθράκων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι είναι αποδεκτές για υγροποίηση ή για χρήση ως καύσιμο.

Το παρακάτω διάγραμμα 1.6 είναι ένα τυπικό διάγραμμα ροής για μια μονάδα υγροποίησης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Το ακατέργαστο αέριο τροφοδοσίας αφαιρείται πρώτα από τα συμπυκνώματα. Ακολουθεί η αφαίρεση των όξινων αερίων (διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο). Το διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να απομακρύνεται καθώς παγώνει σε θερμοκρασία πάνω από το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του υγροποιημένου φυσικού αερίου και αφαιρείται το υδρόθειο τοξικής ένωσης καθώς προκαλεί ατμοσφαιρική ρύπανση όταν καίγεται σε καύσιμο. Η απομάκρυνση του όξινου αερίου κορεσμοί το ρεύμα αερίου με υδρατμούς και αυτό στη συνέχεια αφαιρείται από τη μονάδα αφυδάτωσης. (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Third Edition, SIGTTO)

Διάγραμμα 1.6: Τυπική ροή υγροποίησης του φυσικού αερίου

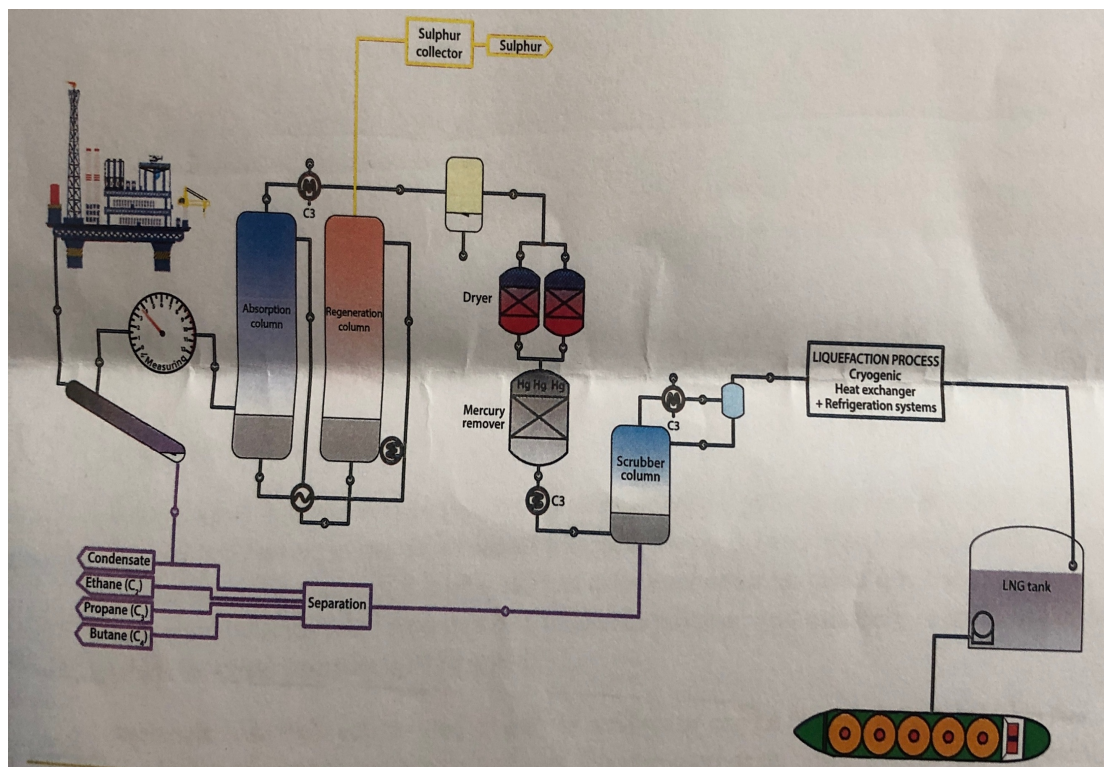


Πηγή: Liquefied Gas Handling principles on ships and in terminals (LGHP4), Third Edition , SIGTTO

Το αέριο στη συνέχεια διέρχεται σε μια μονάδα κλασμάτωσης όπου τα NGLs απομακρύνονται και περαιτέρω διαιρούνται σε προπάνιο και βουτάνιο. Τέλος, η κύρια ροή φυσικού αερίου, τώρα κυρίως μεθανίου, υγροποιείται στο τελικό προϊόν, το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Στο διάγραμμα 1.7 βλέπουμε μια τυπική μονάδα υγροποίησης (γνωστή ως 'train') που χρησιμοποιείται για την παραγωγή LNG. Προκειμένου να υγροποιηθεί το αέριο μεθανίου, η θερμοκρασία του πρέπει να ελαττωθεί σε περίπου στους -162°C , που είναι το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του.

Διάγραμμα 1.7: Διάγραμμα ροής για μια τυπική μονάδα υγροποίησης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή LNG.



Πηγή: Liquefied Gas Handling principles on ships and in terminals (LGHP4), Fourth Edition , SIGTTO

Η διαδικασία υγροποίησης είναι ένας περίπλοκος κύκλος ψύξης, που αποτελείται από συμπιεστές (που κινούνται από steam or gas turbines ή ηλεκτρικούς κινητήρες) και heat exchangers , όπου θερμαίνεται το εισερχόμενο αέριο το οποίο με τη σειρά του μεταφέρει τη θερμότητα σε ένα εξωτερικό ψυκτικό υγρό. Υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες διαδικασίες για την υγροποίηση του φυσικού αερίου, πολλές από τις οποίες είναι μοναδικές στο σχεδιασμό, αλλά όλες εκτελούν κοινά καθήκοντα (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, SIGTTO):

- επεξεργασία του αερίου για την απομάκρυνση ακαθαρσιών, όπως ο υδράργυρος, για την πρόληψη προβλημάτων διάβρωσης
- την απομάκρυνση όξινων αερίων όπως το hydrogen sulphide H_2S και το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , κυρίως για την πρόληψη προβλημάτων διάβρωσης (το H_2S είναι επίσης ένας ατμοσφαιρικός ρύπος σε ένα καύσιμο, το CO_2

θεωρείται ρύπος καθώς και ένα αέριο θερμοκηπίου και θα παγώσει επίσης κατά τη διάρκεια της κρυογονικής διαδικασίας).

- αφυδάτωση, για να αποφευχθεί η κατάψυξη οποιουδήποτε παρασυρόμενου νερού κατά τη διάρκεια της κρυογονικής διαδικασίας
- διαχωρισμός βαρέους ελαίου / ένωσης

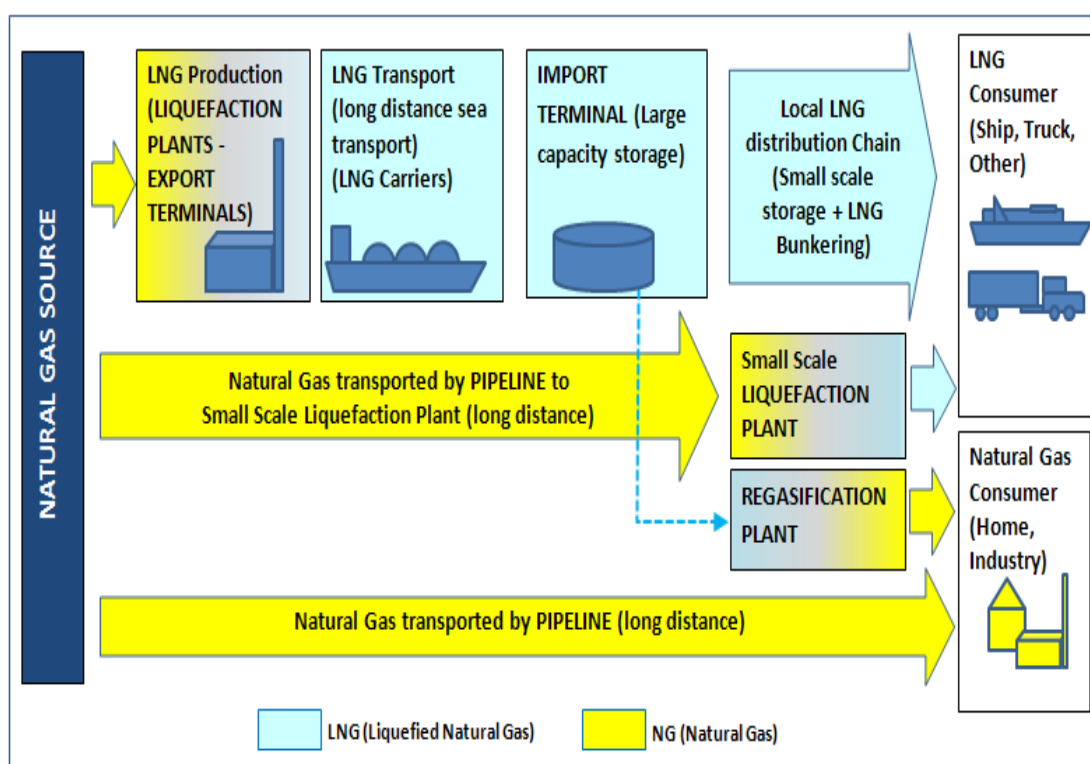
Οι διαδικασίες υγροποίησης σε λειτουργία έχουν ένα ευρύ φάσμα πολυπλοκότητας και διαφέρουν ως προς την αποτελεσματικότητα και το μέγεθος. Με την προσθήκη μονάδων ή κύκλων η απόδοση μπορεί να αυξηθεί, αλλά το μέγεθος και το βάρος θα αυξηθούν επίσης. Οι εγκαταστάσεις ξηράς μπορούν γενικά να έχουν υψηλότερο αριθμό εγκαταστάσεων και ευκαιρία για μεγαλύτερες ποσότητες αποθήκευσης υδρογονανθράκων. Ως αποτέλεσμα, η αποτελεσματικότητά τους και ο ρυθμός παραγωγής είναι υψηλοί. Αντίθετα, οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις θα έχουν συστολές του βάρους και του χώρου. (Liquefied Gas Handling principles on Ships and in Terminals, Fourth Edition, SIGTTO)

1.4 Η αλυσίδα αξίας του LNG – LNG Value Chain

Η αλυσίδα αξίας του LNG είναι μια διαδικασία που έχει να κάνει με τη σύνδεση της πηγής του φυσικού αερίου με τους τελικούς καταναλωτές του φυσικού αερίου. Το παρακάτω διάγραμμα 1.8 μας δείχνει μια αλυσίδα αξίας LNG στην πιο απλή του μορφή, όπου διακρίνει δυο τύπους τελικών καταναλωτών, αυτούς που χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο και αυτούς που χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο στην υγρή του κατάσταση, δηλαδή το LNG. Επομένως οι τελικοί χρήστες αυτού του προϊόντος διαχωρίζονται σε αυτούς που θέλουν το φυσικό αέριο για οικιακή χρήση και σε αυτούς που το θέλουν για να καλύψουν της βιομηχανικές τους ανάγκες και συνήθως το θέλουν ως LNG. Η αλυσίδα αξίας του LNG χαρακτηρίζεται από τα στάδια υγροποίησης και επαναεριοποίησης και έχει να κάνει με την μετατροπή του φυσικού αερίου σε LNG και αντίστροφα. Το φυσικό αέριο έχει λόγο να μεταφερθεί μόνο στην υγρή του κατάσταση για να είναι η μεταφορά αποδοτική γιατί όπως είχαμε αναφερθεί το LNG καταλαμβάνει 600 φορές λιγότερο όγκο από το φυσικό αέριο. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018).

Από το διάγραμμα 1.8, η αλυσίδα αξίας του LNG μπορεί να αφορά την παραγωγή του LNG, δηλαδή την υγροποίηση του από ένα τερματικό σε μια χώρα που κάνει εξαγωγές LNG. Στη συνέχεια το LNG μεταφέρεται μέσω πλοίων σε ένα εισαγωγικό λιμάνι μεγάλης κλίμακας. Από εκεί μπορεί να μεταφερθεί σε μικρότερες τοπικές εγκαταστάσεις και να χρησιμοποιηθεί για να γίνεται ο ανεφοδιασμός των πλοίων με LNG. Επίσης το LNG μπορεί να μεταφερθεί και μέσω αγωγών σε εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού ή να πάει κατευθείαν στους οικιακούς καταναλωτές του.

Διάγραμμα 1.8 : Η αλυσίδα αξίας του υγροποιημένου φυσικού αερίου



Πηγή: EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018

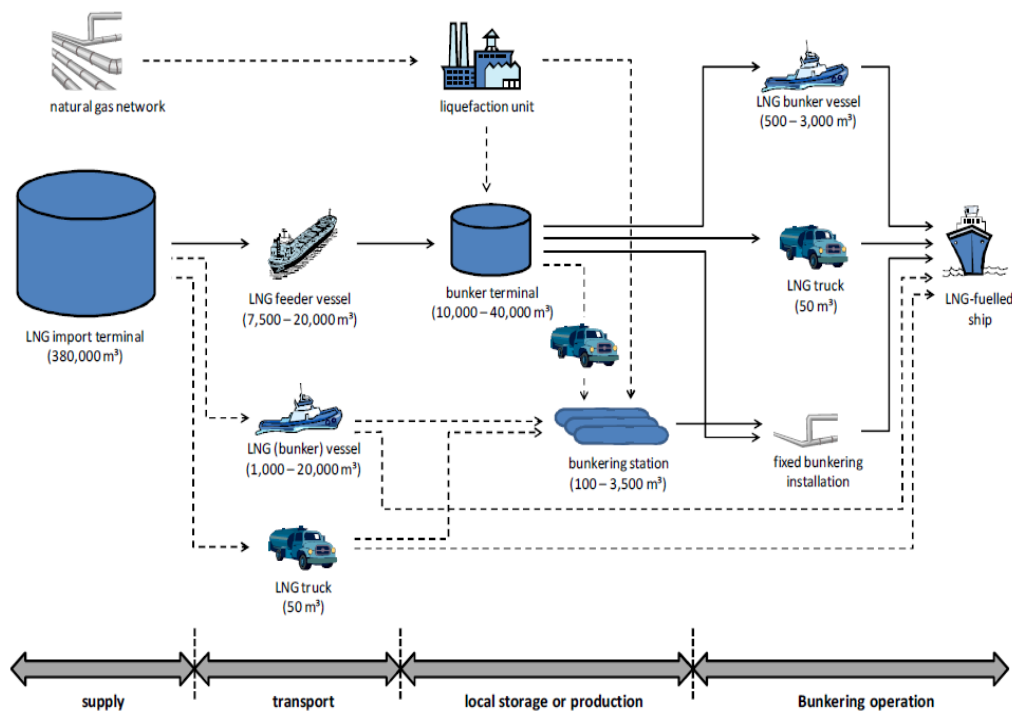
Όταν σχεδιάζεται μια αλυσίδα LNG, πρέπει τα στάδια που γίνεται η μεταφορά του LNG να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα. Όταν υπάρχουν πολλά μέρη που αλληλοεπιδρούν, όπως οι εγκαταστάσεις υγροποίησης, η διαδικασίες μεταφοράς με πλοίο καθώς και ο ανεφοδιασμός από πλοίο σε πλοίο, είναι πιθανό να υπάρξουν ταχείες ή λειτουργικές απώλειες LNG. Σε εγκαταστάσεις υγροποίησης για παράδειγμα, οι συμπιεστές LNG είναι δυνατόν να έχουν μικρές διαρροές μεθανίου. Το μεθάνιο όπως

θα δούμε και σε παρακάτω κεφάλαιο, όταν υπάρξει διαρροή του στην ατμόσφαιρα δημιουργεί πρόβλημα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκτός από της περιβαλλοντικές καταστροφές πρέπει να υπάρχουν μέτρα ασφάλειας, έτσι ώστε να ελαττώνεται ο κίνδυνος να έχουμε απώλειες LNG κατά όλα τα στάδια της αλυσίδας.

Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε ότι ένα κομμάτι της αλυσίδας αξίας του LNG βρίσκεται στα όρια ενός τερματικού σταθμού και πολλές φορές αυτό πρακτικά σημαίνει να υπάρχει μια γκάμα από πολλά άλλα μεταφορικά μέσα, ως ένας κόμβος συνδυασμένων μεταφορών. Έτσι υπάρχει μια δεξαμενή από πολλούς ενδιαφερόμενους για το LNG εντός του λιμένα. Οι κανόνες λιμένων και οι τοπικοί κανονισμοί θα πρέπει όχι μόνο να λαμβάνουν υπόψη αυτή την έννοια αλλά και να συνειδητοποιούν τα διαφορετικά ρυθμιστικά πλαίσια που μπορεί να έχουν σημασία για διάφορα τμήματα της αλυσίδας LNG. Σταθερές εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού με υγροποιημένο φυσικό αέριο και κινητές μονάδες μπορούν να συνυπάρχουν, δίνοντας την ακριβή έκφραση στην ευελιξία του LNG ως καυσίμου. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018).

Η αλυσίδα αξίας του LNG, όταν φτάνει στο κομμάτι και καταλήγει σε ένα τερματικό που εισάγει φυσικό αέριο από εκεί μπορεί να κατανεμηθεί σε περαιτέρω κομμάτια, και να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τρόποι ανεφοδιασμού. Στο διάγραμμα 1.9 βλέπουμε διάφορους τρόπους και περιπτώσεις με τις οποίες ένα πλοίο μπορεί να τροφοδοτηθεί με LNG. Γενικά τα στάδια που βλέπουμε στο διάγραμμα έχουν να κάνουν με τη προμήθεια, τη μεταφορά, την τοπική αποθήκευση και από εκεί στα πλοία που θα χρησιμοποιήσουν το LNG ως καύσιμο. Ο ανεφοδιασμός με LNG ως το τελικό στάδιο της αλυσίδας, θα εξαρτηθεί από την ζήτηση για το LNG ως καύσιμο καθώς και από ποιους τρόπους ανεφοδιασμού θα χρησιμοποιηθούν και ποιος είναι ο αποδοτικότερος και τέλος και πολλή σημαντικό αν οι υποδομές ανεφοδιασμού επαρκούν. Όταν γίνεται ο έλεγχος της αλυσίδας αξίας του LNG, αποτρέπονται πολλά προβλήματα και ανεπιθύμητες καταστάσεις, επομένως είναι σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός της για να γίνεται αποδοτικότερη. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, 2018).

Διάγραμμα 1.9 : Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων οδών εφοδιασμού για την παράδοση του LNG ως καυσίμου για πλοία



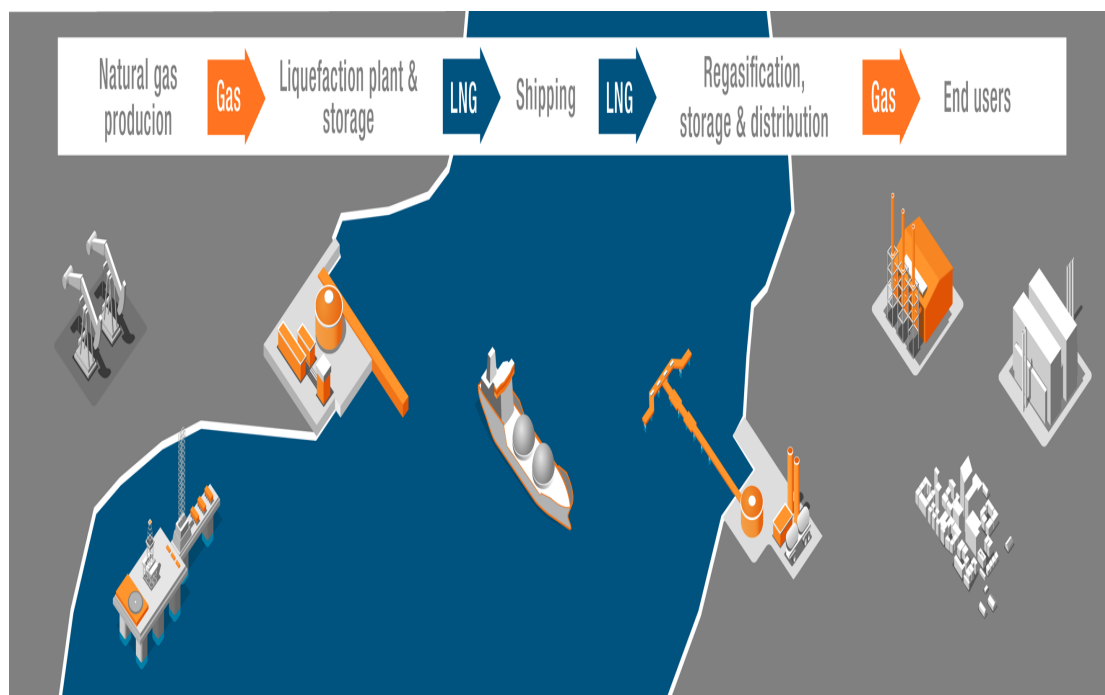
Πηγή: EMSA, Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations, January 2018, page 42

Για μια τυπική αλυσίδα αξίας LNG, η εξερεύνηση και η παραγωγή των πρώτων υλών αντιπροσωπεύουν το 15 έως 20% του συνολικού κεφαλαιουχικού κόστους, η ρευστοποίηση περιλαμβάνει το 30-45% των δαπανών, οι ναυτιλιακοί λογαριασμοί για το υπόλοιπο 10-30% και η αεριοποίηση και αποθήκευση για το υπόλοιπο 15 έως 25%. (Maxwell and Zhu, 2010)

Επομένως ως συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε ότι η αλυσίδα αξίας του υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελείται από πέντε στάδια, όπως βλέπουμε και στο παρακάτω διάγραμμα 1.10. Το πρώτο στάδιο είναι η παραγωγή του φυσικού αερίου. Το δεύτερο στάδιο είναι η υγροποίηση και η αποθήκευση του φυσικού αερίου, δηλαδή η μετατροπή του σε LNG. Το τρίτο στάδιο είναι επακόλουθο του δεύτερου σταδίου αφού όπως έχουμε αναφερθεί σε παραπάνω το φυσικό αέριο υγροποιείται έτσι ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και μεταφερθεί πιο εύκολα και πιο αποδοτικά. Επομένως το

τρίτο στάδιο είναι η μεταφορά του LNG μέσω πλοίων. Το τέταρτο στάδιο έχει να κάνει σχέση με το ότι το LNG αφού μεταφερθεί με τα πλοία, ως ένα από τα σημαντικότερα ενεργειακά προϊόντα που είναι λόγω των πλεονεκτημάτων του που αναλύσαμε παραπάνω, αλλά και που θα αναλύσουμε λεπτομερώς στη συνέχεια, το LNG θα μεταφερθεί σε ένα τερματικό σταθμών επαναεριοποίησης, όπου εκεί το LNG θα ξανά θα γίνει αέριο, θα αποθηκευτεί και από εκεί θα γίνει η κατανομή του στον τελικό προορισμό του. Το πέμπτο στάδιο είναι ότι το φυσικό αέριο φτάνει στο τελικό του προορισμό, δηλαδή σε εμάς τους καταναλωτές.

Διάγραμμα 1.10: Η αλυσίδα αξία του υγροποιημένου φυσικού αερίου



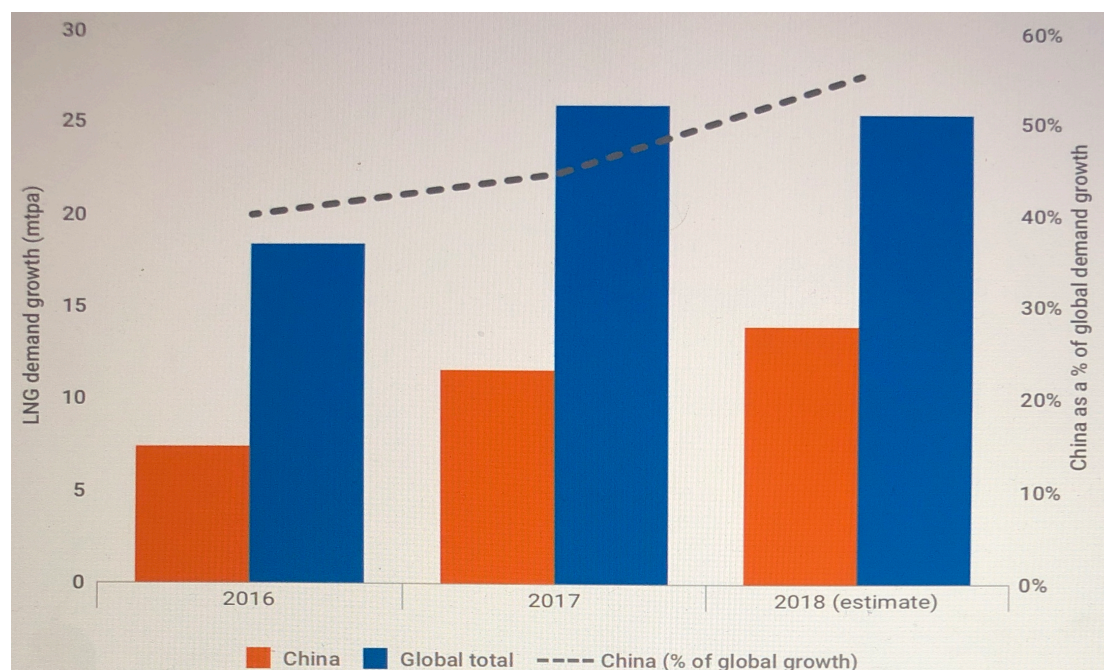
Πηγή: <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/lng-value-chain-optimisation-case-myanmar>

2 ΤΟ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΩΣ ΦΟΡΤΙΟ.

2.1 Το παγκόσμιο εμπόριο του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Από το διάγραμμα 2.1 βλέπουμε ότι η προσφορά για LNG έχει αυξηθεί κατά 29% μέχρι το τέλος του 2018, σε ένα διάστημα μεταξύ τριών χρόνων. Το 2018 ήταν μια χρονιά που στην αγορά για το φυσικό αέριο υπήρξε υπερπροσφορά. Η αύξηση της ζήτησης για φυσικό αέριο ήταν μεγαλύτερη από την αναμενόμενη και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην Κίνα, η οποία έχει απορροφήσει σχεδόν το 50% της παγκόσμιας αύξησης της προσφοράς για LNG (Gas Strategies, LNG outlook 2019)

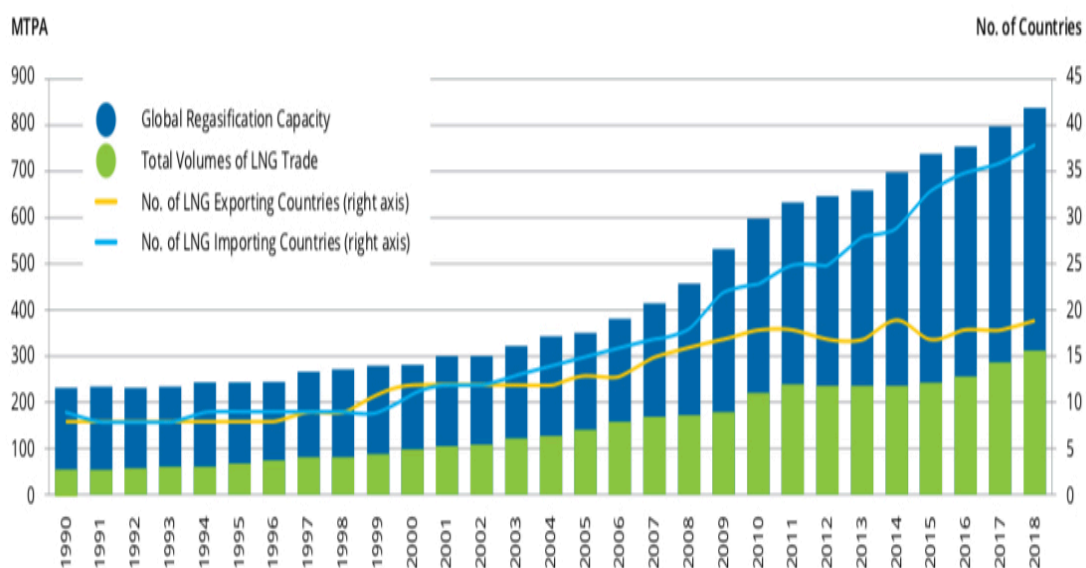
Διάγραμμα 2.1 Κινεζική ζήτηση LNG σε σχέση με την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης



Πηγή: Gas Strategies, LNG outlook 2019

Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα 2.2 το παγκόσμιο εμπόριο του LNG αυξήθηκε κατά 28,2 τόνους το 2018, καθορίζοντας ένα νέο ετήσιο ρεκόρ 316,5 τόνων. Συγκρινοντάς το με 2017, παρατηρούμε ότι είχε την ισχυρότερη διετή περίοδο ανάπτυξης για τη διεθνή ζήτηση LNG από το 2010 έως το 2011. Η αντίστοιχη δυναμική ανάπτυξη αναμένεται το 2019, καθώς ένα κύμα έργων που εγκρίθηκε το 2013-15 έρχεται σε απευθείας σύνδεση και άλλα φτάνουν στην παραγωγική ικανότητα. (IGU, 2019)

Διάγραμμα 2.2: Το εμπόριο του LNG, 1990-2018



Πηγή: IGU, 2019

Η μεγαλύτερη αύξηση στις εξαγωγές LNG συνέβη και πάλι στην Αυστραλία (+12,2 MT), λόγω την επέκταση των εγκαταστάσεών του και την αύξηση της παραγωγικής της ικανότητας αλλά και της μεγαλύτερης χρήσης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Οι άλλες χώρες που συνέφεραν και διαδραμάτισαν καθοριστικό λόγο για την αύξηση της προσφοράς LNG ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ρωσία, οι οποίες προσέθεσαν 8,2 και 7,8 MT αντίστοιχα. Μετά την πτώση κατά το 2017, η παγκόσμια δραστηριότητα επανεξαγωγής αυξήθηκε κατά 46% σε ετήσια βάση, με 3,9 MT να επανεξάγεται από 11 αγορές κατά τη διάρκεια του έτους. (IGU, 2019)

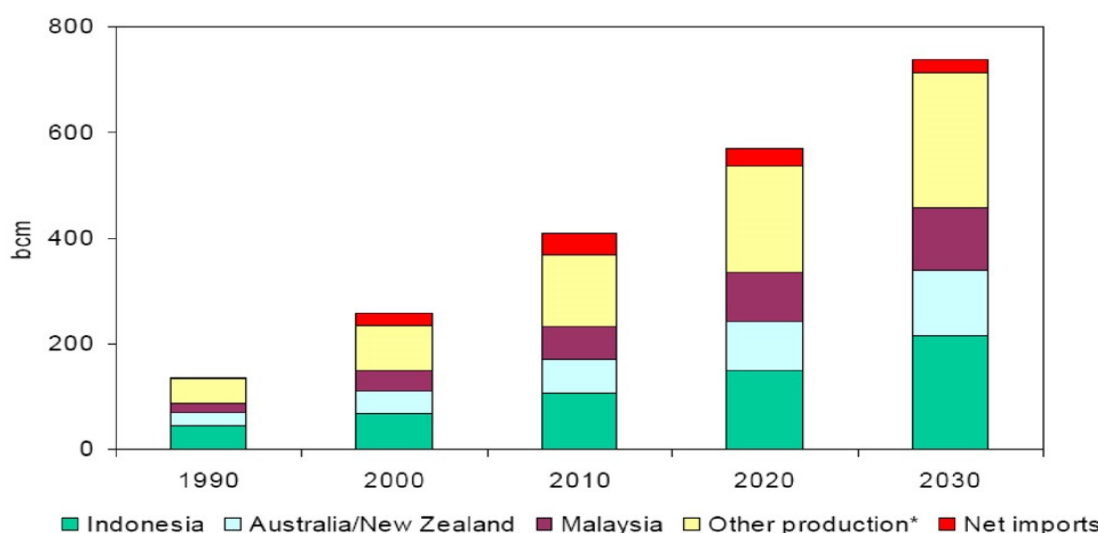
Κορυφαία περιοχή εξαγωγής LNG, παρέμεινε η περιοχή Ασίας – Ειρηνικού προμηθεύοντας το 38,4% των συνολικών εξαγωγών, δηλαδή 121,6 ΜΤ. Το κύμα ανάπτυξης που σημειώθηκε στις εξαγωγές προέρχεται από έργα επέκτασης των υπάρχοντων υποδομών καθώς και ότι αύξησαν την παραγωγή τους στις υπάρχουσες υποδομές, με την Αυστραλία να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτό. Σε χώρες όπως η Μαλαισία, η Ινδονησία αλλά και η Παπούα Νέα Γουινέα μείωσαν την παραγωγική τους ικανότητα και έτσι και της εξαγωγές σε LNG. (IGU, 2019)

Οι κυβερνητικές πολιτικές έχουν επιτακτικό ρόλο στην ανάπτυξη του LNG στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού. Όσον αφορά την ανάπτυξη του LNG, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες: εκείνες που αφορούν την εγχώρια υποδομή, την ενέργεια και το περιβάλλον και το εθνικό συμφέρον. Στην πρώτη κατηγορία, η κυβερνητική πολιτική, για παράδειγμα για την ελευθέρωση των εγχώριων βιομηχανιών αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, έχει σημαντικές επιπτώσεις στις επιχειρήσεις LNG, όπως προαναφέρθηκε. Ομοίως, η θέση της κυβέρνησης για την προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί σημαντικό παράγοντα της ζήτησης, όπως δείχνει η Ιαπωνία. Η δέσμευση της ιαπωνικής κυβέρνησης για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κυότο στη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος θα είναι δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς μεγαλύτερη χρήση φυσικού αερίου έναντι άλλων ορυκτών καυσίμων και επομένως η Ιαπωνία άλλαξε τη χρήση φυσικού αερίου για να εκπληρώσει τη διαβεβαίωσή της. Άλλες ασιατικές χώρες ακολουθούν επίσης την ίδια πολιτική με την Ιαπωνία για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, λόγω κυβερνητικών πολιτικών για την προστασία του περιβάλλοντος, περισσότερες ασιατικές χώρες μεταβαίνουν από την κατανάλωση άνθρακα και πετρελαίου σε κατανάλωση φυσικού αερίου. (Kumar, Kwon, Choi, Cho, Lim and Moon, 2011)

Σήμερα, το εμπόριο φυσικού αερίου στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού, χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο στην υγρή του μορφή κυρίως και αυτός είναι και ένας από τους βασικότερους λόγους στο ότι η Ασία είναι η κυρίαρχος δύναμη στην παγκόσμια αγορά LNG. Για αυτό το λόγο ότι στην Ασία χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ως LNG, το εμπόριο του φυσικού αερίου μέσω αγωγών είναι πολύ περιορισμένο σε αυτή την

περιοχή. Μεταξύ των ασιατικών χωρών, η Σιγκαπούρη εισάγει φυσικό αέριο από τη Μαλαισία, την Ταϊλάνδη από τη Μιανμάρ (Βιρμανία) και το Χονγκ Κονγκ από την Κίνα. Επί του παρόντος, οι κυριότεροι εισαγωγείς LNG στην περιοχή Ασίας και Ειρηνικού είναι: η Ιαπωνία, η Κορέα και η Ταϊβάν. Με την αφθονία της προσφοράς LNG, οι νέοι αγοραστές θα είναι σημαντικοί για την επέκταση της αγοράς φυσικού αερίου στην Ασία. (Kumar, Kwon, Choi, Cho, Lim and Moon, 2011)

Διάγραμμα 2.3: Παραγωγή και εισαγωγές αερίου στην περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού



Πηγή: Current status and future projections of LNG demand and supplies: A global prospective, Energy Policy, 2011, page 4099

Σύμφωνα με τον international gas union για το 2019, όσο αναφορά τις ευρωπαϊκές εισαγωγές με LNG θα διαμορφωθούν ως συνέπεια τις δυναμικής που υπάρχει στην αγορά προς το τέλος του 2018, καθώς και λόγω της μείωσης της εγχώριας παραγωγής φυσικού αερίου στην ευρωπαϊκή ήπειρο. Όμως το πόσο LNG θα εισαχθεί στους ευρωπαϊκούς λιμένες θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από το πόσο αέριο θα προμηθεύσουν οι αγωγοί στην Ευρώπη. Η Ρωσία λόγω ότι είναι από τις μοναδικές χώρες στην Ευρώπη που εξάγει φυσικό αέριο θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα ανταγωνισμό με το LNG ιδίως αν οι τιμές του LNG αυξηθούν λόγω τις υψηλότερης ζήτησης. (IGU, 2019)

Στο πλαίσιο του τομέα του φυσικού αερίου, το LNG διαδραματίζει έναν ολοένα αυξανόμενο ρόλο. Όπως και το φυσικό αέριο, έτσι και το LNG είναι καθαρότερο από τον άνθρακα ή το πετρέλαιο και προσφέρει μια ευκαιρία για επέκταση του ενεργειακού εφοδιασμού. Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση LNG προβλέπεται να αυξηθεί ταχύτερα από ό, τι για το φυσικό αέριο, γενικά, κατά τα επόμενα 10 χρόνια.

Κάποιες εκτιμήσεις έκαναν λόγο ότι η ζήτηση για φυσικό αέριο αναμένεται να αυξηθεί κατά 44% μεταξύ του 2008 και του 2035, με μέσο ποσοστό αύξηση 1,4% ετησίως. Λόγο για την ανάγκη απεμπλοκής από τον άνθρακα και τη στροφή σε καύσιμα πιο φιλικά στο περιβάλλον, και λόγω όλων το περιβαλλοντικών μέτρων που αναμένεται να εφαρμοστούν, υπολογίζεται ότι αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης για φυσικό αέριο. Παράγοντες όπως η αύξηση της ζήτησης για LNG από την Κίνα, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το ένα πέμπτο της αύξησης της παγκόσμιας ζήτησης για LNG, καθώς και ότι η ΗΠΑ αυξάνουν συνεχώς την παραγωγική τους ικανότητα και μεγαλώνουν την εξαγωγική τους δύναμη διότι βρίσκουν φυσικό αέριο από μη συμβατικές πηγές, όπως φυσικό αέριο σχιστόλιθου, το πλεόνασμα της παγκόσμιας ικανότητας σε ανεφοδιασμό αναμένεται να σημειώσει αύξηση και θα οδηγήσει τις τιμές του φυσικού αερίου να απομακρυνθούν από την συσχέτιση που γίνεται με τις τιμές του πετρελαίου. (Kumar, Kwon, Choi, Cho, Lim and Moon, 2011)

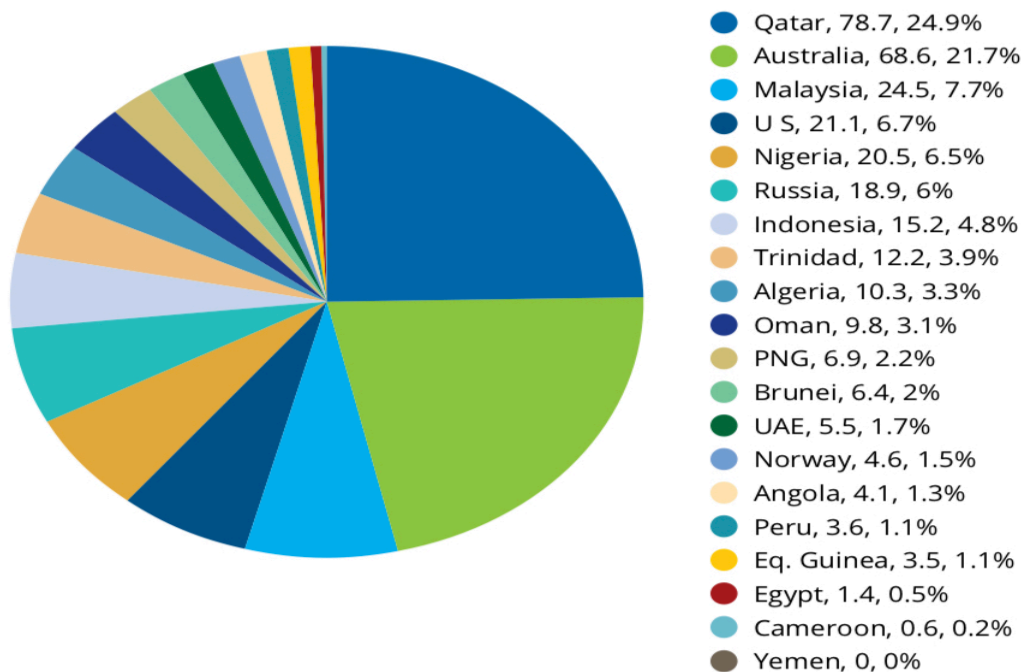
Οι περιορισμοί στις εκπομπές CO₂, η σταδιακή κατάργηση της πυρηνικής ενέργειας από ορισμένα κράτη μέλη, οι υψηλές εκπομπές από την παραγωγή άνθρακα και τα εμπόδια στην ταχεία ανάπτυξη της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελούν παράγοντες που φαίνεται να επιβάλλουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) το φυσικό αέριο. Ως εκ τούτου, στην Ευρώπη, το φυσικό αέριο έχει μεγάλη σημασία. Πολλοί πιστεύουν (μερικές χώρες έθεσαν ακόμη πολιτικές) ότι το φυσικό αέριο θα είναι το καύσιμο που θα αποτελέσει τη γέφυρα για ένα ενεργειακό μέλλον με λιγότερη εξάρτηση από τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια. Επιπλέον, το 2009, περίπου το 26% της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας των 27 μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης προήλθε από φυσικό αέριο, καθιστώντας το σήμερα ένα πολύ σημαντικό καύσιμο.

Ένας αριθμός νέων τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου βρίσκεται υπό κατασκευή, ενώ τα υπάρχοντα τερματικά επεκτείνονται μέσω έργων την παραγωγική τους ικανότητα. Μακροπρόθεσμα, το LNG θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει το 25% του συνολικού εφοδιασμού της ΕΕ. Για να διατεθούν στην Ευρώπη όλοι οι απαραίτητοι επιπλέον όγκοι, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Οι επενδύσεις αυτές είναι απαραίτητες σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού: εξερεύνηση και ανάπτυξη, συστήματα μεταφοράς, υποδομή LNG και ικανότητα αποθήκευσης LNG. (Kumar, Kwon, Choi, Cho, Lim and Moon, 2011)

2.2 Οι εξαγωγές του LNG ανά χώρα

Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα 2.4 με εξαγωγές 78,7 τόνων, το Κατάρ συνέχισε να είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG, θέση που κατέχει εδώ και πάνω από μία δεκαετία. Ωστόσο, σύμφωνα με το IGU το Κατάρ είδε το παγκόσμιο μερίδιο αγοράς του να συνεχίζει να μειώνεται (στο 25%), καθώς η παραγωγή του παραμένει ως επί το πλείστον σταθερή ενώ οι εξαγωγές από άλλες αγορές αυξήθηκαν. Ακόμα από το διάγραμμα 2.4 παρατηρούμε ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ανέβηκαν στην τέταρτη θέση (21,1MT) το 2018. Ακόμα, βλέπουμε ότι η Αυστραλία (68,6 MT) και η Μαλαισία (24,5 MT) είναι η δεύτερη και η τρίτη εξαγωγική χώρα αντίστοιχα. Η Αυστραλία συνέχισε να μειώνει τη διαφορά με το Κατάρ, μειώνοντας το προβάδισμα όπως βλέπουμε και διαγραμματικά σε 10MT για το 2018. (IGU,2019)

Διάγραμμα 2.4: Εξαγωγές LNG και μερίδιο αγοράς

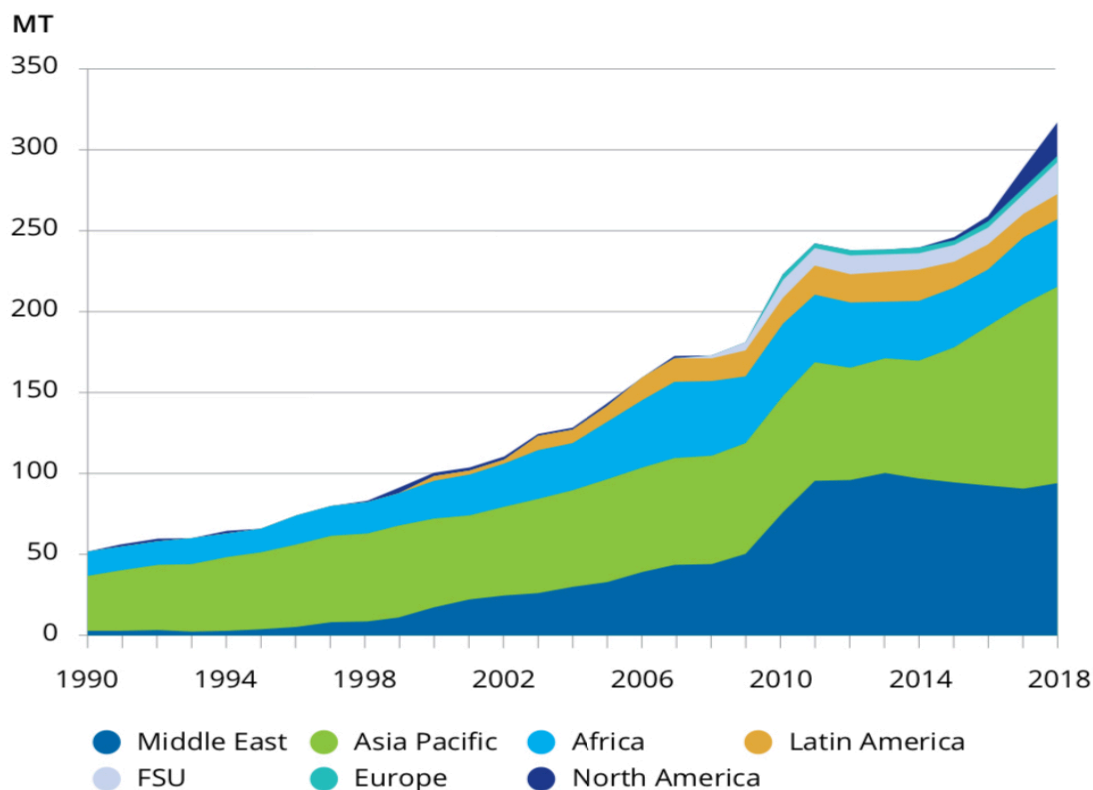


Πηγή: IGU,2019

Η περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 2.5 παρέμεινε πρώτη στις εξαγωγές LNG για το 2018, με την παραγωγή της συγκεκριμένης περιφέρειας να είναι 126,6 ΜΤ. Λόγο ότι το Κατάρ έχει μεγάλη ικανότητα υγροποίησης, η Μέση Ανατολή, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα παρέμεινε η δεύτερη περιοχή εξαγωγής LNG. (IGU,2019)

Η περιοχή της Βορείου Αμερικής προμηθευόταν με LNG κατά αποκλειστικότητα από τις ΗΠΑ, οι οποίες είχαν όφελος από την ετήσια παραγωγή LNG στο Sabine Pass, αλλά και ότι η εγκατάσταση παραγωγής LNG στο Cove Point άρχισε την έναρξη της λειτουργίας του. Στην περιφέρεια της Λατινικής Αμερικής, υπήρξε άνοδος των εξαγωγών για μία ακόμα χρονιά τις τάξεως τον 0,9ΜΤ και αυτό προήλθε λόγω ότι στο Τρινιδάδ, αύξησε τις εξαγωγές του. Η παραγωγή στο Περού μειώθηκε λόγω των άσχημων καιρικών συνθηκών που εμπόδιζε την φόρτωση φορτίων στα πλοία. (IGU,2019)

Διάγραμμα 2.5: Εξαγωγές LNG ανά περιφέρεια, 1990-2018



Πηγή: IGU,2019

Η εξαγωγές για LNG από την Αμερικανική ήπειρο, για το έτος 2019, αναμένεται να βρει στήριγμα από την αύξηση της παραγωγής φυσικού αερίου στην ΗΠΑ, όπως είχαμε πει από μη συμβατικές πηγές, όπως σχιστόλιθος. Η έναρξη της λειτουργία υποδομών παραγωγής LNG όπως: το Corpus Christi, το Elba Island, το Freeport και το Cameron LNG, αναμένεται να δώσει ώθηση στην αύξηση της παραγωγής αμερικανικού LNG. Επίσης είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στην Αργεντινή, η αυξανόμενη παραγωγή φυσικού αερίου τη δίνει την δυνατότητα να εξάγει φυσικό αέριο κατά περιόδους. Αυτό οφείλεται κατά πολλή στην πλωτή εγκατάσταση Tango FLNG, όπου είναι μια πλωτή μονάδα παραγωγής φυσικού αερίου και αναμένεται να εξάγει το 2019 0,5MT. (IGU,2019)

Φαίνεται ότι οι εξαγωγές για LNG από τις ΗΠΑ είναι χαμηλές συγκρίνοντάς τες με τη συνολική παγκόσμια προσφορά, αλλά οι αμερικανικές εξαγωγές αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά κατά τα επόμενα χρόνια. Υπάρχουν σαφές ενδείξεις ότι ο βαθμός

που θα αυξηθεί οι αμερικανικές εξαγωγές τα επόμενα χρόνια, θα εκφράζουν το 25% του παγκοσμίου εμπορίου για εξαγωγές φυσικού αερίου. Οι εξαγωγές των ΗΠΑ θα μπορέσουν μόνο να επηρεαστούν από έργα επέκτασης της παραγωγικής ικανότητας των υπαρχόντων υποδομών σε άλλες ανταγωνιστικές χώρες. Το Κατάρ για παράδειγμα που είναι άμεσος ανταγωνιστής για εξαγωγές LNG με τις ΗΠΑ, ανακοίνωσε ότι θα αυξήσει την παραγωγή LNG κατά 30% έως το 2024. (U.S Commodity Futures Trading Commission, May 2018)

2.3 Οι εισαγωγές του LNG ανά χώρα

Οι εισαγωγές για LNG συνεχίζουν να παίζουν καθοριστικό ρόλο, στην αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης για υδροποιημένο φυσικό αέριο. Συμφωνά με στοιχεία από τον International Gas Union, η περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού, ήταν η περιοχή με τις περισσότερες εισαγωγές LNG για το 2018, αν και το μερίδιο του παγκόσμιου εμπορίου σε αυτή την περιοχή σημείωσε μείωση κάτω από το 50%. Η ζήτηση σε αυτή την περιοχή για LNG όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα 2.7, καθοδηγήθηκε από τις εισαγωγές τις Ιαπωνίας για LNG που έφτασαν στους 83,2MT, και η Νότιος Κορέα εισήγαγε 44,5MT το 2018, όπως φαίνεται από το διάγραμμα. Η Ιαπωνία φαίνεται πως μείωσε το ρυθμός της στις εισαγωγές για LNG και κατά συνέπεια αυτό οδήγησε το εμπόριο στην περιοχή Ασίας – Ειρηνικού να μειωθεί και έτσι το ενδοπεριφερειακό εμπόριο ήταν στους 81,8MT, παρά το γεγονός πως η Αυστραλία αύξησε την παραγωγή της. (IGU, 2019)

Η Ιαπωνία, κατά το προηγούμενος έτος η ζήτηση που είχε για LNG ήταν χαμηλότερη και αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τομέας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μείωσε το ενδιαφέρον του για εισαγωγές LNG και αυτό οδήγησε στο γεγονός ότι οι εισαγωγές τη Ιαπωνίας για LNG, όπως ήταν αποτέλεσμα τον παραπάνω γεγονότων, μειώθηκαν. Η Νότιο Κορέα που ήταν κατά το παρελθόν η δεύτερη δύναμη στον τομέα εισαγωγών για LNG, το 2018 σημείωσε άνοδο των εισαγωγών της κατά 6,4MT. Τόσο η Ιαπωνία όσο και η Κορέα συνέχισαν να εισάγουν LNG από εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην Αυστραλία, το Κατάρ και τη Μαλαισία που είναι παραδοσιακή προμηθευτές τους. Η Κίνα όπως θα παρατηρήσουμε και από το διάγραμμα 2.7 που βρίσκεται παρακάτω, ήταν ο δεύτερος εισαγωγέας LNG

παγκοσμίως με 54,8ΜΤ. Το παγκόσμιο εμπόριο για LNG στην Ασία κατάφερε να αυξήσει το μερίδιο αγοράς του λόγω της αύξησης για εισαγωγές από την Κίνα. Τα αίτια για την τόσο ραγδαία αύξηση των εισαγωγών για LNG από την Κίνα τα τελευταία χρόνια, είχε πηγή προέλευσης την επιβολή πολιτικών και μέτρων προστασίας από τη κινέζικη κυβέρνηση για την απαλλαγή από τον άνθρακα και τη στροφή σε φιλικότερες προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας.(IGU, 2019)

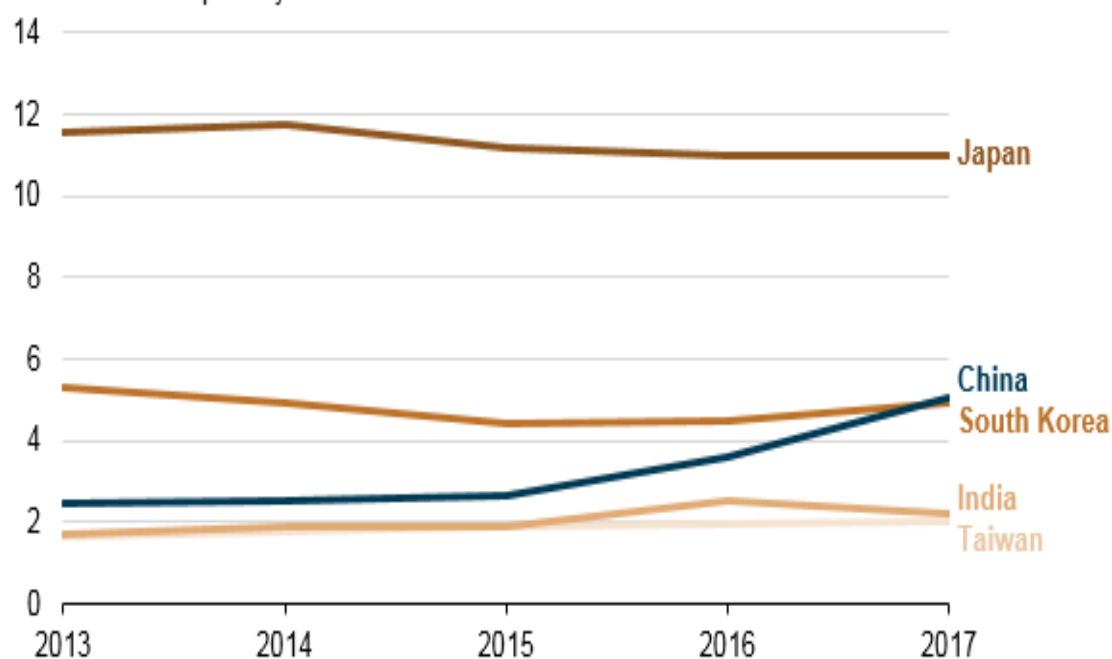
Το έτος 2017 ήταν καθοριστικό που η Κίνα ξεπέρασε την Νότιο Κορέα και έτσι σκαρφάλωσε στην δεύτερη θέση με τις χώρες που εισήγαγαν LNG παγκοσμίως. Το καθοριστικό αυτό έτος 2017 οι εισαγωγές LNG από την Κίνα ήταν κατά μέσο όρο 5 εκατομμύρια κυβικά πόδια ημερησίως. Όπως είπαμε και παραπάνω οι πολιτικές του κινέζικου κράτους ήταν αυτές που έπαιξαν καθοριστικό λόγο προς αυτή τη μορφή ενέργειας με τις εισαγωγές να αυξάνονται κατά 46%. Επίσης η πολιτεία της Κίνας θέλοντας να εφαρμόσει τις πολιτικές αυτές, προχώρησε σε μετατροπές πολλών εκατομμυρίων νοικοκυριών που ήταν σε βόρειες επαρχίες της Κίνας, έτσι ώστε να χρησιμοποιήσει θέρμανση που θα προέρχεται από την κατανάλωση φυσικού αερίου και όχι από πηγές άνθρακα που είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. (<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35072>)

Όπως θα δούμε και στο παρακάτω διάγραμμα 2.6 βλέπουμε ότι η Κίνα σε διάστημα ενός έτους ξεπερνάει την Νότιο Κορέα σε εισαγωγές LNG. Στην Κίνα υπάρχουν 17 τεμαχικά εισαγωγής LNG με ικανότητα επαναεριοποίησης 7,4 εκατομμύρια κυβικά πόδια ανά ημέρα. Η αυξανόμενη ζήτηση για LNG από την Κίνα λόγω των περιβαλλοντικών μέτρων που θα εφαρμοστούν, αναμένεται να καλυφθεί από τις εισαγωγές LNG. Οι εξαγωγές των ΗΠΑ προς την Κίνα για το 2017 αυξήθηκαν σε 103 εκατομμύρια κυβικά πόδια ανά ημέρα.

(<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35072>)

Διάγραμμα 2.6: Οι πέντε κορυφαίοι εισαγωγείς LNG

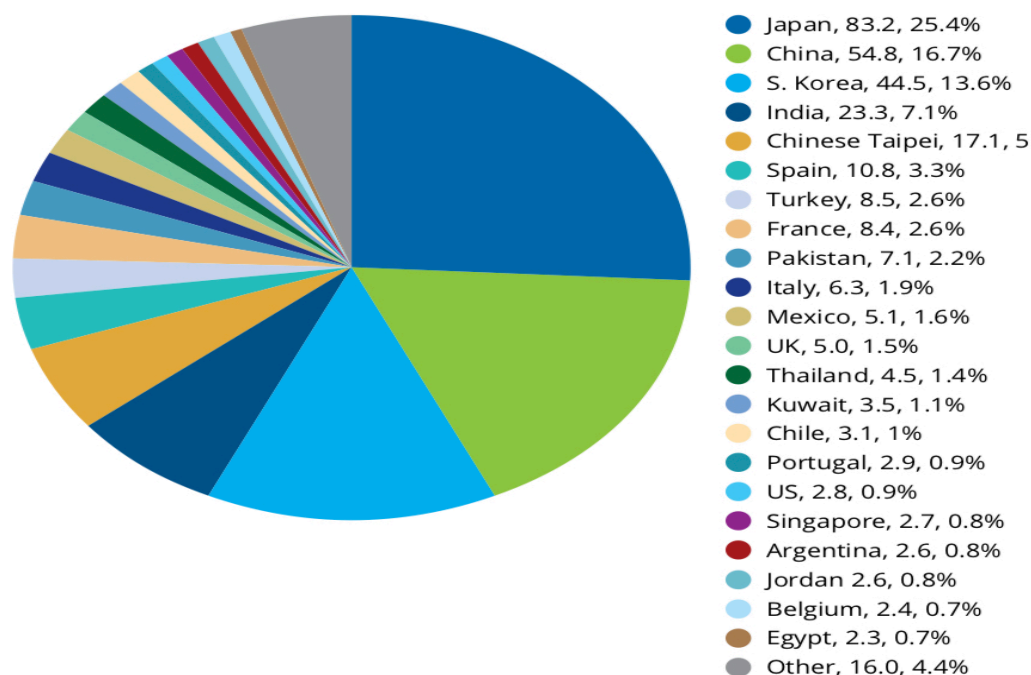
Top five global liquefied natural gas importers (2013-2017)
billion cubic feet per day



Πηγή: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35072>

Όσο αναφορά την Ευρωπαϊκή ήπειρο οι εισαγωγές σε LNG σημείωσαν αύξηση το 2018. Καθοριστικός παράγοντας σε αυτή την αύξηση των εισαγωγών LNG στην Ευρώπη ήταν ότι η εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου μειώθηκε. Ένας δεύτερος παράγοντας φαίνεται πως ήταν η αύξηση της ζήτησης για κατανάλωση φυσικού αερίου που προέρχεται από τον βιομηχανικό τομέα. Στο τέλος του 2018 οι εισαγωγές LNG στην Ευρώπη έκαναν καινούργιο ρεκόρ. Η χαμηλή τιμή του LNG στην Ασία και τα υψηλά ναύλα που είχαν αυτά τα πλοία που μεταφέρουν LNG έδωσαν ώθηση προς αυτή την κατεύθυνση. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες εισαγωγές LNG στην Ευρώπη όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα 2.7 ήταν η Ισπανία με 10,8MT, η Γαλλία με 8,4MT η Ιταλία με 6,3MT, το Ηνωμένο Βασίλειο με 5MT, η Πορτογαλία με 2.9MT και τέλος το Βέλγιο με 2,4MT.(IGU, 2019)

Διάγραμμα 2.7: Εισαγωγές LNG και μερίδιο αγοράς



Πηγή: IGU, 2019

Χώρες στην Ευρώπη που κατά το παρελθόν είχαν χαμηλή ζήτηση σε φυσικό αέριο, όπως για παράδειγμα η Ελλάδα, η Τουρκία και η Πορτογαλία φαίνεται πως τα τελευταία χρόνια προχώρησαν σε αποφάσεις να πραγματοποιήσουν έργα που σκοπό θα έχουν να αναπτύξουν και να αυξήσουν τη ικανότητα των τερματικών σταθμών εισαγωγής LNG. Το Ρότερνταμ, επίσης αναμένεται να γίνει ένα σημαντικό λιμάνι στο παγκόσμιο εμπόριο για LNG, αυξάνοντας έτσι τον ανταγωνισμό και ενώνοντας σημαντικά δίκτυα του ευρωπαϊκού χάρτη. Παρά την στασιμότητα της ανάπτυξης στην Ευρώπη, πολλά έργα για εισαγωγή LNG αναμένεται να γίνουν πχ. Γαλλία, οδηγούμενη από την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης και τη στροφή σε καθαρότερα προς το περιβάλλον καύσιμα, έτσι οι εισαγωγές στην Ευρώπη αναμένεται να σημειώσουν αύξηση στο εγγύς μέλλον. (Wood, 2012)

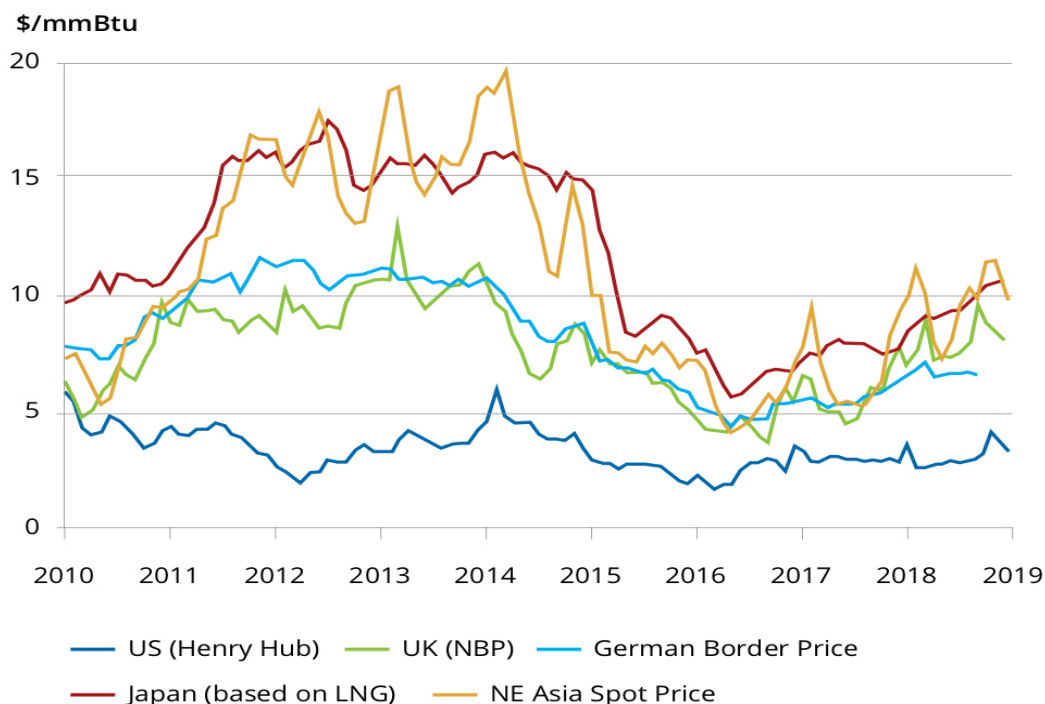
2.4 Η τιμολόγηση του LNG

Οι τιμές του LNG σχετίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό με τις τιμές του πετρελαίου που υπάρχουν στην αγορά. Έτσι όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα 2.8, οι τιμές που σχετίζονται με το LNG ανά το κόσμο είχαν ανοδική τάση το 2018, λόγω της αύξησης

της τιμής του πετρελαίου αλλά και τη αύξηση της ζήτησης για LNG από την μεριά της Ασίας. Συμφωνά με τον International Gas Union και όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 2.8, οι τιμές στην spot αγορά της βορειοανατολικής Ασίας τον Ιανουάριο του 2018 διαμορφώθηκαν στα \$9,88/MMBtu και το Μάιο του ίδιου έτους στα \$7,20/MMBtu, επομένως υπήρχε πτώση των τιμών. Η συνεχόμενη άνοδος της προσφοράς ήταν καθοριστική αιτία για την μείωση στις τιμές στην spot αγορά, με αποτέλεσμα οι τιμές για υγροποιημένο φυσικό αέριο στη spot αγορά στην βορειοανατολική Ασία να μειωθεί κατά 18% τον Ιανουάριο του 2018 και να διαμορφωθεί στα \$9,36/MMBtu τον Ιανουάριο του 2019. Η τιμή στην spot αγορά στο Ηνωμένο Βασίλειο(NBP), σημείωσε πτώση λόγω και της μειώσεως των τιμών του πετρελαίου, με την τιμή να καταλήγει στα \$7,44/MMBtu. (IGU, 2019)

Το φυσικό αέριο μπορεί να τιμολογηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο με πολλούς τρόπους. Λόγο της αστάθειας που υπάρχει σε αυτή την αγορά του φυσικού αερίου, ένας τρόπος είναι να μην υπάρχει σύνδεση των τιμών του φυσικού αερίου με τις τιμές άλλων ενεργειακών προϊόντων. Σε αυτή την περίπτωση αυτή η αγορά χαρακτηρίζεται από τέλει ανταγωνισμό με τους παραγωγούς και τους αγοραστές να είναι πολύ σε αυτή την αγορά και να υπάρχει ελευθερία εισόδου και εξόδου. Επίσης αυτός ο τρόπος τιμολόγησης και η συγκεκριμένη αγορά που θα δημιουργηθεί μπορεί να δώσει μια ώθηση ανάπτυξης στα έργα υποδομών φυσικού αερίου. Μια άλλη μέθοδος τιμολόγησης του φυσικού αερίου είναι να υπάρχει σύνδεση των τιμών του, με τις τιμές άλλων ενεργειακών προϊόντων. Η αγορά αυτή που θα λαμβάνει χώρα αυτός ο τρόπος τιμολόγησης θα χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό αγοραστών και λίγο αριθμό πωλητών, όποτε στην αγορά αυτή θα υπάρχει ολιγοπώλιο. Η μέθοδος τιμολόγησης που επικρατεί και στην σημερινή αγορά είναι η σύνδεση τις τιμής του φυσικού αερίου με τις τιμές του πετρελαίου. Η αγορά αυτή θα είναι μια αγορά που θα εισάγει πολύ LNG και ο αριθμός των αγοραστών και προμηθευτών θα είναι μικρός. Ο ιδανικός τρόπος τιμολόγησης του LNG θα ήταν να ρυθμίζεται από την ίδια την αγορά, ακολουθώντας τους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης. (European Commission, Analysis of the LNG market development in the EU, 2015)

Διάγραμμα 2.8: Μηνιαίες μέσες περιφερειακές τιμές αερίου, 2010 - Ιανουάριος 2019



Πηγή: IGU, 2019

Στη Βόρειο Αμερική οι τιμές για υγροποιημένο φυσικό αέριο έχουν καθοριστεί από διάφορους εμπορικούς κόμβους, όπως για παράδειγμα ένας από τους μεγαλύτερους κόμβους βρίσκεται στη Λουιζιάνα, ο Henry Hub. Στην Ευρώπη το χονδρεμπόριο για φυσικό αέριο γίνεται μέσω μακροπρόθεσμων συμβολαίων, όπου η κοστολόγηση γίνεται με τις συνθήκες στην αγορά του φυσικού αερίου ή με τις τιμές του πετρελαίου. Στην Ασία οι τιμές για υγροποιημένο φυσικό αέριο καθορίζονται με βάση τις τιμές που επικρατούν στην αγορά του πετρελαίου. Οι τάσεις που επικρατούν στην αγορά του πετρελαίου είναι γεγονός ότι επηρεάζουν κατά πολύ και τους δείκτες τιμών του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Για να μπορεί η αγορά του φυσικού αερίου να γίνει πιο ανταγωνιστική και το υγροποιημένο φυσικό αέριο να γίνει ένα εναλλακτικό καύσιμο, θα πρέπει να απαγκιστρωθεί από τις τιμές που έχουν να κάνουν σχέση με το πετρέλαιο. (IGU, 2019)

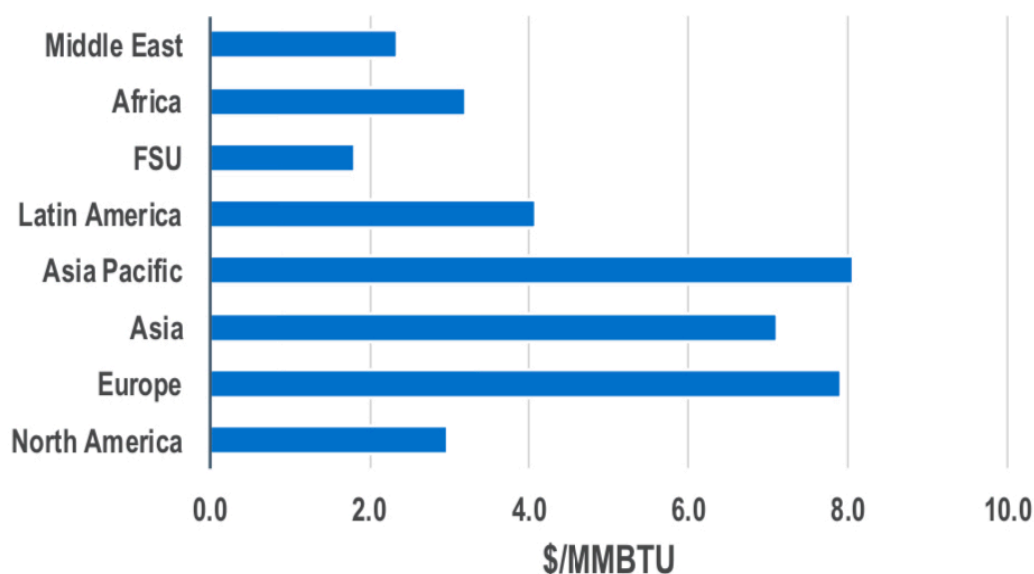
Σε περιοχές της Βορειοδυτικής Ευρώπης αλλά και στη Βόρειο Αμερική, η τιμολόγηση του LNG που βασίζεται σε εμπορικούς κόμβους, έχει προχωρήσει αρκετά, αλλά στην

περιοχή στις Ανατολικής Ασίας τώρα έχει αρχίσει αυτός ο τρόπος τιμολόγησης να πρωτοεμφανίζεται. Στη Βόρειο Αμερική η αγορά τιμολογεί το LNG με βάση την ισορροπία προσφοράς και ζήτησης που υπάρχει στην αγορά. Στην Ευρώπη, όμως σε πολλές περιπτώσεις ακόμα οι τιμές εξαρτώνται από τις τιμές του πετρελαίου. Το μερίδιο των εισαγωγών με δείκτη πετρελαίου στην Ανατολική Ασία ήταν 83,7% των συνολικών εισαγωγών, έναντι του παγκόσμιου μέσου όρου 48,7% το 2015. Το 59% της κατανάλωσης στην Ασία ήταν δείκτης πετρελαίου, ενώ η ανταγωνιστική τιμολόγηση του φυσικού αερίου αντιπροσώπευε μόνο το 14%, κυρίως στην Ινδία. (Shi Xunpeng, 2016)

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τιμολογιακής πολιτικής είναι η Λιθουανία. Μέχρι το τέλος του 2014 το 100% της ζήτησης της Λιθουανίας για φυσικό αέριο κάλυπτε μόνο ένας προμηθευτής, η ρωσική εταιρεία Gazprom, όπου το πλειοψηφικό πακέτο των μετοχών ανήκουν στην ρωσική ομοσπονδία ή στα θεσμικά της όργανα. Έτσι η Λιθουανία ήταν εντελώς εξαρτημένη από τη ρωσική ομοσπονδία και η αγορά της Λιθουανίας επηρεάστηκε έντονα από τη μονοπωλιακή οικονομία. Η συγκριτική ανάλυση των τιμών έδειξε ότι από το 2009 οι τιμές φυσικού αερίου στη Λιθουανία είναι υψηλότερες από τις τιμές γειτονικών χωρών. (Giziene and Zalgiryte, 2015)

Δεδομένου ότι η Λιθουανία αγόραζε φυσικό αέριο μόνο από ένα προμηθευτή, δεν είχε σοβαρή διαπραγματευτική θέση έτσι ώστε να επηρεάσει τη μείωση των τιμών. Για το λόγο αυτό, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του 2012, η τιμή του εισαγόμενου αερίου ήταν η υψηλότερη για τους Λιθουανούς καταναλωτές σε σύγκριση με άλλες χώρες τη ΕΕ. Ο τερματικός σταθμός υγροποιημένου φυσικού αερίου της Λιθουανίας (Klaipeda LNG FSRU), άρχισε να λειτουργεί τον Δεκέμβριο του 2014. Η προγραμματισμένη ετήσια παραγωγική ικανότητα του τερματικού σταθμού είναι 2-3 δισεκατομμύρια m³. Αυτό το επίπεδο μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση φυσικού αερίου σε ολόκληρη τη χώρα. Η προγραμματισμένη περίοδος αποπληρωμής του έργου είναι 10 έτη. (Giziene and Zalgiryte, 2015)

Διάγραμμα 2.9: Οι τιμές χονδρικής για το 2018 ανά περιφέρεια



Πηγή: IGU, Wholesale gas price survey 2019 edition, 2019

Από το διάγραμμα 2.9 μπορούμε να δούμε τις τιμές χονδρικής για το 2018, ανάλογα με την περιοχή. Από το διάγραμμα αυτό ακόμα βλέπουμε ότι η περιοχή με τις ακριβότερες τιμές για φυσικό αέριο ήταν η περιοχή Ασίας – Ειρηνικού, όπου η τιμή διαμορφώνεται λίγο πάνω από τα 8\$ και ακολουθούν η περιοχή τις Ασίας που είχε τιμές κατά μέσο όρο στα 7\$ και η Ευρώπη που οι τιμές της είχαν μέσο όρο λίγο κάτω από τα 8\$. Οι τιμές για την Βόρειο Αμερική ήταν οι χαμηλότερες ακόμα και σε σχέση με την Αφρική και τη Μέση Ανατολή, δίνοντας έτσι σε αυτή την περιοχή ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. (IGU, Wholesale gas price survey 2019 edition, 2019)

2.5 Τα πλοία μεταφοράς του LNG

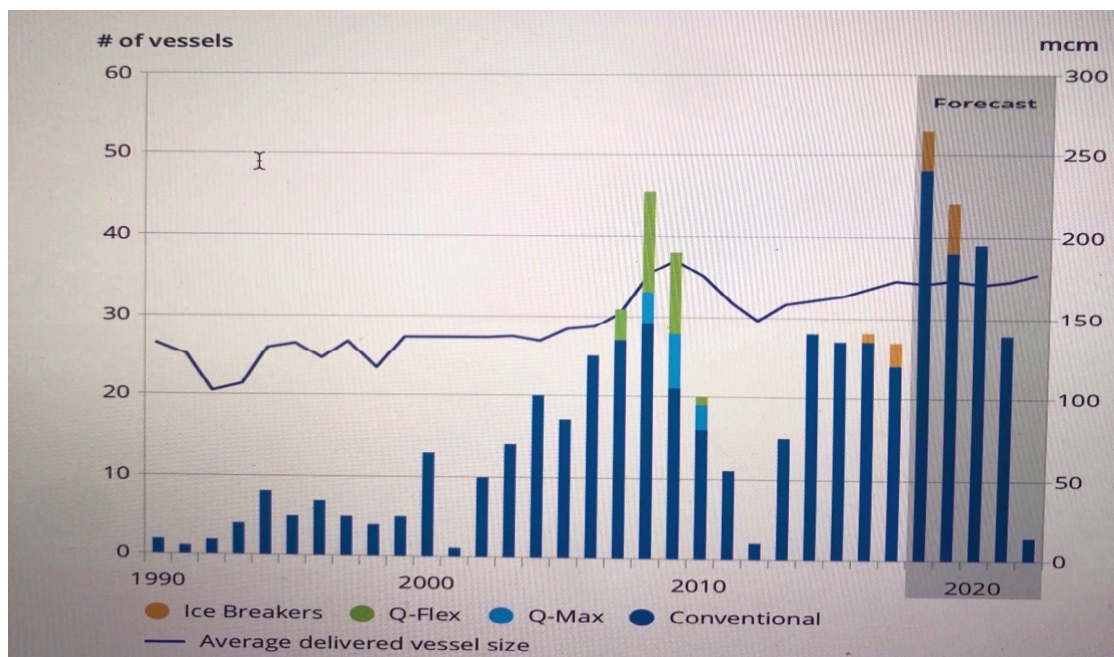
Η αύξηση της ζήτησης για υγροποιημένο φυσικό αέριο ειδικά στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού καθώς και η υπερπροσφορά φυσικού αερίου που υπάρχει στην αγορά οδηγούν σε όλο και περισσότερες παραγγελίες νέο πλοίων που σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση στην αγορά, αυτό έχει ως συνέπεια τα νεότευκτα πλοία να μπορεί η αγορά να τα απορροφήσει.

Όπως είχαμε αναφέρει και σε προγενέστερη ενότητα το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα καθαρό μη τοξικό καύσιμο και μία από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας μαζί με το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η παραγωγή του φυσικού αερίου γίνεται μακριά από τα κέντρα όπου γίνεται η κατανάλωση του. Επομένως ο ρόλος της ναυτιλίας σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ σημαντικός, επειδή δημιουργείται η ανάγκη για μεταφορά του. Αυτό γίνεται μέσο ειδικών πλοίων που είναι γνωστά ως πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα πλοία αυτά είναι εξειδικευμένα στο να μεταφέρουν το LNG στην ατμοσφαιρική πίεση και σε σημείο βρασμού περίπου -162°C . Επειδή ένα αέριο στη υγρή του μορφή καταλαμβάνει πολύ λιγότερο χώρο και λόγω της κρίσιμης θερμοκρασίας του μεθανίου, η θαλάσσια μεταφορά του φυσικού αερίου έχει νόημα από εμπορική άποψη εάν μεταφέρεται σε υγρή κατάσταση.

Ο Παγκόσμιος στόλος πλοίων που μεταφέρουν το LNG ως φορτίο άνοιξε μια νέα παγκόσμια αγορά και οδήγησε στην αύξηση της επέκτασης των εμπορικών ροών φυσικού αερίου. Έτσι το LNG έγινε ένα παγκόσμιο εμπόρευμα αυτόνομο και αυτή η τάση που υπάρχει στη συγκεκριμένη αγορά αναμένεται να συνεχιστεί, όσο ο στόλος και κατά επέκταση η παγκόσμια χωρητικότητα μεγαλώσει σε μέγεθος και γίνει περισσότερο ευέλικτη. Η αύξηση της τεχνολογίας αυτών των πλοίων έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη εξέλιξη, φέρνοντας μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στο παγκόσμιο εμπόριο, συμβάλλοντας στην επέκταση των αλυσίδων αξίας του LNG σε νέους τομείς ζήτησης.

Στον παγκόσμιο στόλο LNG υπήρχαν συνολικά 525 σκάφη μέχρι το τέλος του 2018. Από τον συνολικό παγκόσμιο στόλο LNG υπάρχουν 31 FSRU και πέντε FLNG. Ο συνολικός παγκόσμιος στόλος LNG αυξήθηκε κατά 11,5% το 2018, καθώς στον στόλο προστέθηκαν 53 LNG carriers, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 2.10 συμπεριλαμβανομένων τεσσάρων FSRU. Η παγκόσμια αύξηση του στόλου LNG αντιστοιχούσε σε 26,2 MTPA νέας δυναμικότητας υγροποίησης το 2018. (IGU,2019)

Διάγραμμα 2.10: Παγκόσμιος στόλος LNG ανά έτος παράδοσης έναντι μέσου όρου μεγέθους πλοίων



Πηγή: IGU,2019

Η αγορά της κατασκευής νέων πλοίων μεταφοράς LNG, εξακολουθεί τα τελευταία δύο χρόνια τόσο το 2019 όσο και το 2018 να βρίσκεται σε μια τροχιά ανάπτυξης, διότι η πρόβλεψη για αύξηση της ζήτησης καθώς και ότι η ναυλαγορά δείχνει ότι τα ναύλα θα διατηρηθούν σε πολύ ανταγωνιστικά επίπεδα. Σύμφωνα με τον S&P Global Platts, τους πρώτους εφτά μήνες του 2018 η λίστα με τα πλοία για παραγγελία αυξήθηκε κατά 28 πλοία μεταφοράς LNG, περισσότερα από τα 26 πλοία που παραγγέλθηκαν το 2016 και το 2017 μαζί. Από το παρακάτω πίνακα 2.1 βλέπουμε τα ναύλα ανάλογα για το τύπο πρόωσης που χρησιμοποιεί το εκάστοτε πλοίο και πόσο ήταν τα ναύλα ανά ημέρα κατά μέσο όρο για τα έτη που παρουσιάζονται στο πίνακα. Για τα πλοία που χρησιμοποιούσαν τουρμπίνες ατμού τα ναύλα για το 2019 ήταν 65.000 \$/ημέρα, ενώ για τα πλοία που χρησιμοποιούσαν σύστημα πρόωσης DFDE ήταν 80.000 \$/ημέρα. (S&P Global Platts, The evolving LNG fleet driving the global gas boom ,2018)

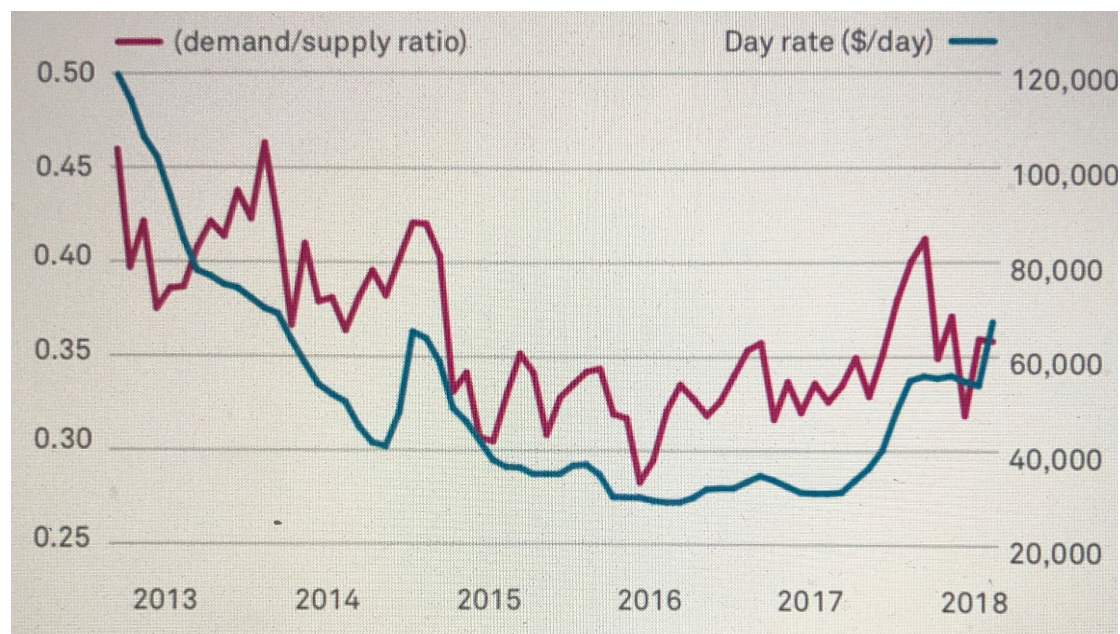
Πίνακας 2.1: Τα ημερήσια ναύλα ανάλογα με το τύπο πρόωσης

Σύστημα πρόωσης	2016	2017	2018	2019	2020
Τουρμπίνες ατμού	20.000	26.000	40.000	65.000	50.000
DFDE	34.000	46.000	65.000	80.000	75.000

Πηγή: S&P Global Platts, The evolving LNG fleet driving the global gas boom ,2018

Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα 2.11, φαίνεται ότι υπάρχει μια αλληλεξάρτησή μεταξύ των ναύλων και της προσφοράς και ζήτηση για πλοία που μεταφέρουν LNG. Άρα αυτή η αγορά εξαρτάται άμεσα από τη ζήτηση για μεταφορά φορτίων LNG αλλά επίσης τα ναύλα εξαρτούνται και από τη συνολική χωρητικότητα πλοίων που υπάρχουν στην αγορά, πράγμα που αντικατοπτρίζει την προσφορά. Επίσης το προφίλ των πλοιοκτητών που δραστηριοποιούνται σε αυτή την αγορά παίζει καθοριστικό ρόλο για το πως διαδραματίζονται τα ναύλα. Οι πλοιοκτήτες που έχουν πλοία μεταφοράς LNG, προτιμούν να κλείνουν ναυλοσύμφωνα με μορφή χρονοναυλώσεων από τη τρέχουσα αγορά, λόγο ότι τα πλοία που μεταφέρουν LNG κοστίζουν κατά μέσο όρο 180 εκατομμύρια, οπότε οι πλοιοκτήτες θέλουν να έχουν ένα σταθερό εισόδημα για να αποπληρώσουν το κόστος αυτόν των επενδύσεων.(S&P Global Platts, The evolving LNG fleet driving the global gas boom ,2018

Διάγραμμα 2.11: Ζήτηση/Προσφορά πλοίων LNG σε σχέση με τα ναύλα



Πηγή: S&P Global Platts, The evolving LNG fleet driving the global gas boom ,2018

Για να κατανοήσουμε περισσότερο για το τι είναι ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου θα δούμε παρακάτω κάποια επιμέρους στοιχεία αυτών των πλοίων. Αρχικά θα πρέπει να εξηγήσουμε τι είναι το cargo containment system. Ένα σύστημα συγκράτησης φορτίου είναι η συνολική διάταξη για τη συγκράτηση του φορτίου, όπου περιλαμβάνονται: Ένα κύριο φράγμα (η δεξαμενή φορτίου), δευτερεύον φράγμα (εάν υπάρχει), σχετική θερμομόνωση, κάθε παρεμβαλλόμενος χώρος. Δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί αναπτύχθηκαν αρχικά για τη συγκράτηση LNG σε δεξαμενές: η μέθοδος Moss Rosenberg και το σύστημα membrane-tank χρησιμοποιώντας λεπτές, εύκαμπτες μεμβράνες που υποστηρίζονται μόνο από την μονωμένη δομή του σκάφους. (IGU, 2019)

Ένα σύστημα συγκράτησης αποτελείται από ένα κύριο φράγμα για να μπορεί να συγκρατεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο εντός της δεξαμενής και να παρέχει ασφάλεια κατά την μεταφορά του. Επιπλέον είναι λογικό να υπάρχει και ένα δεύτερο φράγμα έτσι ώστε να προσφέρει μια επιπλέον ασφάλεια και προστασία σε περίπτωση ατυχήματος και διαρροής μέσω του πρωτεύοντος φράγματος και μια σειρά στρώσεων μονωτικών υλικών μεταξύ των δύο φραγμάτων και τη δομή του κύτους. Το κύριο

φράγμα, το οποίο εξαρτάται από τον τύπο της δεξαμενής, είναι κατασκευασμένο από υλικά που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν δομικά και να αντέχουν στην κρυογονική θερμοκρασία λόγω άμεσης επαφής με το φορτίο. (Zoolfakar, Norman, Mesbahi, Dahalan, Zarina, 2014)

Τα πλοία που μεταφέρουν LNG, είναι απαραίτητο να διαθέτουν δεξαμενές που θα μπορούν να ανταπεξέλθουν με της ιδιαιτερότητες και τους κινδύνους που έχει το LNG ως φορτίο. Της δεξαμενές που φέρουν τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορούμε να τις κατατάξουμε στους εξής τύπους: σφαιρικές δεξαμενές τύπου Moss, πρισματικές ανεξάρτητες δεξαμενές, δεξαμενές Gas Transport GT δεξαμενές Technigaz Mark.

Για να μπορεί το φυσικό αέριο ως υγρό φορτίο να συγκρατηθεί εντός των δεξαμενών του πλοίου, για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί μερική μέθοδοι συγκρατήσεως φορτίου, με τις πιο διαδεδομένες μέθοδοι να είναι η μέθοδος Moss Rosenberg και η μέθοδος του συστήματος δεξαμενής μεμβρανώδης σχεδίασης. Όσο αναφορά τη δεύτερη μέθοδο, η συνηθέστερη εκδοχή της είναι αυτή που κατασκευάζεται από την εταιρεία Gaztransport and Technigaz (GTT). Εδώ και πολλά χρόνια τα πλοία που μεταφέρουν LNG έχουν συστήματα δεξαμενών στις δεξαμενές τους GTT. Η GTT αναμένεται να εφαρμόσει νέες τεχνολογίες στα συστήματα δεξαμενών που θα κατασκευάσει και αναμένεται ότι με την χρήση αυτής της τεχνολογίας θα μειωθούν τα ποσοστά που το υγροποιημένο φυσικό αέριο έρχεται σε βρασμό και εξατμίζεται σε ποσοστό περίπου 0.08%. Παρόλου που και τα δύο συστήματα συγκράτησής φορτίου διαθέτουν μόνωση στις δεξαμενές για να περιορίζονται οι απώλειες φορτίου και να παραμένει το LNG σε κρύα θερμοκρασία κατά την διάρκεια του ταξιδιού, πάντα ένα μέρος του φορτίου θα εξατμίζεται, με ποσοστό 0.15% του φορτίου ανά ημέρα(IGU,2019)

Η εξάτμιση του φορτίου από της δεξαμενές του πλοίου στην βιομηχανία των πλοίων LNG είναι γνωστή ως Boil off Gas. Για να κατανοήσουμε τι είναι το Boil off gas πρέπει να θεωρήσουμε ότι λόγω ότι το φυσικό αέριο έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με άλλα καύσιμα, είπαμε ότι για να μπορεί να μεταφερθεί αποδοτικά πρέπει να υγροποιηθεί και να διατηρηθεί σε αυτή την κατάσταση στις δεξαμενές του

πλοίου για να μπορέσει να μεταφερθεί. Ωστόσο, η ροή θερμότητας από το περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας εντός της δεξαμενής οπότε και το υγρό είναι λογικό να εξαερώνεται. Το αέριο που παράγεται από την διαδικασία αυτή ονομάζεται Boil off Gas. Τα LNG carriers έχουν το πλεονέκτημα ότι το Boil off Gas μπορούνε και το καταναλώνουν οι μηχανές και με αυτό το τρόπο κινούνται καταναλώνοντας δηλαδή της απώλειες του φορτίου τους. (<https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/boil-off-gas-handling-onboard-lng-fuelled-ships>)

Το Boil off Gas, ο λόγος που αφαιρείται από της δεξαμενές του πλοίου εκτός ότι θα χρησιμοποιηθεί όπως είπαμε για την τροφοδοσία της πρόωσης των συστημάτων του πλοίου, ο βασικός λόγος της αφαίρεσης του από τις δεξαμενές είναι για να διατηρηθεί η πίεση στις δεξαμενές σύμφωνα με τις κατασκευάστηκε συνθήκες που έχουν κατασκευαστεί οι μεμβράνες συγκράτησης του φορτίου. Με την πάροδο των χρόνων τα συστήματα μεταφοράς των πλοίων έχουν προχωρήσει σε πολλές νέες τεχνολογικές καινοτομίες, με συνέπεια το κόστος που χρειάζεται για καύσιμα για ένα ταξίδι να έχει μειωθεί σημαντικά. Τα συστήματα πρόωσης με σκοπό να περιορίσουν τη κατανάλωση καύσιμου, υιοθέτησαν διαφορετικά συστήματα ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως η μεταφορική ικανότητα του πλοίου, η ταχύτητα και το πόσο μεγάλο θα είναι το ταξίδι. (IGU, 2019)

Μερικά από τα ποιο διαδεδομένα συστήματα πρόωσης των LNG carriers είναι τα εξής:

- **Τουρμπίνες ατμού:** βασίζεται στο σύστημα που εφαρμόζεται στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου από το 1960, καθώς το σύστημα επιτρέπει την ταυτόχρονη καύση βαρέων καυσίμων σε λέβητες μαζί με το Boil off Gas που παράγεται κατά τη μεταφορά, το οποίο με τη σειρά του τροφοδοτεί τους στροβίλους πρόωσης και τις ηλεκτρικές γεννήτριες turbo. Από το 2003, τα συστήματα πρόωσης πλοίων LNG βρίσκονται σε σημείο καμψής. Η τουρμπίνες ατμού αντικαθίστανται από κινητήρες εσωτερικής καύσης λόγω της βελτίωσης της αποδοτικότητας των τελευταίων και επειδή, όπως προαναφέρθηκε, αυτά επιτρέπουν την καύση τόσο του Heavy fuel oil όσο και του Boil off Gas από

το φορτίο. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι το γεγονός ότι δεν απαιτείται καμία μονάδα καύσης αερίου. Όλα το Boil off Gas χρησιμοποιείται στους λέβητες. Τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας είναι σημαντικά χαμηλότερα στα συστήματα πρόωσης ατμού σε σύγκριση με άλλα συστήματα λόγω του απλού σχεδιασμού. (IGU, 2019) (Fernandez, Gomez, Insua, 2017)

- **Dual-Fuel Diesel Electric (DFDE):** Τα συστήματα DFDE είναι ικανά να καίνε τόσο το Diesel Oil όσο και το Boil off Gas, βελτιώνοντας την απόδοση του πλοίου κατά περίπου 25-30% σε σχέση με τους παραδοσιακούς τουρμπίνες ατμού. Τα συστήματα πρόωσης DFDE είναι εξοπλισμένα με ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης που κινείται από κινητήρα διπλού καυσίμου. Σε λειτουργία αερίου, αυτοί οι κινητήρες διπλού καυσίμου κινούνται με φυσικό αέριο χαμηλής πίεσης με μικρή ποσότητα ντίζελ που χρησιμοποιείται ως υγρός σπινθήρας. Αυτοί που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους συστήματα πρόωσης μπορούν να αλλάξουν το παραδοσιακό marine diesel oil ανά πάσα στιγμή. Αυτά τα συστήματα πρόωσης ανά πάσα στιγμή να μπορούν να καταναλώσουν το υπερβολικό Boil off Gas, που μπορεί να δημιουργηθεί σε ένα ταξίδι. Επομένως, είναι απαραίτητη μια Μονάδα Καύσης Αερίου καθώς προσφέρει τα κατάλληλα μέσα για την καύση του Boil off Gas όταν αυτό μπορεί να κριθεί ως αναγκαίο. Ο πρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται για το Boil off Gas αυξάνει το ποσό της συντήρησης που απαιτείται για τους κινητήρες. (IGU, 2019)
- **Tri – Fuel Diesel Electric (TFDE):** Τα συστήματα πρόωσης TFDE, έχουν τη δυνατότητα να καταναλώνουν τρία διαφορετικά καύσιμα όπως το παραδοσιακό μαζούτ που τροφοδοτούνται τα πλοία, αλλά και με ντίζελ αλλά και με το αέριο δια μέσο των απωλειών που υφίσταται το φορτίο. Το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης παρέχει στο πλοίο μια ικανότητα ευελιξίας για να μπορέσει να βελτιώσει τις αποδόσεις του ανάλογα με το ταξίδι και της ταχύτητες που απαιτούνται. (IGU, 2019)
- **Slow-Speed Diesel (SSD) με Μονάδα Επανυγροποιήσεις BOG:** Το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης, δεν χρησιμοποιεί της απώλειες φορτίου για να κινηθεί, καθώς έχει την δυνατότητα να μην έχει καθόλου απώλειες. Έτσι τα πλοία που κινούνται με αυτό το σύστημα πρόωσης προωθείται με από

συμβατικούς πετρελαιοκινητήρες που καταναλώνουν Heavy Fuel Oil ή Marine Diesel Oil. Το Boil off Gas με το σύστημα αυτό μπορεί να επιστρέψει πίσω στις δεξαμενές που περιέχουν το φορτίο. Όμως όταν κρίνεται απαραίτητο το Boil off Gas μπορεί να καεί, με τη χρήση μιας μονάδας καύσης αερίου. Η μέθοδος αυτή έχει το τεράστιο πλεονέκτημα ότι μπορεί να μεταφέρει το υγροποιημένο φυσικό αέριο χωρίς να υπάρξουν απώλειες στο φορτίο που μεταφέρεται. Όταν το πλοίο κάνει ballast ταξίδι, δηλαδή δεν έχει φορτίο, η θερμοκρασία στις δεξαμενές του μπορεί να μείνει σταθερή, όταν ψεκάζεται LNG στις δεξαμενές. Έτσι με αυτό το τρόπο μειώνεται ο κίνδυνος απώλειας φορτίου για τα μετέπειτα ταξίδια. (IGU, 2019)

- **M-type, Electronically Controlled, Gas Injection (ME-GI):** Συμφωνά με τον International Gas Union από τα πλοία που έχουν παραγγελθεί το 2018 το 27% από αυτά θα έχουν σύστημα πρόωσης της τεχνολογίας ME-GI. Τα συστήματα πρόωσης αυτά, θα λειτουργήσουν από της απώλειες του φορτίου καθώς και με κάποιο συμβατικό καύσιμο πετρελαίου. Ο IGU περιγράφει την περίπτωση ενός πλοίου 170.000 κυβικών μέτρων, θα καταναλώνει 15 – 20 % λιγότερο καύσιμο σε σύγκριση με ένα πλοίο που λειτουργεί με σύστημα πρόωσης TFDE. Οι πλοιοκτήτες δείχνουν να έχουν μια σαφείς προτίμηση στο συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης καθώς, σύμφωνα με το IGU το 2018 υπήρχαν 36 πλοία στο παγκόσμιο στόλο πλοίων υγροποιημένου φυσικού αερίου που ήταν χρήστες του συστήματος αυτού, με 21απο αυτά τα πλοία να παραδίνονται το 2018 και 17 πλοία ακόμα να παραδίνονται το 2019. (IGU, 2019)
- **Winterthur Gas & Diesel (WinGD) Low-Pressure Two-Stroke Engine (XDF):** Η Wärtsilä εισήγαγε τον κινητήρα διπλού καυσίμου χαμηλής ταχύτητας με δίχρονους κινητήρες το 2014 και από το 2015 το σύστημα έχει διατεθεί στο εμπόριο από την WinGD. Αυτή η εναλλακτική λύση στα συστήματα πρόωσης εκτιμάται ότι προσφέρει μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών κατά 15-20% μέσω ενός απλούστερου και χαμηλότερου κόστους συστήματος. Επιπλέον, ενδέχεται να μην απαιτούνται συστήματα μείωσης των οξειδίων του αζώτου (NOX). (IGU, 2019)
- **Steam Reheat and STaGE:** Ο σχεδιασμός σε αυτό το σύστημα πρόωσης προσπαθεί να επιφέρει βελτιώσει στα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης με

ατμό. Η τεχνολογική καινοτομία αυτού του συστήματος έχει να κάνει με το ότι ο ατμός επαναθερμένεται για να μπορέσει να βελτιώσει την αποδοτικότητα του συστήματος. Το σύστημα STaGE συνδυάζει τα συστήματα πρόωσης με ατμό με κινητήρες αερίου εξοπλισμένους με ανάκτηση θερμότητας. (IGU, 2019)

Πίνακας 2.2: Σύστημα πρόωσης πλοίων καθώς και τα επιμέρους χαρακτηριστικά

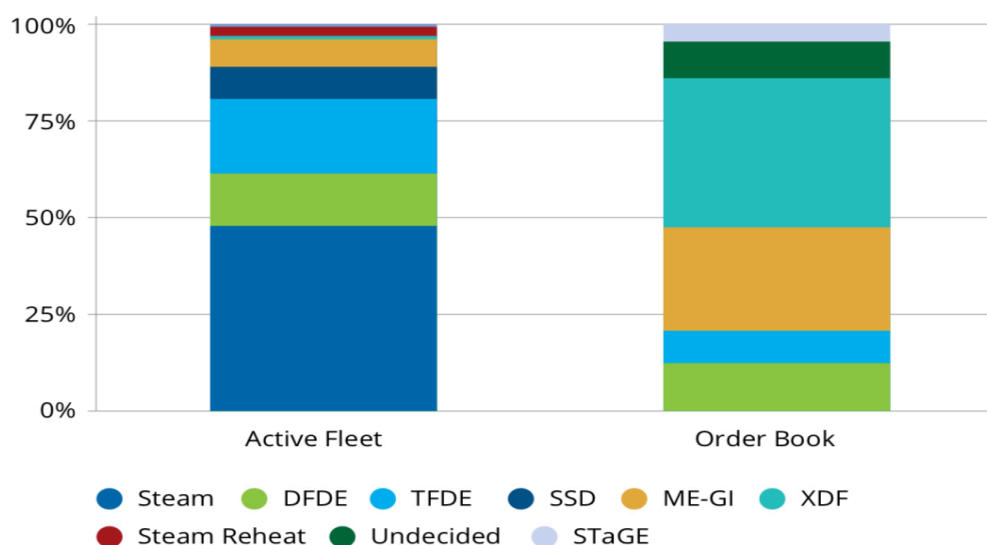
Σύστημα Πρόωσης	Κατανάλωση LNG (τόνος/ημέρα)	Μέση χωρητικότητα του πλοίου	Ηλικία
Steam	175	<150.000	>10
DFDE/TFDE	130	150.000 - 180.000	<15
ME-GI	110	150.000 - 180.000	<5
XDF	108	150.000 - 180.000	<1
Steam Re-heat	140	150.000 - 180.000	-

Πηγή: IGU, 2019

Από το πίνακα 2.2 παρατηρούμε για πλοία με μέση χωρητικότητα της τάξεως 150.000 με 180.000 ανάλογα με τη κατηγορία κινητήρα διαθέτει πόσο κατανάλωση υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει που εκφράζεται σε τόνους ανά ημέρα. Όπως παρατηρούμε τα πλοία που χρησιμοποιούν τον τύπο κινητήρα XDF έχουν την λιγότερη κατανάλωση LNG σε αντίθεση με τα πλοία που έχουν συστήματα πρόωσης τουρμπίνες ατμού που έχουν την υψηλότερη κατανάλωση LNG, άρα και περισσότερη απώλεια φορτίου. Αυτό έχει να κάνει με το πόσο καινούργια είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα πλοία για την πρόωση τους.

Στο διάγραμμα 2.12 βλέπουμε το υφιστάμενο στόλο και το στόλο που είναι επί παραγγελία για πλοία LNG ανάλογα με τη τύπο συστήματος πρόωσης έχουν. Για τα πλοία που είναι στο υφιστάμενο στόλο παρατηρούμε ότι κινούνται με συστήματα τουρμπίνας ατμού καθώς και DFDE/TFDE. Για τα υπό παραγγελία πλοία αναμένεται να χρησιμοποιήσουν πιο τεχνολογικά αναπτυγμένα συστήματα πρόωσης και όπως παρατηρούμε και το διάγραμμα τα συστήματα XDF και ME-GI αναμένεται να είναι οι κυρίαρχες επιλογές για τους πλοιοκτήτες στο άμεσο μέλλον.

Διάγραμμα 2.12: Υφιστάμενος και επί παραγγελία στόλος LNG ανά τύπο προώθησης

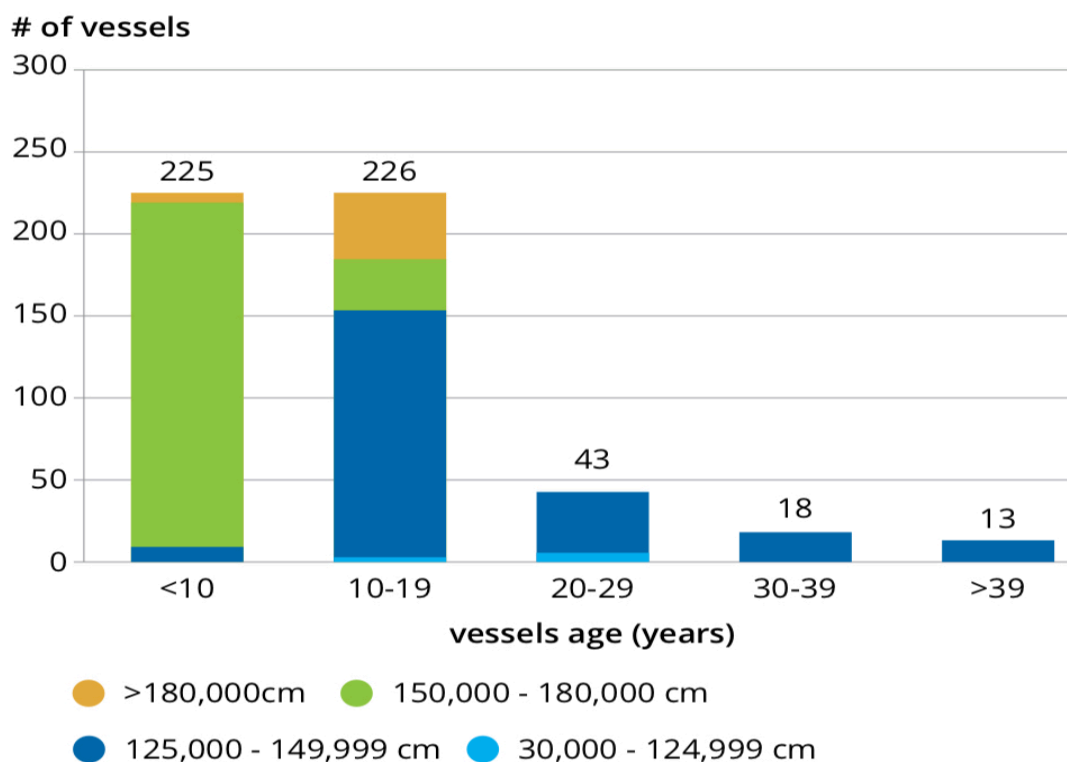


Πηγή: IGU, 2019

Το μέγεθος ενός πλοίου μεταφοράς LNG είναι απορίας της ηλικίας του αλλά και των διάφορων αναγκών σε συγκεκριμένα μεγέθη χωρητικότητας που υπάρχουν στην εκάστοτε αγορά. Σύμφωνα με τον IGU οι πρόσφατες παραδόσεις πλοίων δείχνουν να έχουν ένα εύρος της τάξης των 170.000 με 180.000 κυβικά μέτρα. Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 2.13, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα πλοία χωρητικότητας μεταξύ 150.000 και 180.000 έχει μερίδιο αγοράς 46% μέχρι το έλος του 2018, κάνοντας το εν λόγω εύρος να είναι το συνηθέστερο μέγεθος που επιλέγουν οι πλοιοκτήτες να κατασκευάσουν τα πλοία τους. Οι τύποι πλοίων LNG Q-Flex (210.000-217.000κ.μ) και τα πλοία μεταφορά LNG Q-max (216.700-266.000 κ.μ.), προσέφεραν της μεγαλύτερες χωρητικότητες πλοίων που έχουν υπάρξει στην αγορά. Βέβαια η κατηγορία των συγκεκριμένων τύπων πλοίων φαίνεται ότι έχει ατονήσει λόγω των περιορισμών που είχαν λόγω του μεγέθους τους σε πολλούς λιμένες με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταγωνιστούν άλλα πλοία που ήταν περισσότερά ευέλικτα λόγω του μεγέθους τους και κάλυπταν περισσότερες αγορές. Το κανάλι του Παναμά για παράδειγμα είναι συμβατό με πλοία μέχρι και 180.000 κυβικά μέτρα, επομένως πλοία που είναι μεγαλύτερα από το όριο αυτό δεν θα μπορούν να εισέλθουν σε ορισμένες αγορές. Σύμφωνα με το IGU στο τέλος του 2018, το 91% του παγκόσμιου στόλου

πλοίων μεταφοράς LNG ανταποκρίνονταν στις απαιτήσεις του καναλιού του Παναμά. (IGU, 2019)

Διάγραμμα 2.13: Ενεργός Παγκόσμιος στόλος LNG ανά χωρητικότητα και ηλικία



Πηγή: IGU, 2019

Σύμφωνα με το IGU το 2018, το 51% του ενεργού στόλου ήταν ηλικίας 10 ετών και κάτω. Οι πλοιοκτήτες φαίνεται ότι πριν πάρουν απόφαση να βγάλουν ένα πλοίο τους εκτός αγοράς, πρέπει να δούνε κατά πόσο το πλοίο θα μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια και να μπορεί να είναι και οικονομικά αποδοτικό. Ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να παραμένει σε λειτουργία για 35 με 40 χρόνια, διότι τα τελευταία χρόνια της επιχειρησιακής του ζωής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πλωτή μονάδα αποθήκευσης. (IGU, 2019)

3 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας

3.1 Οι Περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούν τα παραδοσιακά καύσιμα στην ναυτιλία

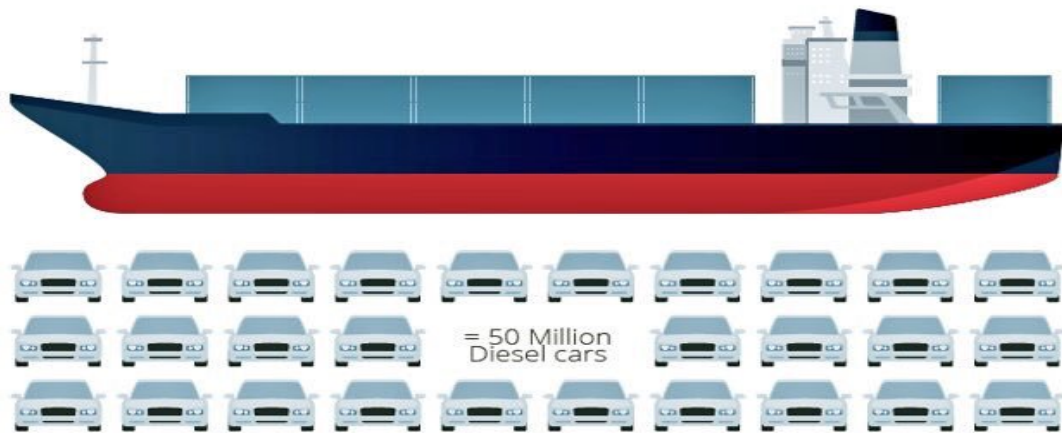
Ο κύριος τύπος καυσίμων για τα πλοία είναι το βαρύ μαζούτ ή αλλιώς το Heavy Fuel Oil (HFO) , το οποίο παράγεται ως απόσταγμα από απόσταξη αργού πετρελαίου. Το αργό πετρέλαιο περιέχει θείο το οποίο, μετά από καύση στον κινητήρα, καταλήγει σε εκπομπές στο περιβάλλον. Τα οξειδία του θείου (SO_x) είναι γνωστό ότι είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία, προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα και ασθένειες των πνευμόνων. Στην ατμόσφαιρα, το SO_x μπορεί να οδηγήσει σε όξινη βροχή, η οποία μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες, τα δάση και τα υδρόβια είδη και συμβάλλει στην όξυνση των ωκεανών. Επομένως η μείωση των οξειδίων του θείου είναι κάτι που θα βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και θα προστατέψει το περιβάλλον.

Ενώ οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ο πιο αποδοτικός τρόπος μεταφοράς, όσον αφορά το CO₂ που εκπέμπεται ανά μονάδα φορτίου, σε σύγκριση με τον οδικό, τον εναέριο ή τον σιδηροδρομικό τομέα, η τεράστια κλίμακα των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων δημιουργεί σημαντικές εκπομπές σε απόλυτες τιμές. Οι κύριοι ρύποι που προκαλούν ανησυχία είναι το οξείδιο του θείου (SO_x) το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξειδία του αζώτου (NO_x), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ο μαύρος άνθρακας, τα σωματίδια (PM) και το CO₂. (Enabling clean maritime transport, 2017, IGU)

Ενδεικτικά στο διάγραμμα 3.1 βλέπουμε ότι ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχει της ίδιες εκπομπές οξειδίων του θείου με πενήντα εκατομμύρια αυτοκίνητα που ως καύσιμο έχουν το πετρέλαιο.

Διάγραμμα 3.1: Σύγκριση εκπομπών πλοίων με αυτοκίνητα

“One large container ship at sea (using 3% bunker fuel) emits the same amount of sulphur oxide gases as 50 million diesel-burning cars.”



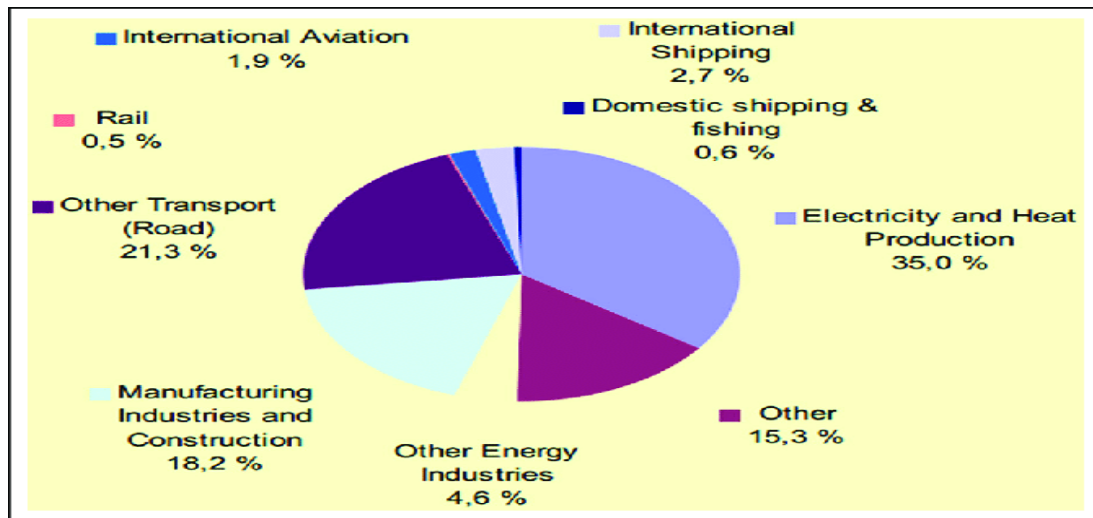
Source: China Daily Asia, Ship Emissions Choking the Region, May 20, 2016

Πηγή: Enabling clean maritime transport, 2017, IGU

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι υψίστης σημασίας για το διεθνές εμπόριο, που μεταφέρει πάνω από το 80% των διεθνώς εμπορεύσιμων αγαθών. Συνήθως τείνει να χρησιμοποιεί τα φθηνότερα διαθέσιμα καύσιμα. Υπήρξε μια μετάβαση από τον άνθρακα προς το πετρέλαιο στις αρχές του περασμένου αιώνα και τώρα τα πλοία τροφοδοτούνται σχεδόν αποκλειστικά από προϊόντα πετρελαίου. Η περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου μπορεί να φθάσει το 3,5%, ενώ τα πετρελαιοειδή που χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές μπορούν να περιέχουν μόνο 10 ppm. (Energy and air pollution, 2016)

Με άλλα λόγια, το βαρύ μαζούτ για ανεφοδιασμό μπορεί να περιέχει έως και 3.500 φορές περισσότερο θείο από τα πετρελαιοειδή που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα οδικών μεταφορών. Δεν είναι απλώς ο όγκος των καυσίμων που καταναλώνονται στη ναυτιλία, αλλά ο τύπος καυσίμου που καταναλώνεται που έχει ξεχωριστή επίδραση στη ρύπανση του αέρα που προκαλείται από την καύση των καυσίμων για ναυτιλία. (Jack Sharples, 2019)

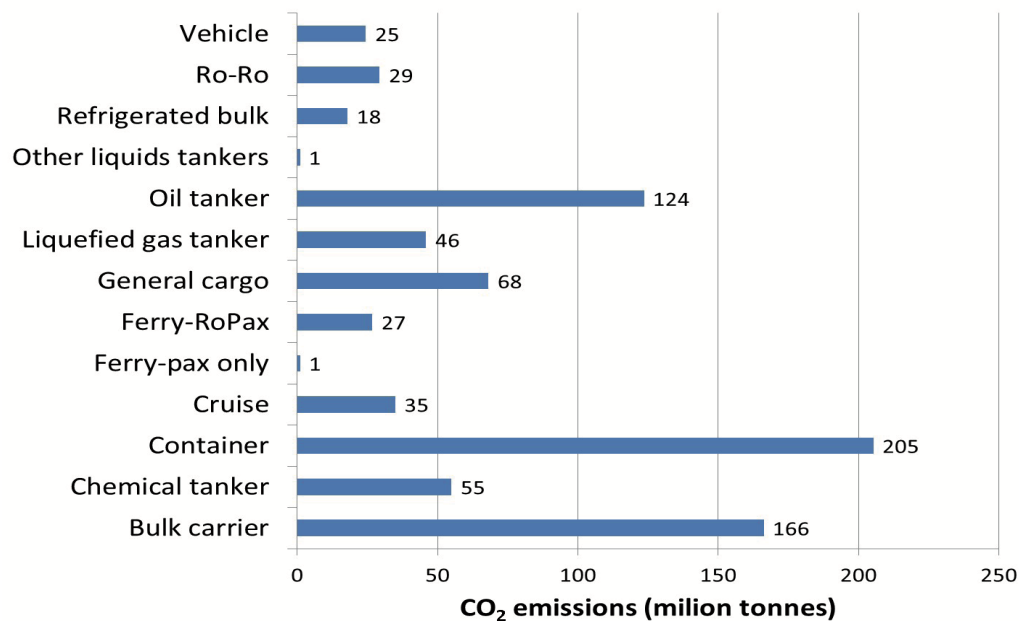
Διάγραμμα 3.2: Εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία σε σύγκριση με τις παγκόσμιες συνολικές εκπομπές



Πηγή: Second IMO GHG Study, 2009

Από το διάγραμμα 3.2 βλέπουμε ότι εκπομπές που σχετίζονται με την ναυτιλία είναι περίπου στο 3%. Τα περισσότερα ποντοπόρα πλοία εξακολουθούν να χρησιμοποιούν βαρύ πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (HFO) ή πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO), με μέγιστο όριο θείου 3,5% σε ισχύ για HFO και 0,1% για MGO χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Διάγραμμα 3.3: Εκπομπές από τη διεθνή ναυτιλία με βάση τον τύπο πλοίου



Πηγή: Third IMO GHG Study, 2014

Στο διάγραμμα 3.3 βλέπουμε της εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την κατηγορία πλοίου όπου οι εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα είναι σε εκατομμύρια τόνους. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι οι κατηγορίες πλοίων με τις μεγαλύτερες εκπομπές είναι τα πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια καθώς και τα φορτηγά πλοία, όπου οι εκπομπές CO₂ είναι 205 και 166 εκατομμύρια τόνους αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1: Τυπικές παράμετροι των καυσίμων για πλοία

Τύποι Καυσίμων	Κατηγορία ISO	Ιξώδες		Περιεκτικότητα σε Θείο %
		Ελάχιστο	Μέγιστο	
Heavy Fuel Oil (HFO)	RMA-RMK	10	700	1.0-3.5
Marine Diesel Oil (MDO)	DMB	2	11	0.10-1.5
Marine Gas Oil (MGO)	DMA and DMZ	2	4	0.10-1.0
0.10% HFO, ECA Fuel	Δεν είναι τυποποιημένο	9	67	0.10
0.50% HFO, Global Fuel	Δεν είναι τυποποιημένο	-	-	0.50

Πηγή:ABS, Marine fuel oil advisory 2018

Ο πίνακας 3.1 μας δείχνει τους τύπους καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλοία σε σχέση με τους νέους περιορισμούς για την περιεκτικότητα σε θείο. Επομένως είναι χρήσιμο να κατανοηθούν οι μέγιστες / ελάχιστες τιμές και οι τυπικές κλίμακες περιεκτικότητας σε θείο και ιξώδους για τα πρότυπα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

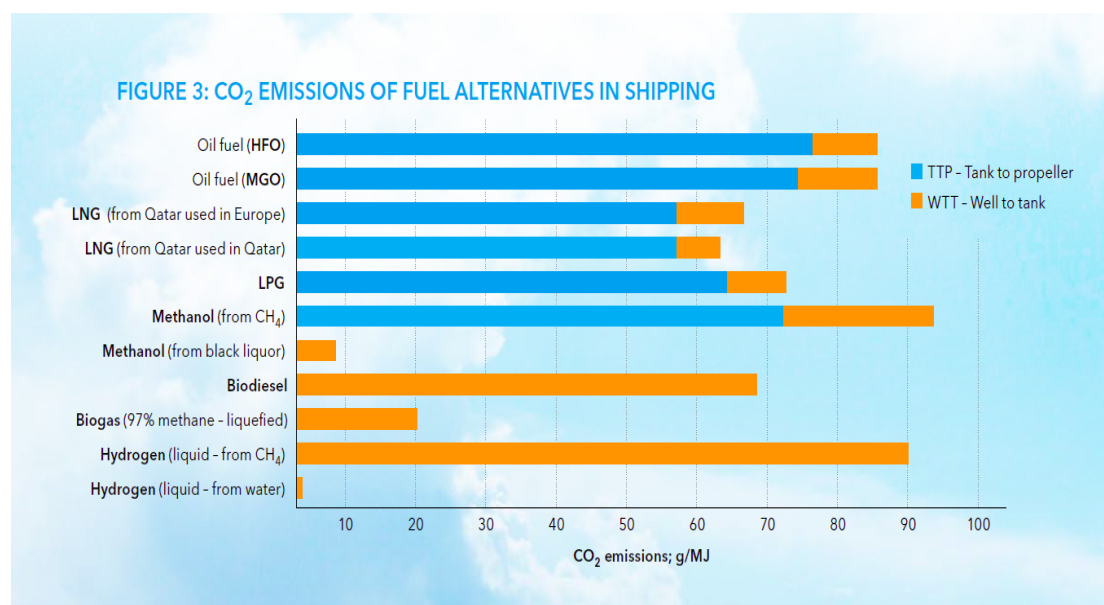
Το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO) περιγράφει καύσιμα πλοίων που αποτελούνται αποκλειστικά από αποστάγματα. Τα αποστάγματα είναι όλα εκείνα τα συστατικά του αργού πετρελαίου που εξατμίζονται με κλασματική απόσταξη και κατόπιν συμπυκνώνονται από την αέρια φάση σε υγρά κλάσματα. Το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης συνήθως αποτελείται από μείγμα διαφόρων αποσταγμάτων. Το MGO είναι παρόμοιο με το πετρέλαιο ντίζελ, αλλά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Επιπλέον το MGO εμπίπτει στην κατηγορία DMA και βασίζεται στα ελαφρύτερα αποστάγματα και έχει χαμηλό ιξώδες έτσι ώστε να λειτουργεί σε ελεγχόμενη

θερμοκρασία. Οι εκπομπές από το MGO περιέχουν σημαντικά λιγότερη σωματιδιακή ύλη και αιθάλη καθώς και χαμηλές εκπομπές θείου. (ABS, Marine fuel oil advisory 2018)

Το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO) αποτελείται γενικά από διάφορα μείγματα αποσταγμάτων και από ένα μικρό τμήμα βαρύ μαζούτ που εμπίπτει στην κατηγορία DMB. Το ντίζελ είναι μεσαίο απόσταγμα και κυρίως καύσιμο ορυκτών, αλλά το MDO είναι παρόμοιο με το πετρέλαιο ντίζελ με υψηλότερη πυκνότητα. Σε αντίθεση με το μαζούτ, το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων δεν χρειάζεται να θερμαίνεται κατά την αποθήκευση. Οι διάφοροι λόγοι ανάμιξης του πετρελαίου ντίζελ πλοίων μπορούν να ελέγχονται απευθείας από διεργασίες στο δυλιστήριο ή με ανάμειξη έτοιμων καυσίμων πλοίων. (ABS, Marine fuel oil advisory 2018)

Διάφοροι προμηθευτές καυσίμων πλοίων έχουν αναπτύξει νέα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ειδικά σχεδιασμένα έτσι ώστε συμμορφώνονται με τα όρια περιεκτικότητας σε θείο 0,10%. Αυτά τα νέα καύσιμα περιέχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο όπως MGO αλλά έχουν υψηλότερο σημείο ανάφλεξης και ιξώδες. Αυτά είναι γνωστά ως καύσιμο πετρέλαιο βαρύ μαζούτ ή καύσιμα ECA ή υβριδικά καύσιμα.

Διάγραμμα 3.4: Εκπομπές CO₂ των εναλλακτικών καυσίμων στην ναυτιλία



Πηγή: DNV GL, 2018

Οι εκπομπές από τα αέρια των θερμοκηπίων ή αλλιώς Green House Gases (GHG) μπορούμε να της μετρήσουμε ως ισοδύναμο με της εκπομπές CO₂. Στο διάγραμμα 3.4 βλέπουμε ότι από το σύνολο των σχετικών ορυκτών καυσίμων, το LNG παράγει τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂. Ωστόσο, η απελευθέρωση του άκαυστου μεθανίου (λεγόμενη ολίσθηση μεθανίου) θα μπορούσε να απάλειψη το όφελος έναντι του HFO και του MGO, επειδή το μεθάνιο (CH₄) έχει 25 έως 30 φορές λιγότερες εκπομπές από το αέριο του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το CO₂.(DNV GL,2018)

3.2 Ο Κανονισμός MARPOL Annex VI σχετικά με την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία

Με το Global 0.50% low Sulphur Cap να τίθεται σε εφαρμογή το 2020 η διεθνή ναυτιλία έρχεται αντιμέτωπη με νέες προκλήσεις. Σύμφωνα με τον DNV πάνω από 70.000 πλοία θα επηρεαστούν από αυτόν τον κανονισμό. Υπάρχουν αυστηρότερα όρια εκπομπών θείου (SO_x) στις περιοχές ελέγχου εκπομπών στην Ευρώπη και την Αμερική και δημιουργούνται νέοι χώροι ελέγχου σε λιμένες και παράκτιες περιοχές της Κίνας. (DNV GL, Global Sulphur Cap 2020)

Ο IMO είναι ο οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που διαπραγματεύεται κανονισμούς για την διεθνή ναυτιλία. Το 1973 υιοθέτησε την διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL). Το παράρτημα VI της MARPOL, το οποίο εγκρίθηκε για πρώτη φορά το 1997, περιορίζει τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους που περιέχονται στα καυσαέρια πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του θείου (SO_x) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και απαγορεύει σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Μετά την έναρξη ισχύος της MARPOL Annex VI στις 19 Μαΐου 2005, η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), κατά την 53η σύνοδό της (Ιούλιος 2005), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο την σημαντική ενίσχυση των ορίων εκπομπών. Μετά από τριετή εξέταση, το MEPC 58 (Οκτώβριος 2008) ενέκρινε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και τον σχετικό τεχνικό κώδικα NO_x 2008, ο οποίος τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιουλίου 2010.

(<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>)

Βάσει του αναθεωρημένου παραρτήματος VI της MARPOL, το παγκόσμιο όριο θείου θα μειωθεί από το σημερινό 3,50% σε 0,50%, με ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2020. Το MEPC 70 (Οκτώβριος 2016) εξέτασε τη διαθεσιμότητα του πετρελαίου εσωτερικής καύσης για να ενημερώσει την απόφαση που πρέπει να λάβουν τα συμβαλλόμενα μέρη στο παράρτημα VI της MARPOL και αποφάσισε ότι το πρότυπο πετρελαίου μαζούτ (όριο θείου 0,50%) θα αρχίσει να ισχύει την 1η Ιανουαρίου 2020.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>)

Το 2008 λόγω των κανονισμών που αναφέραμε παραπάνω και τέθηκαν σε εφαρμογή με σκοπό να περιορίσουν τις εκπομπές θείου που προέρχονται από τα πλοία, είχε ως συνέπεια οι πλοιοκτήτες να αρχίσουν να εξετάζουν εναλλακτικές λύσεις για τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο.

Οι προοπτικές που υπάρχουν για τα εναλλακτικά καύσιμα με βάση την προθεσμία του 2020 είναι οι εξής:

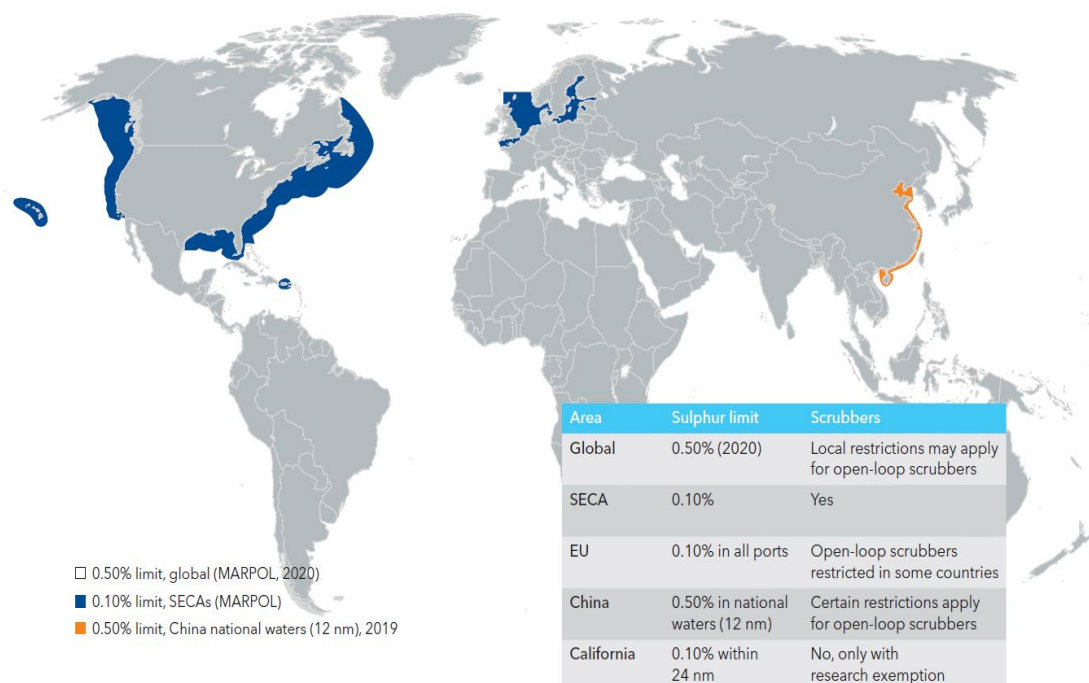
1. Η μετάβαση από το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HSFO) στο πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων (MGO) ή στα αποστάγματα
2. Χρησιμοποιώντας καύσιμο πετρελαίου πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο
3. Χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως το LNG
4. Εγκατάσταση συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers)

3.3 Οι Περιοχές ECA

Εκτός από τα όρια για το θείο σε παγκόσμιο επίπεδο, το παράρτημα VI της MARPOL προβλέπει τη δημιουργία περιοχών ελέγχου των εκπομπών ή αλλιώς Emission Control Areas (ECA). Προς το παρόν υπάρχουν τέσσερις ECA:

- Περιοχή Βαλτικής Θάλασσας - όπως ορίζεται στο Παράρτημα I της MARPOL (μόνο SO_x)
- Περιοχή της Βόρειας Θάλασσας - όπως ορίζεται στο παράρτημα V της MARPOL (μόνο SO_x)
- Η περιοχή της Βόρειας Αμερικής (τέθηκε σε ισχύ την 1η Αυγούστου 2012) - όπως ορίζεται στο προσάρτημα VII του παραρτήματος VI της σύμβασης MARPOL (SO_x, NO_x και PM)
- Περιοχή Ηνωμένων Πολιτειών της Καραϊβικής (τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2014) - όπως ορίζεται στο προσάρτημα VII του παραρτήματος VI της σύμβασης MARPOL (SO_x, NO_x και PM)

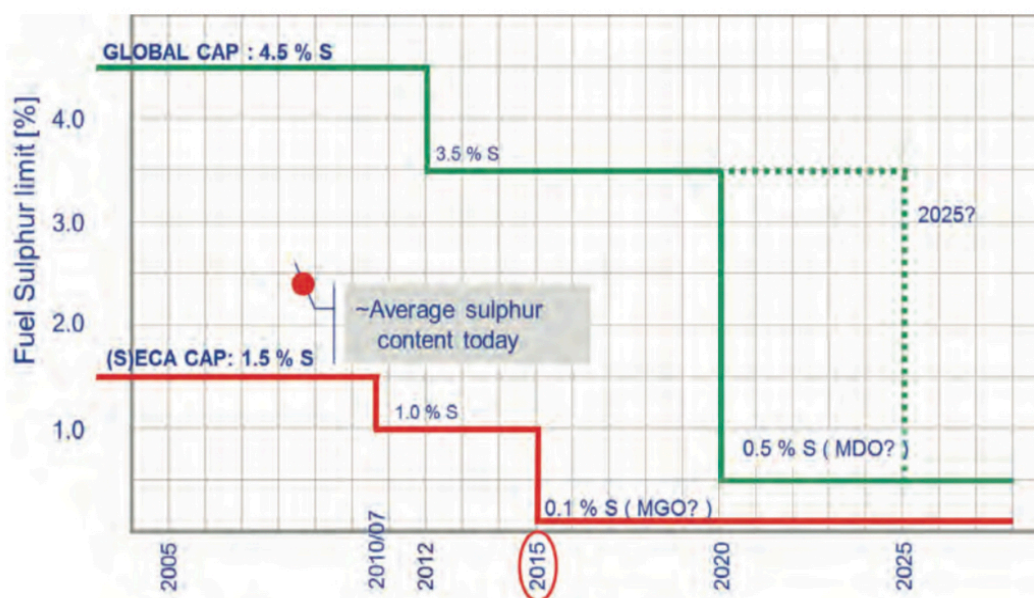
Χάρτης 3.1: Τα όρια του θείου στις περιοχές ECA



Πηγή: DNV GL, 2018

Στο χάρτη 3.1 βλέπουμε της περιοχές ελέγχου εκπομπών και τα όρια εκπομπών για το θείο μέσα σε αυτές τις περιοχές είναι 0.10%. Η Ευρωπαϊκή Ένωση βλέπουμε ότι έχει υιοθετήσει το όριο για την μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο για τα πλοία που θα δένουν στα λιμάνια της. Επιπλέον κάποιες περιοχές εντός ΕΕ έχει απαγορευτεί η χρήση των scrubbers Open – loop. Επίσης όλα τα πλοία που θα πλέουν στα χωρικά ύδατα τις πολιτείας της Καλιφόρνιας (24 ν.μ. από την ακτή), θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με λιγότερο από 0.10% περιεκτικότητας σε θείο. Τέλος το Χονγκ Κονγκ έχει όριο περιεκτικότητας σε θείο 0,50% για τα σκάφη που βρίσκονται σε αγκυροβόλιο. Η Κίνα υιοθέτησε μια σταδιακή προσέγγιση, αρχικά απαιτώντας μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,50% στο καύσιμο που καίγεται στα βασικά λιμάνια των περιοχών Χονγκ Κονγκ / Γκουανγκζού και τη Σαγκάη και στη Θάλασσα Bohai. .(DNV GL,2018)

Διάγραμμα 3.5: Υπάρχοντα και μελλοντικά όρια περιεκτικότητας σε θείο



Πηγή: IMO, studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016

Στο διάγραμμα 3.5 βλέπουμε το όριο από το 4,5% μειώθηκε σε 3,5% τον Ιανουάριο του 2012. Επίσης το όριο για τις περιοχές ελέγχου εκπομπών μειώθηκε από 1,0% σε 0,1% από τον Ιανουάριο του 2015. Το 2020 όπως έχουμε αναφέρει θα μειωθεί από 3,5% σε 0,5%.

Πίνακας 3.2: Ανώτατα επιτρεπτά όρια οξειδίων του θείου

Όρια εκτός ECA	Όρια εντός ECA
<i>4,5% m/m πριν από 01/01/12</i>	<i>1,5% m/m πριν την 01/07/10</i>
<i>3.5% m/m μετά την 01/01/12</i>	<i>1,0% m/m μετά την 01/07/10</i>
<i>0,5% m/m μετά την 01/01/20</i>	<i>0,1% m/m μετά την 01/01/15</i>

Πηγή:[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)—Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)—Regulation-14.aspx)

Στο πίνακα 3.2 βλέπουμε αναλυτικά τα ανώτατα όρια που ισχύουν εκτός αλλά και εκτός των περιοχών ελέγχου εκπομπών που ισχύουν καθώς και αυτά που θα εφαρμοστούν. Αυτό δίνει την δυνατότητα στα πλοία να αλλάζουν τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιούν ανάλογα με το εάν βρίσκονται εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών ή αν βρίσκονται εντός σε αυτές.

Ο IMO εκτός από του περιορισμού που έχει θέσει σχετικά με τις εκπομπές που αφορούν τα οξείδια του θείου SO_x, έθεσε επίσης όρια και για της εκπομπές των οξειδίων του αζώτου NO_x διότι και αυτά προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Χαρακτηριστικά οι εκπομπές NO_x προκαλούν την παραγωγή όζοντος, η οποία με την σειρά της προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη και την αποσύνθεση του μεθανίου.

Τα όρια που επιβάλλει ο IMO σχετικά με τις εκπομπές NO_x έχουν να κάνουν με πλοία που εκτελούν δρομολόγια σε οπουδήποτε σημείο του κόσμου, εάν τα πλοία αυτά έχουν κατασκευαστεί από την πρώτη Ιανουαρίου του 2000 έως και την πρώτη Ιανουαρίου του 2011 ανήκουν στην βαθμίδα I (Tier I). Αν τα πλοία έχουν κατασκευαστή από την πρώτη Ιανουαρίου του 2011 έως και την πρώτη Ιανουαρίου του 2016 ανήκουν στην βαθμίδα II (Tier II). Τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί μετά την πρώτη Ιανουαρίου του 2016 και λειτουργούν στις περιοχές ελέγχου εκπομπών NO_x της Βόρειας Αμερικής κα της Καραϊβικής, μπορούν να ενταχθούν σε αυστηρότερα όρια και ανήκουν στην βαθμίδα III (Tier III). (Jack Sharples, 2019)

Πίνακας 3.3: Τρέχοντα όρια του IMO για τις εκπομπές NO_x κατά την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου και την ταχύτητα του κινητήρα

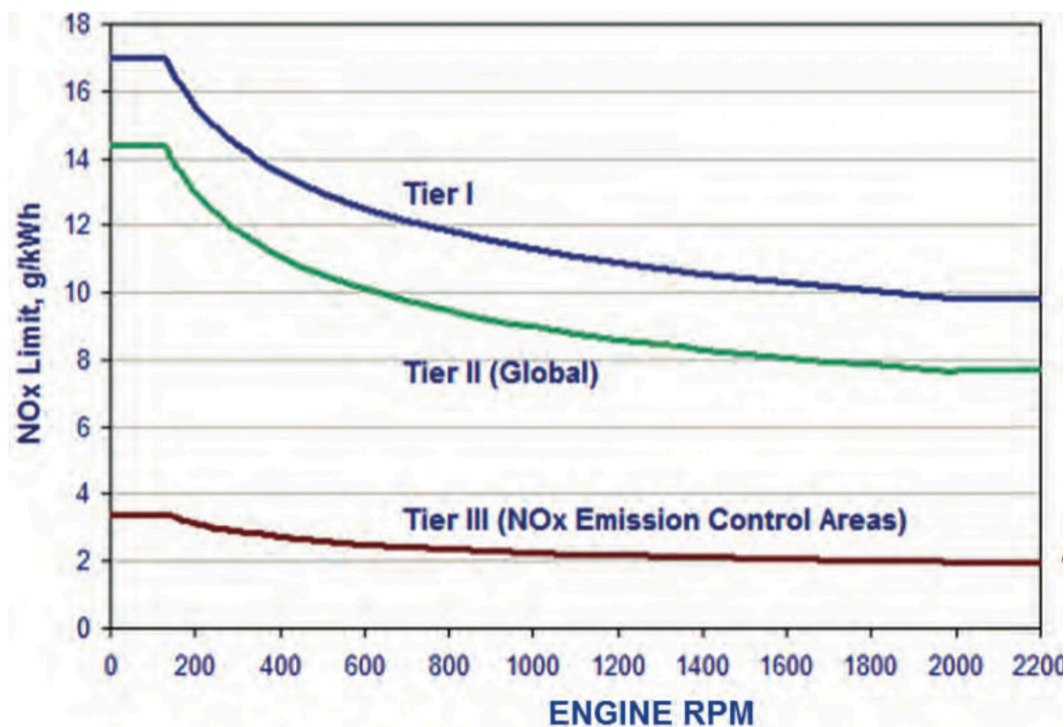
Βαθμίδα	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου	Συνολικό σταθμισμένο επιτρεπτό όριο εκπομπών Total weighted cycle emission limit (g/kwh) n= engine's rated speed (rpm)		
		n<130	n= 130 - 1999	n>=2000
I	1 Ιανουαρίου 2000	17.0	$45 * n^{(-0.2)}$ Π.Χ.720rpm-12,1	9.8
II	1 Ιανουαρίου 2011	14.4	$44 * n^{(-0.23)}$ Π.Χ.720rpm-9.7	7.7
III	1 Ιανουαρίου 2016	3.4	$9 * n^{(-0.2)}$ Π.Χ.720rpm-2.4	2.0

Πηγή:[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx)

Στο πίνακα 3.3 βλέπουμε τα όρια που έχει εφαρμόσει ο IMO μέσω της MARPOL. Στην πρώτη στήλη βλέπουμε τις βαθμίδες που ανήκει το κάθε πλοίο ανάλογα με το έτος κατασκευής του. Στην δεύτερη στήλη βλέπουμε την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου όπου ανάλογα με αυτή μπορούμε να το εντάξουμε και στην ανάλογη βαθμίδα. Οι τελευταίες στήλες μας δείχνουν τα όρια των εκπομπών του οξειδίου του αζώτου, για διάφορες ταχύτητες λειτουργίας των μηχανών του πλοίου. Τέλος από το πίνακα 3.3 βλέπουμε ακόμα ότι οι απαιτήσεις της βαθμίδας III αφορά πλοία που θα έχουν ισχύ κινητήρα 130 kw ή περισσότερο.

Η NO_x Tier III ισχύει στις ECA από την 1η Ιανουαρίου 2016. Επί του παρόντος, τα όρια αυτά ισχύουν για τις ECA της Βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής από την 1η Ιανουαρίου 2016. Ωστόσο, το MEPC 71 αποφάσισε ότι από την 1η Ιανουαρίου 2021 θα ισχύουν και για τη Βαλτική και τη Βόρεια Θάλασσα. (http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Res_MEPC_286%2871%29_Tier%20III%20ECA%20and%20BDN.pdf)

Διάγραμμα 3.6: Όρια εκπομπών NO_x με βάση το παράρτημα VI της MARPOL



Πηγή: IMO, studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016

Στο διάγραμμα 3.6 παρατηρούμε διαγραμματικά τα όρια εκπομπών του οξειδίου του αζώτου. Τα όρια εκπομπών NO_x καθορίζονται για τους κινητήρες ντίζελ ανάλογα με τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα (n, στροφές ανά λεπτό), όπως φαίνεται και παρουσιάζεται γραφικά στο διάγραμμα. Τα όρια της κατηγορίας Tier I και Tier II είναι γενικά, ενώ οι βαθμίδα Tier III ισχύει μόνο για Περιοχές ελέγχου εκπομπών NO_x. Η βαθμίδα III, θα μειώσει τις εκπομπές του οξειδίου του αζώτου για μηχανές που λειτουργούν εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών κατά 80% σε σύγκριση με τη βαθμίδα I. (IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016)

4 Το LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία

4.1 Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως ένα εναλλακτικό καύσιμο στην ναυτιλία

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αναμένεται να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα ως ένα καθαρό καύσιμο για πλοία σε σχέση με τα πατροπαράδοτα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία εδώ και τόσα χρόνια. Τα συνολικά οφέλη από την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας θα είναι οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Τα κοινωνικά οφέλη είναι με την έννοια ότι το LNG ως ένα ποιο καθαρό καύσιμο για πλοία δεν θα επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας επηρεάζει σε παγκόσμιο επίπεδο μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Επίσης σύμφωνα με το παγκόσμιο οργανισμό υγείας, η ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν υπεύθυνη για το 2016 για 7 εκατομμύρια θανάτους με 600.000 από αυτούς να αφορούν παιδιά κάτω από 5 χρονών.

Όπως αναλύσαμε και στο τρίτο κεφάλαιο, το χρονοδιάγραμμα για την εφαρμογή των ορίων για τα καύσιμα σε περιεκτικότητα σε θείο που έχει θεσπίσει ο IMO από το 2015 στις περιοχές ελέγχου εκπομπών, ο χρόνος για την εφαρμογή του έχει σχεδόν φτάσει και οι πλοιοκτήτες καθώς και αυτή που διαχειρίζονται πλοία καλούνται να αναζητήσουν καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Επομένως οι επιλογές σε αυτή την περίπτωση είναι είτε να αλλάξουν την ποιότητα των καυσίμων χρησιμοποιώντας το μαζούτ με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (LSFO) ή το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (MGO) που όμως αυτά τα είδη των καυσίμων έχουν το μειονέκτημα ότι είναι αρκετά ακριβά. Επίσης οι πλοιοκτήτες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων ή scrubbing system.

Ωστόσο στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με μια εναλλακτική λύση πιθανούς συμμόρφωσης με αυτούς τους νέους κανονισμού που αναλύσαμε. Ένα τέτοιο εναλλακτικό καύσιμο είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως θα δούμε και παρακάτω ως ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο για τα πλοία.

Το LNG αναμένεται να αποκτήσει ευνοϊκότερη θέση ως εναλλακτική λύση για τον ανεφοδιασμό των πλοίων έτσι ώστε να συμμορφώνονται με το παγκόσμιο ανώτατο όριο σε θείο. Το LNG ως καύσιμο για τα πλοία αποτελεί σήμερα μια τεχνικά αποδεδειγμένη λύση και οι υποδομές ανεφοδιασμού αναπτύσσονται με ταχύτητα σε όλο το κόσμο. Ενώ τα συμβατικά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο θα παραμένουν οι βασική επιλογή για καύσιμο από τα περισσότερα πλοία στο εγγύς μέλλον, οι εμπορικές ευκαιρίες του LNG είναι ενδιαφέρουσες κυρίως για τα νεότευκτα πλοία, άλλα σε ορισμένες περιπτώσεις και για να μετατραπούν τα υπάρχοντα πλοία έτσι ώστε να καίνε και LNG. Ως επιλογή τροφοδοσίας, το LNG προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Έχει επίσης θετικό αντίκτυπο στον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) του πλοίου. (DNV-GL, Global Sulphur Cap, 2018)

Σε σύγκριση με τα συμβατικά πετρέλαια εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται στα πλοία, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) έχει πολύ χαμηλές εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x), οξειδίων του αζώτου (NO_x) καθώς χαμηλές εκπομπές σωματιδίων (PM). Οι εκπομπές NO_x μειώνονται έως και κατά 85%-90% σε σύγκριση με το HFO και τα SO_x και PM μειώνονται κατά 100% σε σχέση με άλλα καύσιμα και τέλος το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) μειώνεται κατά 15-20%. Τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να τα δούμε και αναλυτικότερα στο πίνακα 4.1 όπου βλέπουμε τις εκπομπές αερίων που παράγει το κάθε καύσιμο που χρησιμοποιείται στα πλοία. Χαρακτηριστικά βλέπουμε ότι το LNG σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα είναι το πιο φιλικό καύσιμο για το περιβάλλον. (IGU, LNG as fuel,2015)

Πίνακας 4.1: Σύγκριση εκπομπών για τα είδη των καυσίμων για τα πλοία (g/g of Fuels)

ΕΚΠΟΜΠΕΣ	HFO	MDO	LNG
SO_x	0.049	0.003	-
CO₂	3.114	3.206	2.750
CH₄	-	-	0.051
NO_x	0.093	0.087	0.008
PM	0.007	0.001	-

Πηγή: Third IMO GHG study, 2014

Η ναυτιλιακή βιομηχανία έρχεται λοιπόν αντιμέτωποι με τρεις νέες καταστάσεις όσο αναφορά τα καύσιμα στα οποία θα επιλέξει να επενδύσει. Πρώτον έχει να κάνει με τους περιβαλλοντικούς λόγους, όπως είχαμε αναλύσει λεπτομερώς στο τρίτο κεφάλαιο, όπου ο IMO έθεσε σε εφαρμογή την διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) και μέσω του παραρτήματος IV ξεκίνησε μια προσπάθεια έτσι ώστε να μειώσει τις εκπομπές εφαρμόζοντας κάποια μέτρα (Όρια περιεκτικότητας σε θείο 0.10%, NO_x TIER III). Το LNG προσφέρει όπως είδαμε και στο πίνακα 4.1 τις χαμηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με τα καύσιμα απόσταξης.

Ένας δεύτερος λόγος είναι οι διαφορετικές τιμές μεταξύ φυσικού αερίου και του καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, δείχνουν ότι το φυσικό αέριο μπορεί να αποκτήσει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να το ευνοήσει στην αγορά. Ο αυξανόμενος αριθμός πλοίων που καταναλώνουν LNG είτε έχουν κινητήρα Dual Fuel, έδωσαν μια ωθήσει στην αγορά προς αυτή την κατεύθυνση. Επιπλέον, οι υποδομές για το φυσικό αέριο συνεχώς αυξάνονται δίνοντας τη δυνατότητα στα πλοία να χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ως καύσιμο. Αυτοί οι δύο λόγοι, η χαμηλή τιμή και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς εντός ECA, μπορούν να δώσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά του LNG ως καύσιμο.

Ωστόσο, η αυξημένη χρήση του φυσικού αερίου στο θαλάσσιο τομέα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά ένα τρίτο σημαντικό παράγοντα: την κλιματική αλλαγή. Νέες

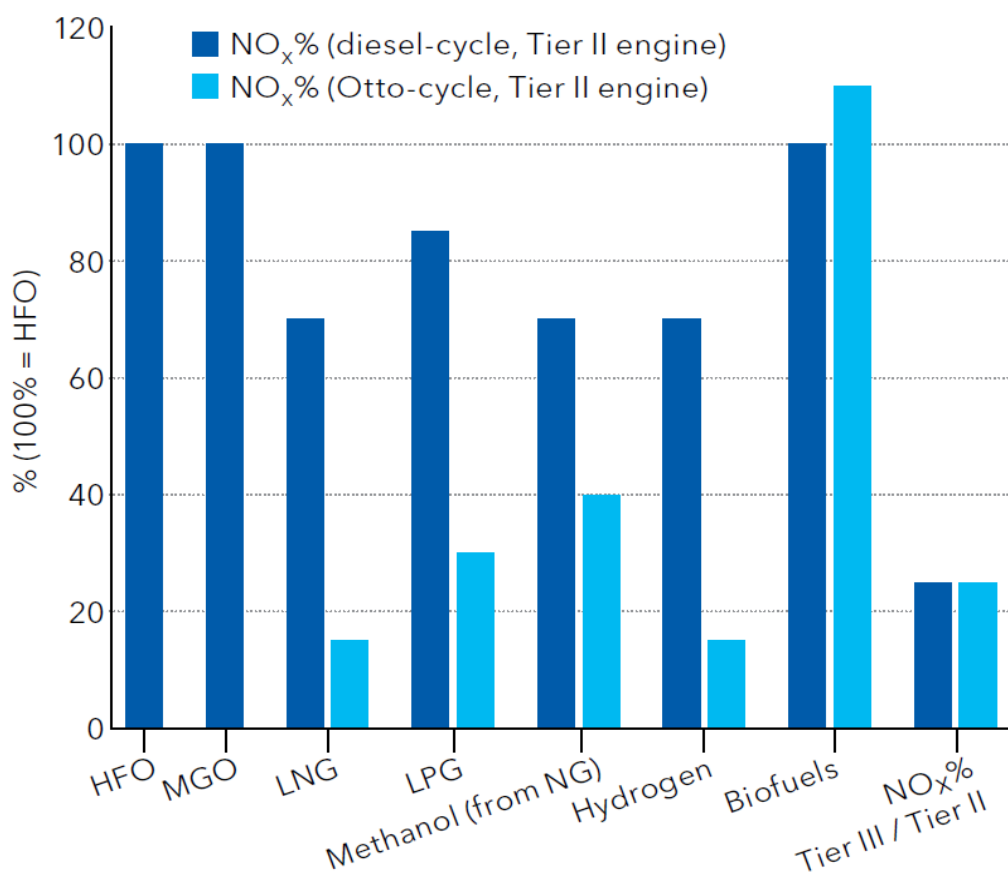
έρευνες σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) έχουν δείξει ότι η αυξημένη χρήση του φυσικού αερίου μπορεί να αυξήσει της παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της διαρροής μεθανίου στην ατμόσφαιρα κατά τα στάδια της παραγωγής και παράδοσης του καυσίμου. (Thomson, Corbett, Winebrake, 2015)

Το φυσικό αέριο μπορεί να είναι αποτελεσματικό όσο αναφορά την απόδοση του για την τελική του εφαρμογή όπως για παράδειγμα η χρήση του ως καύσιμο στην ναυτιλία λόγω των μηδενικών εκπομπών ή ακόμα και η οικιακή του χρήση. Όμως σε διαφορετικά κομμάτια της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να έχουμε εκπομπές μεθανίου κατά την διάρκεια της παραγωγής, της αποθήκευσης και της μεταφοράς του φυσικού αερίου. (IGU, Sustainable Future Powered by Gas, 2019)

Ως αέριο θερμοκηπίου, το μεθάνιο θεωρείται πιο επιβλαβές από το CO₂, επειδή παγιδεύει περισσότερη θερμική ενέργεια στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, το μεθάνιο διαλύεται επίσης από την ατμόσφαιρα πιο γρήγορα από το CO₂. Για τα πλοία που τροφοδοτούνται με υγραέριο, το μεθάνιο εξέρχεται από το σύστημα πρόωσης ως αποτέλεσμα ατελούς καύσης ή εξαερισμού από τους αγωγούς μετά τη διακοπή του κινητήρα, ειδικά σε κινητήρες κύκλου Otto. (Schinas, Butler, 2016)

Παρόλο αυτά οι περιβαλλοντικοί λόγοι που οδηγούν το LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία είναι ότι δίνει την δυνατότητα στα πλοία να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του παραρτήματος VI της MARPOL τόσο στις παγκόσμιες εμπορικές τους συναλλαγές όσο και με τους κανονισμούς εντός των ECA, αφού όπως αναλύσαμε η περιεκτικότητα που έχει το LNG σε SO_x και PM είναι μηδενική επομένως η απαιτήσεις για το θείο εντός ECA είναι πολύ χαμηλότερες σε σχέση με της απαιτήσεις του παραρτήματος. Επιπλέον, το LNG μειώνει τις εκπομπές NO_x σε επίπεδα που θα πληρούν το παράρτημα VI της MARPOL χωρίς να απαιτείται μεταγενέστερη επεξεργασία. (Adamchak, Adede, 2013)

Διάγραμμα 4.1: Οι εκπομπές NO_x για τα εναλλακτικά καύσιμα



Source: DNV GL calculations

Πηγή: DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018

Το διάγραμμα 4.1 απεικονίζει την επίδραση των διάφορων τεχνολογιών στα πλοία και στα καύσιμα για τις εκπομπές NO_x. Οι τιμές είναι συγκρίσιμες μόνο όταν λαμβάνεται η ίδια ταχύτητα περιστροφής. Οι ράβδοι στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος αντιπροσωπεύουν τη δυνητική μείωση των εκπομπών με τη μετάβαση από την βαθμίδα II στην βαθμίδα III. Επίσης από το παραπάνω διάγραμμα είναι προφανές ότι οι κινητήρες κύκλου ντίζελ πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με συστήματα επεξεργασίας καυσαερίων για να συμμορφώνονται με τα όρια του IMO για τη βαθμίδα III, όπως είδαμε και στο τρίτο κεφάλαιο. Μόνο οι μηχανές Otto-cycle που καίνε LNG έχουν τη δυνατότητα να παραμείνουν εντός των ορίων της κατηγορίας III χωρίς να απαιτείται επεξεργασία καυσαερίων. Αυτό σημαίνει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις μια αλλαγή καυσίμου δεν επαρκεί για να συμμορφωθεί με τα όρια Tier III NO_x. (DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018)

Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι λόγοι που οδηγούν το LNG να γίνει μια εναλλακτική επιλογή ανεφοδιασμού για πλοία και έχουν να κάνουν με το περιβάλλον είναι ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο συμμορφώνεται με όλους του κανονισμούς που έχουν να κάνουν με τις εκπομπές. Το ότι το LNG δεν περιέχει ούτε ίχνος θείου και σωματιδίων (PM), του δίνει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα ότι και πιο αυστηροί κανονισμοί να τεθούν σε εφαρμογή, τα πλοία που θα κινούνται με LNG θα είναι εναρμονισμένα ήδη με αυτούς τους κανονισμούς. (IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016)

4.2 Η τιμή του LNG ως καύσιμο σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα στην ναυτιλία

Το LNG εκτός από τους περιβαλλοντικούς λόγους και τους νέους κανονισμού που έχουν να κάνουν με τα καύσιμα που εκεί όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα δείχνει να αποκτάει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα στην ναυτιλία καθώς πλήρη όλες της προδιαγραφές και τα όρια που θα φέρουν οι νέοι κανονισμοί και το μεγάλο πλεονέκτημα του είναι ότι δεν χρειάζεται περεταίρω τροποποιήσεις για να επιτύχει τα όρια που έχει θέσει ο IMO. Ένας άλλο πολύ σημαντικός λόγος που οδηγεί το LNG καύσιμο ανεφοδιασμού είναι και η τιμή που έχει σε σχέση με τα άλλα καύσιμα.

Η τιμή του LNG είναι ένας καθοριστικός παράγοντας έτσι ώστε το LNG να καθιερωθεί ως καύσιμο στα πλοία, καθώς γίνεται κατανοητό ότι οι πλοιοκτήτες θα θέλουν να επενδύσουν σε ένα καύσιμο που θα είναι οικονομικά αποδοτικό στο τελικό κόστος μεταφοράς.

Για, το αν το LNG μπορεί να σταθεί στην αγορά ως ένα εναλλακτικό καύσιμο για πλοία, η τιμή του θα παίξει σπουδαίο ρόλο. Επιπλέον θα πρέπει να υπάρξουν ενιαίες τιμές για το LNG σε όλο το κόσμο, καθώς σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη οι τιμές είναι διαφορετικές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ένα κοινό δίκτυο τιμολόγησης. Οι πλοιοκτήτες που θα θελήσουν να προχωρήσουν σε αυτή την τεχνολογία για

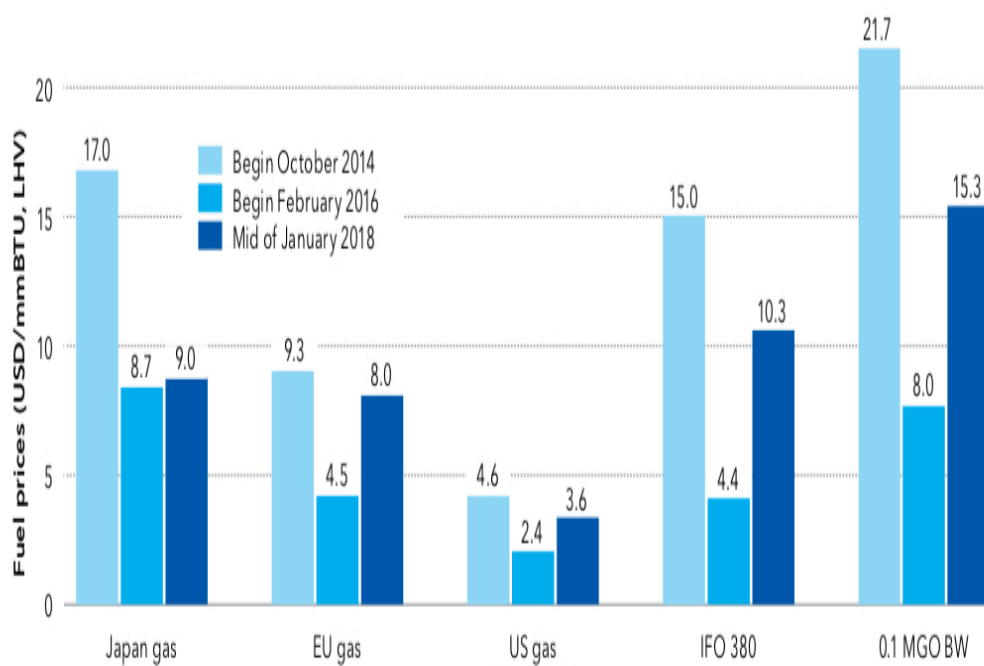
ανεφοδιασμό των πλοίων τους με LNG, είναι λογικό να μην προχωρήσουν σε αυτή την επένδυση, αν δεν υπάρξουν κοινές τιμές για το καύσιμο LNG σε όλα τα λιμάνια που δραστηριοποιούνται. Βέβαια μια σταθερή τιμή για LNG θα λύσει ένα ακόμα πρόβλημα των πλοιοκτητών, όταν η αγορά τους πιέζει μέσω χαμηλών ναύλων, με τη σταθερή τιμή για το καύσιμο, θα καταφέρουν να εξοικονομήσουν περισσότερα έσοδα, καθώς τα κόστη για το ταξίδι θα είναι λιγότερα. Το LNG έχει τη μισή τιμή του πετρελαίου στις ΗΠΑ, ενώ και στις ευρωπαϊκές αγορές το LNG είναι πολύ ανταγωνιστικό. Τα καύσιμα απόσταξης, αναμένεται ότι θα έχουν υψηλές τιμές που θα διατίθενται στην αγορά, λόγω ότι θα υπάρχει ζήτηση για αυτά εξαιτίας της πολύς ακριβής διαδικασία αποθείωσης. Το LNG μοιάζει να καταφέρει να διατηρήσει τις τιμές του ανταγωνιστικές σε σχέση με τις εναλλακτικές επιλογές, όμως η αύξηση της ζήτησης για LNG, αλλά και η σχετικά σκληρή προσφορά, αναμένεται να υπάρξει αβεβαιότητα στις τιμές και οι τιμές θα οδηγηθούν σε αύξηση. Μια ενιαία παγκόσμια αγορά LNG δεν υφίσταται ακόμα καθώς η τιμή του είναι διαφορετική σε ολόκληρο το κόσμο με μεγάλες διαφορές μεταξύ τοποθεσιών και συμβάσεων. (Wang, Notteboom, 2014)

Η τιμή του LNG περιλαμβάνει και το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας για τη διάθεση του LNG ως ένα καύσιμο ανεφοδιασμού για πλοία. Αυτό το κόστος περιλαμβάνει το κόστος υποδομής των τερματικών σταθμών ανεφοδιασμού με LNG, το κόστος διανομής LNG στο τερματικό ανεφοδιασμού και το κόστος της διαδικασίας του ανεφοδιασμού (Magalog,2008)

Η σημερινή έλλειψη σε δίκτυα υποδομής και δικτύων εφοδιασμού LNG παρουσιάζει μια πολύ πιο αβέβαιη εικόνα για την τιμή του LNG ως καυσίμου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας να επιβραδύνει αρκετά. Ο λόγος για αυτή την κατάσταση είναι ότι οι πλοιοκτήτες δεν θα έχουν σαφείς ενδείξεις για τις τιμές LNG. Επομένως, για τους πλοιοκτήτες θα είναι αρκετά δύσκολο αν θα αποκομίσουν όφελος από την αντιστάθμιση μεταξύ εξοικονόμηση κόστους καυσίμων και της μεγάλης επενδύσεις σε κεφάλαιο που απαιτούνται, και κατά πόσο γρήγορα θα μπορέσουν να αποπληρώσουν αυτές τις επενδύσεις. (Wang, Notteboom, 2014)

Η τιμή του φυσικού αερίου σε διάφορους εμπορικούς κόμβους παγκοσμίως εκτός από ορισμένες περιοχές της Ανατολικής Ασίας σε σχέση με άλλες εναλλακτικές πηγές καυσίμων, θα παρατηρήσουμε ότι οι τιμές του LNG ήταν χαμηλότερες από το αργό πετρέλαιο και το Heavy Fuel Oil για την τελευταία δεκαετία. Όσο αναφορά τη τιμή του LNG ως καυσίμου στα πλοία είναι βασικό να συνυπολογίζουμε το κόστος υγροποίησης, το κόστος μεταφοράς καθώς και τα εφαρμοζόμενα περιθώρια κέρδους. Παρατηρώντας και συγκρίνοντας το LNG με τις ανταγωνιστικές επιλογές στην αγορά, βλέπουμε ότι το LNG έχει πολύ ανταγωνιστικό επίπεδο τιμής ανεφοδιασμού σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις. Το επίπεδο τιμών είναι ανταγωνιστικό με το MGO, λόγω των τιμών που επικρατούν στην αγορά, όμως ο ανταγωνισμός με το MGO θα είναι δυσκολότερος. Τα παραπάνω τα βλέπουμε και στο διάγραμμα 4.2. (DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018)

Διάγραμμα 4.2: Οι τιμές του LNG καθώς και τον εναλλακτικών καυσίμων



Πηγή: DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018

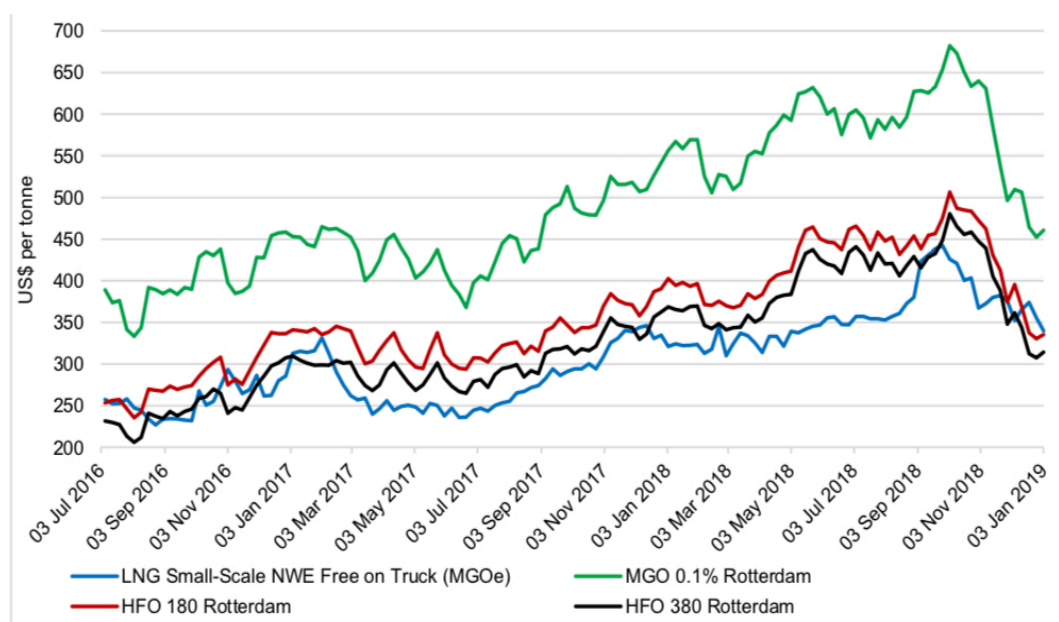
Όπως έχουμε πει και σε προηγούμενες ενότητες το Heavy Fuel Oil υψηλής περιεκτικότητας σε θείο χωρίς εγκατεστημένο σύστημα καθαρισμού και η τιμή του νέου καυσίμου LSFO αναμένεται να είναι υψηλότερη από το HFO. Επομένως η τιμή του LNG ως καύσιμο στην ναυτιλία αποκτά ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση

με την τιμή του HFO με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το LNG επίσης θα ανταγωνιστή και το HFO υψηλής περιεκτικότητας σε θείο καθώς και τα scrubbers.

Οι πλοιοκτήτες γίνεται κατανοητό ότι έχουν να ασχοληθούν περισσότερο με τις εκπομπές SO_x. Επομένως το θέμα σχετικά με τη βιωσιμότητα των διάφορων μεθόδων μείωσης του SO_x πρέπει να διαιρεθεί μεταξύ του υφιστάμενου στόλου και των νεότευκτων πλοίων. Το πόσο χρόνο περνάει ένα πλοίο σε μια περιοχή ελέγχου εκπομπών επηρεάζει δραματικά την εμπορική ελκυστικότητα των διάφορων μεθόδων μείωσης. Για ένα πλοίο που περνάει όλο το χρόνο του σε μια ECA, το κόστος επενδύσεων κεφαλαίου για να μετατροπή έτσι ώστε να καταναλώνει LNG ή εγκατάσταση scrubbers πρέπει να συγκριθεί με το εναλλακτικό υψηλότερο λειτουργικό κόστος σε καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. (Jack Sharples, 2019)

Στο διάγραμμα 4.3 βλέπουμε τη τιμή καυσίμου LNG στη Βορειοδυτική Ευρώπη σε US\$ ανά τόνο ισοδύναμα με το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης και σε σχέση με το LSMGO και HFO 180 και 380. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι το LNG έχει ανταγωνιστική τιμή με το και HFO 180 και 380. Για το 2018 το LNG ήταν κατά μέσο όρο 220 δολάρια ανά τόνο φθηνότερο από το LSMGO και 64 και 38 δολάρια φθηνότερο από το HFO 180 και 380 αντίστοιχα. Κατά το προηγούμενο Δεκέμβριο το LNG ήταν κατά μέσο όρο 120 δολάρια ανά τόνο φθηνότερο από το LSMGO. (Jack Sharples, 2019)

Διάγραμμα 4.3: Οι τιμές των ναυτιλιακών καυσίμων στην Βορειοδυτική Ευρώπη (US\$ ανά τόνο)

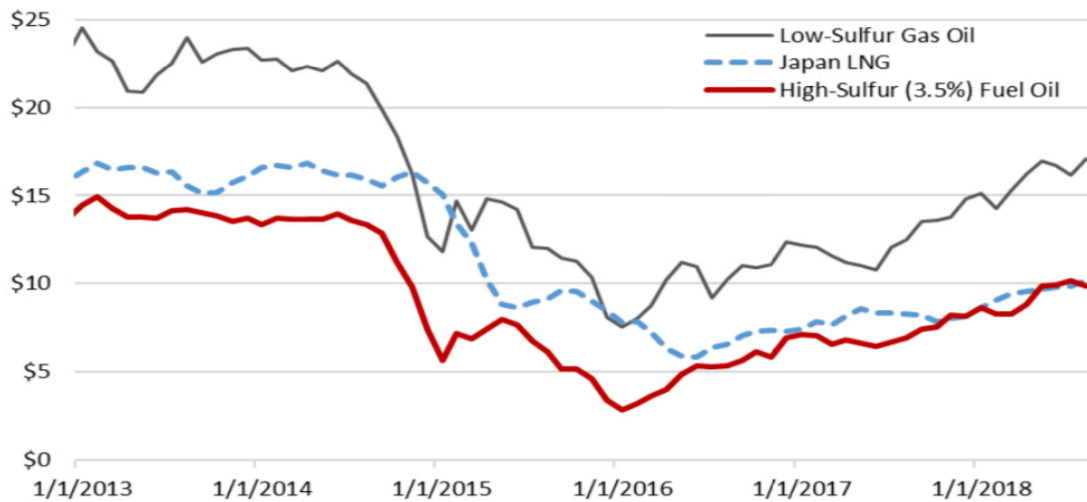


Πηγή: Jack Sharples, (2019), LNG supply chains and the development of LNG as a shipping fuel in Northern Europe

Στην αγορά καυσίμων για των ανεφοδιασμό των πλοίων, οι νέες νομοθεσίες και τα όρια στις εκπομπές που έθεσε ο IMO για να υπάρχουν αυστηρότερη έλεγχοι εκπομπών για το θείο, αναμένεται να αυξήσει τη ζήτηση για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Αυτή η αύξηση της ζήτησης θα οδηγήσει της τιμές αυτών το καυσίμων όπως είναι αναμενόμενο σε αύξηση. Άρα και η ζήτηση για τα καύσιμα σε υψηλή περιεκτικότητα σε θείο θα μειωθεί. (DMA, North European LNG infrastructure project, 2012)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές για τα καύσιμα που ανεφοδιάζονται τα πλοία μπορεί να είναι το επίπεδο τις προσφορές που διατίθενται τα καύσιμα καθώς και οι τιμές των εναλλακτικών επιλογών. Η συνολική ζήτηση για ναυτιλιακές δραστηριότητες, σε παγκόσμια κλίμακα είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις τιμές. Τέλος το πόσο γρήγορα θα έρθει σε ισορροπία η χωρητικότητα (δηλαδή να υπάρχει διαθεσιμότητα καυσίμων στην αγορά) και η ζήτηση για καύσιμα ανεφοδιασμού πλοίων. (DMA, North European LNG infrastructure project, 2012)

Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση κόστους των ναυτιλιακών καυσίμων



Πηγή: CRS, LNG as a Maritime Fuel: Prospects and Policy, 2019

Στο διάγραμμα 4.4 συγκρίνονται οι τιμές της spot αγοράς LNG στην Ιαπωνία με τις τιμές των δύο κοινών καυσίμων με βάση το πετρέλαιο. Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι το LNG στην Ιαπωνία ήταν φθηνότερο από το καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και ακριβότερο από το καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Επίσης φαίνεται ότι οι τιμές του LNG και του καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο συγκλίνουν το 2018.

Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα οι τιμές που επικρατούν στην αγορά δείχνουν να δίνουν ένα πλεονέκτημα στο LNG. Όμως πολύ πιστεύουν ότι μετά την εφαρμογή των κανονισμών του IMO το 2020, η τιμή του καυσίμου σε υψηλή περιεκτικότητα σε θείο θα μειωθεί πράγμα που μπορεί να οδηγήσει το LNG να χάσει το πλεονέκτημα τιμής. Ένας άλλος αρνητικός παράγοντας είναι ότι το LNG έχει διακύμανση τιμών ανά περιοχή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει πολλούς πλοιοκτήτες στο να μην επενδύσουν στο LNG διότι δραστηριοποιούνται παγκοσμίως και οι διαφορετικές τιμές ανά περιοχή θα είναι ένας αρνητικός παράγοντας. Μια άλλη αβεβαιότητα στην αγορά ανεφοδιασμού με LNG είναι η διαφορά τις spot τιμής και της τιμής που πωλείται ως καύσιμο στους λιμένες. Οι πρόσθετες δαπάνες που συνδέονται με την αποθήκευση και μεταφορά, κάνουν τους λιμένες να χρεώνουν συντελεστή για το LNG ως καύσιμο πάνω από τις τρέχουσες τιμές της αγοράς. Άρα οι τιμές διαφέρουν από λιμένα σε λιμένα. (CRS, LNG as a Maritime Fuel: Prospects and Policy, 2019)

4.3 Οι επιπτώσεις στο κόστος εγκατάστασης των νέων τεχνολογιών για να ανεφοδιάζονται τα πλοία με LNG

Όπως πολύ χαρακτηριστικά αναφέραμε στο δεύτερο κεφάλαιο, τα πλοία που μεταφέρουν LNG κινούνται από τις απώλειες του φορτίου τους (Boil -off gas). Όποτε αυτή η τεχνολογία ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG δεν είναι κάτι νέο, αλλά κάτι που εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια από πλοία που μεταφέρουν LNG. Το πρόβλημα όμως για τα πλοία που δεν θα μεταφέρουν LNG, αλλά θα μεταφέρουν άλλα εμπορεύματα και θα θέλουν να εφοδιάζονται με LNG, θα πρέπει να εξοπλίζονται με δεξαμενές για το καύσιμο LNG που θα καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο στο πλοίο. Πιο συγκεκριμένα όταν τα πλοία θα έχουν απώλειες χώρου από τις δεξαμενές, η παραγωγικότητα του πλοίου θα μειώνεται, με αποτέλεσμα οι πλοιοκτήτες να χάνουν κέρδη από τα μειωμένα ναύλα και να έχουν σημαντικές αυξήσεις στο κόστος συντήρησης αυτών των πλοίων. Ο χώρος που καταλαμβάνει μια δεξαμενή με καύσιμο το LNG σε ένα πλοίο είναι περίπου τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερη με τα αντίστοιχα πλοία που τροφοδοτούνται με πετρέλαιο. (Wang, Notteboom, 2014)

Οι εξελιγμένοι κινητήρες LNG και οι δεξαμενές καυσίμου διπλού τοιχώματος απαιτούν σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου σε σχέση με τα πλοία που κινούνται με καύσιμο που έχει βάση το πετρέλαιο. Το κόστος κατασκευής ή μετατροπής ενός πλοίου που θα λειτουργεί με LNG (με διπλό καυσίμο κινητήρα ή μεμονωμένο κινητήρα LNG), εξαρτάται εν μέρει με το σχεδιασμό του πλοίου και το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου. Συνολικά το πλοίο που τροφοδοτείται με LNG έχει υψηλότερο κόστος μεταξύ 20 και 25% με ένα ισοδύναμο πλοίο που κινείται με πετρέλαιο. Σε αυτή την περίπτωση όλα εξαρτώνται από την απόφαση που θα πάρουν οι πλοιοκτήτες. Αν το υψηλότερο κόστος μετατροπής ενός πλοίου έτσι ώστε να κινείται με LNG μπορεί να αντισταθμιστεί από το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και ταξιδιού με τη χρήση του LNG ως καύσιμο. Τέλος εκτιμάται ότι το κόστος ενός νεότευκτου πλοίου που τροφοδοτείται με LNG είναι μικρότερο από το κόστος μετατροπής ενός υπάρχοντος πλοίου που θα τροποποιηθεί έτσι ώστε να καεί LNG. Συνεπώς η νέα αυτή τεχνολογία έχει καλύτερη εφαρμογή στα νεότευκτα πλοία. (Wang, Notteboom, 2014)

Για να προχωρήσουν οι πλοιοκτήτες στην υλοποίηση αυτής της επενδύσεις, είναι μια απόφαση που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι το κόστος, δηλαδή αν οι τιμές είναι ανταγωνιστικές σε σχέση με τις τιμές των καυσίμων με βάση το πετρέλαιο, αν το λειτουργικό κόστος της τεχνολογίας των συστημάτων πρόωσης με LNG είναι χαμηλό και οι μεγάλες επενδύσεις σε συστήματα πρόωσης με LNG σε πόσο χρόνο θα αποπληρωθούν. Ένας άλλος παράγοντας θα είναι αν οι πλοιοκτήτες λάβουν χρηματοδότηση για την στροφή τους σε πιο φιλικές για το περιβάλλον λύσης ανεφοδιασμού. (Wang, Notteboom, 2014)

Η αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο για τα πλοία φαίνεται πως είναι μια ανταγωνιστική αγορά, διότι πολύ προμηθευτές που παρέχουν τη χρήση αυτής της τεχνολογίας δραστηριοποιούνται σε αυτή την αγορά, επομένως η τεχνολογία της χρήσης του LNG ως ένα καύσιμο συνεχώς κάνει βήματα προς τα μπροστά, γεγονός που θα οδηγήσει σε μια μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών. Παρόλο αυτά τα κεφαλαιουχικά κόστη για τα συστήματα LNG θα συνεχίσουν να είναι υψηλότερα από το κόστος εγκατάστασης που σχετίζονται με τα scrubbers με HFO. (DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018)

Όσο αναφορά τα λειτουργικά κόστη για τα συστήματα κινητήρων που τροφοδοτούνται με LNG μπορούν να συγκριθούν με τα αντίστοιχα με πετρέλαιο χωρίς scrubbers. Η απόδοση μεταξύ ενός συστήματος πρόωσης με υγροποιημένο φυσικό αέριο και ενός συμβατικού συστήματος πρόωσης είναι σχεδόν ίδια. Για το λόγο αυτό, η κατανάλωση ενέργειας ενός πλοίου που τροφοδοτείται με LNG είναι περίπου η ίδια με εκείνη ενός πλοίου που τροφοδοτείται με πετρέλαιο. Η συντήρηση ενός κινητήρα καύσης αερίου μπορεί να είναι λιγότερο δαπανηρή χάρη στα καθαρότερα καύσιμα. (DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018)

Ένας πλοιοκτήτης λαμβάνοντας την απόφαση να εγκαταστήσει ένα κινητήρα που θα καταναλώνει LNG, αυτό μπορεί να του προσθέσει περίπου 5 εκατομμύρια δολάρια στο κόστος ενός νέου πλοίου. (<https://www.reuters.com/article/us-shipping-fuel-lng-analysis/new-fuel-rules-push-shipowners-to-go-green-with-lng-idUSKBN1L01I8>).

Ένα πλοίο για να μπορεί να κινηθεί με LNG, είναι λογικό ότι η τιμή του θα είναι ακριβότερη επειδή ο κινητήρας αερίου ή διπλού καυσίμου είναι ακριβότερος από τον αντίστοιχο πετρελαίου, καθώς θα έχει και τα κόστη που θα απαιτηθούν για την μετατροπή του πλοία, αλλά και τα κόστη εγκατάστασης των δεξαμενών. Γενικά η τιμή ενός πλοίου που κινείται με LNG είναι 10 με 25% υψηλότερη σε σύγκριση με τα πλοία που κινούνται με πετρέλαιο. Αυτό αφορά κυρίως μεγάλα πλοία που κάνουν μεγάλα ταξίδια. Όταν η απόσταση είναι μικρή, το πρόσθετο κόστος για το σύστημα καυσίμου LNG είναι πολύ μικρότερο από τα μεγαλύτερα πλοία που κάνουν ταξίδι στον ωκεανό, δηλαδή είναι το 10% τις τιμές του πλοίου. Το συνολικό κόστος επηρεάζεται κυρίως από το πρόσθετο κόστος για την αλλαγή καυσίμου, από τις τιμές που έχουν τα καύσιμα και από τις υποδομές για τερματικά ανεφοδιασμού με LNG. (Byeong-Yong Yoo, 2017)

Επίσης όπως είπαμε ο χώρος που καταλαμβάνει μια δεξαμενή και ουσιαστικά πόσο περιορίζει την μεταφορική ικανότητα του πλοίου είναι ένας αρνητικός παράγοντας. Όλα τα παραπάνω βέβαια μπορούν να αντισταθμιστούν από το πλεονέκτημα που έχει το LNG σε σχέση με το πετρέλαιο που είναι ότι έχει χαμηλότερο κόστος. Αυτό βεβαίως θα εξαρτηθεί κατά πολύ και από τις τιμές που θα κοστίζουν τα καύσιμα. Άρα αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι κατά πόσο οι πλοιοκτήτες θα επενδύσουν στο LNG με τη προσδοκία ότι θα οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. (CRS, LNG as a Maritime Fuel: Prospects and Policy, 2019)

Για τον υφιστάμενο στόλο πλοίων που περνάνε το μισό του χρόνου τους σε ECA μπορούν να καταναλώνουν HFO με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο όταν είναι εκτός ECA και εντός να καταναλώνουν MGO, χωρίς επιπρόσθετες επενδύσεις για την εναλλαγή καυσίμου. Για ένα μικρό πλοίο που καταναλώνει 5 τόνους καύσιμο ανά ημέρα χρησιμοποιώντας HFO και LSMGO θα είχε κόστος 500\$ ημερησίως. Το πλοίο θα χρειαζόταν 11 χρόνια για να ανακτήσει μια επένδυση ύψους 2εκ. σε scrubbers και 33 χρόνια για να ανακτήσει μια επένδυση ύψους 6εκ. για την μετασκευή του πλοίου έτσι ώστε να κινείται με LNG. Για ένα μεγάλο πλοίο που καταναλώνει 80 τόνους καύσιμο την ημέρα μεταξύ HFO και LSMGO το κόστος καυσίμων θα ήταν 8.000\$ ανά ημέρα. Θα χρειαζόταν 2,7 χρόνια για να ανακτήσει μια επένδυση σε scrubbers ύψους

8εκ. και 7,5 χρόνια για να ανακτήσει μια επένδυση αξίας 22εκ. για την μετατροπή του πλοίου σε LNG. (Jack Sharples, 2019)

Για τις νέες κατασκευές πλοίων, οι οικονομικοί παράγοντες μοιάζουν να διαφοροποιούνται. Βασικός παράγοντας σε αυτό είναι ότι όταν γίνεται μια επένδυση σε ένα νέο πλοίο που από την αρχή θα φέρει μια μηχανή που θα λειτουργεί με LNG, η εγκατάσταση αυτής της μηχανής θα είναι φθηνότερη από την εγκατάσταση σε ένα κατασκευασμένο πλοίο που θα έχει μηχανή καύσης αερίου από το ναυπηγείο θα αποπληρώνεται πιο γρήγορα. (Jack Sharples, 2019)

Ο DNV εξετάζει το παράδειγμα ενός νεότευκτου MR tanker 50.000 DWT έτσι ώστε να έχει κινητήρα διπλού καυσίμου. Καθώς οι ναυλωτές αναζητούν το φθηνότερο κόστος μεταφοράς, ένα MR tanker με κινητήρα διπλού καυσίμου θα είναι καλή επιλογή όταν κινείται εντός ECA. Επιπλέον για τα πλοία που κινούνται προς ΗΠΑ, οι χρήσεις του LNG ως καύσιμο μπορεί να έχει μικρότερο συνολικό κόστος μεταφοράς. Άρα οι πλοιοκτήτες ενός Dual Fuel MR tanker θα αποτελούν μια καλή επιλογή στην spot αγορά. Το συμπέρασμα που καταλήγει ο DNV είναι ότι το LNG μπορεί να είναι μια ελκυστική επιλογή ανάλογα με την τιμή που θα έχει το συγκριμένο καύσιμο. Αυτό είναι ιδιαίτερα θετικό για πλοία που δραστηριοποιούνται στην ECA της Βορείου Αμερικής, όπου υπάρχει ανάπτυξη στην αγορά του LNG ως καύσιμο και οι τιμές είναι ελκυστικές σε διάφορα τερματικά ανεφοδιασμού. Αυτό το γεγονός δίνει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στα εν λόγω πλοία. Ο DNV εκτιμά ότι το κόστος εγκατάστασης ενός κινητήρα διπλού καυσίμου που θα καταναλώνει υδροποιημένο φυσικό αέριο θα είναι 5,8 εκατομμύρια δολάρια σε σύγκριση με ένα σύστημα πρόωσης με βάση το πετρέλαιο, ενώ η εγκατάσταση ενός συστήματος scrubber θα ήταν κοντά στα 3,3 εκατομμύρια δολάρια. (DNV-GL, LNG as ship fuel, 2014)

Γίνεται φανερό ότι το κόστος διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και το τύπο του πλοίου, βέβαια όπως είδαμε το να εγκαταστήσεις ένα σύστημα πρόωσης με LNG είναι φθηνότερο σε ένα νεότευκτο πλοίο παρά η μετασκευή ενός υπάρχοντος πλοίου. Επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να υπολογίσουμε είναι ότι όταν μετατρέπουμε ένα πλοίο ένα ποσό της μεταφορικής τους ικανότητας του χάνεται. Με το να

τροποποιήσουμε ένα πλοίο να κινείται με LNG ή να εγκαταστήσουμε scrubbers, πολύ διαθέσιμη χώροι του πλοίου παύουν να υφίστανται. Επιπλέον πολλά πλοία θα χρειαστούν να εγκαταστήσουν και συστήματα μείωσης των εκπομπών NO_x παράλληλα με ένα σύστημα καθαρισμού για τα οξείδια του θείου. Επομένως ένα πλοίο που εφοδιάζεται με LNG αφού πληροί όλες τις προϋποθέσεις στα όρια εκπομπών για το θείο αφού οι εκπομπές είναι μηδενικές, επίσης συμμορφώνεται και με τους περιορισμούς NO_x Tier III χωρίς επιπλέον τροποποιήσεις και αν υποθέσουμε ότι το κόστος καυσίμου για το LNG και το πετρέλαιο είναι σταθερά, από τα παραπάνω βλέπουμε γιατί το LNG όσο αναφορά τα νεότευκτα πλοία και τα υπάρχοντα δεδομένα που επικρατούν στη αγορά δείχνει να έχει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

4.4 Τα πλοία που τροφοδοτούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέραμε ότι η αύξηση των πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG είναι πιθανό η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας να ανταποκρίνεται καλύτερα σε νεότευκτα πλοία αντί σε πλοία που είναι κατασκευασμένα ήδη και θα χρειαστούν επιπλέον τροποποιήσεις έτσι ώστε να κινούνται με LNG.

Οι υποδομές ανεφοδιασμού με LNG μεταξύ των παγκοσμίων λιμένων όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο είναι περιορισμένη, αυτό είναι ένας αρνητικός παράγοντας διότι μεγάλα εμπορικά πλοία που δραστηριοποιούνται στην spot αγορά και κινούνται μεταξύ διάφορων λιμένων ανά τον κόσμο, υπάρχει το ενδεχόμενο σε κάποια λιμάνια να μην υπάρχουν υποδομές εφοδιασμού με LNG, πράγμα που οδηγεί αυτά τα πλοία να χάνουν την ανταγωνιστικότητά τους. Τα πλοία που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες καυσίμου και στα δρομολόγια που κάνουν το LNG ως καύσιμο είναι διαθέσιμο, αυτά είναι που μπορούν να τροφοδοτούνται με LNG. Τα κρουαζιερόπλοια, τα πλοία που μεταφέρουν οχήματα, καθώς και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, υπάρχουν ενδείξεις ότι είναι περισσότερο πιθανό αυτή οι τύποι πλοίων να τροφοδοτούνται με LNG. Το ένα τέταρτο όλων των κρουαζιερόπλοιων που παραγγέλθηκαν το 2017 ήταν κατασκευασμένα έτσι ώστε να κινούνται με LNG. (<https://www.maritime-executive.com/article/lng-powered-cruise-ships-lead-the->

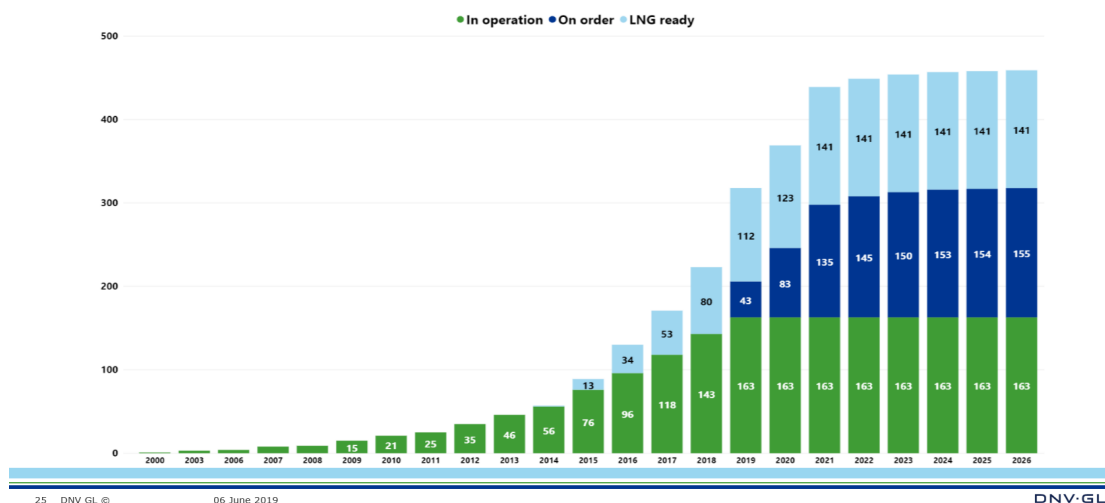
[way](#)). Ομοίως μια μεγάλη ναυτιλιακή εταιρεία container ships που δραστηριοποιείται στην liner αγορά, η CMA CGM, ανακοίνωσε παραγγελίες εννέα πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που θα τροφοδοτούνται με LNG, το έτος 2017. Επίσης η CMA CGM ανακοίνωσε ότι θα παραλάβει είκοσι πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που θα τροφοδοτούνται με LNG μέχρι το 2020. (<https://www.lngworldnews.com/cma-cgm-to-take-delivery-of-20-lng-powered-vessels-by-2022/>)

Το LNG ως καύσιμο ενδέχεται να είναι λιγότερο πιθανή επιλογή για τα tankers. Τα πλοία αυτά το μεγαλύτερο μέρος του στόλου τους δραστηριοποιείται στην spot αγορά. Επομένως οι διαδρομές των πλοίων αυτών δεν είναι σταθερές, επομένως πολλά λιμάνια που θα καταλήγουν μπορεί να μην έχουν της κατάλληλες υποδομές για ανεφοδιασμό με LNG. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει διαθεσιμότητα του LNG ως καύσιμο στους λιμένες όπου το πλοίο δραστηριοποιείται. Ακόμα η διαφορά των τιμών μεταξύ των λιμένων, θεωρείται ένας αρνητικός παράγοντας για τα tankers που κάνουν δρομολόγια μεταξύ Ευρώπης, Ασίας και Αμερικής καθώς οι διακυμάνσεις των τιμών σε αυτές τις περιοχές είναι διαφορετικές. (IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016)

Παρά αυτά υπάρχουν ναυτιλιακές εταιρείες που επενδύουν σε πετρελαιοφόρα που τροφοδοτούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Για παράδειγμα η Ρωσική εταιρεία Sovcomflot, ενημέρωσε για τα οφέλη που έχει το LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο και ανέφερε ότι η κατανάλωση του από μεγάλα δεξαμενόπλοια της συνέλαβαν σε μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% συγκριτικά με παρόμοια πλοία που καταναλώνουν βαρέα καύσιμα. Η Sovcomflot το διάστημα 2018-2019 παρέλαβε έξι Aframax crude oil tankers, κατηγορίας Arc4. Επίσης κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2018, είχε παραγγείλει πέντε δεξαμενόπλοια που θα κινούνται με LNG. Η Sovcomflot έχει θέσει στόχο να διαθέτει στόλο έντεκα τουλάχιστον δεξαμενόπλοιων κατανάλωσης LNG. (<https://www.naftikachronika.gr/2019/07/13/kerdizei-edafos-to-lng-os-kafsimo/>)

Σύμφωνα με τον DNV, υπάρχουν 163 πλοία που λειτουργούν με υγροποιημένο φυσικό αέριο και 83 σε παραγγελία. Επιπλέον 112 πλοία είναι έτοιμα για LNG για το 2020 όπως βλέπουμε και στο παρακάτω διάγραμμα 4.5

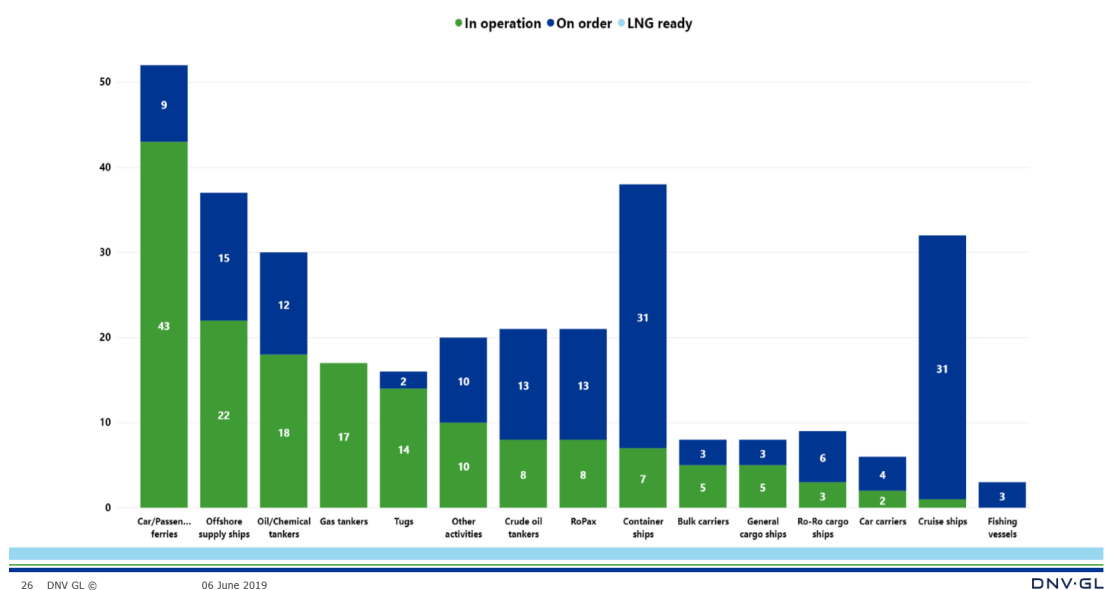
Διάγραμμα 4.5: Ανάπτυξη του στόλου που τροφοδοτείται με LNG



Πηγή: DNV-GL, <https://safety4sea.com/number-of-ships-using-lng-scrubbers-to-increase-from-2020/>

Στο διάγραμμα 4.6 βλέπουμε διάφορες κατηγορίες πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG. Τα οχηματαγωγά και τα επιβατικά πλοία είναι αυτά που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο και βρίσκονται σε λειτουργία 43. Από το διάγραμμα 4.6 φαίνεται επιπλέον η ανοδική τάσεις για κρουαζιερόπλοια και πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια καθώς βρίσκονται σε παραγγελία 31 πλοία.

Διάγραμμα 4.6: Πλοία που τροφοδοτούνται με LNG ανά κατηγορία πλοίου



Πηγή: DNV-GL, <https://safety4sea.com/number-of-ships-using-lng-scrubbers-to-increase-from-2020/>

5 Οι ανάγκες σε λιμενικές υποδομές

5.1 Λιμενικές υποδομές καθώς και υποδομές ανεφοδιασμού με LNG

Το LNG για να μπορέσει να αναπτυχθεί ως ένα ανταγωνιστικό καύσιμο χρειάζεται υποδομές. Η έλλειψη υποδομών ανεφοδιασμού με LNG αναγνωρίζεται συχνά ως ένας από τους σημαντικότερους φραγμούς στην ανάπτυξη αυτής της αγοράς, δηλαδή στην υιοθέτηση του LNG ως ένα καύσιμο στα πλοία, παρά το αναγνωστικό πλεονέκτημα που έχει σε σχέση με τα άλλα καύσιμα με βάση τα περιβαλλοντικά του οφέλη αλλά και σε σχέση με τις τιμές. Οι προμηθευτές του φυσικού αερίου και οι προμηθευτές καυσίμων δεν επιθυμούν να επενδύσουν στις απαραίτητες υποδομές μέχρις ότου υπάρξει επαρκής ζήτηση για την παροχή του LNG ως καύσιμο για τα πλοία. Οι πλοιοκτήτες από την άλλη πλευρά δεν επιθυμούν να επενδύσουν σε πλοία που θα τροφοδοτούνται με LNG αν δεν υπάρχουν υποδομές ανεφοδιασμού στα λιμάνια που δραστηριοποιούνται. (Lloyd's Register, LNG – Fueled deep sea shipping, 2012).

Οι ανάγκες σε λιμενικές υποδομές καθώς και ότι η αγορά και τα δίκτυα διανομής παρουσιάζουν μια περιορισμένη ανάπτυξη ως προς της υπηρεσίες ανεφοδιασμού που μπορούν να προσφέρουν στα πλοία, αυτό δημιουργεί ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα στην ανάπτυξη του LNG ως ένα καύσιμο για τον ανεφοδιασμό των πλοίων. Η αγορά αυτή για να μπορέσει να γίνει ανταγωνιστική, θα πρέπει γρήγορα να αρχίσουν να δημιουργούνται υποδομές ανεφοδιασμού σε ολόκληρο το κόσμο. Έτσι μόνο θα μπορέσουν τα πλοία να προχωρήσουν στην λύση του LNG για τον ανεφοδιασμό τους. Ακόμα ένα λιμάνι για να μπορέσει να είναι ανταγωνιστικό θα πρέπει να βρίσκεται εγκατεστημένο κοντά σε περιοχές που υπαρχή αρκετοί ζήτηση για ανεφοδιασμό με LNG και επειδή οι σταθμοί ανεφοδιασμού σκοπό έχουν να διοχετεύουν το φυσικό αέριο στην υγρή του κατάσταση, θα πρέπει οι εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού να βρίσκονται κοντά σε πεδία παραγωγής φυσικού αερίου έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλο κόστος μεταφοράς και με αυτό τον τρόπο επιβαρυνθεί η τιμή του.

Ένας τερματικός σταθμός LNG σε ένα λιμάνι ανεφοδιασμού είναι μια εγκατάσταση υποδοχής για την εκφόρτωση φορτίου από πλοία που μεταφέρουν LNG. Σε αυτούς τους τερματικούς σταθμούς παρέχονται ποικίλες εγκαταστάσεις εκφόρτωσης, επαναεριοποίησης, αποθήκευσης καθώς και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού πλοίων είτε με βυτιοφόρο όχημα, είτε με πλοία ανεφοδιασμού με LNG, είτε με αγωγούς που θα συνδέονται με το τερματικό και με το πλοίο που θα εφοδιάζεται με LNG.

Ένας τερματικός σταθμός ανεφοδιασμού με LNG πρέπει να προσφέρει τις ακόλουθες λειτουργίες:

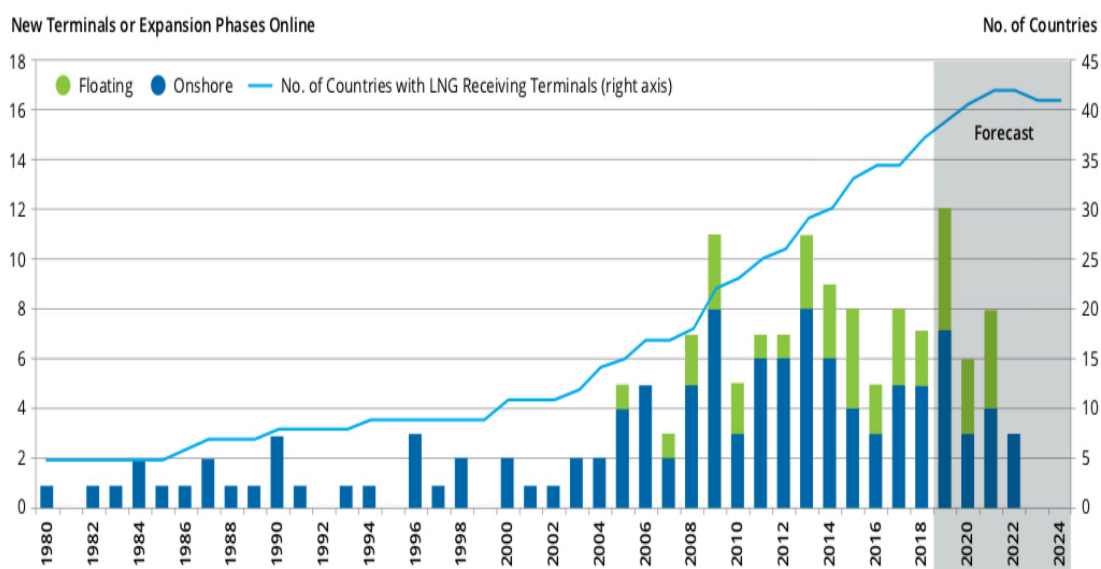
1. Να παρέχει την δυνατότητα στα πλοία μεταφοράς LNG να μπορούν να αγκυροβολήσουν, καθώς και να φορτώσουν και να εκφορτώσουν.
2. Να μπορούν να αποθηκεύουν το LNG σε κρυογονικές δεξαμενές που θα επιτρέπει τις απαιτούμενες λειτουργίες έτσι ώστε να παρέχονται οι κατάλληλες υποδομές για να γίνεται ο ανεφοδιασμός των πλοίων με LNG. (Magalog, 2008)
3. Επαναεριοποίηση του LNG, δηλαδή να επανέρχεται στην αρχική του μορφή σε φυσικό αέριο.
4. Το τερματικό πρέπει να είναι τοποθετημένο, κατασκευασμένο και λειτουργικό ώστε να συμμορφώνεται με όλους τους ισχύοντες κανονισμούς και γενικά να εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο ασφάλειας. (Magalog, 2008)
5. Τέλος μην ξεχνάμε ότι σκοπός κάθε τερματικού είναι να μεταβιβάζει τα εμπορεύματα στους τελικούς καταναλωτές. Στην προκειμένη περίπτωση ένα τερματικό LNG, πρέπει να έχει την δυνατότητα επαναεριοποίησης του LNG σε φυσικό αέριο έτσι ώστε να μεταφερθεί στους τελικούς καταναλωτές ή να προσφέρει υποδομές ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG, οπότε αυτές οι υποδομές θα το προσφέρουν στην υγρή του κατάσταση.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το LNG για να μπορέσει να γίνει ένα εναλλακτικό καύσιμο και να έχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα, πρέπει να υπάρξει ανάπτυξη στις λιμενικές υποδομές και αυτές με την σειρά τους να πληρούν τις παραπάνω λειτουργίες έτσι ώστε να μπορούν να είναι αποδοτικές.

Οι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής LNG, οι οποίοι αναφέρονται συχνά ως τερματικοί σταθμοί «επαναεριοποίησης», αποτελούν ένα απαραίτητο τμήμα έτσι ώστε να ενώνουν όλα τα κομμάτια της εφοδιαστικής αλυσίδας του LNG. Οι τερματικοί σταθμοί έχουν σαφώς περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους αγωγούς που απαιτούν υψηλότερο κόστος επένδυσης και έχουν μειωμένη ευελιξία όσο αναφορά τη γεωγραφική τους θέση. Αφού το LNG εκφορτώνεται από το πλοίο, είναι απαραίτητο το λιμάνι να παρέχει δεξαμενές (κρυογονικής αποθήκευσης) για να διατηρεί το LNG σε χαμηλές θερμοκρασίες έτσι ώστε αυτό να παραμένει στην υγρή του μορφή χωρίς να υπάρχουν απώλειες φορτίου. Έπειτα το τροφοδοτούν σε εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης σε θερμοκρασία άνω των 0°C. Έτσι το αέριο μπορεί να φτάσει στους τελικούς αποδέκτες. (Calderon, Illing, Veigo, 2016).

Ο αριθμός των τερματικών εισαγωγής με υποδομή επαναεριοποίησης έχει επεκταθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, υπερδιπλασιάζοντας τα 15 τελευταία χρόνια. Η αυξανόμενη ελαστική προσφορά υποστήριξε το εμπόριο του LNG και τα FSRU όπως θα αναλύσουμε σε επόμενη ενότητα, διαδραμάτισαν σημαντικότερο ρόλο επιτρέποντας σε νέες αγορές να έχουν πρόσβαση στο εφοδιασμό με LNG με ταχύτερο ρυθμό. (IGU,2019)

Διάγραμμα 5.1: Τερματικά επαναεριοποίησης LNG



Πηγή: IGU, 2019

Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα 5.1 επτά νέοι τερματικοί επαναεριοποίησης άρχισαν να έχουν εμπορική δραστηριότητα το 2018. Από αυτά τα νέα έργα 5 από αυτά τα νέα τερματικά ολοκληρώθηκαν στις περιοχές της Ασίας, συμπεριλαμβανομένων τριών στην Κίνα (Shenzhen, Tianjin και Zhoushan), Ιαπωνία (Soma) και Μπαγκλαντές. Ο Παναμάς πρόσθεσε τον πρώτο τερματικό σταθμό (Costa Norte) το 2018, το πρώτο νέο τερματικό επαναεριοποίησης για την περιοχή της Λατινικής Αμερικής από το τερματικό σταθμό της Καρταχένα στην Κολομβία το 2016. Στην Ευρώπη, το τερματικό του Dordyol της Τουρκίας ξεκίνησε τις εμπορικές του δραστηριότητες στις αρχές του 2018 μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής το 2017. Το τερματικό της Ρεβυθούσα στην Ελλάδα πρόσθεσε επίσης 1.5 MTPA χωρητικότητας στη δεύτερη επέκταση της παραγωγικής ικανότητας στον τερματικό σταθμό, αυξάνοντας τη συνολική χωρητικότητα στα 4,8 MTPA. (IGU,2019)

Η πλειοψηφία που το LNG εμπορευόταν ήταν μέσω μακροπρόθεσμων συμβάσεων με καθορισμένο προορισμό. Τα τελευταία χρόνια έχουμε μια αύξηση της δραστηριότητας στην spot αγορά και επομένως σε βραχυπρόθεσμες συμβάσεις με ποιο ευέλικτους προορισμούς. Επομένως πρέπει να υπάρχουν τερματικοί σταθμοί ανεφοδιασμού με LNG σε πολλές περιοχές έτσι ώστε να μπορούν τα πλοία που δραστηριοποιούνται στην βραχυπρόθεσμη αγορά και έχουν ποιο ευέλικτους προορισμούς να εξυπηρετηθούν. Ο λόγος αυτής της εξέλιξης είναι η πολυπλοκότητα της αγοράς του φυσικού αερίου που οφείλεται στον αυξημένο αριθμό των εξαγωγών και εισαγωγών, καθώς και ότι οι εγκαταστάσεις παραγωγής φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί ανά τον κόσμο, δίνοντας και την ικανότητα επαναεριοποίησης. (Danish Maritime Authority, 2012). Επομένως μπορούμε να εντοπίσουμε τρία είδη χρηματοοικονομικών σχημάτων για την κατασκευή υποδομών LNG. Πρώτων τερματικούς σταθμούς LNG που έχουν κατασκευαστεί από τον αγοραστή LNG βάσει μακροπρόθεσμων συμβάσεων. Δεύτερον τερματικούς σταθμούς που βρίσκονται κυρίως στις περιοχές παραγωγής ή εξαγωγής όπως οι ΗΠΑ και κατασκευάζονται από ενεργειακές εταιρείες. Τέλος έχουμε τερματικούς σταθμούς LNG που έχουν κατασκευαστεί από κοινοπραξία που αποτελείται μόνο από ιδιωτικές εταιρείες ή συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η λιμενική αρχή παρέχει συνήθως γη και την κατασκευή ορισμένων υποδομών ενώ οι

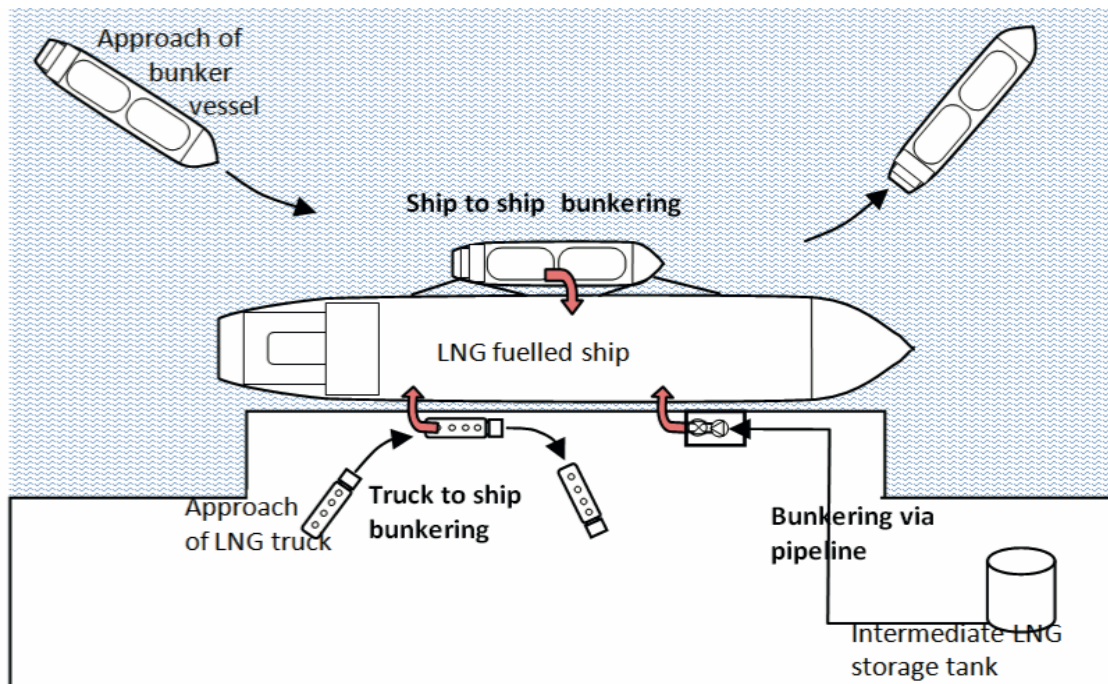
ιδιωτικές εταιρείες είναι υπεύθυνες για της υπηρεσίες βάσει μακροπρόθεσμες δεσμευτικές συμφωνίες. (Calderon, Illing, Veigo, 2016).

5.2 Τρόποι ανεφοδιασμού πλοίων με LNG

Βασική προϋπόθεση για τους πλοιοκτήτες για να υιοθετήσουν την επιλογή του LNG ως ένα καύσιμο που θα τροφοδοτεί τα πλοία τους είναι η διαθεσιμότητα εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού με LNG. Λόγο των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του LNG που αναλύσαμε λεπτομερώς στο πρώτο κεφάλαιο, απαιτούνται εξειδικευμένες υποδομές για την προμήθεια, την αποθήκευση και την παράδοση στα πλοία.

Ο ανεφοδιασμός με LNG σε ένα πλοίο μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους χρησιμοποιώντας κάποιες μεθόδους ανεφοδιασμού, και αυτό εξαρτάται από τους διαφορετικούς υλικοτεχνικούς και επιχειρησιακούς παράγοντες. Χαρακτηριστικά οι συνηθέστεροι τρόποι ανεφοδιασμού είναι ο ανεφοδιασμός από ειδικά βυτιοφόρα οχήματα σε πλοίο, ο ανεφοδιασμός από πλοίο σε πλοίο και ο ανεφοδιασμός από το τερματικό ανεφοδιασμού LNG σε πλοίο μέσω αγωγών. Επιπλέον διαφορετικοί τύποι πλοίο θα έχουν και διαφορετικές ανάγκες σε ποσότητα LNG, άρα και οι μέθοδοι που θα ακολουθούνται στο να γίνεται ο ανεφοδιασμός θα είναι διαφορετικοί. Αυτό είναι πολύ πιθανό χαρακτηριστικό ανεφοδιασμού με LNG για τα πολύ μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία παραμένουν στη θέση ακυροβολιάς για το συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα αφού οι ναυτιλία γραμμών που δραστηριοποιούνται απαιτεί γρήγορους χρόνους στην φορτοεκφόρτωση τους, ενώ ενδεχομένως απαιτούν και μεγαλύτερους όγκους σε υγροποιημένου φυσικού αερίου, λόγω των απαιτήσεων που έχουν τα ταξίδια τους. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να προβλεφθεί μια κατάλληλη μέθοδος για την προμήθεια υγροποιημένου φυσικού αερίου για τέτοιες ανάγκες. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Διάγραμμα 5.2: Επιλογές ανεφοδιασμού πλοίων



Πηγή: IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016

Από το διάγραμμα 5.2 βλέπουμε τις επιλογές ανεφοδιασμού των πλοίων. Οι παραπάνω που απεικονίζονται διαγραμματικά είναι και οι τρεις κύριοι τρόποι ανεφοδιασμού με LNG και είναι οι εξής:

1. Truck to ship (TTS) – ανεφοδιασμό πλοίου με βυτιοφόρο φορτηγό
2. Ship to ship (STS) – ανεφοδιασμό από πλοίο σε πλοίο
3. Shore tank to ship (TPS) – ανεφοδιασμό από το τερματικό μέσω σωληνώσεων

Το ποιο τύπο υποδομής θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και την παράδοση LNG, που θα είναι οι κύριες λειτουργίες ενός τερματικού, θα εξαρτηθεί από το μέγεθος και τη θέση του τερματικού καθώς και το τύπο των πλοίων που θα δραστηριοποιούνται στις συγκεκριμένες υποδομές. Ο ανεφοδιασμός μέσω βυτιοφόρου οχήματος είναι το πλέον κατάλληλο για την τροφοδοσία μικρών και μεσαίων πλοίων. Οι εγκαταστάσεις υγροποίησης για παράδειγμα μπορούν να παράγουν τη μεγαλύτερη δυναμικότητα σε οποιαδήποτε μέθοδο ανεφοδιασμού. Ωστόσο, η κατασκευή εγκαταστάσεων υγροποίησης μικρής κλίμακας για την παραγωγή και την παράδοση LNG απαιτεί σημαντικό προγραμματισμό και σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίο, σε μια περίπτωση της τάξεως των 70 εκατομμυρίων δολαρίων για ένα λιμάνι μεσαίου μεγέθους.

<https://knect365.com/energy/article/7b4f6e2b-f2fc-49eb-823d-f6672b1dcdff0/the-world-is-going->

Παρακάτω θα αναλύσουμε αναλυτικά τους τρόπους εφοδιασμού που περιγράψαμε ποιο πάνω και θα δούμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Βέβαια ο τρόπος που θα επιλεγεί για τον ανεφοδιασμό θα εξαρτηθεί από το κανονιστικό πλαίσιο, τις τοπικές συνθήκες, το κόστος και της επιχειρησιακές εκτιμήσεις καθώς και το τύπο και το μέγεθος του πλοίου. (IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016)

5.2.1 Truck to ship (TTS) – ανεφοδιασμός πλοίου με βυτιοφόρο όχημα

Ο τρόπος ανεφοδιασμού με βυτιοφόρο όχημα ή **Truck to ship (TTS)**, φαίνεται να είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος ανεφοδιασμού ενός πλοίου με LNG. Το βυτιοφόρο φορτηγό που μεταφέρει το LNG συνδέεται με το πλοίο που θα ανεφοδιαστεί με το καύσιμο, χρησιμοποιώντας ένα εύκαμπτο σωλήνα. Αυτή είναι σήμερα η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ανεφοδιασμού, λόγω της περιορισμένης ζήτησης σε συνδυασμό με την έλλειψη υποδομής και το σχετικά χαμηλό επενδυτικό κόστος. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018). Η διανομή LNG με τη μέθοδο TTS προσφέρει μια καλή εναλλακτική λύση για τα μικρότερα πλοία που δεν έχουν σταθερές διαδρομές και πρέπει να ανεφοδιαστούν σε διάφορα λιμάνια, γεγονός που με αυτό το τρόπο ανεφοδιασμού απελευθερώνει την επιχειρησιακή τους ικανότητα και εύρος. Επίσης ο τρόπος ανεφοδιασμού TTS προσφέρει μια πιθανή λύση κόστους εκκίνησης. (IGU, LNG as fuel, 2015)

Για τους παραπάνω λόγους ο ανεφοδιασμός με την μέθοδο Truck to ship (TTS), ενός πλοίου με LNG είναι μια καλή προσωρινή λύση για λιμάνια όπου δεν έχουν της απαραίτητες υποδομές με αγωγούς και μονάδες υγροποίησης του φυσικού αερίου. Έτσι επενδύοντας σε φορτηγά που ανεφοδιάζουν τα πλοία με LNG, δεν χρειάζεται να επενδύσουν σε υποδομές για τερματικό ανεφοδιασμού στην ξηρά. Επομένως το συνεχιζόμενο λειτουργικό κόστος της κατασκευής μιας υποδομής υγροποίησης θα αυξήσει την τιμή με την οποία το LNG θα διατίθεται ως καύσιμο.

Επομένως ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το περιορισμένο επενδυτικό κόστος για αυτούς που θα εκμεταλλευτούν αυτές τις υποδομές. Τα φορτηγά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη διανομή LNG για άλλους σκοπούς, κάνοντας τα πιο λειτουργικά και ευέλικτα. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ότι δεν χρειάζονται υψηλές απαιτήσεις σε υποδομές, δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικές απαιτήσεις ασφαλείας και δυνατότητα εξυπηρέτησης διαφορετικών χρηστών του LNG ως καύσιμο για την παράδοση από διαφορετικά σημεία. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου TTS είναι η περιορισμένη χωρητικότητα των φορτηγών: περίπου 40-80 m³, κάνοντας αυτή την μέθοδο κατάλληλη μόνο για πλοία μικρά σε μέγεθος. Λόγω του περιορισμένου ρυθμού ροής, η δεξαμενή χρειάζεται περίπου μία ώρα (περίπου 1000 l/min). Ένα άλλο αρνητικό είναι ότι η παρουσία φορτηγών εντός του τερματικού, θα δημιουργήσει κίνηση με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα στους επιβάτες και τα φορτία. Τέλος απαιτείται οδική σύνδεση με την περιοχή που θα γίνεται ο ανεφοδιασμός και με τα υπόλοιπα σημεία που θα γίνεται η διανομή του καυσίμου και φυσικά να τηρούνται η κατάλληλες συνθήκες ασφάλειας για την μεταφορά καυσίμων μέσω των οδικών υποδομών.

(<http://www.lngbunkering.org/lng/ports/lng-bunker-infrastructure>)

5.2.2 Ship to Ship (STS) – Ανεφοδιασμός από πλοίο σε πλοίο

Η δεύτερη μέθοδος ανεφοδιασμού είναι από πλοίο σε πλοίο ή **Ship to ship (STS)**. Η μέθοδος αυτή μπορεί να γίνει σε διαφορετικά σημεία όπως κατά μήκος της προβλήτας, στην άγκυρα ή στην θάλασσα. Πρόκειται για τη συνηθέστερη μέθοδο ανεφοδιασμού που χρησιμοποιείται για την προμήθεια πλοίων με HFO και MGO. Η χωρητικότητα των δεξαμενόπλοιων κυμαίνεται από 1.000 έως 10.000 m³. Λόγω περιορισμών μεγέθους σε ορισμένα τερματικά, μόνο μικρότερα πλοία μεταφοράς θα μπορούν να λειτουργούν στην περιοχή του λιμένα. Το LNG παραδίδεται στο πλοίο παραλαβής από άλλο πλοίο ή φορτηγίδα, αγκυροβολημένο παράλληλα στην αντίθετη πλευρά της προβλήτας. Οι φορτηγίδες, χρειάζονται ρυμουλκό για να μπορέσουν να προσεγγίσουν

το πλοίο που θα εφοδιάσουν με καύσιμο, άρα θα πρέπει να είναι εντός του λιμένα. Αντίθετα τα πλοία για το bunkering μπορούν από μόνα τους να προσεγγίσουν το άλλο πλοίο άρα θα έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούνται και σε ανοιχτές θάλασσες. Ο εύκαμπτος σωλήνας παροχής LNG διακινείται από την δεξαμενή. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Η συντριπτική πλειοψηφία του πως ανεφοδιάζονται τα πλοία με καύσιμα σήμερα εκτελείται με μεταφορά από πλοίο σε πλοίο. Ακόμα αυτή η μέθοδος εκτός από τον ανεφοδιασμό χρησιμοποιείται ακόμα και για τη μεταφορά φορτίων από πλοίο σε πλοίο. Αναμένεται ότι η πλειοψηφία των θαλασσιών μεταφορών με LNG θα εκτελούνται με αυτό το τρόπο ανεφοδιασμού. Αυτή η μέθοδος είναι καταλληλότερη για μεγάλα πλοία και για πλοία που κάνουν δρομολόγια χωρίς συγκεκριμένα λιμάνια. Δεδομένης της μεγάλης ευελιξίας που παρέχει αυτή η μέθοδος ανεφοδιασμού, αυτό την καθιστά την πλέον κατάλληλη για όλους τους τύπους των πλοίων, όπως για παράδειγμα Rorax/RoRo, πλοία χύδην φορτίων και εμπορευματοκιβωτίων. (IGU, LNG as fuel, 2015)

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι αποτελεί μια ευνοϊκή επιλογή για πλοία που ανεφοδιάζονται με LNG αν αυτά μετακινούνται σε σύντομα χρονικά διαστήματα μεταξύ των λιμένων. Επίσης με την μέθοδο αυτή ένα πλοίο μπορεί να κάνει ταυτόχρονα και την φόρτωση/εκφόρτωση αλλά και τον ανεφοδιασμό με το καύσιμο αν το επιτρέψουν οι λιμενικές αρχές. Τέλος η μέθοδος αυτή έχει μεγαλύτερη επιχειρησιακή ευελιξία, διότι ο ανεφοδιασμός μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν το πλοίο που τροφοδοτείται είναι αγκυροβολημένο ή στο τερματικό σταθμό. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Τα μειονεκτήματα είναι το αρχικό κόστος επένδυσης που αφορά το σχεδιασμό, την προμήθεια και την κατασκευή και την λειτουργία του πλοίου που θα τροφοδοτεί τα άλλα πλοία με LNG. Ακόμα τα πλοία αυτά όταν δεν υπάρχει υψηλή ζήτηση για το LNG ως καύσιμο θα υποαπασχολούνται, έτσι μερικές φορές η βιομηχανία διστάζει να επενδύσει σε αυτά τα πλοία.

5.2.3 Shore tank to ship – ανεφοδιασμός από το τερματικό μέσω σωληνώσεων

Η τελευταία μέθοδος ανεφοδιασμού είναι ο ανεφοδιασμός από το τερματικό μέσω αγωγών – **shore tank to ship (TPS)**, όπου το LNG διέρχεται απευθείας από μία (ενδιάμεση) δεξαμενή ή από ένα μικρό σταθμό είτε από ένα τερματικό εισαγωγής ή εξαγωγής. Η συνδέσει μεταξύ της χερσαίας δεξαμενής LNG και του πλοίου επιτρέπει την ευελιξία για την φόρτωση διάφορων πλοίων. Είναι μια εναλλακτική λύση για πλοία τα οποία αναχωρούν τακτικά από τον ίδιο λιμένα και καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες LNG. Οι αγωγοί που θα μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο από το τερματικό στην αποβάθρα για να γίνει ο ανεφοδιασμός του πλοίου απαιτούνται εάν ο τερματικός σταθμός δεν ευρίσκεται απευθείας στην θέση που το πλοίο ρίχνει την άγκυρα. Ο ανεφοδιασμός από αγωγούς έχει χρησιμοποιηθεί για πλοία που τροφοδοτούνται με LNG στη Νορβηγία για αρκετά χρόνια. . (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Ο τρόπος ανεφοδιασμού TPS, είναι κατά κανόνα μια καλή λύση για τα τερματικά με σταθερή και μακροπρόθεσμη ζήτηση για ανεφοδιασμό. Επίσης επειδή ο αγωγός και η διάταξη του βραχίονα φόρτωσης είναι σταθερή, μπορεί να εγκατασταθεί μεγαλύτερος εύκαμπτος σωλήνας για να αυξηθεί ο ρυθμός ανεφοδιασμού, οδηγώντας σε μικρότερους χρόνους.

Από την άλλη πλευρά ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η προσπάθεια που χρειάζεται ένα πλοίο για να φτάσει στη θέση του τερματικού (ή του αγωγού). Επιπλέον, η περιορισμένη πρόσβαση σε αγκυροβόλιο για μεγαλύτερα πλοία μπορεί να αποτελέσει φραγμό για την μέθοδο αυτή. (EMSA, Guidance on LNG Bunkering to port Authorities and Administrations, 2018)

Τέλος το LNG μπορεί να παραδοθεί στο πλοίο που ανεφοδιάζεται με το συγκεκριμένο καύσιμο, μέσω φορητών δεξαμενών (εμπορευματοκιβωτίων ISO) που μπορεί να κατευθύνονται απευθείας ή να ανασηκωθούν επάνω ή εκτός του πλοίου. Το πλεονέκτημα σε αυτή την μέθοδο ανεφοδιασμού είναι ότι προσφέρει ευελιξία διότι

μπορεί να ρυθμίζει την χωρητικότητα βάσει με το μέγεθος του ταξιδιού που πραγματοποιεί και πόσες δεξαμενές θα χρειαστεί, χωρίς έτσι να καταστρέφει την παραγωγική ικανότητα του πλοίου. Επίσης λόγω ότι οι δεξαμενές αυτές είναι φορητές μπορούν να μεταφερθούν και με άλλα μέσα αποτελώντας ένα σημαντικό τμήμα των συνδυασμένων μεταφορών προσθέτοντας συνεχώς προστιθέμενη αξία. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλες βιομηχανίες που έχουν ανάγκη σε υγροποιημένο φυσικό αέριο, γεγονός που τους δίνει το πλεονέκτημα ότι θα έχουν συνεχώς ζήτηση και δεν θα υποαπασχολούνται. Οι πολλαπλές δεξαμενές θα απαιτούν και πολλαπλές συνδέσεις οι οποίες θα αυξήσουν τους λειτουργικούς κινδύνους διαρροής του μεθανίου, όπου είναι ένας αρνητικός παράγοντας για το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επίσης ο όγκος που διατίθενται τα εμπορευματοκιβώτια είναι περιορισμένος (Περίπου 20-40 m³). (IGU, LNG as fuel, 2015)

5.3 FSRU – FLNG

5.3.1 FSRU – Floating Storage and Regasification Units

Ένα άλλο σημείο που αξίζει να αναφερθεί σχετικά με τα έργα υποδομής, αφορά της πλωτές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης – **Floating Storage and Regasification Units (FSRU)**. Τα FSRU, πρακτικά είναι ένα υβρίδιο ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και ενός τερματικού σταθμού που δραστηριοποιείται στην ξηρά αφού χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία. Αρά τα FSRU έχουν και την δυνατότητα να πλοηγηθούν και να πραγματοποιήσουν ταξίδια. Το LNG μεταφέρεται στο πλοίο μέσω κάποιων σωληνώσεων και από εκεί αποθηκεύονται στις δεξαμενές. Έπειτα το LNG στέλνεται στον «επανασυμπυκνωτή» και έτσι το Boil-off Gas συμπυκνώνεται και στέλνεται πίσω. Τα FSRU όπως και τα πλοία μεταφοράς LNG μπορούν να καταναλώσουν το Boil-off Gas. (Brian Songhurst, 2017) Ένα από τα πλεονεκτήματα των FSRU έναντι των χερσαίων τερματικών σταθμών LNG, είναι ότι χρειάζεται λιγότερο χρόνο για την έναρξη λειτουργίας και μικρότερο κόστος εκκίνησης, έτσι καθιστούν της επενδύσεις για τις εγκαταστάσεις αυτές πιο εύκολες και γρήγορες. Επίσης η δυνατότητα μετεγκατάστασης ανάλογα με την ζήτηση που επικρατεί στην περιοχή που δραστηριοποιούνται και ότι οι εγκρίσεις κανονιστικών

ρυθμίσεων ενδέχεται να είναι λιγότερο χρονοβόρες εξαιτίας των μικρότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ακριβώς το κερασάκι στην τούρτα για τα FSRU. Μετά από περισσότερο από 10 χρόνια λειτουργίας, οι λύσεις των FSRU θεωρούνται αποδεδειγμένες και αξιόπιστες. (IGU,2019)

Αν και τα παραδοσιακά τερματικά LNG, απαιτούν μακροπρόθεσμα έργα σε σύγκριση με τα FSRU, το ενδιαφέρον για τα τερματικά LNG δεν έχει ατόνηση, χάρη στην δυναμική των τιμών στην διεθνή αγορά. Ορισμένες χώρες όπως για παράδειγμα η Ελλάδα, προτιμούν να αναβαθμίσουν τους υπάρχοντες τερματικούς σταθμούς για την αύξηση της δυναμικότητας εισόδου με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Από την άλλη χώρες όπως η Τουρκία επιλέγουν να επενδύσουν τόσο στα FSRU, όσο και στην αύξηση των ικανοτήτων της υπάρχουσας υποδομής, προκειμένου να αυξηθεί η εισροή LNG στην αγορά. (MedReg, Gas infrastructure Map of the Mediterranean Region, 2017)

Ένα συμβατικό χερσαίο τερματικό, σε σύγκριση με οπουδήποτε τύπου πλωτής μονάδας αποθήκευσης, έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης αερίου. Αυτό προσφέρει μακροπρόθεσμη ασφάλεια εφοδιασμού με LNG για την αγορά και ως εκ τούτου παρέχει μια πιο μόνιμη λύση, ενώ τα FSRU μπορούν να χαρακτηριστούν ως μια πιο προσωρινή λύση.

Οι τερματικοί σταθμοί επαναεριοποίησης είναι συνήθως κοντά στους καταναλωτές, διότι αυτή είναι που χρειάζονται την μετατροπή του LNG σε φυσικό αέριο, για οικιακή χρήση έτσι τα FSRU εγκαθίστανται μέσα σε λιμάνια ή εντός προστατευόμενης θαλάσσιας περιοχής, δηλαδή κοντά σε πηγές ζήτησης. Οι τοποθέτηση των FSRU κοντά στην ακτή τους παρέχει πολλά πλεονεκτήματα όσο αναφορά τα συστήματα πρόσδεσης και τις μικρές αποστάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο ή στο σταθμό παραγωγής αερίου. Επιπλέον, τα FSRU μπορούν να επιλέγουν τις τοποθεσίες όπου δεν θα υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα σε σύγκριση με μια υπεράκτια τοποθεσία όπου θα είναι επιρρεπής στα ακραία καιρικά φαινόμενα καθώς και με του κινδύνους των θαλασσών. (IGU,2019)

Πίνακας 5.1: Πλεονεκτήματα από τα τερματικά στην ξηρά και τα FSRUs

Τερματικά στην Ξηρά	FSRUs
Προσφέρει μια πιο μόνιμη λύσει	Επιτρέπει την ταχύτερη εναλλαγή καυσίμου
Προσφέρει μακροπρόθεσμα ανεφοδιασμό με LNG	Μεγαλύτερη ευελιξία αν υπάρχουν περιορισμοί ή δεν υπάρχουν πρακτικές χερσαίες υποδομές
Απαιτεί λιγότερα λειτουργικά έξοδα	Απαιτεί λιγότερα κεφαλαιουχικές δαπάνες
Μεγαλύτερη χωρητικότητα αερίου	Ανάλογα με την τοποθεσία λιγότερους κανονισμούς
Επιλογή για μελλοντικές επεκτάσεις	

Πηγή: IGU, 2019

Όπως βλέπουμε και στο πίνακα 5.1, οι τερματικοί σταθμοί στην ξηρά και τα FSRU παρέχουν κάθε ένα ξεχωριστά πλεονεκτήματα. Τα FSRU μπορούν να μεταφερθούν πιο γρήγορα μεταξύ των διάφορων τοποθεσιών επιτρέποντας την ταχύτερη εναλλαγή καυσίμου. Αυτό είναι σημαντικό για νέες αγορές που στοχεύουν στην ικανοποίηση μια πιθανής αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου στο μέλλον. Επειδή τα FSRU συχνά έχουν ναυλωθεί από τρίτου, είναι συνήθως λιγότερο κεφαλαιουχικά από τις χερσαίες υποδομές και συχνά μπορούν να ολοκληρωθούν μέσω ταχύτερων διαδικασιών έκδοσης της άδειας λειτουργίας τους. Τέλος τα FSRU έχουν το πλεονέκτημα να επιλέξουν μια τοποθεσία ανάλογα με την ζήτηση που επικρατεί σε αυτή την αγορά και χωρίς να έχει περιορισμούς στο χώρο και απαιτήσεις κατασκευής στην ξηρά.

Από την πλευρά τα τερματικά στην ξηρά παρέχουν μεγαλύτερες δεξαμενές αποθήκευσης και δυνατότητα επέκτασης με αποτέλεσμα να έχουν στρατηγική σημασία σε πολλές αγορές. Τα FSRU επίσης μπορούν να αντιμετωπίσουν προβλήματα λόγω των καιρικών φαινομένων. Τέλος ανάλογα με τη τοποθεσία οι χερσαίες υποδομές μπορούν να επιτρέψουν μελλοντικά σχέδια επέκτασης και επέκτασης της αποθηκευτικής τους ικανότητας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι ένα πλοίο μεταφοράς LNG μπορεί να μετατραπεί σε FSRU. Βασικοί παράγοντες σε αυτή την μετατροπή είναι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες και τα λειτουργικά έξοδα. Όταν μετατρέπεται ένα πλοίο LNG σε FSRU, θα χρειαστεί

λιγότερο χρόνο από το να κατασκευαστεί ένα FSRU από την αρχή, άρα οι κεφαλαιουχικές δαπάνες θα είναι λιγότερες. (IGU,2019)

Πίνακας 5.2: FSRU που αναμένεται να κατασκευαστούν

Όνομα πλοίου	Ιδιοκτήτης	Ναυπηγείο	Έτος παράδοσης	Χωρητικότητα (cm)	Τύπος πρόωσης
BW Courage	BW	Daewoo	2019	173.400	MEGI
DAEWOO 2478	Maran Gas	Daewoo	2020	173.400	DFDE
DAEWOO 2487	Maran Gas	Daewoo	2021	173.400	-
HOEGH GALLEON	Hoegh	Samsung	2019	170.000	DFDE
HUDONG - ZHONGHUAH H1786A	Dynagas	Hudong - Zhonghua	2021	174.000	DFDE
HUDONG - ZHONGHUAH H1787A	Dynagas	Hudong - Zhonghua	2021	174.000	DFDE
HYUNDAI ULSAN 3095	Turkiye Petrolleri	Hyundai	2020	170.000	-
SAMSUNG 3095	Jawa Satu Regas PT	Samsung	2020	170.000	DFDE
TURQUOISE	Kolin/Kalyon	Hyundai	2019	167.042	DFDE
VASANT	Triumph offshore Pvt Ltd	Hyundai	2019	180.000	DFDE

Πηγή: Από αναζήτηση του συγγραφέα και από IGU, 2019

Από το πίνακα 5.2 βλέπουμε τα FSRU που αναμένεται να παραδοθούν τα επόμενα έτη, καθώς και της χωρητικότητας που έχουν αυτά τα πλοία, τους ιδιοκτήτες του και τα ναυπηγεία στα οποία κατασκευάζονται. Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα από αυτά τα πλοία θα έχουν σύστημα πρόωσης DFDE. Ενδιαφέρον στοιχείο του πίνακα 5.2 είναι ότι ναυτιλιακές Ελληνικές εταιρείες όπως η Maran Gas και η Dynagas, συμμετέχουν ενεργά στις κατασκευές πλοίων FSRU.

Η μετατροπή ενός πλοίου που μεταφέρει υγροποιημένο φυσικό αέριο σε μια πλωτή μονάδα επαναεριοποίησης και αποθήκευσης κοστίζει περίπου 80 εκατομμύρια και

προσθέτοντας σε αυτό το κόστος αγοράς του πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η ολοκλήρωση του έργου μετατροπής είναι περίπου 18 μήνες. (Brian Songhurst, 2017)

5.3.2 FLNG Floating LNG

Η τεχνολογία του **Floating Liquefied Natural Gas (FLNG)**, συμβάλει στην επιτάχυνση της ανάπτυξης του φυσικού αερίου για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης. Το σύστημα FLNG καθιστά δυνατή την παραγωγή, την υγροποίηση και την αποθήκευση του φυσικού αερίου στη θάλασσα. Το LNG μεταφέρεται απευθείας από την πλωτή εγκατάσταση σε πλοίο μεταφοράς LNG και αυτό με την σειρά του το διανέμει σε όλο τον κόσμο. Το φυσικό αέριο παράγεται από υποθαλάσσια πεδία και στη συνέχεια επεξεργάζεται και ψύχεται στον -162°C και αυτό συρρικνώνει τον όγκο του φυσικού αερίου κατά 600 φορές όπως είδαμε και στο πρώτο κεφάλαιο. Αυτή η τεχνολογική καινοτομία του συστήματος FLNG, παρέχει ακριβώς της ίδιες παροχές με ένα τερματικό που βρίσκεται στην ξηρά, αλλά σε μικρότερη κλίμακα από αυτό.

Τα FLNG είναι ουσιαστικά μια παραδοσιακή μονάδα υγροποίησης στην ξηρά, απλά με τη μορφή ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, όπου δίνει την δυνατότητα της αποθήκευσης φορτίου, αλλά λειτουργεί και ως μια αποβάθρα που άλλα πλοία φορτώνουν LNG από αυτό.

Η τεχνολογία των FLNG δίνει την δυνατότητα σε ένα πλοίο που είναι τεχνολογικά εξοπλισμένο έτσι ώστε να μπορεί να υγροποιεί το φυσικό αέριο να έχει πρόσβαση σε απομακρυσμένα θαλάσσια πεδία φυσικού αερίου και αφού ακολουθήσει όλη την διαδικασία έτσι ώστε το φυσικό αέριο να γίνει LNG, στη συνέχεια το μεταβιβάζει σε ένα πλοίο μεταφοράς LNG, χωρίς να χρειάζεται δαπανηρές εγκαταστάσεις σε αγωγούς. Όσο αυτή η τεχνολογία συνεχίζει να κάνει πρόοδο στις μέρες μας, τόσο θα τυγχάνει σε εμπορική ανάπτυξη και το κόστος θα μειώνεται. (IGU, Sustainable Future Powered by Gas, 2019)

Τα FLNG ονομάζονται και LNG FPSO: Floating, Production, Storage and Offloading units και υπάρχουν λίγες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας στις μέρες μας. Όπως

βλέπουμε και στο πίνακα 5.3 οι εφαρμογές των FLNG είναι μικρής κλίμακας, με παραγωγικές ικανότητες που κυμαίνονται από 0.5 έως 3.6 MTPA.

Πίνακας 5.3: Έργα FLNG υπό κατασκευή ή σε λειτουργία

Χώρα	Υπεύθυνος Ανάπτυξης	Έργο	MTPA	CM	Έτος εκκίνησης
Μαλαισία	Petronas	PFLNG Satu, Kanowit field	1.2	354.000	2017
Αυστραλία	Shell	Prelude	3.6	437.500	2018
Καμερούν	SHN/Perenco/Golar LNG	Kribi (Golar Hilli)	1.2	125.000	2018
Ισημερινή Γουινέα	Ophir	Fortuna (Golar Gandria)	2.2	125.000	2019
Μαλαισία	Petronas	PFLNG2, Rotan Field	1.5	177.000	2020
Μοζαμβίκη	ENI	Coral South	3.4	230.000	2020
Αργεντινή	Exmar	Tango FLNG	0.5	16.500	2019
Σενεγάλη	BP	Greater Tortue	2.4	125.000	-

Πηγή: IGU, 2019

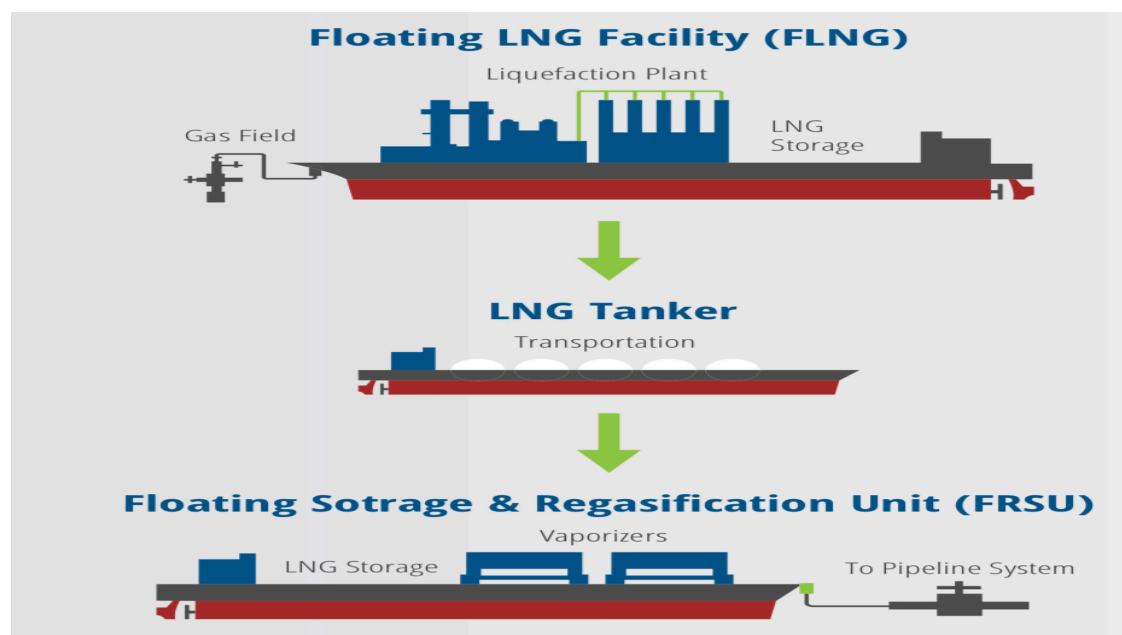
Τα πλεονεκτήματα της ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας FLNG έχουν να κάνουν με την ανάπτυξη πεδίων αέριων εντός της θάλασσας χωρίς σύνδεση με αγωγούς προς την ακτή και αυτό δίνει πρόσβαση στα πλοία μεταφοράς LNG χωρίς να έχουν περιορισμούς του τύπου αν είναι συμβατά με ένα χερσαίο τερματικό. Επίσης τα FLNG μπορούν να μετακινηθούν. Η μετακίνηση όμως ενός FLNG έχει ως αποτέλεσμα αν δημιουργεί τροποποίησης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας φυσικού αερίου, στο πως το πλοίο αγκυροβολεί κτλ. Τέλος λόγω ότι το FLNG κατασκευάζεται σε ναυπηγεία όπως φυσικά και τα άλλα πλοία μεταφοράς του LNG, μπορεί με αυτό το τρόπο να εξοικονομήσει κόστος σε σύγκριση με τη κατασκευή ενός τερματικού σταθμού υγροποίησης στην στεριά. (IGU,2019)

Οι εγκαταστάσεις FLNG που βρίσκονται κάπως πιο μακριά από την στεριά υπάρχει το ενδεχόμενο να εκτεθούν σε δύσκολες συνθήκες που επικρατούν στους ωκεανούς. Οι μονάδες που λειτουργούν πιο κοντά σε ακτές ή σε λιμάνια, αντιμετωπίζουν καλύτερες συνθήκες αφού δεν εκτίθενται σε κινδύνους της ανοικτής θάλασσας. Ακόμα επειδή βρίσκονται κοντά στην ακτή η μεταφορά προσωπικού και εξοπλισμού είναι

ευκολότερη και οι εγκαταστάσεις στέγασης και εξυπηρέτησης στο πλοίο μπορούν να περιορίσουν το συνολικό κόστος. Επιπλέον, ο εξοπλισμός πρόσδεσης μπορεί να είναι παρόμοιος με ένα σύστημα πρόσδεσης όπως ένα πλοίο σε μια προβλήτα που επίσης μειώνει το κόστος κατασκευής και εγκαταστάσεις. (IGU,2019)

Όπως θα βλέπουμε και από το πίνακα 5.3, τα έργα FLNG που πραγματοποιούνται στο κόσμο είναι περιορισμένα. Τις τελευταίες δεκαετίες, η βιομηχανία του LNG έχει αποκτήσει την εμπειρία με τις πλωτές εγκαταστάσεις. Οι κύριοι κινητήριοι μοχλοί για την ανάπτυξη αυτών των υποδομών είναι η θέση, οι ενεργειακές πολιτικές των χωρών, οι κανονισμοί, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ευελιξία του επιχειρηματικού μοντέλου, η χρηματοδότηση, οι συνολικές τάσεις στην αγορά του LNG ίσως περισσότερο από τις τεχνολογικές πτυχές. Η πιθανή βελτιστοποίηση όσο αφορά το κόστος και το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης αποτελούν μέρος των βασικών παραγόντων για τις εξελίξεις στο πλαίσιο των FLNG.

Εικόνα 5.1: Η συνδυαστική χρήση ενός FSRU και ενός FLNG



Πηγή: IGU, Sustainable Future Powered by Gas, 2019

Από την εικόνα 5.1 μπορούμε να καταλάβουμε πως λειτουργούν συνδυαστικά ένα FLNG και ένα FSRU. Αρχικά στην εικόνα βλέπουμε ότι ένα FLNG μέσω ενός πεδίου αερίου που είναι συνδεδεμένο αντλεί το φυσικό αέριο στην συνέχεια το υγροποιεί και

το αποθηκεύει ως υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το επόμενο στάδιο είναι να το μεταφέρει σε ένα πλοίο μεταφοράς LNG μέσω της μεθόδου ship to ship και το πλοίο από εκεί πάλι με την ίδια μέθοδο να το μεταφέρει σε ένα FSRU. Εκεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα αποθηκευτεί και μετά θα ξανά γίνει αέριο και μέσω ενός συστήματος αγωγών που είναι εγκαταστημένη στην στεριά να μεταφερθεί στους τελικούς καταναλωτές. Επομένως μπορούμε να καταλάβουμε ότι ακριβώς τώρα περιγράψαμε μια αλυσίδα αξίας LNG με τη διαφορά ότι όλα τώρα γίναν μέσω πλωτών εγκαταστάσεων. Η τεχνολογία των πλωτών εγκαταστάσεων δίνει τη δυνατότητα να παράγεται και να διανέμεται LNG χωρίς να χρειάζεται να φτιάχνονται εγκαταστάσεις στην ξηρά που είναι αρκετά μεγάλου κόστους αλλά και χρονοβόρες. Οι επενδυτές είναι λογικό να προτιμούν αυτή την τεχνολογία λόγω της δυνατότητας αυτές οι εγκαταστάσεις που μπορούν και μετακινούνται και ουσιαστικά ακολουθούν τη ζήτηση, άρα μειώνεται και ο επενδυτικός κίνδυνος. (IGU, Sustainable Future Powered by Gas, 2019)

5.4 Η ανάπτυξη μικρής κλίμακας υποδομών LNG (Small Scale LNG)

Οι υποδομές και γενικά οποιοδήποτε εγκατάσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου, πρέπει να μπορεί να αντέχει πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που έχει ως φορτίο και επίσης πρέπει να παρέχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο ασφάλειας, τόσο στα πλοία που το τερματικό προσφέρει τις υπηρεσίες του, όσο και στο προσωπικό που εργάζεται εκεί. Επομένως λόγω αυτόν τον ιδιαιτεροτήτων κατανοούμε ότι οι επενδύσεις που γίνονται σε υποδομές LNG απαιτούν μεγάλα ποσά κεφαλαίων. Επιπλέον ο χρόνος που χρειάζονται για να κάνουν απόσβεση αυτές οι επενδύσεις χρειάζονται πολλά χρόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω ότι οι συμφωνίες που γίνονται για ναυλώσεις πλοίων μεταξύ ενός πλοιοκτήτη και ενός ναυλωτή, αφορούν ένα εύρος ανάμεσα σε μήνες ή σε μερικά χρόνια. Έτσι, αυτή η διαφορά μεταξύ των χρόνων στις ναυλώσεις και το χρόνο απόσβεσης των επενδύσεων έχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη των υποδομών υγροποιημένου φυσικού αερίου. (DNV, In focus – LNG as ship fuel, 2015)

Από τους παράγοντες που αναλύσαμε παραπάνω μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι ακόμα δεν υπάρχει μια καθιερωμένη βιομηχανία μικρής κλίμακας υποδομών LNG. Επομένως για να μπορέσει αυτή η βιομηχανία να αναπτυχθεί θα πρέπει να μπορέσουν οι μελλοντικές αγορές των εγκαταστάσεων μικρής κλίμακας να κατανοηθούν πλήρως. Όταν η αγορά είναι ανοιχτή και επικρατεί τέλειος ανταγωνισμός και οι εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας λειτουργούν αποτελεσματικά, μόνο τότε οι τιμές του LNG που θα διοχετεύεται στην αγορά θα είναι αποτελεσματικές. Επομένως για να δημιουργηθεί αυτή η αγορά πρέπει να υπάρχει κατανόηση για τις συνθήκες που επικρατούν, διότι μόνο έτσι θα αναπτυχθούν και θα δημιουργηθούν αυτές οι υποδομές. (DNV, In focus – LNG as ship fuel, 2015)

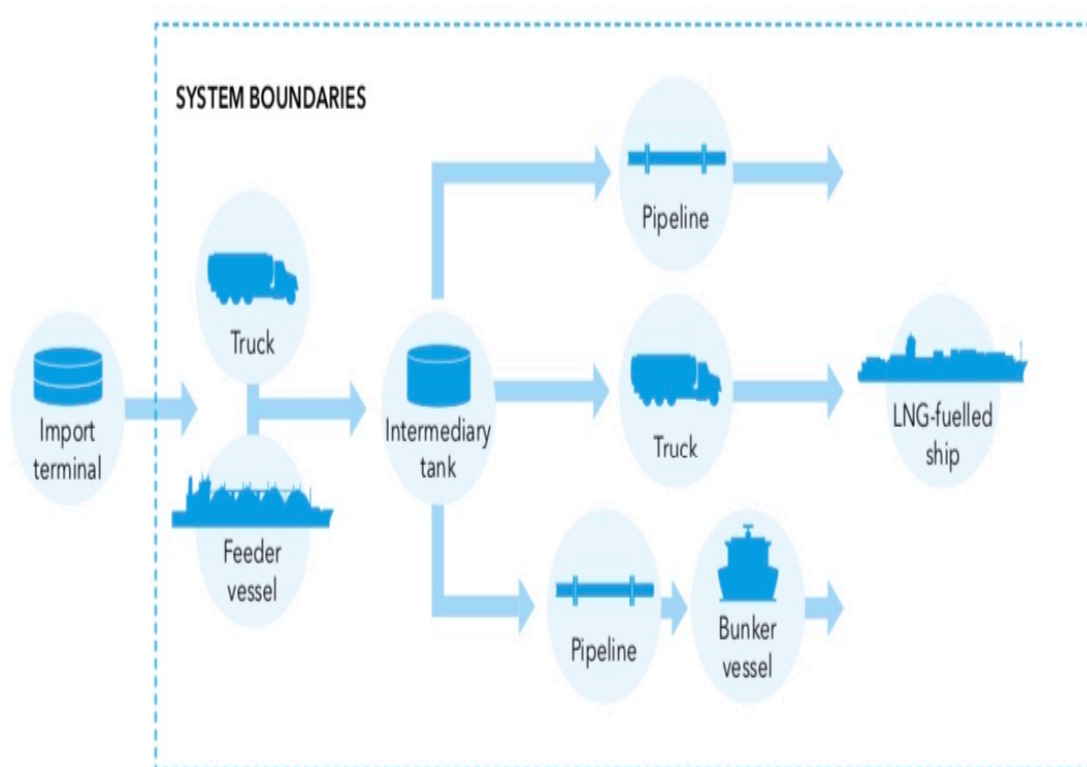
Η **small – scale Liquefied Natural Gas (ssLNG)**, είναι μια ανερχόμενη βιομηχανία που είναι ήδη κερδοφόρα και παρέχει σημαντικές δυνατότητες. Είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση από την ναυτιλία για καύσιμα που είναι πιο φιλικά στο περιβάλλον. Έτσι είναι πιθανό το ssLNG να κερδίσει περισσότερο μερίδιο στην αγορά, καθώς η ίδια η αγορά πιέζει προς αυτή την κατεύθυνση λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών για καθαρότερα καύσιμα.

Αυτός που είναι και ουσιαστικά ο σκοπός των υποδομών ssLNG δεν είναι άλλος από το να παρέχει το φυσικό αέριο στην υγρή του κατάσταση, δηλαδή σε LNG. Έτσι σε αντίθεση με άλλα τερματικά δεν χρειάζεται να το επαναεριοποιήσουν και να το διαθέσουν στους τελικούς χρήστες. Οι τελικοί πελάτες των ssLNG είναι αυτή που θέλουν απλά το LNG χωρίς να το κάνουν αέριο, π.χ. προμηθευτές υγροποιημένου φυσικού αερίου για καύσιμο σε πλοία. Έτσι από αυτά καταλαβαίνουμε ότι οι υποδομές αυτές αφορούν χρήστες που δεν έχουν πρόσβαση σε μεγάλες εγκαταστάσεις καθώς και σε αυτούς που θέλουν να το χρησιμοποιήσουν ως LNG. (PWC, Small going big: why small – scale LNG may be the next big wave, 2017)

Οι υποδομές μικρής κλίμακας που επικεντρώνονται στον ανεφοδιασμό με LNG σε πλοία καθώς και η μέθοδοι ανεφοδιασμού που περιγράψαμε φαίνεται να οδηγούν την υιοθέτηση του LNG ως ένα καύσιμο στην ναυτιλία σε παγκόσμιο επίπεδο. Μια εγκατάσταση παροχής καυσίμου δεν είναι μόνο μια δεξαμενή που συνδέεται με τους

τελικούς χρήστες. Οι εγκαταστάσεις εφοδιασμού είναι όλες αυτές οι υποδομές που χρειάζονται έτσι ώστε ένα λιμάνι να μπορεί με επιτυχία να ανταποκριθεί στην προμήθεια εφοδιασμού με LNG όπως βλέπουμε και στο παρακάτω διάγραμμα 5.3. (DNV, In focus – LNG as ship fuel, 2015)

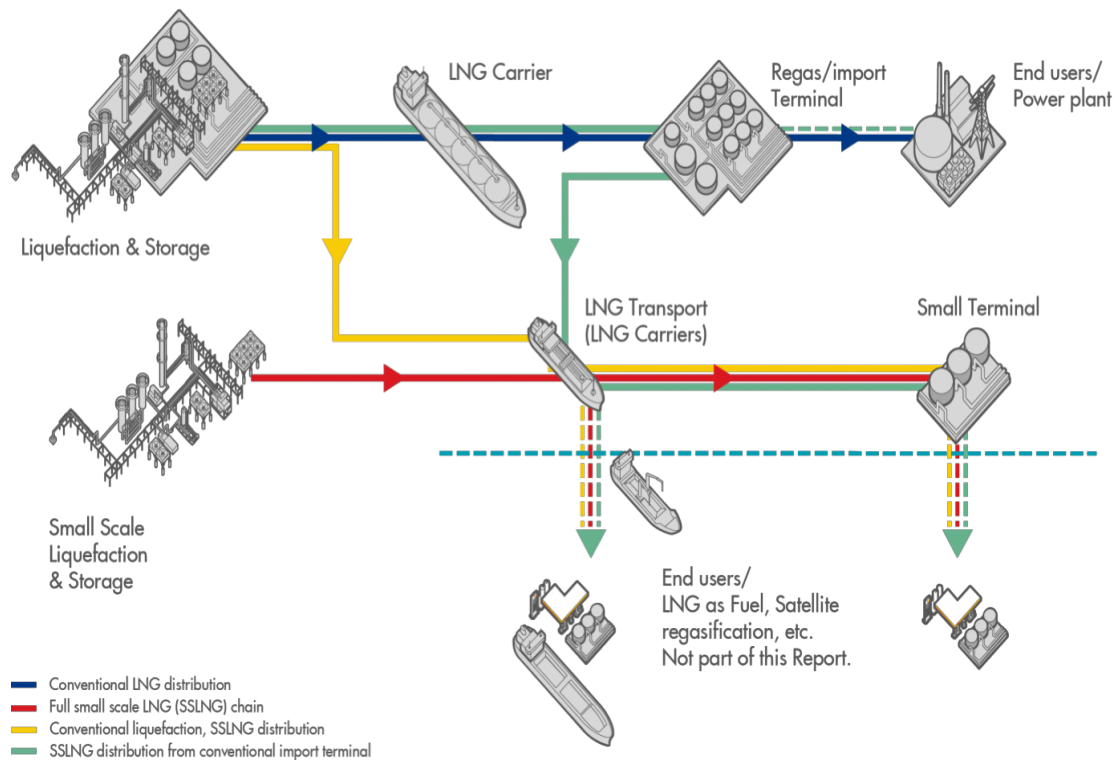
Διάγραμμα 5.3: Η αλυσίδα αξίας LNG μικρής κλίμακας



Πηγή: DNV, In focus – LNG as ship fuel, 2015

Όπως περιγράψαμε στο πρώτο κεφάλαιο η συμβατική αλυσίδα αξίας LNG αποτελείται από μια μονάδα υγροποίησης, μεταφοράς, επαναεριοποίησης και μετά στους τελικούς καταναλωτές. Η ssLNG μπορεί να περιγραφεί καλύτερα ως ένα δίκτυο αξιών. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα 5.4, το ssLNG μπορεί να προέρχεται είτε από μια υπάρχουσα εγκατάσταση LNG ή από μιας μικρής κλίμακας υποδομή. Συνεπώς εξυπηρετεί ένα ευρύτερο φάσμα τελικών χρηστών σε σχέση με μια συμβατική αλυσίδα αξίας που είχαμε περιγράψει. (IGU, Small Scale LNG, 2015)

Διάγραμμα 5.4: Μέθοδοι διανομής LNG σε μικρής κλίμακας υποδομές



Πηγή: IGU, Small Scale LNG, 2015

Στο διάγραμμα 5.4, η μπλε γραμμή δείχνει τη συμβατική κατανομή του LNG. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει μια πλήρη αλυσίδα ssLNG. Η κίτρινη γραμμή δείχνει το ssLNG που από την μονάδα υγροποίησης, διασπάστηκε και μεταφέρθηκε σε μικρά τμήματα στο τερματικό μικρής κλίμακας. Η πράσινη διακεκομμένη γραμμή μας δείχνει τα φορτία από τους τερματικούς σταθμούς επαναεριοποίησης και εισαγωγής σε τοπικό ή απομακρυσμένο σταθμό που δεν συνδέεται με το δίκτυο αερίου. (IGU, Small Scale LNG, 2015)

Οι διαφορές των υποδομών μεγάλης κλίμακας LNG με τις μικρής κλίμακας είναι μεγάλες και έχουν να κάνουν ως προς την επιλογή της τοποθεσίας αυτών των έργων. Η κατασκευή ενός τερματικού LNG μεγάλης κλίμακας αποτελεί επένδυση εθνικής σημασίας και έτσι αυτά τα έργα πρέπει να επιλέξουν τοποθεσία στην καλύτερη δυνατή στρατηγική θέση έτσι ώστε η επένδυση να είναι αποδοτική. Επομένως τα συγκεκριμένα έργα πρέπει να έχουν επαρκή απόδοση έτσι ώστε να απορροφήσουν το

κόστος υποδομής, προκειμένου να διατηρήσουν την δυνατότητα χρηματοδότησης του έργου. Οι τερματικοί σταθμοί μικρής κλίμακας LNG είναι πιο ευαίσθητη στο κόστος ανάπτυξης της υποδομής. Επιπλέον, οι τοποθεσίες που θα κατασκευαστεί αυτού του τύπου το τερματικό, πρέπει να είναι σε μια περιοχή με φυσική προστασία από τα φαινόμενα τις θάλασσας γιατί πχ. Ένας κυματοθραύστης πολλές φορές είναι πιο ακριβός από το ίδιο το τερματικό. Τέλος οι υποδομές ssLNG θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κοντά στους τελικούς χρήστες για την καλύτερη και αποδοτικότερη εξυπηρέτηση αυτών. (Wartsila, Developer's Guide to Small – Scale LNG Terminals, 2018)

Οι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των υποδομών ssLNG είναι: Πρώτον, οι υποδομές ssLNG σε αντίθεση με τα έργα μεγάλης κλίμακας, προσφέρει στους επενδυτές πιο άμεσες και δυνητικά ελκυστικές αποδόσεις μακροπρόθεσμα. Άρα οι επενδύσεις σε ssLNG παρέχουν επενδυτικές αποφάσεις χαμηλότερες σε απαιτήσεις και με σύντομα χρονοδιαγράμματα. Δεύτερον, οι υποδομές ssLNG είναι ικανές προς επέκταση της ικανότητάς τους, δηλαδή αυτοί που τις εκμεταλλεύονται μπορούν εύκολα να προσθέσουν παραγωγική ικανότητα έτσι ώστε να αυξήσουν την χωρητικότητα των Εγκαταστάσεων έτσι ώστε να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ζήτηση. Αυτό καθιστά τις υποδομές ssLNG ιδανικές για την αντιμετώπιση των βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων της ζήτησης. Τρίτον, ακριβώς λόγω αυτής της ευελιξίας, δηλαδή να μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγική τους ικανότητα, τα έργα υποδομών ssLNG μπορούν να τονώσουν τη ζήτηση σε περιοχές της αγοράς που προηγουμένως δεν ήταν κατάλληλες για το LNG για να διοχετεύεται σε αυτές της αγορές ως ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο για τα πλοία. Τέλος, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην υιοθέτηση των υποδομών ssLNG θα είναι η διαφορά στην τιμή μεταξύ του LNG και του πετρελαίου. Αν μέχρι το 2030, η τιμή του LNG παραμένει μεταξύ 3-4\$ ανά εκατομμύρια βρετανικές θερμικές μονάδες (mmBtu), ενώ το πετρέλαιο υπερβαίνει τα 90\$ το βαρέλι, η ζήτηση για υποδομές ssLNG θα είναι περισσότερο από τέσσερις φορές υψηλότερη αν το LNG κοστίζει περισσότερο από 9\$ ανά mmBtu ενώ το πετρέλαιο ήταν μεταξύ 50-60\$ το βαρέλι. (PWC, Small going big: why small – scale LNG may be the next big wave, 2017)

Όπως αναφέραμε οι υποδομές μικρής κλίμακας για παροχή υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία είναι μια βιομηχανία που μπορεί να χαρακτηριστεί ως κερδοφόρα. Η αγορά για καύσιμα που ανεφοδιάζουν πλοία, είναι μια αγορά δομημένη έτσι ώστε να υπάρχουν πολλά λιμάνια και λίγοι πελάτες. Οι κεφαλαιουχικές απαιτήσεις για υποδομές ανεφοδιασμού είναι υψηλές σε συγκρίσει με άλλες εφαρμογές, πχ. Μια λιμενική υποδομή αποθήκευσης LNG χωρητικότητας 6.000 έως 15.000 κυβικών μέτρων κοστίζει 30-60 εκατ. Ευρώ και μία φορηγίδα ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3.000-10.000 κυβικών μέτρων από 30-40 εκατ. Ευρώ. Αυτό μας δείχνει ότι υπάρχουν εμπόδια εισόδου σε αυτή την αγορά, έτσι υπάρχει προστασία στους πρώτους που εισήλθαν στην εν λόγω αγορά και έχουν εξασφαλίσει συμβάσεις με τους πλοιοκτήτες. (PWC, Small going big: why small – scale LNG may be the next big wave, 2017)

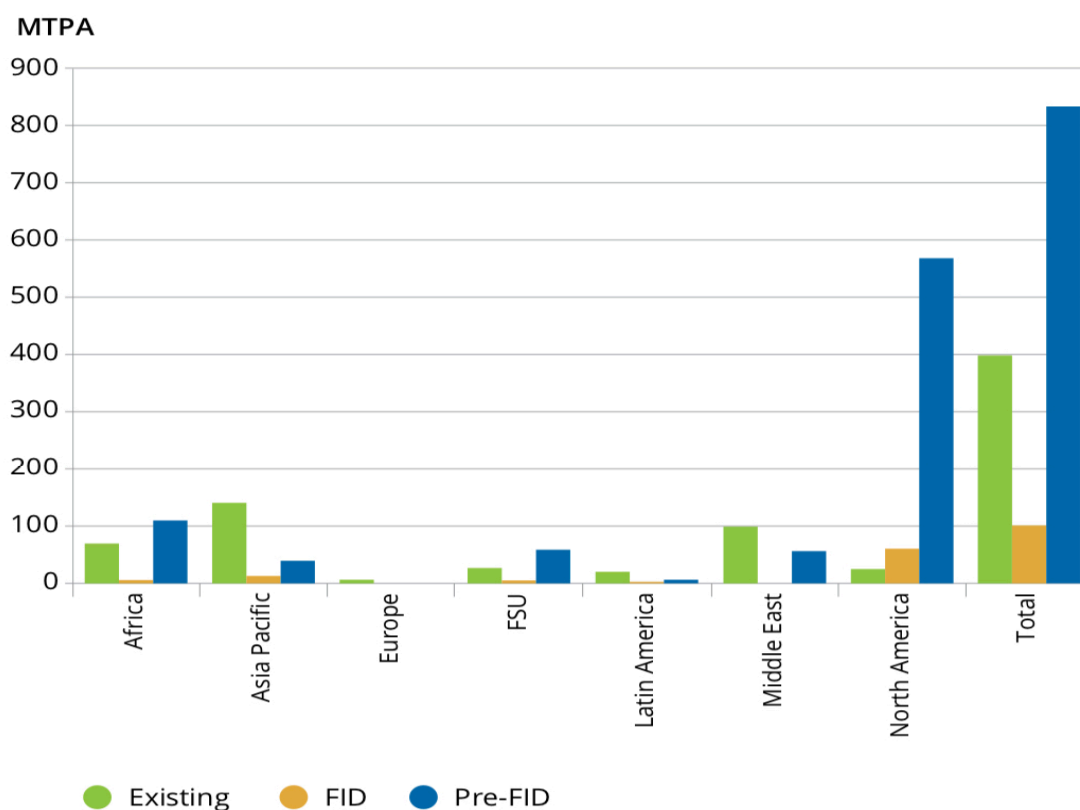
Ένα παράδειγμα πιθανών τρόπων για ανεφοδιασμό με LNG με υποδομές ssLNG είναι ο παρακάτω. Από ένα τερματικό LNG το φορτίο μεταφέρεται σε μια δεξαμενή LNG χωρητικότητας 15-30.000 κυβικών μέτρων. Από εκεί μεταφέρεται στα κύρια λιμάνια μέσω ενός feeder πλοίου μεταφοράς LNG. Εκεί το φορτίο αποθηκεύεται και μέσω της μεθόδου ανεφοδιασμού από πλοίο σε πλοίο γίνεται ο ανεφοδιασμός με LNG. Διαφορετικά από τα κύρια λιμάνια μέσω πιο μικρών πλοίων μεταφέρεται σε μικρότερα λιμάνια, εκεί αποθηκεύονται μικρότερες ποσότητες του φορτίου και μέσω των μεθόδων ανεφοδιασμού που αναλύσαμε γίνεται οι τροφοδοσία σε άλλα πλοία που καταναλώνουν το LNG ως καύσιμο. Με αυτό τον τρόπο οι παίκτες τις αγορές θα επικεντρωθούν στις βασικές δραστηριότητες, ενώ θα αναθέτουν σε τρίτους δραστηριότητες χαμηλής προστιθέμενη αξίας, που αυτοί οι τρίτοι γνωρίζουν τις συγκεκριμένες αγορές και ξέρουν πως να προωθήσουν το φορτίο και πως να βρουν πιθανούς πελάτες. Επίσης οι εταιρείες θα πρέπει να αξιοποιήσουν τις βασικές ικανότητες τους στην αντιστάθμιση των βασικών εμπορευμάτων για να μειώσουν το κίνδυνο τιμών για τους τελικούς χρήστες στην αρχική φάση ανάπτυξης τις αγορές. (PWC, Small going big: why small – scale LNG may be the next big wave, 2017)

5.5 Εγκαταστάσεις τερματικών σταθμών υγροποίησης - επαναεριοποίησης

5.5.1 Τερματικοί σταθμοί υγροποίησης

Σύμφωνα με τον International Gas Union για δεύτερο συνεχές έτος, η δυναμικότητα υγροποίησης αυξήθηκε κατά 7% το 2018, με συνολικό αποτέλεσμα στο τέλος του έτους να είναι 382,9 MTPA. Η επέκταση της δυναμικότητας αυτής προήλθε από νέα έργα υποδομών και όχι από επεκτάσεις των υφιστάμενων εγκαταστάσεων υγροποίησης. Τα νέα έργα που ξεκίνησαν την εμπορική τους λειτουργία είναι χαρακτηριστικά τα εξής: το LNG Wheatstone στην Αυστραλία (σύνολο 8,9 MTPA), το Yamal LNG (11 MTPA), το Cover Point στις ΗΠΑ (5,25 MTPA) και το Kribi FLNG στο Καμερούν (2,4 MTPA). Αυτό έφερε την συνολική χωρητικότητα στα 392,9 MTPA το Φεβρουάριο του 2019 όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα 5.5. (IGU, 2019)

Διάγραμμα 5.5: Παγκόσμια χωρητικότητα υγροποίησης ανά κατάσταση και περιοχή (έως Φεβρουάριο 2019)

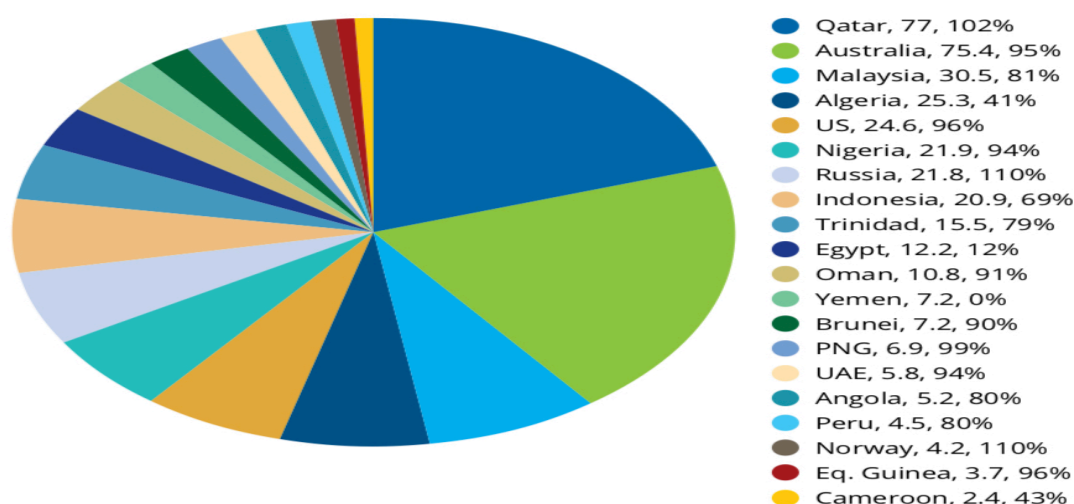


Πηγή: IGU, 2019

Τα έργα που έχουν σκοπό να επεκτείνουν την δυναμικότητα υγροποίησης προβλέπεται να συνεχιστούν και το 2019 με συνολικό μέγεθος 51,8 MTPA να έχουν ολοκληρωθεί μέσα στο έτος. Εκτός από τα έργα Ichthys LNG T1 και Yamal LNG T3, το 49% όλων των υπάρχοντων έργων ή υπό κατασκευή εγκαταστάσεων υγροποίησης έχουν ανακοινώσει έναρξη των εμπορικών τους δραστηριοτήτων πριν το τέλος του 2019. Οι μονάδες υγροποίησης στις ΗΠΑ θα προσθέσουν νέα χωρητικότητα με τα έργα: Corpus Christi LNG T1 και T2 (9 MTPA), Elba Island LNG T1-T2 (2,5 MTPA), Cameron LNG T1 και T2 (8 MTPA), Freeport LNG T1 (5,1 MTPA) και Sabine Pass LNG T5 (4,5 MTPA), υπερδιπλασιάζοντας την υπάρχουσα χωρητικότητα των ΗΠΑ. (IGU, 2019)

Σύμφωνα με τον International Gas Union τον Ιανουάριο του 2019 υπήρχαν 20 αγορές με δυνατότητα υγροποίησης LNG όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα 5.6. Το 2018, το Καμερούν έγινε η νεότερη εξαγωγική χώρα LNG όταν η πλωτή μονάδα Kribi FLNG φόρτωσε το πρώτο φορτίο το Μάιο. Από το διάγραμμα 5.6 βλέπουμε ότι η χώρα με μεγαλύτερη χωρητικότητα υγροποίησης είναι το Κατάρ μέχρι το 2018 (77 MTPA). Όμως η έναρξη της εμπορικής λειτουργίας της εγκατάστασης Ichthys LNG T1 το 2019 έδωσε ώθηση στην συνολική χωρητικότητα της Αυστραλίας σε 79,9 MTPA μέχρι τον Ιανουάριο του 2019, ξεπερνώντας το Κατάρ.

Διάγραμμα 5.6: Χωρητικότητα υγροποίησης ανά αγορά για το 2018



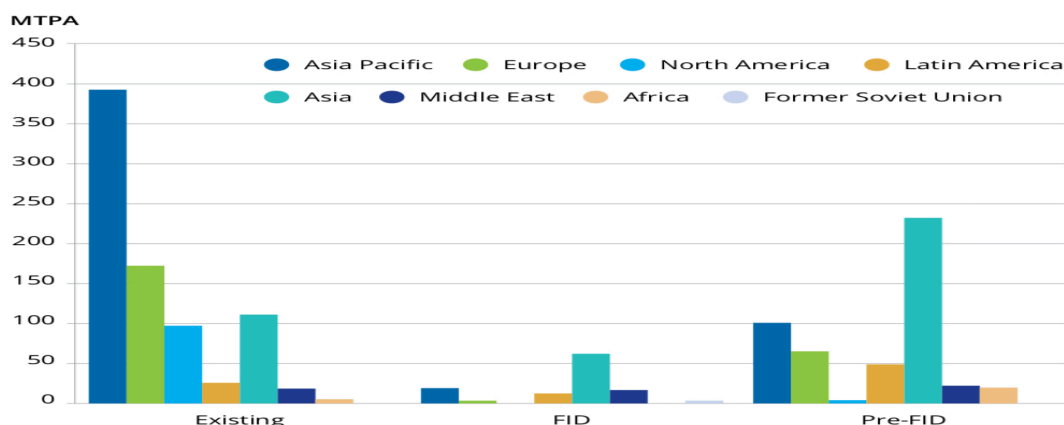
Πηγή: IGU, 2019

Τέλος από το διάγραμμα 5.5, βλέπουμε ότι για τον Ιανουάριο του 2019 η ικανότητα υγροποίησης που ήταν υπό κατασκευή ή ήταν στο τελικό στάδιο της απόφασης για επένδυση (FID) είναι 101,3 MTPA. Περισσότερο από το 75% τις παγκόσμιας χωρητικότητας υπό κατασκευή (77,4 MTPA), βρίσκεται στην Βόρειο Αμερική. Στην Αυστραλία τα μόνο υπολειπόμενα έργα είναι το Prelude FLNG και το Ichthys LNG T2. Περαιτέρω χωρητικότητα βρίσκεται υπό κατασκευή στην Ινδονησία (4,3 MTPA), τη Ρωσία (3,6 MTPA), τη Μοζαμβίκη (3,4 MTPA), τη Μαλαισία (1,5 MTPA) και την Αργεντινή (0,5 MTPA). (IGU, 2019)

5.5.2 Τερματικοί σταθμοί επαναεριοποίησης

Η δυναμικότητα επαναεριοποίησης του LNG για το 2018 αυξήθηκε κατά δύο νέες αγορές αυτή του Μπαγκλαντές και του Παναμά. Νέοι σταθμοί κατασκευάστηκαν στην Κίνα, την Ιαπωνία και την Τουρκία. Στην Ελλάδα ολοκληρώθηκαν τα έργα επέκτασης του τερματικού σταθμού στην Ρεβυθούσα με την ολοκλήρωση της τρίτης δεξαμενής χωρητικότητας 95.000 κυβικά μέτρα. Αυτό διεύρυνε τη συνολική χωρητικότητα σε 225.000 κυβικά μέτρα από τα 130.000 κυβικά μέτρα. (<https://www.kathimerini.gr/1002879/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/ef8ase-to-prwto-fortio-amerikanikoy-lng-sthn-ellada>) Η προσθήκες αυτές έφεραν την συνολική ικανότητα επαναεριοποίησης LNG στην παγκόσμια αγορά στα 824 MTPA σε 36 αγορές από το Φεβρουάριο του 2019 σύμφωνα με τον IGU, όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 5.7.

Διάγραμμα 5.7: Παγκόσμια χωρητικότητα επαναεριοποίησης ανά κατάσταση και περιοχή (έως Φεβρουάριο 2019)



Πηγή: IGU, 2019

Η περιοχή της Ασίας και της Ασίας – Ειρηνικού έχουν τα μεγαλύτερα επίπεδα επαναεριοποίησης της παγκόσμιας αγοράς. Η Ιαπωνία είναι η χώρα με την μεγαλύτερη ικανότητα επαναεριοποίησης, και όπως είδαμε και στο κεφάλαιο δύο η Ιαπωνία είναι και η μεγαλύτερη εισαγωγική χώρα LNG. Η ικανότητα επαναεριοποίησης ήταν στα 202 MTPA το 2018. Η εισαγωγή των FSRU όπως είδαμε και σε προηγούμενη ενότητα επέτρεψε σε πολλές αγορές να έχουν πρόσβαση στην παγκόσμια αγορά LNG. Τα FSRU θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εισαγωγή LNG σε νέες αγορές υπό την προϋπόθεση να υπάρχουν επαρκείς υποδομές αγωγών και εγκαταστάσεις εκφόρτωσης. (IGU, 2019)

5.6 Υπάρχουσες και μελλοντικές υποδομές τερματικών LNG στην Ευρώπη και οι περιπτώσεις στην Ελλάδα

Όλοι οι τερματικοί σταθμοί LNG στην Ευρώπη αποτελούν εγκαταστάσεις εισαγωγής με εξαίρεση την Νορβηγία και την Ρωσία που εξάγουν LNG. Επί του παρόντος υπάρχουν 28 τερματικά μεγάλης κλίμακας στην Ευρώπη (συμπεριλαμβανομένου και τις Τουρκίας που είναι εκτός ΕΕ). Υπάρχουν επίσης 8 εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας LNG (στη Φινλανδία, τη Σουηδία, τη Γερμανία, τη Νορβηγία και το Γιβραλτάρ). Από τα 28 μεγάλης κλίμακας τερματικά εισαγωγής LNG, τα 24 βρίσκονται σε χώρες τις ΕΕ και 4 στην Τουρκία. Ακόμα 23 σε χερσαίες τερματικές εγκαταστάσεις και 4 FSRU. Τέλος μια εγκατάσταση εισαγωγής είναι στην Μάλτα και περιλαμβάνει μια μονάδα αποθήκευσης και εγκαταστάσεις επέκτασης στην ξηρά. (King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018)

Σήμερα στην ΕΕ εξετάζονται ή σχεδιάζονται να γίνουν 22 τερματικά LNG, όπου τα περισσότερα βρίσκονται εντός ΕΕ, με εξαίρεση τα τερματικά στην Ουκρανία (Odessa FSRU LNG), στην Ρωσία (Kaliningrad LNG), την Αλβανία (Eagle LNG) και την Τουρκία (FSRU Iskenderun και FSRU Gulf of Saros). Η Ελλάδα σχεδιάζει ένα πρόσθετο τερματικό σταθμό στην Αλεξανδρούπολη. Ακόμα στην Ιταλία σχεδιάζονται δύο επιπλέον τερματικά το Porto Empedocle στη Σικελία και το LNG Gioia Tauro στην Καλαβρία, στην Πολωνία (FSRU Polish Baltic sea coast) και το Ηνωμένο Βασίλειο το οποίο σχεδιάζει το έργο LNG Port Meridian FSRU και το έργο UK Trafigura Teesside LNG. Εννέα από τους τερματικούς σταθμούς που σχεδιάζονται να γίνουν είναι FSRUs

και περιλαμβάνουν χώρες όπως η Αλβανία, η Κροατία, η Κύπρος, η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Πολωνία, η Ρωσία, η Ουκρανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. (King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018)

Πίνακας 5.4: Τερματικοί σταθμοί LNG που σχεδιάζονται να γίνουν στην Ευρώπη

Χώρα	Προγραμματισμένο Τερματικό	Διαχειριστής	Αρχική Ικανότητα	Πιθανό έτος έναρξης
Αλβανία	Eagle LNG FSRU	Gruppo Falcone	8 bcm/έτος	-
Κροατία	Krk Island FSRU	LNG Croatia	2 bcm/έτος	2019
Κύπρος	Vassiliko FSRU	Ocean Finance	-	2019
Εσθονία	Padalski LNG	Balti Gas	2.5 bcm/έτος	2020
Εσθονία	Muuga (Tallinn) LNG	Vopak	4 bcm/έτος	2019
Γερμανία	Brunsbüttel LNG	Oiltanking, Vopak, Gasunie	5 bcm/έτος	2022
Ιρλανδία	Shannon LNG	Shannon LNG	2.7 bcm/έτος	-
Ιρλανδία	Cork LNG Terminal	Next Decade	-	-
Λετονία	Riga LNG Terminal	AS "Skulte LNG Terminal"	5 bcm/έτος	2019
Ρουμανία	Constanta LNG	AGRI LNG	8 bcm/έτος	2025
Ρωσία	Kaliningrad LNG	Gazprom	-	2019
Ουκρανία	Odessa LNG	KOLIN	5 bcm/έτος	-

Πηγή: King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018

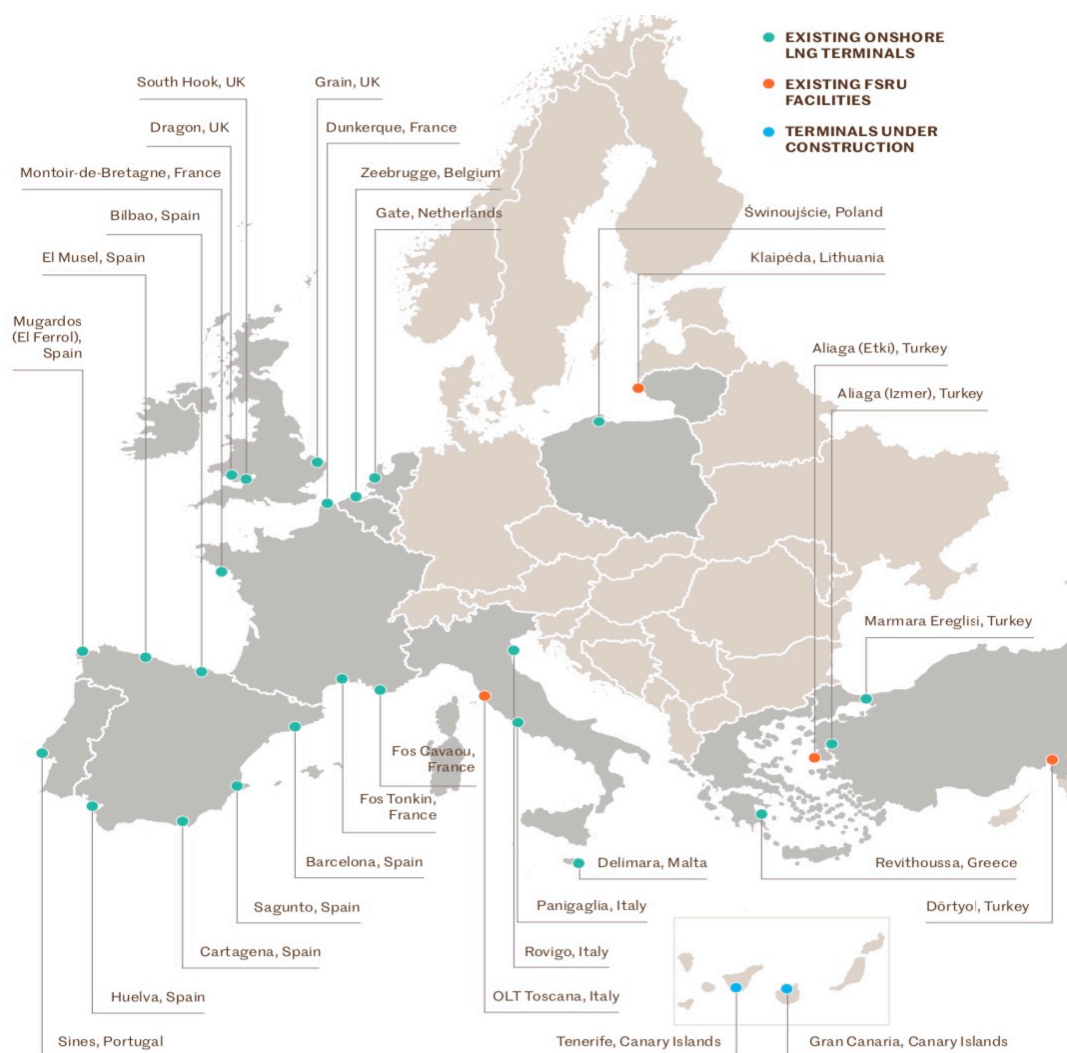
Στο πίνακα 5.4, παρουσιάζεται μια λίστα προγραμματισμένων τερματικών σταθμών εισαγωγής LNG σε ευρωπαϊκές χώρες που δεν διαθέτουν υφιστάμενα τερματικά εισαγωγής μεγάλης κλίμακας.

Οι υπάρχοντες τερματικοί σταθμοί LNG στην Ευρώπη ήταν παραδοσιακή σταθμοί που εισάγουν LNG, το επαναεριοποιούν και το διανέμουν στο εκάστοτε εθνικό δίκτυο παροχής φυσικού αερίου. Λόγο της υπερπροσφοράς που υπάρχει στην αγορά καθώς και των χαμηλών περιθωρίων κέρδους, πολλοί τερματικοί σταθμοί επιδίωξαν να δημιουργήσουν νέες ευκαιρίες ζήτησης εισάγοντας νέες υπηρεσίες σε παραδοσιακές εγκαταστάσεις εισαγωγής LNG. Τέτοιες υπηρεσίες είναι να μεταφέρουν το LNG σε

μικρότερα πλοία μεταφοράς σε μικρότερα τερματικά καθώς και να παρέχουν υπηρεσίες ανεφοδιασμού του LNG σε πλοία που το καταναλώνουν ως καύσιμο.

Η ΕΕ ενθαρρύνει τη χρήση του LNG ως ένα καύσιμο για πλοία, λόγω των πλεονεκτημάτων που αναλύσαμε στο τρίτο κεφάλαιο και έχουν να κάνουν με τα περιβαλλοντικά του οφέλη. Η ΕΕ υποστήριξε τέτοια έργα υποδομής σε δύο κράτη – μέλη της, την Κύπρο και την Κροατία. Η Κύπρος θα εισάγει LNG μέσω του σχεδίου CyprusGas2EU, το οποίο έχει λάβει 101 εκατ. Ευρώ από χρηματοδότηση της ΕΕ. Η Κροατία έλαβε από την ΕΕ 101,4 εκατ. Ευρώ για την κατασκευή ενός FSRU στο νησί Κrk. (King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018)

Χάρτης 5.1: Τερματικοί σταθμοί εισαγωγής LNG στην Ευρώπη



Πηγή: King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018

Στο χάρτη 5.1 βλέπουμε της εγκαταστάσεις των τερματικών σταθμών LNG και FSRU καθώς και τις εγκαταστάσεις που προγραμματίζονται να γίνουν.

Πίνακας 5.5: Υποδομές ανεφοδιασμού με LNG στην Ευρώπη

Εγκαταστάσεις ανά τύπο	Κατάσταση		
	Σε λειτουργία	Υπό κατασκευή	Προγραμματισμένα
Τερματικά LNG μεγάλης κ μικρής κλίμακας			
Επαναφόρτιση LNG μεγάλης κλίμακας	19	6	12
Μεταφόρτωση	7	-	4
Επαναφόρτιση LNG μικρής κλίμακας	15	10	12
Φόρτωση φορτηγών	25	7	7
Εγκαταστάσεις υγροποίησης	21	-	4
Εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού για πλοία	39	12	12
Πλοία ανεφοδιασμού	11	1	6
Σταθμοί ανεφοδιασμού φορτηγών	167	8	63

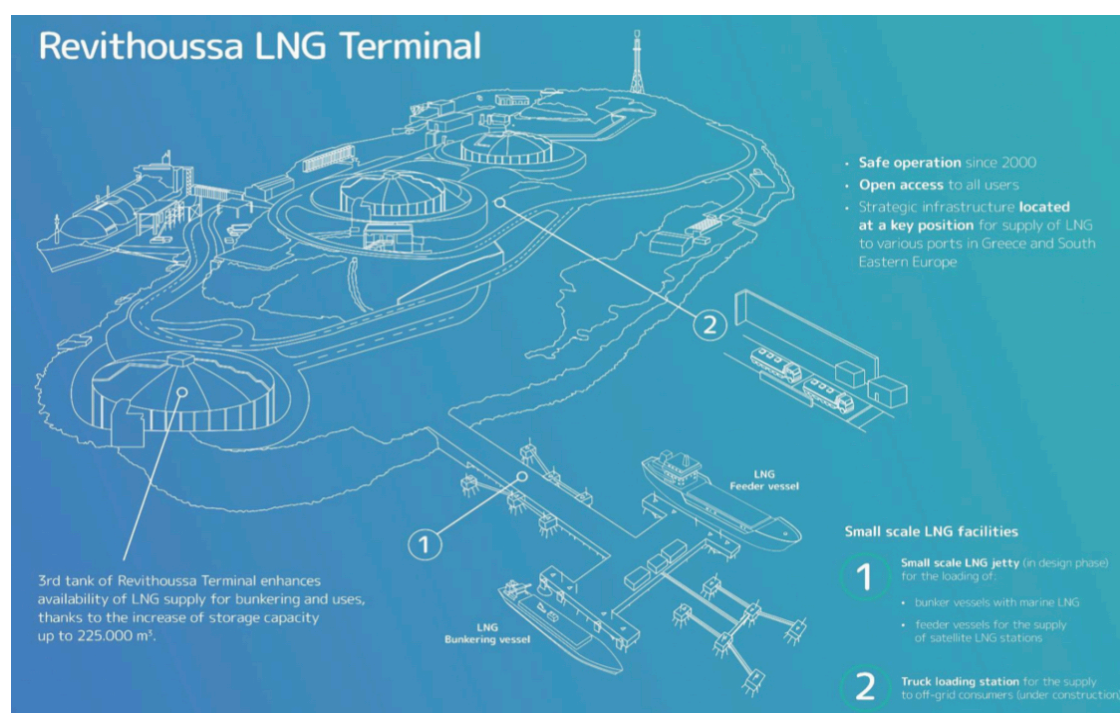
Πηγή: GIE (2018), Small – Scale LNG database 2018

Στο πίνακα 5.5 βλέπουμε στοιχεία από μια βάση δεδομένων τις GIE που απαριθμεί διάφορες εγκαταστάσεις ανά τύπο, όπως μονάδες υγροποίησης μικρής κλίμακας, εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καθώς και πλοία που ανεφοδιάζουν άλλα πλοία με LNG. Η βάση δεδομένων καταδεικνύει ότι η παρουσία τερματικών σταθμών εισαγωγής μεγάλης κλίμακας LNG αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την στήριξη τις ανάπτυξης υποδομών ανεφοδιασμού. Στο τέλος του 2017, το 75% των επιχειρησιακών μονάδων μικρής κλίμακας, βρίσκονται σε χώρες με μεγάλους τερματικού σταθμούς επαναεριοποίησης. Οι χώρες με τέτοιες εγκαταστάσεις είχαν αύξηση στις υποδομές μικρής κλίμακας κατά 133% από τον Ιούνιο του 2016 έως το τέλος του 2017. (Le Fevre, 2018)

Όσο αναφορά την **περίπτωση της Ελλάδας**, η ζήτηση για φυσικό αέριο αυξάνεται σταθερά. Χαρακτηριστικά για το έτος 2017 η Ελλάδα εισήγαγε 1,26 bcm LNG και είχε αύξηση στις εισαγωγές κατά 139,3% σε σχέση με το 2016. Έτσι ήταν ο έβδομος

μεγαλύτερος εισαγωγέας LNG στην Ευρώπη. Μεταξύ του 2014 και του 2017 η κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ελλάδα σημείωσε αύξηση κατά 68%, με τη κατανάλωση φυσικού αερίου να αυξάνεται κατά 21% το 2017 σε σχέση με το 2016. Το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύει περίπου το 14% του συνολικού πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού στην Ελλάδα, εκ των οποίων το ένα τέταρτο είναι LNG που εισάγεται στο μοναδικό τερματικό σταθμό LNG της Ελλάδος στην Ρεβυθούσα. Το υπόλοιπο μέρος εισάγεται από την Ρωσία μέσω αγωγών. (King & Spalding, An overview of LNG import terminals in Europe, 2018)

Διάγραμμα 5.8: Το τερματικό LNG στη Ρεβυθούσα



Πηγή: <https://poseidonmedii.eu/editor/upload/desfa.pdf>

Ο μοναδικός τερματικός σταθμός LNG στην Ελλάδα, βρίσκεται στο νησί τις Ρεβυθούσας, δυτικά τις Αθήνας. Τέθηκε σε λειτουργία το 2000 και σήμερα έχει χωρητικότητα 7 bcm/έτος. Η χωρητικότητα των δύο δεξαμενών αποθήκευσης LNG είναι 130.000 m³. Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα 5.8 το τερματικό της Ρεβυθούσας προχώρησε σε έργα επέκτασης που ξεκίνησαν το Μάιο του 2014 και κατασκευάστηκε μια Τρίτη δεξαμενή χωρητικότητας 95.000 m³, έτσι η χωρητικότητα αποθήκευσης θα αυξηθεί κατά 73% σε 225.000 m³ και θα είναι σε θέση να χειριστεί πλήρως φορτωμένα πλοία Q-flex. Το τερματικό που το διαχειρίζεται η DESFA,

προσφέρει επίσης υπηρεσίες επαναεριοποίησης και φόρτωση φορτηγών. Εξετάζεται επίσης να παρέχει υπηρεσίες ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG μέσω της φόρτωσης σε μικρότερα πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1.000 m³. Η εγκατάσταση αυτή LNG μικρής κλίμακας, θα εξυπηρετεί την λειτουργία φόρτωσης πλοίων μικρού μεγέθους μεταφοράς LNG. Τα πλοία αυτά στην συνέχεια θα ανεφοδιάζουν με LNG, είτε πλοία τις ακτοπλοΐας είτε τις ποντοπόρου ναυτιλίας στο λιμάνι του Πειραιά.

Στην Αλεξανδρούπολη αναμένεται μέχρι το τέλος του 2020 να κατασκευαστεί ένας πλωτός τερματικός σταθμός επαναεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου (FSRU) και θα διαχειρίζεται από την Gastrade. Η πλωτή μονάδα θα είναι μόνιμα αγκυρωμένη σε σταθερή θέση σε απόσταση 17,6 χλμ. νοτιοδυτικά από το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης. Έτσι θα δημιουργηθεί μια εγκατάσταση εισαγωγής φυσικού αερίου στην Ελλάδα με χωρητικότητα αποστολής 700.000 κυβικών μέτρων ανά ώρα ή 6,1 bcm/έτος και χωρητικότητας αποθήκευσης μέχρι 170.000 κυβικά μέτρα LNG. (<http://www.gastrade.gr/en/the-company/the-project.aspx>)

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, ήταν να αναδείξει τα πλεονεκτήματα της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως ένα εναλλακτικό καύσιμο στην ναυτιλία καθώς και ποια είναι αυτά τα πλεονεκτήματα που του δίνουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα. Επιπλέον σκοπός ήταν να δείξουμε την αναγκαιότητα σε λιμενικές υποδομές, έτσι ώστε να γίνεται ο ανεφοδιασμός των πλοίων με το συγκεκριμένο καύσιμο.

Αρχικά το μεγάλο πλεονέκτημα του LNG είναι ότι εναρμονίζεται πλήρως με τους κανονισμούς που έχει θεσπίσει ο IMO και θα τεθούν σε εφαρμογή από την πρώτη Ιανουαρίου του 2020. Το LNG έχει μηδενικές εκπομπές σε οξείδια του θείου και του αζώτου, γεγονός που του δίνουν το πλεονέκτημα ακόμα και με αυστηρότερα μέτρα που θα εφαρμοστούν στο μέλλον, το LNG θα πλήρη αυτές τις προϋποθέσεις χωρίς επιπλέον μεταβολές στα πλοία.

Από την παρούσα διπλωματική μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα των αυστηρότερων μέτρων που επέβαλε ο IMO σχετικά με τις εκπομπές θείου στην ναυτιλία, δεν μπορεί να λυθεί μόνο με την ανάπτυξη μιας αλυσίδας εφοδιασμού με LNG και στην προκειμένη περίπτωση δεν έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμια κλίμακα μια τέτοια εφοδιαστική αλυσίδα. Αντίθετα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το LNG για να μπορέσει να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει ως καύσιμο, πρέπει να υπάρξει ανάπτυξη τερματικών σταθμών LNG έτσι ώστε να δημιουργηθεί πρόσβαση στην παγκόσμια αγορά για LNG. Η ανάπτυξη τερματικών υποδομών έδωσε την δυνατότητα να καλυφθεί η ζήτηση για LNG ως καύσιμο για τα πλοία, ακόμα και σε περιοχές εκτός δικτύου.

Επίσης από όσα είδαμε στο πέμπτο κεφάλαιο σχετικά με τους τρόπους ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μέθοδοι ανεφοδιασμού όπως από φορτηγό σε πλοίο μπορεί να υπερπηδήσουν εμπόδια όπως η επένδυση σε σταθερή υποδομή για ανεφοδιασμό, όπου η συγκεκριμένη αγορά έχει αρκετούς κινδύνους στα πρώτα στάδια ανάπτυξης της.

Βέβαια είναι λογικό ότι η συγκεκριμένη μέθοδος ανεφοδιασμού έχει το μειονέκτημα ότι τα βυτιοφόρα οχήματα που μεταφέρουν το LNG έχουν συγκεκριμένη χωρητικότητα, σε αντίθεση με μια υποδομή στην στεριά που έχει μεγαλύτερες δυνατότητες χωρητικότητας και επέκταση αυτής.

Επιπλέον ένας άλλος παράγοντας που έδωσε λύσει σε πολλές περιοχές που δεν υπήρχαν υποδομές σε τερματικά LNG είναι τα FSRU. Με τον τρόπο αυτό ανάλογα με την ζήτηση για φυσικό αέριο που επικρατεί σε μια περιοχή αυτές οι πλωτές μονάδες μπορούν να μετακινούνται ανάλογα με τις μεταβολές της ζήτησης. Επίσης χρειάζονται λιγότερα κεφάλαια καθώς και λιγότερο χρόνο σε σχέση με τις υποδομές που γίνονται στην στεριά.

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το LNG για να μπορέσει να υιοθετηθεί ως ένα καύσιμο από τα πλοία και οι πλοιοκτήτες να επενδύσουν σε πλοία που θα μπορούν να καταναλώνουν LNG θα πρέπει να υπάρχουν λιμενικές υποδομές σε όλες τις περιοχές του κόσμου που δραστηριοποιούνται, ιδίως για πλοιοκτήτες που τα πλοία τους δεν έχουν συγκεκριμένα δρομολόγια και έτσι κινούνται σε πολλά λιμάνια ανά τον κόσμο. Όταν κάποια από τα λιμάνια αυτά δεν έχουν υποδομές σε τερματικά με LNG, είναι λογικό να μην επενδύσουν σε αυτή την τεχνολογία, αφού τα συγκεκριμένα πλοία που κινούνται με LNG χάνουν το πλεονέκτημα τους.

Ένας δεύτερος παράγοντας είναι η τιμή του. Το LNG σε σύγκριση με άλλα καύσιμα είδαμε ότι έχει πολύ ανταγωνιστική τιμή. Παρόλα αυτά όσο και η τιμή του να είναι ανταγωνιστική δεν θα μπορεί να προχωρήσει αυτή η τεχνολογία αν δεν υπάρξουν ίδιες τιμές για το LNG σε όλους τους λιμένες που δραστηριοποιούνται τα πλοία τους. Η τιμή του LNG είναι διαφορετική στην Ευρώπη, στην Ασία και στην Αμερική όπως είδαμε. Είναι εύλογο να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι τιμές για τα καύσιμα στα πλοία το πως θα διαμορφωθούν θα επηρεαστεί και από την εφαρμογή των μέτρων του IMO μετά την πρώτη Ιανουαρίου του 2020.

Ένα άλλο συμπέρασμα στο οποίο μπορούμε να καταλήξουμε είναι ότι το LNG αποτελεί ιδανική επιλογή για καύσιμο όσο αναφορά νεότευκτα πλοία. Η επένδυση σε

ένα νεότευκτο πλοίο με συστήματα πρόωσης με LNG είναι φθηνότερη από την μετατροπή ενός υφιστάμενου πλοίου έτσι ώστε να κινείται με LNG. Επίσης πρέπει να συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι σε ένα πλοίο που έχει σχεδιαστεί να κινείται με καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, όταν τροποποιείται για να καταναλώνει LNG, εκτός από τα συστήματα πρόωσης θα πρέπει να προσθέσουμε και δεξαμενές για το καύσιμο, έτσι θα έχει σημαντικές απώλειες της παραγωγικής του ικανότητας.

Επομένως ένα νεότευκτο πλοίο που θα είναι ειδικά σχεδιασμένο με συστήματα πρόωσης με LNG, θα είναι πιο οικονομικά αποδοτικό από την μετατροπή ενός πλοίου για να μπορέσει να συμμορφωθεί με τους νέους κανονισμούς. Επίσης όπως αναφέραμε και στο τέταρτο κεφάλαιο, τα πλοία που κινούνται με LNG θα συμμορφώνονται και με το NOx Tier III. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι δεν θα χρειάζονται συστήματα καθαρισμού και έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν θα έχουν περεταίρω απώλειες στην χωρητικότητά τους.

Τέλος, θα πρέπει να κατανοήσουμε ότι η έλλειψη λιμενικών υποδομών αποτελεί σημαντικό εμπόδιο έτσι ώστε να υπάρξει ανάπτυξη στην συγκεκριμένη αγορά. Ωστόσο, όλες αυτές οι πολιτικές που έχουν σχέση με το περιβάλλον και τις επιπτώσεις της ναυτιλίας σε αυτό, έδωσαν μια ώθηση στο υδροποιημένο φυσικό αέριο μιας και εναρμονίζεται με όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που απαιτούν οι νέοι κανονισμοί για τα καύσιμα στην ναυτιλία. Άμα το δούμε σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο το LNG ως καύσιμο αρχικά θα έχει εφαρμογή σε ορισμένους τύπους πλοίων καθώς και σε πλοία που δραστηριοποιούνται εντός ECA και αυτό λόγω της έλλειψης υποδομών. Επιπλέον οι πλοιοκτήτες βραχυπρόθεσμα ίσως επενδύσουν στο LSFO για να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς. Όσο αναφορά μακροπρόθεσμα, παράγοντες όπως οι διαφορές των τιμών LNG και των εναλλακτικών καυσίμων που θα υπάρχουν στην αγορά, τους παγκόσμιους κανονισμούς για τις εκπομπές των πλοίων καθώς και οι διαθεσιμότητα σε υποδομές ανεφοδιασμού με LNG σε παγκόσμιο επίπεδο θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην υιοθέτηση της νέας αυτής τεχνολογίας.

Βιβλιογραφία

- ABS, (2018), Marine fuel oil advisory 2018
- ABS, (2015), LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory
- Adamchak, Adede, (2013), LNG as marine fuel, Potten & Parthers
- Andrew J. Van Horn, Richard Wilson, (1977), The potential risks of liquefied natural gas, *Energy*, 375-389
- BP statistical Review of world energy 2019
- Brian Songhurst, (2017), The outlook for floating storage and regasification units (FSRUs), OIES Paper 123, Oxford
- Byeong – Yong Yoo, (2017), Economics assessment of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel for CO2 carriers compared to marine gas oil (MGO), *Energy*, 772 – 780
- Calderon, Illing, Veiga, (2016), Facilities for bunkering of liquefied natural gas in ports, *Transportation Research Procedia*, 2431-2446
- S&P Global Platts, (2018), The evolving LNG fleet driving the global gas boom
- CRS, (2019), LNG as a maritime fuel: prospects and policy
- David A. Wood, (2012), A review and outlook for the global LNG trade, *Journal of natural gas science and engineering*, 16-27
- DMA, (2013), North European LNG infrastructure project – A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations.
- DNV-GL, (2018), Assessment of selected alternative fuels and technologies
- DNV-GL, (2018), Global Sulphur cap 2020
- DNV-GL, (2015), In focus – LNG as ship fuel, latest developments and projects in the LNG industry
- DNV-GL, (2014), LNG as ship fuel, the future – today
- EMSA, (2018), Guidance on LNG Bunkering to port authorities and administrations
- European Commission, (2015), Study on the completion of an EU framework on LNG-fuelled ships and its relevant fuel provision infrastructure, Analysis of the LNG market development in the EU
- Fernandez, Gomez, Insua, (2017), Review of propulsion systems on LNG carriers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67(2017), 1395-1411
- Gas Strategies, (2019), LNG outlook 2019 breakthrough year?
- GIE, (2018), small – scale database 2018

H. Thomson, J.J. Carbett, J.I. Winebrake, (2015), Natural Gas as a marine fuel, Energy Policy, 87(2015), 153-167

IEA, (2016), Energy and air pollution, world energy outlook special report

IMO, (2016), Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping

IMO, (2014), Third IMO Greenhouse Gas study 2014

IMO, (2009), Second IMO GHG study 2009

International Gas Union, (2019), 2019 world LNG report

International Gas Union, (2019), Sustainable future powered by gas

International Gas Union, (2019), Wholesale gas price survey 2019 edition, A global review of price formation mechanisms 2005 to 2019

International Gas Union, (2018), Global gas report 2018

International Gas Union, (2017), Enabling clean maritime transport

International Gas Union, (2015), LNG as Fuel

International Gas Union, (2015), Small scale LNG

Jack Sharples, (2019), LNG supply chain and the development of LNG as a shipping fuel in Northern Europe, OIES working paper No. 140, Oxford

King & Spalding, (2018), LNG in Europe 2018, An overview of LNG import terminals in Europe

Le Fevre, (2018), A review of demand prospects for LNG as a marine transport fuel, OIES paper 133, Oxford

Li Jianhua, Huang Zhenghua, (2012), Fire and explosion risk analysis and evaluation for LNG ships, Procedia Engineering, 45(2012), 70-76

Lloyds Register, (2012), LNG – fueled deep sea shipping, the outlook for LNG bunker and LNG – fueled newbuild demand up to 2025

Maglog, (2008), Maritime gas fuel logistics, Developing LNG as a clean fuel for ships in the Baltic and North seas

Maxwell D., Zhen Zhu, (2011), Natural gas prices. LNG transport costs and the dynamics of LNG imports, Energy Economics, 33, 217-226

MedReg, (2017), Gas infrastructure map of the Mediterranean region

M.R. Zoolfakar, R. Norman, E. Meshani, W.M. Dahalan, M.K. Puteri Zarina, (2014), Holistic study of liquefied natural gas carrier systems, Procedia Computer Science, 36(2014), 440-445

O.schinas, M.Butler, (2016), Feasibility and commercial considerations of LNG – fueled ships, Ocean Engineering, 122(2016), 84-96

PWE, (2017), Small going big: why small-scale LNG may be the next big way

Satish Kumar, Hyouk-Tae Kwon, Kwang – Ho Choi, Jae Hyun Cho, Wonsub Lim, Il Moon, (2011), Current status and future projections of LNG demand and supplies: A global prospective, Energy Policy, 39(2011), 4097-4104

Shi Xunpeng, (2016), Gas and LNG pricing and trading hub in East Asia: An introduction, Natural Gas Industry, 352-356

SIGTTO, 2016, Liquefied gas handling principles on ships and in terminals, (LGHP4) 4th edition

SIGTTO, 2000, Liquefied gas handling principles on ships and in terminals, MC Guire and White, Third edition

U.S. Commodity future trading commission, (2018), Liquefied Natural Gas developments and market impacts

Vilda Giziene, Lina Zalgiryte, (2015), The assessment of natural gas pricing, Procedia-social and behavioral sciences, 213(2015), 111-116

Wang, Notteboom, (2014). The adoption of liquefied natural gas as a ship fuel: A systematic review of perspectives and challenges, Transport Review, vol.34, No.6, 749-774

Wartsila, (2018), Developers guide to small-scale LNG terminals

Διαδικτυακές πηγές

<https://www.tradewindsnews.com/weekly/769623/mol-outlines-lessons-learned-from-lng-ship-cargo-release>

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-08948-5_3

https://marinechemistassociation.com/02%20MCA%20FCLC%20LNG%20Properties_Characteristics.pdf

https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_home

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=5930>

<https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/lng-value-chain-optimisation-case-myanmar>

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35072>

<https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/boil-off-gas-handling-onboard-lng-fuelled-ships>

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)---Regulation-14.aspx)

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx)

http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Res_MEPC_286%2871%29_Tier%20III%20ECA%20and%20BDN.pdf

<https://www.reuters.com/article/us-shipping-fuel-lng-analysis/new-fuel-rules-push-shipowners-to-go-green-with-lng-idUSKBN1L01I8>

<https://www.maritime-executive.com/article/lng-powered-cruise-ships-lead-the-way>

<https://www.lngworldnews.com/cma-cgm-to-take-delivery-of-20-lng-powered-vessels-by-2022/>

<https://www.naftikachronika.gr/2019/07/13/kerdizei-edafos-to-lng-os-kafsimo/>

<https://safety4sea.com/number-of-ships-using-lng-scrubbers-to-increase-from-2020/>

<https://knect365.com/energy/article/7b4f6e2b-f2fc-49eb-823d-f6672b1dcdff0/the-world-is-going->

<http://www.lngbunkering.org/lng/ports/lng-bunker-infrastructure>

<https://www.kathimerini.gr/1002879/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/ef8ase-to-prwto-fortio-amerikanikoy-lng-sthn-ellada>

<https://poseidonmedii.eu/editor/upload/desfa.pdf>

<http://www.gastrade.gr/en/the-company/the-project.aspx>

