



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΟΙΚΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση και τεχνική ανάλυση των απαιτούμενων
παραμέτρων και υποδομών για την εγκατάσταση
τερματικών σταθμών ανεφοδιασμού Υγροποιημένου
Φυσικού Αερίου σε λιμένες

Παπασταμάτη Ιωάννα-Μαρία

Επιβλέπων καθηγητής: Παπαευθυμίου Σπυρίδων

ΧΑΝΙΑ, 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν στον ιδιαίτερα ενδιαφέρον και πολυμορφικό κλάδο των Συστημάτων Παραγωγής, κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο σχετικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Ιδιαίτερως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδωνα, για τις πολύτιμες και καθοριστικές οδηγίες και συμβουλές που μου προσέφερε έτσι ώστε να ολοκληρώσω με επιτυχία την διπλωματική μου εργασία. Θερμές ευχαριστίες στα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής τον κ. Κονσολάκη Μιχαήλ καθώς και τον κ. Πουλιέζο Αναστάσιο.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες στην οικογένεια μου, όπου με την αμέριστη συμπαράσταση και αρωγή της συνέβαλε στην προσπάθεια μου να φέρω εις πέρας την Διπλωματική μου Εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η παρουσίαση των τεχνικών προϋποθέσεων που απαιτούνται για τη δημιουργία εγκαταστάσεων σταθμών ανεφοδιασμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) σε λιμένες.

Αρχικά, στην εν λόγω εργασία, αποτυπώνεται η περιβαλλοντική σημασία της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η εφαρμογή και η σκοπιμότητα χρήσης αυτού στην Ελληνική Ακτοπλοΐα. Ακολουθεί η παρουσίαση των απαιτούμενων εγκαταστάσεων διαχείρισής του LNG. Έπειτα, περιγράφονται οι αναγκαίες ρυθμίσεις που θα καταστήσουν το LNG διαθέσιμο προς εφοδιασμό στα πλοία και η λειτουργία εφοδιασμού από την προέλευση του προϊόντος μέχρι την τελική διάθεση του στα πλοία. Η περιβαλλοντική νομοθεσία στην παγκόσμια αλλά και στην ελληνική ναυτιλία είναι αυτή καθορίζει τα πλαίσια μέσα στα οποία μπορούν να κινηθούν οι ναυτιλιακές.

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται μια οικονομική προσέγγιση της χρήσης LNG, περιγράφοντας το ρόλο που διαδραματίζουν οι μακροχρόνιες συμβάσεις και η μορφή του εμπορίου στον καθορισμό της τιμής του LNG. Αναδεικνύεται ότι οι δείκτες κόστους καθώς και η ανάπτυξη του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου πρόωσης εξαρτώνται από συγκεκριμένες αποφάσεις και συνθήκες.

Τέλος, αξιολογούνται οι τεχνικές υποδομές και οι σχετικές δραστηριότητες του λιμένα Ηρακλείου, διερευνάται ο πιθανός ρόλος του σε δημιουργία εγκαταστάσεων LNG στη νότια Ελλάδα (κυρίως σε ότι αφορά στον ανεφοδιασμό πλοίων με LNG) και παρουσιάζονται τα βήματα και οι κυριότερες δυσκολίες προς την υλοποίηση ενός τέτοιου στόχου.

ABSTRACT

The subject of this thesis is to present the technical conditions necessary for creating stations of supplementation of Liquefied Natural Gas (LNG) in ports.

Initially, in this work, the environmental importance of the use of liquefied natural gas is reflected, and then the application and the feasibility of its use in the Greek domestic market is analyzed. In addition, the required installations for the management of LNG are presented. Moreover, the necessary arrangements to make the LNG supply available to ships and the supply function from the product's origin to final disposal of the ships are described. The environmental legislation in both worldwide and Greek shipping is what defines the framework within maritime companies can move.

Then, an economic approach to LNG use is made, describing the role of long-term contracts and the pattern of trade in determining the price of LNG. It highlights that the cost indicators and the development of LNG as a marine propulsion fuel depend on specific decisions and conditions.

Finally, the technical infrastructure and the related activities of Heraklion port are evaluated, investigating its potential role in creating LNG plant in southern Greece (mainly in terms of a LNG ship refueling depot) and presenting the steps and the main difficulties in the implementation of such an objective.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΔΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	9
Γενικά χαρακτηριστικά του LNG.....	9
1.1 Φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες του LNG.....	9
1.3 Η σημασία του LNG στη ναυτιλία.....	14
1.4 Χρήση του LNG ως καυσίμου πρόωσης στην ακτοπλοΐα	16
1.5 Χρήση του LNG ως καυσίμου πρόωσης στην ελληνική ακτοπλοΐα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	22
LNG – Εγκαταστάσεις	22
2.1 Παραγωγή-Εξόρυξη.....	22
2.2 Σύστημα Αγωγών	24
2.3 Καθαρισμός-Υγροποίηση-Εγκαταστάσεις.....	24
2.3.1 Σχετικά με τα πλοία LNG	24
2.4 Μεταφορά – LNG carrier.....	28
2.5 Εγκαταστάσεις αποθήκευσης-Πετρέλευση	28
2.5.1 Δυνατότητες παροχής ανεφοδιασμού με LNG σε πλοία (LNG fuel bunkering) των λιμένων.....	29
2.5.2 Boil-off	33
2.6 Αποθήκευση και καύση του LNG εν πλω	37
2.7 Συνδυασμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση αποβλήτων χαμηλής θερμοκρασίας.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	43
Περιβαλλοντική νομοθεσία στη ναυτιλία.....	43

3.1 Νομοθετικό πλαίσιο σε παγκόσμιο επίπεδο για τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων στη ναυτιλία	43
3.2 Πρότυπα ασφαλείας (SOLAS)	46
3.3 Περιβαλλοντικά πρότυπα (MARPOL 73/78)	48
3.4 Ελληνική νομοθεσία για τη χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο	52
3.5 Ρυθμιστικό πλαίσιο	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	61
Οικονομική προσέγγιση της χρήσης LNG	61
4.1 Συμβατικές ρυθμίσεις και η τιμή του LNG	64
4.1.1 Η μορφή του εμπορίου – Μακροχρόνιες συμβάσεις.....	64
4.1.2 Ευρωπαϊκές τιμές Φυσικού Αερίου	66
4.1.3 Η ανάγκη για πρόσβαση τρίτων μερών	69
4.2 Εκτιμήσεις της τιμής του που παρέχεται ως καύσιμο για τα πλοία.....	70
4.2.1 Προσδιοριστικοί παράγοντες του κόστους προμήθειας LNG.....	71
4.3 Το PLNG ως οικονομικότερη λύση	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Δυνατότητες κατασκευής νέων τερματικών σταθμών LNG	78
5.1 Ο ρόλος των λιμενικών αρχών.....	78
5.2 Ανάπτυξη υποδομών για τον ανεφοδιασμό LNG	82
5.3 Τερματικός σταθμός LNG στο λιμάνι ανεφοδιασμού	86
5.3.1 Λειτουργίες ενός τερματικού σταθμού LNG στο λιμάνι ανεφοδιασμού	87
5.3.2 Επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας τερματικού σταθμού LNG	88
5.3.3 Παραλαβή και παράδοση LNG σε τερματικό σταθμό	89
5.3.4 Δεξαμενές αποθήκευσης	91
5.4 Ανάλυση κινδύνου και σχεδιασμός χρήσης γης.....	93
5.4.1 Προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου.....	94
5.4.2 Ανάλυση συνεπειών	95
5.4.3 Ευαισθησία.....	97
5.4.4 Ανάλυση συχνότητας.....	99
5.5 Παράδειγμα επιλογής κατάλληλης τοποθεσίας για εγκατάσταση τερματικού σταθμού LNG	100
5.6 Λιμένας Ηρακλείου.....	103
5.6.1. Υφιστάμενες υποδομές του λιμένα	103
5.6.2 Πιθανή δημιουργία εγκαταστάσεων LNG.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	109

Συμπεράσματα.....	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ενδεικτικές Εκπομπές στην ατμόσφαιρα από πλοία (Οι εκπομπές σχετίζονται με την απόδοση του κινητήρα σε KWh και ποικίλλουν ανάλογα με την ποιότητα των καυσίμων και τον τύπο του κινητήρα).	10
Πίνακας 2. Αποτελέσματα υπολογισμών για τον προτεινόμενο συνδυασμένο κύκλο W_{T1} [Work ammonia turbine], W_{T2} [Work LNG turbine], W_{CC} [Work Combined power Cycle], η_1 [net electrical efficiency of combined cycle], η_2 [exergy efficiency of combined cycle], η_{wh} [waste heat recovery efficiency], m_{CG} [mass flow rate city gas], T_{cg} [temperature city gas] [11].	42
Πίνακας 3. Διεθνής νομοθεσία για τη εφαρμογή του LNG στη ναυτιλία [8]...	45
Πίνακας 4. Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) για διαφορετικές περιοχές της ονομαστικής συχνότητας περιστροφής n του κινητήρα σε RPM [12]	49
Πίνακας 5. Γενικές πληροφορίες για τα οκτώ ευρωπαϊκά λιμάνια [21]	83
Πίνακας 6. Η ανάπτυξη των υποδομών ανεφοδιασμού LNG στα οκτώ ευρωπαϊκά λιμάνια [21]	85
Πίνακας 7. Συνθήκες Λειτουργίας για τις κρίσιμες περιοχές [26]	95
Πίνακας 8. Μέγεθος οπής για τον υπολογισμό του ρυθμού εκροής [26]	97
Πίνακας 9. Συχνότητες αποτυχίας (frequency failure) [26]	99
Πίνακας 10. Πιθανότητες ανάφλεξης [26]	100
Πίνακας 11. Υποδομές λιμένος Ηρακλείου [8]	107

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΔΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Αύξηση παγκόσμιας ζήτησης LNG [6]	14
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα κύκλου ζωής LNG [1]	23
Διάγραμμα 3. Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών NO_x συναρτήσει του ονομαστικού αριθμού στροφών του κινητήρα σύμφωνα με Tier I, II, III του IMO [12]	50
Διάγραμμα 4. MARPOL Παράρτημα VI και Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τα όρια του θείου [8]	52
Διάγραμμα 5. Απαιτούμενο EEDI κατά των υφιστάμενων και των προτεινόμενων γραμμών αναφοράς [13]	56
Διάγραμμα 6. Η εξέλιξη του κόστους της αξιακής αλυσίδας του LNG [2]	63
Διάγραμμα 7. Σύγκριση των τιμών των Ευρωπαϊκών μακροπρόθεσμων συμβάσεων αερίου, 2002-2004 [2]	68
Διάγραμμα 8. Κόστος κύκλου ζωής (LCC) της αλυσίδας εφοδιασμού [17].	75
Διάγραμμα 9. Εκτιμώμενη μέγιστη απόσταση μεταφοράς για την αλυσίδα εφοδιασμού PLNG [17]	76

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Οι παρούσες και οι πιθανές μελλοντικές ECA [1]	16
Εικόνα 2. Παράδειγμα LNG carrier A. Moss sphere design B. Membrane design	26
Εικόνα 3. Παράδειγμα LNG carrier τύπου C [7]	27
Εικόνα 4. Μεταφορά θερμότητας εξαιτίας του boil-off [7]	33
Εικόνα 5. Σύστημα επανυγροποίησης Moss Maritime / Hamworthy	36
Εικόνα 6. Σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου συνδυασμένου κύκλου ισχύος. Α. βασικό διάλυμα αμμωνίας-νερού, Β. ατμός αμμωνίας, C. αραιό διάλυμα αμμωνίας – νερού , CP. αντλία συμπύκνωσης, FP. αντλία τροφοδοσίας, ΗΧ. εναλλάκτης θερμότητας, LP. αντλία LNG, T1. στρόβιλος αμμωνίας, T2. στρόβιλος LNG, TV. ρυθμιστική βαλβίδα.....	41
Εικόνα 7. Τερματικός Σταθμός LNG στο Mosjoen της Νορβηγίας(5x683m ³ δεξαμενές συμπίεσης) [23].....	91
Εικόνα 8. Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές LNG, χωρητικότητας 4000m ³ και 2000 m ³ αντίστοιχα, στην πόλη Kollsnes της Νορβηγίας [23]	92
Εικόνα 9. Αλγόριθμος υπολογισμού κινδύνου ατυχήματος σε εγκατάσταση LNG [26]	94
Εικόνα 10. Απλοποιημένο «δέντρο» περιστατικών LNG [26].....	99
Εικόνα 11. Υποψήφιες περιοχές της Μπαϊά Μπλάνκα για εκταταστάσεις LNG [26].....	101
Εικόνα 12 . Καμπύλες κινδύνου στο λιμάνι Rosales [26]	102
Εικόνα 13. Καμπύλες κινδύνου στο λιμάνι Cuatrerros [26].....	102
Εικόνα 14. Γενική άποψη του Ενετικού λιμανιού: 1. Κούλες, από όπου ξεκινά ο λιμενοβραχίονας, 2. Τα νεώρια, 3. Η μαρίνα, 4. Πρόσβαση προς το κέντρο της πόλης [8].....	104
Εικόνα 15. Πανοραμική εικόνα του λιμένα Ηρακλείου	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Γενικά χαρακτηριστικά του LNG

Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται περιγραφή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του υγροποιημένου φυσικού αερίου, αναφέρονται οι λόγοι για τους οποίους χαρακτηρίζεται περιβαλλοντικά φιλικό και αναλύεται η σημασία του στην ναυτιλία. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται η πορεία του με το πέρασμα των χρόνων αλλά και το σχετικά πρόσφατο ενδιαφέρον που αναπτύχθηκε για τη χρήση του ως καύσιμο πρόωσης.

1.1 Φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες του LNG

Το φυσικό αέριο είναι ένα καύσιμο μείγμα από αέριους υδρογονάνθρακες με κύριο εκπρόσωπο το μεθάνιο. Περιλαμβάνονται όμως και το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο και το πεντάνιο. Το φυσικό αέριο θεωρείται περιβαλλοντικά φιλικό λόγω της μικρής σχετικής περιεκτικότητας του σε άνθρακα. Σήμερα ικανοποιεί το 25% των αναγκών σε ενέργεια παγκοσμίως και χρησιμοποιείται για θέρμανση αλλά και για τις μετακινήσεις στη ξηρά. Η τάση αυτή μεταδίδεται και στις θαλάσσιες μεταφορές. Η επιστήμη της κρυογονικής επιτρέπει την μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) [1]. Είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό. Το φυσικό αέριο υγροποιείται με πίεση κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση και ψύξη στους -161°C περίπου. Κατά την διαδικασία υγροποίησης απαιτείται προ-επεξεργασία για την αφαίρεση των προσμίξεων όπως νερό, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο και άλλες ενώσεις του θείου. Απομακρύνοντας αυτές τις προσμίξεις, δεν μπορεί να δημιουργηθούν στερεές ουσίες με την ψύξη του φυσικού αερίου. Σαν

αποτέλεσμα, το LNG περιέχει κυρίως μεθάνιο. Επιπροσθέτως, το LNG (και το φυσικό αέριο γενικότερα) είναι το φιλικότερο προς περιβάλλον καύσιμο σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο, κάτι το οποίο αποδεικνύεται και στον παρακάτω Πίνακα 1 στον οποίο συγκρίνονται οι εκπομπές από καύσιμο LNG σε σχέση με τα υγρά προϊόντα πετρελαίου.

Τύπος Καυσίμου	SO _x (g/KWh)	NO _x (g/KWh)	CO ₂ (g/KWh)
Πετρέλαιο Ντίζελ	2	8-11	580-630
Βενζίνη	0,4	8-11	580-630
Φυσικό Αέριο	0	2	430-480

Πίνακας 1. Ενδεικτικές Εκπομπές στην ατμόσφαιρα από πλοία (Οι εκπομπές σχετίζονται με την απόδοση του κινητήρα σε KWh και ποικίλλουν ανάλογα με την ποιότητα των καυσίμων και τον τύπο του κινητήρα).

Το LNG, του οποίου το κύριο συστατικό είναι το Μεθάνιο(CH₄), είναι ένα μόριο με απλή δομή το οποίο κατά την καύση του παράγει λιγότερες CO₂ εκπομπές σε σύγκριση με τα περισσότερα περίπλοκα μόρια που δομούν τα άλλα υγρά καύσιμα όπως το ντίζελ. Επιπροσθέτως, η απλότητα των συστατικών μορίων και η μη περιεκτικότητα σε θείο στο φυσικό αέριο, έχει ως αποτέλεσμα την μη εκπομπή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο ένα περιβαλλοντικό μειονέκτημα της χρήσης του φυσικού αερίου είναι ότι κατά την καύση του έχει την τάση να παράγει αρκετά υψηλό ποσοστό υδρογονανθράκων το οποίο εξέρχεται από την εξάτμιση του κινητήρα, γεγονός το οποίο αντισταθμίζεται με τα χαμηλότερα ποσοστά εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπως προαναφέρθηκε. Πάντως, εκτιμάται ότι η αντικατάσταση του πετρελαίου με τη χρήση του καυσίμου LNG στα πλοία θα επηρεάσει θετικά και θα ωφελήσει το παγκόσμιο κλίμα σε ποσοστό 0%-15% [2].

Η πυκνότητα του LNG είναι περίπου 467 γραμμάρια ανά λίτρο, μικρότερη σε σύγκριση με την πυκνότητα του νερού, (η οποία είναι περίπου 994 γραμμάρια ανά λίτρο). Έτσι, αν το LNG χυθεί στο νερό, επιπλέει και εξατμίζεται γιατί είναι ελαφρύτερο από το νερό. Οι ατμοί LNG από την εξάτμιση είναι εύφλεκτοι και μπορεί να δημιουργήσουν έκρηξη κάτω από ορισμένες συνθήκες. Οι ατμοί LNG γίνονται εύφλεκτοι όταν η συγκέντρωσή τους στον αέρα είναι μεταξύ 5% και

15% (κατ' όγκο αέρα). Όταν η συγκέντρωση ατμών LNG στο αέρα υπερβαίνει το 15%, τότε δεν είναι εύφλεκτοι, επειδή υπάρχει λίγο οξυγόνο. Όταν η συγκέντρωση ατμών LNG στον αέρα είναι κάτω από το 5% (τότε δε γίνεται να καούν, γιατί είναι πολύ λίγο το φυσικό αέριο).

Ο συχνότερα αναμενόμενος κίνδυνος ανάφλεξης είναι από φλόγες ή σπινθήρες. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα εύφλεκτο αέριο (ατμός) αναφλέγεται αυτόματα, χωρίς μια πηγή ανάφλεξης (π.χ. σπινθήρα), μετά από μερικά λεπτά έκθεσης στη θερμότητα. Για τους ατμούς μεθανίου που προέρχονται από την εξάτμιση του LNG, με αναλογία μεθανίου - αέρα περίπου στο 10% (περίπου στο μέσο του 5-15% εύρους αναφλεξιμότητας), η θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης είναι πάνω από 540° C.

Το φυσικό αέριο είναι ένα εξαιρετικό καύσιμο για τις μηχανές εσωτερικής καύσης, κυρίως λόγω διάφορων ιδιοτήτων του, το οποίο καθιστά δυνατό το σχεδιασμό κινητήρων με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλές εκπομπές αερίων. Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά της χρήσης του LNG ως καύσιμο πρόωσης για τα πλοία είναι:

- Το υψηλό ποσοστό μεθανίου το οποίο επιτρέπει υψηλή αναλογία ισχύος της μηχανής.
- Η εύκολη ανάμειξη με τον αέρα έτσι ώστε να αποφεύγονται οι υψηλές θερμοκρασίες και οι πιέσεις κατά τη διάρκεια της καύσης με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές NO_x μέχρι και 90% σε σύγκριση με το πετρέλαιο ντίζελ. Επιπροσθέτως με τη χρήση LNG επιτυγχάνουμε υψηλή αποδοτικότητα.
- Δεν περιέχει θείο και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν εκπομπές SO_x και άλλων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Προς το παρόν, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία υπολογίζονται γύρω στο 1 δις τόνους κάθε χρόνο. Αυτές συνεπώς αποτελούν το 3% του παγκόσμιου συνόλου και το 4% των συνολικών ευρωπαϊκών εκπομπών. Μέχρι το 2050, οι εκπομπές από τη ναυτιλιακή βιομηχανία αναμένεται να διπλασιαστούν αν δεν ληφθεί κανένα μέτρο για την μείωση τους. Ακόμα, η διαθεσιμότητα των ορυκτών

καυσίμων, τα κόστη τους και η ενεργειακή ασφάλεια είναι θέματα που απασχολούν [3].

Το LNG χρησιμοποιείται εδώ και μερικά χρόνια στη Νορβηγία ως μέσο πρόωσης για ένα μικρό αλλά αυξανόμενο αριθμό πλοίων της ακτοπλοΐας, σκαφών ανοικτής θαλάσσης καθώς και τριών σκαφών της Ακτοφυλακής. Η χρήση του LNG έχει περιβαλλοντικά οφέλη που είναι ανώτερα από οποιοδήποτε άλλο υγρό καύσιμο πετρελαίου.

Οι κανονισμοί και τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί στη Νορβηγία για ασφαλή εγκατάσταση των συστημάτων πρόωσης των πλοίων LNG, είναι παρόμοιοι με τους κανονισμούς που αναπτύσσονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Μέχρι στιγμής, είναι εξαιρετική η λειτουργία των πλοίων στη Νορβηγία που χρησιμοποιούν ως μέσο πρόωσης το LNG.

Η ανάπτυξη του LNG ως καθαρού καυσίμου για τα πλοία θα πρέπει να συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και κόστος. Παράλληλα, ενώ η χρήση του LNG έχει αρχίσει να εδραιώνεται, ιδιαίτερα στη Νορβηγία, ωστόσο, κοστίζει περισσότερο και απαιτεί διαφορετικές εγκαταστάσεις από τις συμβατικές εγκαταστάσεις πετρελαίου. Κατόπιν τούτου, η εισαγωγή του LNG ως καυσίμου πρόωσης για τα πλοία στοχεύει σε συγκεκριμένους τομείς της ναυτιλίας καθώς και σε συγκεκριμένα λιμάνια.

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

1. να εξασφαλιστεί ότι το αέριο που διανέμεται είναι μη διαβρωτικό και μη τοξικό, και το περιεχόμενό του βρίσκεται κάτω από τα ανώτερα όρια σε H_2S [υδροθείο], ολικό θείο, CO_2 [διοξείδιο του άνθρακα] και Hg [υδράργυρο].
2. να προφυλάξουν από το σχηματισμό των υγρών στα δίκτυα, μέσω των μέγιστων σημείων του νερού και των υδρογονανθράκων.
3. να επιτρέψει τη δυνατότητα υποκατάστασης των διανεμηθέντων αερίων, μέσω ορίων στο εύρος διακύμανσης για τις παραμέτρους που επηρεάζουν

την καύση: περιεκτικότητα σε αδρανή αέρια, θερμιδική αξία, ο δείκτης Wobbe, ο συντελεστής ατελούς καύσης κλπ.

Στην περίπτωση των off-spec αερίων (διοξειδίου του άνθρακα και νίτρο, αερίων που μειώνουν την ενεργειακή απόδοση του μεθανίου) στο φυσικό αέριο ή LNG ο αγοραστής μπορεί να αρνηθεί να δεχθεί το φυσικό αέριο ή το LNG και ο πωλητής πρέπει να πληρώσει αποζημίωση για τις αντίστοιχες off-spec ποσότητες φυσικού αερίου. Η ποιότητα του αερίου ή υγροποιημένου φυσικού αερίου μετράται στο σημείο παράδοσης, χρησιμοποιώντας ένα όργανο, όπως ο χρωματογράφος αερίων [4].

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

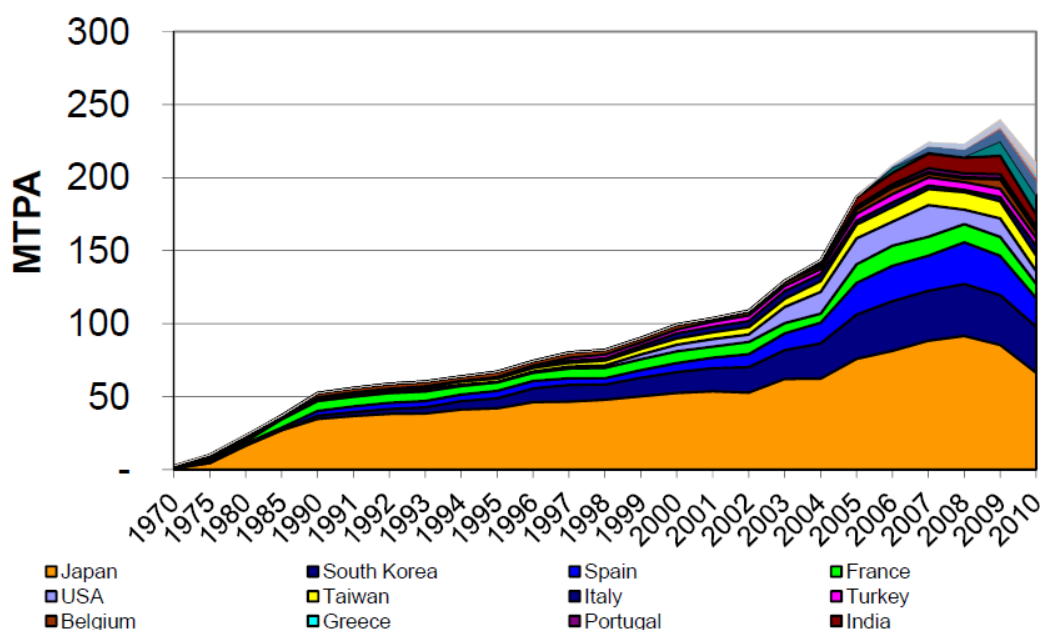
- Ασία (Ιαπωνία, Κορέα, Ταϊβάν), όπου το αέριο που διανέμεται είναι πλούσιο, με GCV υψηλότερο από 43 MJ/m^3 (n), δηλαδή 1.090 Btu / scf .
- Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ, όπου το αέριο που διανέμεται είναι φτωχό, με χαμηλότερο συνήθως GCV από 42 MJ/m^3 (n), δηλαδή 1.065 Btu / scf .
- Ηπειρωτική Ευρώπη, όπου το αποδεκτό εύρος GCV είναι αρκετά μεγάλο: περίπου. 39 έως 46 MJ/m^3 (n), δηλ. 990 με 1160 Btu / scf .

Υπάρχουν, επίσης, ορισμένες μέθοδοι τροποποίησης της θερμαντικής αξίας του παραγόμενου LNG στο επιθυμητό επίπεδο. Για το σκοπό της αύξησης της θερμαντικής αξίας, η προσθήκη προπάνιου και βουτανίου αποτελεί μια λύση. Για το σκοπό της μείωσης της θερμαντικής αξίας, η προσθήκη αζώτου και η αφαίρεση βουτανίου και προπάνιου είναι απαραίτητη διαδικασία. Η ανάμειξη με φυσικό αέριο ή υγροποιημένο αέριο είναι άλλη μία μέθοδος. Ωστόσο, όλες

αυτές οι μέθοδοι, ενώ είναι θεωρητικά βιώσιμες, μπορούν να είναι δαπανηρές και η διαχείρισή τους σε μεγάλη κλίμακα δύσκολη [4].

1.3 Η σημασία του LNG στη ναυτιλία

Το LNG μεταφέρεται στη θάλασσα σε ειδικά σκάφη που ονομάζονται LNG-φορείς (LNG-carriers). Τα πλοία LNG ή φορείς, παρέχουν τον κρίκο στην αλυσίδα LNG μεταξύ των τερματικών σταθμών όπου το φυσικό αέριο υγροποιείται και όπου μπορεί να επαναεριοποιείται. Τα πλοία LNG επιτρέπουν σε μεγάλες ποσότητες καθαρής ενέργειας φυσικού αερίου να μεταφερθούν στον καταναλωτή σε μεγάλες αποστάσεις από το σταθμό υγροποίησης LNG. Το LNG παραδίδεται στους θαλάσσιους τερματικούς σταθμούς εισαγωγής όπου θερμαίνεται και μετατρέπεται ξανά σε αέριο, μέσα από μια διαδικασία επαναεριοποίησης, πριν παραδοθεί στο δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου. Το LNG μπορεί επίσης να διανέμεται στους καταναλωτές σε βυτιοφόρα οχήματα δρόμου [5].



Διάγραμμα 1. Αύξηση παγκόσμιας ζήτησης LNG [6]

Το πρώτο LNG-φορτίο παραδόθηκε το 1959 στο λιμάνι του Ηνωμένου Βασιλείου. Από τότε, η αγορά έχει γνώρισε πολύ μεγάλη ανάπτυξη. Το 2013, 237 εκατομμύρια τόνοι (MT) LNG διακινήθηκαν, 104 τερματικοί σταθμοί

λειτουργούσαν σε 29 χώρες εισαγωγής με 721 (MT) / έτος ικανότητα και 86 τρένα υγροποίησης ήταν σε λειτουργία σε 17 χώρες εξαγωγής με 286 (MT) / έτος ικανότητα [7]. Πάνω από 1.500 πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου λειτουργούν σε όλο τον κόσμο, τα περισσότερα εκ των οποίων είναι πλοία μεταφοράς υγραερίου(LPG). Υπάρχουν περίπου 320 πλοία LNG που συμμετέχουν σήμερα στο παγκόσμιο εμπόριο. Συγκριτικά, υπάρχουν περίπου 12.000 πετρελαιοφόρα από τα οποία περίπου 800 είναι πολύ μεγάλα πετρελαιοφόρα (VLCC 's) [5].

Η ζήτηση για LNG θα συνεχίσει να αυξάνεται, όχι τόσο για οικονομικούς λόγους, αλλά κυρίως για πολιτικούς λόγους. Η Ευρώπη είναι πρόθυμη να διαφοροποιήσει τον ενεργειακό εφοδιασμό της, και το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι μια επιλογή. Μια σειρά από νέα έργα επαναεριοποίησης πραγματοποιούνται αυτή τη στιγμή στην Ανατολική Ευρώπη, προκειμένου να καλύψουν τη ζήτηση ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει ένα επιπλέον κέρδος για τους πλοιοκτήτες σε περιόδους πολιτικής κρίσης. Κατά τα τελευταία χρόνια, το LNG θεωρείται ως πιθανό καύσιμο πλοίων λόγω της νέας νομοθεσίας για τις εκπομπές θείου στα πλοία. Το 2005, η Anex VI του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) θέσπισε τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) προκειμένου να περιορίσει τις αρνητικές συνέπειες της ρύπανσης. Ήταν υποχρεωτικό να συγκρατήσει τις εκπομπές θείου σε 4,5% σε παγκόσμιο επίπεδο. Από το 2012, ο περιορισμός μειώθηκε στο 3,5%. Το επόμενο βήμα είναι να περιορίσει τις εκπομπές θείου σε 0,5% το 2020, με πιθανή επέκταση στο 2025. Στις λεγόμενες Περιοχές Ελέγχου των Εκπομπών Θείου (SECA) οι εκπομπές του θείου πρέπει να είναι μικρότερες του 1,5% από το 2000, 1% από το 2010 και από το 2015 στο 0,1%. Οι SECAs περιλαμβάνουν περιοχές σημαντικές για τη ναυτιλία, όπως τη Βαλτική Θάλασσα και τη Βόρεια Θάλασσα. Από το 2011 η SECA έγινε Βόρειας Αμερικής (ΗΠΑ και Καναδάς) και το 2013 ΗΠΑ Καραϊβικής. Μπορεί επίσης να επεκταθεί σε περιοχές όπως η Μεσόγειος, τα λιμάνια της Μέσης Ανατολής και τα λιμάνια της Άπω Ανατολής [7]. Με την εισαγωγή των SECA ουσιαστικά εισάγεται ένας έλεγχος και στην εκπομπή των PM αφού αυτά είναι σε άμεση συνάρτηση με την παρουσία των οξειδίων του θείου. Πάντως μέχρι στιγμής δεν έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια εκπομπών

στα PM αλλά η IMO εστιάζει πρώτα και στην ακαδημαϊκή καταγραφή τους ώστε αργότερα να οριστούν συγκεκριμένα όρια [1].



Εικόνα 1. Οι παρούσες και οι πιθανές μελλοντικές ECA [1]

1.4 Χρήση του LNG ως καυσίμου πρόωσης στην ακτοπλοΐα

Γενικεύεται η στροφή προς οικονομικότερα και καθαρότερα καύσιμα στην ευρωπαϊκή ακτοπλοϊκή βιομηχανία και ειδικότερα στη χρήση του LNG ως καυσίμου πρόωσης. Τελευταίο και τρανότερο παράδειγμα η παραγγελία, αξίας 270 εκατομμυρίων ευρώ, της Brittany Ferries, στα γαλλικά ναυπηγεία της STX France για το πρώτο πολύ μεγάλο ακτοπλοϊκό πλοίο που θα χρησιμοποιεί το LNG ως καύσιμο πρόωσης και θα διεξάγει τακτικά δρομολόγια μεταξύ Βρετανίας και Ευρώπης. Ακτοπλοϊκά επιβατηγά πλοία που έχουν ως κινητήριο δύναμη το φυσικό αέριο υπάρχουν εδώ και καιρό στις βορειότερες θάλασσες, και ειδικά στις σκανδιναβικές χώρες, αλλά πλέον οι στόλοι αυτοί μεγεθύνονται με επιταχυνόμενους ρυθμούς, όπως επίσης και στόλοι με πλοία εμπορικής χρήσης στη Γερμανία, την Ολλανδία και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Αυτό συμβαίνει γιατί το LNG αναδεικνύεται ως η μοναδική βιώσιμη και εξαιρετικά προσιτή λύση στο πρόβλημα της μείωσης της εκπομπής ρύπων από τις μεταφορές, αλλά και στην ανάγκη των ναυτιλιακών επιχειρήσεων να

περιορίσουν τα κόστη τους, τα οποία σε μεγάλο βαθμό προέρχονται από τα καύσιμα. Ειδικά στην ακτοπλοΐα, ποσοστό που υπερβαίνει το 50% των λειτουργικών εξόδων αφορά σε δαπάνες καυσίμων. Έτσι, στη Νορβηγία, σημαντικός αριθμός πλοίων χρησιμοποιεί εδώ και καιρό το LNG ως καύσιμο, με τη χώρα να έχει αναπτύξει για αυτό το σκοπό τις απαραίτητες υποδομές τερματικών σταθμών LNG στα λιμάνια, για τον ανεφοδιασμό των παραπάνω πλοίων.

Παράλληλα, η ευρύτερη σκανδιναβική ακτοπλοϊκή αγορά προσανατολίζεται παρομοίως, ενώ τερματικοί σταθμοί ανεφοδιασμού πλοίων με LNG αναπτύσσονται παράλληλα με τους νέους αυτούς στόλους ανά την Ευρώπη, όπως η κοινοπραξία Aktien- Gesellschaft EMS και Bomin Linde LNG στη Γερμανία. Σημειώνεται ότι σε φιλανδικά ναυπηγεία ήδη κατασκευάζονται τα πρώτα επιβατηγά πλοία που θα χρησιμοποιούν ως καύσιμο πρόωσης το LNG. Παράλληλα, στις ΗΠΑ στοιχεία ναυλομεσιτικών οίκων δείχνουν πως υπάρχουν 42 τέτοια πλοία διαφόρων χρήσεων υπό παραγγελία.

Επιπλέον, η γαλλική παραγγελία για τον νεότευκτο πλοίο που θα παραδοθεί την άνοιξη του 2017, το οποίο θα έχει 200 μέτρα μήκος, χωρητικότητα 52.000 τόνους και επιχειρησιακή ταχύτητα 24,5 κόμβων, σηματοδοτεί την είσοδο του LNG στην «πρώτη κατηγορία» της ακτοπλοΐας.

Μια εξέλιξη που κυοφορείται και στην Ελλάδα, δεδομένης της επιτακτικής ανάγκης για μείωση του κόστους των καυσίμων, αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Κάτι που σύμφωνα με παράγοντες της αγοράς κρίνεται εφικτό χάρη στην ύπαρξη διαθεσίμων επιδοτήσεων από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τη μετατροπή ή ναυπήγηση τέτοιων πλοίων. Ένα από αυτά τα εργαλεία είναι το πρόγραμμα «Leadership 2020», το οποίο προβλέπει χρηματοδοτήσεις περιβαλλοντικά φιλικών ναυπηγικών προγραμμάτων με κεφάλαια από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων αλλά και τα κοινοτικά ταμεία. Επιπλέον, προτείνεται να δοθούν πρόσθετοι πόροι εκ των εσόδων από την εμπορία ρύπων (emissions-trading schemes) με στόχο τη μείωση των εκπομπών ρύπων, την τόνωση της ευρωπαϊκής ακτοπλοΐας και την ενίσχυση των χειμαζόμενων ευρωπαϊκών ναυπηγείων.

Σημειώνεται πως η ποντοπόρος ναυτιλία, συγκεκριμένα από το 2016 και μετά, θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους νέους πολύ αυστηρούς Κανονισμούς και προδιαγραφές εκπομπής ρύπων του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), γεγονός που οδήγησε στη χρηματοδότηση ευρύτατων ερευνών για την ανάπτυξη συστημάτων πρόωσης με καύσιμο το LNG. Μάλιστα, σημαντικός αριθμός Ελλήνων εφοπλιστών και ακόμα μεγαλύτερος Σκανδιναβών αλλά και άλλων εθνικοτήτων, έχουν ήδη προχωρήσει στην παραγγελία τέτοιων πλοίων, ήτοι πλοία που θα διαθέτουν χαρακτηριστικά σχεδιασμού, πλεύσης και κατανάλωσης καυσίμων, τα οποία θα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον, αλλά και οικονομικότερα στη λειτουργία τους.

Η Brittany Ferries και η STX France συνεργάστηκαν για δύο χρόνια σε μια μελέτη σχετικά με τη σκοπιμότητα της τροφοδοσίας ενός κρουαζιερόπλοιου με LNG. Το project είχε την κωδική ονομασία «PEGASIS» (Power Efficient GAS Innovative Ship) με την οποία αναμένεται να βαπτιστεί και το νεότευκτο πλοίο. Το «PEGASIS», που θα ναυπηγηθεί στα ναυπηγεία της STX France στο St Nazaire, θα αντικαταστήσει τη μέχρι τώρα ναυαρχίδα της Brittany Ferries. Το προαναφερθέν πλοίο αναμένεται να είναι ένα από τα μεγαλύτερα LNG πλοία στον κόσμο και σίγουρα το καθαρότερο και φιλικότερο προς το περιβάλλον στα στενά της Μάγχης, καθώς το LNG ελευθερώνει από 25% έως 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι το πετρέλαιο, ενώ η μείωση των εκπομπών λεπτών σωματιδίων φτάνει έως και το 99%. Επιπλέον, το LNG δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα και με την καύση του δεν παράγεται διοξείδιο του θείου, το οποίο ευθύνεται για το φαινόμενο της όξινης βροχής, καθώς ουσιαστικά από την καύση αυτού εκπέμπονται μόνο υδρατμοί.

1.5 Χρήση του LNG ως καυσίμου πρόωσης στην ελληνική ακτοπλοΐα

Στην Ελλάδα, το Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου επιδιώκει ήδη την άμεση εισαγωγή του φυσικού αερίου και ειδικότερα της υγροποιημένης μορφής του (LNG) στην ακτοπλοΐα το συντομότερο δυνατό, έστω και με ένα συμβολικό αριθμό πλοίων.

Διέξοδο στο ζήτημα της βιωσιμότητας του συνόλου του ελληνικού ακτοπλοϊκού κλάδου φιλοδοξεί να αποτελέσει η προσπάθεια δραστηκής αποκλιμάκωσης του κόστους των καυσίμων, που μπορεί να επιφέρει η αντικατάσταση των μηχανών των ακτοπλοϊκών πλοίων με νέες που καταναλώνουν LNG. Πόσο μάλλον καθώς έχει ήδη δρομολογηθεί η εφαρμογή αυστηρότερων κανόνων στις εκπομπές ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία αναμένεται να τεθεί σε ισχύ έως το 2020. Με τον τουρισμό στην Ελλάδα να αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της οικονομίας, και δεδομένου του νησιωτικού χαρακτήρα της χώρας, η στροφή προς αυτή την κατεύθυνση κρίνεται ως μια ώριμη και αποτελεσματική λύση. Εκεί καταλήγει κανείς, ειδικά εάν αναλογιστεί ότι ποσοστό άνω του 50% του λειτουργικού κόστους των ακτοπλοϊκών αναλώνεται στα καύσιμα και ότι οι πέντε μεγαλύτερες ακτοπλοϊκές επιχειρήσεις της χώρας έκλεισαν το οικονομικό έτος του 2012 με μεγάλο ύψος δανεισμού. Έτσι, το LNG μπορεί να αποτελέσει σημαντική «ανάσα» για την ελληνική ακτοπλοΐα, καθώς από τη χρησιμοποίηση του ως καύσιμο για την κίνηση των πλοίων τους, οι ελληνικές ναυτιλιακές εταιρίες μπορούν να επιτύχουν σημαντική μείωση των σε αυτό το πλαίσιο. Η Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου ανέλαβε πρωτοβουλία να υποβάλλει πρόταση προς χρηματοδότηση στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα TEN-T [Trans-European Transport Network] 2014, με τίτλο «Σχέδιο Ανάπτυξης Καυσίμου LNG στην Ανατολική Μεσόγειο». Το σχέδιο της πρότασης αφορά την ανάπτυξη, με χρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Προγράμματος TEN-T, νέων τεχνολογιών και μεθόδων για τη χρησιμοποίηση του LNG στη λειτουργία των θαλάσσιων μεταφορών μεταξύ των λιμένων της ηπειρωτικής περιοχής και των νησιών. Ήδη, η ναυπηγοεπισκευαστική μονάδα του Νεωρίου της Σύρου, ακτοπλοϊκές εταιρείες, εταιρείες προμήθειες LNG και σύμβουλοι έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον για συνεργασία. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από την πρόταση αυτή είναι :

- Αντιμετώπιση των σημαντικότερων προβλημάτων ακτοπλοϊκής σύνδεσης των νησιών με την ηπειρωτική χώρα και μεταξύ τους, απόρροια του υψηλού κόστους των καυσίμων τα τελευταία χρόνια.
- Μείωση «περιβαλλοντικού αποτυπώματος» σε ό,τι αφορά τις εκπομπές ρύπων από τα πλοία που αποτελεί πλέον απαίτηση σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Πολιτικής,

- Βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της Περιφέρειας σε τοπικό, εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο

Για την υλοποίηση του σχεδίου θα πρέπει να γίνουν μελέτες ως προς τη λειτουργία τερματικών σταθμών LNG στα λιμάνια πύλες και στη νησιωτική Ελλάδα καθώς και πιλοτικά προγράμματα τα οποία θα αφορούν τη μετατροπή πλοίων σε διπλού καυσίμου [Double Fuel, δηλαδή LNG/Diesel] και την ίδρυση σταθμού προμήθειας [2].

Μια ακτοπλοϊκή υπηρεσία στην Ελλάδα περιλαμβάνει τη σύνδεση, με Ε/Γ - Ο/Γ πλοία που κινούνται με την υπηρεσιακή ταχύτητα των 20 κόμβων, του Πειραιά με τη νήσο Ρόδο, μέσω των νησιών της Σύρου, Αστυπάλαιας, Νισύρου, Τήλου και Σύμης. Η διάρκεια του συνολικού ταξιδιού είναι 18,3 ώρες, διαιρεμένη σε 15,8 ώρες στη θάλασσα και 2,5 ώρες στα λιμάνια, ισοδύναμα κατανεμημένες (σε 30 λεπτά) μεταξύ των πέντε ενδιαμέσων λιμένων των νησιών. Με μια διακοπή περίπου 5,7 ωρών σε κάθε άκρο της γραμμής (δηλαδή στα κύρια λιμάνια του Πειραιά και της Ρόδου), το πλοίο κάνει καθημερινά ένα ταξίδι προς κάθε κατεύθυνση. Επομένως, αφαιρώντας τις 30 ημέρες που διαρκεί ο ετήσιος δεξαμενισμός, το εν λόγω Ε/Γ-Ο/Γ πλοίο εκτελεί 335 ταξίδια σε ένα χρόνο. Το μέγεθος του προαναφερθέντος πλοίου είναι περίπου 10.000 Gt, το ολικό μήκος του είναι ίσο με 140 m, με βασική απαίτηση ισχύος (πρόωσης) 12.000 kW, η οποία κατανέμεται εξίσου σε δύο κύριες μηχανές. Οι απαιτήσεις βοηθητικής ισχύος είναι 3500 kW και παρέχονται από τέσσερις γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο συνδυασμός των συντελεστών φορτίου της μηχανής και του τμήματος της λειτουργίας αυτής, σε κάθε φάση της δραστηριότητας της, ορίζει τον αποτελεσματικό συντελεστή φορτίου (ELF). Όταν βρίσκονται στη θάλασσα, οι κύριες μηχανές και γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν συνεχώς στο 80% και 30% του φορτίου, αντίστοιχα. Οι συντελεστές φορτίου καθώς και οι χρόνοι που εφαρμόζονται στη λειτουργία των γεννητριών ηλεκτρικού ρεύματος, σχετίζονται με τις απαιτήσεις ισχύος για τη διανυκτέρευση τού εν λόγω πλοίου στους λιμένες καθώς και στη λειτουργία της βοηθητικής προπέλας πλώρης (bow thruster) κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Επιπροσθέτως, οι κύριες μηχανές είναι απενεργοποιημένες, κατά το 80% της παραμονής του πλοίου στα κύρια λιμάνια καθώς μόνο ένα μέρος της βοηθητικής ισχύος (20%) είναι απαραίτητο

για τη λειτουργία του άφορτου πλοίου. Αντιθέτως, στα μικρότερα λιμάνια η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη λόγω της παρουσίας επιβατών και καλύπτεται από τον αυξημένο (60%) συντελεστή φορτίου των γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας [2].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

LNG – Εγκαταστάσεις

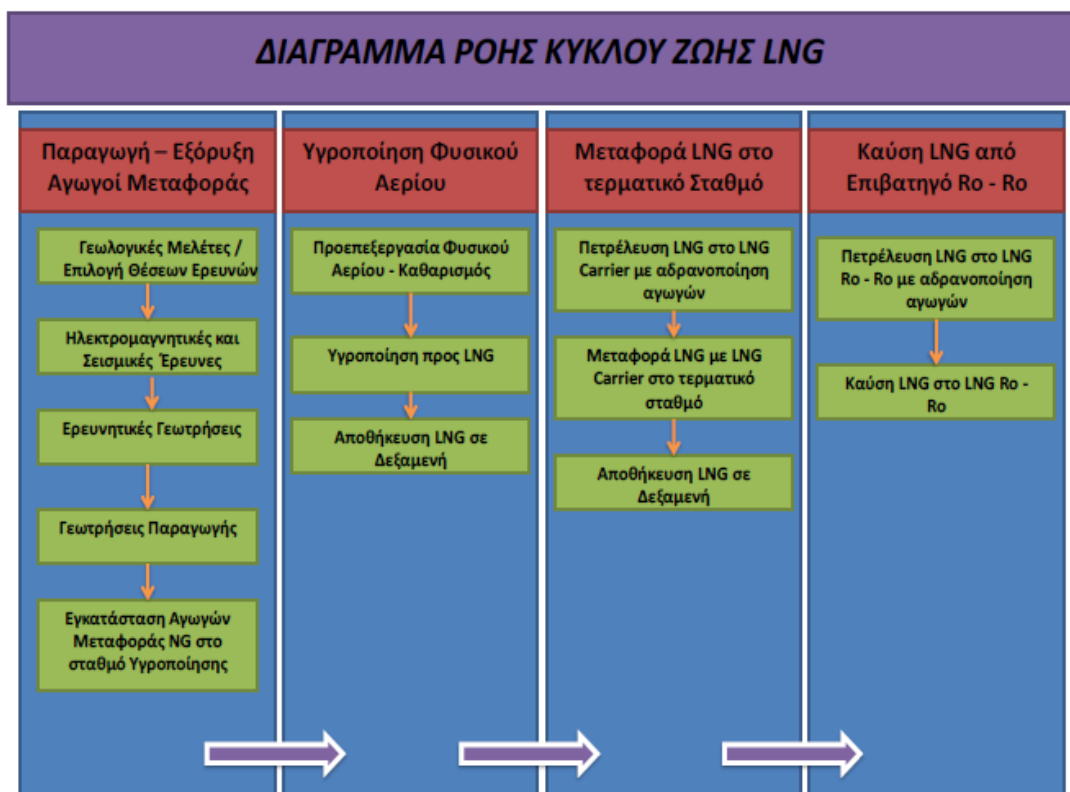
Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφεται λεπτομερώς όλη η διαδικασία της παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου από το στάδιο της εξόρυξης έως το στάδιο της αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις και τα πλοία που απαιτούνται για την επεξεργασία, μεταφορά και αποθήκευσή του.

2.1 Παραγωγή-Εξόρυξη

Η παραγωγή του φυσικού αερίου έπεται της έρευνας στους πιθανούς ταμιευτήρες κοιτασμάτων. Οι έρευνες πραγματοποιούνται με ηλεκτρομαγνητικές και σεισμικές μελέτες ενώ έπονται οι ερευνητικές γεωτρήσεις. Αν το μέγεθος του ταμιευτήρα και η ποιότητα του αερίου κριθούν ικανοποιητικά και οικονομικά αξιοποιήσιμα πραγματοποιούνται οι γεωτρήσεις παραγωγής. Γεωτρήσεις πραγματοποιούνται και για υποθαλάσσιους ταμιευτήρες ακόμα και σε περιοχές υπερπόντιες (off-shore). Σε αυτές τις περιπτώσεις ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα και ατσάλι θα διασφαλίσουν την εξόρυξη του αερίου.

Αρχικά, πριν την εξόρυξη του αερίου απαιτείται η έρευνα με σεισμικές μεθόδους για τον προσδιορισμό και αναπαράσταση της γεωλογίας. Στο θαλάσσιο περιβάλλον, ειδικής κατασκευής πλοία εκτελούν γεωφυσικές διασκοπήσεις . Όλη αυτή η διαδικασία τελεσφορεί με τη συγκέντρωση δεδομένων τα οποία αξιολογεί ο γεωφυσικός με σκοπό τη διερεύνηση για το αν απαντώνται στρώματα με συγκεκριμένη διάταξη ώστε να ευνοείται ο σχηματισμός ταμιευτήρα με παρουσία αερίου . Με την ανάλυση των δεδομένων επιλέγονται θέσεις όπου θα πραγματοποιηθούν ερευνητικές γεωτρήσεις. Μέχρι την

πραγματοποίηση των ερευνητικών γεωτρήσεων καμία οριστική απόφαση δε μπορεί να ληφθεί σχετικά με την αξιοποίηση του κοιτάσματος. Ανάλογα τη θέση και το βάθος της εξόρυξης επιλέγονται διαφορετικές μεθοδολογίες γεώτρησης. Στο φρέαρ της γεώτρησης τοποθετούνται ειδικά μηχανήματα που επιτρέπουν με ακουστικές και ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους να προσδιορίσουν τη πίεση , τη θερμοκρασία , το πορώδες , τη περιεκτικότητα σε νερό και τη διαστρωμάτωση των γεωλογικών διατάξεων. Επιπλέον συλλέγονται δείγματα εδάφους ή βράχου για περεταίρω έρευνα. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών θα καθορίσει αν το υπό έρευνα κοίτασμα είναι και εμπορικά αξιοποιήσιμο. Η επιτυχής ολοκλήρωση των ερευνητικών εργασιών επιτρέπει την κατασκευή γεώτρησης για την εξόρυξη αερίου. Η συγκεκριμένη γεώτρηση απαιτεί μία μόνιμη κατασκευή από ατσάλι η οποία αποτελεί την είσοδο των εξορυκτικών μηχανισμών. Έτσι το ατσάλειο περίβλημα προστατεύει και από τις ωθήσεις γαιών. Μεταξύ του ατσάλειου περιβλήματος και της γης παρεμβάλλεται εγχεόμενο μπετόν ώστε να αποτελέσουν ένα σώμα. Το φυσικό αέριο λόγω της πίεσης βρίσκει διέξοδο και οδηγείται στην επιφάνεια της πλατφόρμας ή σε άλλο αγωγό με σκοπό να οδηγηθεί στο σταθμό υγροποίησης.



Διάγραμμα 2. Διάγραμμα κύκλου ζωής LNG [1]

2.2 Σύστημα Αγωγών

Στη θέση εξόρυξης του φυσικού αερίου εγκαθίσταται αγωγός μεταφοράς αυτού στην εγκατάσταση προεπεξεργασίας καθαρισμού και πιθανώς υγροποίησης του. Ο αγωγός μεταφοράς είναι από χάλυβα υψηλών αντοχών, απαιτεί πολλές φορές διακρατικές συμφωνίες, ένταση κεφαλαίου και είναι αντικείμενο γεωπολιτικών συσχετισμών. Το αέριο μεταφέρεται με την επίτευξη διαφοράς πίεσης στην αρχή και στο τέλος ενώ κατά μήκος των αγωγών υπάρχουν βαλβίδες και αντλίες που διασφαλίζουν την διαφορά πίεσης καθώς αυτή μειώνεται λόγω τριβών.

2.3 Καθαρισμός-Υγροποίηση-Εγκαταστάσεις

Σε ένα σταθμό υγροποίησης λαμβάνουν χώρα δύο κύριες εργασίες. Η πρώτη εργασία είναι του καθαρισμού του φυσικού αερίου από όξινα αέρια τα οποία θα μπορούσαν να υγροποιηθούν κατά τη ψύξη του αερίου και να αποκτήσουν διαβρωτικό ρόλο στους εναλλάκτες σε συνδυασμό με ίχνη υδραργύρου. Επίσης το αέριο απαλλάσσεται από το νερό και το άζωτο. Για την αφυδάτωση χρησιμοποιείται μεθανόλη ενώ για την αποθείωση ενεργός άνθρακας και γλυκόλη. Ακολουθεί η διαδικασία της υγροποίησης όπου με συνεχή ψύξη απαλλάσσεται το φυσικό αέριο από βαρύς υδρογονάνθρακες και μετατρέπεται σε LNG σε θερμοκρασία -162°C έτοιμο για τη μεταφορά του από LNG Carriers.

2.3.1 Σχετικά με τα πλοία LNG

Το LNG μεταφέρεται με LNG carriers, πλοία ειδικής σχεδίασης, σε δεξαμενές με τοιχώματα μονωμένα όπου το LNG διατηρείται σε υγρή μορφή αυτοψυχόμενο. Αυτό πετυχαίνεται με το Boil – Off – Gas (BOG). Η μόνωση των τοιχωμάτων δεν είναι απόλυτα επιτυχής και έτσι LNG αεριοποιείται μέσω βράσης με την ψύξη της θερμοκρασίας. Η αεριοποίηση, δηλαδή η αλλαγή της φάσης διασφαλίζει την αυτοψύξη του LNG και τη διατήρηση θερμοκρασίας βρασμού. Το BOG είναι αέριο που μολύνει την ατμόσφαιρα για αυτό και αναπτύσσονται τεχνολογίες ανάκτησης του ή εκμετάλλευσης του για την πρόωση του πλοίου ή την παράγωγή ηλεκτρισμού. Οι κρυογονικές δεξαμενές

εντός του πλοίου σχεδιάζονται για να αντέχουν τόσο την χαμηλή θερμοκρασία αλλά και τις πιέσεις.

Η πλειοψηφία των πλοίων LNG που πλέον σήμερα έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου είτε σε σφαιρικές δεξαμενές [Moss sphere design] είτε σε δεξαμενές γεωμετρικής μεμβράνης [Membrane design] (Εικόνα 2). Οι δεξαμενές μεμβράνης είναι πρισματικής σχεδίασης και εντάσσονται μέσα στο κύτος του πλοίου. Οι δεξαμενές Moss είναι σφαιρικές και θεωρούνται ως οι ασφαλέστερες και πιο αξιόπιστες στην αγορά της ναυτιλίας. Οι Moss δεξαμενές δεν αποτελούν στοιχείο του κύτους και έτσι ανεξαρτητοποιούνται σε περίπτωση αστοχίας στο κύτος του πλοίου. Με αυτό τον τρόπο δεν απαιτείται η κατασκευή ασφαλιστικών διατάξεων μεταξύ κύτους και δεξαμενής όπως συμβαίνει στις δεξαμενές μεμβράνης. Οι δεξαμενές Moss διακρίνονται στο LNG carrier αφού εκτείνονται άνωθεν αυτού. Τα περισσότερα LNG carriers έχουν τέσσερις με έξι δεξαμενές κατά μήκος του πλοίου κατασκευάζονται συνήθως είτε από αλουμίνιο είτε από ανοξείδωτο χάλυβα με όγκους που κυμαίνονται από 150.000 ως 280.000 m³. Το σύνηθες βάρος είναι στους 800 τόνους ενώ το μονωτικό υλικό είναι πολυουρεθάνη [1].

Ένα τυπικό σύγχρονο πλοίο LNG είναι περίπου 300 μέτρα (m) (975 πόδια) σε μήκος, 43m (140 πόδια) σε πλάτος και βάθος περίπου 12 m (39 πόδια). Τα πλοία LNG ποικίλουν σε χωρητικότητα φορτίου, η οποία κυμαίνεται από 1.000 κυβικά μέτρα σε 267.000 κυβικά μέτρα, αλλά η πλειοψηφία των σύγχρονων πλοίων είναι μεταξύ 125.000 κυβικά μέτρα και 175.000 κυβικά μέτρα χωρητικότητας. Τα μικρότερα πλοία LNG (1.000 - 25.000 κυβικά μέτρα χωρητικότητας) λειτουργούν επίσης σε ορισμένες περιοχές, όπως η Νορβηγία και η Ιαπωνία. Τα πλοία μεταφοράς LNG είναι ικανά να αναπτύξουν ταχύτητα μέχρι 21 κόμβους (πετρελαιοφόρα λειτουργούν σε 15-20 κόμβους) στην ανοικτή θάλασσα [5].

Η τεχνολογία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μπορούν να λειτουργήσουν ως πλωτές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (FSRU) σε υπεράκτιους σταθμούς λήψης. Οι πλωτές εγκαταστάσεις επιτρέπουν στους τερματικούς σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου να βρίσκονται υπεράκτια. Πλοία LNG με ενσωματωμένη εγκατάσταση

επαναεριοποίησης λειτουργούν στην Αργεντινή, τη Βραζιλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ [1].



Εικόνα 2. Παράδειγμα LNG carrier A. Moss sphere design B. Membrane design

Υπάρχει ένα ακόμα είδος δεξαμενών το οποίο πρόσφατα εισήλθε στην αγορά και συνήθως χαρακτηρίζεται ως «τύπου IMO C». Συνήθως αυτές οι δεξαμενές έχουν κυλινδρικό σχήμα, με σχεδιασμό πίεσης μεταξύ 2,7 bar και 4 bar. Οι δεξαμενές αυτές κατασκευάζονται με τη χρήση υψηλής ποιότητας υλικών κατάλληλα για κρυογονικές εφαρμογές όπως το 9% Ni-χάλυβα, 304L ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο. Αυτά τα υλικά διατηρούν τις ιδιότητές τους σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το μέγεθος αυτών των δεξαμενών περιορίζεται σε 30,000m³. Ο τύπος IMO C δεξαμενής είναι πιο ευέλικτος στη διαχείριση των boil-off καθώς δίνει την ευκαιρία να δημιουργήσουν πίεση, ενώ οι άλλες δεξαμενές απαιτούν τα boil-off να χρησιμοποιούνται ως καύσιμο ή για την εκ

νέου υγροποίηση. Επίσης είναι δυνατή η μεταφορά άλλων φορτίων εκτός από LNG σε αυτές τις δεξαμενές και είναι γρήγορη η φόρτωση ή εκφόρτωση. Ωστόσο, η χρήση του IMO τύπου C δεξαμενής για αποθήκευση καυσίμων έχει και μειονεκτήματα. Οι δεξαμενές έχουν κυλινδρικό σχήμα που χρησιμοποιεί χειρότερα το κύτος του πλοίου και χρειάζεται περισσότερος χώρος απομόνωσης για λόγους ασφαλείας. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το LNG έχει χαμηλότερη πυκνότητα, μεταφράζεται σε 3-4 φορές περισσότερος απαιτούμενος όγκος για την αποθήκευση καυσίμων. Αυτό σημαίνει ότι σημαντικό μέρος των μεταφερόμενων φορτίων χάνεται [7].



Εικόνα 3. Παράδειγμα LNG carrier τύπου C [7]

Όλα τα πλοία LNG έχουν διπλό κύτος. Το φορτίο φέρεται κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση σε ειδικά μονωμένη δεξαμενή, που αναφέρεται ως σύστημα συγκράτησης φορτίου, μέσα στο εσωτερικό του κύτους. Διεθνείς κώδικες διέπουν το σχεδιασμό και την κατασκευή της μεταφοράς φυσικού αερίου. Υπάρχουν επιπλέον διεθνείς απαιτήσεις που ορίζονται στους κώδικες που ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του φορτίου που το πλοίο θα μεταφέρει. Όλα τα εμπορικά πλοία πρέπει να καταχωρηθούν σε μια χώρα - το «κράτος σημαίας». Στις χώρες με τα περισσότερα του ενός πλοία LNG στο μητρώο τους περιλαμβάνονται η Αλγερία, η Αυστραλία, οι Μπαχάμες, οι Βερμούδες, το Μπρουνέι, η Γαλλία, η Νήσος του Μαν, η Ιταλία, η Ιαπωνία, η Κορέα, η Λιβερία, η Μαλαισία, η Μάλτα, οι Νήσοι Μάρσαλ, η Νορβηγία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Κανένα συμπέρασμα δεν μπορεί να συναχθεί αυτόματα από τη σημαία του πλοίου του μητρώου, το προμηθευτή του φορτίου, ή την εθνικότητα του πληρώματος του πλοίου για τον χαρακτηρισμό των εισαγωγέων [5].

2.4 Μεταφορά – LNG carrier

Η φόρτωση του LNG στα LNG carriers πραγματοποιείται αρχικά με την αδρανοποίηση της δεξαμενής με άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα ώστε να απομακρυνθεί το οξυγόνο. Η διαδικασία αυτή διασφαλίζει τη μη δημιουργία συνθηκών έκρηξης εντός της δεξαμενής. Το αδρανές αέριο θα πρέπει έπειτα να απομακρυνθεί ώστε να μη δημιουργηθούν συμπυκνώματα με την έγχυση μικρής ποσότητας LNG στις δεξαμενές που οδηγεί το αδρανές αέριο σε συλλέκτες. Εκεί το μείγμα καίγεται για να μην αφεθεί ως ρύπος στην ατμόσφαιρα. Οι δεξαμενές έπειτα ψύχονται ώστε να υποδεχτούν το LNG σε κρυογονικές συνθήκες. Η ψύξη γίνεται με την έγχυση μικρών ποσοτήτων LNG που με την εξάτμιση του σιγά σιγά ψύχει τη δεξαμενή. Η πρόψυξη πετυχαίνεται σε περίπου 36 ώρες οπότε και η δεξαμενή έχει θερμοκρασία -140 C° και μπορεί να υποδεχτεί το LNG. Υπερβάλλων LNG το οποίο αεριοποιήθηκε είτε καίγεται είτε υγροποιείται μέσω συμπιεστών.

Το LNG Carrier μεταφέρει στο LNG terminal (εγκαταστάσεις αποθήκευσης) το LNG όπου αγωγός αδρανοποιημένος και προψυχμένος παραλαμβάνει από το πλοίο το φορτίο.

2.5 Εγκαταστάσεις αποθήκευσης-Πετρέλευση

Στους σταθμούς LNG, το LNG αποθηκεύεται σε μεγάλες κρυογονικές δεξαμενές κάτω από αυστηρούς κανόνες και υπό συνεχή επιτήρηση και συντήρηση. Οι δεξαμενές είναι άριστα μονωμένες ώστε να διατηρήσουν το LNG στην επιθυμητή θερμοκρασία εντούτοις boil – off gas εμφανίζεται. Επιβάλλεται η σωστή διαχείριση του boil off gas ώστε να μην καίγεται ή να διατίθεται ανεξέλεγκτο στο περιβάλλον. Μέτρα ορθής ανάκτησης είναι η υγροποίηση του και εναπόθεση ξανά εντός δεξαμενής και η παραγωγή ηλεκτρισμού. Μικρές ποσότητες όμως δε δικαιολογούν τα υψηλά κόστη επανάχρησής του. Ο

εφοδιασμός ενός πλοίου που χρησιμοποιεί LNG γίνεται με αδρανοποιημένους και προψυγμένους αγωγούς μεταφοράς. Η διαδικασία γίνεται με τρεις μεθόδους. Οι δύο είναι οι πλέον συνηθισμένες : 1) Η δεξαμενή –πλοίο 2) Η φορτηγό – πλοίο για μικρά πλοία κυρίως. Η τρίτη είναι η μέθοδος πλοίο –πλοίο όπου πλοίο LNG μεταφέρει απευθείας σε συμβατικό πλοίο LNG. Συνοπτικά η διαδικασία περιλαμβάνει την πρόψυξη των αγωγών μεταφοράς, την πρόψυξη των αντλιών της, σύνδεση των αγωγών, την αδρανοποίηση με άζωτο για αποφυγή εκρηκτικών συνθηκών, τον καθαρισμό με φυσικό αέριο, το άνοιγμα των βαλβίδων, τη μετάγγιση του αερίου και τέλος τον καθαρισμό των αγωγών με αδρανοποίηση με άζωτο [1].

2.5.1 Δυνατότητες παροχής ανεφοδιασμού με LNG σε πλοία (LNG fuel bunkering) των λιμένων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG με τον ανεφοδιασμό από βυτιοφόρα οχήματα να είναι σήμερα ο πιο διαδεδομένος. Ο ανεφοδιασμός από βυτιοφόρα οχήματα συνήθως επιλέγεται εξαιτίας της επενδυτικής δυσκολίας να επιτευχθεί ανεφοδιασμός από πλωτά μέσα ή από την ακτή μέσω αγωγών. Παρόλα αυτά η επενδυτική δυσκολία δεν είναι το μόνο κριτήριο επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου ανεφοδιασμού. Κριτήρια όπως η λειτουργική ευελιξία, η ασφάλεια και απαιτούμενη δυναμικότητα θα λαμβάνονται υπόψη στο μέλλον.

Στην Ευρώπη σήμερα διατίθεται LNG ως καύσιμο ανεφοδιασμού για θαλάσσιες και ποτάμιες μεταφορές στα λιμάνια της Αμβέρσας, του Άμστερνταμ, του Ρότερνταμ, της Zeebrugge και σε αρκετά λιμάνια της Νορβηγία.

A. Ανεφοδιασμός πλοίου από βυτιοφόρα φορτηγά LNG (Truck-To-Ship) - έως 500 m³ ημερησίως

Όπως προαναφέρθηκε, ο ανεφοδιασμός από βυτιοφόρα οχήματα (TTS) είναι σήμερα ο πιο διαδεδομένος τρόπος μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών μεθόδων. Στην πράξη, το βυτιοφόρο όχημα που φέρει το LNG συνδέεται στην αποβάθρα με το πλοίο συνήθως με ένα ευέλικτο σωλήνα.

Ο τρόπος αυτός είναι σήμερα ο πιο διαδεδομένος κυρίως λόγω της περιορισμένης ζήτησης, της έλλειψης υποδομών και του σχετικά χαμηλού

κόστους επένδυσης. Το 2008, μισά από τα Νορβηγικά φέρρου που χρησιμοποιούσαν καύσιμο LNG ανεφοδιάζονταν τακτικά από βυτιοφόρα οχήματα, κυρίως κατά την διάρκεια της νύχτας.

Πλεονεκτήματα

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το μικρό επενδυτικό κόστος. Τα βυτιοφόρα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για διανομή LNG για άλλους σκοπούς.

Μειονεκτήματα

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μικρή δυναμικότητα των βυτιοφόρων οχημάτων – περίπου 40 - 80 m³. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για ποσότητες ανεφοδιασμού έως 50 τόνους, και για αυτό είναι κατάλληλη για μικρού μεγέθους πλοία που κινούνται με LNG. Λόγω του μικρού ρυθμού ανεφοδιασμού (περίπου 1.000 λίτρα/λεπτό), απαιτείται περίπου μία ώρα. Η παρουσία του βυτιοφόρου και η διαδικασία ανεφοδιασμού επηρεάζει άλλες δραστηριότητες στην αποβάθρα όπως τη μεταφορά εμπορευμάτων και τη διακίνηση των επιβατών. Επίσης απαιτείται οδική πρόσβαση με την επιλεχθείσα θέση ανεφοδιασμού.

Καταλληλότητα

Εξαιτίας της περιορισμένης δυναμικότητας, ο ανεφοδιασμός από φορτηγά οχήματα είναι κατάλληλος για μικρά πλοία που χρειάζονται μικρές ποσότητες ανεφοδιασμού όπως είναι τα ρυμουλκά, πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας, πλοία της ακτοφυλακής και μικρά επιβατικά πλοία. Η καταλληλότητα αυτής της μεθόδου μπορεί να επηρεαστεί από περιορισμούς λόγω της ταυτόχρονης μεταφοράς εμπορευμάτων ή τη διακίνηση επιβατών. Για λόγους ασφάλειας, το μεγάλο επιβατικό πλοίο Viking Grace ανεφοδιάζεται πλέον από το πλοίο Seagas.

B. Ανεφοδιασμός πλοίου από πλοίο (Ship-To-Ship STS) - από 500 m³ έως 6.500 m³ ημερησίως

Ο ανεφοδιασμός πλοίου από πλοίο θεωρείται γενικά η καλύτερη μέθοδος ανεφοδιασμού, ειδικά για πλοία που μένουν μικρό χρόνο στο λιμάνι. Ο

ανεφοδιασμός από πλοίο γενικά δεν επηρεάζει τις μεταφορές εμπορευμάτων και τη διακίνηση των επιβατών. Παρόλα αυτά οι δραστηριότητες αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση κινδύνου κατά την κατάρτιση και την έγκριση από τις αρμόδιες αρχές σχεδίων ανεφοδιασμού STS. Ο ανεφοδιασμός από πλοίο μπορεί να εκτελεστεί σε διαφορετικές θέσεις: κατά μήκος της αποβάθρας, αρόδου (στα αγκυροβόλια) ή μεσοπέλαγα. Άλλωστε αυτή η μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος ανεφοδιασμού των ποντοπόρων πλοίων με (HFO) και MGO. Η δυναμικότητα των πλοίων ανεφοδιασμού μπορεί να διακυμαίνεται μεταξύ 1.000 έως 10.000 m³. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους κάποιων λιμανιών, μόνο μικρά φορτηγά πλοία μπορούν να ανεφοδιάσουν εντός τους.

Πλεονεκτήματα

Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους ανεφοδιασμού, αυτή η μέθοδος έχει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά στη δυναμικότητα και τη θέση ανεφοδιασμού. Όταν το πλοίο ανεφοδιασμού «δένει» κατά μήκος του πλοίου που θα ανεφοδιάσει, μπορεί παράλληλα να εκτελεστεί, με την έγκριση των αρμοδίων αρχών, η μεταφορά των εμπορευμάτων.

Μειονεκτήματα

Κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας είναι το υψηλό κόστος επένδυσης. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι διστακτική να επενδύσει σε τέτοια πλοία κυρίως διότι αυτά τα πλοία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες δραστηριότητες όταν δεν υπάρχει ζήτηση για LNG. Παρόλα αυτά αρκετά έχουν κατασκευαστεί ή προγραμματίζεται να κατασκευαστούν για τις περιοχές της Ζεμπρίζ (Zeebrugge) που υπάρχει τερματικός σταθμός LNG, της Αμβέρσας, του Ρότερνταμ και του Άμστερνταμ.

Καταλληλότητα

Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για όλα τα είδη πλοίων και αναμένεται ότι θα γίνει η κύρια μέθοδος ανεφοδιασμού τα επόμενα χρόνια για πλοία με απαιτήσεις ανεφοδιασμού μεγαλύτερες των 100 m³. Αυτό σημαίνει ότι αυτή η μέθοδος είναι η καταλληλότερη για μεγάλα πλοία όπως είναι τα RoPax / RoRo, πλοία που μεταφέρουν χύδην φορτία και πλοία εμπορευματοκιβωτίων.

Γ. Ανεφοδιασμός πλοίου με αγωγούς (Pipeline-To-Ship) -πάνω από 6,500 m³ ημερησίως

Άλλη μέθοδος ανεφοδιασμού είναι ο ανεφοδιασμός από την ακτή μέσω αγωγών (PTS). Σε αυτήν την περίπτωση ο ανεφοδιασμός γίνεται είτε από μία ενδιάμεση δεξαμενή ή από ένα μικρό σταθμό, είτε από ένα τερματικό σταθμό LNG. Αγωγοί από το τερματικό σταθμό έως την αποβάθρα απαιτούνται όταν ο τερματικός σταθμός LNG δεν είναι τοποθετημένος σε αγκυροβόλιο. Ανεφοδιασμός μέσω αγωγών εφαρμόζεται στη Νορβηγία εδώ και αρκετά χρόνια. Αντίστοιχα έργα προγραμματίζονται να υλοποιηθούν πιλοτικά στα λιμάνια της Αμβέρσας και της Ruse ενώ εκπονείται μελέτη σκοπιμότητας για κατασκευή τερματικού σταθμού LNG στο λιμάνι της Κοσταντζας.

Πλεονεκτήματα

Ο ανεφοδιασμός από αγωγούς είναι γενικά μία καλή επιλογή για λιμάνια με σταθερή και μακροχρόνια απαίτηση για ανεφοδιασμό με LNG, ειδικά για χρήση του LNG και από άλλους καταναλωτές. Εξαιτίας του ότι ο αγωγός και ο βραχίονας ανεφοδιασμού είναι σταθερός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη μάνικα ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός ανεφοδιασμού (έως και 3.000 λίτρα/λεπτό) οδηγώντας σε σημαντικά μικρότερο χρόνο ανεφοδιασμού.

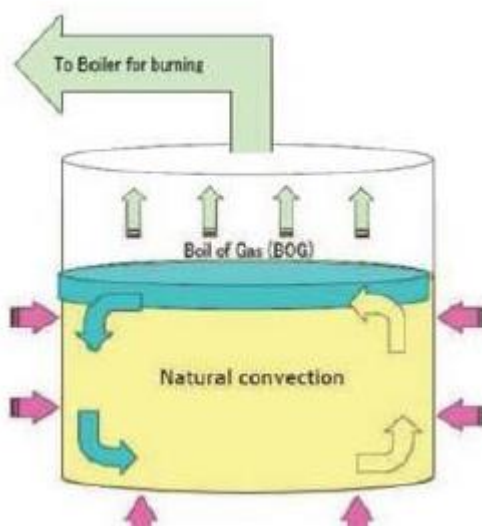
Μειονεκτήματα

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η προσπάθεια που χρειάζεται ένα πλοίο για να φθάσει στη θέση του σταθμού ανεφοδιασμού (ή των αγωγών). Επιπλέον η αποβάθρα μπορεί να μην είναι κατάλληλη για μεγάλα πλοία που κινούνται με LNG και αυτός είναι ανασταλτικός παράγοντας για τον ανεφοδιασμό ποντοπόρων πλοίων. Δεδομένου του μεγέθους των τερματικών σταθμών εισαγωγής LNG, τα περισσότερα λιμάνια δεν δύνανται θα εξοπλιστούν με τέτοιους σταθμούς. Παρόλα αυτά τα λιμάνια που δεν έχουν τέτοιους τερματικούς σταθμούς μπορούν να εγκαταστήσουν σταθμούς αποθήκευσης για το ανεφοδιασμό LNG.

Καταλληλότητα

Ο ανεφοδιασμός από αγωγούς είναι κατάλληλος όταν οι ανεφοδιασμοί γίνονται με μεγάλη συχνότητα, περιορισμένη ζήτηση, όχι αυστηρό χρονο-προγραμματισμό και σε πλοία με περιορισμένο βύθισμα. Για παράδειγμα

κατάλληλα πλοία να ανεφοδιαστούν μέσω αγωγού είναι πλοία ανεφοδιασμού, σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας, πλοία κοινής ωφελείας και αλιευτικά [8].



Εικόνα 4. Μεταφορά θερμότητας εξαιτίας του boil-off [7]

2.5.2 Boil-off

Το LNG μεταφέρεται σε δεξαμενές που έχουν ένα παχύ στρώμα μόνωσης έξω. Αλλά τίποτα δεν είναι τέλει, και μικρό θερμικό ρεύμα υπάρχει μεταξύ του φορτίου και του περιβάλλοντος. Αυτό προκαλεί τον LNG βρασμό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Οι ατμοί που προκύπτουν από τον βρασμό ονομάζονται επίσης boil-off. Το boil-off μπορεί να μετρηθεί σε μονάδες ατμού ανά μονάδα χρόνου. Μπορεί να μετρηθεί σε kg / h, kg / ημέρα ή το μέτρο μπορεί να είναι εξατμισμένο ποσοστό % από όλη τη μάζα ανά μονάδα χρόνου. Σύμφωνα με την WGI, σε ένα τυπικό ταξίδι περίπου 0,1-0,25% του φορτίου μετατρέπεται σε αέριο κάθε ημέρα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της μόνωσης και την τραχύτητα του ταξιδιού. Για ένα φορτίο χωρητικότητας 228.000 m³, μέγιστο ειδικό βάρος για LNG από 470 kg / m³ και ένα ποσοστό εξατμίσεων της τάξης του 0,14%, οδηγεί σε boil-off ροή των 6250 kg / h. Στην πραγματικότητα, το ποσοστό εξατμίσεων θα είναι κάπως λιγότερο, ίσως στην περιοχή των 5500 έως 5800 kg / h, ανάλογα με τη σύνθεση του φορτίου LNG. Σε ένα τυπικό ταξίδι 20 ημερών, οπουδήποτε από 2-6% του συνολικού όγκου του LNG που αρχικά φορτώθηκε μπορεί να χαθεί. Το boil-off είναι περισσότερο πρόβλημα για τις δεξαμενές τύπου Moss και τις δεξαμενές μεμβράνης και όχι

τόσο για τις δεξαμενές τύπου IMO C δεξαμενές. Η πίεση πρέπει να διατηρείται κάτω από συγκεκριμένες τιμές και συνήθως είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Στο λιμάνι, όπου το πλοίο έχει συνδεθεί με τον ακροδέκτη του λιμενικού συστήματος της επιστροφής των ατμών συνήθως δεν υπάρχει πρόβλημα. Επίσης δεν προκαλεί κανένα πρόβλημα στην θάλασσα, όταν το πλοίο καταναλώνει το boil-off για την πρόωσή του. Αλλά φυσικά υπάρχουν χρονικές περίοδοι, όταν η συγκράτηση της πίεσης είναι απαραίτητη, και τότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή [7].

Διαχείριση του boil-off

Το φαινόμενο του boil-off είναι ικανό να προκαλέσει προβλήματα στην εκφόρτωση του των LNG οχημάτων. Οι τερματικοί σταθμοί που λαμβάνουν απαιτούν η πίεση και η θερμοκρασία να είναι χαμηλή, διαφορετικά το φορτίο θα απορριφθεί. Έχει γίνει αναφορά σχετικά με ένα πλοίο το οποίο οδηγήθηκε στο ξεπούλημα του φορτίου του επειδή η απαιτούμενη πίεση ήταν κάτω από το όριο [9]. Όλη η διαδικασία της διαχείρισης του boil-off έχει ως στόχο:

- Την εξάλειψη όλων των αδικαιολόγητων απωλειών του φορτίου κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.
- Την διατήρηση της πίεσης των δεξαμενών του φορτίου εντός ορίων σχεδιασμού.
- Την διατήρηση της θερμοκρασίας κάτω από το επιθυμητό επίπεδο.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι αξιολόγησης της διαχείρισης του boil-off. Στην πρώτη το boil-off χρησιμοποιείται σαν καύσιμο, στην δεύτερη περνά μέσα από τις μονάδες επανυγροποίησης και επιστρέφει στη δεξαμενή [7].

A. Χρήση του boil-off ως καύσιμο

Κανονικά ένα δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αερίου τροφοδοτείται από τουρμπίνες ατμού με λέβητες. Αυτοί οι λέβητες είναι διπλού καυσίμου και μπορούν να λειτουργήσουν είτε με μεθάνιο είτε με έλαιο είτε με συνδυασμό των δύο. Μερικά από τα νέα πλοία μεταφοράς LNG χρησιμοποιούν τώρα περισσότερο αποδοτικούς κινητήρες διπλού καυσίμου.

Εάν χρησιμοποιείται ως καύσιμο, το boil-off μπορεί να επηρεαστεί επίσης από τους χειριστές του πλοίου ανάλογα με τη διάρκεια του ταξιδιού και την τιμή του

μαζούτ HFO συγκριτικά με το LNG βάσει τεχνο-οικονομικών κριτηρίων. Υπάρχουν τρεις βασικές λειτουργίες διαθέσιμες.

1. Ελάχιστο boil-off / μέγιστο πετρέλαιο: Ο στόχος είναι να φέρει όσο το δυνατόν περισσότερο LNG . Η πίεση στις δεξαμενές παραμένει υψηλή, αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ το πλοίο ωθείται προς τα εμπρός με τη χρήση του μαζούτ. Αυτή η λειτουργία μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην αποθήκευση και την εκφόρτωση.

2. Μέγιστο boil-off / ελάχιστο πετρέλαιο: Ο στόχος είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία χαμηλή στις δεξαμενές, που προτιμάται από πολλά λιμάνια. Όλο το αέριο που εξατμίζεται καταναλώνεται στη μηχανή, διατηρώντας την πίεση στις δεξαμενές χαμηλή. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση , χρησιμοποιείται μια σημαντική ποσότητα του μαζούτ.

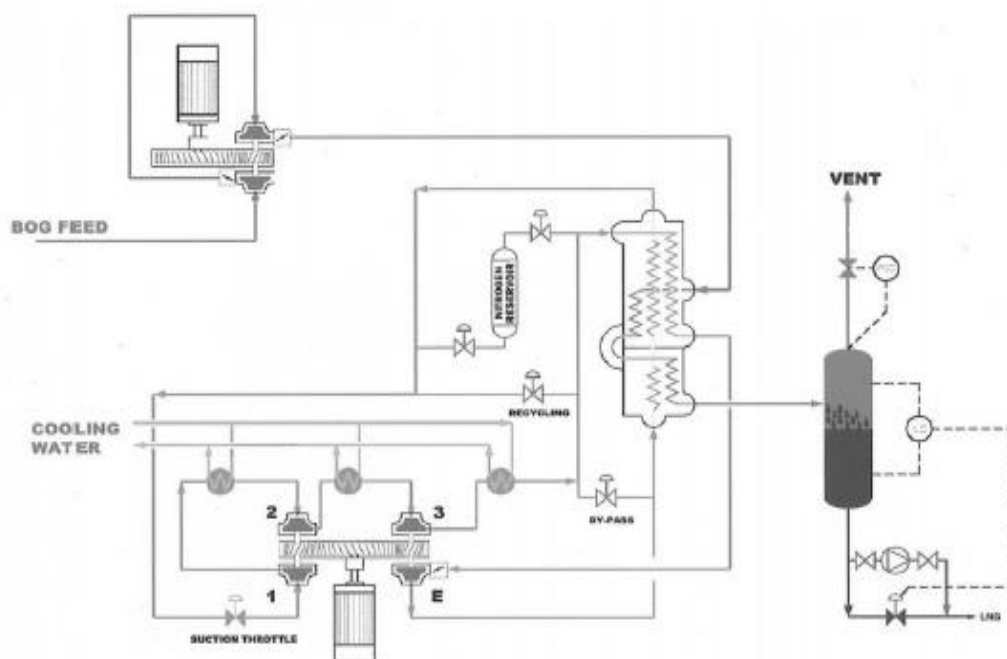
3. 100% αέριο: Ο στόχος είναι να έχουμε πρόωση μόνο από το φυσικό αέριο. Στην περίπτωση αυτή η πίεση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα στις δεξαμενές, όπως στην προηγούμενη λειτουργία, αλλά επειδή το boil –off δεν είναι αρκετό, μια ειδική αντλία εφοδιάζει με LNG μια άλλη δεξαμενή όπου εκεί το LNG θερμαίνεται και εξατμίζεται. Δεν χρησιμοποιείται μαζούτ .

Το boil-off μετράται με ακρίβεια με εξελιγμένο σύστημα που ονομάζεται «custody transfer system» δηλαδή επιμέλεια του σύστημα μεταφοράς. Αυτό αποτελείται από ένα ραντάρ που μετρά το επίπεδο των δεξαμενών και βασίζεται στο γεγονός ότι οι δεξαμενές έχουν βαθμονομηθεί με ακρίβεια από τους νηογνώμονες. Το σύστημα διορθώνει αυτόματα την μέτρηση για την περικοπή, τη διαστολή και τη συστολή των δεξαμενών και δίνει τον όγκο τους.

B. Επανυγροποίηση του boil-off

Η DNV αναφέρει δύο παραδείγματα συστημάτων επανυγροποίησης. Και οι δύο εφαρμόζουν τα αποτελέσματα του Joule-Thomson. Ο Joule-Thomson περιγράφει την μεταβολή της θερμοκρασίας ενός αερίου ή ενός υγρού όταν αναγκάζεται να περάσει μέσω μιας βαλβίδας ή ενός πορώδους βύσματος, ενώ διατηρείται μονωμένο έτσι ώστε να μην ανταλλάσσεται θερμότητα με το περιβάλλον. Τα ιδανικά αέρια όπως το υδρογόνο, το ήλιο και το νέο διατηρούν τη θερμοκρασία τους όταν διαστέλλονται, ενώ όλα τα άλλα ψύχονται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν το αέριο διαστέλλεται η απόσταση μεταξύ των

ατόμων σε ένα μόριο αυξάνεται, έτσι η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ενδομοριακή ενέργεια, που κρατά τα δύο ή περισσότερα άτομα ενωμένα. Η απώλεια της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε απώλεια θερμοκρασίας. Λόγω αυτού τα μονατομικά αέρια διατηρούν τη θερμοκρασία τους, ενώ τα άλλα ψύχονται.



Εικόνα 5. Σύστημα επανυγροποίησης Moss Maritime / Hamworthy

Τα Moss Maritime / Hamworthy χρησιμοποιούν το σύστημα με τον ψυκτικό κύκλο του αζώτου στο οποίο το άζωτο ψύχεται μέσω του Joule-Thomson effect. Αρχικά, το άζωτο πιέζεται έως 57 bar σε τρία στάδια και διαστέλλεται σε 14bar πίεση μέσω ενός περιστροφικού διαστολέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το άζωτο για να πέσει στους -163°C ή ακόμη χαμηλότερα στους -170°C ή -180°C . Μετά από κάθε στάδιο συμπίεσης το άζωτο ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με τη βοήθεια του θαλασσινού νερού. Το αεριζόμενο LNG που έχει υποστεί εκτόνωση πριν από την είσοδο του στο ψυχρό κουτί συμπιέζεται στα 4,5 bar. Το προϊόν οδηγείται στον δέκτη όπου το LNG συλλέγεται, ενώ τα μη-συμπυκνώσιμα όπως αέρια αζώτου είτε επιστρέφονται σε μορφή ατμού είτε καίγονται σε μονάδα καύσης αερίου. Τα venting αέρια δεν μπορούν να απορριφθούν στην ατμόσφαιρα, επειδή περιέχουν 20-30% μεθάνιο. Το

σύστημα έχει πολύ καλή απόδοση. Μετά τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να φτάσει 0,75 kWh / kg.

Το σύστημα επανυγροποίησης κατά τη διαδικασία χρησιμοποιεί επίσης έναν ψυκτικό κύκλο αζώτου. Η διαφορά εδώ είναι ότι δεν είναι μόνο το άζωτο, αλλά και το boil-off που ψύχεται μέσω του Joule-Thomson effect. Για το λόγο αυτό το boil-off αρχικά βρίσκεται υπό πίεση 40 bar και στη συνέχεια πριν από το κρύο κουτί expanded σε 20 bar.

Οι περισσότεροι LNG φορείς καίνε το boil-off αντί να το υγροποιήσουν εκ νέου. Αναφέρεται, ωστόσο, ότι η επανυγροποίηση είναι ανώτερη διότι περισσότερο φορτίο παραδίδεται, ενώ απαιτεί λιγότερη πίεση και καθιστά το σύστημα πρόωσης απλούστερο. Τα οικονομικά οφέλη από την εγκατάσταση του εν λόγω συστήματος έχουν μειωθεί λόγω της χρήσης των μηχανών διπλού καυσίμου [10].

2.6 Αποθήκευση και καύση του LNG εν πλω

Το τελικό στάδιο του κύκλου του LNG είναι η εν πλω αποθήκευση και η καύση του στη μηχανή. Μόλις το LNG βρεθεί στη δεξαμενή καυσίμων και στο μηχανοστάσιο, ηλεκτρονικά συστήματα εποπτεύουν και διασφαλίζουν ότι το LNG δε θα διαρρεύσει. Οι σωλήνες δεν είναι διπλού τοιχώματος λόγω της υψηλής αυτοματοποιημένης παρακολούθησης. Από τη μονωμένη με πολυουρεθάνη δεξαμενή το LNG αποστέλλεται σε εξατμιστή όπου και προθερμαίνεται. Δεν απαιτούνται αντλίες αφού η κίνηση πετυχαίνεται λόγω διαφορικών πιέσεων ενώ τυχόν BOG αποστέλλεται στη μηχανή. Οι εκπομπές που προκαλούνται από τη χρήση του LNG εξαρτώνται ισχυρά από τον τύπο της μηχανής, το πλοίο και το λειτουργικό σχεδιασμό. Δύο LNG συστήματα καυσίμου εντός πλοίου απαντώνται:

1. Σύστημα με μόνωση δεξαμενής με κενό και εξατμιστές όπου η μεν πίεση του LNG στη δεξαμενή πετυχαίνεται με τον εξατμιστή δεξαμενής ο οποίος στέλνει συνεχώς αέριο στη δεξαμενή LNG ενώ ο LNG εξατμιστής μετατρέπει το LNG σε αέριο που αποστέλλεται στο θερμοαστή για να αποκτήσει την επιθυμητή

θερμοκρασία και πίεση αερίου που απαιτεί η μηχανή. Όλη κίνηση διασφαλίζεται μέσω διαφορικής πίεσης.

2. Σύστημα με συμπιεστή όπου η δεξαμενή είναι μονωμένη με πολυουρεθάνη και έτσι παράγεται και BOG. Το BOG μπορεί να αποσταλεί στην μηχανή ενώ μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνονται και οι θεμιτές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας εντός δεξαμενής. Η επιθυμητή όμως πίεση αερίου στη μηχανή επιτυγχάνεται με συμπιεστή.

Συνήθως δύο δεξαμενές LNG τροφοδοτούν τις δύο μηχανές ενός πλοίου. Επιπλέον πολλά πλοία είναι εξοπλισμένα και με μηχανές Diesel ώστε σε περίπτωση έλλειψης LNG λόγω λίγων τερματικών εφοδιασμού το πλοίο να μπορεί να κάνει χρήση Diesel. Επίσης συναντάται και η χρήση των Dual fuel μηχανών. Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούν τόσο MDO όσο και LNG. Θεωρείται όμως πως παρατηρείται διαρροή μεθανίου που συνιστά αξιόλογο ρύπο του θερμοκηπίου. Αναλυτικότερα, τα πλοία που κινούνται με LNG μπορούν κινηθούν είτε με μηχανές που καίνε LNG ή με Dual fuel μηχανές. Μηχανές που καίνε μόνο LNG (lean burn gas- fuelled engines – LBGFE) προμηθεύονται από την Rolls Royce ενώ dual fuel από την Wärtsilä και την MAN. Στα LNG carriers χρησιμοποιούνται και λέβητες σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλους για την πρόωση. Εντούτοις οι ατμοστρόβιλοι έχουν χαμηλή αποδοτικότητα και η αγορά πλέον στρέφεται σε μηχανές diesel ή και dual fuel και στα LNG carriers.

Οι LBGFE δουλεύουν μόνο με αέριο και συνεπώς οι θερμοκρασίες καύσης είναι χαμηλές άρα ευνοείται η μη δημιουργία νιτρικών. Η μηχανή δουλεύει σύμφωνα με το κύκλο του Otto. Το αέριο εκχύνεται σε χαμηλή πίεση. Στις μηχανές αυτές απαντάται ένας προθάλαμος όπου το αέριο αναφλέγεται εύκολα και διευκολύνει την καύση του κυρίως μείγματος στον κύλινδρο.

Οι Dual-fuel μηχανές δουλεύουν επίσης σύμφωνα με το κύκλο Otto αλλά η έναυση επιτυγχάνεται με την έκχυση ποσότητας Diesel στο θάλαμο καύσης για να διευκολυνθεί η καύση. Η ποσότητα diesel είναι σε ποσότητα κάτω του 1%. Όταν η μηχανή δουλεύει σε diesel mode βρίσκεται σε συμβατική λειτουργία. Οι μηχανές δουλεύουν σε κύκλο diesel με το καύσιμο να εκχύνεται σε υψηλή πίεση μέσω των ψεκαστήρων. Η MAN έχει αναπτύξει 2-χρονη dual fuel μηχανή. Χρησιμοποιείται κυρίως στα LNG carriers αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και

σε Ro-Ro. Σε αυτή τη μηχανή η καύση πραγματοποιείται με αέριο σε υψηλή πίεση που αγγίζει τα 250bar. Η τεχνολογία σύντομα θα παράγει μηχανές που θα ικανοποιούν τα κριτήρια Tier III. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα μετατροπών υφισταμένων μηχανών να δουλεύουν και με φυσικό αέριο με μικρές μετατροπές. Κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι οι εκπομπές NOX είναι υψηλότερες σε σχέση με τις LBGFE ή τις dual fuel μηχανές και δεν ικανοποιούν όμως τα κριτήρια Tier III [1].

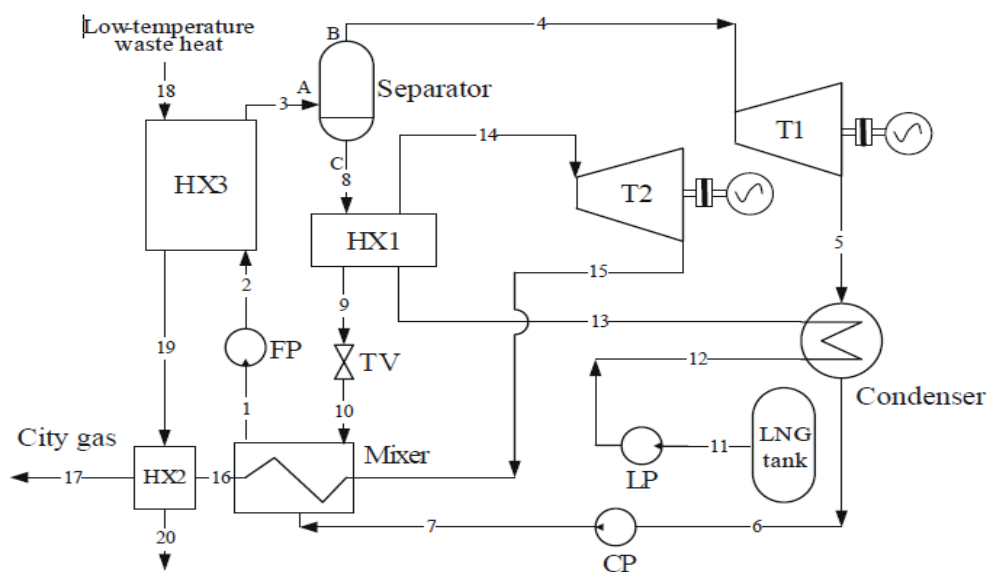
2.7 Συνδυασμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση αποβλήτων χαμηλής θερμοκρασίας

Η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων συνεχίζει να αυξάνεται για να ικανοποιήσει τη ζήτηση για ενέργεια και ηλεκτρισμό στον κόσμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σοβαρή έλλειψη ενέργειας και την περιβαλλοντική ρύπανση. Με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, μεγαλύτερη προσοχή από ποτέ έχει δοθεί στην αξιοποίηση του χαμηλού βαθμού θερμότητας των αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Πολλές εργασίες έχουν διεξαχθεί σχετικά με τη χρήση του οργανικού κύκλου Rankine για την ανάκτηση θερμότητας από χαμηλής θερμοκρασίας απόβλητα. Έχει βρεθεί ότι λιγότερη ενέργεια στην θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας αποβλήτων μπορεί να μετατραπεί σε ισχύ από τον οργανικό κύκλο Rankine επειδή ουσιαστικά ο βρασμός πραγματοποιείται σε σταθερή πίεση και θερμοκρασία στον εξατμιστή. Η Kalina ανέπτυξε ένα νέο κύκλο ισχύος, ο οποίος χρησιμοποιεί μίγμα αμμωνίας- νερού ως λειτουργήσιμο ρευστό. Ο κύκλος Kalina δείχνει υψηλότερη απόδοση εξέργειας από τον οργανικό κύκλο Rankine λόγω του καλύτερου θερμοκρασιακού προφίλ που ταιριάζει μεταξύ της πηγής θερμότητας και του λειτουργήσιμου ρευστού. Αλλά λειτουργεί με θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας αποβλήτων, όπως τη θερμότητα στο καυσαέριο από τον αεριοστρόβιλο [11]. Επιπλέον, η χαμηλότερη αναλογία πίεσης σε όλο τον στρόβιλο περιορίζει τη βελτίωση της απόδοσής του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) παράγεται από την κρυογονική ψύξη του φυσικού αερίου μετά την απομάκρυνση του οξέος και του νερού. Για την παραγωγή ενός τόνου LNG καταναλώνονται περίπου 850 kWh

ηλεκτρικής ενέργειας . Κατά την παραλαβή στον τερματικό σταθμό, το LNG το οποίο βρίσκεται περίπου σε ατμοσφαιρική πίεση και σε μία θερμοκρασία γύρω στους -160°C , πρέπει να επαναεριοποιείται και να τροφοδοτείται σε ένα σύστημα διανομής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε μία κατάλληλα ανυψωμένη πίεση. Τυπικά το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για την εξάτμιση του LNG. Η διαδικασία αυτή καταναλώνει όχι μόνο μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να οδηγηθεί η αντλία θαλασσινού νερού, αλλά σπαταλά επίσης αφθονία φυσικής ψυχρής ενέργειας. Με την αυξανόμενη ζήτηση για καθαρότερα καύσιμα, το LNG τώρα παίζει ακόμα σημαντικότερο ρόλο ως πηγή ενέργειας. Ως εκ τούτου, η αξιοποίηση της ψυχρής ενέργειας που παράγεται κατά την εξάτμιση του LNG γίνεται όλο και πιο σημαντική. Σε προηγούμενες μελέτες, μίγμα αμμωνίας-νερού που είναι κατάλληλο για πηγή δεν χρησιμοποιήθηκε ως λειτουργήσιμο υγρό. Στη συνέχεια, η ηλεκτρική απόδοση του κύκλου ισχύος είναι μακριά από τη μεγιστοποίηση. Η έρευνα σχετικά με τη χρήση της ψυχρής ενέργειας του LNG για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας του κύκλου ισχύος με μίγμα αμμωνίας- νερού ως λειτουργήσιμο ρευστό είναι αρκετά περιορισμένη. Παρά το γεγονός ότι ο Miyazaki θέσπισε ένα συνδυαστικό κύκλο ισχύος με χρήση των αποβλήτων αποτέφρωσης και ψυχρής ενέργειας LNG, ο οποίος λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες, ο κύκλος αμμωνίας-νερού χρησιμοποιώντας την εξάτμιση του LNG ως χαμηλής θερμοκρασίας ψύκτη δεν έχει μελετηθεί [11].

Έτσι προτάθηκε ένα συνδυαστικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, μέσω του οποίου η θερμότητα από τα απόβλητα χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να ανακτηθεί αποτελεσματικά και η ψυχρή ενέργεια του LNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξίσου. Αυτό το σύστημα αποτελείται από ένα μείγμα αμμωνίας-νερού του Rankine κύκλου και ενός κύκλου LNG παραγωγής ενέργειας. Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε εξετάζοντας ισοζύγια μάζας και ενέργειας των συστατικών και διεξάγοντας θερμοδυναμικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μορφή του συνδυαστικού κύκλου έχει καλή εικόνα, εφόσον παρουσιάζει με καθαρή ηλεκτρική απόδοση 33% και αποτελεσματικότητα εξέργειας 48% για μία τυπική κατάσταση λειτουργίας. Η ισχύς εξόδου είναι ίση με 1,25 MWh ανά kg μίγματος αμμωνίας-νερού. Περίπου 0.2MW της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για τη λειτουργία των

αντλιών θαλασσινού νερού μπορεί να σωθεί. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η μέγιστη καθαρή ηλεκτρική απόδοση μπορεί να επιτευχθεί αν η πίεση εισόδου του στροβίλου αμμωνίας και η μέγιστη τιμή αυξηθούν καθώς και το κλάσμα μάζας της αμμωνίας. Η αποτελεσματικότητα της εξέργειας ανεβαίνει με την αύξηση της πίεσης εισόδου του στροβίλου της αμμωνίας. Όταν το κλάσμα μάζας της αμμωνίας αυξάνεται, αυξάνεται και η καθαρή ηλεκτρική απόδοση, ενώ υπάρχει μείωση της αποτελεσματικότητας εξέργειας. Για την αύξηση της πίεσης εισόδου του στροβίλου LNG ή της θερμοκρασίας θερμικής πηγής, υπάρχει μία μέγιστη ηλεκτρική απόδοση και απόδοση εξέργειας. Με τη μείωση της πίεσης εξόδου του στροβίλου LNG, η ενεργειακή απόδοση αυξάνεται ενώ η καθαρή ηλεκτρική απόδοση μειώνεται [11]. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου συνδυασμένου κύκλου.



Εικόνα 6. Σχηματικό διάγραμμα του προτεινόμενου συνδυασμένου κύκλου ισχύος. Α. βασικό διάλυμα αμμωνίας-νερού, Β. ατμός αμμωνίας, C. αραιό διάλυμα αμμωνίας – νερού, CP. αντλία συμπίκνωσης, FP. αντλία τροφοδοσίας, HX. εναλλάκτης θερμότητας, LP. αντλία LNG, T1. στρόβιλος αμμωνίας, T2. στρόβιλος LNG, TV. ρυθμιστική βαλβίδα

Οι συνθήκες του προτεινόμενου συνδυασμένου συστήματος στο πλαίσιο της τυπικής κατάστασης λειτουργίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 2. Το σύστημα αυτό μπορεί να δημιουργήσει μια δύναμη των 8,3 MW και η καθαρή ηλεκτρική απόδοση υπολογίζεται ως 33,28%. Ταυτόχρονα, περίπου 58,9 t h⁻¹ του LNG

μπορεί να θερμαίνεται μέχρι τους 35.8°C , δηλαδή περίπου 0.2MW της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν οι αντλίες θαλασσινού νερού για να είναι ασφαλείς λόγω της εξάλειψης περίπου 2356 t h^{-1} του θαλασσινού νερού ως πηγή θερμότητας για την εξάτμιση $58,9\text{ t h}^{-1}$ LNG. Η θερμοκρασία του ζεστού νερού που εξέρχεται από το σύστημα πέφτει στους $35,5^{\circ}\text{C}$ σε αυτήν την τυπική κατάσταση. Επομένως, η αποτελεσματικότητα του συστήματος για την ανάκτηση θερμότητας μπορεί να φθάσει περίπου το $86,57\%$. Η αποτελεσματικότητα εξέργειας του προτεινόμενου συνδυασμένου κύκλου είναι ίση σε $48,87\%$ και μεγαλύτερη από την καθαρή ηλεκτρική αποδοτικότητα [11].

\dot{W}_{T1} (kW)	\dot{W}_{T2} (kW)	\dot{W}_{CC} (kW)	η_1 (%)	η_2 (%)	η_{wh} (%)	\dot{m}_{CG} (kg/s)	T_{CG} ($^{\circ}\text{C}$)
3450.7	5147.3	8334.6	33.28	48.87	86.57	16.36	35.8

Πίνακας 2. Αποτελέσματα υπολογισμών για τον προτεινόμενο συνδυασμένο κύκλο \dot{W}_{T1} [Work ammonia turbine], \dot{W}_{T2} [Work LNG turbine], \dot{W}_{CC} [Work Combined power Cycle], η_1 [net electrical efficiency of combined cycle], η_2 [exergy efficiency of combined cycle], η_{wh} [waste heat recovery efficiency], \dot{m}_{CG} [mass flow rate city gas], T_{cg} [temperature city gas] [11].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Περιβαλλοντική νομοθεσία στη ναυτιλία

Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο έχει θεσπιστεί προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αερίων ρύπων από την ναυτιλία σε παγκόσμιο και εγχώριο επίπεδο. Ακόμα, γίνεται ανάλυση των περιβαλλοντικών προτύπων MARPOL και των προτύπων ασφαλείας στα οποία πρέπει να προσαρμόζονται όλοι οι ναυτιλιακοί φορείς.

3.1 Νομοθετικό πλαίσιο σε παγκόσμιο επίπεδο για τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων στη ναυτιλία

Σήμερα 30 εκατομμύρια Ευρωπαίοι αντιμετωπίζουν αναπνευστικά προβλήματα από την ποιότητα αέρα με τα ποσοστά αυτών που υποφέρουν να είναι πιο αυξημένα στις χώρες τις Βορειοδυτικής Ευρώπης (Γαλλία, Αγγλία, Ιρλανδία, Σκανδιναβικές χώρες). Οι πρώτες παρεμβάσεις σε καύσιμα βιομηχανίας ξεκίνησαν μεταξύ των ετών 1980 και 1990, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών SO₂ κατά 20%. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με την συνθήκη του Μάαστριχτ, ενέκρινε, το 1993, το 5ο πρόγραμμα δράσης (1992-2000) στον τομέα του περιβάλλοντος με «στόχο την αειφορία» προκειμένου να αντιμετωπίσει τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα μεταξύ των οποίων και την όξινη βροχή με παρεμβάσεις στη Βιομηχανία, την Ενέργεια, τις Μεταφορές, τη Γεωργία και τον Τουρισμό.

Στα πλαίσια αυτά, εκδόθηκε η Οδηγία 96/62/EC, η οποία τροποποιήθηκε με την 99/30/EC, για την ποιότητα του αέρα, η Οδηγία 70/220/EEC η οποία έθεσε όρια εκπομπών για επιβατηγά αυτοκίνητα και η Οδηγία 93/59/EEC για φορτηγά

και βαρέα οχήματα. Στόχος ήταν η μείωση έως το 1997 των υπό παρακολούθηση ρύπων κατά 90% από τα επίπεδα του 1970.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε το 1992 το πρώτο πρόγραμμα Auto-Oil όπου κάλεσε τις ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες και τις ευρωπαϊκές εταιρίες πετρελαίου σε συμμετοχή σε τεχνικό πρόγραμμα για την από κοινού χάραξη πολιτικής με λογικό κόστος για την κοινωνία. Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού, το οποίο ολοκληρώθηκε το 1996, αναπτύχθηκε μοντέλο πρόβλεψης εκπομπών, έγινε έρευνα για αλληλεπίδραση καυσίμων - ρύπων και κινητήρων και έγινε εκτίμηση του κόστους των προτεινόμενων μέτρων. Ως επακόλουθο, εκδόθηκε η ανακοίνωση COM 96/248 με την Στρατηγική για τον έλεγχο των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές και τα νέα όρια εκπομπών επαγγελματικών οχημάτων και στην συνέχεια οι Οδηγίες 98/69/EC “Σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις εκπομπές των οχημάτων με κινητήρα” και 98/70/EC “Σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων βενζίνης και ντίζελ”. Ακολούθησε το 1997 και δεύτερο πρόγραμμα Auto-Oil, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2000, με στόχους την περαιτέρω διερεύνηση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα πλην του θείου.

Με πρωτοβουλία της γερμανικής κυβέρνησης το 1999, τίθεται θέμα καυσίμων μηδενικού θείου και επιτυγχάνει την επανεξέταση των προδιαγραφών θείου στο πρόγραμμα Auto-Oil II. Ως αποτέλεσμα του προγράμματος Auto Oil II και της διαδικασία επανεξέτασης των προδιαγραφών θείου ήταν το Μάιο του 2001 η Επιτροπή να ξεκινήσει την αναθεώρηση της 98/70 η οποία οδήγησε στην Οδηγία 2003/17.7

Η Οδηγία 2003/17, προέβλεπε ότι από 1/1/2005 όλα τα καύσιμα βενζίνης και ντίζελ που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση θα έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 50 ppm και από 1/1/2009 να έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 10 ppm. Η οδηγία επίσης προέβλεπε ότι τα μη οδικά μηχανήματα και τα τρακτέρ από 1/1/2008 θα χρησιμοποιούν πετρέλαιο με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 1000 ppm και από 1/1/2009 10 ppm.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, πέραν των πρωτοβουλιών που έχει αναλάβει για την μείωση των ρύπων από τις εκπομπές των καυσίμων κίνησης και θέρμανσης,

νομοθετεί και με στόχο την μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα ναυτιλιακά καύσιμα. Η ευρωπαϊκή ναυτιλιακή πολιτική στοχεύει στη σταδιακή μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των πλοίων για να καταπολεμηθεί η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στα καυσάδια των πλοίων. Οι παρεμβάσεις για την μείωση των ρύπων από τις εκπομπές των ναυτιλιακών καυσίμων παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια σε παγκόσμιο επίπεδο να μειωθούν οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στους πιο ρυπογόνους τομείς με τον τομέα της ναυτιλίας να θεωρείται ο κυριότερος. Στον παρακάτω Πίνακα 3 αναφέρονται συνοπτικά η κυριότεροι νόμοι με διεθνή ισχύ.

Διεθνής Νομοθεσία		Πεδίο εφαρμογής		
Τίτλος	Υπεύθυνος	Ναυτιλία	Ανεφοδιασμός	Χερσαία ζώνη
Διεθνής σύμβαση για την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα (SOLAS)	IMO	<input checked="" type="checkbox"/>		
Διεθνής σύμβαση αποφυγής ρυπάνσεως της θαλάσσης από πλοία (MARPOL)	IMO	<input checked="" type="checkbox"/>		
Διεθνής κώδικας για την κατασκευή και τον εξοπλισμό πλοίων μεταφοράς υγροποιημένων αερίων χύδην (IGC Code)	IMO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Διεθνής κώδικας για την ασφάλεια των πλοίων που χρησιμοποιούν αέριο ή άλλα καύσιμα χαμηλής ανάφλεξης (IGF Code)	IMO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Πίνακας 3. Διεθνής νομοθεσία για τη εφαρμογή του LNG στη ναυτιλία [8]

Ενιαία και διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα ασφαλείας και περιβαλλοντικά πρότυπα για τις θαλάσσιες μεταφορές εισάγει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, ο οποίος θεσπίζει κανονισμούς και περιορισμούς προκειμένου να περιοριστούν οι εκπομπές ρύπων από τα πλοία [8].

3.2 Πρότυπα ασφαλείας (SOLAS)

Το κύριο πλαίσιο αναφοράς για τα πρότυπα ασφαλείας είναι η Σύμβαση του 1974 περί ασφαλείας της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, η οποία περιλαμβάνει διεθνώς συμφωνηθέντα πρότυπα για τα επιβατηγά πλοία και τα επιβατηγά ταχύπλοα σκάφη που εκτελούν διεθνή δρομολόγια.

Πέραν αυτής, η διεθνής σύμβαση περί γραμμών φορτώσεως πλοίων του 1966 (LL 1966) και νεότερες προσθήκες στην SOLAS έχουν στόχο την επίτευξη υψηλού επιπέδου ασφάλειας στα πλοία αλλά και προστασία του περιβάλλοντος. Ως κεφάλαιο VII της SOLAS εγκρίθηκε ο Κώδικας IGC, με ψήφισμα της Επιτροπής Ασφάλειας Ναυτιλίας (Marine Safety Committee - MSC) του IMO και είναι υποχρεωτικός από την 1η Ιουλίου 1986, για την κατασκευή και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν χύδην υγροποιημένα αέρια. Ο Κώδικας IGC ισχύει για όλα τα πλοία, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων κάτω των 500 κόρων ολικής χωρητικότητας, που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια με τάση ατμών άνω των 2,8 bar σε θερμοκρασία 37,8°C και ορισμένες άλλες ουσίες. Στόχος του κώδικα είναι να καθιερώσει διεθνή πρότυπα για την ασφαλή μεταφορά τους μέσω προτύπων για την μελέτη και την κατασκευή των πλοίων που εμπλέκονται σε τέτοιες μεταφορές και τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρουν έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον.

Η βασική φιλοσοφία του κώδικα είναι η κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τα προϊόντα που μεταφέρουν, προσδιορίζοντας κινδύνους και αναγράφοντας τους σε κώδικες. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορεί να προκληθούν λόγω της μεταφοράς των προϊόντων αυτών και του γεγονότος ότι αυτά δύναται να μεταφέρονται σε βαθιά ψύξη ή σε συνθήκες πίεσης [8].

Στον κώδικα λαμβάνεται υπόψη ότι σοβαρές συγκρούσεις ή προσαράξεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αστοχία των δεξαμενών του φορτίου και ανεξέλεγκτη απελευθέρωση του προϊόντος, εξάτμιση και διασπορά του και, σε ορισμένες περιπτώσεις, να προκληθεί θραύση του κύτους του πλοίου. Οι απαιτήσεις του κώδικα σκοπό έχουν να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους όσο είναι εφικτό, με βάση τις σημερινές γνώσεις και την τεχνολογία.

Η σύνταξη του κώδικα στηρίζεται στις αρχές της ναυπηγικής και της μηχανικής και την άριστη γνώση των κινδύνων των διαφόρων προϊόντων. Καθώς η τεχνολογία μεταφοράς του φυσικού αερίου δεν είναι μόνο μια πολύπλοκη τεχνολογία, αλλά εξελίσσεται ραγδαία, ο κώδικας δεν παραμένει στατικός και βρίσκεται συνεχώς υπό αναθεώρηση, λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία και την τεχνολογική ανάπτυξη. Οι τελευταίες γενικές τροποποιήσεις του κώδικα IGC που εγκρίθηκαν έχουν τεθεί σε ισχύ από την 1η Ιουλίου του 2016.

Παράλληλα, πέραν των Διεθνών Κανονισμών Ασφαλείας για τη μεταφορά φυσικού αερίου από πλοία, προτάθηκε από την Επιτροπή Ασφάλειας Ναυτιλίας του IMO το 2004, η ανάπτυξη ενός διεθνούς κώδικα ασφαλείας για τα πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε σημείο ανάφλεξης (IGF Code).

Ως πρώτο στάδιο, οι πρώτες Κατευθυντήριες Οδηγίες (Interim Guidelines) υιοθετήθηκαν το 2009 από την Επιτροπή Ασφάλειας Ναυτιλίας του IMO στην MSC.285 συνεδρίασή της. Στις Κατευθυντήριες Οδηγίες καθορίζονται κριτήρια για τη διάταξη και την τοποθέτηση του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού καύσης LNG προκειμένου να επιτυγχάνεται ένα επίπεδο ασφαλείας και αξιοπιστίας αντίστοιχο με τα μηχανοστάσια που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα.

Μετά το 2009, αναπτύχθηκε διεθνής υποχρεωτικός κώδικας (κωδικός IGF) και αναμενόταν να τεθεί σε ισχύ από το 2017. Η εφαρμογή του IGF θα είναι υποχρεωτική ως προσθήκη της SOLAS. Στο πλαίσιο αυτό, ο νέος Κώδικας Ασφάλειας Πλοίων, μαζί με τις προτεινόμενες τροποποιήσεις για να γίνει ο Κώδικας υποχρεωτικός βάσει της σύμβασης SOLAS, εγκρίθηκε από την Επιτροπή Ασφάλειας Ναυτιλίας του IMO στην 95η διάσκεψή της στις 12 Ιουνίου του 2015.

Η βασική φιλοσοφία του IGF κώδικα είναι να παρέχει υποχρεωτικές διατάξεις για τη ρύθμιση, την εγκατάσταση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των μηχανημάτων, του εξοπλισμού και των συστημάτων που χρησιμοποιούν καύσιμα με χαμηλό σημείο ανάφλεξης, όπως το LNG, για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση των καυσίμων που εμπλέκονται. Παρέχονται οδηγίες για τη σωστή θέση

των δεξαμενών καυσίμων, τεχνικά μέτρα, μέτρα πυρασφάλειας καθώς και απαιτήσεις για πρόσθετη προστασία του μηχανοστασίου.

Ο κώδικας περιλαμβάνει όλους τους τομείς που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης, καθορίζοντας τη βάση για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων αυτών ώστε να διευκολύνονται οι πλοιοκτήτες στην εκπόνηση των αναλύσεων κίνδυνου για τα νέα επενδυτικά τους σχέδια.

Συμφωνήθηκε ότι ο νέος κώδικας IGF θα πρέπει να εφαρμοστεί τόσο στα καινούργια όσο και στα πλοία που μετατρέπονται για να χρησιμοποιούν ως καύσιμο κίνησης το LNG ή άλλα καύσιμα χαμηλής ανάφλεξης. Ο Κώδικας IGF δεν θα εφαρμοστεί σε φορτηγά πλοία μικτής χωρητικότητας μικρότερης των 500 τόνων αλλά οι περιορισμοί του IGF θα μπορούσε να εφαρμοστούν προαιρετικά, σύμφωνα με τη νομοθεσία κάθε κράτους μέλους. Η δεύτερη φάση της ανάπτυξης του κώδικα IGF έχει ξεκινήσει και αφορά μέτρα για τα καύσιμα με χαμηλή σημείο ανάφλεξης τα οποία περιλαμβάνουν μέθυλο / αίθυλο αλκοόλες, κυψέλες καυσίμου (fuel cells) και ντίζελ χαμηλής ανάφλεξης.

3.3 Περιβαλλοντικά πρότυπα (MARPOL 73/78)

Κυριότερο νομοθέτημα είναι η διεθνής σύμβαση για την αποφυγή ρύπανσης της θάλασσας από πλοία του 1973 (International Convention on the Prevention of Pollution from Ships), όπως τροποποιήθηκε με το πρωτόκολλο του 1978, γνωστή ως MARPOL 73/78.

Στόχος της MARPOL είναι να αποφευχθεί η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από την απόρριψη πετρελαίου, χημικών και άλλων επιβλαβών ουσιών ή αποβλήτων από πλοία. Το πετρέλαιο είναι η πιο συνήθης επιβλαβής ουσία και είναι γεγονός ότι περισσότερη ποσότητα πετρελαίου απορρίπτεται από ένα πλοίο υπό τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας του παρά σε περίπτωση ατυχήματος. Η Σύμβαση MARPOL περιορίζει τα επιτρεπτά επίπεδα "απόρριψης" και επιβάλλει στα κράτη μέλη της:

1. να επιθεωρούν τα πλοία στα λιμάνια και στη θάλασσα

2. να εντοπίζουν (για παράδειγμα, μέσω εναέριας επιτήρησης) και να διώκουν τα ρυπαίνοντα πλοία και
3. να εξασφαλίζουν την ύπαρξη επαρκών και κατάλληλων διευκολύνσεων υποδοχής των αποβλήτων των πλοίων στα λιμάνια.

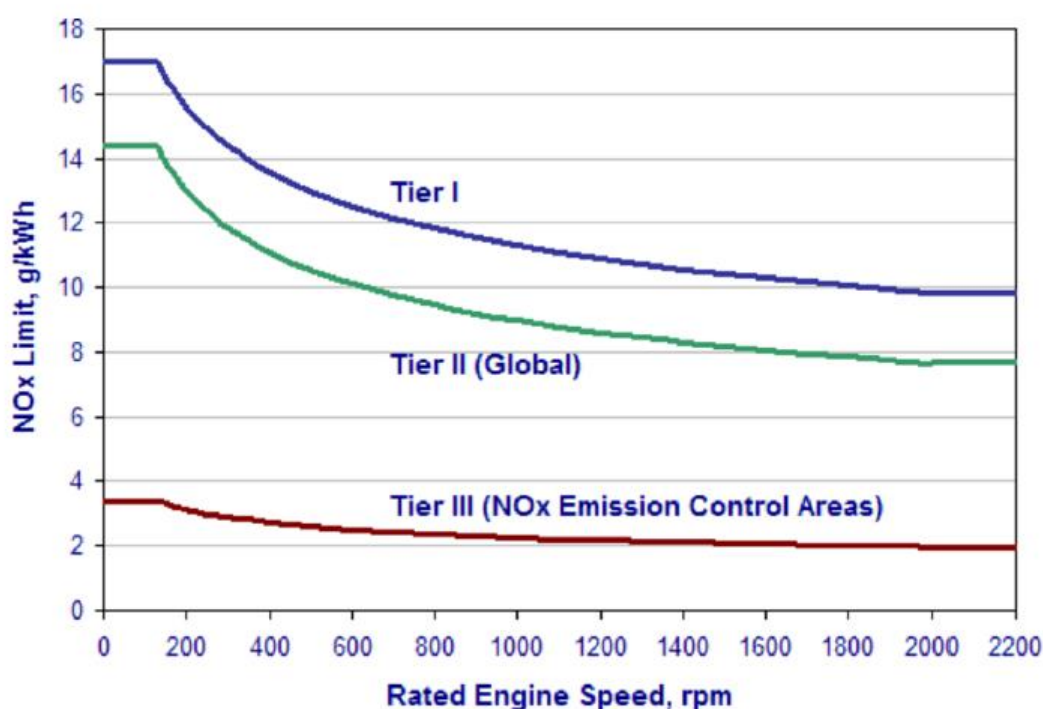
Στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, η σύμβαση της MARPOL τροποποιήθηκε από το “Πρωτόκολλο 1997” το οποίο περιλαμβάνει το Παράρτημα VI: “Κανονισμοί για τον Περιορισμό της αέριας ρύπανσης από Πλοία” όπου τίθενται όρια όσον αφορά στις εκπομπές αερίων NO_x και SO_x (low sulphur fuel) από τα καυσαέρια των πλοίων και απαγορεύει την ηθελημένη εκπομπή ουσιών που καταστρέφουν το όζον (Tier I standards). Περαιτέρω μειώθηκαν τα όρια στους Tier II και Tier III που υιοθετήθηκαν το 2008. Στους κανονισμούς αυτούς προβλέπεται ότι ανάλογα με τη χρονολογία εγκατάστασής τους, οι κινητήρες θα πρέπει να είναι συμβατοί με τα αντίστοιχα επίπεδα ορίων. Τεχνικά, τα όρια του Tier II μπορούν να ικανοποιηθούν με βελτίωση της διεργασίας της καύσης ήτοι το χρονισμό έγχυσης καυσίμου, το προφίλ έγχυσης και τον χρονισμό των βαλβίδων εξαγωγής. Τα όρια του Tier III μπορούν να ικανοποιηθούν με χρήση περισσότερο σύνθετων τεχνικών μείωσης των εκπομπών NO_x, όπως η εισαγωγή νερού στον θάλαμο καύσης, η ανακύκλωση καυσαερίων και η εγκατάσταση καταλυτών. Τα όρια των Tier I και Tier II ισχύουν παγκοσμίως ενώ τα όρια του Tier III ισχύουν μόνο στις Περιοχές Καθορισμένων Εκπομπών NO_x.

Tier	Συμμόρφωση	Όρια NO _x (g/kWh)		
		n<130	130<n<2000	n>2000
Tier I	2000	17,0	$45 * n^{-0,2}$	9,8
Tier II	2011	14,4	$44 * n^{-0,23}$	7,7
Tier III	2016	3,4	$9 * n^{-0,2}$	1,96

Πίνακας 4. Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) για διαφορετικές περιοχές της ονομαστικής συχνότητας περιστροφής n του κινητήρα σε RPM [12]

Στο Παράρτημα VI, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2005, τέθηκαν όρια για τις εκπομπές ρύπων, όμως η ανάγκη για περεταίρω μείωσή τους ώθησε τον IMO να τροποποιήσει το Παράρτημα VI το 2010 μειώνοντας το περιεχόμενο σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα από 4,5% σε 3,5% το μέγιστο. Προβλέπεται ότι αυτό

το όριο θα μειωθεί το 2020 περεταίρω σε 0,5% αν και αυτός ο στόχος θα επανακαθοριστεί το 2018, μετά από επανεκτίμηση της βιωσιμότητάς του. Ειδικότερα έως το 2018 θα διερευνηθεί μέσω της εκπόνησης μελέτης σκοπιμότητας, η δυνατότητα να υπάρχει παγκοσμίως καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο 0,5% σε μεγάλες ποσότητες στα διυλιστήρια που να μπορούν να το χρησιμοποιήσουν οι ναυτιλιακές εταιρείες σε όλο τον κόσμο. Στην περίπτωση δε που δεν θα είναι κάτι τέτοιο εφικτό ο IMO θα εξετάζει την εφαρμογή του κανονισμού το 2025.



Διάγραμμα 3. Επιτρεπόμενα όρια εκπομπών NO_x συναρτήσει του ονομαστικού αριθμού στροφών του κινητήρα σύμφωνα με Tier I, II, III του IMO [12]

Στη Σύμβαση αυτή, καθορίζονται συγκεκριμένες περιοχές στις οποίες ισχύουν ανώτατα όρια εκπομπής. Αυτές είναι οι Περιοχές Καθορισμένων Εκπομπών (Emission Control Areas – ECA) για εκπομπές SO_x και NO_x, και μικροσωματιδίων (PM). Η πρώτη περιοχή που περιλήφθηκε στη Σύμβαση ήταν η Βόρεια Αμερική, η οποία περιλαμβάνει τις περισσότερες ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά. Οι Κανονισμοί που έθεταν συγκεκριμένα όρια εκπομπών από πλοία τέθηκαν σε ισχύ το 2012. Στις περιοχές ECA, από το 2010 το περιεχόμενο σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα μειώνεται σε 1% και από το 2015 σε 0,1% [8].

Η Σύμβαση θέτει περιορισμούς για την Ευρώπη μόνο για εκπομπές SO_x στην Βαλτική θάλασσα, τη Βόρεια θάλασσα και το κανάλι της Μάγχης. Οι Περιοχές Καθορισμένων Εκπομπών Θείου (Sulphur Emission Control Areas – SECA) περιλαμβάνουν το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία, τη Γερμανία, τη Δανία, την Πολωνία, την Λετονία, την Λιθουανία, την Εσθονία, την Βαλτική Ρωσία, τη Φιλανδία, τη Σουηδία και τη Νορβηγία. Στις περιοχές SECA, από το 2010 το περιεχόμενο σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα μειώνεται από 1,5% σε 1 % και από το 2015 σε 0,1%.

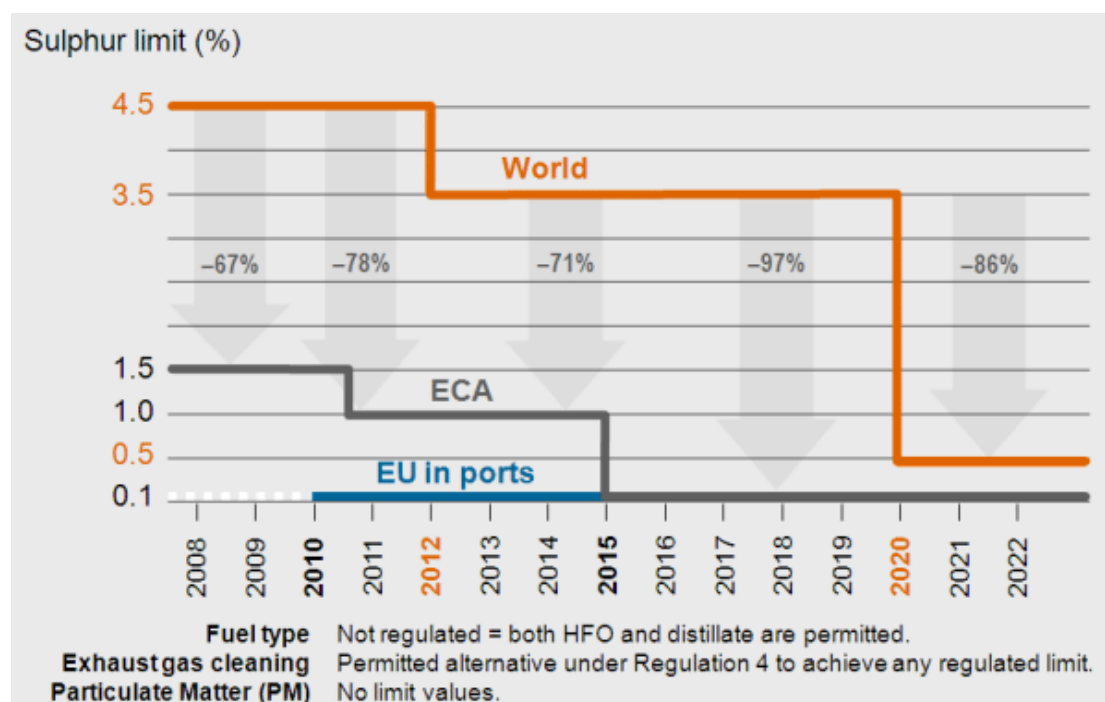
Στην Ευρώπη, η Σύμβαση υιοθετήθηκε με την Οδηγία 2012/32/ΕΕ και απαγορεύει την παράταση μετά το 2020 της εφαρμογής του περιορισμού του 0,5% του περιεχόμενου θείου των ναυτιλιακών καυσίμων. Ο κανονισμός θα εφαρμοστεί, από το 2020, σε όλη την οικονομική της ζώνη, 200 ναυτικά μίλια από κάθε ακτή, με ισχύ και στο μεγαλύτερο κομμάτι της Μεσογείου, με εξαίρεση τις χώρες της Βόρειας Αφρικής. Επιπλέον ο IMO από το 2013 εφαρμόζει μηχανισμούς, που δεν σχετίζονται με τη χρήση του LNG στη ναυτιλία αλλά αποσκοπούν στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από τη ναυτιλία όπως τους δείκτες EEDI (Energy Efficiency Design Index), τα διαχειριστικά σχέδια SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) και επεξεργάζεται την καθιέρωση των MBM (Market Based Measures).

Τα μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας EEDI (Energy Efficiency Design Index) περιλαμβάνουν τον ορισμό γραμμών αναφοράς για τη ποσότητα των καυσίμων που το κάθε είδος πλοίου θα καταναλώνει με ένα συγκεκριμένο φορτίο. Τα πλοία που θα κατασκευάζονται στο μέλλον θα πρέπει να «νικούν» τη γραμμή αναφοράς κατά μία συγκεκριμένη ποσότητα, η οποία προοδευτικά θα γίνεται πιο αυστηρή με το πέρασμα του χρόνου. Έως το 2025, όλα τα νέα πλοία θα είναι περίπου 30% πιο ενεργειακά αποδοτικά από αυτά που κατασκευάστηκαν το 2014.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς ενεργειακής αποδοτικότητας, τα υφιστάμενα πλοία θα πρέπει να τηρούν ένα σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής αποδοτικότητας (Ship Energy Efficiency Management Plan –SEEMP), που θα αφορά ζητήματα όπως τη βελτίωση του σχεδιασμού της ρότας, τον καθαρισμό των υποθαλάσσιων τμημάτων και της προπέλας πιο συχνά, την υιοθέτηση τεχνικών

μέτρων όπως συστήματα επαναχρησιμοποίησης θερμότητας ή ακόμα και τοποθέτηση καινούργιας προπέλας.

Οι απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας υιοθετήθηκαν ως τροποποιήσεις του Παραρτήματος VI της MARPOL το 2011 και είναι σε ισχύ από το 2013. Οι δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας EEDI είναι υποχρεωτικοί για τα καινούργια πλοία ενώ η τήρηση Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας πλοίου (SEEMP) είναι υποχρεωτική για όλα τα πλοία.



Διάγραμμα 4. MARPOL Παράρτημα VI και Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τα όρια του θείου [8]

3.4 Ελληνική νομοθεσία για τη χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο

Η υιοθέτηση των τροποποιήσεων της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL 73/78 από την ελληνική νομοθεσία γίνεται με προεδρικά διατάγματα (όπως τα Π.Δ. 103/92 (ΦΕΚ 47 Α'/31-3-92), Π.Δ. 288/92 (ΦΕΚ 147 Α'/2-09-92), Π.Δ. 46/92 (ΦΕΚ 17 Α'/17-02-93), Π.Δ. 68/95 (ΦΕΚ 48 Α'/7-3-95), Π.Δ. 197/95 (ΦΕΚ 106 Α'/13-6-95), Π.Δ. 361/96 (ΦΕΚ 233 Α'/20-9-96 κλπ).

Στην Ελλάδα υφίσταται νομοθεσία για τον ανεφοδιασμό των πλοίων (bunkering) με συμβατικά καύσιμα. Για ανεφοδιασμό με LNG εφαρμόζεται το Προεδρικό Διάταγμα 293/86 όπως έχει τροποποιηθεί με τις απαραίτητες προσαρμογές προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η συμμόρφωση με τις διεθνείς πρακτικές. Κάθε αρχή λιμένος εφαρμόζει και τους δικούς της κανονισμούς οι οποίοι δημοσιεύονται στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης που όλοι όμως βασίζονται στο προεδρικό διάταγμα του 1986.

Επίσης ισχύουν οι κανονισμοί για τις πλωτές εγκαταστάσεις υποδοχής πετρελαιοειδών καταλοίπων που θεσπίζονται στην Υ.Α. 3231/89 (ΦΕΚ 573Β) «Όροι και προϋποθέσεις χορήγησης άδειας σε πλοία και πλωτά ναυπηγήματα που χρησιμοποιούνται ως πλωτές ευκολίες υποδοχής πετρελαιοειδών καταλοίπων» και οι συνθήκες και οι κανονισμοί ασφαλείας για την παραλαβή πετρελαιοειδών καταλοίπων ρυθμίζονται από το Γενικό Κανονισμό Λιμένα με αριθμ. 34 «Προϋποθέσεις και μέτρα ασφαλείας για την παραλαβή πετρελαιοειδών καταλοίπων από πλοία». Επιπλέον στην ΚΥΑ 46884/340231-10-2012 καθορίζεται η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας πρατηρίων πάσης φύσεως υγρών καυσίμων δημόσιας χρήσης και δημοσίων χώρων στάθμευσης από κτίρια και χώρους.

Με την ΚΥΑ 172058/2016 (ΦΕΚ 354/Β/17.2.2016) εναρμονίζεται η Ελληνική Νομοθεσία με την Οδηγία 2012/18/ΕΕ (Οδηγία SEVESO III) για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες, λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών. Η ΚΥΑ αφορά και τη διαχείριση του LNG καθώς στο παράρτημα της περιλαμβάνονται και τα υγροποιημένα φυσικά αέρια.

Απαιτούνται περαιτέρω τροποποιήσεις κάποιων άρθρων προκειμένου να υιοθετηθούν από την ελληνική νομοθεσία και οι πιο πρόσφατες αλλαγές στην διεθνή νομοθεσία.

Επόμενα στάδια για την ολοκλήρωση του Ελληνικού Νομοθετικού πλαισίου θα πρέπει να είναι η υιοθέτηση νομοθετικού πλαισίου για τον ανεφοδιασμό LNG το οποίο να περιλαμβάνει κανονισμούς για τα λιμάνια και αναθεώρηση του νομοθετικού πλαισίου για την αγορά φυσικού αερίου στην Ελλάδα για αυτές τις δραστηριότητες. Η σύνταξη συγκεκριμένου εγχειριδίου για τον ανεφοδιασμό

LNG στα λιμάνια θα διευκόλυνε τους εμπλεκόμενους φορείς και θα μεγιστοποιούσε την ασφάλειά των εμπλεκομένων και του περιβάλλοντος [8].

3.5 Ρυθμιστικό πλαίσιο

Η αιτία για την εισαγωγή πλοίων που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο, πέρα από τα πλοία μεταφοράς LNG, πηγάζει από την έλευση των κανονισμών αέριων εκπομπών που τείνουν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), και τα nGHGs, όπως τα οξείδια του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Από τα πρώτα στάδια, έγινε εμφανές ότι ήταν απαραίτητο να εφαρμοστεί μια ενιαία τεχνολογία για τη μείωση τόσο των αερίων του θερμοκηπίου και των nGHGs. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η εφαρμογή των τεχνολογιών μείωσης των nGHGs, όπως SO_x , η οποία οδήγησε σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου, αυξάνοντας έτσι τις εκπομπές CO_2 . Δεδομένης αυτής της αναγκαιότητας για μια ολιστική τεχνική λύση, η τεχνολογία για τους κινητήρες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο LNG με μειωμένων εκπομπών προφίλ έχει αποκτήσει δυναμική και προσελκύει το ενδιαφέρον των κατασκευαστών, των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής και των φορέων. Ωστόσο, η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είναι η μόνη επιλογή για τη μείωση των εκπομπών και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει απόλυτη ανάγκη για τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως θαλάσσιο καύσιμο. Οι SCRUBBERS και η αλλαγή καυσίμου μπορούν επίσης να αναπτυχθούν, μέχρι το 2020-2025, στις περισσότερες περιοχές, ακόμα και το μαζούτ μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η επιλογή του αποθειωμένου μαζούτ (HFO) - δηλαδή με περιεκτικότητα μικρότερη του 0,5% σε θείο - εξετάζεται επίσης.

Οι θετικές επιπτώσεις από τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου πλοίων συνεπάγονται ότι ο αυστηρός έλεγχος των μεθανίου είναι εφικτός κατά τη διάρκεια όλων των εργασιών. Ως αέριο του θερμοκηπίου, το μεθάνιο θεωρείται ότι είναι περισσότερο επιβλαβές από το CO_2 γιατί παγιδεύει περισσότερη ενέργεια θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, το μεθάνιο διαλύεται από την ατμόσφαιρα πιο γρήγορα από ό, τι το CO_2 . Για τα πλοία που χρησιμοποιούν ως καύσιμο υγροποιημένο φυσικό αέριο, το μεθάνιο δραπετεύει από το σύστημα πρόωσης ως αποτέλεσμα ατελούς καύσης ή

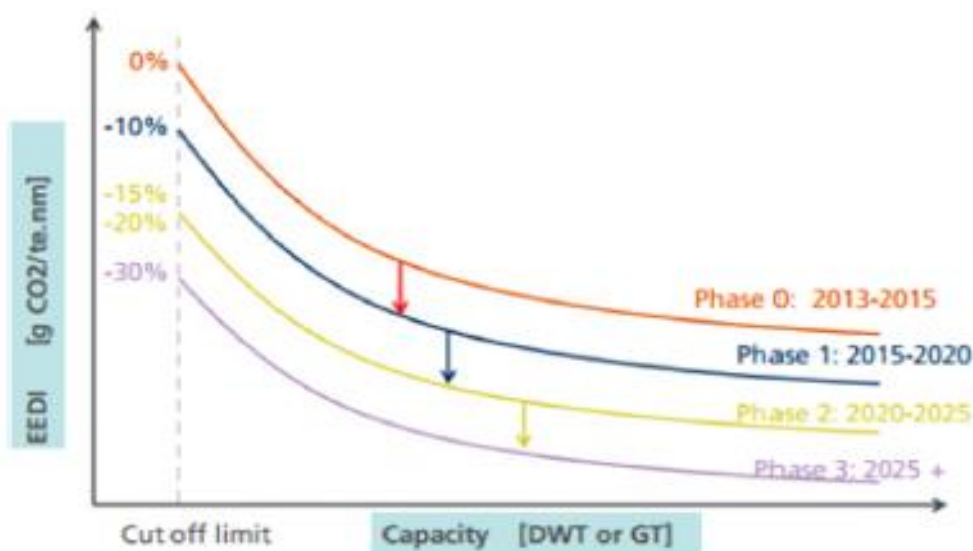
διοχετεύεται από τους αγωγούς αφού ο κινητήρας έχει σταματήσει, ειδικά στις μηχανές κύκλου Otto. Γενικά, η ατελής καύση αποφεύγεται με την εισαγωγή του LNG κατευθείαν μέσα στον κύλινδρο για τον καλύτερο έλεγχο της καύσης του μίγματος αερίων ή με τη χρήση της λεγόμενης φτωχής καύσης, όπου προστίθεται ένα σημαντικό πλεόνασμα του αέρα. Όσο μεθάνιο δεν καίγεται εγκαίρως μπορεί να αντιδράσει με την περίσσεια αέρα κατά την έξοδό του προς βαλβίδα εξαγωγής. Μετά την επεξεργασία των καυσαερίων υπάρχει επίσης μια δυνατότητα, με παρόμοιο τρόπο όπως ο καθαρισμός των SO_x. Περαιτέρω διερεύνηση των πιθανών θεμάτων που σχετίζονται με τη χρήση μεθανίου στα συστήματα πρόωσης των πλοίων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Όμως, εφ' όσον ο IMO διατηρεί πρότυπα εκπομπών που εστιάζονται σε μεμονωμένα σκάφη, τα εργοστάσια των πλοίων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο LNG είναι μακριά από το να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις [13].

Παρά τη ρυθμιστική δυναμική, οι εμπορικές και οικονομικές αμφιβολίες που σχετίζονται με την τιμολόγηση του LNG, η διαθεσιμότητα του καυσίμου LNG (εγκαταστάσεις bunkering) και οι υψηλές απαιτούμενες επιπλέον επενδύσεις είναι τα πιο σημαντικά εμπόδια που αποτρέπουν την υιοθέτηση του LNG ως θαλάσσιο καύσιμο. Βάσει της τρέχουσας κατάστασης του εμπορίου, τα μόνα πλοία με την υψηλότερη πιθανότητα να υιοθετήσουν το LNG σαν καύσιμο είναι τα πλοία που λειτουργούν σε σταθερή διαδρομή (φορτηγά πλοία, RoRo) και σχετικά μεγάλα πλοία που εξυπηρετούν τοπικό εμπόριο, συγκεκριμένα εντός των περιοχών ECAs. Αυτό σημαίνει πως το παγκόσμιο θειικό πλαφόν που τίθεται σε ισχύ μέχρι το 2020 ή το 2025, μαζί με το όριο του θείου που επιβάλλεται από την Ε.Ε. για τις ευρωπαϊκές θάλασσες μέχρι το 2020, ενισχύει το LNG ως θαλάσσιο καύσιμο. Αναμένεται πως όταν αυτοί οι κανονισμοί εφαρμοστούν, μεγαλύτερα ωκεανοπόρα πλοία θα λάβουν υπόψιν τους το LNG ως μια προσαρμοστική επιλογή. Δεδομένων των προσαρμοστικών ορίων (Διάγραμμα 3 και 4) οι επενδυτές έχουν ουσιαστικά τρεις επιλογές συμμόρφωσης:

1. Καθαρισμός καυσίμου : οι χειριστές μπορούν να εγκαταστήσουν συστήματα διπλού καυσίμου, τα οποία να επιτρέπουν στα βαριά καύσιμα έλαια (μαζούτ) υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HS-HFO) να καταναλώνονται όταν το

πλοίο λειτουργεί έξω από μια περιοχή ECA και στα βαριά καύσιμα έλαια χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LS-HFO) MDO ή MGO να καταναλώνονται εντός της περιοχής. Αυτή η λύση συμμορφώνεται με τον Κανονισμό 14 για τις ενώσεις θείου, παρόλο που αυξάνει τα λειτουργικά ρίσκα, ειδικά για τα πλοία που εισέρχονται ή λειτουργούν συχνά σε μια περιοχή ECA. Ακόμα η CSR, η EGR ή μια σχετική τεχνολογία πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ελάττωση των ενώσεων του αζώτου.

2. Προσθετική τεχνολογία : οι χειριστές μπορούν να εγκαταστήσουν ένα σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων (EGCS) το οποίο αποθειώνει τα καυσαέρια. Αυτή η επιλογή συνεπάγεται ότι τα HS-HFO μπορούν να καταναλωθούν σε όλες τις περιπτώσεις. Όπως και στην προηγούμενη επιλογή μια τεχνολογία ελάττωσης των ενώσεων του αζώτου πρέπει να εγκατασταθεί.
3. Καύσιμο LNG : οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το LNG ως θαλάσσιο καύσιμο. Το LNG παρέχει σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές ενώσεων θείου και αζώτου, το οποίο επιτρέπει στους χειριστές να συμμορφωθούν με τα υπάρχοντα και τα προτεινόμενα ρυθμιστικά όρια.



Διάγραμμα 5. Απαιτούμενο EEDI κατά των υφιστάμενων και των προτεινόμενων γραμμών αναφοράς [13]

Η διαφορά μεταξύ των τιμών καυσίμων των HS-HFO και LS-HFO αλλά και το πρόγραμμα απόσβεσης της προσθετικής τεχνολογίας ή της αρχικής επένδυσης

προσδιορίζει την ελκυστικότητα των διαθέσιμων επιλογών. Εντούτοις, το θέμα των αερίων του θερμοκηπίου και ειδικά των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία που έχουν ως καύσιμο LNG προσελκύει το ενδιαφέρον των ερευνητών και της αγοράς όπως επισημαίνεται στην βιβλιογραφία, όπως προωθείται από τους διαμορφωτές της πολιτικής και απασχολεί τους ειδήμονες. Στο κοντινό μέλλον, οι εκπομπές του μεθανίου, της αμμωνίας και των σωματιδίων αναμένεται να προσελκύσουν την προσοχή των πολιτικών υπευθύνων και των ρυθμιστικών φορέων, όπως στην περίπτωση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Επομένως, στις αποφάσεις, που επιδρούν στην επιλογή των τεχνολογιών για τις ενεργειακές ανάγκες πάνω στο πλοίο, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη οι όροι για αυτούς τους ρύπους σαν ένα κομμάτι του προληπτικού επιχειρησιακού σχεδιασμού.

Η μείωση του συνδέεται με την κατανάλωση των θαλάσσιων καυσίμων και το CO₂ είναι ο ρύπος από τα αέρια του θερμοκηπίου που επί του παρόντος προσελκύει το ενδιαφέρον των ρυθμιστικών φορέων. Στο κεφάλαιο 4 της MARPOL παράρτημα VI και συγκεκριμένα στους Κανονισμούς 19,20 και 21 όπως και στην Απόφαση MEPC.245(66) του 2014, παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την εφαρμογή Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI). Η ιδέα πίσω από το EEDI είναι να παρέχει ένα μέτρο (ή μια ένδειξη) της ενεργειακής απόδοσης, βασιζόμενο στις εκπομπές CO₂ ανά μονάδα μεταφοράς (τονοχιλιόμετρο). Είναι ξεκάθαρο ότι ο C_F, ένας μη διαστατός συντελεστής μετατροπής μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO₂, κυμαίνεται από 3.114 έως 3.206 ανάλογα με το βαθμό συμβατικού καυσίμου, όπως ορίζεται από τη διεθνή ταξινόμηση. Σε αντίθεση, ο C_F για το LNG είναι 2.75 –που σημαίνει μείωση περίπου 14%. Η έννοια πίσω από το EEDI απεικονίζεται καθαρά στο Διάγραμμα 5. Ένα μέτρο του EEDI υπολογίζεται για κάθε υπάρχον ή νέο πλοίο, σαν όρος του κανονισμού 19, βασιζόμενη στο πρότυπο που παρέχεται και τα όρια που ορίζονται στον κανονισμό 21. Το εκτιμώμενο μέτρο EEDI συνίσταται να είναι κάτω από τη γραμμή αναφοράς, ειδάλλως πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη μείωση CO₂ ανά μονάδα μεταφοράς. Η γραμμή αναφοράς θα επανεξεταστεί από τον IMO σε ορισμένο χρόνο όπου χαμηλότερες γραμμές αναφοράς θα οριστούν κατά τέτοιο τρόπο πιέζοντας τους χειριστές για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.

Πρόσφατα, η Ε.Ε. θέσπισε τον Κανονισμό 2015/757 στην παρακολούθηση, τη μετάδοση και την επαλήθευση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές(MRV Regulation). Αυτός ο κανονισμός απαιτεί τη συλλογή και την τελική δημοσίευση των ετήσιων επαληθευμένων δεδομένων των εκπομπών CO₂ από όλα τα μεγάλα πλοία που καταπλέουν σε ευρωπαϊκά λιμάνια από την 1^η Ιανουαρίου 2018, ανεξαρτήτως από πού τα πλοία έχουν νηολογηθεί [14].

$$EEDI = \frac{-CO_2 \text{ innovative technology}}{DWT \times \text{speed}} \quad (1)$$

Η απλοποιημένη μορφή του προτύπου EEDI, φαίνεται στην σχέση (1) όπου το CO₂ στον αριθμητή είναι το άθροισμα του CO₂ από την πρόωση και το CO₂ από τις βοηθητικές μηχανές. Η μονάδα ενεργειακής απόδοσης μπορεί να επηρεαστεί:

- Αυξάνοντας τον αριθμητή συνεπάγεται περισσότερη χρησιμοποίηση του πλοίου - πιο φορτωμένα τονοχιλιόμετρα εκτελούνται ή προσαρμογή της ταχύτητας. Η χρησιμοποίηση και η απόφαση για την μέση ταχύτητα λειτουργίας είναι αποφάσεις σχετικές με την αγορά: αν η αγορά είναι ισχυρή, τότε οι χειριστές αυξάνουν την ταχύτητα για να προσφέρουν περισσότερα τονοχιλιόμετρα, όταν η αγορά είναι αδύναμη, η αργή μεταφορά είναι πιθανή.
- Μειώνοντας τον αριθμητή συνεπάγεται μείωση του CO₂ εκβαλλόμενο από τους κύριους και τους βοηθητικούς κινητήρες ή αύξηση της παραγωγής, όσον αφορά τη βελτίωση τη ενεργειακής απόδοσης της τεχνολογίας. Βάσει του EEDI, η χρήση του LNG σημαίνει την περιστολή των εκπομπών CO₂, με σκοπό το ουσιαστικά χαμηλότερο C_F.

Ωστόσο ακόμα και αν όλα τα τεχνικά μέτρα εφαρμοστούν οι πολιτικοί στόχοι δεν θα επιτευχθούν. Το παγκόσμιο ρυθμιστικό πλαίσιο ευνοεί το LNG σαν θαλάσσιο καύσιμο μέσα από τις προτάσεις προκειμένου να μετριάσουν τα NO_x και SO_x και να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Οι ακόλουθες ημερομηνίες τονίζουν την αναγκαιότητα για τους υπεύθυνους να ξεκινήσουν τη μετάβαση σε πλοία με μειωμένων εκπομπών προφίλ:

1. Όρια ECA στο 0.1% από το 2015 (Διάγραμμα 4)
2. Φάση 1 του EEDI (Διάγραμμα 5) το 2015
3. Tier III, NO_x στην Βόρεια Αμερική ECA το 2016.

4. Πιθανός πρώτος χρόνος εφαρμογής του MRV Directive στην Ευρώπη το 2018 (European Commission, 2015).
5. Φάση 2 του EEDI (Διάγραμμα 5) το 2020
6. Ευρωπαϊκό όριο θείου στο 0.5%
7. Φάση 4 του EEDI (Διάγραμμα 5) το 2025
8. Πιθανές πρόσθετες ECAs
9. Πιθανές λειτουργικές προϋποθέσεις για τη μείωση του CO₂
10. Πιθανός παγκόσμιος MRV Κανονισμός
11. Πιθανό παγκόσμιο όριο θείου
12. Πιθανές περιφερειακές και τοπικές (συγκεκριμένο λιμάνι) προτάσεις [13]

Τοπικές προσεγγίσεις και κίνητρα δεν οριοθετούνται στη μείωση των ενώσεων θείου και αζώτου. Η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι επίσης υψίστης σημασίας για τις πόλεις-λιμάνια. Συνεπώς, πολλά λιμάνια παρέχουν κίνητρα για επιχειρήσεις οι οποίες δείχνουν να είναι πέρα από την ελάχιστη συμμόρφωση ή τα πρότυπα απόδοσης. Μερικά από αυτά τα κίνητρα είναι σχετικά με τον Περιβαλλοντικό Ναυτιλιακό Κατάλογο (ESI-Environmental Ship Index), ο οποίος είναι ένα μέτρο που προέρχεται από τον οργανισμό WPCI – World Port Climate Initiative της Διεθνούς Ένωσης Λιμένων (IAPH). Το ESI καθορίζει τα πρότυπα των εκπομπών για τα θαλασσοπόρα πλοία. Βασισμένο στο ESI ενός πλοίου, ένας ειδικός δασμός ή ένα σχέδιο από προνόμια επιβάλλεται στα πλοία προκειμένου να μειώσουν το αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι :

- Το λιμάνι του Αμβούργου που παρέχει μια έκπτωση από το 2013.
- Το λιμάνι του Ρότερνταμ βραβεύει με ένα 'Πράσινο Τρόπαιο'.
- Σουηδικά λιμάνια έχουν υιοθετήσει και προωθήσει απλές ιδέες οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε άλλες περιοχές.
- Η Σιγκαπούρη διεύρυνε τα κίνητρα εισάγοντας τα προγράμματα “Green Ship”, “Green Port”, and “Green Technologies”. Η πρόταση “Green Ship” βοηθάει στο να προσελκύει πλοία που ως κριτήριο για την άδεια εισόδου τους θα λαμβάνονται τα EEDI όρια από τον IMO. Τα πλοία που θα πληρούν τις προϋποθέσεις θα λαμβάνουν μια σημαντική μείωση στα τέλη εγγραφής και στους φόρους φορτίου. Το “Green Port” προωθεί τα πλοία με μειωμένες αποτύπωμα των αερίων του θερμοκηπίου και το “Green Technologies”

ενθαρρύνει τις τοπικές επιχειρήσεις να αναπτύξουν και να επενδύσουν στη σχετική τεχνολογία.

Προφανώς, αυτά τα κίνητρα επιβραβεύουν τους πιο "πράσινους" επιχειρηματίες με την μερική αποζημίωση του κόστους επένδυσης [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

Οικονομική προσέγγιση της χρήσης LNG

Στο Κεφάλαιο 4, πραγματοποιείται μια οικονομική προσέγγιση της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες όπως οι μακροχρόνιες συμβάσεις οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της τιμής του. Ακόμα, γίνεται αναφορά των ενδεικτικών ευρωπαϊκών τιμών του φυσικού αερίου και προτείνεται το υπό πίεση υγροποιημένο φυσικό αέριο ως οικονομικότερη λύση.

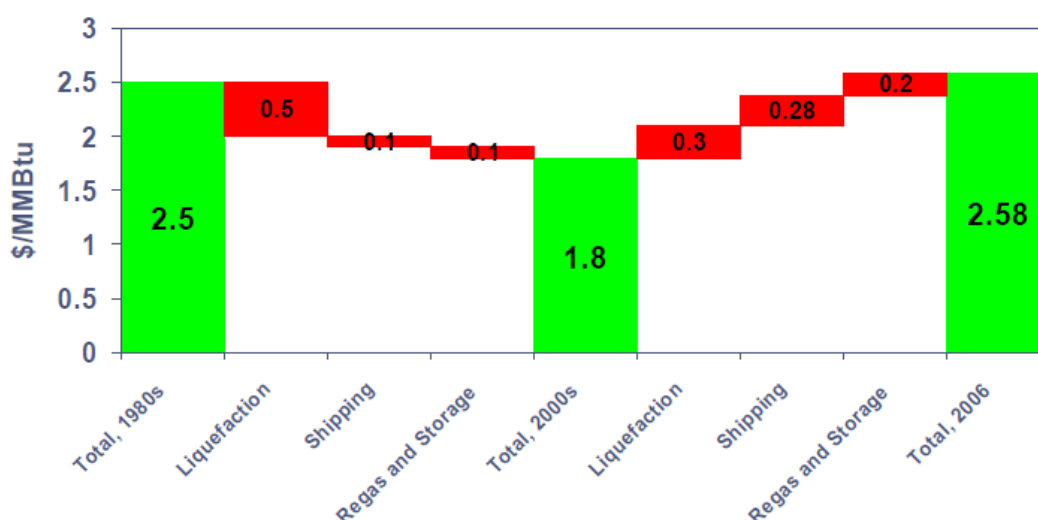
Ένας σημαντικός λόγος για την αναβίωση του ενδιαφέροντος για LNG στις ΗΠΑ περίπου στο τέλος του 1990 ήταν οι σημαντικές μειώσεις του κόστους ανά μονάδα κατά τη διάρκεια των τελευταίων αρκετών ετών. Το φυσικό αέριο μπορεί να παραχθεί οικονομικά και να παραδοθεί στις ΗΠΑ ως LNG σε ένα εύρος τιμών από περίπου \$ 2,50 - 3,50 έως \$ 4,50 - 5,50 ανά εκατομμύριο BTU (MMBtu) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα έξοδα αποστολής. Ένας σημαντικός λόγος για τη μείωση του κόστους ήταν η ανάπτυξη μεγαλύτερων "ικανών γραμμών" υγροποίησης για την παραγωγή πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων υγροποιημένου φυσικού αερίου, μαζί με τα μεγαλύτερα πλοία όπως οι Q-Max και Q-Flex δεξαμενόπλοια. Τα μεγαλύτερα πλοία επιτρέπουν τη μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά και τη βελτίωση των συνολικών οικονομικών του εφοδιασμού LNG και των αλυσίδων αξίας [15].

Από το 2000, η γενική διάρθρωση του κόστους για την παραγωγή ή την παράδοση της ενέργειας οποιασδήποτε μορφής έχει ωθηθεί προς τα πάνω

από την παγκόσμια ζήτηση. Για τη διαχείριση των δαπανών, οι παραγωγοί ενέργειας αναζητούν νέες τεχνολογίες που να μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα και να αυξήσουν την παραγωγικότητα και τις δεξιότητες του ανθρώπινου. Οι δαπάνες εξερεύνησης και παραγωγής και τα αποτελέσματα αυτών επηρεάζονται από τις βελτιωμένες τεχνολογίες, όπως η 3-D (τρισεδιάστατη) seismic, τις γεωτρήσεις και την ολοκλήρωση των πολύπλοκων αρχιτεκτονικών και από τις υποθαλάσσιες βελτιωμένες εγκαταστάσεις. Η 3-D seismic επιτρέπει τη λεπτομερή απεικόνιση των βράχων κάτω από την επιφάνεια της γης, επιτρέποντας έτσι στους επιστήμονες γεωσκόπησης την καλύτερη πρόβλεψη για την τοποθεσία των συσσωρεύσεων φυσικού αερίου. Οι γεωτρήσεις και η ολοκλήρωση των πολύπλοκων αρχιτεκτονικών επιτρέπουν στους μηχανικούς πετρελαίου να στοχεύουν με μεγαλύτερη ακρίβεια αυτές τις συσσωρεύσεις και να μεγιστοποιούν την ανάκτηση πετρελαίου και αερίου με τη χρήση πολυ-διακλαδισμένης αρχιτεκτονικής καθώς και ευφύων συστημάτων ολοκλήρωσης. Οι βελτιωμένες υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις επιτρέπουν στις εταιρείες να παράγουν φυσικό αέριο από το βάθος κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού. Επίσης, κατά μήκος της αλυσίδας αξίας LNG, τεχνικές καινοτομίες στην υγροποίηση και τη μεταφορά επέτρεψαν σε περισσότερα έργα υγροποιημένου φυσικού αερίου να πραγματοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί η εμπορική βιωσιμότητα. Η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού και η βελτίωση της τεχνολογίας συμβάλλει στη βελτίωση των οικονομικών έργων [15].

Στο σχεδιασμό του πλοίου, οι νέες τεχνολογίες περιλαμβάνουν τα νέα συστήματα πρόωσης για να αντικαταστήσουν τις παραδοσιακές μηχανές ατμοστρόβιλου με μικρότερες μονάδες που είναι πιο αποδοτικές, μειώνοντας όχι μόνο το κόστος των καυσίμων, αλλά και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς φορτίου. Η βελτιωμένη αποδοτικότητα των δεξαμενόπλοιων – μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, βελτιωμένη τεχνολογία ασφάλειας και βελτιωμένη αποδοτικότητα καυσίμων - έχουν μειώσει τα έξοδα μεταφοράς σημαντικά. Οι επεκτάσεις των ναυπηγείων στην Άπω Ανατολή και η αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των ναυπηγών μείωσε το κόστος των δεξαμενόπλοιων υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά 40% από το υψηλότερο επίπεδό τους από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 έως τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Ο

ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών οδήγησε επίσης στην μείωση των δαπανών για τις νέες εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης. Το κόστος επαναεριοποίησης μειώθηκε περίπου 18%. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των βελτιώσεων είναι ότι το συνολικό κόστος της παράδοσης υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει μειωθεί κατά σχεδόν 30% τα τελευταία 20 χρόνια. Λαμβάνοντας όλα τα προηγούμενα υπόψιν, η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η βελτίωση της παραγωγικότητας οδήγησε σε 28% πτώση στη διάρθρωση του κόστους της αλυσίδας αξίας LNG μεταξύ του 1980 και του 2000 (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6. Η εξέλιξη του κόστους της αξιακής αλυσίδας του LNG [2]

Οι πιέσεις του κόστους, που συνοδεύονταν από ισχυρή παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη και επίμονα υψηλές τιμές εμπορευμάτων κατά τη διάρκεια του 2007, οδήγησαν σε μια αντιστροφή των κερδών, αλλά τα έργα μεγάλης κλίμακας εξακολούθησαν να έχουν οικονομικά και αποτελεσματικά πλεονεκτήματα. Η μαθησιακή εμπειρία που προήλθε από την ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας τα τελευταία 20 με 30 χρόνια έχει αποδώσει μοναδικά πλεονεκτήματα στη βελτίωση των λειτουργιών, στις βέλτιστες πρακτικές, στην προσαρμογή της τεχνολογίας και στις δεξιότητες του ανθρώπινου δυναμικού [15].

Αυτή η συσσωρευμένη εμπειρία επιτρέπει στο LNG από μεγάλης κλίμακας, χαμηλού μοναδιαίου κόστους χώρες παραγωγής και εξαγωγής να συνεχίσουν να παραδίδουν στις ΗΠΑ και σε άλλες περιοχές, ακόμη και με πολύ χαμηλές

εγγώριες τιμές του φυσικού αερίου. Πηγαίνοντας προς τα εμπρός, νέα προσοχή δίνεται σε τεχνολογίες μικρότερης κλίμακας που μπορούν να χρησιμεύσουν σε μικρότερες αγορές όπως πλωτά έργα LNG που μπορούν να ενισχύσουν την ανάπτυξη των φυσικών πόρων αερίου από υπεράκτιες και άλλες απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και να παρέχουν δημιουργικές λύσεις για τη λήψη και τη συνεχή ανάπτυξη και επέκταση του εργατικού δυναμικού της βιομηχανίας LNG. Εν ολίγοις, η μείωση του κόστους και η γενική ανάπτυξη του εμπορίου υγροποιημένου φυσικού αερίου προώθησε την επέκταση των τερματικών σταθμών εισαγωγής στις Η.Π.Α. Το LNG εξακολουθεί να ανταγωνίζεται με τους αγωγούς φυσικού αερίου του στη Βόρεια Αμερική και την ευρωπαϊκή αγορά, δημιουργώντας τα οφέλη των ανταγωνιστικών τιμών για τους καταναλωτές, και ανταγωνίζεται με άλλες μορφές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο στην Ασία και άλλες περιοχές που χρειάζονται ποικίλες και οικονομικά προσιτές ενεργειακές προμήθειες [15].

4.1 Συμβατικές ρυθμίσεις και η τιμή του LNG

Δεν είναι δυνατόν μέχρι στιγμής να καθοριστεί ακριβώς το κόστος του LNG το οποίο θα χρησιμοποιείται ως καύσιμο πρόωσης για τα πλοία. Το κόστος που θα συμφωνηθεί θα είναι απόρροια της εν εξελίξει ανάπτυξης και των εμπορικών διαδικασιών και θα μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

4.1.1 Η μορφή του εμπορίου – Μακροχρόνιες συμβάσεις

Σε γενικές γραμμές, το διεθνές εμπόριο φυσικού αερίου (συμπεριλαμβανομένου και του LNG) τείνει να είναι πολύ πιο μακροπρόθεσμα προσανατολισμένο σε σχέση με το εμπόριο πετρελαίου και των προϊόντων πετρελαίου. Μεγάλο μέρος του διασυνοριακού εμπορίου φυσικού αερίου λαμβάνει χώρα στο πλαίσιο συμφωνιών 20 ετίας ή ακόμα και μεγαλύτερης διάρκειας. Επομένως, η τιμή συμφωνήθηκε ως μια φόρμουλα σε συνάρτηση με άλλες παραμέτρους τιμών, όπως κυρίως του αργού πετρελαίου ή των προϊόντων διύλισης πετρελαίου, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι θα υπάρχει μια ευνοϊκή σχέση μεταξύ του κόστους του φυσικού αερίου και του κόστους των

προϊόντων, τα οποία το φυσικό αέριο θα πρέπει να ανταγωνιστεί στις αγορές τελικών χρηστών.

Ένας κύριος λόγος για αυτό το μακροπρόθεσμο προσανατολισμό του εμπορίου φυσικού αερίου, είναι η ανάγκη εγκατάστασης μιας δαπανηρής υποδομής με σκοπό τη μεταφορά του φυσικού αερίου, είτε μέσω αγωγού είτε ως LNG. Οι μακροπρόθεσμες συμφωνίες, έχουν το πλεονέκτημα ότι διαβεβαιώνουν τους πωλητές φυσικού αερίου ότι θα μπορέσουν να αποσβέσουν τέτοιες δαπανηρές επενδύσεις, ενώ επίσης, διαβεβαιώνουν τους αγοραστές και τους χρήστες φυσικού αερίου, οι οποίοι συχνά πρέπει να κάνουν σημαντικές επενδύσεις σε εξοπλισμό για τη χρήση του φυσικού αερίου, ότι θα τροφοδοτούνται με προβλέψιμους όρους.

Οι εξελίξεις του LNG μικρής κλίμακας στη Σκανδιναβία διέπονται σε μεγάλο βαθμό από μια μακροπρόθεσμη προσέγγιση για τη σύναψη συμβάσεων, καθώς πολλές από τις συμφωνίες αυτές είναι διάρκειας άνω των 10 ετών. Η προμήθεια και η χρήση LNG για τη βιομηχανία και την ακτοπλοΐα απαιτεί σημαντικές επενδύσεις ειδικά από τον προμηθευτή του φυσικού αερίου καθώς επίσης και από το χρήστη του φυσικού αερίου. Οι συμφωνίες για την πώληση και την αγορά του φυσικού αερίου γίνονται παράλληλα με τις επενδυτικές αποφάσεις και με χρονικό ορίζοντα που καλύπτει ένα σημαντικό μέρος της οικονομικής ζωής αυτών των επενδύσεων. Το LNG ως καύσιμο πρόωσης για Ο/Γ και Ε/Γ-Ο/Γ πλοία και ορισμένων άλλων μορφών ναυτιλίας θεωρείται κατάλληλο για σύναψη συμβάσεων με μακροπρόθεσμη προσέγγιση. Απαιτεί την πραγματοποίηση συγκεκριμένων επενδύσεων σε πλοία που πρόκειται να χρησιμοποιούν ως καύσιμο πρόωσης το LNG καθώς και σε εγκαταστάσεις εφοδιασμού που θα εξυπηρετούν τα παραπάνω πλοία, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί απόσβεση των επενδύσεων. Ακολουθώντας, όσο οι πλοιοκτήτες θα αντιμετωπίζουν μια περιορισμένη επιλογή προμηθευτών οι οποίοι θα προσφέρουν LNG, τόσο οι προμηθευτές φυσικού αερίου θα αντιμετωπίζουν μια περιορισμένη αγορά πλοιοκτητών που θα επενδύουν στη μετατροπή ή την κατασκευή νέων πλοίων που θα κινούνται με LNG. Για αυτό το λόγο, οι μακροπρόθεσμες συμφωνίες για την παροχή LNG μπορούν να αποτελέσουν μια βάση για τις εν λόγω επενδυτικές αποφάσεις και από τα δύο μέρη.

Είναι κατανοητό ότι οι βραχυπρόθεσμες συμβάσεις για LNG μπορεί να αναπτυχθούν και να αποτελέσουν μελλοντικά την κύρια μορφή σύμβασης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, πρέπει το LNG να καθιερωθεί ευρύτερα ως καύσιμο πρόωσης για τα πλοία και ένα πλήθος προμηθευτών και αγοραστών LNG να είναι παρών στα σημαντικότερα λιμάνια παγκοσμίως. Ωστόσο, είναι κατανοητό ότι θα χρειαστούν αρκετά χρόνια για να πραγματοποιηθεί αυτό [2].

4.1.2 Ευρωπαϊκές τιμές Φυσικού Αερίου

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι τιμές της αγοράς για το φυσικό αέριο είναι, σε πολύ λιγότερο βαθμό ομοιόμορφες και ξεκάθαρες από ότι οι τιμές αγοράς του αργού πετρελαίου. Η τιμολόγηση του φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο είναι κατακερματισμένη, δηλαδή υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές μεταξύ διαφόρων τοποθεσιών και συμβάσεων, οι οποίες είναι εν μέρει εύκολα αντιληπτές.

Μερικές βραχυπρόθεσμες εμπορικές τιμές αναφορικά με το Ευρωπαϊκό φυσικό αέριο είναι εύκολα αισθητές, τόσο από την ICE Futures Exchange στο Λονδίνο όσο και από τις εκτιμήσεις των τιμών του φυσικού εμπορίου. Βραχυπρόθεσμες τιμές καθορίζονται για συγκεκριμένες μελλοντικές περιόδους, με έμφαση κυρίως στους δείκτες τιμών κατά τη διάρκεια του επόμενου μήνα. Οι βραχυπρόθεσμες τιμές φυσικού αερίου έχουν τον περιορισμό ότι δεν αντικατοπτρίζουν την πλειοψηφία του διασυννοριακού εμπορίου φυσικού αερίου στην Ευρώπη, κάτι το οποίο συμβαίνει με τις μακροπρόθεσμες συμβάσεις με τιμαριθμική αναπροσαρμογή στα προϊόντα πετρελαίου. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι μόνο το 5% έως 10% των απαιτήσεων φυσικού αερίου στην Ηπειρωτική Ευρώπη μπορεί να καλυφθεί από βραχυπρόθεσμες εμπορικές συμφωνίες.

Οι μακροπρόθεσμες τιμές συμβάσεων παρουσιάζουν μικρότερη μεταβλητότητα σε σχέση με τις βραχυπρόθεσμες τιμές, όπως αποδεικνύεται ιδιαίτερα κατά τα έτη 2005 με 2006 όταν υπήρξε απότομη εκτίναξη των τιμών του φυσικού αερίου των ΗΠΑ, γεγονός το οποίο προκλήθηκε από τις καταστροφικές θύελλες καθώς και των ευρωπαϊκών τιμών φυσικού αερίου, απόρροια των ανησυχιών για τις ρωσικές εξαγωγές φυσικού αερίου.

Παράλληλα, τέτοια γεγονότα που σχετίζονται άμεσα με το φυσικό αέριο, επηρεάζουν σε ελάχιστο βαθμό τις μακροπρόθεσμες τιμές φυσικού αερίου.

Η τυπική μορφή μιας σύγχρονης σύμβασης τιμής φυσικού αερίου έχει ως εξής [16]:

$$P_n = P_0 + c_G w_G (G_m - G_0) + c_F w_F (F_m - F_0)$$

όπου:

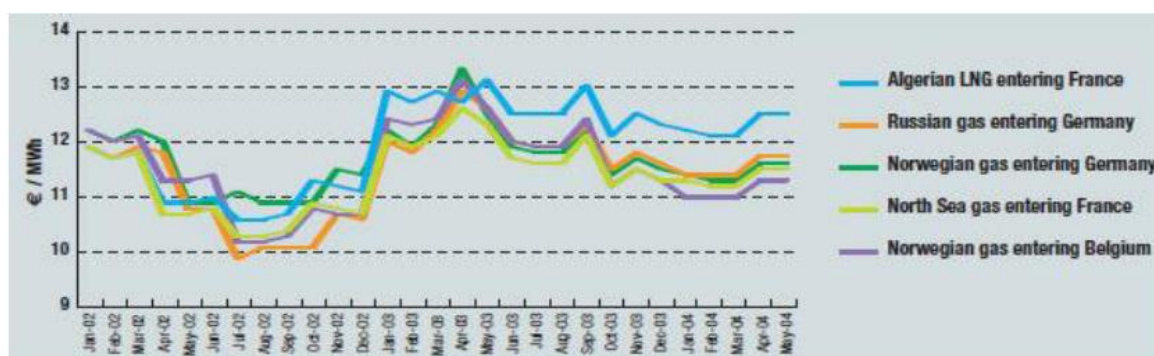
- P_n , είναι η τιμή του φυσικού αερίου που πρέπει να καταβληθεί για περίοδο n ,
- P_0 , είναι η τιμή του φυσικού αερίου που συμφωνήθηκε κατά την έναρξη της σύμβασης,
- c_G και c_F , είναι οι συντελεστές μετατροπής σχετικά με τη μετατροπή των μονάδων της προσφερόμενης τιμής του gasoil και του πετρελαίου σε ισοδύναμη φυσικού αερίου λαμβάνοντας υπόψη την ενέργεια,
- w_G και w_F , είναι οι συντελεστές βαρύτητας του gasoil και του πετρελαίου, οι οποίοι ορίζονται ως $w_G + w_F = 1$,
- G_m και F_m , είναι οι αξιολογήσεις των τιμών που παρατηρήθηκαν για το gasoil και το πετρέλαιο για την περίοδο m , η οποία αποτελεί τον μέσο όρο για αρκετούς μήνες πριν από την περίοδο n , έτσι ώστε να παρατηρείται η χρονική καθυστέρηση σε σχέση με το δείκτη τιμών του πετρελαίου
- G_0 και F_0 , είναι οι τιμές του gasoil και του πετρελαίου που καθορίζονται κατά την έναρξη της σύμβασης .

Μια έρευνα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Γενική Διεύθυνση Ανταγωνισμού (2007) διαπίστωσε ότι οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις εισαγωγής φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχετίζονταν το έτος 2004, κατά μέσο όρο όγκου, σε ποσοστό 44,8% με το gasoil, 29,5% με το βαρύ πετρέλαιο, 9,8% με τις βραχυπρόθεσμες τιμές φυσικού αερίου, 7,4% με άλλες ενεργειακές τιμές και 8,5% με σταθερές τιμές ή τιμές που προσαρμόζονται στο γενικό πληθωρισμό [2].

Η μακροπρόθεσμη προσέγγιση εμπορίου που περιγράφεται παραπάνω για το Ευρωπαϊκό φυσικό αέριο, ισχύει εξίσου και για το παγκόσμιο εμπόριο LNG, συμπεριλαμβανομένων και των ευρωπαϊκών εισαγωγών. Μεταφορές LNG με μεγάλα ($> 100.000\text{m}^3$) πλοία λειτουργούν συνήθως με συμβάσεις μεγαλύτερες

των 20 ετών. Κατά την τελευταία δεκαετία, έχει υπάρξει ενδιαφέρον για μια στροφή προς ένα πιο βραχυπρόθεσμο εμπόριο LNG, καθώς έχει αυξηθεί η συχνότητα των spot μεταφορών LNG αλλά παρ' όλα αυτά το παγκόσμιο εμπόριο LNG κυριαρχείται κατά κύριο λόγο από μακροπρόθεσμες συμφωνίες. Επιπροσθέτως, οι τιμές των παραπάνω συμβάσεων τείνουν να είναι σε συνάρτηση με τις τιμές του πετρελαίου, περισσότερο δε με αυτές του αργού πετρελαίου και όχι τόσο με αυτές των προϊόντων διύλισης πετρελαίου.

Το παρακάτω σχήμα (Διάγραμμα 7) παρουσιάζει μια σύγκριση των Ευρωπαϊκών τιμών φυσικού αερίου στις διάφορες μακροπρόθεσμες συμβάσεις, η οποία βασίζεται σε διαφορετικές πηγές. Επιπροσθέτως όπως παρατηρείται στο παρακάτω σχήμα, το Αλγερινό LNG βρίσκεται συχνά σε υψηλότερα επίπεδα τιμών σε σχέση με τις συμβάσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά μέσω αγωγών. Παρόλο που οι υπηρεσίες πληροφόρησης της αγοράς παραθέτουν τακτικές αναφορές σχετικά με τις παγκόσμιες αγορές LNG, ωστόσο οι σημαντικές συμφωνίες είναι πολύ λίγες και δε μπορούν να παρέχουν μια βάση για τακτική και αξιόπιστη εκτίμηση των τιμών της αγοράς.



Διάγραμμα 7. Σύγκριση των τιμών των Ευρωπαϊκών μακροπρόθεσμων συμβάσεων αερίου, 2002-2004 [2]

Εάν και όταν επικρατήσει, κάποια στιγμή μελλοντικά, το εμπόριο φορτίου με συστήματα μικρής κλίμακας LNG, τότε πιθανόν να προκύψει και μια ξεχωριστή αγορά με αναλύσιμες τιμές για τις συναλλαγές αυτές. Ενδεχομένως τότε, οι τιμές για τα μικρά φορτία LNG στη Βόρεια Ευρώπη να αποκλίνουν σε κάποιο βαθμό από τις τιμές του φυσικού αερίου που μεταφέρεται μέσω αγωγών, τόσο για τις βραχυπρόθεσμες όσο και για τις μακροπρόθεσμες συμβάσεις. Οι τιμές των μικρών φορτίων LNG που μεταφέρεται μέσω θαλάσσης είναι πιθανό τότε να είναι υψηλότερες από τις τιμές του φυσικού αερίου που μεταφέρεται μέσω

αγωγών για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παρόμοιο φαινόμενο διαφορετικών διαμορφώσεων των τιμών ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς και το μέγεθος του φορτίου παρατηρείται στην αγορά του υγροποιημένου αερίου πετρελαίου (LPG) στη Βόρειο Ευρώπη [2].

4.1.3 Η ανάγκη για πρόσβαση τρίτων μερών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί οι υποδομές του φυσικού αερίου, δηλαδή οι αγωγοί και οι τερματικοί σταθμοί LNG, να είναι προσβάσιμες από οποιοδήποτε συμβαλλόμενο μέρος με αμερόληπτους όρους. Μικροί τερματικοί σταθμοί LNG, όπως αυτοί που περιγράφονται παραπάνω, δεν απαλλάσσονται από αυτή την απαίτηση, ήτοι της πρόσβασης τρίτων μερών.

Η συγκεκριμένη απαίτηση μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα, όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατασκευή τέτοιων τερματικών σταθμών, επειδή τείνει να διαχωρίζει τις αποφάσεις που αφορούν τη χωρητικότητα του τερματικού σταθμού σε σχέση με τα άλλα μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστα μέρη των τερματικών σταθμών. Σε μερικές περιπτώσεις, τα συμβαλλόμενα μέρη, τα οποία έχουν προγραμματίσει την κατασκευή μεγάλων τερματικών σταθμών εισαγωγής LNG, έχουν επιλύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα διεξάγοντας διαδικασίες "ανοικτών περιόδων" πριν από τις τελικές επενδυτικές αποφάσεις, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη σύναψη συμφωνιών για τη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας των τερματικών καθώς πολλά από τα συμβαλλόμενα μέρη είχαν τη δυνατότητα να εκφράσουν το ενδιαφέρον τους για μακροπρόθεσμες συμφωνίες.

Επιπροσθέτως, κάτι παρόμοιο μπορεί να ισχύσει και για τους μικρούς τερματικούς σταθμούς που προορίζονται για σκοπούς ανεφοδιασμού LNG. Παρόλο αυτά, είναι επίσης εφικτό, ένα συμβαλλόμενο μέρος να αναλάβει την κατασκευή και την αξιοποίηση ενός τέτοιου είδους τερματικού σταθμού αντί να καταβάλει τέλη χρήσης, όπως συμβαίνει με πολλές εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετρελαίου και χημικών.

4.2 Εκτιμήσεις της τιμής του που παρέχεται ως καύσιμο για τα πλοία

Στο πλαίσιο μιας μακροπρόθεσμης σύμβασης LNG για ανεφοδιασμό καυσίμων, η τιμή του LNG θα καθορίζεται στην εν λόγω σύμβαση. Η συμφωνηθείσα τιμή πρέπει να είναι εμπορικά βιώσιμη για τον αγοραστή καθώς επίσης και για τον πωλητή, γεγονός που περιλαμβάνει δύο προϋποθέσεις:

1. Η χρήση του LNG δεν θα πρέπει να αποδυναμώνει την ανταγωνιστικότητα του πλοιοκτήτη σε σχέση με τη χρήση ενός άλλου καυσίμου.
2. Ο πωλητής του LNG θα πρέπει να είναι σε θέση να ανακτήσει το κόστος που προμηθεύει.

Η πρόκληση της ανάπτυξης και της σύναψης συμβάσεων για την προμήθεια LNG, είναι η θέσπιση των κατάλληλων όρων συμβολαίου που θα ικανοποιεί και τις δύο παραπάνω απαιτήσεις ταυτόχρονα. Συνηθισμένο φαινόμενο στις μακροπρόθεσμες πωλήσεις και συμβάσεις αγοράς είναι να συνδέεται η τιμή της σύμβασης ως μια φόρμουλα σχετιζόμενη με άλλες τιμές που παρατηρούνται και οι οποίες έχουν σημασία για τα συμβαλλόμενα μέρη, όπως για παράδειγμα, οι τιμές του αργού πετρελαίου, του gasoil καθώς και του βαρύ πετρελαίου. Οι διασυνδέσεις αυτές των τιμών αποσκοπούν στο να αποτραπεί ο διαχωρισμός της τιμής μιας μακροπρόθεσμης σύμβασης από την πραγματικότητα της αγοράς, γεγονός το οποίο δημιουργεί εντάσεις στη σχέση συμβολαίου.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να δομηθεί μια φόρμουλα τιμών για μια μακροπρόθεσμη σύμβαση προμήθειας LNG. Σε πολλές περιπτώσεις, ο μακροπρόθεσμος αγοραστής τείνει να ζητά διαβεβαίωση ότι το LNG δε θα παύσει να είναι ανταγωνιστικό έναντι των παραδοσιακών καυσίμων, των οποίων θεωρείται ως εναλλακτική λύση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένας αγοραστής LNG μπορεί να επιθυμήσει μια μακροπρόθεσμη σταθερή τιμή, δηλαδή να αποφύγει μια φόρμουλα που θα προκαλεί την αύξηση ή τη μείωση της τιμής του LNG βάση των τιμών του πετρελαίου.

4.2.1 Προσδιοριστικοί παράγοντες του κόστους προμήθειας LNG

Αν θεωρηθεί ότι οι προμηθευτές LNG οι οποίοι θα ανεφοδιάζουν με καύσιμα τα πλοία, δεν θα παράγουν το φυσικό αέριο αλλά θα προμηθεύονται φυσικό αέριο ή LNG από συγκεκριμένο σημείο προμήθειας και θα αναλαμβάνουν να διαθέσουν αυτό στα πλοία τότε το κόστος προμήθειας του LNG θα έχει δύο κύριες συνιστώσες:

Κόστος προμήθειας LNG = Τιμή φυσικού αερίου στην αγορά + Κόστος των υπηρεσιών Logistics από την παραλαβή έως και τη τελική διάθεση του LNG στο πλοίο.

Οι προμήθειες μπορούν να αποκτηθούν από δύο εναλλακτικές ή συμπληρωματικές πηγές με διαφορετικές δομές κόστους, ήτοι της μεγάλης κλίμακας και της μικρής κλίμακας LNG. Οι δύο κύριες συνιστώσες του κόστους που αναφέρονται παραπάνω θα αναλυθούν περαιτέρω παρακάτω, με βάση κυρίως το σύστημα παροχής μικρής κλίμακας, αλλά επίσης και με τις πιθανές συνέπειες που θα προκύψουν από τη μετάβαση προς τον εφοδιασμό από συστήματα μεγάλης κλίμακας, γεγονός που αποτελεί μια πιθανή μελλοντική εξέλιξη.

4.2.1.1 Η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου ως παράγοντας κόστους LNG

Οι παραγωγοί μικρής κλίμακας LNG, για παράδειγμα στη Νορβηγία, προμηθεύονται φυσικό αέριο το οποίο έχει παραχθεί από παράκτιες νορβηγικές τοποθεσίες και στη συνέχεια μεταφέρουν αυτό σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας φυσικού αερίου στη νορβηγική ακτή. Διαφορετικά, το φυσικό αέριο αυτό θα έπρεπε να μεταφερόταν μέσω αγωγών στην ευρωπαϊκή ήπειρο προκειμένου να εισέλθει στην ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου. Σε αυτή την περίπτωση η τιμή του φυσικού αερίου το οποίο θα αγοράζόταν για το σκοπό του συστήματος μικρής κλίμακας LNG προκειμένου στη συνέχεια να επεξεργαστεί και να προμηθευτεί στα πλοία, θα σχετιζόταν με τις τιμές της ευρωπαϊκής αγοράς φυσικού αερίου.

Εάν μελλοντικά το LNG αγοράζεται από μεγάλους ευρωπαϊκούς τερματικούς σταθμούς για να παρέχεται ως καύσιμο πρόωσης για τα πλοία, τότε είναι επίσης πιθανό η τιμή αγοράς του να σχετίζεται με τις τιμές του φυσικού αερίου

στην ευρωπαϊκή αγορά. Αυτό θα συμβαίνει καθώς το LNG που θα παρέχεται στα πλοία, θα σχετίζεται άμεσα με την ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου το οποίο θα έχει μεταφερθεί μέσω αγωγών.

Σε κάθε περίπτωση, οι μακροπρόθεσμες τιμές είναι περισσότερο σχετικές απ' ό τι οι βραχυπρόθεσμες τιμές, επειδή τόσο ο ανεφοδιασμός με LNG όσο και τα συστήματα τροφοδοσίας, που έχουν συσταθεί για αυτό το σκοπό, αποτελούν προσπάθειες με μακροπρόθεσμο ορίζοντα, αλλά επίσης αποφεύγονται και οι ακραίες διακυμάνσεις που παρουσιάζονται μερικές φορές στη βραχυπρόθεσμη αγορά.

Οι τιμές που συμφωνούνται σε μακροπρόθεσμο πλαίσιο για το φυσικό αέριο στη Β. Ευρώπη, έχουν την τάση να είναι στο 55% - 60% των τιμών υψηλής ποιότητας gasoil και αυτό αποδεικνύεται από τη διακύμανση του μέσου όρου μακροπρόθεσμων τιμών του φυσικού αερίου, το οποίο αγοράζεται είτε ως πρώτη ύλη από συστήματα μικρής κλίμακας LNG είτε ως LNG από μεγάλους τερματικούς σταθμούς.

4.2.1.2 Τα logistics ως παράγοντας κόστους του LNG

Τα έξοδα logistics που καθιστούν το φυσικό αέριο, που έχει αγοραστεί, διαθέσιμο ως LNG για τον ανεφοδιασμό ενός πλοίου, καλύπτουν κυρίως τέσσερα στοιχεία:

- Παραγωγή από συστήματα μικρής κλίμακας LNG, εκτός εάν προέρχεται από μεγάλο τερματικό σταθμό
- Μεταφορά φορτίου σε λιμάνι ανεφοδιασμού καυσίμων
- Τερματικός σταθμός στο λιμάνι ανεφοδιασμού
- Λειτουργία ανεφοδιασμού με LNG από τον τερματικό σταθμό στο πλοίο

Η παραγωγή LNG απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας, συνήθως ηλεκτρικής, η οποία μπορεί να παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο ή να παράγεται τοπικά από φυσικό αέριο. Εάν παράγεται από φυσικό αέριο, το 10 - 15% της τροφοδοσίας αερίου δαπανάται για αυτό το σκοπό, με αποτέλεσμα να παράγεται πλεονάζουσα θερμότητα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς.

Το κόστος παραγωγής LNG μικρής κλίμακας από τις μελλοντικές εγκαταστάσεις μπορεί να προσδιοριστεί σε ένα εύρος από 8€ έως 14€ ανά MWh, το οποίο θα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως τα κόστη κατασκευής, τα ενεργειακά κόστη, τα κόστη χρήσης, κτλ.

Εάν επιτευχθεί η προμήθεια LNG από μεγάλους τερματικούς σταθμούς, τότε τα κόστη παραγωγής LNG μικρής κλίμακας πρόκειται να αποφευχθούν. Ωστόσο, αναμένεται να υπάρξουν υψηλότερα κόστη μεταφοράς με πλοία λόγω του ότι οι πιο πιθανές πηγές φυσικού αερίου βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την Ευρώπη.

Το κόστος του ναύλου και του τερματικού προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη πως το LNG θα πρέπει να μεταφερθεί στα λιμάνια ανεφοδιασμού καυσίμων, πιθανότατα από πλοία μεταφοράς LNG και να παραδοθεί σε εγκατάσταση τερματικού σταθμού με ικανότητα αποθήκευσης. Η χωρητικότητα αποθήκευσης της δεξαμενής πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά λόγω του υψηλού της κόστους αλλά επίσης πρέπει να έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης της μεταφορικής ικανότητας των πλοίων.

Το κόστος της λειτουργίας ανεφοδιασμού, το οποίο περιλαμβάνει την παροχή LNG από ένα τοπικό τερματικό σταθμό στις δεξαμενές καυσίμων ενός πλοίου, μπορεί να διεξαχθεί με φορτηγά, φορτηγίδες ή από εγκατάστασης ξηράς μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών. Τα κόστη αυτά θα εξαρτηθούν από τις τοπικές συνθήκες, οι οποίες επικρατούν σε κάθε λιμένα και αναμένονται να είναι συγκριτικά μικρά σε σχέση με τις άλλες συνιστώσες κόστους.

4.3 Το PLNG ως οικονομικότερη λύση

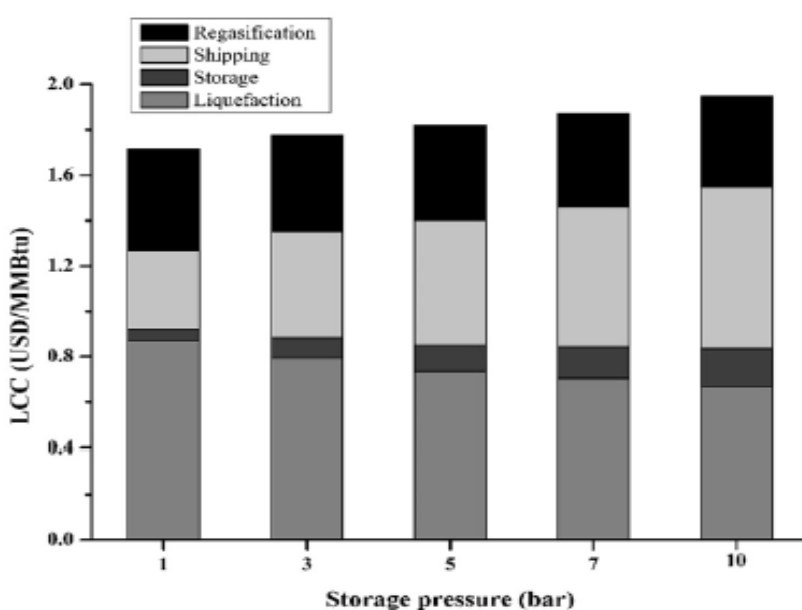
Με την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση σχετικά με την καθαρή ενέργεια μετά το πυρηνικό ατύχημα του 2011 στη Φουκοσίμα, η ζήτηση για υδροποιημένο φυσικό αέριο, το οποίο είναι δημοφιλής μεταφορική λύση προς το εξωτερικό για φυσικό αέριο, αυξήθηκε ταχέως. Όταν το φυσικό αέριο εξάγεται, οδηγείται σε μία παραλιακή εγκατάσταση παραγωγής. Μετά την υδροποίηση, αυτό αποθηκεύεται σε μια αποθηκευτική δεξαμενή σε περιβαλλοντική πίεση. Το αποθηκευμένο LNG τυπικά μεταφέρεται μέσω ενός πλοίου σε ένα τερματικό σταθμό εισαγωγής και το μεταφερόμενο LNG χρησιμοποιείται σαν πηγή

ενέργειας μετά την επαναεριοποίησή του. Δηλαδή, το LNG παράγεται, αποθηκεύεται και μεταφέρεται σε ατμοσφαιρική πίεση καθ' όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Ωστόσο τα μειονεκτήματα του υπό περιβαλλοντική πίεση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι οι υψηλές δαπάνες και οι εγκαταστάσεις που απαιτούνται για την παραγωγή του. Γενικά, η διαδικασία παραγωγής του LNG ευθύνεται για το 30-40% του κόστους στην αξιακή αλυσίδα του LNG.

Το υπό πίεση υγροποιημένο φυσικό αέριο (PLNG) προτάθηκε σαν μια λύση στο πρόβλημα του υψηλού κόστους παραγωγής του LNG. Μία σημαντική ποσότητα ενέργειας απαιτείται για την υγροποίηση και τα στάδια επαναεριοποίησης του ALNG(Ambient Liquified Natural Gas) λόγω της μεγάλης διαφοράς ενθαλπίας μεταξύ της αέριας και της υγρής κατάστασης. Αντίθετα, το PLNG καταναλώνει σχετικά μικρές ποσότητες ενέργειας για την υγροποίηση και επαναεριοποίηση λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας υγροποίησης σε σύγκριση με το ALNG. Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα, το PLNG απαιτεί ακριβές δεξαμενές που να αντέχουν σε πιέσεις υψηλότερες των ατμοσφαιρικών συνθηκών και το κόστος αυτών των 'πλοίων πίεσης' αυξάνεται ανάλογα με τα επίπεδα της πίεσης που απαιτούνται. Συνεπώς, η ανάπτυξη ενός οικονομικού 'πλοίου πίεσης' και ο προσδιορισμός της βέλτιστης πίεσης για την παραγωγή και την αποθήκευση είναι κρίσιμα για τη βελτιστοποίηση των οικονομικών της αλυσίδας εφοδιασμού του PLNG.

Η ιδέα για το PLNG προτάθηκε από τον Arne Johansen το 1993 και έπειτα πολλές πατέντες εφαρμόστηκαν ενώ το 2005 προτάθηκε το νέο σύστημα συγκράτησης PLNG για να πραγματοποιήσει την παραγωγή. Οι συγγραφείς απέδειξαν ότι οι βέλτιστες συνθήκες για το PLNG είναι τα 17 bar και οι -115 C° για τυπικές εφαρμογές. Υπό τις προτεινόμενες συνθήκες, οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το PLNG έχει πολλά πλεονεκτήματα. Εκτός από τη μείωση της τροφοδοτούμενης ενέργειας, το PLNG έχει την ικανότητα να συγκρατεί σχεδόν στο 1% το CO₂ γύρω στα 10 bar και στο 2% CO₂ γύρω στα 20 bar, καθόσον ο τρέχων περιορισμός του ALNG ορίζει πως η συγκέντρωση του CO₂ πρέπει να είναι κάτω από τα 50 ppm [17]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η διαλυτότητα του CO₂ σε ένα διάλυμα LNG αυξάνεται με την θερμοκρασία. Η επεξεργασία του όξινου αερίου μπορεί να αφαιρεθεί για το PLNG ανάλογα με το περιεχόμενο του όξινου αερίου στο αέριο τροφοδοσίας και στην πίεση

αποθήκευσης. Παρόμοια, η υψηλή θερμοκρασία επίσης βελτιώνει τη διαλυτότητα των αρωματικών συστατικών τα οποία αφαιρούνται στην αλυσίδα εφοδιασμού του ALNG μέσω ενός πύργου scrub πριν τη διαδικασία υγροποίησης. Ακόμα, οι συγγραφείς υποστηρίζουν πως το διάστημα για την παραγωγή PLNG θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά σε αντίθεση με αυτό του ALNG λόγω της εξάλειψης των διαδικασιών επεξεργασίας των αερίων. Όμως, το PLNG έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Σε βέλτιστες συνθήκες, η πυκνότητα του είναι 80% περισσότερη από αυτή του ALNG και η μείωση της μεγαλώνει τον όγκο 25% για τους σκοπούς της μεταφοράς ισότιμης μάζας LNG [17].

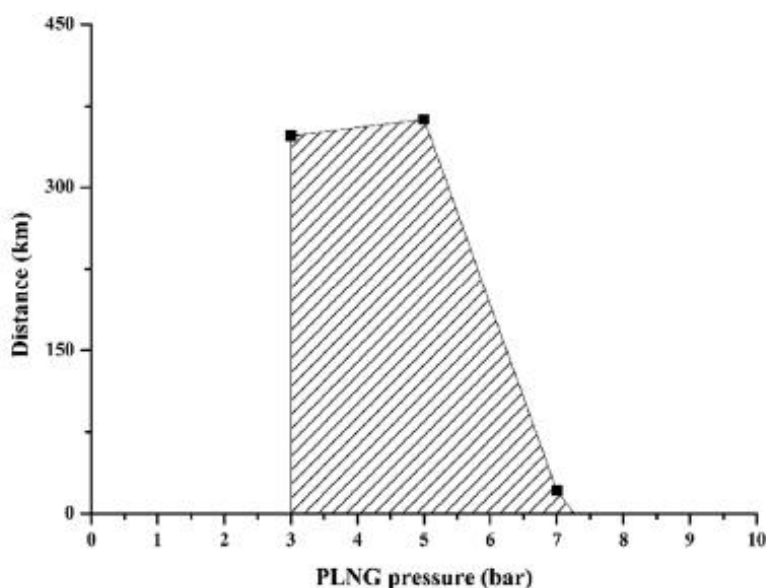


Διάγραμμα 8. Κόστος κύκλου ζωής (LCC) της αλυσίδας εφοδιασμού [17]

Προσθέτοντας τα κόστη όλων των σταδίων (υγροποίηση, σύστημα συγκράτησης, μεταφορά, επαναεριοποίησης), η διακύμανση του ολικού κόστους ζωής (Life Cycle Cost) της αλυσίδας εφοδιασμού με την πίεση αποθήκευσης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8. Στο κόστος κύκλου ζωής της μεταφοράς ALNG, το κόστος για την υγροποίηση καταλαμβάνει σχεδόν το 51% του ολικού κόστους κύκλου ζωής. Όταν η πίεση αποθήκευσης αυξάνεται στα 10 bar, το ποσοστό κόστους υγροποίησης για το PLNG μειώνεται κατά 39%, ενώ το κόστος μεταφοράς διπλασιάζεται και το κόστος αποθήκευσης τριπλασιάζεται συγκριτικά με τα αντίστοιχα κόστη του ALNG. Το κόστος επαναεριοποίησης ευθύνεται για το 26% της αλυσίδας εφοδιασμού του ALNG

και μειώνεται ελαφρώς με την πίεση. Ως επακόλουθο, η μεταφορά του PLNG αυξάνει το ολικό κόστος μεταξύ 4% έως 14% σε σύγκριση με τη μεταφορά του ALNG όταν η απόσταση μεταφοράς είναι 3.000 km.

Η απόσταση μετακίνησης του SRV (Shuttle and Regasification Vessel system) εικάζεται να είναι μεταξύ 500km και 12.000km. Ανάμεσα στα ολικά LCCs, μόνο τα LCCs της μεταφοράς και της επαναεριοποίησης επηρεάζονται από την απόσταση μετακίνησης. Όσο η απόσταση μετακίνησης αυξάνεται, τόσο και το μέρος του κόστους της κατανάλωσης καυσίμου αυξάνεται και η ετήσια ποσότητα ενέργειας που διανέμεται μειώνεται. Συνεπώς, το LCC της μεταφοράς αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης. Το κόστος επαναεριοποίησης επίσης αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης λόγω της μείωσης των ετήσιων λειτουργικών ημερών του συστήματος επαναεριοποίησης στο SRV. Στο Διάγραμμα 9 υποδεικνύεται η μέγιστη απόσταση μετακίνησης για την οποία το PLNG μπορεί να μεταφερθεί χωρίς να χάσει τη οικονομική βιωσιμότητά του απέναντι στο ALNG.



Διάγραμμα 9. Εκτιμώμενη μέγιστη απόσταση μεταφοράς για την αλυσίδα εφοδιασμού PLNG [17]

Το υλικό των συστημάτων συγκράτησης είναι ακόμα ένας παράγοντας που επηρεάζει το κόστος κύκλου ζωής του FLNG (Floating Liquified Natural Gas). Όσο η πίεση στις δεξαμενές αυξάνεται, το κόστος αποθήκευσης του FLNG

αυξάνεται σημαντικά. Το LCC μεταφοράς επηρεάζεται από την πίεση. Προκειμένου να μειωθεί η επίδραση της πίεσης, το κόστος του συστήματος συγκράτησης PLNG στο FLNG και στο SRV επαναυπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ένα πιο οικονομικό υλικό αντί για 9% ανοξείδωτο χάλυβα νικελίου. Πρόσφατα, πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με την εφαρμογή του χάλυβα μαγγανίου σε κρυογενικές εφαρμογές, περιλαμβανομένων των δεξαμενών αποθήκευσης ALNG. Στο Διάγραμμα απεικονίζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του LCC για το σύστημα συγκράτησης του PLNG όταν το υλικό για την δεξαμενή αποθήκευσης αλλάξει. Το LCC του συστήματος συγκράτησης PLNG για οποιαδήποτε πίεση αποθήκευσης είναι μειωμένο κατά 43% σε σύγκριση με προηγούμενες εκτιμήσεις. Όταν η πίεση είναι στα 3 bar, το κόστος του συστήματος συγκράτησης είναι σχεδόν το ίδιο με εκείνο του συστήματος συγκράτησης ALNG. Όταν η πίεση αποθήκευσης είναι στα 10 bar, το κόστος είναι μόνο 1.9 φορές μεγαλύτερο από εκείνο του ALNG.

Μετά από οικονομικές και τεχνικές μελέτες, τα αποτελέσματα έδειξαν πως η αλυσίδα εφοδιασμού PLNG είναι οικονομικά εφαρμόσιμη όταν η πρισματική δεξαμενή πίεσης είναι κατασκευασμένη από ένα συμβατικό κρυογονικό υλικό. Τα αποτελέσματα της οικονομική εκτίμησης υπέδειξαν ότι η βέλτιστη πίεση μεταφοράς της αλυσίδας εφοδιασμού PLNG είναι σχεδόν τα 5 bar και η μεταφορά PLNG είναι οικονομικότερη από τη μεταφορά όταν η απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη από 400km. Όταν χρησιμοποιείται ένα φθηνότερο υλικό για το σύστημα συγκράτησης, τότε η αλυσίδα εφοδιασμού PLNG γίνεται οικονομικότερη από αυτή του ALNG και για μακρύτερες αποστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση η βέλτιστη πίεση για την αλυσίδα εφοδιασμού PLNG είναι 3 bar και η μέγιστη απόσταση μεταφοράς είναι 10.000 km. Υπό τις βέλτιστες συνθήκες, το κόστος μεταφοράς PLNG μειώνεται 5-6% για κοντινές αποστάσεις και σχεδόν 2-3% για μακρινές αποστάσεις συγκριτικά με το κόστος μεταφοράς ALNG.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

Δυνατότητες κατασκευής νέων τερματικών σταθμών LNG

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται οι σύγχρονες τεχνικές δυνατότητες για την κατασκευή νέων τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τέλος, αξιολογούνται οι τεχνικές υποδομές και οι σχετικές δραστηριότητες του λιμένα Ηρακλείου, διερευνάται ο πιθανός ρόλος του στην εξυπηρέτηση των απαιτούμενων διεργασιών (κυρίως σε ότι αφορά στον ανεφοδιασμό πλοίων με ΥΦΑ) και παρουσιάζονται τα βήματα και οι κυριότερες δυσκολίες προς την υλοποίηση ενός τέτοιου στόχου.

5.1 Ο ρόλος των λιμενικών αρχών

Πρώτον, η πρωτοποριακή τεχνολογία της χρήσης LNG επιτρέπει στους λιμένες την επίτευξη "πράσινων και βιώσιμων" στόχων. Δεύτερον, οι λιμενικές αρχές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο αντίστοιχο περιφερειακό τους σύστημα καινοτομίας (RIS) με στόχο τη δημιουργία κοινωνικής συνεργασίας και δημιουργικής γνώσης και ως εκ τούτου, την προώθηση της καινοτομίας. Τέλος, οι λιμενικές αρχές συνήθως αναζητούν ουσιαστικές επεκτάσεις της λειτουργίας τους πέρα από το παραδοσιακό μοντέλο. Η προώθηση των καινοτομιών στο

λιμάνι συντελεί στη διευκόλυνση και τον συντονισμό των λιμενικών αρχών. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι λιμενικές αρχές, ως φορείς της δημόσιας διαχείρισης του λιμένα, υπόκεινται σε μεταρρυθμίσεις μέσω προγραμμάτων ιδιωτικοποίησης και συμπράξεων με ιδιώτες. Αυτές οι διαδικασίες μεταρρύθμισης στο λιμάνι τυπικά χρησιμεύουν ως απάντηση στην έκκληση για καλύτερη απόδοση και ανταγωνιστικότητα του λιμανιού. Ενδεικτικά, η μεγιστοποίηση της χρήσης της γης και των υποδομών, η αύξηση της διακίνησης φορτίων και η δημιουργία προστιθέμενης αξίας, η μείωση του κόστους λειτουργίας και η ενίσχυση των συνδέσεων με την ενδοχώρα είναι μερικές από τις διαδικασίες μεταρρύθμισης [18]. Ωστόσο, ένα νέο ρεύμα λιμενικών στρατηγικών έχει προκύψει με στόχο την ενίσχυση της σχέσης με την τοπική κοινωνία, εστιάζοντας σε κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Η εταιρική κοινωνική ευθύνη (CSR) στα λιμάνια έχει επιστήσει πολλή προσοχή τα τελευταία χρόνια. Η CSR έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος του ορισμού της λιμενικής στρατηγικής. Επιπλέον, η επιδίωξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης, που ενσωματώνει οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες, έχει γίνει βασικό θέμα της σύγχρονης στρατηγικής. Στο συνέδριο ESPO η «βιωσιμότητα του λιμένα» ορίζεται ως «οι επιχειρηματικές στρατηγικές και δραστηριότητες που ανταποκρίνονται στις τρέχουσες και μελλοντικές ανάγκες του λιμένα και των φορέων της, ενώ παράλληλα προστατεύει και διατηρεί τους ανθρώπινους και φυσικούς πόρους. Τα λιμάνια καλούνται να διατηρούν ταυτοχρόνως την οικονομική ευημερία, την περιβαλλοντική ποιότητα και την κοινωνική ευθύνη τους [18].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λιμενικών εργασιών έχουν προκαλέσει ανησυχία λόγω της σύνδεσής τους με αρνητικές εξωτερικότητες για την τοπική κοινότητα. Τα κίνητρα για τους οδηγούς των περιβαλλοντικών πρωτοβουλιών από τα λιμάνια προέρχονται όχι μόνο από τις πιέσεις των συμμόρφωτικών ρυθμίσεων και τις απαιτήσεις της κοινωνίας, αλλά και από το στόχο των πιο αποτελεσματικών λιμενικών επιχειρήσεων και τη δημιουργία ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων [19]. Η ιδέα του «Πράσινου Λιμανιού» προέκυψε σύμφωνα με μια αυξανόμενη συνειδητοποίηση ότι μια καλή περιβαλλοντική απόδοση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση καλών σχέσεων με τις τοπικές κοινότητες, καθώς και μια πηγή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Μια πράσινη

και βιώσιμη στρατηγική βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα του λιμένα. Επιπλέον, κάθε «πράσινη» στρατηγική μπορεί να θεωρηθεί ως αναπόσπαστο μέρος της «ευέλικτης» λιμενικής στρατηγικής, το οποίο απαιτεί την ικανότητα του λιμένα να προσαρμοστεί γρήγορα στους επερχόμενους κανονισμούς και να ανταποκρίνονται γρήγορα στις περιβαλλοντικές απαιτήσεις του πελάτη. Ως εκ τούτου, η επιδίωξη μιας πράσινης και βιώσιμης στρατηγικής φαίνεται ως ένας από τους βασικούς τρόπους για να αποκτήσουν ανταγωνιστικότητα τα λιμάνια, ενώ η πρωτοποριακή τεχνολογία θα μπορούσε να παρέχει μια αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση μερικών από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι λιμάνια. Μια ισχυρή λιμενική στρατηγική προς την προώθηση της καινοτομίας μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Οι δημόσιες λιμενικές αρχές που παραδοσιακά μπορεί να αναλάβουν τρεις τυπικές λειτουργίες, αυτή του ιδιοκτήτη, του ρυθμιστή και του χειριστή. Οι λειτουργίες του ιδιοκτήτη και του ρυθμιστή έχουν γίνει οι δύο κύριοι ρόλοι που αντιστοιχούν στο γενικό ορισμό του παραδοσιακού «μοντέλου ιδιοκτήτη του λιμένα». Σε αυτό το μοντέλο, η διαχειριστική λειτουργία από την άποψη της διακίνησης φορτίου έχει σε μεγάλο βαθμό μεταβιβαστεί σε ιδιωτικούς φορείς. Το μοντέλο ιδιοκτήτη του λιμένα, το οποίο έχει υιοθετηθεί ως η κύρια λειτουργία των σύγχρονων λιμενικών αρχών, αναλαμβάνει έναν ισχυρό ρόλο στη διαχείρισή, τη συντήρηση και την ανάπτυξη της περιοχής του λιμανιού, η παροχή υποδομής και εγκαταστάσεων, καθώς και το σχεδιασμό και την εφαρμογή των πολιτικών και στρατηγικών ανάπτυξης που συνδέονται με την εκμετάλλευση της λιμενικής ζώνης.

Τα παραδοσιακά λιμάνια «ιδιοκτήτες» αντιμετωπίζουν ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον όπου οι διαδικασίες της παγκοσμιοποίησης και της ελευθέρωσης αύξησαν τη δύναμη των ιδιωτικών λιμενικών φορέων (μεταφορείς, φορτωτές, φορείς εκμετάλλευσης τερματικών σταθμών, καθώς και τους φορείς παροχής υπηρεσιών logistics). Στο πλαίσιο αυτό, ορισμένοι μελετητές προτείνουν μια «αναγέννηση» της λιμενικής αρχής, δηλαδή η λιμενική αρχή θα πρέπει να διαδραματίσει έναν πιο ενεργό ρόλο πέρα από την παραδοσιακή λειτουργία στη διευκόλυνση και τον συντονισμό των εφοδιαστικών δικτύων. Η δημιουργία βασικών ικανοτήτων στον τομέα της

υψηλής ανταγωνιστικής αγοράς και η υιοθέτηση ενός πιο επιχειρηματικού ρόλου συστήνεται από τους μελετητές. Ο De Langen κάνει έκκληση για ένα νέο λειτουργικό ρόλο των λιμενικών αρχών ως «διαχειριστές συμπλέγματος» ή «διαχειριστές κοινότητας» για την επίλυση των συλλογικών προβλημάτων δράσης εντός και εκτός των λιμενικών περιμέτρων, όπως η συμφόρηση στην ενδοχώρα, η κατάρτιση και η εκπαίδευση, το μάρκετινγκ και η προώθηση, καθώς και η καινοτομία και η διεθνοποίηση (οικονομική διάσταση) [20].

οι λόγοι για τους οποίους οι λιμενικές αρχές συστήνεται να διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στην προώθηση της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου πλοίου μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Για να επιτευχθούν οι πράσινοι και βιώσιμοι στόχοι, οι λιμενικές αρχές δεν πρέπει μόνο να λάβουν την ευθύνη να προσαρμοστούν γρήγορα στις επερχόμενες αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών ρύπων, αλλά πρέπει και να ανταποκριθούν στις περιβαλλοντικές ανάγκες των χρηστών του λιμένα. Η προώθηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων μπορεί ανήκει σε αυτή την προοπτική.
- Οι λιμενικές αρχές μπορούν να αναλάβουν το ρόλο των συντονιστών ή των διαμεσολαβητών στην ανάπτυξη ενός περιφερειακού συστήματος καινοτομίας με σκοπό την αξιοποίηση των περιφερειακών επιχειρηματικών ευκαιριών με την ανάπτυξη ενός δικτύου καινοτομίας. Η ανάπτυξη του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καινοτόμος τρόπος για να ασχοληθεί με το περιβαλλοντικό ζήτημα θα μπορούσε να προσθέσει αξία σε αυτό το ρόλο.
- Οι λιμενικές αρχές εξελίσσονται όλο και περισσότερο από τον παθητικό ρόλο «ιδιοκτήτες και ρυθμιστές» σε δυναμικούς διαχειριστές της κοινότητας του λιμένα. Η συζήτηση για το ΥΦΑ προσφέρει στις λιμενικές αρχές ένα παράθυρο ευκαιρίας για να δώσει ένα πρόσθετο περιεχόμενο στον αναδυόμενο ρόλο τους ως διαχειριστές κοινότητας.

Η βιβλιογραφία παρέχει επίσης κάποιες προτάσεις και πρακτική καθοδήγηση σχετικά με το πώς οι λιμενικές αρχές θα πρέπει να προωθούν και να διευκολύνουν τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου πλοίων.

- Πρώτα απ' όλα, οι λιμενικές αρχές θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην υλοποίηση ορισμένων βασικών βημάτων για να καταστεί ο ανεφοδιασμός καυσίμων LNG εφικτός, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων σε υποδομές ανεφοδιασμού καυσίμων LNG (π.χ., τη γη, την προβλήτα και θαλάσσιας πρόσβασης, κλπ.), την εκτίμηση των κινδύνων για την ασφάλεια της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στο περιβάλλον του λιμένα, καθώς και την ανάπτυξη ενός συνόλου προτύπων και κατευθυντήριων γραμμών για τον ανεφοδιασμό καυσίμων.
- Δεύτερον, οι λιμενικές αρχές θα μπορούσαν να αναλάβουν πρωτοβουλίες για την εδραίωση της κοινωνικής συνεργασίας και να βελτιώσουν τη διαδραστική μάθηση με άλλα ενδιαφέροντα, όπως οι φορείς ανεφοδιασμού καυσίμων, οι εφοπλιστές, και οι επενδυτές, να αναπτύξουν ένα οικονομικά βιώσιμο επιχειρηματικό σχέδιο για την οικοδόμηση ενός δικτύου παροχής ανεφοδιασμού καυσίμου LNG.
- Τρίτον, οι λιμενικές αρχές θα μπορούσαν να αναπτύξουν μια ευνοϊκή πολιτική καινοτομίας ή ένα μέσο για να την προώθηση της θαλάσσιας χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να ξεκινήσουν ένα πιλοτικό πρόγραμμα απόκτησης της πρώτης εμπειρίας, να θεσπίζουν μηχανισμούς χρηματοδοτικής στήριξης, και να διευκολύνουν εισαγωγή της αγοράς και της διάδοσης της γνώσης.
- Τέλος, οι λιμενικές αρχές θα μπορούσαν να δράσουν ως δυναμικοί διαχειριστές της κοινότητας κοινοποιώντας τις γνώσεις και τις δεξιότητές τους με τους ενδιαφερόμενους φορείς, ασκώντας πίεση στην κυβέρνηση εν όψει της επιτάχυνσης των επιτρεπόμενων διεργασιών, και με τη συμβολή του στη δημιουργία θετικής αντίληψης του κοινού σχετικά με τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου πλοίων [21].

5.2 Ανάπτυξη υποδομών για τον ανεφοδιασμό LNG

Οκτώ λιμάνια της Βόρειας Ευρώπης, που βρίσκονται υπό ανάπτυξη υποδομών ανεφοδιασμού καυσίμων LNG, εξετάζονται παρακάτω. Τα επιλεγμένα αυτά λιμάνια μοιράζονται την παραδοσιακή "Χανσεατική" κουλτούρα που προβάλλει τη δημοτική διακυβέρνηση. Αν και τα οκτώ λιμάνια απολαμβάνουν την ίδια

κουλούρα διακυβέρνησης, ποικίλουν στο μέγεθος του λιμένα, τον τύπο, τη θεσμική δομή, και τις περιβαλλοντικές στρατηγικές. Ο Πίνακας 5 παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των οκτώ λιμανιών. Έξι από τις οκτώ λιμενικές αρχές είναι ανώνυμες εταιρείες. Σαν αποτέλεσμα της μεταρρυθμιστικής λιμενικής διαδικασίας που αφορά την απορρύθμιση, εμπορευματοποίηση και επιχειρηματοποίηση απολαμβάνουν μεγαλύτερη αυτονομία σε διαχειριστικό και ρυθμιστικό επίπεδο της ανάπτυξης του λιμανιού. Βρέμη και Χέλσινγκμποργκ έχουν δύο οργανώσεις που είναι επιφορτισμένες με τις λιμενικές υποθέσεις: η μία είναι η δημόσια λιμενική αρχή η οποία είναι ένα τμήμα της δημοτικής κυβέρνησης, κύρια υπεύθυνη για τα διοικητικά και ρυθμιστικά θέματα, η άλλη είναι μια περιορισμένη εταιρεία διαχείρισης του λιμένα που ανήκει εξ ολοκλήρου στην πόλη, αναλαμβάνοντας την ευθύνη της ανάπτυξης, της διαχείρισης, και της συντήρησης της περιοχής του λιμένα και των υποδομών.

	Port size and type	Port authority (institutional structure)	Port environmental strategy	Energy efficiency and air emission initiatives
Port of Antwerp (Belgium)	World-class gateway port	“Hanseatic” port: an autonomous company fully owned by city	Establishing sustainability strategy	Developing renewable energy onshore electricity power and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Zeebrugge	Regional port	“Hanseatic” port: an autonomous company fully owned by city	Establishing sustainability and green initiatives	Developing renewable energy onshore electricity power and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Rotterdam (The Netherlands)	World-class gateway port	“Hanseatic” port: an unlisted public limited company owned by city and Dutch State	Establishing sustainability strategy and pursuing Corporate Social Responsibility (CSR)	Developing renewable energy onshore electricity power and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Bremen (Germany)	World-class gateway port	“Hanseatic” port: governed by a department of the local government and a port management company owned by city	Launching a campaign of “green” port	Developing renewable energy and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Hamburg (Germany)	World-class gateway port	“Hanseatic” port: an autonomous company fully owned by city	Building a “green” port and an ECO-port	Promoting modal split, developing renewable energy, onshore electricity power, and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Stockholm (Germany)	Regional port	“Hanseatic” port: an autonomous company fully owned by city	Establishing environmental and social responsibilities	Developing renewable energy onshore electricity power and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Gothenburg (Sweden)	Regional port	“Hanseatic” port: an autonomous company fully-owned by city	Establishing environmental and social responsibilities	Developing renewable energy, onshore electricity power, and clean fuel for ships (e.g., LNG)
Port of Helsingborg (Sweden)	Smaller regional port	“Hanseatic” port: governed by a department of the local government and a port management company owned by city	Improving “green” image	Developing renewable energy onshore electricity power, electric vehicle, and clean fuel for ships (e.g., LNG)

Πίνακας 5. Γενικές πληροφορίες για τα οκτώ ευρωπαϊκά λιμάνια [21]

Η περιβαλλοντική απόδοση αποτελεί βασικό στοιχείο της στρατηγικής των λιμένων του δείγματος. Οι έννοιες του «πράσινου», «καθαρού» και «βιώσιμου» υλοποιούνται με σκοπό την αναβάθμιση της κοινωνικής ευθύνης του λιμανιού καθώς και της απόκτησης ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Οι περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες: 1. την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή και η βιομάζα, 2. τη χρήση χερσαίας

ηλεκτρικής ενέργειας για τα ελλιμενισμένα πλοία και τη λειτουργία των μηχανήματων διακίνησης ηλεκτρικών φορτίων και οχημάτων, 3. την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον τρόπων μεταφοράς και διανομής στην ενδοχώρα προωθώντας τις σιδηροδρομικές μεταφορές και την εσωτερική ναυσιπλοΐα και 4. την παροχή καθαρού καυσίμου για τα πλοία, όπως μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και LNG, για τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών. Και τα οκτώ λιμάνια αναπτύσσουν ή σχεδιάζουν να αναπτύξουν εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμου LNG.

Μέσα από μια εκτενή ανασκόπηση των λιμενικών εγγράφων, διαπιστώθηκε ότι αυτά τα οκτώ λιμάνια έχουν διαφορετικές συνθήκες για την ανάπτυξη εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού καυσίμων LNG. Εξαρτάται κυρίως από το αν το λιμάνι είχε ήδη μια υποδομή LNG. Ο Πίνακας 6 καταγράφει συνοπτικά τις υπάρχουσες και σχεδιαζόμενες υποδομές υγροποιημένου φυσικού αερίου σε κάθε λιμάνι, αλλά και ο ιδιοκτήτης / διαχειριστής των εν λόγω εγκαταστάσεων και η επιλογή των λύσεων ανεφοδιασμού καυσίμων. Τρία λιμάνια έχουν ήδη υποδομές υγροποιημένου φυσικού αερίου που θα μπορούσαν να προσφέρουν μια ευνοϊκή κατάσταση για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων ανεφοδιασμού καυσίμου LNG. Το λιμάνι του Zeebrugge ανέπτυξε έναν από τους πρώτους τερματικούς σταθμούς εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ευρώπη, ενώ οι εγκαταστάσεις LNG στο Ρότερνταμ και την Στοκχόλμη είναι μάλλον νέες. Οι τερματικοί σταθμοί υγροποιημένου φυσικού αερίου μεγάλης κλίμακας στο Ρότερνταμ και το Zeebrugge αναπτύχθηκαν αρχικά για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση στην ξηρά (π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανική και οικιακή χρήση). Από την ίδρυσή της, η υποδομή LNG μεσαίας κλίμακας στη Στοκχόλμη είχε ως στόχο περισσότερο εφαρμογές LNG συμπεριλαμβανομένης της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο μεταφορών (δηλαδή, για τα φορτηγά και τα πλοία) [21].

Τα λιμάνια της Zeebrugge και του Ρότερνταμ σχεδιάζουν να επεκτείνουν τις σχετικές με το LNG δραστηριότητές τους έτσι ώστε πλέον να μετατρέψουν τα λιμάνια σε κόμβους διανομής και τροφοδότησης LNG. Το λιμάνι της Στοκχόλμης σχεδιάζει την κατασκευή ενός δεύτερου τερματικού σταθμού LNG σε άλλη περιοχή του λιμανιού. Με αυτόν τον τρόπο επωφελούνται από την την

εμπιστοσύνη και την εμπειρία που αποκτήθηκε από τον τρέχοντα εφοδιασμό LNG με τη Viking line (Η Viking Line είναι μια φινλανδική γραμμή της επιβατηγού ναυτιλίας. Άρχισε να λειτουργεί το πρώτο επιβατηγό πλοίο που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο υδροποιημένο φυσικό αέριο από τον Ιανουάριο του 2013. Το πλοίο πλέει σήμερα μεταξύ της Στοκχόλμης και του Ελσίνκι για μια καθημερινή υπηρεσία, και εφοδιάζεται στο λιμάνι της Στοκχόλμης κάθε ημέρα μέσω της διαδικασίας από πλοίο σε πλοίο). Οι άλλοι τέσσερις λιμένες (δηλαδή, του Αμβούργου, της Βρέμης, του Γκέτεμποργκ, και Χέλσινγκμποργκ) σχεδιάζουν να κατασκευάσουν τις πρώτες τους εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδροποιημένου φυσικού αερίου για θαλάσσια χρήση, ενώ οι περισσότεροι από αυτούς δεν έχουν ακόμη φθάσει την τελική απόφαση της επένδυσης. Το λιμάνι της Αμβέρσας επιλέγει μια μάλλον διαφορετική λεωφόρο για την εκκίνηση εφοδιασμού LNG. Σε ένα πρώτο στάδιο ανάπτυξης, οι λιμενικές αρχές της Αμβέρσας μαζί με έναν στρατηγικό εταίρο σχεδιάζει να παραγγείλει ένα πλοίο ανεφοδιασμού καυσίμων αντί της οικοδόμησης χερσαίων εγκαταστάσεων αποθήκευσης, δεδομένου ότι το LNG μπορεί να προέρχεται ευέλικτα από τα κοντινά τερματικά στο Zeebrugge και το Ρότερνταμ.

	The existing LNG infrastructure	The planned LNG bunkering facilities	LNG bunkering facility owner/operator	Bunkering solution
Port of Antwerp	No existing LNG infrastructure	Building a bunker ship for bunkering sea-going vessels	Have chosen the strategic partner through public selection procedure to build a bunker vessel	STS and TTS
Port of Zeebrugge	Having large-scale LNG infrastructure	Building the second jetty for break-bulk activity	The second jetty is invested by PA and the existing terminal operator. The bunkering facilities will be invested by private players	STS, TTS, and LNG portable tank
Port of Rotterdam	Having large-scale LNG infrastructure	Developing LNG break-bulk terminal, and building a bunkering station for inland ships	The break-bulk terminal is invested by PA and the existing terminal owners. The bunkering facilities will be invested by private players	STS, TTS, and terminal to ships
Port of Bremen	No existing LNG infrastructure	Building a small-scale LNG facilities for the use as fuel for ships and trucks	Port management company will cooperate with the selected strategic partner to invest bunkering infrastructure. PA will order a LNG-fueled port ship	TTS and terminal to ships
Port of Hamburg	No existing LNG infrastructure	Building a small- and medium-scale LNG facilities for the use as fuel for ships and trucks	PA will cooperate with the selected strategic partner to invest bunkering infrastructure. PA will order a LNG-fueled port ship	STS and TTS
Port of Stockholm	Having medium-scale LNG infrastructure	Building the second LNG infrastructure in another port area	PA will cooperate with the selected strategic partner to invest bunkering infrastructure	STS and TTS
Port of Gothenburg	No existing LNG infrastructure	Building a medium-scale LNG infrastructure for industrial and maritime use	PA established a strategic alliance with private players to develop LNG terminal	STS and TTS
Port of Helsingborg	No existing LNG infrastructure	Building a medium-scale LNG infrastructure both for land-base demand and maritime use	PA plans to cooperate with industrial players to develop LNG bunkering facilities	STS

Πίνακας 6. Η ανάπτυξη των υποδομών ανεφοδιασμού LNG στα οκτώ ευρωπαϊκά λιμάνια

[21]

Τα οκτώ λιμάνια διαθέτουν τα δικά τους σχέδια ανάπτυξης για ανεφοδιασμό υδροποιημένου φυσικού αερίου στη γραμμή με διαφορετικές προσδοκίες στην αγορά και διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, δεδομένης της έντασης κεφαλαίου χαρακτήρα της τεχνολογίας LNG, όλοι επέλεξαν για

καθεστώς συνεργασίας ως έναν τρόπο να μοιραστούν τους κινδύνους και να αποκτήσουν εμπιστοσύνη για τις πρωτοβουλίες της αγοράς. Οι οκτώ λιμενικές αρχές είτε έχουν βρει ή ψάχνουν για στρατηγικούς εταίρους προκειμένου να αναπτύξουν εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμου LNG μαζί. Αυτοί οι στρατηγικοί εταίροι είναι κυρίως ιδιωτικοί βιομηχανικοί παίκτες, για παράδειγμα, οι προμηθευτές αερίου, οι διαχειριστές ανεφοδιασμού καυσίμων, ή φυσικού αερίου, ναυτιλιακές εταιρείες, οι οποίοι είναι οι βασικοί επενδυτές και φορείς της αλυσίδας εφοδιασμού LNG πλοίων. Με σκοπό την ώθηση της αγοράς, η Αμβέρσα πήρε το πρωτοβουλία να επενδύσει σε ένα πλοίο εφοδιασμού και αποθήκευσης LNG μαζί με τους στρατηγικούς εταίρους της. Το Αμβούργο και η Βρέμη σκοπεύουν να γίνουν οι πρώτοι χρήστες των εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου από την ιδιοκτησία των πλοίων ανεφοδιασμού που χρησιμοποιούν ως καύσιμο LNG.

Όσον αφορά την επιλογή των λύσεων ανεφοδιασμού, τα περισσότερα από τα λιμάνια ευνοούν τις επιλογές από πλοίο σε πλοίο (STS) για τα ποντοπόρα πλοία και φορτηγά πλοία (TTS) για τις εσωτερικές μεταφορές. Τόσο ο όγκος των πλοίων όσο και ο χρόνος αναστροφής των λιμενων παίζει ρόλο στην απόφαση για την πιο συμφέρουσα επιλογή από επιχειρησιακή άποψη. Οι λειτουργίες TTS έχουν ήδη δοκιμαστεί με επιτυχία στο Ρότερνταμ και στην Αμβέρσα, και η Στοκχόλμη ήταν η πρώτη που εφάρμοσε STS. Η επιλογή STS είναι μια βασική τεχνολογία που επιτρέπει μια μεγάλης κλίμακας χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίου [21].

5.3 Τερματικός σταθμός LNG στο λιμάνι ανεφοδιασμού

Ο τερματικός σταθμός LNG στο λιμάνι ανεφοδιασμού είναι μια τοπική εγκατάσταση, από την οποία το αποθηκευμένο LNG μπορεί να παρέχεται στα πλοία μέσω βυτιοφόρου οχήματος ή με φορτηγίδα/μικρό τροφοδοτικό πλοίο ή από εγκατάσταση στη ξηρά μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών. Η μετατροπή από υγρό σε αέριο μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας χερσαίες εγκαταστάσεις ή πλοία επαναεριοποίησης αγκυροβολημένα στις ειδικά σχεδιασμένες αποβάθρες για αυτό το σκοπό. Στην τελευταία περίπτωση, το τερματικό βασίζεται σε μια πλωτή μονάδα αποθήκευσης και επαναεριοποίησης

(FSRU) μόνιμα αγκυροβολημένη στην προβλήτα και περιοδικά εφοδιάζεται από ένα φορέα LNG [22]. Η πρακτική αυτή, που ονομάζεται από πλοίο σε πλοίο λειτουργία (STS), επιτρέπει μια συνεχή λειτουργία της εγκατάστασης εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Παρά το γεγονός ότι το LNG είχε ένα καλό ιστορικό ασφαλείας για τα τελευταία 40 χρόνια, οι ειδικοί ανησυχούν για τις μονάδες LNG, την ανάλυση χωροθέτησης και κανονισμών, ειδικά με θέματα που σχετίζονται μεταξύ άλλων με τις ζώνες ασφαλείας, τους θαλάσσιους κινδύνους, τα ποτάμια, την πλοήγηση των εκβολών των ποταμών και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι αυτά τα τερματικά κατασκευάζονται στην ξηρά, σχετικά κοντά σε κατοικημένες περιοχές, οι τοπικές κοινότητες δείχνουν ανησυχία για το αν τα LNG τερματικά τους εκθέτουν σε μη αποδεκτούς κινδύνους. Αρκετές εργασίες που δημοσιεύθηκαν τα τελευταία χρόνια εστιάζονται στη λήψη μέτρων αυτές για την χωροθέτηση τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου. Κάποιοι από αυτούς ασχολούνται με την κανονιστική συμμόρφωση και τις διαδικασίες έγκρισης της χωροθέτησης των εγκαταστάσεων αυτών.

5.3.1 Λειτουργίες ενός τερματικού σταθμού LNG στο λιμάνι ανεφοδιασμού

Ένας τερματικός σταθμός LNG πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Παραλαβή του LNG, πιθανότατα μέσω παράδοσης από πλοία αλλά και με δυνατότητα παράδοσης από βυτιοφόρα οχήματα. Η παράδοση μέσω τρένων μπορεί επίσης να εξεταστεί μελλοντικά, αν κάποιος μεγάλος τερματικός σταθμός εισαγωγής LNG, εγκαταστήσει σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις εξαγωγής για LNG (δεν υπάρχει ακόμη κάποια τέτοια περίπτωση).
2. Επαρκής αποθήκευση ποσότητας LNG που θα ανταποκρίνεται στις απαιτούμενες εργασίες ανεφοδιασμού.
3. Σε περίπτωση που ο τερματικός σταθμός παρέχει επίσης φυσικό αέριο σε τοπικές, μη σχετικές με την μεταφορά, υπηρεσίες, τότε θα πρέπει να υφίσταται λειτουργία αεριοποίησης και κατάλληλος, ως προς αυτό το σκοπό, αγωγός.

4. Ο τερματικός σταθμός θα πρέπει να βρίσκεται, να κατασκευάζεται και να συμμορφώνεται πλήρως σύμφωνα με όλους τους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα ασφάλειας.

5.3.2 Επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας τερματικού σταθμού LNG

Δύο είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή της τοποθεσίας ενός τερματικού σταθμού LNG, ο οποίος έχει ως σκοπό τον ανεφοδιασμό των πλοίων [23]:

- Η ανάγκη να παρέχονται αποτελεσματικά οι απαιτούμενες λειτουργίες του τερματικού σταθμού.
- Η διαθεσιμότητα κατάλληλων τοποθεσιών σε σχέση με τις απαιτήσεις χώρου, τη ζώνη ασφαλείας, τη προσβασιμότητα, τους κανονισμούς σχεδιασμού της πόλης και τη συμβατότητα με άλλες τοπικές χρήσεις του εν λόγω χώρου.

Ο δεύτερος παράγοντας σε πολλές περιπτώσεις θα επιβάλει περιορισμούς σχετικά με το που μπορούν οι τερματικοί σταθμοί να εγκαθίστανται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σε τοποθεσίες που δεν είναι τόσο ιδανικές σε σχέση με τον πρώτο παράγοντα. Ωστόσο, υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των περιορισμών για την τοποθεσία ενός τερματικού σταθμού LNG και των απαιτούμενων λειτουργιών που πρέπει να εκτελεστούν με σκοπό των ανεφοδιασμό των πλοίων με LNG.

Μεταξύ των διαδικασιών ανεφοδιασμού καυσίμων, ο ανεφοδιασμός με βυτιοφόρο όχημα εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό από την ύπαρξη ενός τοπικού τερματικού σταθμού LNG, καθώς τα ανωτέρω οχήματα μπορούν να εφοδιαστούν με LNG, αρκεί το σημείο εφοδιασμού να βρίσκεται σε ικανοποιητική απόσταση οδήγησης. Η κατάλληλη απόσταση οδήγησης δεν έχει καθοριστεί επακριβώς καθώς εξαρτάται από τις προσφερόμενες ποσότητες ανεφοδιασμού και από τους περαιτέρω κανονισμούς του LNG. Όταν οι προσφερόμενες ποσότητες είναι μεγάλες, η απόσταση οδήγησης πρέπει να είναι μικρή, έτσι ώστε να μην υπάρχουν πρακτικοί περιορισμοί και να μην δημιουργούνται περαιτέρω δυσκολίες.

Ο εφοδιασμός των πλοίων με LNG από φορτηγίδα/μικρό τροφοδοτικό πλοίο είναι καταλληλότερος για μεγαλύτερες ποσότητες, ωστόσο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη ενός κοντινού τερματικού σταθμού σε σχέση με τον ανεφοδιασμό από βυτιοφόρο όχημα. Οι φορτηγίδες εκτελούν πλόες εντός ζώνης λιμένα και ως εκ τούτου, πρέπει να λαμβάνουν και να παρέχουν LNG εντός της ζώνης λιμένα, δίχως να έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται στην ανοιχτή θάλασσα.

Ο εφοδιασμός των πλοίων με LNG από εγκαταστάσεις ξηράς μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών απαιτεί τον τερματικό σταθμό LNG κοντά στο σημείο ανεφοδιασμού (ενδεικτικά έως 250 μέτρα). Εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα ο τερματικός σταθμός να εγκατασταθεί αρκετά κοντά στο συνηθισμένο σημείο πρόσδεσης των πλοίων προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο ανεφοδιασμός, τότε ο ανεφοδιασμός από εγκαταστάσεις ξηράς μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών απαιτεί τη μετακίνηση των πλοίων σε άλλο σημείο πρόσδεσης προκειμένου να ανεφοδιαστούν, γεγονός το οποίο πολύ δύσκολα μπορεί να συμβαίνει λόγω του προγραμματισμού των πλοίων.

5.3.3 Παραλαβή και παράδοση LNG σε τερματικό σταθμό

Ο τερματικός σταθμός LNG απαιτεί εγκαταστάσεις για τον ελλιμενισμό του πλοίου το οποίο θα τον προμηθεύει με LNG, τη μεταφορά του LNG από το πλοίο στις δεξαμενές αποθήκευσης, καθώς και τη δυνατότητα εκφόρτωσης βυτιοφόρων οχημάτων στον τερματικό σταθμό. Οι ίδιες εγκαταστάσεις θα πρέπει επίσης να μπορούν να χρησιμοποιούνται και για την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή την παροχή LNG στα πλοία μέσω των διαδικασιών που αναλύθηκαν παραπάνω.

Προβλήτα:

Μια αποβάθρα ή προβλήτα είναι απαραίτητη για την παραλαβή του LNG από τα πλοία προκειμένου στη συνέχεια να αποθηκευτεί στις δεξαμενές της εγκατάστασης αλλά επίσης και για την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή τον ανεφοδιασμό των πλοίων με LNG. Παράλληλα, ο εν λόγω τερματικός σταθμός για να είναι λειτουργικός, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να υποδεχθεί

μεγάλου μεγέθους πλοία, ήτοι πλοία μήκους 200 μέτρων περίπου και μέσο όρο βυθίσματος γύρω στα 7,5 μέτρα.

Σε πολλές περιπτώσεις, μια ήδη υπάρχον προβλήτα μπορεί να εφοδιαστεί με μηχανισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης LNG, ο οποίος μπορεί να εγκατασταθεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή να αποφευχθεί κάθε παρεμβολή με άλλες επιμέρους λειτουργίες του λιμένα που ενδεχομένως να προκύψουν με την δημιουργία μίας νέας προβλήτας. Επιπροσθέτως, σε ορισμένες περιπτώσεις και προκειμένου να διατηρείται το επενδυτικό κόστος σε χαμηλά επίπεδα, είναι αποδοτικότερο να εξετάζεται μια απλοποιημένη λύση προβλήτας.

Γραμμές μεταφοράς και σύνδεση πλοίου-ξηράς : Το LNG μεταφέρεται από το πλοίο στη δεξαμενή αποθήκευσης μέσω ενός μονωμένου αγωγού, συνήθως συνοδευόμενου από μία γραμμή επιστροφής ατμού . Ο ίδιος αγωγός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή με LNG του τερματικού σταθμού από ένα Φ/Γ πλοίο μεταφοράς LNG καθώς επίσης και για τον εφοδιασμό ενός πλοίου με LNG ως καύσιμο πρόωσης από τον τερματικό σταθμό. Λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του LNG (-161°C) και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, η απόσταση μεταξύ του τερματικού σταθμού και του σημείου ανεφοδιασμού καυσίμων στην προβλήτα πρέπει να είναι σύντομη, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η θέρμανση του LNG. Ο αγωγός μεταξύ της αποβάθρας και του τερματικού σταθμού είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί μέσα σε υπόγειο οχετό, έτσι ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή με άλλες δραστηριότητες.

Η σύνδεση μεταξύ της γραμμής μεταφοράς και του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί με εύκαμπτους σωλήνες. Η παραπάνω σύνδεση είναι μια εφικτή λύση για τους σχετικά συγκρατημένους ρυθμούς ροής του LNG οι οποίοι απαιτούνται κατά την διαδικασία ανεφοδιασμού καυσίμων. Οι τερματικοί σταθμοί, οι οποίοι υποδέχονται μεγάλα πλοία LNG χρησιμοποιούν σωλήνες οι οποίες είναι τοποθετημένες πάνω σε βραχίονες φόρτωσης.

Φόρτωση και εκφόρτωση LNG από βυτιοφόρα οχήματα: Ένας τερματικός σταθμός LNG θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει καθώς και να παραδίδει LNG από/σε βυτιοφόρο όχημα. Τέτοιες εγκαταστάσεις έχουν δημιουργηθεί κυρίως σε έναν μικρό αριθμό τερματικών σταθμών LNG στη

Νορβηγία, με ευέλικτους σωλήνες να χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του LNG μεταξύ του βυτιοφόρου οχήματος και του τερματικού σταθμού.

5.3.4 Δεξαμενές αποθήκευσης

Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG τείνουν να είναι το κυρίαρχο χαρακτηριστικό ενός τερματικού σταθμού LNG, τόσο από άποψη φυσικού μεγέθους όσο και κόστους κατασκευής. Οι υψηλές απαιτήσεις για μόνωση της θερμοκρασίας έχουν ως αντίκτυπο το υψηλό κόστος των δεξαμενών LNG σε σύγκριση με τις δεξαμενές για άλλα υγρά. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος παροχής LNG, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του κατάλληλου μεγέθους χωρητικότητας της δεξαμενής, το οποίο θα πρέπει να είναι σύμφωνο με το μέγεθος και τη συχνότητα εφοδιασμού των πλοίων με LNG, το μέγεθος και τη συχνότητα των εισερχόμενων φορτίων καθώς και τις σύγχρονες απαιτήσεις ασφάλειας [23].



Εικόνα 7. Τερματικός Σταθμός LNG στο Mosjoen της Νορβηγίας (5x683m³ δεξαμενές συμπίεσης) [23]

Υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τύποι δεξαμενής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα τερματικό σταθμό: α) οι δεξαμενές συμπίεσης και β) οι ατμοσφαιρικές δεξαμενές. Η επιλογή πραγματοποιείται συνήθως, ανάλογα με τον όγκο της δεξαμενής που απαιτείται, έτσι ώστε ο τερματικός σταθμός να είναι πιο αποδοτικός.

Δεξαμενές Συμπίεσης: Οι δεξαμενές συμπίεσης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να διατηρούν την πίεση πέραν της κρυογονικής θερμοκρασίας. Πρόκειται για κυλινδρικές κατασκευές από χάλυβα, που τοποθετούνται είτε οριζόντια είτε κάθετα και προ-κατασκευάζονται πριν αποσταλούν στο σημείο εγκατάστασης. Δεξαμενές συμπίεσης LNG έχουν εγκατασταθεί στη Νορβηγία με όγκους που κυμαίνονται από 20m³ έως 683m³.

Επιπροσθέτως, είναι πιθανό να τοποθετούνται μαζί, περισσότερες της μιας δεξαμενής. Μια εγκατάσταση δεξαμενών μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί σε μέγεθος με την προσθήκη ή την αφαίρεση δεξαμενών συμπίεσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τους τοπικούς χωροταξικούς περιορισμούς. Οι δεξαμενές συμπίεσης τείνουν να είναι καταλληλότερες για σχετικά μικρούς όγκους αποθήκευσης. Η εγκατάσταση που φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα είναι η μεγαλύτερη εγκατάσταση δεξαμενής συμπίεσης LNG που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα, με 3415m³ συνολικό όγκο δεξαμενής.



Εικόνα 8. Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές LNG, χωρητικότητας 4000m³ και 2000 m³ αντίστοιχα, στην πόλη Kollsnes της Νορβηγίας [23]

Ατμοσφαιρικές Δεξαμενές: Οι ατμοσφαιρικές δεξαμενές έχουν σχεδιαστεί για να διατηρούν το LNG σε χαμηλότερα επίπεδα από το σημείο βρασμού και την πίεση του περιβάλλοντος. Κατασκευάζονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες και συνήθως δεν μπορούν να αφαιρεθούν έτσι ώστε να εγκατασταθούν εκ νέου σε διαφορετικές τοποθεσίες, όπως συμβαίνει με τις δεξαμενές συμπίεσης. Οι ατμοσφαιρικές δεξαμενές είναι γενικά μεγαλύτερες από τις δεξαμενές

συμπύεσης και προτιμώνται από εγκαταστάσεις που επιθυμούν μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους.

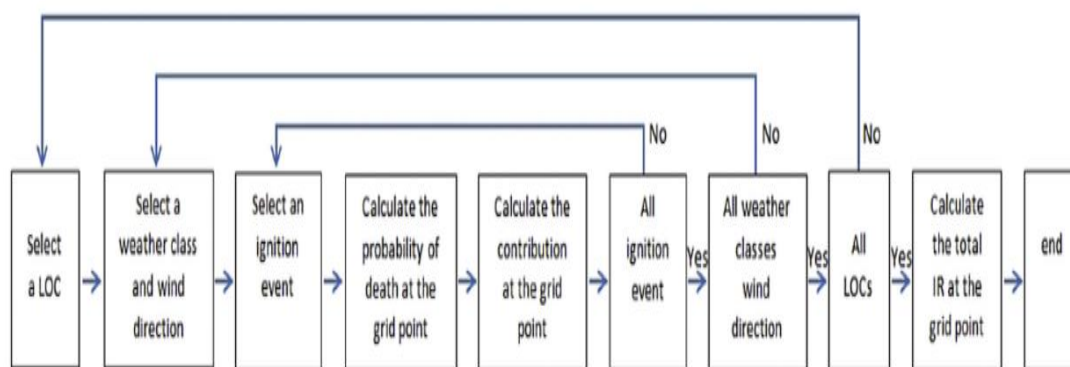
Τέλος, τόσο στις δεξαμενές συμπύεσης όσο και στις ατμοσφαιρικές δεξαμενές, ο μέγιστος καθαρός όγκος χωρητικότητας της δεξαμενής LNG, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση, είναι μικρότερος από τον συνολικό όγκο χωρητικότητας της δεξαμενής, σε ποσοστό περίπου στο 10%.

5.4 Ανάλυση κινδύνου και σχεδιασμός χρήσης γης

Τα τελευταία χρόνια, οι τοπικές κοινότητες έχουν εκδηλώσει μια αυξανόμενη ανησυχία όσον αφορά τους κινδύνους που προέρχονται από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ιδίως όταν οι κατοικημένες περιοχές είναι γειτονικές σε αυτές τις εγκαταστάσεις. Για την προστασία του πληθυσμού από τους υψηλούς κινδύνους της παραγωγής, της αποθήκευσης και της μεταφοράς των επικίνδυνων υλικών, οι αποστάσεις διαχωρισμού ανάμεσα στην πηγή κινδύνου και στον πληθυσμό πρέπει να μελετηθούν [24]. Με αυτή την έννοια, ο σχεδιασμός των χρήσεων γης είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τις κυβερνητικές πολιτικές. Για την εισαγωγή της ασφάλειας στις μελέτες, δύο διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης της εκτίμησης των κινδύνων μπορούν να υιοθετηθούν: μια προσέγγιση «βασισμένη στη συνέπεια» και μια «βασισμένη στον κίνδυνο». Η πρώτη επικεντρώνεται στον υπολογισμό των συνεπειών στα πιθανά σενάρια ατυχημάτων. Η δεύτερη συμπεριλαμβάνει την αξιολόγηση και των δύο, τις συνέπειες και την αναμενόμενη συχνότητα εμφάνισης των περιστατικών των επιλεγμένων σεναρίων [25].

Σύμφωνα με την μεθοδολογία της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου για έναν τερματικό σταθμό υδροποιημένου φυσικού αερίου, ατομικός κίνδυνος ορίζεται ως η ετήσια συχνότητα του θανάτου ενός προσώπου που πλήττεται από τις συνέπειες ενός ατυχήματος. Υπάρχουν διάφορα πρότυπα επίπεδα του αποδεκτού κινδύνου για τον προσδιορισμό της κατάλληλης απόστασης μεταξύ του πληθυσμού και των βιομηχανιών. Γενικά, είναι αποδεκτό σε όλο τον κόσμο ότι ο ατομικός κίνδυνος προς τρίτους δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την ετήσια συχνότητα του θανάτου ενός ατόμου από το 10^{-6} y^{-1} στα όρια της εγκατάστασης.

Σύμφωνα με τις ιδιότητες της ουσίας, τα προκύπτοντα γεγονότα μπορεί να είναι πυρκαγιά, έκρηξη, ή διασπορά τοξικών. Οι φυσικές επιδράσεις που συνδέονται με αυτά τα γεγονότα είναι, αντίστοιχα: η θερμική ακτινοβολία, η υπερπίεση, τα βλήματα (projectiles) και η τοξική δόση. Μετά την αξιολόγηση των επιπτώσεων, μοντέλα ευπάθειας εφαρμόζονται για τη δημιουργία των επιπέδων θνησιμότητας που προκαλείται από την έκθεση σε φυσικές επιδράσεις. Μία από τις πιο κοινές μεθοδολογίες, οι υπολογισμοί πιθανοτήτων, δίνουν καμπύλες θνησιμότητας σε συνάρτηση με την απόσταση. Η συχνότητα αξιολογείται σε κάθε περίπτωση μέσα από μοντέλα όπως τα δέντρα βλάβης και τα δέντρα εκδήλωσης ή με πληροφορίες από μια βάση δεδομένων. Τέλος, ο κίνδυνος αξιολογείται από τις συνέπειες των ατυχημάτων και τη συχνότητα στην οποία αυτές οι συνέπειες προκύπτουν σε ένα μόνο σημείο του πλέγματος από τον ξεχωριστό αλγόριθμο κινδύνου (Εικόνα 9). Η συχνότητα ενός ανθρώπινου θανάτου υπολογίζεται σε ένα σημείο του πλέγματος για κάθε απώλεια συγκράτησης, κάθε καιρική συνθήκη, κάθε περίπτωση ανάφλεξης και κάθε διεύθυνση του ανέμου χωριστά. Στη συνέχεια, ο ατομικός κίνδυνος στο σημείο του πλέγματος προσδιορίζεται από την πρόσθεση όλων των εισφορών [26].



Εικόνα 9. Αλγόριθμος υπολογισμού κινδύνου ατυχήματος σε εγκατάσταση LNG [26]

5.4.1 Προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου

Οι κατευθυντήριες γραμμές του Κέντρου Ασφαλείας Χημικών Διεργασιών χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του PHA [Μέθοδος για την προκαταρκτική ανάλυση του κινδύνου]. Συνιστάται, το εργοστάσιο να χωρίζεται σε μερικά

τμήματα προκειμένου να απλοποιηθεί η ανάλυση. Οι κρίσιμες περιοχές ταυτοποιούνται με βάση τις συνθήκες λειτουργίας της διαδικασίας(Πίνακας 7).

Έτσι δημιουργήθηκε ο παρακάτω διαχωρισμός:

- Τμήμα Εκφόρτωσης (Unloading arm section). Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει την προβλήτα και τους βραχίονες εκφόρτωσης για τη μεταφορά LNG από το πλοίο στις δεξαμενές αλλά και τον αγωγό μεταφοράς από την προβλήτα στις δεξαμενές αποθήκευσης.
- Τμήμα Δεξαμενών Αποθήκευσης (Storage tanks). Αποτελείται από τρεις δεξαμενές συγκράτησης.
- Τμήμα Εξατμιστή (Vaporizer). Περιλαμβάνει τους εξατμιστές, το σύστημα άντλησης καθώς και τη γραμμή μεταφοράς με δίκτυο διανομής.

Operating conditions for critical areas.

	Pressure bar _g	Temperature °C	Diameter mm	Length m	Volume m ³
Unloading arm section					
Unloading arms for the LNG transfer	5.5	-161.5	400	30	–
Pipeline from jetty to shore end	5.5	-161.5	700	700	–
Pipeline from shore end to tank	5.5	-161.5	700	300	–
Storage tank section					
Storage tanks	1	-161.5	–	–	160,000
Vaporizer section					
Pipeline from tank to high pressure pumps	7.5	-161.5	500	90	–
Pipeline from high pressure pumps to open rack vaporizer	106	-155.2	400	20	–
High pressure pump	106	-155.2	400	10	–
Gas from vaporizer to gas network	104	5.8	750	108	–

Πίνακας 7. Συνθήκες Λειτουργίας για τις κρίσιμες περιοχές [26]

5.4.2 Ανάλυση συνεπειών

Η ανάλυση συνεπειών χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας βλάβης ή ζημιάς από συγκεκριμένα περιστατικά [27]. Οι εκδηλώσεις αναλύονται με χρήση μοντέλων με δεδομένα την πηγή, τη διασπορά, τη φωτιά και την έκρηξη. Στη συνέχεια, μοντέλα επίδρασης εφαρμόζονται για τον καθορισμό των συνεπειών για τον άνθρωπο, τις δομές ή το περιβάλλον.

Κατά την ανάλυση, οι βασικοί όροι απελευθέρωσης ορίζονται για τα διάφορα σενάρια αποτυχίας, καθώς και τις συγκεκριμένες συνθήκες και διαστάσεις [28].

5.4.2.1 Ρυθμός εκροής LNG σε περίπτωση ατυχήματος

Ο ρυθμός εκροής από τις οπές στα συστήματα σωληνώσεων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις συνθήκες της διαδικασίας και τα μεγέθη της οπής τα οποία περιγράφονται λεπτομερώς στους Πίνακες 7 και 8 αντίστοιχα. Εάν η τιμή που λαμβάνεται είναι χαμηλότερη από το ποσοστό άντλησης, το σύστημα θα παραμείνει υπό πίεση και οι απώλειες θα είναι υγρής μορφής. Για ρυθμό εκροής πάνω από το ποσοστό άντλησης, η τιμή αυτή λαμβάνεται ως ποσοστό απωλειών. Για πλήρη αποτυχία της οπής, το ποσοστό άντλησης λαμβάνεται ως ρυθμός εκροής.

Από την άλλη πλευρά, οι διαρροές αερίου οδηγούν πάντα σε πεπιεσμένες απώλειες. Μετά την απομόνωση των σωληνώσεων, η πίεση του συστήματος θα μειωθεί σταδιακά και ο ρυθμός εκροής θα μειωθεί σε βάθος χρόνου. Σε προσομοιώσεις, χρησιμοποιείται ένα σταθερό ποσοστό απωλειών που ισούται με τον αρχικό ρυθμό εκροής. Στην περίπτωση των δεξαμενών αποθήκευσης, μόνο η καταστροφική ρήξη εξετάζεται διότι οι άλλες περιπτώσεις εμφανίζουν χαμηλή συχνότητα.

5.4.2.2 Διάρκεια αποδέσμευσης

Λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις ασφαλείας και το σύστημα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης που προβλέπεται για το τερματικό, υποτίθεται ότι οι απώλειες από τις σωληνώσεις είναι δυνατό να ανιχνευθούν και ο τερματισμός να ξεκινήσει περίπου σε δύο λεπτά. Προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές αποτυχίες ή καθυστερήσεις σε αυτά τα συστήματα προστασίας, ένα σενάριο διαφυγής με το αυτοκίνητο εντός δέκα λεπτών μελετάται. Διαφυγή εντός δύο λεπτών υπολογίζεται για την αποτυχία εκφόρτωσης του βραχίονα δεδομένου ότι το προσωπικό που βοηθά στις λειτουργίες λήψης ενδέχεται να ξεκινήσει αμέσως μια χειροκίνητη διακοπή λειτουργίας. Επιπλέον, υπάρχουν ανιχνευτές για υπερβολική κίνηση του βραχίονα, που θα ξεκινήσουν αυτόματο κλείσιμο.

Size of the hole for discharge rate calculation.

Pipeline	Tank
10 mm	Catastrophic rupture
25 mm	
50 mm	
100 mm	
Full bore rupture	

Πίνακας 8. Μέγεθος οπής για τον υπολογισμό του ρυθμού εκροής [26]

5.4.2.3 Επιδράσεις Κινδύνου

Σε περίπτωση τυχαίας απελευθέρωσης LNG τα κάτωθι φυσικά φαινόμενα παρατηρούνται: πυρκαγιά τύπου pool (PF), jet πυρκαγιά (JF), flash πυρκαγιά (FF), έκρηξη και ανατροπή. Το PF, JF και FF σενάρια θεωρούνται ότι είναι το πιο πιθανό να συμβούν. Μια PF συμβαίνει όταν υπάρχει διαρροή LNG στο έδαφος, το νερό ή το ανάχωμα και αναφλέγεται αμέσως. Η pool εξατμίζεται με βρασμό, λόγω του μεγάλου εύρους θερμοκρασίας μεταξύ του LNG (κρυογονική) και του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, ένα μεγάλο ποσοστό του υγρού εξατμίζεται για να σχηματίσει ένα σύννεφο μεθανίου. Το σύννεφο ατμών διασποράς μπορεί στη συνέχεια να έρθει σε επαφή με πηγή ανάφλεξης και να καεί γρήγορα με μια ξαφνική FF. Θερμικές επιδράσεις έξω από το σύννεφο ατμών δεν υφίστανται, λόγω της σύντομης διάρκειας της FF. Σε αντίθεση, η άμεση επαφή με τους ατμούς καύσης μπορεί να προκαλέσει θανάτους.

5.4.3 Ευαισθησία

Τα φυσικά μοντέλα που περιγράφονται πριν τη δημιουργία ποικίλων αποτελεσμάτων περιστατικών τα οποία προκαλούνται από την απελευθέρωση επικίνδυνου υλικού ή ενέργειας. Η σημασία των αποτελεσμάτων είναι μία συνάρτηση της απόστασης από την πηγή της απελευθέρωσης. Το επόμενο βήμα στη μέθοδο QRA είναι η αξιολόγηση των συνεπειών των αποτελεσμάτων από τα περιστατικά. Η συνέπεια είναι εξαρτώμενη από το αντικείμενο της μελέτης. Για το σκοπό της αξιολόγησης των επιδράσεων στον άνθρωπο, οι

συνέπειες μπορούν να εκφραστούν σαν αριθμός θανάτων ή τραυματισμών με τη μεθοδολογία Probit [26].

Η μέθοδος δίνει απλές σχέσεις για να προβλεφθούν οι αρνητικές επιδράσεις διαφορετικών μεταβλητών αν αυτές μπορούν να περιγραφούν με μετατροπή της κανονικής κατανομής πιθανοτήτων. Η κλίμακα Probit είναι ένα πολύ απλό εργαλείο για την μέτρηση των πιθανοτήτων. Οι μονάδες Probit (Y) και η πιθανότητα (P) σχετίζονται σύμφωνα με την έκφραση :

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{y-5} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Το αποτέλεσμα είναι η κατανομή Probit , η οποία έχει μέσο όρο 5 και διακύμανση 1. Στην ανάλυση ευαισθησίας, οι μονάδες Probit υπολογίζονται ως εξής:

$$Y = k_1 + k_2 \cdot \ln(V)$$

Σε αυτή την περίπτωση τα k_1 και k_2 είναι εμπειρικές σταθερές και το V είναι μέτρο της έντασης του παράγοντα που προκαλεί τη ζημιά, διαφέρων ανάλογα με την επίδραση υπό μελέτη.

Τα μοντέλα Probit μπορούν να εφαρμοστούν σε λογισμικά όπως το Eduinjuries 1.0 το οποίο παρέχει γρήγορα τις αναμενόμενες πιθανότητες λόγω των διαφορετικών αιτιών όπως η έκθεση σε συγκέντρωση εκπομπών, η ακτινοβολία και η υπερβολική πίεση. Στην έκθεση ακτινοβολίας από θερμικές επιδράσεις, η πρώτη ισότητα παίρνει την παρακάτω μορφή [26].

$$Y = -14.9 + 2.56 \cdot \ln(10^{-4} \cdot I^{4/3} \cdot t)$$

Όπου I είναι η ένταση της λαμβανόμενης ακτινοβολίας και W/m^2 είναι οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται. Το t είναι ο χρόνος έκθεσης και μετράται σε s(seconds).

5.4.4 Ανάλυση συχνότητας

Οι συχνότητες αποτυχίας της αρχικής εκδήλωσης συνοψίζονται στον Πίνακα 9.

Failure frequencies.

Installation (Part)	Catastrophic failure	Leak
Pipeline, nominal diameter <75 mm	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$
Pipeline, 75 mm < nom. d. <150 mm	$3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$
Pipeline, nominal diameter >150 mm	$1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$
Pumps without additional provisions	$1 \cdot 10^{-4} \text{ y}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4} \text{ y}^{-1}$
LNG storage tank	$1.25 \cdot 10^{-8} \text{ y}^{-1}$	—

Πίνακας 9. Συχνότητες αποτυχίας (frequency failure) [26]

Η συχνότητα των διαφόρων αποτελεσμάτων μετά από μια απώλεια συγκράτησης εκτιμάται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο «δέντρου» (Εικόνα 10). Τα διάφορα αποτελέσματα που εξετάζονται περιλαμβάνουν την πυρκαγιά τύπου pool, τη jet πυρκαγιά και τη φλας πυρκαγιά για διαρροές υγρού, τη jet πυρκαγιά και τη φλας πυρκαγιά για συνεχείς διαρροές αερίου. Η ανάλυση με το μοντέλο του «δέντρου» χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να αναλύσει τον τρόπο με τον οποίο ένα αρχικό συμβάν μπορεί να οδηγήσει σε έναν αριθμό διαφορετικών αποτελεσμάτων, ανάλογα με τους παράγοντες όπως την επιτυχή εφαρμογή των διαφόρων μέτρων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και των σχετικών συστημάτων προστασίας της ασφάλειας.

Initial Event	Immediate Ignition	Delayed Ignition	Event Outcome
	Yes		Pool Fire/ Jet Fire
	No	Yes	Flash Fire
		No	Unignited Release

Εικόνα 10. Απλοποιημένο «δέντρο» περιστατικών LNG [26]

Άμεση ανάφλεξη από την απελευθέρωση υγροποιημένου φυσικού αερίου θα μπορούσε να οδηγήσει σε μία πυρκαγιά pool ή σε μια πυρκαγιά τζετ. Μία πυρκαγιά τζετ μπορεί να παραχθεί όταν ένα υγρό υπό πίεση απελευθερώνεται. Όταν απελευθερώνεται ένα μη ορμώμενο υγρό, τότε αυτό χύνεται στο έδαφος και παράγεται πυρκαγιά pool. Οι απελευθερώσεις αερίου είναι όλες υπό πίεση

και η ανάφλεξη θα έχει σαν αποτέλεσμα μία πυρκαγιά jet. Κατά την ανάφλεξη, ένα σύννεφο φυσικού αερίου θα μπορούσε να σχηματιστεί από την απελευθέρωση του αερίου ή από την εξάτμιση της πισίνας υγρού.

Αν η άμεση ανάφλεξη δεν συμβεί, το διασκορπισμένο σύννεφο φυσικού αερίου μπορεί ακολούθως να αναφλεχθεί. Μία φλας πυρκαγιά θα συμβεί αν αυτό το σύννεφο αναφλεχθεί. Αν η καθυστερημένη ανάφλεξη δεν συμβεί, το εξατμισμένο σύννεφο διασκορπίζεται χωρίς καμία επίδραση επειδή το φυσικό αέριο δεν είναι τοξικό.

Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται οι συνολικές πιθανότητες ανάφλεξης [29].

Leak size	Ignition probability immediate	Delayed
Liquid small leak	0.010	0.035
Liquid large leak/rupture	0.080	0.180
Gas small leak	0.020	0.045
Gas large leak/rupture	0.200	0.100

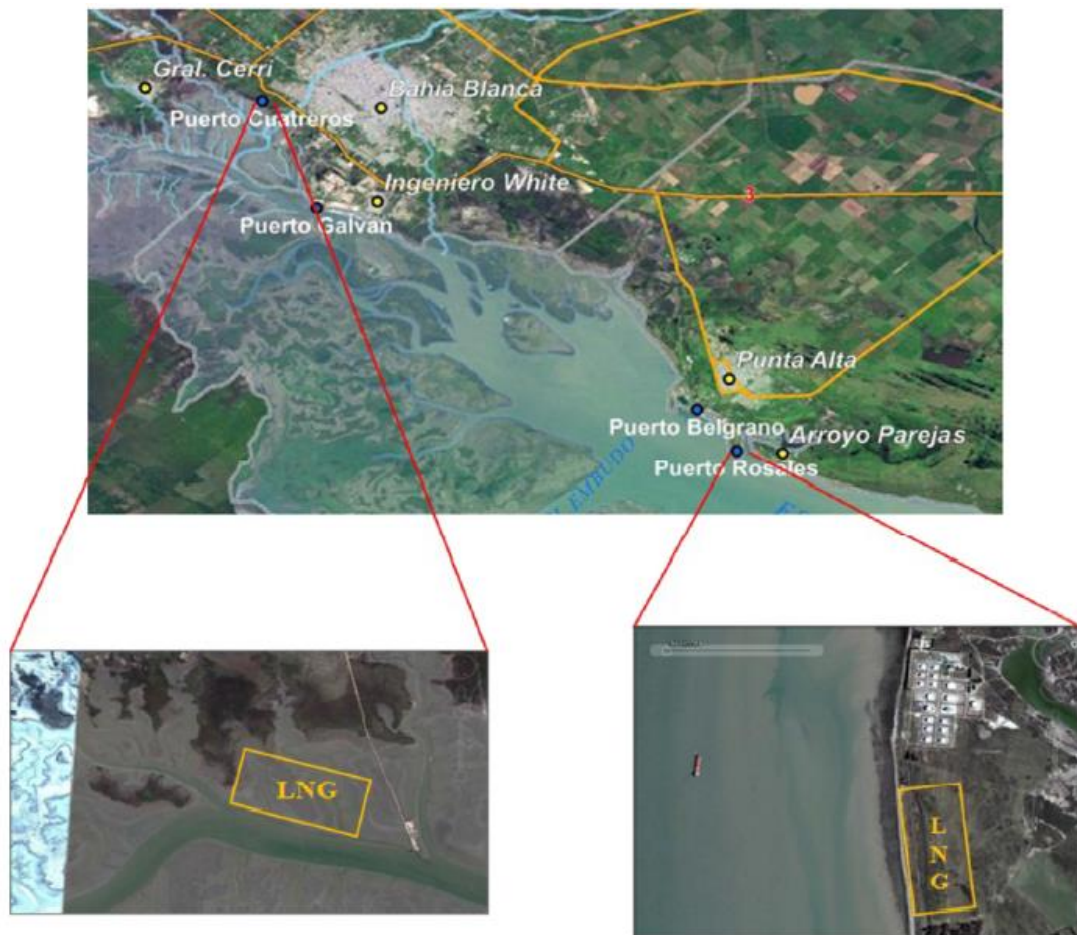
Πίνακας 10. Πιθανότητες ανάφλεξης [26]

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις πιθανότητες ανάφλεξης των δεξαμενών αποθήκευσης LNG. Δεδομένης της πολύ μεγαλύτερης κλίμακας της ποσότητας που θα απελευθερωθεί συγκριτικά με άλλα σενάρια, είναι πιο πιθανό το σύννεφο ατμών να βρει μία πηγή ανάφλεξης.

5.5 Παράδειγμα επιλογής κατάλληλης τοποθεσίας για εγκατάσταση τερματικού σταθμού LNG

Σε μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί για τη δημιουργία εγκαταστάσεων τερματικού σταθμού LNG στην Μπαΐα Μπλάνκα της Αργεντινής, έχοντας ελέγξει τον κίνδυνο και αναλύσει την ευαισθησία, τη συχνότητα και τις συνέπειες κάποιου ατυχήματος, δύο ήταν οι υποψήφιες περιοχές, το λιμάνι Rosales και το λιμάνι Cuatros (Εικόνα 11). Από γεωλογική οπτική γωνία, οι νέες εγκαταστάσεις θα δημιουργούσαν ανεπανόρθωτες αλλαγές. Η απαραίτητη εκβάθυνση στο λιμάνι του Cuatros απαιτούσε μετακίνηση 11,000m³ διαφορετικών ειδών ιζημάτων. Επιπροσθέτως, περαιτέρω διαδικασίες εκβάθυνσης χρειαζόνταν για τη διατήρηση του καναλιού το οποίο θα επέφερε μελλοντικές μορφολογικές αλλαγές. Από την άλλη πλευρά, το λιμάνι Rosales

βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά του κόλπου με αποτέλεσμα να μην απαιτείται εκβάθυνση για την πλεύση των πλοίων LNG διότι στα 1,500m από την ακτή το βάθος είναι 45ft. Ακόμα, η πιθανότητα ατυχήματος κατά την πλεύση των πλοίων αυξάνεται με την απόσταση, καθιστώντας το λιμάνι του Cuatrerros ως δυσμενής τοποθεσία. Για τους παραπάνω λόγους το λιμάνι Rosales επιλέχθηκε ως ιδανικότερη τοποθεσία για το προτεινόμενο σχέδιο.

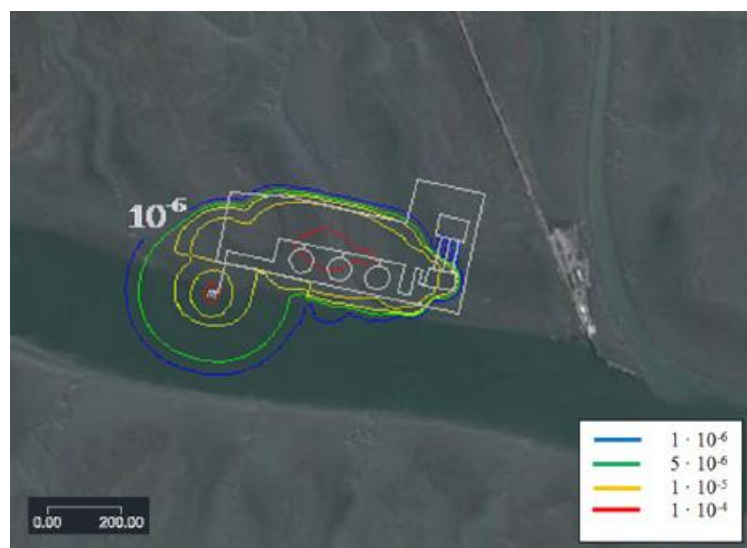


Εικόνα 11. Υποψήφιες περιοχές της Μπαΐα Μπλάνκα για εγκαταστάσεις LNG [26]

Οι μηχανικοί αρχικά πρότειναν τον τερματικό σταθμό κοντά στις καταναλωτικές αγορές για να αποφύγουν τη συμφόρηση σωληνώσεων και να επιτύχουν την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Η εκδοχή αυτή, όμως, απαιτεί την κατασκευή εγκαταστάσεων κοντά σε κατοικημένες περιοχές και θα μπορούσε να επηρεάσει άμεσα το οικοσύστημα στις εκβολές. Το λιμάνι Rosales έχει τα πλεονεκτήματα της μακρινής από κατοικημένες περιοχές τοποθεσίας και του μεγάλου βάθους στις διαδρομές των πλοίων.



Εικόνα 12 . Καμπύλες κινδύνου στο λιμάνι Rosales [26]



Εικόνα 13. Καμπύλες κινδύνου στο λιμάνι Cuatrerros [26]

Στην εικόνα 13 όπου απεικονίζεται το λιμάνι Cuatrerros φαίνεται πως ο κίνδυνος αυξάνεται στο περιβάλλον της προβλήτας λόγω της παρουσίας των περιοχών όπου γίνεται το ξεφόρτωμα. Αυτό συμβαίνει λόγω του μικρού πλάτους της εκβολής (300m) σε αυτό το σημείο όπου οδηγεί σε κατασκευή μικρότερης προβλήτας. Και στις δύο περιοχές, οι καμπύλες κινδύνου παραμένουν παρόμοιες και οι μικρές διαφορές προκύπτουν λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών των τερματικών, όπως το βάθος και η μέση κατεύθυνση του αέρα.

5.6 Λιμένας Ηρακλείου

5.6.1. Υφιστάμενες υποδομές του λιμένα

Το λιμάνι του Ηρακλείου είναι ένα πολυσύχναστο λιμάνι, το τρίτο σε κίνηση στην Ελλάδα, στο βόρειο μέτωπο της Κρήτης. Το εύρος των δραστηριοτήτων του επεκτείνεται από την εξυπηρέτηση οχημάτων Ro-Pax έως κρουαζιερόπλοια. Συνδέεται τακτικά με το λιμάνι του Πειραιά και απευθείας με νησιά των Κυκλάδων και τη Ρόδο. Αποτελεί τη κύρια πύλη της νήσου Κρήτης των 623.065 μόνιμων κατοίκων, σε στρατηγικό σημείο σε σχέση με το υπάρχον οδικό δίκτυο, καθώς βρίσκεται στο μέσον του βόρειου οδικού άξονα (ΒΟΑΚ) της Κρήτης, τον κυριότερο αυτοκινητόδρομο του νησιού ο οποίος εκτείνεται από το δυτικό άκρο έως το ανατολικό άκρο του συνδέοντας την Κίσαμο, τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο, τον Άγιο Νικόλαο και τη Σητεία. Δεν πρέπει όμως να παραγνωρίζεται ο σημαντικός χαρακτήρας του λιμένα της Σούδας στα Χανιά.

Το λιμάνι του Ηρακλείου σήμερα ανήκει το Ελληνικό Δημόσιο σύμφωνα με το Νόμο 2932/27-5-2001 (ΦΕΚ.145/Α/27-06-2001) και προβλέπεται να ιδιωτικοποιηθεί τα επόμενα χρόνια. Διοικείται από τον Οργανισμό Λιμένος Ηρακλείου Α.Ε., Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου (ΝΠΙΔ) με μοναδικό μέτοχο το Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας του Δημοσίου (ΤΑΙΠΕΔ) και λειτουργεί υπό την εποπτεία του Υπουργείου Ναυτιλίας και Αιγαίου.

Το λιμάνι εξυπηρετεί επιβατικά πλοία, κρουαζιερόπλοια, ταχύπλοα καταμαράν, πλοία γενικού φορτίου, Ro-Ro, πλοία που μεταφέρουν containers και μικρά τάνκερ. Χαρακτηρίζεται από μεγάλους ανοικτούς χώρους δίνοντας βάρος στα Ro-Pax και τις μεταφορές φορτίων.

Υφιστάμενες υποδομές

Αναφορικά με τις υπάρχουσες υποδομές, το λιμάνι διαθέτει 3 χώρους:

- Έναν εσωτερικό χώρο (Ενετικό λιμάνι) εμβαδού 35,300 m²
- Δύο εξωτερικούς χώρους εμβαδού 426,561m² και 355,756m² αντίστοιχα, στους οποίους έχουν διαμορφωθεί 5 προβλήτες (I, II, III, IV-V και VI). Η προβλήτα VI είναι αποβάθρα πλαγιοπρυμνιοδέτησης στην υπήνεμη πλευρά της και η ανατολική της πλευρά λειτουργεί ως κυματοθραύστης.



Εικόνα 14. Γενική άποψη του Ενετικού λιμανιού: 1. Κούλες, από όπου ξεκινά ο λιμενοβραχίονας, 2. Τα νεώρια, 3. Η μαρίνα, 4. Πρόσβαση προς το κέντρο της πόλης [8]

A. Λιμενοβραχίονας

Ο λιμενοβραχίονας του λιμανιού έχει συνολικό μήκος 2.390m συμπεριλαμβανομένης της προστασίας του Ενετικού λιμανιού. Η διεύθυνση του είναι παράλληλη της ακτογραμμής.

B. Ενετικό λιμάνι

Η λεκάνη του Ενετικού λιμανιού είναι οβάλ, καλύπτει μια συνολική επιφάνεια 35.300 m², με περιμετρική προστασία μήκους περίπου 756m και βάθος που ποικίλει από 3 έως 4m.

α. Περιοχή για Επαγγελματικά Αλιευτικά Σκάφη

Οι δυτικές και βόρειες αποβάθρες του Ενετικού λιμανιού χρησιμοποιούνται κυρίως από επαγγελματικά αλιευτικά σκάφη. Η χερσαία περιοχή για την εξυπηρέτηση αυτών των σκαφών είναι εξαιρετικά περιορισμένη με πλάτος που ποικίλει από 4 έως 10 μέτρα. Τα κτίρια που υπάρχουν χρειάζονται ανακαίνιση, τα διαβρωμένα σκυροδέματα αυξάνουν την πιθανότητα ατυχήματος και δεν υπάρχει δίκτυο διανομής νερού.

β. Περιοχή για κότερα (Μαρίνα)

Οι προβλήτες και οι 2 πλωτές αποβάθρες εξυπηρετούν κότερα. Υπάρχει μία ράμπα (γλύστρα) για την ανέλκυση και καθέλκυση μικρών σκαφών. Στο Ενετικό λιμάνι έχουν κατασκευαστεί σε μορφή V δύο πλωτές αποβάθρες, με συνολικό μήκος 118m για την εξυπηρέτηση περισσότερων κότερων. Οι πλωτές αποβάθρες είναι ελαφρές κατασκευές με πλαίσια από γαλβανιζέ λαμαρίνα διαστάσεων 8m επί 2,3m. Η ανατολική αποβάθρα έχει συνολικό μήκος 64m και η δυτική αποβάθρα 54m αντίστοιχα. Το 2008, μία επιπλέον πλωτή αποβάθρα τοποθετήθηκε στην υπάρχουσα αποβάθρα, συνολικού μήκος 69m και πλάτους 2,4m, η οποία έχει δυνατότητα να εξυπηρετεί σκάφη μήκους έως 15m.

Γ. Αποβάθρα Μικρός Κούλες

Η Ανατολική πλευρά της αποβάθρας (μικρός Κούλες) έχει μήκος περίπου 121m και ωφέλιμο βάθος 8m. Υπάρχουν επίσης αποβάθρες μήκους 141,3m και 300,4m με λειτουργικά βάθη από 8m έως 10m. Οι αποβάθρες χρησιμοποιούνται από τουριστικά σκάφη, σκάφη του Λιμεναρχείου, ταχύπλοα και καταμαράν. Στην προβλήτα έχουν τοποθετηθεί δύο αποβάθρες, εξοπλισμένες με δύο ράμπες οι οποίες χρησιμοποιούνται από πλοία Ro-Pax και Ro-ro. Η Δυτική πλευρά της αποβάθρας του μικρού Κούλε, όπως ήδη περιγράφηκε, εξυπηρετεί κότερα για οριοθετεί τη Μαρίνα.

Δ. Προβλήτα I

Η προβλήτα I αποτελείται από το δυτικό τμήμα μήκους 161,75m και ωφέλιμου βάθους 10m, το βόρειο τμήμα μήκους 74,97m και ωφέλιμου βάθους 10m. και το ανατολικό τμήμα μήκους 151m και επίσης ωφέλιμου βάθους 10m. Χρησιμοποιείται για την αγκυροβόληση πλοίων Ro-Ro και Ro-Pax και για αυτό το λόγο έχει εξοπλιστεί με 4 ράμπες, δύο μπροστά και από μία σε κάθε πλευρά.

Ε. Προβλήτα II

Η προβλήτα II έχει τραπεζοειδή σχήμα, αποτελείται από το δυτικό τμήμα, μήκους 168,87m και ωφέλιμου βάθους 10m, το βόρειο τμήμα, μήκους 41m και ωφέλιμου βάθους 10m και το ανατολικό τμήμα μήκους 200,77m και ωφέλιμου βάθους 9,50m. Επίσης στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα της προβλήτας υπάρχουν ράμπες την εξυπηρέτηση πλοίων RO-Pax και Ro-Ro. Η ράμπα στην ανατολική πλευρά της προβλήτας II χρησιμοποιείται για μεγάλα πλοία Ro-Pax.

Z. Προβλήτα III

Το εμπορικό τμήμα του λιμανιού του Ηρακλείου ξεκινά από την προβλήτα III. Η δυτική πλευρά της προβλήτας έχει ένα τμήμα μήκους 309,7m με ωφέλιμο βάθος που ποικίλουν από 9,5 έως 10m και ένα τμήμα μήκους 148,57 με ωφέλιμο βάθος 10m. Το μπροστινό τμήμα της προβλήτας III έχει μήκος 54,27m με ωφέλιμο βάθος 10m. Τέλος το ανατολικό τμήμα έχει μήκος 450,26m με ωφέλιμο βάθος που ποικίλουν από 10 έως 12,50m.

Η. Προβλήτα IV-V

Η Προβλήτα IV – V έχει και αυτή τραπεζοειδή σχήμα. Η δυτική πλευρά της έχει μήκος 311,27m με ωφέλιμο βάθος 13m. Το μπροστινό τμήμα της προβλήτας έχει 289,78m και ωφέλιμο βάθος 14m και η ανατολική πλευρά έχει μήκος 250,12m και ωφέλιμο βάθος 13m. Χρησιμοποιείται για την αγκυροβόληση και την εξυπηρέτηση πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και είναι εξοπλισμένη με τρεις δέστρες για την αγκυροβόληση πλοίων Ro-Ro.

Θ. Προβλήτα VI

Η προβλήτα VI αποτελεί την ανατολικότερη πλευρά του λιμανιού του Ηρακλείου. Έχει τριγωνικό σχήμα, η δυτική της πλευρά έχει μήκος 378,9m και ωφέλιμο βάθος 10m στα πρώτα 170m και 12m στα επόμενα 204m.

Συνοπτικά, οι υποδομές του λιμανιού δίδονται στο Πίνακα 11.

Άλλες υποδομές

Το τερματικός σταθμός για την εξυπηρέτηση της κρουαζιέρας βρίσκεται στην περιοχή νότια της προβλήτας II. Κατασκευάστηκε το 2003 και καταλαμβάνει έκταση 2.592m². Ο υποσταθμός B βρίσκεται νότια το τερματικού σταθμού κρουαζιέρας, κατασκευάστηκε το 2000 και καταλαμβάνει έκταση 157,35m². Ο πυροσβεστικός σταθμός βρίσκεται ανατολικά του υποσταθμού B, κατασκευάστηκε το 1996 και καταλαμβάνει έκταση 238,15m² [8].

A / A	Τμήμα	Μήκος (μ)	Ωφέλιμα βάθη (μ)
1	Λιμενοβραχίονας	980,84 962,89	-10,0 -15,0 -6,0-10,0
2	Εσωτερική πλευρά του Κούλες	~ 147	-
3	Ενετικό λιμάνι	~ 900,00	3,0-4,0
4	Αποβάθρα Μικρού Κούλες	121,27	-8,0
5	Παραλιακή αποβάθρα	300,40	-8,0
6	Παραλιακή αποβάθρα	141,30	-10,0
7	Προβλήτα I	161,75 74,97 151,00	-10,0 -10,0 -10,0
8	Παραλιακή αποβάθρα	120,00	-8,0
9	Προβλήτα II	168,87 41,00 200,77	-10,0 -10,0 -9,5
10	Παραλιακή αποβάθρα	25,77	-9,5
11	Παραλιακή αποβάθρα	50,06	-6,0
12	Παραλιακή αποβάθρα	94,10	-6,0
13	Προβλήτα III	309,70 148,57 54,27 450,26	-9,5-10,0 -10,0 -10,0 -12,50 έως -10,0
14	Παραλιακή αποβάθρα	101,39	-8,0
15	Προβλήτα IV-V	311,27 289,48 250,12	-13,0 -14,0 -13,0
16	Παραλιακή αποβάθρα	201,00	-6,0
17	Προβλήτα VI	378,90	-10,0

Πίνακας 11. Υποδομές λιμένος Ηρακλείου [8]

5.6.2 Πιθανή δημιουργία εγκαταστάσεων LNG

Το λιμάνι του Ηρακλείου θα μπορούσε να αποτελέσει μια πιθανή τοποθεσία εγκαταστάσεων LNG, και σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτούμενες προϋποθέσεις που αναφέρονται, στην εικόνα 15 φαίνεται μία προτεινόμενη τοποθεσία. Στην πράσινη περιοχή της εικόνας 15, φαίνεται η προτεινόμενη τοποθεσία για τις εγκαταστάσεις LNG στο λιμένα Ηρακλείου, αν και το γεγονός της μικρής απόστασης από την σε κατοικημένη περιοχή θα θεωρούνταν ανασταλτικός παράγοντας κατά την προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου. Αποκλείονται η περιοχή που είναι χρωματισμένη με κίτρινο διότι εκεί βρίσκεται η μαρίνα του λιμένα. Οι περιοχές που είναι χρωματισμένες με κόκκινο, μπλε και κίτρινο εξυπηρετούν την αγκυροβόληση πλοίων RO-Pax και Ro-Ro.



Εικόνα 15. Πανοραμική εικόνα του λιμένα Ηρακλείου

Ωστόσο, το μήκος της τριγωνικής αυτής προβλήτας [289,48m - 250,12m – 311,27m] φαίνεται να αυξάνει τον κίνδυνο διότι είναι σχετικά μικρό για το ασφαλές ξεφόρτωμα. Εναλλακτική λύση θα μπορούσε να είναι η κατασκευή πλωτού τερματικού σταθμού αποθήκευσης LNG σε απόσταση περίπου 1km από την ανατολικότερη προβλήτα και η μεταφορά του LNG με υποθαλάσσιους αγωγούς στην αποβάθρα. Σε αυτήν την περίπτωση θα έχουμε ανεφοδιασμό πλοίου με αγωγούς όπου είναι δυνατή η εξυπηρέτηση για πάνω από 6,500m³ ημερησίως. Εξαιτίας του ότι ο αγωγός και ο βραχίονας ανεφοδιασμού είναι σταθερός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη μάνικα ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός ανεφοδιασμού (έως και 3.000 λίτρα/λεπτό) οδηγώντας σε σημαντικά μικρότερο χρόνο ανεφοδιασμού. Η απόσταση του 1km εξασφαλίζει το κατάλληλο βάθος ώστε να μην χρειαστεί εκβάθυνση του πυθμένα για τις διαδρομές των πλοίων. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η προσπάθεια που χρειάζεται ένα πλοίο για να φθάσει στη θέση του σταθμού ανεφοδιασμού (ή των αγωγών).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή, αναδείχθηκε η μεγάλη σημασία του LNG στην ναυτιλία λόγω των ιδιοτήτων του που είναι φιλικές προς το περιβάλλον αλλά και την οικονομία. Σήμερα ικανοποιεί το 25% των αναγκών σε ενέργεια παγκοσμίως και χρησιμοποιείται για θέρμανση αλλά και για τις μετακινήσεις στη ξηρά. Η τάση αυτή μεταδίδεται και στις θαλάσσιες μεταφορές. Η ζήτηση για LNG θα συνεχίσει να αυξάνεται, όχι τόσο για οικονομικούς λόγους, αλλά κυρίως για πολιτικούς λόγους. Η Ευρώπη είναι πρόθυμη να διαφοροποιήσει τον ενεργειακό εφοδιασμό της, και το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι μια επιλογή. Κατά τα τελευταία χρόνια, το LNG θεωρείται ως πιθανό καύσιμο πλοίων λόγω της νέας νομοθεσίας για τις εκπομπές θείου στα πλοία.

Η νομοθεσία για την περιβαλλοντική προστασία τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε εγχώριο επίπεδο έχει γίνει αρκετά αυστηρή με αποτέλεσμα η εξέλιξη της τεχνολογίας να έχει διαδραματίσει καθοριστικά θετικό ρόλο. Αυτή η συσσωρευμένη εμπειρία μετά από χρόνια έρευνας επιτρέπει στο LNG από μεγάλης κλίμακας, χαμηλού μοναδιαίου κόστους χώρες παραγωγής και εξαγωγής να συνεχίσουν να παραδίδουν σε πολλές περιοχές, ακόμη και με πολύ χαμηλές εγχώριες τιμές φυσικό αέριο. Πηγαίνοντας προς τα εμπρός, νέα προσοχή δίνεται σε τεχνολογίες μικρότερης κλίμακας που μπορούν να χρησιμεύσουν σε μικρότερες αγορές όπως πλωτά έργα LNG που μπορούν να ενισχύσουν την ανάπτυξη των φυσικών πόρων αερίου από υπεράκτιες και άλλες απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και να παρέχουν δημιουργικές λύσεις για τη λήψη και τη συνεχή ανάπτυξη και επέκταση του εργατικού δυναμικού της βιομηχανίας LNG.

Το LNG εξακολουθεί να ανταγωνίζεται με τους αγωγούς φυσικού αερίου τη Βόρεια Αμερική και την ευρωπαϊκή αγορά, δημιουργώντας τα οφέλη των ανταγωνιστικών τιμών για τους καταναλωτές, και ανταγωνίζεται με άλλες

μορφές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο στην Ασία και άλλες περιοχές που χρειάζονται ποικίλες και οικονομικά προσιτές ενεργειακές προμήθειες.

Στην Ελλάδα, το Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου επιδιώκει ήδη την άμεση εισαγωγή του φυσικού αέριου και ειδικότερα της υγροποιημένης μορφής του (LNG) στην ακτοπλοΐα το συντομότερο δυνατό, έστω και με ένα συμβολικό αριθμό πλοίων. Με τον τουρισμό στην Ελλάδα να αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της οικονομίας, και δεδομένου του νησιωτικού χαρακτήρα της χώρας, η στροφή προς αυτή την κατεύθυνση κρίνεται ως μια ώριμη και αποτελεσματική λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δ. Διαμαντάκης και Ν. Βέντικος, «Συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής των ναυτλιακών καυσίμων LOW SULPHUR FO και LNG,» Αθήνα, 2014.
- [2] Ι. Χαβιάρης, «Η εφαρμογή LNG ως καυσίμου σε πλοία RO-PAX,» Πειραιάς, 2014.
- [3] L. F. SHIPPING, "<https://lngforshipping.eu/>".
- [4] K. Timmerhaus, «Advances in Cryogenic Engineering: Volume 22.,» Springer, US, 2013.
- [5] GIIGNL, "LNG SHIPS Paper no3," Neuilly-sur-Seine (FRANCE).
- [6] Cedigaz, «BP Statistical Review of World Energy,» 2011.
- [7] V. A. Bolbot, "STORAGE, HANDLING AND BOIL-OFF OF LNG ON SHIPS".
- [8] Β. Παχή και Σ. Πατταευθυμίου, «Υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG ως καύσιμο σε καράβια. Διερεύνηση τεχνικών δυνατοτήτων και ο πιθανός ρόλος των ελληνικών λιμένων,» Ιούνιος 2016.
- [9] U. P. CLUB, «Carefully to carry, "Liquefied natural gas",» CLUB, UK P&I.
- [10] "LNG boil-off re-liquefaction plants and gas combustion units," DNV, 2006.
- [11] S. Xiaojun και C. Defu, «A combined power cycle utilizing low-temperature waste heat and LNG cold energy,» 2008.
- [12] I. M. Organization, 2004.
- [13] O. Schinas and M. Buttler, "Feasibility and commercial considerations of LNG - fueled ships," ELSEVIER, 2016.
- [14] E. Commision, «Regulation (EU)2015/757 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC,» 2015, pp. 55-76.

- [15] M. M. Foss, "An overview on liquefied natural gas (LNG), its properties, the LNG industry, and safety considerations," Houston, Texas, 2012.
- [16] <http://www.eu-magalog.eu>, «Maritime Gas Fuel Logistics,» MAGALOG Project, 2008.
- [17] L. a. Sanghyuk, S. a. Youngkyun, L. b. Jaemin and C. Daejun, "Economic evaluation of pressurized LNG supply chain," *ELSEVIER*, 2016.
- [18] S. Kim, J. Dinwoodie και M. Roe, «The impact of sustainability practices on competitiveness in Busan: a mega container port in Northeast Asia,» σε *IAME Conference*, Marseille, France, 2013.
- [19] M. Adams, Quinonez, A. Pallis και T. Wakeman, «Environmental issues in port competitiveness,» Centre for International Trade and Transportation, 2010.
- [20] L. Van Der Lugt και P. De Langen, «Port authority strategy: beyond the landlord—a conceptual approach,» σε *IAME Conference*, Athens, 2007.
- [21] W. Siyuan, N. Theo, «The role of port authorities in the development of LNG bunkering facilities in North European ports,» *Institute of Transport and Maritime Management Antwerp (ITMMA)*, pp. 65-75, 14 January 2015.
- [22] J. Iribarren, C. Cal, L. Lopez, M. Martínez, R. J. Atienza και J. Murguialday, «Sistema innovador para el suministro de LNG mediante un buque regasificador,» 2010.
- [23] «Maritime Gas Fuel Logistics, MAGALOG Project,» <http://www.eu-magalog.eu>, 2008.
- [24] I. Papazoglou, Z. Nivolianitou and Bonanos, "Land use planning policies stemming from the implementation of the SEVESO-II Directive in the EU,," *Journal of Hazardous Materials*, 1998.
- [25] F. Licari και D. C. Weimer, «Risk-based siting considerations for LNG terminals-Comparative perspectives of United States & Europe,» *ELSEVIER*, pp. 736-752, 2011.
- [26] A. D'alessandro, E. Izurieta και S. Tonelli, «Decision-making tools for a LNG regasification plant siting,» *ELSEVIER*, pp. 255-262, 2016.
- [27] CCPS, «Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases,» American Institute of Chemical Engineers, 1999.
- [28] C. v. d. Bosch και R. Weterings, «Methods for the Calculation of Physical Effects,» σε *Yellow Book*, Hague, Netherland, TNO, 1997.

- [29] R. Kennish, «Liquefied Natural Gas(LNG) Receiving Terminal and Associated Facilities,» ERM, Hong Kong, 2006.
- [30] D. MAN, "LNG CARRIERS WITH HIGH PRESSURE GAS SUPPLY SYSTEM," Copenhagen, 2014.
- [31] D. T. MAN, "ME-GI Dual-Fuel_ A Technical , Operational and Cost Effective Solution for Ships Fuelled by Gas," Copenhagen, 2012.
- [32] G. a. Bahram, H. Mohammad-Hosseini and A. Majid, «Cascade refrigeration systems in integrated cryogenic natural gas process (natural gas liquids (NGL), liquefied natural gas (LNG) and nitrogen rejection unit (NRU)),» *ELSEVIER*, 2016.
- [33] C. I. International, «LNG Information,» http://www.chiv.com/lng_information.html.

