



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής

&

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

ΤΙΤΛΟΣ

***Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ
ΡΩΣΙΚΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗΣ ΣΤΗΝ ΟΥΚΡΑΝΙΑ ΣΤΗΝ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ
ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ***

ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ

***THE USE OF LNG AS A MARINE FUEL AND THE EFFECTS OF THE
RUSSIAN INVASION IN UKRAINE ON ITS WIDER ADOPTION***

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

MARIA ΣΟΥΓΙΑΝΝΗ

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

ΑΛΚΗΣ ΚΟΡΡΕΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Κορρές Άλκης

Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Δρόσος Χρήστος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΜΑΡΙΑ ΣΟΥΓΙΑΝΝΗ του ΣΤΑΥΡΟΥ, με αριθμό μητρώου 8056276 φοιτητής/τρια του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο/Η δηλών/ούσα

ΜΑΡΙΑ ΣΟΥΓΙΑΝΝΗ



Ημερομηνία

24/6/2023

ΤΙΤΛΟΣ

***Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ
ΡΩΣΙΚΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗΣ ΣΤΗΝ ΟΥΚΡΑΝΙΑ ΣΤΗΝ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΗ
ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ***

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΜΑΡΙΑ ΣΟΥΓΙΑΝΝΗ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Διϋδρυματικού
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις
Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του
Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και
Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 1: Νομοθετικό πλαίσιο και επισκόπηση της χρήσης του LNG ως καυσίμου πλοίων	5
1.1 Επισκόπηση της χρήσης LNG ως καυσίμου πλοίων	5
1.2 Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για το LNG ως ναυτικό καύσιμο	5
1.3 Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για το LNG ως ναυτικό καύσιμο	7
1.4 Προκλήσεις και εμπόδια στην υιοθέτηση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου.....	9
Κεφάλαιο 2: Το LNG ως καύσιμο πλοίων: Τεχνολογικές λύσεις για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση	11
2.1 LNG ως καύσιμο πλοίων.....	16
2.1.1 Κινητήρες με καύσιμο LNG	17
2.1.2 Δεξαμενές καυσίμου LNG και συστήματα παροχής αερίου.....	22
2.1.3 Υποδομή LNG.....	26
Κεφάλαιο 3: Τα διλήμματα της υιοθέτησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως καυσίμου για τα πλοία.....	27
3.1 Τεχνικές προκλήσεις.....	29
3.2 Ρυθμιστικές προκλήσεις.....	30
3.3 Οικονομικές προκλήσεις.....	32
3.4 Περιοριστικοί Παράγοντες για την ευρεία χρήση του LNG	34
Κεφάλαιο 4: Περαιτέρω ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη σχετικά με την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.	35
4.1 Η σχετικά περιορισμένη απόδοση του LNG στον τομέα του CO2 σε σχέση με τις θεαματικές επιδόσεις του στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	36
4.2 Το δυναμικό του LNG ως βάσης για μια πολιτική ανανέωσης για τον γερασμένο στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών της ΕΕ.....	37
4.3 Προοπτικές για πλοία με καύσιμα LNG	39
Κεφάλαιο 5: Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.	44
5.1 Εξελίξεις γύρω από τον πόλεμο στην Ουκρανία	44
5.1.1 Εξελίξεις αγοράς και ροές αερίου 2021–2022.....	44
5.1.2 Η Ρυθμιστική Ανταπόκριση της Ε.Ε.....	47
5.2 Η επίδραση της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία στην υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.....	50
Επίλογος	53
Βιβλιογραφία	57

Εισαγωγή

Η ναυτιλία είναι το κύριο μέσο μεταφοράς που χρησιμοποιείται παγκοσμίως και είναι απαραίτητο για την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη. Κατά συνέπεια, οι εκπομπές από τα πλοία αποτελούν μείζονα περιβαλλοντική ανησυχία λόγω των επιπτώσεών τους στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στην υπερθέρμανση του πλανήτη της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί το παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο στο εγγύς μέλλον λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού του κόσμου, γεγονός που επιδεινώνει τις προβλέψεις για την ατμοσφαιρική ρύπανση από τις θαλάσσιες μεταφορές. Ως αποτέλεσμα, ο ΙΜΟ έχει αναπτύξει και έχει υιοθετήσει πιο αυστηρούς κανονισμούς με στόχο τη σημαντική μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Αυτοί οι κανονισμοί για την ατμοσφαιρική ρύπανση επικεντρώνονται στη μείωση των CO₂, NO_X, SO_X και PM, καθώς αποτελούν τις κύριες εκπομπές των κινητήρων των σκαφών. Λόγω της ανάγκης των πλοίων να συμμορφώνονται με αυστηρούς περιορισμούς στις εκπομπές τους, έχουν προκύψει νέες επιλογές και λύσεις στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι κατασκευαστές έχουν αρχίσει να σχεδιάζουν και να αναπτύσσουν μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών μείωσης που απευθύνονται στη μείωση των επιπέδων των εκπομπών CO₂, NO_X, SO_X και PM (Semolinos, Olsen, & Giacosa, 2013; Wan et al., 2015).

Η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων είναι μια ελκυστική και πιθανή επιλογή λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε θείο, είναι μια ώριμη τεχνολογία και η σχετικά χαμηλή τιμή του. Το LNG ως καύσιμο πλοίου αφαιρεί τις εκπομπές SO_X και PM και μειώνει τις εκπομπές NO_X και CO₂. Στη συνέχεια, το LNG έχει ήδη αποδειχθεί στον ναυτιλιακό τομέα, καθώς οι μεταφορείς LNG το χρησιμοποιούν εδώ και αρκετές δεκαετίες. Οι μεταφορείς LNG χρησιμοποιούν τη φυσική εξαγωγή του LNG που είναι αποθηκευμένο στις δεξαμενές φορτίου τους για να προμηθεύουν τους κινητήρες τους. Ωστόσο, τα πλοία με καύσιμα LNG απαιτούν τεχνολογικές εξελίξεις ώστε να ξεπεραστούν οι προκλήσεις στην καύση, το χειρισμό και την αποθήκευση του LNG, οι οποίες το έχουν δώσει τη δυνατότητα να γίνει μια εφικτή εναλλακτική λύση που εξετάζεται μεταξύ των πλοιοκτητών (Adamchak & Adede, 2013; Semolinos et al., 2013).

Τέλος, η οικονομική ελκυστικότητα του LNG ως καυσίμου πλοίων οφείλεται στη χαμηλή τιμή του. Τα αρχεία των τιμών των καυσίμων πλοίων δείχνουν ότι το φυσικό αέριο, και

επομένως το LNG, είναι σχετικά χαμηλότερο από τα αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων (MDO) και το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων (MGO) και τα μαζούτ πλοίων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, το βαρύ μαζούτ (HFO) και ενδιάμεσο μαζούτ (IFO), τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, τα αποθέματα LNG ικανά να καλύψουν τη ζήτηση LNG από τον ναυτιλιακό κλάδο τα επόμενα χρόνια συμβάλλουν επίσης στην εφαρμογή του LNG σε κινητήρες πλοίων.

Ωστόσο, οι τιμές των καυσίμων πλοίων εξαρτώνται από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες, οι οποίοι οδηγούν σε κυμαινόμενες τιμές και καθιστούν δύσκολη την επίτευξη αξιόπιστων προβλέψεων και εκτιμήσεων τιμών, όπως ο πόλεμος της Ρωσίας στην Ουκρανία. Επιπλέον, η σπάνια διαθεσιμότητα υποδομών ανεφοδιασμού LNG είναι το κύριο μειονέκτημα του LNG ως καυσίμου πλοίων, καθώς υπάρχουν μόνο λίγες εγκαταστάσεις LNG στη Βαλτική Θάλασσα και τη Βόρεια Θάλασσα, και ως εκ τούτου, έχει δημιουργηθεί μια ενοποιημένη αλυσίδα εφοδιασμού LNG κατά μήκος των διεθνών εμπορικών οδών ακόμα (IMO, 2011b; Wan et al., 2015).

Η πρόσφατη ρωσική εισβολή στην Ουκρανία το 2022 είχε εκτεταμένες επιπτώσεις πέρα από απλώς πολιτικές και στρατιωτικές συνέπειες. Ένας από τους τομείς στους οποίους έχει γίνει αισθητός ο αντίκτυπός του είναι ο ενεργειακός τομέας, και συγκεκριμένα η υιοθέτηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως ναυτιλιακού καυσίμου. Ως ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου στον κόσμο, η Ρωσία είναι εδώ και καιρό βασικός προμηθευτής στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των σημαντικών παραδόσεων της στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ωστόσο, η εισβολή στην Ουκρανία έχει πυροδοτήσει ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια, ωθώντας την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να επιταχύνει τις προσπάθειές της να μειώσει την εξάρτηση από το ρωσικό αέριο και να διαφοροποιήσει τις πηγές ενέργειας της.

Προκειμένου να επιτύχει τον στόχο της για μείωση των εισαγωγών φυσικού αερίου από τη Ρωσία στο 10% κατ' ανώτατο όριο έως το 2024, η ΕΕ έχει ήδη εφαρμόσει μέτρα για τη διαφοροποίηση του εφοδιασμού. Αυτά περιλαμβάνουν την παράδοση ενός επιπλέον bcm LNG, το οποίο συνέβαλε στην αύξηση της χωρητικότητας εισαγωγής LNG της Ευρώπης. Η στροφή προς το LNG δεν είναι μόνο ένας τρόπος για να μειωθεί η εξάρτηση από το ρωσικό αέριο, αλλά και να προχωρήσουμε προς καθαρότερες, πιο βιώσιμες πηγές ενέργειας.

Αυτό το δοκίμιο θα διερευνήσει την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων καθώς και τον αντίκτυπο της ρωσικής εισβολής στην Ουκρανία στην υιοθέτηση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου. Θα εξετάσει τις προκλήσεις που έχει θέσει η εισβολή στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης και τα μέτρα που έχει λάβει η ΕΕ για να μειώσει την εξάρτησή της από το ρωσικό αέριο. Θα συζητηθεί επίσης ο ρόλος του LNG ως καθαρότερης εναλλακτικής λύσης στα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων και η δυνατότητα αυξημένης υιοθέτησης στο μέλλον. Αναλύοντας αυτούς τους παράγοντες, αυτό το δοκίμιο στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση του LNG ως θαλάσσιου καύσιμου καθώς και του αντίκτυπου της ρωσικής εισβολής στον ενεργειακό τομέα και στην υιοθέτηση του.

Αυτή η εργασία σχετικά με την εφαρμογή του LNG ως καυσίμου πλοίων σε τρέχοντα πλοία και με την Ρωσική εισβολή στην Ουκρανία είναι το αποτέλεσμα βιβλιογραφικής έρευνας. Ξεκίνησα τη βιβλιογραφική μου έρευνα αναζητώντας και συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με το LNG ως θαλάσσιο καύσιμο μέσω πηγών όπως το Science Direct, το Bibliotècnica και το Google Scholar. Η πλειοψηφία των πληροφοριών που συλλέχθηκαν ήταν αναφορές και οδηγίες από διαφορετικούς νηογνώμονες και ναυτιλιακούς οργανισμούς και επίσης βρήκα άρθρα, βιβλία και ιστότοπους.

Στη συνέχεια, αναζήτησα και συνέλεξα πιο εστιασμένες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή του LNG στα πλοία και η επιρροή του πολέμου της Ρωσίας στην υιοθέτηση του, προκειμένου να προσδιορίσω τους στόχους αυτής της εργασίας. Στη συνέχεια, ανέπτυξα μια δομή που περιλάμβανε όλους τους στόχους που τέθηκαν για το έργο και ξεκίνησα αναλύοντας με τα βασικά μέρη μιας βιβλιογραφικής έρευνας.

Κεφάλαιο 1: Νομοθετικό πλαίσιο και επισκόπηση της χρήσης του LNG ως καυσίμου πλοίων

1.1 Επισκόπηση της χρήσης LNG ως καυσίμου πλοίων

Η ναυτιλιακή βιομηχανία κινείται προς τη χρήση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) ως καυσίμου πλοίων λόγω των χαμηλότερων εκπομπών οξειδίων του θείου (SOx) και σωματιδίων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα όπως το βαρύ μαζούτ (IMO, 2021). Η μείωση των εκπομπών αυτών των ρύπων όχι μόνο συμβάλλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θαλάσσιων σκαφών, αλλά συμβάλλει επίσης στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και της ανθρώπινης υγείας.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά του οφέλη, η χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου προσφέρει και οικονομικά πλεονεκτήματα. Το LNG είναι μια άμεσα διαθέσιμη και προσιτή πηγή καυσίμου και η χρήση του ως καύσιμο πλοίων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος καυσίμου για τους χειριστές πλοίων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα (Wartsila, 2021).

Ωστόσο, η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η μεταφορά και αποθήκευση LNG απαιτεί εξειδικευμένη υποδομή και εξοπλισμό, η εγκατάσταση και η συντήρηση του οποίου μπορεί να είναι δαπανηρή (Wartsila, 2021). Επιπλέον, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την πιθανότητα διαρροών και διαρροών LNG κατά τη μεταφορά και αποθήκευση, καθώς και τον κίνδυνο πυρκαγιάς ή έκρηξης σε περίπτωση ατυχήματος (Wartsila, 2021).

Παρά αυτές τις προκλήσεις, η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται σε δημοτικότητα, ειδικά καθώς οι διεθνείς και εθνικοί κανονισμοί συνεχίζουν να αυστηροποιούν τα πρότυπα εκπομπών για τα πλοία (IMO, 2021). Είναι σημαντικό η χρήση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου να συμμορφώνεται με τους σχετικούς κανονισμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς και με άλλους κανονισμούς που σχετίζονται με την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τυχόν αρνητικές επιπτώσεις και να διασφαλιστεί η υπεύθυνη χρήση του.

1.2 Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για το LNG ως ναυτικό καύσιμο

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση ότι η χρήση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) ως καυσίμου πλοίων συμμορφώνεται με τους σχετικούς κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση και ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. Ο IMO είναι μια εξειδικευμένη υπηρεσία των Ηνωμένων

Εθνών που είναι υπεύθυνη για τη θέσπιση διεθνών προτύπων για τη ναυτιλιακή βιομηχανία για την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Ένα από τα βασικά μέσα που χρησιμοποιεί ο IMO για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL). Το παράρτημα VI της MARPOL θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και σωματιδίων από πλοία και η χρήση LNG ως καύσιμο πλοίων πρέπει να συμμορφώνεται με αυτά τα όρια εκπομπών (IMO, 2021). Η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων έχει γίνει ολοένα και πιο δημοφιλής λόγω των χαμηλότερων εκπομπών του σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα όπως το βαρύ μαζούτ, καθιστώντας το μια πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή.

Εκτός από τα όρια εκπομπών, ο IMO έχει ορίσει επίσης προθεσμία για τα πλοία να μειώσουν τις εκπομπές θείου από το βαρύ μαζούτ. Από το 2020, τα πλοία δεν πρέπει να καίνε καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη από 0,5% (IMO, 2021). Η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων μπορεί να βοηθήσει τα πλοία να ικανοποιήσουν αυτήν την απαίτηση, καθώς συνήθως έχει πολύ χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο σε σύγκριση με το βαρύ μαζούτ. Η μείωση των εκπομπών θείου από τα πλοία είναι ένα κρίσιμο βήμα προς τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Ο IMO θέτει επίσης πρότυπα για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ατυχημάτων και διαρροών. Αυτό περιλαμβάνει πρότυπα για τη μεταφορά και αποθήκευση LNG σε πλοία, τα οποία πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με τρόπο που να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο πυρκαγιάς, έκρηξης ή διαρροής (IMO, 2021). Αυτοί οι κανονισμοί έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν την ασφαλή και υπεύθυνη χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου και να συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της χρήσης του στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Εκτός από τους κανονισμούς του IMO, οι εθνικές και περιφερειακές αρχές μπορεί επίσης να έχουν τους δικούς τους κανονισμούς και απαιτήσεις για τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Αυτοί οι κανονισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν απαιτήσεις για το σχεδιασμό και την κατασκευή υποδομής LNG, τη διαχείριση της ασφάλειας και την εκπαίδευση του προσωπικού που εμπλέκεται στο χειρισμό του LNG (Wartsila, 2021).

Συμπερασματικά, οι κανονισμοί του IMO διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση ότι η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων συμμορφώνεται με τους σχετικούς κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση και ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. Με τη συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς, οι διαχειριστές πλοίων μπορούν να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα του LNG ως καυσίμου πλοίων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι χρησιμοποιείται με υπεύθυνο και βιώσιμο τρόπο. Αυτό βοηθά στην προώθηση της χρήσης καθαρότερων καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία και στη συμβολή στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές.

1.3 Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για το LNG ως ναυτικό καύσιμο

Εκτός από τους κανονισμούς που θέτει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), η χρήση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) ως καυσίμου πλοίων υπόκειται επίσης σε κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Η ΕΕ έχει δεσμευτεί να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση και να προωθήσει τη χρήση καθαρότερων καυσίμων και η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων θεωρείται ως μέσο για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Ένας από τους βασικούς κανονισμούς της ΕΕ που επηρεάζει τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων είναι η Οδηγία της ΕΕ για το θείο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτή η οδηγία θέτει όρια στην περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων πλοίων που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ και στα κράτη μέλη της. Η Οδηγία της ΕΕ για το θείο απαιτεί από τα πλοία να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο όχι μεγαλύτερη από 0,1% εντός των καθορισμένων περιοχών ελέγχου εκπομπών θείου (SECAs) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτό περιλαμβάνει τη Βαλτική Θάλασσα, τη Βόρεια Θάλασσα και τη Μάγχη, μεταξύ άλλων. Η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων μπορεί να βοηθήσει τα πλοία να ικανοποιήσουν αυτές τις απαιτήσεις, καθώς συνήθως έχει πολύ χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο σε

σύγκριση με το βαρύ μαζούτ. Στην πραγματικότητα, η περιεκτικότητα σε θείο του LNG είναι συχνά αμελητέα, καθιστώντας το μια ελκυστική εναλλακτική λύση για πλοία που λειτουργούν εντός SECA.

Ένας άλλος κανονισμός της ΕΕ που επηρεάζει τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων είναι ο κανονισμός της ΕΕ για την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση (MRV) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτός ο κανονισμός απαιτεί από τις ναυτιλιακές εταιρείες να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου τους, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO₂ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Η χρήση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου μπορεί να βοηθήσει τις ναυτιλιακές εταιρείες να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς παράγει λιγότερο CO₂ σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα όπως το βαρύ μαζούτ. Ο κανονισμός EU MRV αποτελεί μέρος των προσπαθειών της ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να προωθήσει τη βιώσιμη ναυτιλία. Με τη συμμόρφωση με αυτόν τον κανονισμό, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να επιδείξουν τη δέσμευσή τους να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να προωθήσουν βιώσιμες ναυτιλιακές πρακτικές.

Η ΕΕ έχει επίσης κανονισμούς για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία πλοίων και υποδομών LNG, οι οποίοι στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου ατυχημάτων και διαρροών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτοί οι κανονισμοί περιλαμβάνουν απαιτήσεις για τη μεταφορά και αποθήκευση LNG στα πλοία και για το σχεδιασμό και την κατασκευή τερματικών σταθμών και εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού ΥΦΑ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτοί οι κανονισμοί έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν την ασφαλή και υπεύθυνη χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου και να ελαχιστοποιούν τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης του στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ειδικότερα, οι κανονισμοί αποσκοπούν στην πρόληψη διαρροών και διαρροών LNG, που θα μπορούσαν να θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Συμπερασματικά, οι κανονισμοί της ΕΕ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση της χρήσης του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου και στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Με τη συμμόρφωση με

αυτούς τους κανονισμούς, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να επωφεληθούν από τα οφέλη του LNG ως καυσίμου πλοίων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι χρησιμοποιείται με υπεύθυνο και βιώσιμο τρόπο. Αυτό βοηθά στην προώθηση της χρήσης καθαρότερων καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία και στη συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας στην ΕΕ και στα κράτη μέλη της (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Οι κανονισμοί της ΕΕ συμβάλλουν στη δημιουργία ίσων όρων ανταγωνισμού για τις ναυτιλιακές εταιρείες, θέτοντας κοινά πρότυπα και απαιτήσεις για τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Αυτό μπορεί να ενθαρρύνει την ευρύτερη υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων και να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην ΕΕ.

1.4 Προκλήσεις και εμπόδια στην υιοθέτηση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου

Παρά τα πολλά οφέλη και τη ρυθμιστική υποστήριξη για τη χρήση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) ως καυσίμου πλοίων, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές προκλήσεις και εμπόδια που περιορίζουν την ευρεία υιοθέτησή του. Αυτές οι προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να διασφαλιστεί η επιτυχής και υπεύθυνη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων.

Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η έλλειψη υποδομής για την παραγωγή, μεταφορά και αποθήκευση LNG. Επί του παρόντος, υπάρχουν σχετικά λίγοι τερματικοί σταθμοί LNG και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμων που διατίθενται για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει τα πλοία να έχουν πρόσβαση στο LNG ως πηγή καυσίμου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτό μπορεί να περιορίσει την ευρεία υιοθέτηση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου και να δυσχεράνει τις ναυτιλιακές εταιρείες να αλλάξουν από τα παραδοσιακά καύσιμα στο LNG. Η ανάπτυξη νέας υποδομής LNG είναι απαραίτητη για τη στήριξη της ανάπτυξης της αγοράς καυσίμων πλοίων LNG.

Μια άλλη πρόκληση είναι το υψηλότερο κόστος του LNG σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, όπως το βαρύ μαζούτ (HFO). Το κόστος του LNG είναι υψηλότερο από το HFO, γεγονός που μπορεί να το κάνει λιγότερο ελκυστικό για τις ναυτιλιακές εταιρείες, ειδικά εκείνες που λειτουργούν με περιορισμένα περιθώρια κέρδους. Ωστόσο, το κόστος του

LNG αναμένεται να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου καθώς η αγορά για καύσιμα πλοίων LNG αυξάνεται και η τεχνολογία βελτιώνεται (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει να σταθμίσουν τα μακροπρόθεσμα οφέλη από τη χρήση LNG, όπως χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και μεγαλύτερη απόδοση καυσίμου, έναντι του βραχυπρόθεσμου κόστους όταν εξετάζουν το ενδεχόμενο να κάνουν τη μετάβαση στο LNG ως πηγή καυσίμου.

Η έλλειψη τυποποίησης και συμβατότητας μεταξύ των συστημάτων και των πλοίων καυσίμου LNG είναι μια άλλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Αυτή η έλλειψη τυποποίησης μπορεί να δυσκολέψει τις ναυτιλιακές εταιρείες να μετασκευάσουν τα υπάρχοντα πλοία τους ώστε να χρησιμοποιούν LNG ως πηγή καυσίμου και μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της αγοράς καυσίμων πλοίων LNG. Η τυποποίηση των συστημάτων και των πλοίων καυσίμου LNG θα συμβάλει στην προώθηση της ευρείας υιοθέτησης του LNG ως καυσίμου πλοίων και θα διευκολύνει τις ναυτιλιακές εταιρείες να στραφούν σε αυτήν την καθαρότερη πηγή καυσίμου.

Τέλος, υπάρχει έλλειψη ευαισθητοποίησης και κατανόησης σχετικά με τα οφέλη του LNG ως καυσίμου πλοίων, καθώς και τις κανονιστικές απαιτήσεις για τη χρήση του (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Οι ναυτιλιακές εταιρείες, ιδιαίτερα οι μικρότερες εταιρείες, μπορεί να μην είναι εξοικειωμένες με τους κανονισμούς και τα οφέλη του LNG ως καυσίμου πλοίων, γεγονός που μπορεί να περιορίσει την υιοθέτησή του. Οι προσπάθειες για την εκπαίδευση και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τα οφέλη του LNG και τους σχετικούς κανονισμούς μπορούν να βοηθήσουν να ξεπεραστεί αυτή η πρόκληση και να προωθηθεί η ευρεία υιοθέτησή του στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Συμπερασματικά, παρά τα πολλά οφέλη του LNG ως καυσίμου πλοίων, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετές προκλήσεις και εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να διασφαλιστεί η ευρεία υιοθέτησή του. Αυτά περιλαμβάνουν την έλλειψη υποδομής, το υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, την έλλειψη τυποποίησης και την έλλειψη ευαισθητοποίησης και κατανόησης. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και η υπέρβαση αυτών των φραγμών θα είναι κρίσιμης σημασίας για την επιτυχή και υπεύθυνη

χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Με τη συνεργασία, η βιομηχανία, οι ρυθμιστικές αρχές και οι κυβερνήσεις μπορούν να βοηθήσουν στην προώθηση της υιοθέτησης του LNG και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Κεφάλαιο 2: Το LNG ως καύσιμο πλοίων: Τεχνολογικές λύσεις για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Ο κύριος στόχος των κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων και σωματιδίων από τα πλοία. Κατά συνέπεια, οι κατασκευαστές έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν νέες τεχνολογίες ικανές να συμμορφώνονται με αυτούς τους περιοριστικούς κανονισμούς. Οι ναυτιλιακές εταιρείες θα αναγκαστούν να μετασκευάσουν τα πλοία τους στο εγγύς μέλλον υιοθετώντας τεχνολογικές λύσεις λόγω των επερχόμενων κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι προμηθευτές τεχνολογίας έχουν αναπτύξει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών επιλογών ώστε να ανταποκρίνονται στους επερχόμενους διεθνείς κανονισμούς, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τεχνολογίες μείωσης CO₂, NO_x και SO_x. Λόγω του ευρέος φάσματος συμμορφούμενων λύσεων, οι πλοιοκτήτες πρέπει να λάβουν υπόψη πολλούς παράγοντες προκειμένου να λάβουν μια δύσκολη απόφαση. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η αξιολόγηση των διαφορετικών τεχνολογικών μέτρων λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό μείωσης των εκπομπών, το κόστος κεφαλαίου, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας, τη διάρκεια ζωής, τον απαιτούμενο χώρο, τις παρενέργειες, τις λειτουργικές επιπτώσεις, μεταξύ άλλων (Brynolf, Magnusson, Fridell, & Andersson, 2014· DNV-GL, 2012· Yang et al., 2012).

Τεχνολογίες Μείωσης CO₂

Οι κανονισμοί για την ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως το EEDI και το SEEMP, προσπορούνται ότι ελαχιστοποιούν τις εκπομπές CO₂. Σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο, το EEDI προσπορείται ότι κάνει τα νέα ναυπηγικά πλοία πιο ενεργειακά αποδοτικά, ενώ το SEEMP διαχειρίζεται τις επιχειρησιακές διαδικασίες επί των πλοίων με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο. Αυτές οι απαιτήσεις έχουν δύο πλεονεκτήματα, αφενός μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και ως εκ τούτου ελαχιστοποιούν τις εκπομπές και αφετέρου είναι οικονομικά αποδοτικές. Στο εγγύς μέλλον, περισσότερα πλοία θα κατασκευαστούν σύμφωνα με τους περιορισμούς ενεργειακής απόδοσης λόγω της επιβολής τους και της αύξησης των τιμών της ενέργειας. Με στόχο τη μείωση των εκπομπών GHG και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, οι

κατασκευαστές έχουν αναπτύξει διάφορα μέτρα που καλύπτουν διαφορετικούς τομείς, π.χ. μείωση της αντίστασης του σκάφους, αύξηση της προωστικής απόδοσης και μείωση της βοηθητικής κατανάλωσης (DNV-GL, 2012).

Η ανάπτυξη μέτρων μείωσης της αντίστασης του σκάφους εξαρτάται από την υιοθέτηση επιλογών εξοικονόμησης καυσίμου και περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων. Η κατασκευή σκαφών με ελαφρύτερα υλικά ή η μείωση της επιχειρησιακής ταχύτητας του σκάφους είναι μερικές από τις λύσεις που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στα πλοία προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η αντίσταση του σκάφους όταν πλέουν (DNV-GL, 2012).

Ο κύριος λόγος για τη χρήση μέτρων που έχουν σχεδιαστεί για την αύξηση της προωστικής απόδοσης είναι η ενίσχυση της απόδοσης των ελίκων που λειτουργούν σε συνθήκες κακής ή υψηλού φορτίου. Ωστόσο, αυτά τα μέτρα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε οποιονδήποτε τύπο σκάφους ώστε να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου. Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, συστήματα όπως γεννήτριες άξονα ή υβριδικά προωστικά σχέδια χρησιμοποιούνται ευρέως μεταξύ των χειριστών πλοίων με στόχο τη βελτίωση της προωστικής απόδοσης (DNV-GL, 2012).

Τέλος, συστήματα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες μεταφορές, για παράδειγμα συστήματα μεταφοράς ή τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Τα κύρια οφέλη είναι η βελτίωση της διαχείρισης ισχύος και η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, τα σκάφη που είναι εξοπλισμένα με αυτού του τύπου τεχνολογίες είναι μάλλον ασυνήθιστα λόγω του επιπέδου πολυπλοκότητας αυτών των συστημάτων (DNV-GL, 2012).

Τεχνολογίες μείωσης NOX

Οι κανονισμοί για την ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως τα Tier I, II και III, αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών NOX. Σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο, οι διαφορετικές βαθμίδες περιορίζουν τις εκπομπές NOX των κινητήρων των σκαφών ανάλογα με την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας τους (rpm) στα παγκόσμια ύδατα, εκτός από τη Βαθμίδα III που ισχύει για πλοία που λειτουργούν σε NECA. Ο βαθμός αυστηρότητας των επιπέδων ποικίλλει μεταξύ τους, καθώς οι περιορισμοί Tier I και II μπορούν να ικανοποιηθούν με τη μετασκευή κινητήρων σκαφών, ενώ οι περιορισμοί Tier III απαιτούν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών προκειμένου να συμμορφωθούν με αυτούς (DNV-GL, 2012). Λόγω της

ανάγκης τήρησης αυτών των απαιτήσεων, τεχνολογικές λύσεις, όπως η ανακύκλωση καυσαερίων (EGR), η επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR), τα συστήματα έγχυσης νερού και το LNG ως καύσιμο πλοίων έχουν δηλώσει ότι αναπτύσσονται και εγκαθίστανται στα πλοία (DNV-GL , 2012).

Μια πιθανή επιλογή συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις NOX Tier III είναι η εγκατάσταση συστημάτων EGR σε κινητήρες σκαφών. Το EGR αποτελείται από την ανακυκλοφορία των καυσαερίων από τους κινητήρες στο στάδιο της καύσης τους. Ως αποτέλεσμα, λαμβάνεται υψηλότερη θερμοχωρητικότητα και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο στα ανακυκλωμένα καυσαέρια, τα οποία μειώνουν σημαντικά τη θερμοκρασία καύσης. Η μείωση της θερμοκρασίας στον θάλαμο καύσης οδηγεί σε μείωση των εκπομπών NOX. Αν και ο αριθμός των πλοίων που είναι εξοπλισμένα επί του παρόντος με αυτό το είδος τεχνολογίας παραμένει χαμηλός, η εγκατάσταση συστημάτων EGR στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχει πολλά υποσχόμενες δυνατότητες τα επόμενα χρόνια και, κατά συνέπεια, οι βιομηχανίες έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν EGR για κινητήρες πλοίων (DNV-GL, 2012).

Μια άλλη τεχνολογική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των απαιτήσεων του IMO είναι η τοποθέτηση κινητήρων σκαφών με SCR. Η διαδικασία μείωσης των NOX περιλαμβάνει τον ψεκασμό ενός διαλύματος ουρίας, που είναι αναγωγικός παράγοντας, στα καυσαέρια. Η ουρία μετατρέπεται σε αμμωνία, η οποία αποσυνθέτει το NOX σε N₂ και το νερό σε μεταλλικό καταλύτη που είναι εγκατεστημένος στον κινητήρα. Αν και τα συστήματα SCR χρησιμοποιούνται στην ξηρά σε εργοστάσια και οχήματα για πολλά χρόνια, αρκετοί πλοιοκτήτες έχουν αρχίσει να εισάγουν αυτήν την τεχνική μείωσης στα πλοία τους. Επιπλέον, τα συστήματα SCR που έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές στην ξηρά διαφέρουν ως προς τις συνθήκες λειτουργίας από εκείνα που προορίζονται για θαλάσσια χρήση, π.χ. τύπος κινητήρα και περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, οι κατασκευαστές SCR έχουν επικεντρωθεί στην εφαρμογή συστημάτων SCR στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ωστόσο, η εφαρμογή του SCR σε εμπορικά πλοία παρουσιάζει τρεις ανησυχίες σχετικά με τη βέλτιστη ικανότητα μείωσης των NOX και τη συνεχή λειτουργικότητά του. Πρώτον, τα συστήματα SCR απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας για να φτάσουν τη μέγιστη χωρητικότητα μείωσης των NOX και αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί όταν οι κινητήρες λειτουργούν με χαμηλά φορτία. Δεύτερον, η αμμωνία μπορεί να σχηματίσει θειικά άλατα, τα οποία εναποτίθενται στον καταλύτη μειώνοντας την ικανότητα μείωσης των NOX όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι χαμηλή. Τρίτον, η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο καταστρέφει τα υλικά του καταλύτη και μειώνει την απόδοσή του. Για το λόγο αυτό,

το SCR θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο με κινητήρες που τροφοδοτούνται με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή κινητήρες εφοδιασμένους με συσκευή μείωσης SOX ώστε να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του. Η ικανότητα μείωσης NOX των συστημάτων SCR είναι περίπου 95% όταν η θερμοκρασία λειτουργίας είναι υψηλή παρά τη χαμηλή θερμοκρασία καυσαερίων και την περιεκτικότητα σε θείο καυσίμου (Brynolf et al., 2014; DNV-GL, 2012; Yang et al., 2012).

Οι εκπομπές NOX θα μπορούσαν επίσης να μειωθούν μέσω έγχυσης νερού. Σήμερα, υπάρχουν δύο μέθοδοι έγχυσης νερού: κινητήρες υγρού αέρα (HAM) και γαλακτώματα νερού καυσίμου (FWE). Η μείωση των NOX επιτυγχάνεται λόγω του κορεσμού του αέρα σάρωσης, στο HAM, ο αέρας δέσμευσης κορεσθεί μέσω άμεσης έγχυσης νερού, ενώ στο FWE, κορεσμένος με την προσθήκη νερού στο καύσιμο. Η ικανότητα μείωσης των NOX εξαρτάται από την ποσότητα του εγχυόμενου νερού και κυμαίνεται από 70% έως 50% (DNV-GL, 2012; Yang et al., 2012).

Το LNG ως καύσιμο πλοίων χρησιμοποιείται επί του παρόντος σε ορισμένα πλοία, συνήθως σε πλοία μεταφοράς LNG, τα οποία χρησιμοποιούν φυσικό βρασμό LNG για την τροφοδοσία των κινητήρων τους. Ωστόσο, αυτή η τάση έχει αρχίσει να εξαπλώνεται σε άλλους τύπους πλοίων, όπως πορθμεία, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και πλοία ανοικτής θαλάσσης, και ο αριθμός των ναυτιλιακών εταιρειών που παραγγέλνουν νέα κτίρια με LNG ως καύσιμο πλοίων αυξάνεται. Το LNG μπορεί να καεί είτε σε κινητήρες αερίου είτε σε κινητήρες DF, αν και τα περισσότερα νέα κτίρια είναι εξοπλισμένα με κινητήρες DF. Στους κινητήρες αερίου, το LNG αναφλέγεται από ένα μπουζί, ενώ στους κινητήρες DF που λειτουργούν στη λειτουργία αερίου, η ανάφλεξη γίνεται με την έγχυση μικρών ποσοτήτων ντίζελ. Οι κινητήρες DF που λειτουργούν στη λειτουργία ντίζελ βασίζονται στον κανονικό κύκλο ντίζελ. Παρά την εμπειρία με το LNG ως θαλάσσιο καύσιμο που αποκτήθηκε από τους μεταφορείς LNG, τα νέα κτίρια αντιμετωπίζουν ορισμένες τεχνικές προκλήσεις, όπως ο χειρισμός και η αποθήκευση LNG επί του σκάφους και η ανεφοδιασμός. Οι παραδοσιακές δεξαμενές, σωλήνες και συστήματα που χρησιμοποιούνται για να περιέχουν LNG πρέπει να εξοπλιστούν εκ των υστέρων με μονωτικά κράματα ικανά να διατηρούν το LNG σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (-162°C). Το LNG ως καύσιμο πλοίων παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα: μειώνει τις εκπομπές NOX περίπου κατά 90% λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών κατά την καύση, εξαλείφει τις εκπομπές SOX και PM και μειώνει τις εκπομπές CO₂ περίπου 20% λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα του LNG. Αντίθετα, οι κινητήρες αερίου και DF απελευθερώνουν άκαυστο μεθάνιο, το οποίο έχει

μεγάλο αντίκτυπο στον κόσμο δυναμικής θέρμανσης. Επιπλέον, η επίδραση του μεθανίου στα GHG είναι περίπου 25 φορές υψηλότερη από ό,τι για το CO₂ και οι εκπομπές μεθανίου από κινητήρες DF είναι υψηλότερες από εκείνες των κινητήρων αερίου. Ωστόσο, η απελευθέρωση άκαυτου μεθανίου θα μπορούσε να μειωθεί περισσότερο από 90% με έναν καταλύτη οξειδωσης (Brynolf et al., 2014; DNV-GL, 2012; Yang et al., 2012).

Τεχνολογίες μείωσης SOX

Οι κανονισμοί SOX περιορίζουν την περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα πλοίων με στόχο τη μείωση των εκπομπών SOX και PM από τα πλοία. Σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο, ο κανονισμός 14 του παραρτήματος VI MARPOL θεσπίζει όρια εκπομπών SOX ανάλογα με το εάν τα πλοία λειτουργούν σε παγκόσμια ύδατα ή σε SECA, όντας πιο αυστηρά στις SECA. Ως αποτέλεσμα αυτού του κανονισμού, οι κατασκευαστές πρέπει να αναπτύξουν τεχνολογικές λύσεις για να επιτρέψουν στα πλοία να λειτουργούν σε ECA. Σήμερα, οι πλυντρίδες καυσαερίων (EGS) και τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο είναι οι κύριες εναλλακτικές λύσεις για την τήρηση των κανονισμών ρύπανσης SOX για τις ναυτιλιακές εταιρείες (DNV-GL, 2012).

Μια επιλογή για τη μείωση των εκπομπών SOX είναι η εγκατάσταση EGS στα πλοία. Τα EGS χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη του θείου των καυσαερίων του κινητήρα μέσω ξηρής ή υγρής διαδικασίας ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου EGS. Τα στεγνά πλυντήρια γεμίζουν με ασβέστη ή άλλα μέταλλα που περιέχουν ασβέστιο, ενώ τα υγρά πλυντήρια γεμίζουν με θαλασσινό νερό, γλυκό νερό ή χημικά, συνήθως αλκαλικά υγρά. Σε ξηρούς πλυντρίδες, τα καυτά καυσαέρια περνούν μέσα από έναν απορροφητή πλυντηρίου που περιέχει ασβέστη, ο οποίος αντιδρά με το SOX και παράγει γύψο, ένα μαλακό θειικό ορυκτό. Εναλλακτικά σε υγρούς πλυντρίδες, το θαλασσινό νερό διοχετεύεται μέσω του πλυντηρίου, το οποίο αντιδρά με το SOX και κάνει το θαλασσινό νερό όξινο (νερό πλύσης). Το νερό πλύσης πρέπει να εξουδετερωθεί είτε επί του σκάφους με την προσθήκη περισσότερου θαλασσινού νερού είτε στη θάλασσα μέσω αντίδρασης με ουσίες θαλασσινού νερού. Επιπλέον, μετά την απομάκρυνση του SOX, οι πλυντρίδες παράγουν μια λάσπη, η οποία θεωρείται ως ειδικό απόβλητο και κατά συνέπεια πρέπει να αποθηκευτεί στο πλοίο μέχρι την απόρριψή της σε αποκλειστικές λιμενικές εγκαταστάσεις. Όχι μόνο οι πλυντρίδες θαλάσσης μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές SOX περίπου κατά 95%, αλλά επίσης μειώνουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων και αιθάλης, και κατά συνέπεια, τα πλοία μπορούν

να τροφοδοτούνται με καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Ωστόσο, η μετασκευή σκαφών με πλυντρίδες γίνεται πρόκληση σε σχέση με το σχεδιασμό και την εγκατάστασή τους, καθώς επηρεάζουν τη σταθερότητα του σκάφους λόγω του βάρους τους και του απαιτούμενου χώρου. Κατά συνέπεια, οι πλυντρίδες αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας κατά περίπου 2% οδηγώντας σε αύξηση των εκπομπών CO₂ (Brynolf et al., 2014; DNV-GL, 2012; Yang et al., 2012).

Τέλος, οι κινητήρες των σκαφών μπορούν να τροφοδοτούνται με καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές SOX. Οι επιλογές καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο είναι ακριβά αποστάγματα των οποίων η περιεκτικότητα σε θείο έχει μειωθεί στα διυλιστήρια μέσω διαφόρων διεργασιών, όπως το MDO και το MGO ή το LNG. Από τη μία πλευρά, τα αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (MDO και MGO) μειώνουν τις εκπομπές SOX και δεν απαιτούν καμία επεξεργασία στο πλοίο, αν και έχουν υψηλή τιμή και η μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητά τους είναι ένα ανησυχητικό ζήτημα. Από την άλλη πλευρά, το LNG ως καύσιμο πλοίων συμμορφώνεται με τους κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές SOX και NOX και παρουσιάζει αρκετά οφέλη, όπως έχει ήδη εξηγηθεί παραπάνω (Adamchak & Adede, 2013; DNV-GL, 2012; Levander, 2011).

2.1 LNG ως καύσιμο πλοίων

Σήμερα, το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι μια διαθέσιμη και πιθανή λύση για τη συμμόρφωση με τις επερχόμενες απαιτήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, η χρήση LNG για την προμήθεια κινητήρων πλοίων είναι μια ελκυστική εμπορική λύση τόσο για νέα ναυπήγηση πλοίων με καύσιμα LNG όσο και για υπάρχοντα πλοία. Υπάρχουν τρεις κύριοι παράγοντες που καθιστούν το LNG μια εφικτή εναλλακτική λύση. Πρώτα και κύρια, το LNG ως καύσιμο πλοίου αφαιρεί πλήρως τις εκπομπές SOX και PM, μειώνει τις εκπομπές NOX έως και 90% και επίσης ελαχιστοποιεί τις εκπομπές CO₂ περίπου κατά 20%. Δεύτερον, στη ναυτιλιακή βιομηχανία υπάρχει σημαντικός αριθμός πλοίων που χρησιμοποιούν LNG ως καύσιμο, αφού οι μεταφορείς LNG το χρησιμοποιούν εδώ και αρκετά χρόνια. Οι μεταφορείς LNG χρησιμοποιούν τη φυσική απομάκρυνση του υγροποιημένου φυσικού αερίου που είναι αποθηκευμένο στις δεξαμενές φορτίου τους για να προμηθεύουν τους κινητήρες τους. Τέλος, το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι εμπορικά ελκυστικό λόγω της παγκόσμιας διαθεσιμότητάς

του, καθώς τα αποθέματα LNG θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τη ζήτηση LNG από τη ναυτιλιακή βιομηχανία τα επόμενα χρόνια και τη χαμηλή τιμή του σε σύγκριση με τα κύρια πετρέλαια ναυτιλίας που χρησιμοποιούνται στα πλοία. Παρόλο που, είναι η χαμηλή τιμή του φυσικού αερίου και του LNG σε σύγκριση με τα καύσιμα πλοίων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, συμπεριλαμβανομένων των HFO ή IFO, και των αποσταγμάτων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (MDO και MGO) σε ορισμένες αγορές που κάνει το LNG ελκυστικό ως ναυτιλιακό καύσιμο. Μέχρι σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ) και την Ευρώπη (ΕΕ), η τιμή του φυσικού αερίου είναι σημαντικά χαμηλότερη από τα μαζούτ με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και τα αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, ενώ στην Ασία, η τιμή LNG είναι υψηλότερη από τα μαζούτ με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, αλλά χαμηλότερη από τα αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το φυσικό αέριο απαιτεί υποδομή, καθώς πρέπει να υγροποιείται, να αποθηκεύεται και να παρέχεται στα πλοία. Για το λόγο αυτό, η χαμηλή τιμή φυσικού αερίου μπορεί να μην μετατραπεί σε χαμηλή τιμή LNG (Adamchak & Adede, 2013; DNV-GL, 2014a, 2015b).

Ωστόσο, το LNG ως καύσιμο πλοίων αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις: ανάπτυξη κινητήρων με καύσιμο LNG, εξοπλισμό χειρισμού και αποθήκευσης LNG επί του σκάφους και υποδομή ανεφοδιασμού LNG. Οι κινητήρες με καύσιμο LNG έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε πλοία μεταφοράς LNG αλλά όχι σε άλλους τύπους πλοίων, π.χ. πορθμεία, εμπορευματοκιβώτια και πλοία ανοικτής θαλάσσης. Ως αποτέλεσμα, οι κατασκευαστές κινητήρων άρχισαν να αναπτύσσουν κινητήρες DF ικανούς να καίνε τόσο ντίζελ όσο και LNG. Δεύτερον, το LNG πρέπει να αποθηκεύεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, γι' αυτό οι δεξαμενές καυσίμου, οι σωλήνες και τα συστήματα χειρισμού πρέπει να είναι εφοδιασμένα με κράματα μόνωσης ικανά να διατηρούν το LNG στη σωστή θερμοκρασία (-162°C). Τέλος, οι λιμενικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή, αποθήκευση και ανεφοδιασμό καυσίμων εγκαταστάσεων ή πλοίων απαιτείται να προμηθεύουν αξιόπιστα και λειτουργικά πλοία με καύσιμα LNG (DNV-GL, 2012, 2014a, 2015b).

2.1.1 Κινητήρες με καύσιμο LNG

Σήμερα, τα πλοία που λειτουργούν με καύσιμα LNG είναι εξοπλισμένα βασικά με δύο τύπους κινητήρων: κινητήρες αερίου με άπαχο καύσιμο και κινητήρες DF. Οι κινητήρες αερίου άπαχου καυσίμου συμμορφώνονται με τους κανονισμούς IMO Tier III, ενώ οι κινητήρες DF συμμορφώνονται με τους κανονισμούς IMO Tier II όταν λειτουργούν στη λειτουργία υγρού μαζούτ και τους κανονισμούς IMO Tier III όταν λειτουργούν στη λειτουργία αερίου. Σήμερα, οι κύριοι κατασκευαστές κινητήρων με καύσιμο LNG είναι οι Wärtsilä, Rolls Royce και MAN, οι οποίοι προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία σχεδίων κινητήρων σε όλα τα εύρη ισχύος (Brynolf et al., 2014; DNV-GL, 2015b).

Μηχανές Αερίου Λιπαρής Καύσης

Οι κινητήρες αερίου με άπαχο καύσιμο έχουν σχεδιαστεί για να τροφοδοτούνται μόνο με LNG και λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή Lean-burn Otto. Οι κινητήρες αερίου άπαχου καύσης τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο μέσω μιας μονάδας βαλβίδας αερίου (GVU) που φιλτράρει και ελέγχει την πίεση φυσικού αερίου. Οι κύλινδροι κινητήρα αερίου τροφοδοτούνται από μεμονωμένους σωλήνες, οι οποίοι συνδέονται με έναν κύριο σωλήνα διπλού τοιχώματος που τρέχει κατά μήκος του κινητήρα. Οι κινητήρες αερίου τροφοδοτούνται με ένα άπαχο προαναμεμιγμένο μείγμα αέρα-αερίου, το οποίο αναφλέγεται στον θάλαμο προκαύσης από ένα μπουζί. Το μείγμα αέρα και αερίου περιέχει περισσότερο αέρα από ό,τι χρειάζεται, οδηγώντας σε χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης, και ως εκ τούτου, οι εκπομπές NOX μειώνονται και η απόδοση αυξάνεται λόγω υψηλότερης αναλογίας συμπίεσης και βελτιστοποιημένου χρονισμού έγχυσης (DNV-GL, 2015b, LNG Fueled Vessels Working Group, n.d.-a· Rolls-Royce, 2012· Woodyard, 2004).

Το μείγμα αέρα-αερίου εγχέεται σε χαμηλή πίεση (4-5 bar) και παράγεται έξω από τον κύλινδρο πίσω από τον υπερσυμπιεστή. Το αέριο μπορεί να παρέχεται απευθείας από τις δεξαμενές καυσίμου LNG υπό πίεση, επειδή οι κινητήρες αερίου άπαχου καυσίμου είναι κινητήρες χαμηλής πίεσης. Επιπλέον, οι κινητήρες αερίου έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση σε υψηλό φορτίο, παράγουν χαμηλές εκπομπές NOX και μειώνουν τα GHG περίπου κατά 20% (DNV-GL, 2015b; LNG Fueled Vessels Working Group, n.d.-a; Rolls-Royce, 2012; Woodyard, 20).

Επιπλέον, τα συστήματα πρόωσης που χρησιμοποιούν κινητήρες αερίου με άπαχο καύσιμο παρουσιάζουν δύο εφαρμογές, την εφαρμογή αερίου-μηχανικής και την εφαρμογή αερίου-ηλεκτρισμού. Σε μια διάταξη αερίου-μηχανικής, ο κινητήρας αερίου με άπαχο καύσιμο

παρέχει ισχύ πρόωσης στους έλικες μέσω μειωτικών γραναζιών και γραμμών άξονα, ενώ, σε μια διάταξη αερίου-ηλεκτρισμού, οι γεννήτριες, οι οποίες κινούνται από έναν κινητήρα αερίου αδύναμης καύσης, τροφοδοτούν ηλεκτρικοί κινητήρες με ηλεκτρική ισχύ για την προώθηση των ελίκων (Baumgart & Bolsrad, 2010).

Η Rolls Royce είναι ο κύριος παραγωγός κινητήρων αερίου με άπαχο καύσιμο και έχει αναπτύξει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων πρόωσης που κινούνται με LNG με εύρος ισχύος από 1.400 έως 9.400 kW. Οι κινητήρες αερίου με άπαχο καύσιμο της Rolls Royce λειτουργούν με μεσαίες στροφές και χαρακτηρίζονται από την υψηλή απόδοση, το χαμηλό κόστος λειτουργίας και τη βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση με αποτέλεσμα πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών. Επιπλέον, οι κινητήρες αερίου Rolls Royce παρουσιάζουν υψηλή ανοχή ποιότητας αερίου και μειώνουν τον θόρυβο, τη σύνθεση λιπαντικού και το κόστος συντήρησης. Η Rolls Royce έχει αναπτύξει δύο σειρές κινητήρων αερίου με άπαχο καύσιμο, τις Bergen B και C. Η σειρά Bergen B είναι κινητήρες σχεδιασμένοι για μεγάλα πορθμεία και πλοία Roll On-Roll Off (Ro-Ro) και παρέχουν ισχύ από 3.500 έως 7.700 kW .

Εναλλακτικά, οι σειρές Bergen C απευθύνονται σε ρυμουλκά και μικρά πορθμεία και φορτηγά πλοία και παρέχουν ισχύ από 1.460 έως 2.430 kW. Και οι δύο σειρές κινητήρων διατίθενται σε διάταξη αερίου-μηχανικής και διάταξης αερίου-ηλεκτρικού (σετ γεννήτριας).

Κινητήρες διπλού καυσίμου (DF).

Οι κινητήρες DF έχουν σχεδιαστεί για να τροφοδοτούνται με LNG και υγρά καύσιμα, π.χ. MDO ή HFO. Οι κινητήρες DF λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή Lean-burn Otto στη λειτουργία αερίου και σύμφωνα με τον κανονικό κύκλο ντίζελ στη λειτουργία ντίζελ. Οι κινητήρες DF που λειτουργούν σε λειτουργία αερίου τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο μέσω GVU που φιλτράρει και ελέγχει την πίεση του φυσικού αερίου. Οι κύλινδροι του κινητήρα τροφοδοτούνται από μεμονωμένους σωλήνες, οι οποίοι συνδέονται με έναν κύριο σωλήνα διπλού τοιχώματος που τρέχει κατά μήκος του κινητήρα. Όταν εργάζονται σε λειτουργία αερίου, οι κινητήρες DF τροφοδοτούνται με ένα άπαχο προαναμεμιγμένο μείγμα αέρα-αερίου, το οποίο μειώνει τις μέγιστες θερμοκρασίες καύσης και τις εκπομπές NOX λόγω του ότι το μείγμα αέρα-αερίου περιέχει περισσότερο αέρα από όσο χρειάζεται. Το μείγμα αέρα-αερίου τροφοδοτείται στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής και αναφλέγεται από μια μικρή ποσότητα ντίζελ που εγχέεται στον θάλαμο καύσης στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης, καθώς η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του μείγματος αέρα-αερίου είναι

πολύ υψηλή να επιτευχθεί με τη συμπίεση του κυλίνδρου. Στους τετράχρονους κινητήρες, το μείγμα αέρα-αερίου εγχέεται σε χαμηλή πίεση (4-5 bar) και παράγεται έξω από τον κύλινδρο πίσω από τον υπερσυμπιεστή. Καθώς οι τετράχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες χαμηλής πίεσης, το φυσικό αέριο μπορεί να παρέχεται απευθείας από τις δεξαμενές καυσίμου LNG υπό πίεση (DNV-GL, 2015b; LNG Fueled Vessels Working Group, n.d.-a; Stenersen, 2011; Wärtsilä, 2015; Woodyard, 2004).

Για να εξασφαλιστούν ελάχιστες εκπομπές NOX, η ποσότητα του ντίζελ που εγχέεται στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης είναι πολύ μικρή, συνήθως λιγότερο από το 1% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Οι κινητήρες DF χρησιμοποιούν ψεκασμό μικρο-πιλότου και σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης στροφών και φορτίου κινητήρα για τη βελτιστοποίηση της καύσης (DNV-GL, 2015b; Wärtsilä, 2015; Woodyard, 2004).

Όταν οι κινητήρες DF λειτουργούν σε λειτουργία ντίζελ, το ντίζελ εγχέεται στον θάλαμο καύσης σε υψηλή πίεση ακριβώς πριν από το πάνω νεκρό κέντρο. Η είσοδος αερίου είναι απενεργοποιημένη, παρόλο που ο μικρο-πιλότος ενεργοποιείται έτσι ώστε να διασφαλίζεται αξιόπιστη ανάφλεξη του πιλότου όταν ο κινητήρας αλλάζει από λειτουργία ντίζελ σε λειτουργία αερίου (DNV-GL, 2015b; Wärtsilä, 2015; Woodyard, 2004).

Οι κινητήρες DF μπορούν να αλλάζουν εύκολα από τη μία λειτουργία στην άλλη όταν λειτουργούν. Η μετάβαση από τη λειτουργία αερίου σε λειτουργία ντίζελ διαρκεί λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο και δεν επηρεάζει το φορτίο και την ταχύτητα του κινητήρα. Σε περίπτωση διακοπής παροχής φυσικού αερίου ή βλάβης εξαρτήματος κινητήρα, η μεταφορά της λειτουργίας αερίου σε λειτουργία ντίζελ είναι στιγμιαία και αυτόματη. Η μετάβαση από τη λειτουργία ντίζελ σε λειτουργία αερίου είναι μια σταδιακή διαδικασία, η παροχή ντίζελ μειώνεται σιγά σιγά, ενώ η ποσότητα του παρεχόμενου φυσικού αερίου αυξάνεται. Ωστόσο, η μετάβαση από τη λειτουργία ντίζελ σε λειτουργία αερίου έχει ελάχιστη επίδραση στο φορτίο και την ταχύτητα του κινητήρα. Αν και η μετάβαση από LNG σε MDO ή αντίστροφα δεν απαιτεί τροποποιήσεις κινητήρα, η μετάβαση από LNG σε HFO απαιτεί μικρές τροποποιήσεις του κινητήρα (DNV-GL, 2015b; Wärtsilä, 2015; Woodyard, 2004).

Η MAN είναι ένας από τους κύριους κατασκευαστές κινητήρων DF, αν και έχει αναπτύξει δίχρονους κινητήρες DF, οι οποίοι διαφέρουν ελαφρώς από τους τετράχρονους κινητήρες DF. Οι κινητήρες MAN DF λειτουργούν σε υψηλή πίεση και, κατά συνέπεια, συμπιέζουν τον αέρα, ξεκινούν τη διαδρομή καύσης με έγχυση μαζούτ και εγχέουν το φυσικό αέριο στο

μείγμα αέρα-πετρελαίου. Για το λόγο αυτό, η πίεση του φυσικού αερίου πρέπει να είναι υψηλή (300 bar) και οι δίχρονοι κινητήρες DF MAN χρησιμοποιούν αντλίες για την αύξηση της πίεσης LNG. Οι κινητήρες DF MAN μπορούν να λειτουργήσουν σε τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας καυσίμου: λειτουργία μόνο μαζούτ, λειτουργία ελάχιστου καυσίμου και καθορισμένη λειτουργία αερίου. Οι κινητήρες DF που λειτουργούν σε λειτουργία μόνο μαζούτ παρέχονται μόνο με μαζούτ. Όταν εργάζονται σε λειτουργία ελάχιστου καυσίμου, οι κινητήρες DF απαιτούν την έγχυση καυσίμου πιλότου και φυσικού αερίου στον θάλαμο καύσης. Η ελάχιστη ποσότητα καυσίμου πιλότου κυμαίνεται από 5-8% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου όταν ο κινητήρας λειτουργεί με φορτίο μεταξύ 30% και 100%, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο πιλότου είτε HFO είτε MDO. Όταν το φορτίο του κινητήρα είναι μικρότερο από 30%, η σταθερή καύση φυσικού αερίου και καυσίμου πιλότου δεν είναι εγγυημένη. Ως αποτέλεσμα, ο κινητήρας μεταβαίνει από τη λειτουργία ελάχιστου καυσίμου σε λειτουργία μόνο μαζούτ. Τέλος, οι κινητήρες DF που λειτουργούν σε καθορισμένη λειτουργία αερίου επιτρέπουν στους χειριστές να εγγέουν μια συγκεκριμένη ποσότητα φυσικού αερίου (DNV-GL, 2015b; MAN Diesel, 2013).

Επιπλέον, οι κινητήρες DF παρουσιάζουν κυρίως δύο διατάξεις συστημάτων πρόωσης, τους μηχανικούς κινητήρες DF και τους ηλεκτρικούς κινητήρες DF. Από τη μία πλευρά, οι μηχανικοί κινητήρες DF παρέχουν ισχύ πρόωσης στους έλικες μέσω μειωτικών γραναζιών και γραμμών άξονα. Από την άλλη πλευρά, οι ηλεκτρικοί κινητήρες DF προμηθεύουν ηλεκτρικούς κινητήρες με ηλεκτρική ισχύ για την προώθηση των ελίκων (Baumgart & Bolsrad, 2010; Wärtsilä, 2015).

Η Wärtsilä είναι ο κύριος παραγωγός κινητήρων DF και έχει αναπτύξει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων πρόωσης που κινούνται με LNG με εύρος ισχύος από 0,9 έως 18,3 MW. Οι κινητήρες Wärtsilä DF λειτουργούν με ταχύτητα που κυμαίνεται μεταξύ 500 και 1.200 σ.α.λ. και χαρακτηρίζονται από την ευελιξία καυσίμου, τις χαμηλές εκπομπές καυσαερίων και ευελιξία εφαρμογής, καθώς οι κινητήρες DF μπορούν να λειτουργούν είτε με σταθερή ταχύτητα ως σεντ γεννήτριας είτε με μεταβλητή ταχύτητα ως μηχανικοί κινητήρες. Επιπλέον, οι κινητήρες Wärtsilä DF χρησιμοποιούν αποδεδειγμένη και αξιόπιστη τεχνολογία DF, ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού για εναλλαγή τρόπων λειτουργίας και έχει οικονομία καυσίμου σε οποιοδήποτε φορτίο κινητήρα. Η Wärtsilä έχει αναπτύξει τέσσερις σειρές κινητήρων DF, τους Wärtsilä 20DF, Wärtsilä 34DF, Wärtsilä 46DF και Wärtsilä 50DF. Το

Wärtsilä 20DF απευθύνεται σε ρυμουλκά και μικρά φορτηγά πλοία και πορθμεία όταν λειτουργούν ως κινητήρια δύναμη, αν και είναι επίσης κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα πλοίων όταν εργάζονται ως σετ γεννήτριας. Παρέχει ισχύ από 0,9 έως 1,6 MW. Δεύτερον, το Wärtsilä 34DF είναι κατάλληλο για μια ευρεία γκάμα σκαφών είτε ως πρωτεύον κινητήρα είτε ως σετ γεννήτριας. Παρέχει ισχύ από 2,8 έως 8,0 MW. Τρίτον, ο Wärtsilä 46DF έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί ως DF-μηχανικός ή DF-ηλεκτρικός κινητήρας και παρέχει ισχύ από 6,2 έως 18,3 MW. Τέλος, το Wärtsilä 50DF προορίζεται για μεγάλα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και πορθμεία όταν εργάζονται ως κύριος μεταφορέας. Παρέχει ισχύ εξόδου από 5,7 έως 17,5 MW (Wärtsilä, 2015).

2.1.2 Δεξαμενές καυσίμου LNG και συστήματα παροχής αερίου

Λόγω της αυξημένης αυστηρότητας των κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση, οι πλοιοκτήτες άρχισαν να παραγγέλνουν νέα ναυπηγικά πλοία και να εξοπλίζουν τον τρέχοντα στόλο τους με κινητήρες LNG, καθώς το LNG ως καύσιμο πλοίων θεωρείται ως διαθέσιμη και εφικτή λύση ώστε να πληροί τα διεθνή όρια εκπομπών των σκαφών. Οι κινητήρες με καύσιμο LNG απαιτούν σύστημα τροφοδοσίας αερίου καυσίμου και δεξαμενές καυσίμου LNG, οι οποίες αποθηκεύουν το LNG που απαιτείται για την τροφοδοσία τους κατά τη διάρκεια ολόκληρου του ταξιδιού. Ωστόσο, οι δεξαμενές καυσίμου LNG παρουσιάζουν ορισμένες προκλήσεις. Πρώτα και κύρια, οι δεξαμενές καυσίμου LNG απαιτούν περισσότερο χώρο σε σύγκριση με τις δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση HFO, συγκεκριμένα, είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερες από τις δεξαμενές HFO. Επιπλέον, οι δεξαμενές καυσίμου LNG πρέπει να διατηρούν το LNG σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (-162°C) και να ελαχιστοποιούν το φυσικό βρασμό για να αποφευχθεί η αύξηση της πίεσης, και ως εκ τούτου, διαθέτουν μέτρα μόνωσης, τα οποία επίσης αυξάνουν μέγεθος δεξαμενής (DNV-GL, 2015b; MAN Diesel, 2013).

Οι κατασκευαστές κινητήρων με καύσιμο LNG έχουν επίσης αρχίσει να αναπτύσσουν συστήματα αποθήκευσης και χειρισμού LNG σε πλοία ικανά να προμηθεύουν τους κινητήρες τους. Διατίθενται πολλές επιλογές δεξαμενών καυσίμου LNG και συστημάτων παροχής αερίου καυσίμου ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους και τον τύπο του κινητήρα, αντίστοιχα. Ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους, τα μεγάλα πλοία μπορούν να εξοπλιστούν

με τρεις διαφορετικούς τύπους δεξαμενών, αν και οι διαφορετικές επιλογές δεξαμενών στα μεγάλα σκάφη απαιτούν περαιτέρω ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά, τα μικρά σκάφη είναι εξοπλισμένα με δεξαμενές τύπου C με μόνωση κενού. Επιπλέον, τα συστήματα παροχής αερίου καυσίμου ποικίλλουν ανάλογα με τη λειτουργική πίεση των κινητήρων, των κινητήρων χαμηλής πίεσης και των κινητήρων υψηλής πίεσης (MAN Diesel, 2013).

Οι δεξαμενές καυσίμου LNG έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τον Διεθνή Κώδικα Κατασκευής και Εξοπλισμού Πλοίων που Μεταφέρουν Υγροποιημένα Αέρια χύμα (κωδικός IGC). Επιπλέον, οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO καθορίζουν τους τύπους δεξαμενών που επιτρέπεται να αποθηκεύουν LNG, οι οποίοι είναι Τύποι A, B και Γ (Karlsson & Sonzio, 2008).

Οι πρισματικές δεξαμενές τύπου B και οι δεξαμενές τύπου C φαίνεται να είναι η πιο εφικτή επιλογή για μεγάλα σκάφη, καθώς και οι δύο μπορούν να γεμίσουν μερικώς και να επιτρέπουν τη λειτουργία του σκάφους. Τα κύρια πλεονεκτήματα των πρισματικών δεξαμενών τύπου B είναι ότι ο σχεδιασμός της δεξαμενής μπορεί να προσαρμοστεί σε σχήματα κύτους και οι δεξαμενές μπορούν να έχουν οποιοδήποτε μέγεθος. Μιλώντας για δεξαμενές τύπου C, ο σχεδιασμός της δεξαμενής μπορεί να προσαρμοστεί μόνο εν μέρει στο σχήμα της γάστρας και η μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι περίπου 20.000 m³, ακόμη και σκληρή, μια πίεση λειτουργίας έως και 5-6 bar τους επιτρέπει να διαχειρίζονται εύκολα το βρασμό κατά τη λειτουργία (MAN Diesel, 2013; Munko, 2013).

Από την άλλη πλευρά, τα μικρά πλοία με καύσιμα LNG είναι εξοπλισμένα με προκατασκευασμένες δεξαμενές κρυογονικής μόνωσης κενού τύπου C. Αυτός ο τύπος δεξαμενής έχει σχεδιαστική πίεση λίγο κάτω από 10 bar, διατίθεται σε διάφορα μεγέθη, από 50 έως 500 m³, και μπορεί να τοποθετηθεί είτε οριζόντια είτε κάθετα και μέσα ή έξω από το σκάφος. Οι κρυογονικές δεξαμενές τύπου C είναι κυλινδρικές με άκρα, χρησιμοποιούν μόνωση κενού και έχουν ένα εσωτερικό δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα και ένα εξωτερικό δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα ή ανθρακούχο χάλυβα, το οποίο λειτουργεί ως δευτερεύον φράγμα. Επιπλέον, το boil-off μπορεί εύκολα να διαχειριστεί επειδή η δεξαμενή είναι σε θέση να αντισταθεί σε σημαντική πίεση (Haraldson, 2011; Karlsson & Sonzio, 2008).

Ο κύριος στόχος των συστημάτων παροχής αερίου καυσίμου είναι να χειρίζονται το LNG και το φυσικό αέριο στα πλοία με ασφαλή τρόπο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ολόκληρη η αλυσίδα εφοδιασμού LNG, από τους σταθμούς ανεφοδιασμού στην ξηρά έως τις βαλβίδες αερίου του κινητήρα, πρέπει να ενσωματωθεί σωστά. Ο σχεδιασμός των συστημάτων παροχής αερίου καυσίμου ποικίλλει ανάλογα με την πίεση λειτουργίας των κινητήρων. Οι παραγωγοί κινητήρων με καύσιμο LNG έχουν σχεδιάσει δύο διατάξεις για συστήματα παροχής αερίου καυσίμου, μία για κινητήρες χαμηλής πίεσης και μία για κινητήρες υψηλής πίεσης. Παρ' όλα αυτά, και οι δύο διατάξεις του συστήματος παροχής αερίου καυσίμου είναι αρκετά παρόμοιες όσον αφορά τη λειτουργία (Karlsson & Sonzio, 2008).

Από τη μία πλευρά, τα συστήματα παροχής αερίου καυσίμου για κινητήρες χαμηλής πίεσης αποτελούνται από μια μονάδα συγκέντρωσης πίεσης (PBU), έναν εξατμιστή προϊόντος, μια GVU και ένα σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Οι κινητήρες χαμηλής πίεσης πρέπει να τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο στα 4-5 bar, και κατά συνέπεια, το LNG πρέπει να αποθηκεύεται στη σωστή πίεση και να εξατμίζεται. Πρώτα απ' όλα, το LNG από τον τερματικό σταθμό ή το σκάφος ανεφοδιασμού LNG παρέχεται μέσω ενός σταθμού ανεφοδιασμού που περιέχει μία γραμμή ανεφοδιασμού, μία γραμμή επιστροφής και μία γραμμή καθαρισμού αζώτου, όλα εξοπλισμένα με τις αντίστοιχες βαλβίδες ασφαλείας πίεσης. Το LNG κυκλοφορεί κατά μήκος των γραμμών με μόνωση κενού από το σταθμό ανεφοδιασμού καυσίμων στη δεξαμενή καυσίμου LNG, όπου αποθηκεύεται σε περίπου 5 bar. Στη συνέχεια, το LNG πηγαίνει στο PBU του οποίου ο στόχος είναι να αυξήσει την πίεση της δεξαμενής αποθήκευσης μετά την ανεφοδιασμό και να διατηρήσει τη σωστή πίεση στη δεξαμενή. Οι κινητήρες χαμηλής πίεσης μπορούν να φτάσουν τη μέγιστη ισχύ τους όταν η πίεση της δεξαμενής διατηρείται στο σωστό επίπεδο (5 bar). Επιπλέον, οι απαιτήσεις πίεσης εισόδου αερίου κινητήρα επιτυγχάνονται διατηρώντας την κατάλληλη πίεση στη δεξαμενή καυσίμου LNG, καθώς το σύστημα παροχής αερίου καυσίμου δεν είναι εξοπλισμένο με κρυογονικές αντλίες ή συμπιεστές. Επιπλέον, το LNG ρέει από το κάτω μέρος της δεξαμενής στο PBU χάρη στη διαφορά πίεσης μεταξύ της κορυφής και του κάτω μέρους της δεξαμενής, και στη συνέχεια, επιστρέφει στη δεξαμενή μέσω της κορυφής της. Η φυσική κυκλοφορία του LNG μεταξύ της δεξαμενής αποθήκευσης και του PBU σταματά όταν επιτευχθεί η σωστή πίεση στη δεξαμενή. Στη συνέχεια, το LNG τροφοδοτείται στον εξατμιστή προϊόντος, όπου μετατρέπεται σε φυσικό αέριο και θερμαίνεται τουλάχιστον στους 0°C ανάλογα με τις απαιτήσεις του κινητήρα. Τόσο το PBU όσο και ο εξατμιστής προϊόντος χρησιμοποιούν ζεστό νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα ως πηγή

θερμότητας, έτσι ώστε να αυξάνεται η πίεση της δεξαμενής και να εξατμίζεται το LNG, αντίστοιχα. Τέλος, το φυσικό αέριο ρέει προς την GVU, η οποία ρυθμίζει την πίεση του φυσικού αερίου ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα και εξασφαλίζει την ασφαλή αποσύνδεση του συστήματος παροχής αερίου καυσίμου. Το GVU βρίσκεται μεταξύ του συστήματος διαχείρισης LNG και του κινητήρα με καύσιμο LNG και τοποθετείται μέσα σε ένα περίβλημα προκειμένου να εγκατασταθεί στο ίδιο μηχανοστάσιο, και επομένως, να μειώσει την πολυπλοκότητα και το κόστος εγκατάστασης (Haraldson, 2011; Karlsson & Sonzio, 2008 Wärtsilä, 2014).

Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα παροχής αερίου καυσίμου για κινητήρες υψηλής πίεσης αποτελούνται από μια αντλία LNG υψηλής πίεσης, ένα σύστημα διαχείρισης αντλίας, έναν εναλλάκτη θερμότητας και ένα σύστημα χωρητικότητας προσωρινής αποθήκευσης. Οι κινητήρες υψηλής πίεσης πρέπει να τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο στα 250-300 bar, και κατά συνέπεια, το LNG πρέπει να συμπιέζεται και να εξατμίζεται. Η αντλία υψηλής πίεσης τροφοδοτείται με LNG που είναι αποθηκευμένο στη δεξαμενή καυσίμου LNG από μια αντλία που βρίσκεται στη δεξαμενή και χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης LNG στα 200-300 bars και την κυκλοφορία του υπό πίεση LNG μέσω του εναλλάκτη θερμότητας (ατμιστής LNG). Ο εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιεί το ζεστό νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα ως πηγή θερμότητας για την εξάτμιση του LNG. Στη συνέχεια, το υπό πίεση φυσικό αέριο μεταφέρεται στο σύστημα ρυθμιστικής χωρητικότητας (συσσωρευτής φυσικού αερίου), όπου αποθηκεύεται για να τροφοδοτήσει τον κινητήρα με σταθερό ρυθμό ροής φυσικού αερίου υπό πίεση (MAN Diesel, 2013).

Βασικά, ένα σύστημα παροχής αερίου καυσίμου αποθηκεύει LNG, μετατρέπει το LNG σε φυσικό αέριο και τροφοδοτεί κινητήρες με φυσικό αέριο υπό τέλειες και σταθερές συνθήκες, και χαρακτηρίζεται από την ενισχυμένη ασφάλεια και αξιοπιστία τους. Τα κύρια οφέλη ενός συμπαγούς συστήματος παροχής αερίου καυσίμου είναι η αποτελεσματική χρήση του χώρου, οι λιγότερες διεπαφές, το μειωμένο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας και ο μεγιστοποιημένος χώρος αποθήκευσης LNG. Επιπλέον, τα σχέδια συστημάτων παροχής αερίου καυσίμου προσφέρουν διάφορες διαμορφώσεις που επιτρέπουν την εγκατάσταση πολλαπλών δεξαμενών και GVU ανάλογα με τις απαιτήσεις του σκάφους (Karlsson & Sonzio, 2008; Wärtsilä, 2014, 2016).

2.1.3 Υποδομή LNG

Το θαλάσσιο εμπόριο LNG αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό τμήμα στο παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο, καθώς το LNG μεταφέρεται ως φορτίο εδώ και πολλά χρόνια και μεγάλες ποσότητες LNG μεταφέρονται σήμερα από μεταφορείς LNG. Η εξαγωγή LNG από εργοστάσια παραγωγής και υγροποίησης σε τερματικούς σταθμούς εισαγωγής, που τροφοδοτούν το τοπικό δίκτυο αγωγών LNG, από μεταφορείς LNG είναι μια βαθιά ριζωμένη βιομηχανία με μηχανισμούς τιμολόγησης, σταθερά συμβατικά μοντέλα και αποδεδειγμένη τεχνολογία και λειτουργίες. Επιπλέον, θεωρείται ως ένα από τα ασφαλέστερα τμήματα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Εναλλακτικά, η επανεξαγωγή μικρών ποσοτήτων LNG που προορίζονται για την προμήθεια πλοίων με καύσιμα LNG από μεγάλους τερματικούς σταθμούς εξαγωγής ή εισαγωγής δεν είναι επί του παρόντος μια καλά εδραιωμένη βιομηχανία, αν και, χάρη στους τελευταίους κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση, οι οποίοι αυστηροποιούν τα όρια εκπομπών των πλοίων, φαίνεται να είναι μια αναδυόμενη βιομηχανία (DNV-GL, 2015b).

Μέχρι σήμερα, η υποδομή LNG αντιμετωπίζει δύο μεγάλες ανησυχίες που την εμποδίζουν να γίνει ενοποιημένη αγορά. Πρώτον, οι υποδομές LNG απαιτούν τεράστιες επενδύσεις λόγω του υψηλού επιπέδου πολυπλοκότητας και της ανάγκης να πληρούν τα πρότυπα ασφαλείας. Η απόδοση της επένδυσης (ROI) για αυτού του είδους τις υποδομές κυμαίνεται από χρόνια έως δεκαετίες, ενώ οι ναυλώσεις μεταξύ πλοιοκτητών και ναυλωτών καλύπτουν χρονική περίοδο μηνών ή σε ορισμένες περιπτώσεις ετών. Ως αποτέλεσμα, αυτή η αβεβαιότητα στις αποσβέσεις επηρεάζει τις εξελίξεις στις υποδομές. Δεύτερον, οι τιμές των HFO που χρησιμοποιούνται για τη συμβατική ανεφοδιασμός καυσίμων στα περισσότερα σχετικά λιμάνια είναι διαθέσιμες στο Διαδίκτυο, ενώ μόνο οι τιμές του LNG στα τερματικά εξαγωγής και εισαγωγής είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο και όχι οι τιμές του LNG ως καυσίμου πλοίων. Για αυτούς τους λόγους, μια καλά εδραιωμένη μικρής κλίμακας βιομηχανία LNG θα αναπτυχθεί μόλις ξεπεραστούν αυτές οι ανησυχίες (DNV-GL, 2015b).

Οι εγκαταστάσεις καυσίμων LNG είναι όλες εκείνες οι εγκαταστάσεις που απαιτούνται για τον εφοδιασμό πλοίων με καύσιμα, στην προκειμένη περίπτωση LNG, σε ένα λιμάνι και περιλαμβάνουν όλα τα στοιχεία της αλυσίδας αξίας LNG. Επιπλέον, οι βασικοί παράγοντες για την ανάπτυξη μιας υποδομής ανεφοδιασμού LNG είναι οι εξής:

- Διαθεσιμότητα LNG
- Αξιόπιστες και ασφαλείς λογιστικές ιδέες
- Θεσπίστηκε νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο
- Ευνοϊκό επενδυτικό κλίμα και φορολογικό καθεστώς
- Απαραίτητες ικανότητες, γνώσεις και δεξιότητες
- Δημόσια αποδοχή

Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις καυσίμων LNG πρέπει να διασφαλίζουν την ασφάλεια ανά πάσα στιγμή μέσω: σχεδιασμού, σχεδιασμού και λειτουργίας, διαχείριση ασφάλειας; και εκτίμηση κινδύνου (DNV-GL, 2015b).

Όταν μιλάμε για παγκόσμια υποδομή LNG, μπορούν να εντοπιστούν πέντε τομείς: Καναδάς, ΗΠΑ, ΕΕ, Μέση Ανατολή και Άπω Ανατολή. Ο Καναδάς και οι ΗΠΑ είναι οι κύριοι εξαγωγείς LNG, αν και έχουν επίσης αυξανόμενη ζήτηση για LNG ως καύσιμο πλοίων. Η Μέση Ανατολή είναι παραγωγός και προμηθευτής LNG ως καύσιμο πλοίων. Η Άπω Ανατολή είναι ο κύριος καταναλωτής LNG και θα μπορούσε επίσης να γίνει προμηθευτής LNG ως καυσίμου πλοίων. Τέλος, η ΕΕ χωρίζεται σε τρεις γεωγραφικές περιοχές: Βόρεια Ευρώπη, Κεντρική Ευρώπη και Νότια Ευρώπη. Η Βόρεια Ευρώπη αντιστοιχεί στο Ευρωπαϊκό ECA, όπου οι εκπομπές SOX περιορίζονται στο 0,1% και, κατά συνέπεια, είναι ο κύριος μοχλός χρήσης του LNG ως καυσίμου πλοίων. Στην Κεντρική Ευρώπη, ο κύριος μοχλός χρήσης του LNG ως καυσίμου πλοίων είναι η μείωση των εκπομπών NOX από τα πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας. Στη Νότια Ευρώπη, οι εγκαταστάσεις καυσίμων LNG είναι δυνητικά εφικτές για την τροφοδοσία πλοίων που πλέουν μέσω της Μεσογείου, καθώς το LNG είναι διαθέσιμο σε πολλαπλούς τερματικούς σταθμούς εισαγωγής (DNV-GL, 2015b).

Κεφάλαιο 3: Τα διλήμματα της υιοθέτησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως καυσίμου για τα πλοία.

Όπως καταλαβαίνουμε, η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ζωτικής σημασίας στοιχείο του παγκόσμιου εμπορίου και των μεταφορών, με πάνω από το 90% του παγκόσμιου εμπορίου να μεταφέρεται δια θαλάσσης (UNCTAD, 2021). Ωστόσο, η μεγάλη εξάρτηση της βιομηχανίας από ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα το βαρύ μαζούτ (HFO), έχει οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), ο οργανισμός του ΟΗΕ που είναι, όπως είδαμε, υπεύθυνος για τη ρύθμιση της ναυτιλιακής βιομηχανίας, έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) του κλάδου κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008 (IMO, 2018). Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και καυσίμων που μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές.

Μία από τις λύσεις που διερευνώνται είναι η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως καυσίμου για τα πλοία. Το LNG είναι ένα καθαρότερο καύσιμο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, με χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και σωματιδίων (PM). Επιπλέον, η χρήση LNG ως καύσιμο μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών GHG έως και 23% σε σύγκριση με το HFO (World Maritime News, 2021). Η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου για τα πλοία μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε λιμενικές και παράκτιες περιοχές, καθώς το LNG παράγει λιγότερες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων σε σύγκριση με το HFO.

Παρά τα περιβαλλοντικά οφέλη του LNG, η υιοθέτηση αυτού του καυσίμου θέτει αρκετά διλήμματα για τους πλοιοκτήτες. Αυτά τα διλήμματα περιλαμβάνουν τεχνικούς, ρυθμιστικούς και οικονομικούς φραγμούς που πρέπει να ξεπεραστούν προτού το LNG υιοθετηθεί ευρέως ως καύσιμο για τα πλοία. Επιπλέον, η ευρεία χρήση του LNG ως καυσίμου για πλοία εξαρτάται από πολλούς βασικούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα υποδομής, η κανονιστική υποστήριξη, η ανταγωνιστικότητα κόστους και η περιβαλλοντική απόδοση. Αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσει τα διλήμματα της υιοθέτησης του LNG ως καυσίμου για τα πλοία και τους βασικούς περιοριστικούς παράγοντες που θα καθορίσουν τελικά την ευρεία υιοθέτησή του από τη διεθνή ναυτιλιακή κοινότητα.

3.1 Τεχνικές προκλήσεις

Μία από τις κύριες τεχνικές προκλήσεις της χρήσης LNG ως καυσίμου είναι η ανάγκη για κρυογονική αποθήκευση. Το LNG, όπως είδαμε στο παραπάνω κεφάλαιο, αποθηκεύεται στους -162°C , κάτι που απαιτεί εξειδικευμένες δεξαμενές που αντέχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις. Το μέγεθος και το βάρος αυτών των δεξαμενών μπορεί να είναι μια σημαντική πρόκληση, ιδιαίτερα για τη μετασκευή υπαρχόντων πλοίων όπου ο χώρος είναι περιορισμένος. Επιπλέον, οι δεξαμενές απαιτούν μόνωση για τη διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας του LNG, η οποία προσθέτει επιπλέον βάρος και όγκο στο σύστημα (Maritime Journal, 2020).

Η πολυπλοκότητα και οι απαιτήσεις ασφάλειας της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG θέτουν επίσης σημαντικές τεχνικές προκλήσεις. Εκτός από την κρυογονική αποθήκευση, η χρήση του LNG ως καυσίμου απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό χειρισμού και μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων αποκλειστικών πλοίων καυσίμων και φορτηγών για παράδοση LNG. Τα ζητήματα ασφάλειας που σχετίζονται με το χειρισμό και τη μεταφορά LNG είναι επίσης πιο σημαντικά από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, καθώς το LNG είναι εύφλεκτο και μπορεί να αναφλεγεί όταν εκτίθεται σε θερμότητα ή σπινθήρες, κάτι που απαιτεί πρόσθετες προφυλάξεις ασφαλείας κατά το χειρισμό του καυσίμου (DNV GL, 2017).

Μια άλλη τεχνική πρόκληση που σχετίζεται με τη χρήση του LNG ως καυσίμου είναι η ανάγκη για εξειδικευμένους κινητήρες. Το LNG έχει χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούνται εξειδικευμένοι κινητήρες για την εξαγωγή της ίδιας ισχύος. Αυτοί οι κινητήρες είναι συνήθως κινητήρες διπλού καυσίμου που μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με LNG όσο και με καύσιμο ντίζελ, επιτρέποντας στο πλοίο να μεταβεί σε ντίζελ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή όταν το LNG δεν είναι διαθέσιμο. Αν και οι κινητήρες διπλού καυσίμου είναι ακριβότεροι από τους παραδοσιακούς πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης, η χρήση τους προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και συμμόρφωση με ολοένα και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς (IMO, 2019).

Επιπλέον, η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων μπορεί να απαιτήσει πρόσθετα μέτρα ασφαλείας σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος κρυογονικής διαρροής υγρού μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ασφάλεια του πληρώματος και του σκάφους, ειδικά σε περίπτωση ατυχήματος ή σύγκρουσης. Για να αποφευχθεί αυτό, η αποθήκευση και η μεταφορά του LNG πρέπει να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, με σαφή πρωτόκολλα και τυπικές διαδικασίες για την αποφυγή τυχόν τυχαίας έκλυσης του καυσίμου (ABS, 2021).

Για να ξεπεραστούν αυτές οι τεχνικές προκλήσεις, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της απόδοσης των κινητήρων και των συστημάτων αποθήκευσης LNG. Υπάρχει επίσης ανάγκη για τυποποίηση της υποδομής ανεφοδιασμού και ανεφοδιασμού LNG για να διασφαλιστεί η συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών πλοίων και λιμένων. Επιπλέον, η ανάπτυξη καινοτόμων και αποτελεσματικών συστημάτων για το χειρισμό, τη μεταφορά και την αποθήκευση LNG είναι απαραίτητη για την αύξηση της υιοθέτησης του LNG ως καυσίμου πλοίων (Maritime Executive, 2020).

Συμπερασματικά, ενώ το LNG έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει βασικό καύσιμο για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, υπάρχουν σημαντικές τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν πριν από την ευρεία υιοθέτησή του. Ο κλάδος πρέπει να συνεχίσει να επενδύει στην έρευνα και την ανάπτυξη, την τυποποίηση των υποδομών και την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής χρήσης του LNG ως καυσίμου πλοίων.

3.2 Ρυθμιστικές προκλήσεις

Οι κανονιστικές προκλήσεις που σχετίζονται με την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων εκτείνονται πέρα από τον κώδικα IGF. Το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου ποικίλλει ευρέως σε διαφορετικές περιοχές και χώρες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές προκλήσεις συμμόρφωσης για τους πλοιοκτήτες (Katsoulakos et al., 2020). Επιπλέον, το ρυθμιστικό τοπίο εξελίσσεται συνεχώς, με νέους κανονισμούς που εισάγονται για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ανησυχιών και τη βελτίωση των προτύπων ασφαλείας.

Μία από τις βασικές κανονιστικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι πλοιοκτήτες είναι η έλλειψη ενός συνεπούς παγκόσμιου πλαισίου για τις δραστηριότητες ανεφοδιασμού LNG. Ενώ έχουν αναπτυχθεί αρκετές κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα για τον ασφαλή χειρισμό και αποθήκευση του LNG, δεν υπάρχει ενιαία προσέγγιση για την ανεφοδιασμό LNG (Cappuccitti et al., 2020). Αυτό μπορεί να δυσκολέψει τους πλοιοκτήτες να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση με τους τοπικούς κανονισμούς και μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα υποδομής ανεφοδιασμού LNG σε ορισμένες περιοχές.

Μια άλλη κανονιστική πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι πλοιοκτήτες είναι το συνονθύλευμα των κανονισμών για τις εκπομπές σε διάφορες περιοχές. Ενώ το LNG συχνά διαφημίζεται ως καθαρότερη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, υπάρχουν ανησυχίες ότι οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή και τη μεταφορά LNG μπορεί να αντισταθμίσουν ορισμένα από αυτά τα περιβαλλοντικά οφέλη (Rojas-Cardenas et al., 2020). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς αυστηρότερους κανονισμούς εκπομπών, ιδιαίτερα σε περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) και σε άλλα ευαίσθητα θαλάσσια περιβάλλοντα (UNCTAD, 2019). Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος χρήσης LNG ως καυσίμου πλοίων, ιδιαίτερα για πλοιοκτήτες που δραστηριοποιούνται σε πολλές περιοχές με διαφορετικά πρότυπα εκπομπών.

Τέλος, υπάρχουν ανησυχίες ότι το τρέχον κανονιστικό πλαίσιο μπορεί να μην επαρκεί για την αντιμετώπιση όλων των κινδύνων ασφάλειας και περιβάλλοντος που σχετίζονται με τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Ενώ ο Κώδικας IGF ορίζει ελάχιστα πρότυπα για τη χρήση LNG, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για πιο ολοκληρωμένες αξιολογήσεις κινδύνου και πρωτόκολλα ασφάλειας για την αντιμετώπιση των μοναδικών κινδύνων που θέτει το LNG (Tong et al., 2020). Αυτό περιλαμβάνει μέτρα για την πρόληψη ατυχημάτων κατά τη διάρκεια εργασιών ανεφοδιασμού καυσίμων, καθώς και πρωτόκολλα για την αντιμετώπιση διαρροών και άλλων συμβάντων.

Συμπερασματικά, οι κανονιστικές προκλήσεις που σχετίζονται με την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων είναι πολύπλοκες και πολύπλευρες. Ενώ ο Κώδικας IGF παρέχει ένα

πλαίσιο για την ασφαλή χρήση του LNG, η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος υιοθέτησης του LNG ως καυσίμου. Επιπλέον, η έλλειψη ενός συνεπούς παγκόσμιου πλαισίου για τις εργασίες ανεφοδιασμού LNG, το συνονθύλευμα των κανονισμών για τις εκπομπές σε διάφορες περιοχές και η ανάγκη για πιο ολοκληρωμένες αξιολογήσεις κινδύνου και πρωτόκολλα ασφάλειας υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή συνεργασία και προσπάθειες τυποποίησης για την ανάπτυξη κανονισμών που διέπουν την χρήση LNG ως καύσιμο πλοίων.

3.3 Οικονομικές προκλήσεις

Η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου θέτει επίσης σημαντικές οικονομικές προκλήσεις για τους πλοιοκτήτες. Η αρχική επένδυση που απαιτείται για τη μετασκευή υφιστάμενων σκαφών ή την κατασκευή νέων πλοίων που μπορούν να χρησιμοποιούν LNG είναι σημαντική. Η μετασκευή ενός υπάρχοντος πλοίου για την υποδοχή καυσίμου LNG απαιτεί σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από 15 εκατομμύρια δολάρια έως 40 εκατομμύρια δολάρια ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του πλοίου (Babalola et al., 2019). Από την άλλη πλευρά, το κόστος κατασκευής ενός νέου πλοίου που κινείται με LNG εκτιμάται ότι είναι 20% έως 30% υψηλότερο από ένα συμβατικό πλοίο (Singh, 2019).

Εκτός από τις κεφαλαιουχικές δαπάνες, το κόστος του καυσίμου LNG μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα. Η τιμή του LNG τυπικά αναπροσαρμόζεται στην τιμή του πετρελαίου, αλλά μπορεί να υπάρξουν σημαντικές διακυμάνσεις τιμών λόγω παραγόντων όπως η προσφορά και η ζήτηση, η ανάπτυξη υποδομών και οι κυβερνητικές πολιτικές (Fernandez, 2020). Ως αποτέλεσμα, το κόστος του LNG μπορεί να είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την οικονομική βιωσιμότητα της χρήσης του LNG ως καυσίμου.

Επιπλέον, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τη μακροπρόθεσμη τιμή και τη διαθεσιμότητα του LNG, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει τους πλοιοκτήτες να δικαιολογήσουν την επένδυση στην τεχνολογία. Το LNG είναι ένα σχετικά νέο καύσιμο στη ναυτιλιακή βιομηχανία και υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την επεκτασιμότητα της τεχνολογίας και την

ανάπτυξη της υποδομής LNG. Η έλλειψη τυποποιημένης υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων LNG μπορεί επίσης να δημιουργήσει αβεβαιότητα για τους πλοιοκτήτες, καθώς ενδέχεται να αντιμετωπίσουν πρόσθετο κόστος για την ανάπτυξη υποδομής ή τη μεταφορά καυσίμων (Babalola et al., 2019).

Για να μετριάσουν αυτές τις οικονομικές προκλήσεις, οι πλοιοκτήτες μπορούν να διερευνήσουν διάφορες επιλογές χρηματοδότησης, όπως χρηματοδοτική μίσθωση, χρηματοδότηση μέσω τραπεζών ή χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και κρατικές επιδοτήσεις ή φορολογικά κίνητρα. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Maritime Administration (MARAD) παρέχει εγγυήσεις δανείων για πλοιοκτήτες που επιθυμούν να επενδύσουν σε πλοία που κινούνται με LNG (MARAD, 2021). Στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕπ) προσφέρει χρηματοδότηση για την ανάπτυξη υποδομής ανεφοδιασμού ΥΦΑ (ΕΤΕπ, 2021).

Επιπλέον, η χρήση του LNG ως καυσίμου μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση κόστους μακροπρόθεσμα λόγω των χαμηλότερων εκπομπών του και της συμμόρφωσής του με ολοένα και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Το LNG εκπέμπει σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα ρύπων όπως τα οξείδια του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερο λειτουργικό κόστος λόγω μειωμένου κόστους συμμόρφωσης με τους κανονισμούς (Kotnik, 2018). Επιπλέον, η χρήση LNG μπορεί επίσης να παρέχει πρόσβαση σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECA), οι οποίες είναι περιοχές που ορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) όπου ισχύουν αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί. Η χρήση του LNG ως καυσίμου επιτρέπει στα πλοία να συμμορφώνονται με αυτούς τους κανονισμούς, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες ποινές και πρόστιμα (Kotnik, 2018).

Συμπερασματικά, ενώ οι οικονομικές προκλήσεις που σχετίζονται με την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου για τη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι σημαντικές, υπάρχουν διαθέσιμες επιλογές χρηματοδότησης και η πιθανή εξοικονόμηση κόστους από τις μειωμένες εκπομπές και το κόστος συμμόρφωσης με τους κανονισμούς μπορεί να δικαιολογήσει την επένδυση

στην τεχνολογία. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες επενδύσεις στην ανάπτυξη τυποποιημένης υποδομής ανεφοδιασμού LNG και αυξημένη επεκτασιμότητα της τεχνολογίας για να μετριαστεί η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη μακροπρόθεσμη τιμή και διαθεσιμότητα του LNG.

3. 4 Περιοριστικοί Παράγοντες για την ευρεία χρήση του LNG

Η ευρεία υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου για πλοία υπόκειται σε αρκετούς βασικούς παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να διασφαλιστεί η επιτυχία του. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι οι υποδομές, οι οποίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της αγοράς LNG. Η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα των εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού και των αλυσίδων εφοδιασμού LNG είναι ουσιαστικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι τα πλοία έχουν πρόσβαση σε καύσιμα LNG όπου κι αν λειτουργούν (DNV GL, 2020). Η δημιουργία υποδομής ανεφοδιασμού ΥΦΑ είναι, επομένως, απαραίτητη για την αύξηση της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας. Οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει να συνεργαστούν με λιμάνια και κυβερνήσεις για τη δημιουργία εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού LNG σε στρατηγικές τοποθεσίες για να διασφαλίσουν ότι τα πλοία έχουν πρόσβαση σε καύσιμα LNG.

Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας είναι τα ρυθμιστικά πλαίσια. Οι κανονιστικές αβεβαιότητες και ασυνέπειες είναι ένα από τα κύρια εμπόδια στην υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου (IAPH, 2019). Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) πρέπει να αναπτύξουν σαφείς και συνεπείς κανονισμούς και πρότυπα για να παρέχουν ένα πλαίσιο για την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου. Το ρυθμιστικό πλαίσιο πρέπει να υποστηρίζει την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου και να παρέχει ίσους όρους ανταγωνισμού για όλες τις ναυτιλιακές εταιρείες.

Το κόστος είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ευρεία υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Το κόστος του καυσίμου LNG μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με την τοποθεσία και τη διαθεσιμότητα, γεγονός που αποτελεί σημαντική πρόκληση για τους πλοιοκτήτες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, ορισμένες ναυτιλιακές εταιρείες διερευνούν καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα, όπως κοινοπραξίες και μακροπρόθεσμες

συμφωνίες προμήθειας για να εξασφαλίσουν τον εφοδιασμό LNG σε λογικές τιμές. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA) (2020), το κόστος του LNG ως καυσίμου είναι επί του παρόντος ανταγωνιστικό με άλλα εναλλακτικά καύσιμα. Ωστόσο, αυτό μπορεί να αλλάξει καθώς αναπτύσσεται η αγορά και το κόστος του LNG ως καυσίμου πρέπει να παραμείνει ανταγωνιστικό για να διασφαλιστεί η ευρεία υιοθέτησή του.

Τέλος, τα περιβαλλοντικά οφέλη του LNG ως καυσίμου πρέπει να είναι αρκετά σημαντικά ώστε να δικαιολογούν την επένδυση που απαιτείται για την υιοθέτησή του. Η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου μπορεί να μειώσει τις εκπομπές GHG έως και 23% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων (World Maritime News, 2021). Η χρήση του LNG ως καύσιμο μπορεί επίσης να μειώσει σημαντικά άλλες επιβλαβείς εκπομπές, όπως οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου και σωματίδια. Με ολοένα και πιο αυστηρούς κανονισμούς που διέπουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας, η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου έχει γίνει πιο ελκυστική για τους πλοιοκτήτες που θέλουν να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Συμπερασματικά, η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου για τα πλοία αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις. Ενώ οι υποδομές, οι ρυθμίσεις, το κόστος και οι περιβαλλοντικές επιδόσεις είναι κρίσιμοι παράγοντες, δεν είναι ανυπέρβλητοι. Οι κυβερνήσεις, οι ενώσεις του κλάδου και οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει να συνεργαστούν για να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον που να επιτρέπει την ευρεία υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου για τα πλοία. Η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές GHG και άλλους επιβλαβείς ρύπους και να συμβάλει σε μια πιο βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Κεφάλαιο 4: Περαιτέρω ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη σχετικά με την υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.

4.1 Η σχετικά περιορισμένη απόδοση του LNG στον τομέα του CO₂ σε σχέση με τις θεαματικές επιδόσεις του στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Παρά τα πλεονεκτήματα του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει εκφράσει ανησυχίες για τις περιορισμένες επιδόσεις της στη μείωση των εκπομπών CO₂. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) αναφέρει ότι η χρήση LNG ως καύσιμο πλοίων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ έως και 21% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων (IEA, 2020). Ωστόσο, αυτό υπολείπεται των πιο φιλόδοξων στόχων που έχει θέσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050.

Ένας από τους λόγους για την περιορισμένη απόδοση του LNG στον τομέα του CO₂ είναι η ένταση άνθρακα της παραγωγής, της μεταφοράς και της υγροποίησης LNG. Σύμφωνα με μια μελέτη του DNV GL (2020), η ένταση άνθρακα του LNG είναι υψηλότερη από αυτή άλλων εναλλακτικών καυσίμων όπως το υδρογόνο και η αμμωνία. Ωστόσο, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη διαδικασία υγροποίησης μπορεί να μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα του LNG (DNV GL, 2020).

Ένας άλλος λόγος για την περιορισμένη απόδοση του LNG στη μείωση των εκπομπών CO₂ είναι η απόδοση των κινητήρων LNG σε σύγκριση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα όπως οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Σύμφωνα με μελέτη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (2020), η θερμική απόδοση των κυψελών καυσίμου υδρογόνου είναι υψηλότερη από αυτή των κινητήρων LNG, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Ωστόσο, η ανάπτυξη κινητήρων και τεχνολογιών LNG υψηλής απόδοσης, όπως τα συστήματα ανάκτησης απορριμμάτων θερμότητας, μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του LNG στη μείωση των εκπομπών CO₂ (DNV GL, 2020).

Για την αντιμετώπιση των περιορισμών του LNG στη μείωση των εκπομπών CO₂, η ναυτιλιακή βιομηχανία διερευνά τη χρήση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Το CCS περιλαμβάνει τη δέσμευση CO₂ από βιομηχανικές διεργασίες και την αποθήκευσή του υπόγεια, αποτρέποντας την είσοδο του στην ατμόσφαιρα. Ορισμένες ναυτιλιακές εταιρείες εξετάζουν το ενδεχόμενο χρήσης CCS για τη δέσμευση και

αποθήκευση CO₂ που εκπέμπεται κατά τη διαδικασία παραγωγής LNG, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ του κύκλου ζωής του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο (DNV GL, 2020).

Συμπερασματικά, ενώ η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων έχει δείξει αξιοσημείωτες επιδόσεις στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, η περιορισμένη απόδοσή του στη μείωση των εκπομπών CO₂ έχει εγείρει ανησυχίες για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Η βιομηχανία διερευνά τη χρήση πιο αποδοτικών κινητήρων LNG, συστημάτων ανάκτησης απορριμμάτων θερμότητας και τεχνολογιών CCS για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του LNG (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020). Παρά τους περιορισμούς του, το LNG εξακολουθεί να έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μετάβαση σε ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

4.2 Το δυναμικό του LNG ως βάσης για μια πολιτική ανανέωσης για τον γερασμένο στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών της ΕΕ.

Καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στοχεύει να γίνει ουδέτερη ως προς τον άνθρακα έως το 2050, το δυναμικό του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως βάσης για μια πολιτική ανανέωσης για τον γερασμένο στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών έχει κερδίσει την προσοχή. Οι θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων αποτελούν ουσιαστικό στοιχείο του δικτύου μεταφορών της ΕΕ, παρέχοντας μια οικονομικά αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στις οδικές μεταφορές. Ωστόσο, η γήρανση του στόλου και η ανάγκη συμμόρφωσης με ολοένα και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς έχουν κάνει τον τομέα ώριμο για ανανέωση.

Η ΕΕ έχει ήδη λάβει μέτρα για την προώθηση της χρήσης LNG ως καυσίμου πλοίων μέσω του πλαισίου πολιτικής της. Το 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εισήγαγε το πακέτο Clean Power for Transport, το οποίο περιλάμβανε διατάξεις για την υποστήριξη της ανάπτυξης υποδομής ανεφοδιασμού LNG και τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει τη διευκόλυνση Connecting Europe Facility (CEF) για να παρέχει χρηματοδότηση για την ανάπτυξη υποδομής ανεφοδιασμού LNG σε βασικά λιμάνια σε όλη την Ευρώπη. Αυτές οι πρωτοβουλίες έχουν συμβάλει στην αύξηση της διαθεσιμότητας και της προσβασιμότητας του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου, καθιστώντας

το πιο ελκυστική επιλογή για τις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Το δυναμικό του LNG ως βάσης για μια πολιτική ανανέωσης για τον γερασμένο στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών δεν περιορίζεται στα περιβαλλοντικά του οφέλη. Οι κινητήρες LNG είναι επίσης γνωστοί για την αξιοπιστία τους και το χαμηλότερο κόστος συντήρησης σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες θαλάσσης. Επιπλέον, το LNG μπορεί να παρέχει πιο σταθερή τιμή καυσίμου σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα πλοίων, τα οποία υπόκεινται σε αστάθεια τιμών (DNV GL, 2020).

Ωστόσο, η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων για τον στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών εξακολουθεί να αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Ένα από τα σημαντικά εμπόδια είναι το κόστος μετασκευής σκαφών με κινητήρες LNG, το οποίο μπορεί να είναι σημαντικό. Σύμφωνα με μελέτη της DNV GL (2020), η μετασκευή ενός υπάρχοντος σκάφους με κινητήρα LNG μπορεί να κοστίσει έως και 6 εκατομμύρια ευρώ. Το κόστος της μετασκευής είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων ήταν σχετικά αργή. Ωστόσο, αυτό το κόστος θα μπορούσε να αντισταθμιστεί από το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος των κινητήρων LNG μακροπρόθεσμα (DNV GL, 2020).

Μια άλλη πρόκληση είναι η έλλειψη τυποποιημένων κανονισμών για τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Όπως σημειώνεται σε έκθεση της Διεθνούς Ένωσης Λιμένων και Λιμένων (IAPH) (2019), οι κανονιστικές αβεβαιότητες και ασυνέπειες αποτελούν σημαντικό εμπόδιο στην υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει αναπτύξει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων, συμπεριλαμβανομένου του Διεθνούς Κώδικα Ασφάλειας για Πλοία που χρησιμοποιούν Αέρια ή άλλα Καύσιμα Χαμηλού Σημείου Ανάφλεξης (IGF Code). Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των κανονισμών από μεμονωμένες χώρες και λιμάνια μπορεί να είναι άنيση (IAPH, 2019).

Επιπλέον, η επέκταση της υποδομής και της διαθεσιμότητας LNG είναι απαραίτητη για την ευρεία υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου δικτύου ανεφοδιασμού LNG είναι κρίσιμη για να διασφαλιστεί ότι τα πλοία μπορούν να ανεφοδιάζονται με LNG σε βασικά λιμάνια. Αρκετά ευρωπαϊκά λιμάνια, όπως το Ρότερνταμ και η Αμβέρσα, έχουν ήδη δημιουργήσει εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ωστόσο, πρέπει να γίνουν περισσότερα για την επέκταση αυτής της υποδομής σε ολόκληρη την ΕΕ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Συμπερασματικά, η δυνατότητα του LNG ως βάσης για μια πολιτική ανανέωσης για τον γερασμένο στόλο μικρών θαλάσσιων μεταφορών είναι σημαντική. Τα περιβαλλοντικά οφέλη, μαζί με την αξιοπιστία και το χαμηλότερο κόστος συντήρησης των κινητήρων LNG, τον καθιστούν ελκυστική επιλογή για θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων. Ωστόσο, οι προκλήσεις του υψηλού κόστους μετασκευής, των κανονιστικών ασυνεπειών και της επέκτασης της υποδομής LNG πρέπει να αντιμετωπιστούν για την ευρεία υιοθέτησή του. Η ΕΕ και η ναυτιλιακή βιομηχανία πρέπει να συνεργαστούν για να ξεπεράσουν αυτές τις προκλήσεις και να διασφαλίσουν την επιτυχή υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων για τον στόλο μικρών αποστάσεων (DNV GL, 2020).

4.3 Προοπτικές για πλοία με καύσιμα LNG

Τα πλοία με καύσιμα LNG συμμορφώνονται με τους πιο πρόσφατους κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ωστόσο, η χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων φαίνεται να είναι πιο ελκυστική και συμφέρουσα για ορισμένα τμήματα σκαφών. Επιπλέον, η προμήθεια κινητήρων πλοίων με LNG παρουσιάζει τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά μακροπρόθεσμα οφέλη. Τα επερχόμενα έργα πλοίων με καύσιμα LNG αναμένουν υψηλά οφέλη και θα πυροδοτήσουν την ανάπτυξη υποδομής LNG σε περιοχές με υψηλή λειτουργία πλοίων με καύσιμα LNG και πρότυπα ασφαλείας. Το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι μια ελκυστική εμπορική λύση τόσο για νέα ναυπήγηση πλοίων με καύσιμο LNG όσο και για υπάρχοντα πλοία, αν και η μετασκευή των υπάρχοντων πλοίων απαιτεί μεγάλη επένδυση λόγω της εγκατάστασης δεξαμενών καυσίμου LNG και των σημαντικών τροποποιήσεων στο μηχανοστάσιο. Για το λόγο αυτό, τα περισσότερα από τα πλοία με καύσιμα LNG θα είναι έργα νέας κατασκευής (IMO, 2016a).

Όλοι οι τύποι πλοίων μπορούν να εφαρμόσουν LNG, αλλά ορισμένα τμήματα πλοίων είναι πιο πιθανό να το κάνουν λόγω των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών. Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά οδηγούν την εισαγωγή LNG στα πλοία:

- Χρόνος λειτουργίας εντός ECA
- Τραβέρ και τοπικά πλοία
- Ευαισθησία στο κόστος καυσίμου
- Δυνατότητα υποδοχής εξοπλισμού καυσίμου LNG
- Κόστος και διαθεσιμότητα LNG
- Δυνατότητες μετασκευής
- Προοπτικές ενημέρωσης στόλου
- Σκάφη γραμμής
- Προφίλ φιλικό προς το περιβάλλον

Το δυναμικό των πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG εξαρτάται από αυτά τα χαρακτηριστικά, τα πλοία με λειτουργικά χαρακτηριστικά που ταιριάζουν με αυτά τα χαρακτηριστικά θα παρουσιάζουν υψηλές δυνατότητες τροφοδοσίας των κινητήρων τους με LNG (IMO, 2016a).

Χρόνος λειτουργίας εντός ECA

Επί του παρόντος, τα πλοία που εκτελούν δρομολόγια μικρών αποστάσεων (SSS) είναι αυτά που περνούν περισσότερο χρόνο εντός των ECA. Τα πλοία που λειτουργούν σε ECA υπόκεινται στους πιο αυστηρούς κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση, ωστόσο προβλέπουν σημαντικά οικονομικά οφέλη. Ως αποτέλεσμα, τα πλοία που ξοδεύουν περισσότερο από το 30-40% του χρόνου λειτουργίας τους εντός των ECA παρουσιάζουν ευνοϊκή απόδοση επένδυσης (ROI) των κεφαλαιουχικών τους δαπανών (CAPEX). Τα τμήματα πλοίων που ταιριάζουν με αυτό το λειτουργικό χαρακτηριστικό είναι

δεξαμενόπλοια, πλοία γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία RoPax και κρουαζιερόπλοια που περνούν συγκεκριμένο χρόνο σε ECA (IMO, 2016a).

Σουβέρ και τοπικά σκάφη

Αυτοί οι τύποι σκαφών έχουν σχεδιαστεί για εργασία σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή λιμάνι, όπως πορθμεία, ρυμουλκά και πλοία υπεράκτιων υπηρεσιών (OSV). Ανάλογα με το εάν η περιοχή ή το λιμάνι λειτουργίας τους βρίσκεται σε ECA, αυτοί οι τύποι σκαφών θα μπορούσαν να λειτουργούν συνεχώς σύμφωνα με τους πιο αυστηρούς κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπλέον, το CAPEX λόγω της υλοποίησης LNG θα μπορούσε να είναι υψηλό λόγω του μικρότερου μεγέθους τους (IMO, 2016a).

Ευαισθησία κόστους καυσίμου

Για εκείνα τα πλοία που το λειτουργικό κόστος και το CAPEX είναι χαμηλό σε σύγκριση με το κόστος καυσίμων, η εξοικονόμηση κόστους καυσίμων θα μπορούσε να εξισορροπήσει γρήγορα την επένδυση που απαιτείται για την εγκατάσταση εξοπλισμού LNG. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις οι πλοιοκτήτες δεν ενδιαφέρονται να ναυπηγήσουν πλοία με καύσιμα LNG, επειδή το κόστος των καυσίμων επιβαρύνει τους ναυλωτές (IMO, 2016a).

Ικανότητα υποδοχής εξοπλισμού καυσίμου LNG

Μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις της χρήσης LNG ως καυσίμου είναι το μεγαλύτερο μέγεθος δεξαμενών καυσίμου LNG, καθώς απαιτούν περισσότερο χώρο (περίπου 3-4 φορές) από τις αντίστοιχες δεξαμενές MDO. Ο κώδικας IGF, μαζί με τους κανόνες των

νηογνωμόνων, καθορίζει τη θέση και τη διάταξη των δεξαμενών καυσίμων, και ως εκ τούτου, τα πλοία απαιτούν αρκετό χώρο για να εγκαταστήσουν μεγάλες δεξαμενές LNG και να ελαχιστοποιήσουν την απώλεια όγκου φορτίου (IMO, 2016a).

Κόστος και διαθεσιμότητα LNG

Το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι εμπορικά ελκυστικό λόγω της χαμηλής τιμής του σε σύγκριση με τα κύρια λιπαντικά ναυτιλίας που χρησιμοποιούνται στα πλοία, π.χ. HFO, IFO, MDO και MGO. Ωστόσο, η τιμή του LNG ποικίλλει μεταξύ διαφορετικών λιμένων και περιοχών, καθώς η τιμή στην ΕΕ ή την Ασία διαφέρει από αυτή στις ΗΠΑ. Επιπλέον, LNG

Η διαθεσιμότητα ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων περιοχών, καθώς οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού ΥΦΑ βρίσκονται σε ECAs. Τα πλοία με καύσιμα LNG, όπως δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων και πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη διαθεσιμότητα LNG στα λιμάνια λειτουργίας τους και τους κανονισμούς και τις μεθόδους ανεφοδιασμού καυσίμων (IMO, 2016a).

Δυνατότητες μετασκευής

Το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι μια εφικτή λύση τόσο για τη νέα κατασκευή πλοίων με καύσιμα LNG όσο και για τα υπάρχοντα πλοία, αν και η μετασκευή των υπαρχόντων πλοίων απαιτεί υψηλή επένδυση. Παρόλα αυτά, πολλά τμήματα πλοίων έχουν σημαντικές δυνατότητες μετασκευής σε LNG, καθώς το κόστος νέας κατασκευής σε ορισμένες περιοχές, π.χ. ΗΠΑ, είναι αρκετά υψηλά (IMO, 2016a).

Προοπτικές ενημέρωσης στόλου

Ορισμένοι τύποι πλοίων προβλέπουν να έχουν σχετική αύξηση και ζήτηση για χρήση LNG ως καύσιμο πλοίων. Λόγω των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών, ο αριθμός των OSV, των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και των δεξαμενόπλοιων πετρελαίου/προϊόντων που τροφοδοτούνται με LNG αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά (IMO, 2016a).

Σκάφη γραμμής

Τα εμπορικά πλοία λειτουργούν σύμφωνα με τα πρότυπα συναλλαγών τους και τα ναύλωση τους και μπορούν να ταξινομηθούν ως τακτικά πλοία ή tramp. Τα πλοία της γραμμής μεταφέρουν φορτία μεταξύ σταθερών λιμένων, με ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα πλεύσης, ενώ τα ελεύθερα πλοία μεταφέρουν φορτία από το ένα λιμάνι στο άλλο χωρίς προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα. Ο αριθμός των πλοίων της γραμμής και των ελεύθερων πλοίων ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών τύπων πλοίων. Λόγω της έλλειψης υποδομής LNG παγκοσμίως, τα πλοία που εκτελούν υπηρεσίες τακτικών γραμμών είναι πιο κατάλληλα για να εφοδιαστούν με LNG δεδομένου ότι λειτουργούν μεταξύ δύο σταθερών λιμένων (IMO, 2016a).

Προφίλ φιλικό προς το περιβάλλον

Οι κινητήρες με καύσιμο LNG συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών καυσαερίων επιτρέποντας την εκτέλεση περιβαλλοντικά βιώσιμων λειτουργιών. Σήμερα, ορισμένα

ναυτιλιακά τμήματα, όπως τα κρουαζιερόπλοια ή τα επιβατηγά πλοία, αναζητούν αυτές τις φιλικές προς το περιβάλλον αξίες και εξετάζουν τη χρήση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Ένα άλλο τμήμα είναι το PSV, το οποίο εκμεταλλεύεται τα μόνους βιωσιμότητας από τους ναυλωτές (IMO, 2016a).

Ως αποτέλεσμα, τα πλοία που δραστηριοποιούνται τον περισσότερο χρόνο τους σε ECAs και εκείνα που εκτελούν δρομολόγια SSS, όπως πορθμεία, PSV, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-Ro και δεξαμενόπλοια, θα είναι τα πρώτα τμήματα πλοίων στην εφαρμογή του LNG ως καυσίμου πλοίων. Στις ΗΠΑ, τα περισσότερα από τα πλοία που τροφοδοτούνται με LNG κατά παραγγελία είναι θαλάσσια πλοία, ενώ στην ΕΕ, η πλειονότητα των πλοίων που λειτουργούν με καύσιμα LNG είναι περιφερειακά πορθμεία και PSV (IMO, 2016a).

Συνολικά, λοιπόν, το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι μια ελκυστική και εφικτή επιλογή για την τήρηση των κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επειδή υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις για τη συμμόρφωση με τα όρια εκπομπών των πλοίων, οι πλοιοκτήτες και οι φορείς εκμετάλλευσης βασίζονται στις αποφάσεις τους σε μια οικονομική σύγκριση λύσεων, μεταξύ άλλων παραγόντων. Κατά την ανάλυση της οικονομικής σκοπιμότητας, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων λαμβάνουν υπόψη το κόστος εξοπλισμού, τον χρόνο λειτουργίας εντός των ECA και την τιμή του LNG. Επιπλέον, οι αποφάσεις στρατηγικής συμμόρφωσης εξαρτώνται από τους επερχόμενους κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς η αναβολή του παγκόσμιου ορίου περιεκτικότητας σε θείο μέχρι το 2025 θα επηρεάσει την αύξηση του LNG ως καυσίμου πλοίων και τη μελλοντική παγκόσμια διαθεσιμότητα LNG (IMO, 2016a).

Κεφάλαιο 5: Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.

5.1 Εξελίξεις γύρω από τον πόλεμο στην Ουκρανία

5.1.1 Εξελίξεις αγοράς και ροές αερίου 2021–2022

Το δεύτερο εξάμηνο του 2021 χαρακτηρίστηκε από επίπεδα ρεκόρ στις τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη, λόγω της δυναμικής της προσφοράς και της ζήτησης. Το σοκ ζήτησης

από την πανδημία του COVID-19 και οι ακόλουθες μειώσεις των τιμών οδήγησαν σε μείωση της δραστηριότητας εξερεύνησης και παραγωγής και σε υποεπένδυση στην ορυκτή ενέργεια. Στην Ευρώπη, η εγχώρια παραγωγή μεταξύ 2020 και 2021 μειώθηκε κατά 7,6% σε περίπου 45 bcm, λόγω της σταδιακής κατάργησης του μεγαλύτερου κοιτάσματος φυσικού αερίου της Ευρώπης στο Groningen της Ολλανδίας. Ωστόσο, η εγχώρια παραγωγή επηρεάστηκε επίσης από περιβαλλοντικές ανησυχίες και αντιληπτούς κινδύνους δημιουργίας λανθάνοντων περιουσιακών στοιχείων υπό το φως της ενεργειακής μετάβασης. Ταυτόχρονα, το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου LNG βρισκόταν σε διαμετακόμιση στη Βορειοανατολική Ασία, όπου η σταδιακή κατάργηση του άνθρακα για φυσικό αέριο, με στόχο τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, βρήκε αυξανόμενη πολιτική υποστήριξη, μειώνοντας έτσι περαιτέρω την ποσότητα του διαθέσιμου LNG για την Ευρώπη. Ωστόσο, αυτό συνέπεσε με την αύξηση της ζήτησης ορυκτών καυσίμων στην Ευρώπη, λόγω των ελαφρών ανέμων και, επομένως, της μειωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στη Γερμανία, αυτό μειώθηκε από 244 TWh το 2020 σε 226 TWh το 2021. Λόγω της σταδιακής κατάργησης του άνθρακα και της πυρηνικής ενέργειας στη Γερμανία, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου προορίζονταν περαιτέρω για να λειτουργήσουν ως αποθέματα για τη διακοπή της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Παρά τις τιμές ρεκόρ των 116 EUR/MWh στον κόμβο φυσικού αερίου Title Transfer Facility (TTF) στις 5 Οκτωβρίου 2021, η εταιρεία αποθήκευσης που ανήκει στην Gazprom, Astora, δεν γέμισε την αποθήκευσή της το καλοκαίρι του 2021, σε αντίθεση με τα προηγούμενα χρόνια και σε αντίθεση με άλλους χειριστές αποθήκευσης. Επειδή η Astora κατέχει περίπου το 21,7% της συνολικής γερμανικής χωρητικότητας αποθήκευσης, τα επίπεδα ρεκόρ αποθήκευσης συνέβαλαν περαιτέρω στην έλλειψη φυσικού αερίου το 2021 και στις επακόλουθες αυξήσεις των τιμών, περιορίζοντας περαιτέρω την ευελιξία της Γερμανίας να χειριστεί σημαντική μείωση των ροών φυσικού αερίου (School of Transnational Governance, 2022).

Η απουσία πλήρωσης αποθηκευτικών χώρων προκλήθηκε από την πτώση των εισαγωγών από τη Ρωσία το 2021 μέσω των διαμετακόμισης της Ουκρανίας και του Γιαμάλ, οι οποίες μειώθηκαν κατά περίπου 25% το τελευταίο τρίμηνο του έτους. Σε αντίθεση με τη συνήθη πρακτική, η Gazprom παρέδιδε μόνο ποσότητες φυσικού αερίου που αντιστοιχούν σε μακροπρόθεσμα συμβόλαια και δεν παρέδωσε επιπλέον όγκους μέσω της Ηλεκτρονικής Πλατφόρμας Πωλήσεων της. Αυτό οδήγησε αρχικά τους ευρωπαίους αγοραστές να μειώσουν τις εισαγωγές ρωσικού φυσικού αερίου και να αγοράσουν περισσότερο LNG σε

φθηνότερη τιμή. Ωστόσο, οι γρήγορα αυξανόμενες τιμές LNG αντέστρεψαν την ελκυστικότητα των μηνιαίων συμβολαίων της Gazprom, γεγονός που οδήγησε σε πλήρη χρήση της ουκρανικής διαμετακόμισης μετά την εισβολή στις 24 Φεβρουαρίου 2022. Ο συνδυασμός των αυξανόμενων τιμών του φυσικού αερίου και των συνεχών παραδόσεων οδήγησε σε ρεκόρ ρωσικού φυσικού αερίου πωλήσεις, οι οποίες ανήλθαν σε περισσότερα από 600 εκατομμύρια ευρώ ημερησίως στις αρχές Μαρτίου 2022. Επιπλέον, το ρωσικό ρούβλι ανέκαμψε και έφτασε στο υψηλότερο επίπεδο πολλών ετών έναντι του ευρώ, 58,97 RUB/EUR, αν και η Ρωσία σημείωσε ταυτόχρονα τον υψηλότερο πληθωρισμό της από το 2002, 17,83%, τον Απρίλιο 2022 (Halser & Parashiv, 2022)

Μετά την εισβολή στην Ουκρανία, ωστόσο, η αύξηση των ροών αερίου δεν οδήγησε σε συσσώρευση αποθηκευτικών χώρων, με τα επίπεδα πλήρωσης του Astora να παραμένουν κάτω από το 10%. Μια προηγούμενη μελέτη προσφέρει πιθανές εξηγήσεις για την υποχρησιμοποίηση των διελεύσεων αγωγών και την αποφυγή συσσώρευσης αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένου του στόχου άσκησης πίεσης στις γερμανικές αρχές να χορηγήσουν άδειες για τον αμφιλεγόμενο αγωγό Nord Stream II. Πριν από τη ρωσική εισβολή, ένας άλλος στόχος της Gazprom μπορεί να ήταν να αναγκάσει τους εισαγωγείς, οι οποίοι κατά τα άλλα αντιμετώπιζαν επίπεδα ρεκόρ τιμών σε κόμβους εμπορίου, να επιστρέψουν σε μακροπρόθεσμα συμβόλαια. Μετά την εισβολή, ωστόσο, η έλλειψη φυσικού αερίου στην Ευρώπη λειτούργησε ως διαπραγματευτικό εργαλείο για τη Ρωσία ενάντια στη Γερμανία και άλλες ευρωπαϊκές χώρες για να διασφαλίσει ότι δεν θα εμπλακούν στον πόλεμο στην Ουκρανία. Η αποτυχία εξασφάλισης επαρκούς αποθήκευσης φυσικού αερίου είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη, καθώς η Γερμανία, σε αντίθεση με την περίπτωση του αργού πετρελαίου, δεν διαθέτει εθνικό στρατηγικό απόθεμα. Εμπιστευόμενοι το οικονομικό κίνητρο για την πλήρωση των αποθηκευτικών της εγκαταστάσεων, οι γερμανικές αρχές παραχώρησαν την πώληση της μοναδικής μεγαλύτερης εγκατάστασης αποθήκευσης της χώρας στο Rehden, από τη θυγατρική της BASF Wintershall, στη Gazprom το 2015, μόνο μήνες μετά την προσάρτηση της Κριμαίας το 2014 (Halser & Parashiv, 2022).

Απειλές για περικοπή των ροών φυσικού αερίου εκδηλώθηκαν στις 14 Ιουνίου 2022, όταν η Gazprom ανακοίνωσε μειωμένες ροές μέσω του αγωγού Nord Stream I, λόγω τεχνικών συνθηκών. Μετά την αρχική περικοπή από 167 σε 100 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ημερησίως, οι ροές μειώθηκαν περαιτέρω στα 67 εκατομμύρια κυβικά μέτρα την ημέρα την Τετάρτη 15 Ιουνίου. Η Gazprom κατηγόρησε τη μείωση των εξαγωγών στην έλλειψη εξοπλισμού, ο οποίος, σύμφωνα με τη Siemens Energy, δεν μπόρεσε να επιστραφεί από την

προγραμματισμένη επισκευή του στον Καναδά λόγω κυρώσεων στη Ρωσία. Εκτός από τη διακοπή των παραδόσεων μέσω του αγωγού Yamal στα μέσα Μαΐου, η μείωση κατά 60% επηρέασε τις εισαγωγές στη Γαλλία, την Αυστρία, την Ιταλία και την Τσεχική Δημοκρατία, επιπλέον αυτών στη Γερμανία. Μετά την ανακοίνωση, οι τιμές του φυσικού αερίου TTF αυξήθηκαν στα 108 EUR/MWh την Τετάρτη 15 Ιουνίου, αύξηση άνω του 35% σε σύγκριση με την προηγούμενη εβδομάδα, και η μείωση των εξαγωγών δηλώθηκε ως πολιτικά υποκινούμενη από τον υπουργό Οικονομίας της Γερμανίας, Ρόμπερτ Χάμπεκ (Oxford Institute for Energy Studies, 2022; Halser & Parashiv, 2022)

5.1.2 Η Ρυθμιστική Ανταπόκριση της Ε.Ε.

Ως απάντηση στη ρωσική εισβολή στην Ουκρανία και τον οπλισμό της ενέργειας, η ΕΕ έχει εκδώσει διάφορα ρυθμιστικά μέτρα για την ενίσχυση της ασφάλειας του εφοδιασμού και τη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές από το ρωσικό φυσικό αέριο. Οι μειωμένες παραδόσεις μέσω του Nord Stream I και, ειδικότερα, η διακοπή των παραδόσεων από την Gazprom στην Πολωνία, τη Βουλγαρία και τη Φινλανδία λόγω της απαίτησης της Gazprom για πληρωμή σε ρωσικό ρούβλι, έχουν ευαισθητοποιήσει τους Ευρωπαίους αξιωματούχους στις συνέπειες της πλήρους περικοπής των ροών φυσικού (International Shipping News, 2022).

Λόγω της συνεχιζόμενης απειλής διακοπής του εφοδιασμού από τη Ρωσία, έχει ενεργοποιηθεί ο κανονισμός για την ασφάλεια του εφοδιασμού (SoS) της ΕΕ, ο οποίος καλεί για αλληλεγγύη μεταξύ των κρατών μελών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης σε τοπικό αέριο. Το πρώτο προειδοποιητικό βήμα του σχεδίου έκτακτης ανάγκης απαιτεί τη χρήση μηχανισμών της αγοράς για τον μετριασμό της έλλειψης αερίου. Εκτός από την ενισχυμένη παρακολούθηση των ροών αερίου, αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν την πιθανή άσκηση ευέλικτων επιλογών αγορών και την αυξημένη εξάρτηση από την αποθήκευση. Το στάδιο συναγερμού καλεί περαιτέρω τους συμμετέχοντες στην αγορά σε δράση και δηλώνεται σε επιδεινούμενη κατάσταση, όταν δεν επιτυγχάνεται σημαντική υποκατάσταση από γειτονικές χώρες. Επιπλέον, αποτελεί τη βάση για τους παρόχους αερίου να προωθήσουν υψηλότερα κόστη αγοράς στις αγορές χονδρικής στους τελικούς καταναλωτές. Το στάδιο συναγερμού επιτρέπει επίσης την αύξηση των παλαιότερων σταθμών παραγωγής ενέργειας με καύση

άνθρακα για τη μείωση της ζήτησης φυσικού αερίου για ενέργεια και θερμότητα, ενώ παράλληλα προτείνει ένα μοντέλο δημοπρασίας που δίνει κίνητρα στους βιομηχανικούς καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση φυσικού αερίου. Το τελικό στάδιο έκτακτης ανάγκης επιτρέπει στον διαχειριστή του δικτύου να μειώσει ή να μειώσει την παροχή μη προστατευόμενων ομάδων πελατών, όπως αυτή των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου, επειδή η συνεισφορά τους, εκτός από το απαιτούμενο ελάχιστο, μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί με ενέργεια από άνθρακα. Μόνο όταν τα προηγούμενα μέτρα παραμείνουν ανεπαρκή, θα επηρεαστούν προστατευμένες ομάδες, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών καταναλωτών ή των κοινωνικών υπηρεσιών, όπως τα νοσοκομεία (Craig, 2022).

Για την καταπολέμηση της κρίσης εφοδιασμού, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενθαρρύνει τη συγκέντρωση ζήτησης και τη δημιουργία «κοινού μηχανισμού αγοράς» φυσικού αερίου, επιπλέον των ενεργειακών συνεργασιών με βασικούς προμηθευτές LNG και υδρογόνου ως μέρος του ευρύτερου σχεδίου REPowerEU. Η πρωτοβουλία προβλέπει επιπλέον 72 δισεκατομμύρια ευρώ σε επιχορηγήσεις και 225 δισεκατομμύρια ευρώ σε δάνεια για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη του στόχου της ΕΕ για μείωση των καθαρών εκπομπών κατά 55% έως το 2030. Τα σχέδια περιλαμβάνουν επίσης χρηματοδότηση έως και 10 δισεκατομμυρίων ευρώ για την κατασκευή κρίκων που λείπουν για φυσικό αέριο και LNG, επιπλέον των σχεδίων για διπλασιασμό του ρυθμού ανάπτυξης αντλιών θερμότητας σε 10 εκατομμύρια μονάδες σωρευτικά τα επόμενα 5 χρόνια. Με στόχο τη μείωση της ευπάθειας στις διακοπές των εισαγωγών, η ΕΕ πρότεινε περαιτέρω μια νομική υποχρέωση για την αποθήκευση φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τις υποχρεωτικές ποσοτώσεις αποθήκευσης που πρότεινε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η Γερμανία ενέκρινε τον νόμο αποθήκευσης αερίου στις 26 Μαρτίου 2022, ο οποίος ορίζει υποχρεωτικά επίπεδα πλήρωσης αερίου (Halser & Parashiv, 2022).

Εκτός από την απαίτηση από τους φορείς εκμετάλλευσης αποθήκευσης να δηλώσουν τη διακοπή της πλήρωσης αερίου στο Bundesnetzagentur, επιτρέπει στους φορείς αποθήκευσης να τίθενται σε μεσεγγύηση εάν δεν εκπληρώσουν την εντολή αποθήκευσης φυσικού αερίου. Η Ρωσία, αντίθετα, επέβαλε κυρώσεις, υποχρεώνοντας την Gazprom να σταματήσει τις δραστηριότητές της με πρώην θυγατρικές εμπορίας και αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένης

της εταιρείας αποθήκευσης Astora στη Γερμανία. Η Ρωσία εξέδωσε διάταγμα απαιτώντας από τους αγοραστές να διευθετήσουν τις συμβάσεις εισαγωγής τους σε ρωσικό ρούβλι. Ωστόσο, η Επιτροπή της ΕΕ αντιτίθεται στην ιδέα της διευθέτησης των αγορών στο ρούβλι και προέτρεψε τα κράτη μέλη της να παραμείνουν συμμορφωμένες με τις κυρώσεις της ΕΕ (Safety4Sea, 2022). Προκειμένου να διασφαλιστεί η συμμόρφωση χωρίς να διακινδυνεύσει περαιτέρω περικοπή των παραδόσεων από τη Ρωσία, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καθοδήγησε τα μέλη της εκδίδοντας δήλωση στην οποία σημειώνει ότι οι υποχρεώσεις πληρωμής τους θα εκπληρώνονται μετά την πληρωμή σε ευρώ ή δολάρια, ενώ δεν εμποδίζει τους εισαγωγείς να ανοίξουν λογαριασμό στην Gazprombank.

Προκειμένου να επιτύχει τον στόχο της για μείωση των εισαγωγών φυσικού αερίου από τη Ρωσία στο 10% κατ' ανώτατο όριο έως το 2024, η ΕΕ έχει ήδη εφαρμόσει μέτρα για τη διαφοροποίηση του εφοδιασμού. Αυτά περιλαμβάνουν την παράδοση ενός επιπλέον bcm LNG από τις Ηνωμένες Πολιτείες στην ΕΕ κάθε χρόνο από το 2018, καθώς και την ολοκλήρωση του αγωγού Southern Gas Corridor το 2020, ο οποίος φέρνει αέριο από την περιοχή της Κασπίας στην Ευρώπη μέσω της Τουρκίας. Επιπλέον, η ΕΕ έχει ενθαρρύνει την ανάπτυξη νέων οδών παροχής αερίου, όπως το Φόρουμ για το φυσικό αέριο της Ανατολικής Μεσογείου, που στοχεύει στην προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των χωρών παραγωγής φυσικού αερίου στην περιοχή, και του έργου Baltic Pipe, που θα μεταφέρει φυσικό αέριο από τη Νορβηγία στην Πολωνία και τη Δανία (Halser & Parashiv, 2022; International Shipping News, 2022)

Επιπλέον, η ΕΕ επιδιώκει επίσης να αναπτύξει τον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας για να μειώσει την εξάρτησή της από ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού αερίου. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, μια εμβληματική πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, στοχεύει να καταστήσει την ΕΕ κλιματικά ουδέτερη έως το 2050 με τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Το σχέδιο περιλαμβάνει στόχο μείωσης τουλάχιστον 55% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, και δέσμευση για αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ σε τουλάχιστον 32% έως το 2030 (Craig, 2022).

Συνοπτικά, ενώ η ΕΕ εξακολουθεί να εξαρτάται από τις εισαγωγές φυσικού αερίου, ιδίως από τη Ρωσία, λαμβάνει μέτρα για να διαφοροποιήσει τον ενεργειακό εφοδιασμό της και να μειώσει την εξάρτησή της από ορυκτά καύσιμα. Μέσω της εφαρμογής μέτρων για την προώθηση της διαφοροποίησης της προσφοράς και την ανάπτυξη του τομέα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ΕΕ στοχεύει να επιτύχει ένα πιο βιώσιμο και ασφαλές ενεργειακό μέλλον.

5.2 Η επίδραση της εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία στην υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων.

Η κρίση Ρωσίας-Ουκρανίας έχει τονίσει τη σημασία του LNG στο παγκόσμιο μείγμα ενεργειακών εμπορευμάτων. Η ανεφοδιασμός LNG πρόκειται να λάβει ώθηση από έναν αυξανόμενο στόλο πλοίων, αντανακλώντας την ανάγκη να στραφούν σε καθαρότερα καύσιμα πλοίων καθώς διαφαίνονται διεθνείς περιβαλλοντικοί κανόνες. Ο πρόεδρος του SEA-LNG, Peter Keller, δήλωσε σε συνέντευξή του ότι η τρομερή κατάσταση στην Ουκρανία έχει τονίσει τη σημασία του LNG ως πηγής ενέργειας και ενίσχυσε την αντίληψη ότι οι ενεργειακές μεταβάσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν σε μια τακτική και καλά σχεδιασμένη διαδικασία (International Shipping News, 2022).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σχεδίασε να καταργήσει σταδιακά τις εισαγωγές ρωσικού αργού πετρελαίου εντός έξι μηνών, μετατοπίζοντας την εστίαση από τα ορυκτά καύσιμα και το ρωσικό φυσικό αέριο. Ως αποτέλεσμα, φαίνεται να υποστηρίζονται οι παγκόσμιες τιμές LNG. Το στενό ισοζύγιο εφοδιασμού LNG αναμένεται να παραμείνει, διατηρώντας τις τιμές πάνω από \$15/MMBtu ετησίως τουλάχιστον έως το 2025. Η Ευρώπη προσπαθεί να αντικαταστήσει τις ροές των ρωσικών αγωγών με LNG εν μέσω ενός νέου κύματος έργων υγροποίησης που έρχονται στο διαδίκτυο, σύμφωνα με την S&P Global Commodity Insights (International Shipping News, 2022).

Παρά τους σκεπτικιστές που μπορεί να αναρωτιούνται αν είναι καλή ιδέα να προχωρήσουμε στο LNG, ιδιαίτερα καθώς οι τιμές ενισχύθηκαν από την εισβολή στην Ουκρανία, τα οφέλη του LNG για τη ναυτιλία εξακολουθούν να το κρατούν σε καλή θέση καθώς προσφέρει μια

μετάβαση σε καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. με βάση τη σταδιακή απαλλαγή από τον άνθρακα των υφιστάμενων περιουσιακών στοιχείων καθώς αναπτύσσονται οι υποδομές παραγωγής καυσίμων, μεταφοράς, αποθήκευσης και ανεφοδιασμού καυσίμων και τεχνολογίες κινητήρων (Craig, 2022).

Ο Keller είπε ότι το LNG είναι ένα καύσιμο σε μεταβατικό στάδιο, όχι μεταβατικό. Θα ακολουθήσει ένα μελλοντικό μονοπάτι που οδηγεί στο Bio-LNG, το οποίο ήδη χρησιμοποιείται, και τελικά σε συνθετικό ή ηλεκτρονικό μεθάνιο. Αυτή είναι μια σαφής και αποδεκτή διαδρομή που παρέχει κρίσιμα οφέλη για την ποιότητα του αέρα καθώς και απαλλαγή από τον άνθρακα. Λίγο πάνω από το 30% της χωρητικότητας του τρέχοντος βιβλίου παραγγελιών τροφοδοτείται με καύσιμο LNG, ενώ ο στόλος πλοίων καυσίμων LNG, τόσο σε λειτουργία όσο και κατόπιν παραγγελίας, πλησιάζει ήδη τα 75 παγκοσμίως (International Shipping News, 2022).

Η DNV προτείνει ότι ο στόλος LNG βαθέων υδάτων έφτασε περίπου τα 1.000 πλοία μέχρι το τέλος του 2022. Αυτό είναι σημαντικό, σύμφωνα με τον Keller. Πολλές ναυτιλιακές εταιρείες στην Ασία, καθώς και ναυλωτές, αγκαλιάζουν επίσης πλοία με καύσιμα LNG. Η Pacific International Lines έχει συνάψει σύμβαση με τη Jiangnan Shipyard για την κατασκευή τεσσάρων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 14.000 TEU που θα είναι εξοπλισμένα με κινητήρες διπλού καυσίμου και βοηθητικά για να λειτουργούν τόσο με LNG όσο και με μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η Ιαπωνική Mitsui O.S.K. H Lines έχει δεσμευτεί για το LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο και στοχεύει να δρομολογήσει περίπου 90 πλοία με καύσιμα LNG έως το 2030 (International Shipping News, 2022).

Τον Φεβρουάριο του 2021, η BHP της Ινδίας υποδέχθηκε το MV Mt. Tourmaline, το πρώτο στον κόσμο πλοίο μεταφοράς χύδην Newcastlemax με καύσιμα LNG, το οποίο είχε ναυλώσει από την Eastern Pacific Shipping στη Σιγκαπούρη για την πρώτη του επιχείρηση ανεφοδιασμού με LNG. Η ανεφοδιασμός LNG είναι διαθέσιμη σε μεγάλα λιμάνια σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Ασίας. Η Σιγκαπούρη, το μεγαλύτερο λιμάνι ανεφοδιασμού στον κόσμο, ανεφοδιάστηκε το πρώτο της πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με καύσιμα LNG το 2021, όταν το FuelLNG Bellina παρείχε

ανεφοδιασμό από πλοίο σε πλοίο για το CMA CGM Scandola (International Shipping News, 2022).

Ενώ οι σκεπτικιστές έχουν εγείρει το ζήτημα της ολίσθησης μεθανίου από πλοία με καύσιμα LNG ως αναγνωρισμένο πρόβλημα, η SEA-LNG είναι απογοητευμένη βλέποντας τη συνεχιζόμενη εκστρατεία παραπληροφόρησης που παραποιεί την πρόοδο που έχει σημειώσει και συνεχίζει να κάνει η βιομηχανία για τη μείωση της ολίσθησης. Ο συνασπισμός ανέφερε μια μελέτη Sphera, η οποία έδειξε ότι οι κινητήρες με καύσιμο LNG έχουν οφέλη GHG σε σύγκριση με τους τρέχοντες κινητήρες με βάση το λάδι μεταξύ 20% και 30% για 2χρονους κινητήρες αργής ταχύτητας και 11% έως 21% για 4χρονους κινητήρες μεσαίας ταχύτητας, συμπεριλαμβανομένης της ολίσθησης μεθανίου (International Shipping News, 2022).

Τα οφέλη GHG θα βελτιωθούν μόνο σε μελλοντικές εκδόσεις κινητήρων με καύσιμο LNG, καθώς οι τεχνολογίες υιοθετούνται ευρύτερα από τους πλοιοκτήτες του ναυτιλιακού τομέα κατανοούν ότι η δράση τώρα είναι πολύ καλύτερη για το περιβάλλον από την αναμονή για μια αναπόδεικτη μελλοντική εναλλακτική (Oxford Institute for Energy Studies, 2022).

Ο αντίκτυπος της κρίσης Ρωσίας-Ουκρανίας στη βιομηχανία LNG ήταν σημαντικός, με πολλές ευρωπαϊκές χώρες να επιδιώκουν να μειώσουν την εξάρτησή τους από τις εισαγωγές ρωσικού φυσικού αερίου. Αυτό οδήγησε σε αυξημένη ζήτηση για LNG ως καθαρότερη και ασφαλέστερη πηγή ενέργειας. Η κρίση έχει επίσης τονίσει τη σημασία μιας καλά σχεδιασμένης διαδικασίας ενεργειακής μετάβασης και την ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας που μπορούν να υποστηρίξουν τον αυξανόμενο στόλο πλοίων (Safety4Sea, 2022).

Ως αποτέλεσμα, η ανεφοδιασμός LNG πρόκειται να λάβει ώθηση από έναν αυξανόμενο στόλο πλοίων, αντανακλώντας την ανάγκη να στραφούν σε καθαρότερα καύσιμα πλοίων, καθώς οι διεθνείς περιβαλλοντικοί κανόνες διαφαίνονται. Η ναυτιλιακή βιομηχανία βρίσκεται υπό πίεση να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα και το LNG προσφέρει μια μετάβαση σε καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα οφέλη του LNG για τη

ναυτιλία το κρατούν σε καλή θέση και αναμένεται να παραμείνει κρίσιμο μέρος του ενεργειακού μείγματος για το άμεσο μέλλον (Safety4Sea, 2022).

Συμπερασματικά, ο αντίκτυπος της κρίσης Ρωσίας-Ουκρανίας στη βιομηχανία LNG έχει αναδείξει τη σημασία του LNG ως πηγής ενέργειας και ενίσχυσε την ανάγκη για μια καλά σχεδιασμένη διαδικασία ενεργειακής μετάβασης. Η παγκόσμια στροφή προς καθαρότερα ναυτιλιακά καύσιμα αναμένεται να στηρίξει τη ζήτηση για LNG και να διατηρήσει τις τιμές πάνω από \$15/MMBtu ετησίως έως τουλάχιστον το 2025. Η ανάπτυξη του στόλου πλοίων LNG και η διαθεσιμότητα ανεφοδιασμού LNG σε μεγάλα λιμάνια παγκοσμίως είναι κρίσιμες για την περαιτέρω υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων. Παρά τον σκεπτικισμό, τα μακροπρόθεσμα οφέλη του LNG ως καυσίμου σε μετάβαση παραμένουν σαφή και η βιομηχανία πρόκειται να συνεχίσει την ανάπτυξή της τα επόμενα χρόνια.

Επίλογος

Οι προγραμματιστές τεχνολογίας έχουν σχεδιάσει και αναπτύξει μια μεγάλη ποικιλία λύσεων μείωσης, οι οποίες επιδιώκουν την τήρηση των ορίων στις εκπομπές CO₂, NO_x και SO_x, ως συνέπεια της υιοθέτησης νέων κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τεχνολογίες μείωσης CO₂, π.χ. μείωση της αντίστασης του σκάφους, αύξηση της προωστικής απόδοσης και μείωση της βοηθητικής κατανάλωσης. Τεχνολογίες μείωσης NO_x, για παράδειγμα LNG ως καύσιμο πλοίων, EGR, SCR και συστήματα έγχυσης νερού. και τεχνολογίες μείωσης SO_x, για παράδειγμα EGS και καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Κατά τη σύγκριση του εύρους επιλογών, το LNG ως καύσιμο πλοίου φαίνεται να είναι μια διαθέσιμη και πιθανή λύση, καθώς το LNG αφαιρεί τις εκπομπές SO_x και PM, μειώνει τις εκπομπές NO_x έως και 90% και ελαχιστοποιεί τις εκπομπές CO₂ περίπου κατά 20%. Είναι μια ώριμη τεχνολογία στη ναυτιλιακή βιομηχανία και είναι εμπορικά ελκυστική. Ωστόσο, η εφαρμογή του LNG πρέπει να ξεπεράσει πολλές προκλήσεις: κινητήρες με καύσιμο LNG, δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, συστήματα παροχής αερίου και υποδομές LNG.

Όσον αφορά τους κινητήρες με καύσιμο LNG, οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει κυρίως δύο διαφορετικούς τύπους, τους κινητήρες αερίου άπαχου καυσίμου και τους κινητήρες DF.

Αφενός, οι κινητήρες αερίου άπαχου καυσίμου παρουσιάζουν υψηλή ανοχή ποιότητας αερίου και δεν απαιτούν πρόσθετα καύσιμα (HFO, IFO, MGO ή MDO), ωστόσο, περιορίζουν τη λειτουργικότητα των πλοίων σε περιοχές με εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού LNG, δεδομένου ότι μπορούν να εφοδιάζονται με LNG. Από την άλλη πλευρά, οι κινητήρες DF μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με LNG είτε με υγρά καύσιμα, επιτρέποντας στα πλοία να λειτουργούν σε περιοχές όπου η υποδομή LNG δεν είναι διαθέσιμη, ακόμη και τα σκληρά, συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου κινητήρων DF περιλαμβάνουν περισσότερο εξοπλισμό, καθώς οι κινητήρες DF μπορούν να λειτουργούν και με LNG και με LNG και MDO ή MGO. Επιπλέον, οι κινητήρες DF μπορούν να χωριστούν σε τετράχρονους κινητήρες DF, που λειτουργούν σε χαμηλή πίεση και σε δίχρονους κινητήρες DF, που λειτουργούν σε υψηλή πίεση και απαιτούν πρόσθετες αντλίες για την αύξηση της πίεσης LNG. Επιπλέον, οι κινητήρες DF υψηλής πίεσης απαιτούν μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου πιλότου από τους κινητήρες DF χαμηλής πίεσης και η καύση φυσικού αερίου δεν είναι εγγυημένη σε χαμηλά φορτία, και επομένως, μπορούν να εγκατασταθούν μόνο σε πλοία με υψηλά και σταθερά φορτία κινητήρα. Συμπερασματικά, τα επιβατηγά πλοία και τα PSV είναι συχνά εξοπλισμένα με τετράχρονους κινητήρες DF, καθώς μεταβάλλουν συνεχώς το φορτίο του κινητήρα τους και τα μεγάλα σκάφη είναι εξοπλισμένα με δίχρονους κινητήρες DF.

Όσον αφορά τις δεξαμενές καυσίμου LNG, τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση του LNG σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και η πυκνότητά του αυξάνουν σημαντικά το μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων μειώνοντας τον χώρο φορτίου. Από τη μία πλευρά, τα μεγάλα σκάφη μπορούν να εξοπλιστούν με τρεις διαφορετικούς τύπους δεξαμενών, αν και απαιτούν περαιτέρω ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά, τα μικρά σκάφη είναι εξοπλισμένα με δεξαμενές τύπου C με μόνωση κενού. Γι' αυτό, το LNG ως καύσιμο πλοίων δεν έχει εξαπλωθεί σε μεγάλα πλοία, όπως πλοία μεταφοράς χύδην ή αργού πετρελαίου, και έχει εφαρμοστεί σε ένα βαθμό σε μικρά πλοία, π.χ. επιβατηγά πλοία, PSV και ρυμουλκά. Όσον αφορά τα συστήματα παροχής αερίου, σχεδιάζονται με βάση την πίεση λειτουργίας του κινητήρα. Τα συστήματα παροχής αερίου για κινητήρες χαμηλής πίεσης απαιτούν λιγότερο χώρο, καθώς δεν χρειάζεται να αυξάνουν την πίεση του φυσικού αερίου και προσφέρουν μια συμπαγή διαμόρφωση, η οποία μεγιστοποιεί την αποθήκευση LNG και βελτιστοποιεί τον απαιτούμενο χώρο, ενώ τα συστήματα παροχής αερίου για κινητήρες υψηλής πίεσης απαιτούν κρυογονικές αντλίες και συμπιεστές έτσι ώστε να αυξηθεί η πίεση του φυσικού αερίου και, κατά συνέπεια, να μειωθεί ακόμη περισσότερο ο χώρος φορτίου.

Παρά το γεγονός ότι η εξαγωγή LNG από μονάδες παραγωγής και υγροποίησης σε τερματικούς σταθμούς εισαγωγής είναι μια καλά εδραιωμένη βιομηχανία, δεν συνεπάγεται διαθεσιμότητα LNG από τερματικούς σταθμούς εξαγωγής ή εισαγωγής σε πλοία καυσίμου LNG. Επιπλέον, η αβεβαιότητα της αγοράς για πλοία με καύσιμα LNG εμποδίζει την ανάπτυξη υποδομών ανεφοδιασμού LNG, καθώς απαιτούν τεράστια επένδυση. Ωστόσο, η υιοθέτηση νέων κανονισμών για την ατμοσφαιρική ρύπανση έχει τονώσει την πρόταση και τον σχεδιασμό εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου, ειδικά σε λιμάνια που βρίσκονται σε ECA. Μέχρι σήμερα, η πλειονότητα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου βρίσκεται στην ευρωπαϊκή SECA, επειδή τα περισσότερα πλοία με καύσιμα LNG λειτουργούν στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας.

Όλοι οι τύποι πλοίων μπορούν να εφαρμόσουν LNG, αλλά ορισμένα τμήματα σκαφών παρουσιάζουν υψηλότερο δυναμικό, το οποίο εξαρτάται από πολλά χαρακτηριστικά. Μετά την ανάλυσή τους, εξάγονται αρκετά συμπεράσματα σχετικά με το δυναμικό πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG. Πρώτον, το LNG ως καύσιμο πλοίων είναι διαθέσιμο είτε για νέα κτίρια με καύσιμα LNG είτε για υπάρχοντα πλοία, αν και τα περισσότερα πλοία με καύσιμα LNG είναι νέα κτίρια λόγω της μετασκευής των υπάρχοντων πλοίων απαιτούν τεράστια επένδυση και συνεπάγονται σημαντικές τροποποιήσεις στο μηχανοστάσιο. Δεύτερον, τα τοπικά πλοία, τα ακτοπλοϊκά και τα πλοία που καλύπτουν διαδρομές SSS περνούν τον περισσότερο χρόνο τους μέσα σε ECA, επομένως, τα πορθμεία, τα ρυμουλκά, τα PSV και τα containerships είναι πιθανό να τροφοδοτούν τους κινητήρες τους με LNG. Τρίτον, τα πλοία που δραστηριοποιούνται σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα υποδομών LNG είναι εγγυημένη και η τιμή του LNG είναι χαμηλότερη από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων είναι δυνητικοί καταναλωτές LNG προκειμένου να τροφοδοτήσουν τους κινητήρες τους. Στη συνέχεια, τα πλοία που εκτελούν σταθερή διαδρομή με εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού LNG στο λιμάνι, στα λιμάνια ή στο λιμάνι προορισμού είναι αρκετά κατάλληλα για να εφοδιαστούν με LNG ως αποτέλεσμα της έλλειψης διαθεσιμότητας LNG παγκοσμίως. Επιπλέον, τμήματα πλοίων, όπως κρουαζιερόπλοια, επιβατηγά πλοία και PSV, που αναζητούν πράσινες αξίες ή εκμεταλλεύονται τα μόνους βιωσιμότητας απαιτούν μια φιλική προς το περιβάλλον λύση για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών όπως το LNG ως καύσιμο πλοίων. Τέλος, το κόστος εξοπλισμού, ο χρόνος λειτουργίας εντός των ECA και η τιμή LNG λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας των πλοίων με καύσιμα LNG.

Συμπερασματικά, η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία το 2022 είχε σημαντικές επιπτώσεις στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και στην υιοθέτηση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου. Η διακοπή του εφοδιασμού φυσικού αερίου από τη Ρωσία ώθησε την ΕΕ και άλλες χώρες να επιταχύνουν τις προσπάθειές τους να μειώσουν την εξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου και να διαφοροποιήσουν τις πηγές ενέργειας τους. Η υιοθέτηση του LNG ως καυσίμου πλοίων έχει αναγνωριστεί ως μία από τις βασικές στρατηγικές για την επίτευξη αυτού του στόχου, δεδομένης της δυνατότητάς του να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα.

Όπως τονίζεται σε αυτό το δοκίμιο, έχουν υπάρξει αρκετές πρόσφατες εξελίξεις στην αγορά LNG που υποδηλώνουν την αυξανόμενη σημασία του ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικής και οικονομικής υποδομής ανεφοδιασμού LNG, την είσοδο μεγάλων εταιρειών ενέργειας στην αγορά και την αυξανόμενη ζήτηση για καθαρότερες επιλογές ναυτιλίας από μεγάλες ναυτιλιακές εταιρείες.

Παρά τα πιθανά οφέλη του LNG ως καυσίμου πλοίων, υπάρχουν επίσης αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αυτά περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος κεφαλαίου που σχετίζεται με τη μετασκευή υφιστάμενων πλοίων για χρήση με LNG, την περιορισμένη διαθεσιμότητα εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού LNG σε ορισμένες περιοχές και την ανάγκη για μεγαλύτερη συνεργασία και τυποποίηση μεταξύ των ενδιαφερομένων στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Συνολικά, η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία έχει υπογραμμίσει τη σημασία της διαφοροποίησης των πηγών ενέργειας και της μείωσης της εξάρτησης από οποιονδήποτε μεμονωμένο προμηθευτή ή περιοχή. Η υιοθέτηση του LNG ως θαλάσσιου καυσίμου αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για την επίτευξη αυτών των στόχων, ενώ παράλληλα υποστηρίζει τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, οι ηγέτες του κλάδου και άλλοι ενδιαφερόμενοι να συνεχίσουν να

εργάζονται μαζί για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις και να προωθήσουν την υιοθέτηση του LNG ως βασικό συστατικό του ενεργειακού μείγματος.

Βιβλιογραφία

Adamchak, F., & Adede, A. (2013). LNG As Marine Fuel. LNG-17 Conference. Retrieved from http://www.gastechnology.org/Training/Documents/LNG17-proceedings/7-1-Frederick_Adamchak.pdf

Baumgart, M., & Bolsrad, J. H. (2010). LNG-Fueled Vessels in the Norwegian Short-Sea Market. NORGES HANDELSHØYSKOLE.

Brynolf, S., Magnusson, M., Fridell, E., & Andersson, K. (2014). Compliance possibilities for the future ECA regulations through the use of abatement technologies or change of fuels. *Transportation Researchv Part D:Transport and Environment*, 28(X), 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.12.001>

Craig Jallal (2022) The Ukraine war, the LNG industry and the ramifications.

DNV-GL. (n.d.-a). DNV GL Vessel Register - M/T BORGØY.

DNV-GL. (n.d.-b). LNG as ship fuel. A focus on the current and future use of LNG as fuel in shipping.

DNV-GL. (n.d.-c). LNG Safety.

DNV-GL. (2012). Shipping 2020. Retrieved from http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2012_DNV_Shipping_2020_-_final_report.pdf

DNV-GL. (2014a). LNG as Ship Fuel: The Future - Today.

DNV-GL. (2014b). Rules for classification of ships, Part 6, Chapter 13 Gas-Fuelled Ship Installations. Ships/High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft.

DNV-GL. (2015a). IMO NOX TIER III REQUIREMENTS TO TAKE EFFECT ON JANUARY 1 ST 2016.

DNV-GL. (2015b). IN FOCUS – LNG AS SHIP FUEL.

DNV-GL. (2016a). DNV GL – LNG fuelled vessels. Retrieved from <http://www4.dnvgl.com/e/62522/rld->

DNV-GL. (2016b). UPCOMING ENVIRONMENTAL REGULATIONS FOR EMISSIONS TO AIR – IMO NO_x TIER

DNV GL. (2020). Alternative Fuels Insight: LNG.

<https://www.dnvgl.com/maritime/publications/alternative-fuels-insight-lng-170377>

European Parliament. (2020). Alternative Fuels for Shipping: Options, Possibilities and Promotion.

Halser, C. and Parashiv, F. (2022). Pathways to Overcoming Natural Gas Dependency on Russia—The German Case.

Haraldson, L. (2011). LNG as a fuel for environmentally friendly shipping: Retrofit perspective. 33rd Motorship Propulsion & Emissions Conference. Retrieved from http://www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/Documents/Bunkering_operations_and_ship_propulsion/Wartsila-SP-ppt-2011-LNGretrofit.pdf

IMO. (n.d.-a). Air Pollution, Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions.

IMO. (n.d.-b). Energy Efficiency Measures.

IMO. (n.d.-c). Greenhouse Gas Emissions.

IMO. (n.d.-d). IMO-European Union Project on Capacity Building for Climate Change Mitigation in the Maritime Shipping Sector.

IMO. (n.d.-e). International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code).

IMO. (n.d.-f). Introduction to IMO.

IMO. (n.d.-g). Low carbon shipping and air pollution control.

IMO. (n.d.-h). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 70th session, 24-28 October 2016.

IMO. (n.d.-i). New requirements for international shipping as UN body continues to address greenhouse gas emissions.

IMO. (n.d.-j). Nitrogen oxides (NO_x) – Regulation 13.

IMO. (n.d.-k). Prevention of Air Pollution from Ships.

IMO. (n.d.-l). Sulphur oxides (SO_x) – Regulation 14.

IMO. (n.d.-m). Technical Co-operation (TC).

IMO. (2011a). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) - Annex VI Prevention of Air Pollution from Ships. Retrieved from <http://vp.imo.org/Custom/Subscriptions/IMOVEGA/MemberPages/Contents.aspx?nodeId=IDCC 83AD65>

IMO. (2011b). Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping.

IMO. (2014a). DRAFT INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR SHIPS USING GASES OR OTHER LOW-

FLASHPOINT FUELS (IGF CODE). Retrieved from http://www.lng-info.de/fileadmin/Normen/Draft_IGF-Code_26.04._2013_rev.12.07.2013.pdf

IMO. (2014b). Third IMO GHG Study 2014. Retrieved from <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/ThirdGreenhouseGasStudy/GHG3ExecutiveSummaryandReport.pdf>

IMO. (2015). Study of emission control and energy efficiency measures for ships in port area. Air Pollution and energy efficiency studies. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

IMO. (2016a). Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping. Retrieved from <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/LNGStudy.pdf>

IMO. (2016b). Update on IMO's work to address GHG emissions from fuel used for international shipping (Vol. 10). Retrieved from <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/IMOSBSTA45submission.pdf>

International Energy Agency. (2020). The Role of LNG in the Transition to Low-Carbon Shipping. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-lng-in-the-transition-to-low-carbon-shipping>

International Association of Ports and Harbors. (2019). Recommendations for Safe Bunkering Operations of Liquefied Natural Gas Fuelled Vessels at Maritime LNG Bunkering Facilities. <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/05/2019-IAPH-Safe-Bunkering-Operations.pdf>

International Shipping News (2022). Russia-Ukraine war puts LNG in the spotlight, cleaner shipping rules: SEA-LNG chairman.

Karlsson, S., & Sonzio, L. (2008). Enabling the safe storage of gas onboard ships with the Wärtsilä LNGPac. Wärtsilä Technical Journal, 52–56. Retrieved from http://www.lngbunkering.org/lng/sites/default/files/2010_Wartsila_safe-storage-gas-lngpac.pdf

Kluijven, P. C. van. (2003). The international maritime language programme. Alk & Heijnen.

Krüger, S. (2011). The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for RoRo-Vessels. Retrieved from www.theicct.org

Levander, O. (2011). Fuel selection for Ro-Ro Vessels. Retrieved from http://www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/Documents/Bunkering_operations_and_ship_propulsion/Wartsila-SP-ppt-2011-RoRo.pdf

Lloyd's Register. (2015). IMO Marine Environment Protection Committee Seventieth session (MEPC 70) Summary Report. Retrieved from http://www.lr.org/en/_images/229-103721_MEPC_70_Summary_Report_-_Rev_1.pdf

MAN Diesel. (2013). ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines. Retrieved from [http://www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/Documents/Bunkering_operations_and_ship_propulsion/ME-GI Dual Fuel MAN Engines.pdf](http://www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/Documents/Bunkering_operations_and_ship_propulsion/ME-GI_Dual_Fuel_MAN_Engines.pdf)

Munko, B. (2013). Supply, storage and handling of LNG as ship's fuel. Retrieved from [http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2013_TGE_Supply, storage and handling of LNG as ship's fuel.pdf](http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2013_TGE_Supply,_storage_and_handling_of_LNG_as_ship's_fuel.pdf)

Oxford Institute for Energy Studies (2022). Quarterly Gas Review: Impact of Conflict in Ukraine and the Short-Term Gas Markets

Safety4sea, (2022). How Russia's invasion of Ukraine impacts shipping: Latest developments

School of Transational Goverance (2022). The impact of the war in Ukraine on Europe's climate and energy policy.

(Craig, 2022) (Halser & Parashiv, 2022) (International Shipping News, 2022) (Oxford Institute for Energy Studies, 2022) (Safety4Sea, 2022) (School of Transational Goverance, 2022)