ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ στη ΝΑΥΤΙΛΙΑ

«Η Χρήση του LNG στην Ακτοπλοΐα»

Δημήτριος Συμενάκης

Α.Μ.: ΜΝ 16068

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Δεκέμβριος 2024

Δήλωση αυθεντικότητας/ ζητήματα Copyright

Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

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

Τα μέλη της Επιτροπής:

- Παπαδημητρίου Ευστράτιος (Επιβλέπων)
- Χατζηνικολάου Στέφανος
- Πολέμης Διονύσιος

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

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του προγράμματος για όλες τις γνώσεις που μου μετέδωσαν και με βοήθησαν να εργάζομαι στον κλάδο της Ναυτιλίας.

Ιδιαιτέρως ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ευστράτιο Παπαδημητρίου για την βοήθεια του αλλά και για τη στήριξη του για ολόκληρο το ακαδημαϊκό μου ταξίδι συμπεριλαμβανομένης και της διπλωματικής εργασίας. Θερμές επίσης ευχαριστίες στα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Πολέμη Διονύσιο και κ. Χατζηνικολάου Στέφανο αλλά και στον αείμνηστο κ. Τζαννάτο Ερνέστο.

Τέλος εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην οικογένεια μου, στη σύζυγο μου Ραφαηλία και την αγαπητή φίλη Έλλη για την υπομονή, τη στήριξη αλλά και για τη σημαντική συμβολή τους στην προσπάθεια μου να φέρω εις πέρας τη Διπλωματική μου εργασία.

Αφιέρωση

Αφιερώνω τη Διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου, Βασίλειο και Αννίτα, στον αδερφό μου Νικόλαο, στη σύζυγο μου Ραφαηλία για τη βοήθεια τους σε όλο το ακαδημαϊκό μου ταξίδι.

Επίσης ιδιαίτερη αφιέρωση στην κόρη μου Αννίτα – Μιχαηλία.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή, η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι κοινωνικοοικονομικές συνέπειες καθιστούν απαραίτητη την εύρεση φιλικότερων προς το περιβάλλον λύσεων σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στην εν λόγω προσπάθεια συγκαταλέγεται η αξιοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) στην ναυτιλία ως καύσιμο. Η ακτοπλοΐα γενικότερα υστερεί σε σχέση με τη ποντοπόρο ναυτιλία όσων αφορά τις πράσινες επενδύσεις. Η παρούσα εργασία καταγράφει τους τρόπους εξόρυξης, παραγωγής, αγοράς και μεταφοράς του ΥΦΑ ως καύσιμο συγκρίνοντας το με άλλες τεχνολογίες και καύσιμα που περιορίζουν τους ρύπους. Αφού παρουσιαστούν οι κανονισμοί χρήσης του από διάφορους οργανισμούς και αποτιμηθεί η χρήση του εστιάζουμε στο τρόπο αξιοποίησης του στην Ελλάδα. Συμπερασματικά το ΥΦΑ αναδεικνύεται σαν ένα ιδανικό μεταβατικό καύσιμο για τη ναυτιλία. Το κυριότερο μέλημα για την αξιοποίηση του είναι οι απαραίτητες μετασκευές στα ήδη υπάρχοντα πλοία και οι περιορισμένοι σταθμοί ανεφοδιασμού.

Λέξεις κλειδιά: Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ), Ακτοπλοΐα, Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα, Ενεργειακή Απόδοση, Κανονισμοί Ναυτιλίας

Abstract

Climate change, air pollution, and socioeconomic consequences make it necessary to find more environmentally friendly solutions in all areas of human activity. These efforts include the utilization of liquefied natural gas (LNG) as fuel in the maritime industry. Coastal shipping, in general, lags behind ocean-going shipping in terms of green investments. This disertation records the methods of extraction, production, purchase, and transportation of LNG as a fuel, comparing it with other technologies and fuels that reduce emissions. After presenting the usage regulations from various organizations and evaluating its use, we focus on the method of its utilization in Greece. In conclusion, LNG emerges as an ideal transitional fuel for shipping. The main concern for its utilization is the necessary modifications to the existing ships and the limited refueling stations.

Key words : Liquified Natural Gas (LNG), Coastal Shipping, Environmental Sustainability, Energy Efficiency, Maritime Regulations

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την ώρα που τα καύσιμα των χερσαίων μεταφορών συμμορφώνονται με ολοένα αυστηρότερα περιβαλλοντικά πρότυπα προς εξυγίανση της ατμόσφαιρας, η διεθνής ναυτιλία έχει υποβληθεί σε λίγες τέτοιες μεταρρυθμίσεις. Μολονότι η ακτοπλοΐα αναγνωρίζεται ως ο ενεργειακά αποτελεσματικότερος τρόπος μεταφοράς αγαθών αποσυμφορώντας τα βεβαρυμμένα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη του παγκόσμιου στόλου επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον: Η διεθνής ναυτιλία χρησιμοποιεί φθηνά πετρέλαια αμφίβολης ποιότητας προ πολλού εγκαταλελειμμένα στις χερσαίες μεταφορές. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ναυτιλίας έχει μείνει αμετάβλητο την τελευταία εικοσαετία, παρότι η ναυτιλιακή δραστηριότητα έχει παγκοσμίως αυξηθεί.

Ενώ τα πλοία δεν είναι η κύρια αιτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποτελούν τη βασικότερη αιτία μόλυνσης των παράκτιων περιοχών. Στην πραγματικότητα, οι εκπομπές του θείου (S) από τα καυσαέρια πλοίων κυμαίνονται από 4,5 μέχρι 6,5 εκατομμύρια τόνους ετησίως, καλύπτοντας το 4% των παγκόσμιων εκπομπών. Ανάλογα, οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) ανέρχονται περίπου στους 5 εκατομμύρια τόνους -περίπου στο 7% των συνολικών παγκοσμίων εκπομπών. Η ναυτιλία εκτιμάται ότι παράγει το 2,7% των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) παγκοσμίως, επιβαρύνοντας όλο και περισσότερο το περιβάλλον. Ένα τμήμα αυτών των ρύπων απελευθερώνεται στις ανοιχτές θάλασσες μετριάζοντας κάποιες από τα επιδράσεις τους. Ωστόσο αυτό δεν ισχύει για τις ακτοπλοϊκές διαδρομές. Χάρις την προσήνειά τους στην ακτή, οι εκπομπές των πλοίων οξύνουν τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Τα αυξημένα επίπεδα θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στα φαινόμενα όξινης βροχής βλάπτοντας τη γεωργία και την αρχιτεκτονική. Μάλιστα, η εισπνοή των σωματιδίων από τους επιβαίνοντες και τους κατοίκους αυξάνουν την πιθανότητα καρδιαγγειακών επεισοδίων κα αναπνευστικών προβλημάτων.

Τα εν λόγω πορίσματα είναι ιδιαίτερα ανησυχητικά για την Ελλάδα. Η ναυτιλία, καλύπτοντας το 7% του ΑΕΠ, αποτελεί βασικό πυλώνα ανάπτυξης της χώρας, ενισχύοντας την οικονομική, εθνική και διπλωματική της ισχύ. Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με την Ετήσια Έκθεση της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών (2022-2023), η Ελλάδα αποτελεί την ισχυρότερη ναυτιλιακή δύναμη παγκοσμίως. Την τελευταία μόλις δεκαετία η συνολική χωρητικότητα του ελληνικού εμπορικού στόλου έχει αυξηθεί

κατά 50%. Ταυτόχρονα εκτός από το πολύτιμο φυσικό και δομημένο περιβάλλον κατά μήκος της ιδιαίτερα εκτεταμένης ελληνικής ακτογραμμής, η πυκνότητα του παράκτιου ανθρώπινου πληθυσμού -μόνιμου και παραθεριστικού- είναι ιδιαίτερα υψηλή με το 33% και 85% του μόνιμου πληθυσμού της χώρας να κατοικεί εντός 2 και 50 χλμ. από την ακτή αντίστοιχα.

Ο προσανατολισμός της παγκόσμιας κοινότητας γενικότερα και του ΙΜΟ ειδικότερα στη μείωση των εκπομπών καυσαερίων έως το 2030 παρακινεί τόσο τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις όσο και τα λιμάνια στην υιοθέτηση πιο οικολογικών πρακτικών. Η επονομαζόμενη «πράσινη ναυτιλία» ενέχει τόσο συναισθηματικά όσο και λειτουργικά οφέλη. Οι ναυτιλιακές εταιρίες χρησιμοποιούν τη λειτουργική βιωσιμότητα για να βελτιώσουν τη φήμη της επωνυμίας τους και να ενισχύσουν τη δέσμευση των πελατών τους. Ταυτόχρονα, περιβαλλοντικά υπόλογες εταιρίες αποδίδουν καλύτερα συγκριτικά με εταιρίες που εστιάζουν μόνο στα κέρδη τους, καθώς αυξάνουν την κερδοφορία μέσω της πίστεως, αυξάνουν την ικανοποίηση των πελατών και ευοδωθούν συνασπισμούς με άλλες, ιδεολογικά πράσινες εταιρείες.

Καθώς τα επιτρεπτά όρια των ρύπων περιορίζονται από κανονισμούς και νομοσχέδια , οι προσπάθειες επικεντρώνονται στη δημιουργία καινοτόμων τεχνολογικών μέσων που επιτελούν αυτό το σκοπό. Παραδείγματα των εν λόγω τεχνολογικών λύσεων είναι η τεχνική αποθείωσης καυσαερίων (scrubbers) και η τεχνική “water fuel emulsion.”

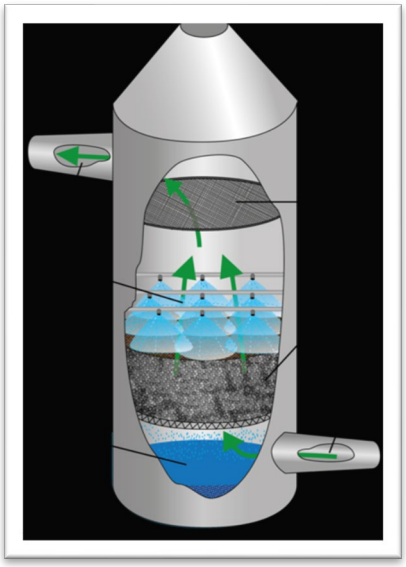
Όσον αφορά τη ναυτιλία, ο όρος scrub (τρίβω) επινοήθηκε για να περιγράψει συσκευές που χρησιμοποιούσαν υγρό αποβλέποντας στην απομάκρυνση ανεπιθύμητων αερίων, εμβάλλουν στερεό, ή μεγάλης πυκνότητας υγρό υλικό από τις εκπομπές μηχανών. Η τεχνική scrubbers είναι σύστημα καθαρισμού καυσαερίων που απαιτεί την εγκατάσταση συγκεκριμένων τεχνολογικών μονάδων με ειδικές κατασκευές κινητήρων που επιτελούν την άνωθεν λειτουργία.

Τα scrubbers διακρίνονται σε τρείς βασικές κατηγορίες: τα scrubbers υγρού τύπου, που, με τη σειρά τους, είναι είτε ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος, τα υβριδικά scrubbers και τα scrubbers ξηρού τύπου. Ενόσω βρίσκεται σε λειτουργία, ο κινητήρας ενός πλοίου εκπέμπει καυσαέρια. Πριν τη χρήση των scrubbers, τα καυσαέρια απελευθερώνονταν απευθείας στην ατμόσφαιρα. Χάρις το εν λόγω σύστημα, τα οξείδια του θείου (SO_x) που περιέχονται στα καυσαέρια διέρχονται από ένα ρεύμα νερού που

αντιδρά μαζί τους, σχηματίζοντας, τοιουτοτρόπως, θειικό οξύ H_2SO_4) και απομακρύνοντας το από το σύστημα. Τα scrubber ανοιχτού κυκλώματος αξιοποιούν υγρά απόβλητα για την διαδικασία καθαρισμού, ενώ τα κλειστού κυκλώματος πόσιμο, πλην επεξεργασμένο με αλκαλικές χημικές ουσίες νερό. Τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούν αμφότερους τους τύπους.

Τα scrubber επιτρέπουν στα πλοία να χρησιμοποιούν φθηνότερα και υψηλότερα σε περιεκτικότητα θείου καύσιμα που συμμορφώνονται προδιαγραφές εκπομπών ρύπων του IMO. Αυτά τα συστήματα καθαρισμού παρέχουν ποσοστό μείωσης των εκπομπών του θείου στην ατμόσφαιρα της τάξης του 98%. Ουσιαστικά, τα scrubber λειτουργούν σαν καταιωνιστήρες: ψεκάζουν το νερό με διάλυμα και με την έξοδο των καυσαερίων αντιδρούν με τον όξινο χαρακτήρα τους. Η αντίδραση που προκύπτει δημιουργεί ένα είδος λάσπης που αποθηκεύεται μέχρι την έλευση του πλοίου στο λιμάνι. Εκεί αποβάλλεται. Παρότι τα πλοία δύνανται, έτσι, να χρησιμοποιούν βαρύ καύσιμο, η διαδικασία αυτή καθαυτή είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα. Προβλήματα, επίσης, δημιουργεί η διαχείριση των αποβλήτων στον λιμένα καθώς και το κόστος της.

Εικόνα 1. Παράδειγμα συσκευής scrubber



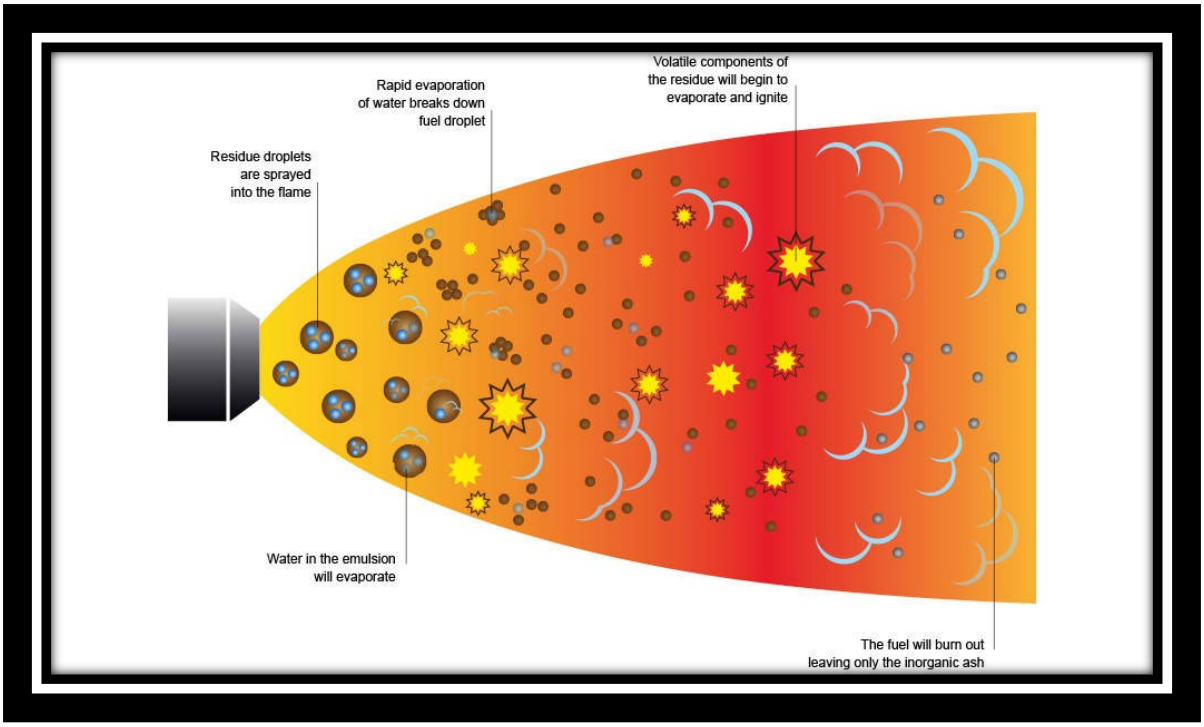
Πηγή: www.waterwisesys.com

Από την άλλη το Water Fuel Emulsion (γαλάκτωμα καυσίμου νερού) είναι μία τεχνική που επίσης επιδιώκει την όσο το δυνατόν χαμηλότερη περιβαλλοντική ρύπανση, τηρώντας τα μέτρα της MARPOL. Στην εν λόγω τεχνική αναμειγνύονται δύο

υγρά -νερό και πετρέλαιο. Το ένα υγρό έχει τη μορφή μικρών σταγονιδίων και εγχέεται εντός του άλλου. Πιο συγκεκριμένα, μέσα σε κύλινδρο εγχέεται μια ποσότητα νερού, που, χάρις την ικανότητά της να απάγει τη θερμοκρασία, μειώνει τη θερμοκρασία καύσης και, συνεπώς, και τους ρύπους των οξειδίων του αζώτου.

Κατά την εφαρμογή του Water Fuel Emulsion εξατμίζεται πρώτα το νερό λόγω της αυξημένης πτητικής του ικανότητας. Η εξάτμιση προκαλεί μικρές εκρήξεις στη συνεχή φάση υδρογονανθράκων που λαμβάνουν βοηθητικό ρόλο κατά το ψεκασμό του καυσίμου. Η εν λόγω διάσπαση είναι επωφελής για την ανάμιξη καυσίμου και αέρα, διότι το στρώμα διασύνδεσης τους είναι μεγαλύτερο από ό,τι θα ήταν χωρίς μικροεκρήξεις. Έτσι, βελτιώνεται η αντίδραση καύσης και η απόδοση της, ενώ μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου. Συγκεκριμένα, τα θειικά οξέα μειώνονται κατά 40%, ενώ τα οξέα αζώτου κατά 30%. Εντούτοις, η χρήση των γαλακτωμάτων περιορίζεται από τη μέγιστη θερμοκρασία στο σύστημα ψεκασμού καυσίμου. Εάν η θερμοκρασία υπερβαίνει το σημείο βρασμού του νερού, το γαλάκτωμα μπορεί να καταστραφεί μέσω της εξάτμισης των σταγονιδίων νερού.

Εικόνα 2 Αναλυτική διαδικασία με water fuel emulsion



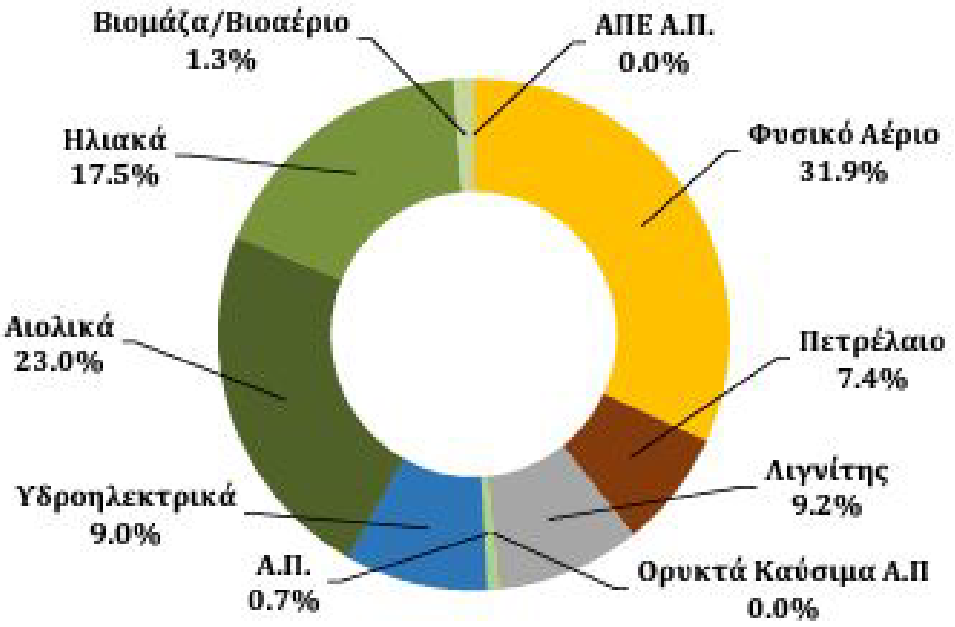
Πηγή: www.incbio.com

Γενικά, τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, διαθέτουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα: η χρήση τους δεν απαιτεί μετατροπές στις εγκαταστάσεις του πλοίου και τις οικονομικές δαπάνες που αυτή συνεπάγεται. Το πλοίο λειτουργεί με τις ίδιες δομές, αλλάζοντας απλά το καύσιμο προς χρήση. Παρόλα αυτά, η όποια εξοικονόμηση επιτυγχάνεται χάρις της διατήρησης των ήδη εγκατεστημένων μονάδων επενδύεται στο κόστος του καυσίμου αυτό καθαυτό, που είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Ταυτόχρονα, τόσο με τα scrubbers όσο και με τα water fuel emulsion δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις της MARPOL.

Πέραν των προαναφερθέντων μεθόδων, μία πιθανή εναλλακτική προς περιορισμό της θαλάσσιας ρύπανσης είναι η αξιοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (liquified natural gas ή LNG) ως καθαρή πηγή ενέργειας. Η χρήση του LNG πληροί όλες τις προϋποθέσεις της MARPOL, καθώς μειώνει τους ρύπους διοξειδίου του θείου, των εκπομπών σωματιδίων και των οξειδίων αζώτου. Εντούτοις, πρόκειται για μία τεχνολογία με υψηλό κόστος εγκατάστασης, ενώ προβλήματα επίσης προκαλούν τα ζητήματα της διαθεσιμότητας και του ανεφοδιασμού.

Λαμβάνοντας υπόψιν την αδιαμφισβήτητα ευεργετική επίδραση της χρήσης φυσικού αερίου, η παρούσα εργασία αποτελεί μία βιβλιογραφική επισκόπηση της χρήσης του ως καύσιμο στην ακτοπλοΐα.

Γράφημα 1. Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής 2023



Πηγή: https://www.dapeep.gr/

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

ΤΟ LNG ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της ανθρωπότητας. Προβλέπεται ότι κάποια στιγμή εντός του 21ου αιώνα το φυσικό αέριο θα διαδεχθεί το πετρέλαιο ως βασική πηγή ενέργειας. Η ναυτιλία ως ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου, καλείται να ανταποκριθεί στην επικείμενη αλλαγή (Γκόνης & Ψαραύτης, 2008).

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου ανάγεται στον 19ο αιώνα και αποδίδεται στον Βρετανό χημικοφυσικό Michael Faraday. Όταν το φυσικό αέριο φτάσει στους -260° F^2 ατμοσφαιρικής πίεσης, υγροποιείται. Ο όγκος του υγροποιημένου φυσικού αεριού ή LNG είναι 600 φορές μικρότερος από το ισοδύναμό του, ενώ το βάρος του προσδιορίζεται στο μισό του βάρους του νερού. Όταν αναμειγνύεται με αέρα, καίγεται μόνο σε ποσότητα 5-15%. Ούτε το LNG ούτε οι αναθυμιάσεις που προκαλεί μπορούν να αναφλεχτούν χωρίς την ύπαρξη ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Έτσι, το φυσικό αέριο είναι μια πρόσφορη εναλλακτική απάντηση στους παράγοντες που προξενούν τη θαλάσσια ρύπανση. Η ορθή χρήση του φυσικού αερίου έγκειται στην αποθήκευση του ως υγρό υπό πίεση και στη συνέχεια στη θέρμανση του σε αέριο πριν από την καύση του. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία συνεπάγεται πληθώρα προκλήσεων που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης και σωληνώσεων (Μπακάλη, 2017).

1.1. Ορίζοντας το Φυσικό Αέριο (ΦΑ)

Καθώς το φυσικό αέριο αποτελεί μία δεσπόζουσας σημασίας πηγή εναλλακτικής ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει την προώθηση του στις χώρες μέλη συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας. Το φυσικό αέριο διακρίνεται από τα υπόλοιπα καύσιμα λόγω της υψηλής καθαρότητας του που μειώνει την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με άμεσες επιπτώσεις στο φαινομένου του θερμοκηπίου. Η χρησιμότητά του εντείνεται εάν συνυπολογιστεί πως η αξιοποίησή του αντικαθιστά άλλες μορφές ενέργειας, οι οποίες στην πλειονότητα τους αποτελούν σημαντικά ρυπογόνα στοιχεία με βλαβερές συνέπειες για το πλανήτη (Πεχλιβάνης, 2010). Ταυτόχρονα, το ΦΑ ενέχει άφθονα προτερήματα και όσον αφορά την οικονομική πολιτική των χωρών: Καθώς η ποικιλία κοιτασμάτων πετρελαίου μειώνεται καθημερινά, με απόρροια την αύξηση της τιμής του, οι κυβερνήσεις των χωρών

προχωρούν στην αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας που να συνδυάζουν το χαμηλό κόστος με τη φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Η ακατέργαστη μορφή του ΦΑ αντλείται ως επί το πλείστων από το υπέδαφος και αποτελεί μίξη υδρογονανθράκων που βρίσκονται σε αέρια μορφή και περιλαμβάνουν κυρίως μεθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, αιθάνιο, πεντάνιο και υδρόθειο. Οι γεωλογικές ανακατατάξεις ανά τους αιώνες εισήγαγαν στο εσωτερικό της γης κατάλοιπα από διάφορες φυτικές και ζωικές ύλες. Η μεγάλη ποσότητα αυτών, σε συνδυασμό με την αυξημένη πίεση και θερμοκρασία -καθώς η αυξανόμενη εμβάθυνση προς το εσωτερικό της γης αντικατοπτρίζεται και από υψηλότερους βαθμούς κελσίου- επιφέρουν τη διάσπαση των δεσμών μεταξύ των ατόμων άνθρακα της ζωικής και φυτικής ύλης, και οδηγώντας στην παραγωγή του θερμογενούς μεθανίου (Αλαγκιοζίδης, 2005).

Πίνακας 1. Συστατικά φυσικού αερίου

Συστατικά	**% κατά όγκο σύσταση**
Μεθάνιο (CH_4)	70-90
Αιθάνιο (C_2H_6)	5-15
Προπάνιο (C_3H_8)	<5
Βουτάνιο (C_4H_{10})	<5
CO_2, N_2, H_2S κ.τ.λ	Μικρότερες ποσότητες

Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο

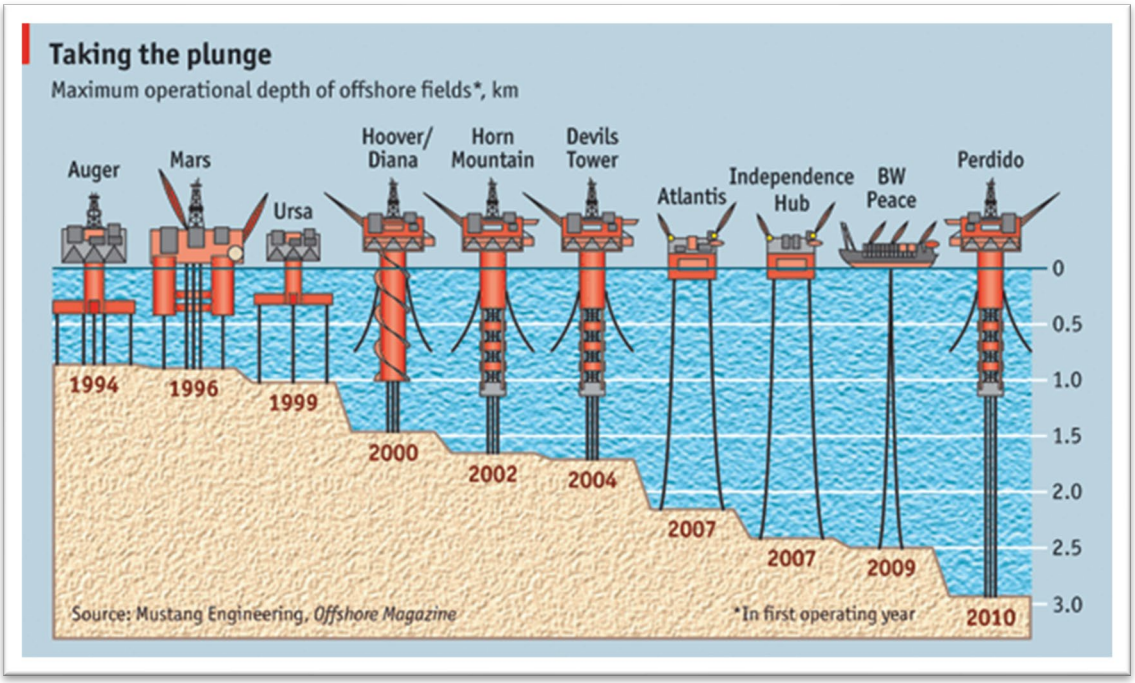
Το φυσικό αέριο είναι άοσμο και άχρωμο. Η οσμή του δίνεται τεχνικά, ώστε σε πιθανότητα διαρροής να γίνεται αντιληπτό. Πρόκειται για ένα ορυκτό καύσιμο με υψηλή θερμική απόδοση και κατά τη διάρκεια της καύσης, χαρακτηρίζεται ως αυτό με την πλέον καθαρότερη ενέργεια. Με βάρος 0,59 το ΦΑ είναι πολύ ελαφρύτερο από τον αέρα και η χρήση του εκτείνεται σε πληθώρα πλαισίων. Στη βιομηχανία παρέχει την πρώτη ύλη για προϊόντα όπως το πλαστικό, την υφαντουργία, τα λιπάσματα, τα αντιψυκτικά κ.ά. Μετά την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία έχει την πρωτοκαθεδρία ως πηγή ενέργειας στα εργοστάσια, η χρήση του φυσικού αερίου είναι η επόμενη στη λίστα. Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμμετέχει με κυρίαρχη τη μονάδα παραγωγής ατμού, κατά την οποία το φυσικό αέριο καίγεται από τη παραγόμενη

θερμότητα όσο ζεσταίνεται νερό, το οποίο σε τελικό στάδιο ατμοποιείται και με τη συμβολή ενός ανεμοστρόβιλου, παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Στον τριτογενή εμπορικό τομέα περιλαμβάνει ποικίλες υποδομές όπως κυβερνητικά κτίρια, ξενοδοχεία ή γραφεία, ενώ για οικιακή χρήση συνδυάζει το χαμηλό κόστος με την πληθώρα εργασιών τις οποίες είναι ικανό να διεκπεραιώσει, με πρώτιστες το μαγείρεμα και τη θέρμανση. Τέλος, για της οδικές μεταφορές η πλειονότητα των οχημάτων φυσικού αερίου κινούνται με τη χρήση συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) (Βλαστάρας, Γεωργάτος, 2014) .

1.2. Εξόρυξη ΦΑ

Το φυσικό αέριο εντοπίζεται σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς -σε κοιλότητες, δηλαδή, όπου το αέριο είναι παγιδευμένο σε πετρώματα και στην πλειονότητα του συνυπάρχει με νερό ή ακόμη και με πετρέλαιο. Για την εξόρυξη του είναι απαραίτητη η χρήση γεωτρύπανου (Αχνιώτης, 2012). Πιο αναλυτικά, σε πρώτο στάδιο γίνεται μελέτη του εδάφους της περιοχής και του χώρου για τον καθορισμό του ακριβούς σημείου, στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η γεώτρηση από γεωτεχνικούς και μηχανολόγους μηχανικούς. Αφού οι συντεταγμένες της γεώτρησης καθοριστούν, το γεωτρύπανο, που διαθέτει ειδικό μηχανισμό, οδηγείται αυτομάτως στην αρχή του σημείου, διαπερνώντας το θαλάσσιο νερό και φτάνοντας στο βυθό αρωγή σωλήνων. Όταν φτάσει στο επιθυμητό σημείο, ξεκινά να περιστρέφεται. Κατά τη διάρκεια της εν λόγω διαδικασίας τοποθετούνται παράλληλα σωλήνες, ωσότου το γεωτρύπανο να προσεγγίσει το φυσικό αέριο. Ταυτόχρονα αξιολογούνται και οι ποσότητες που πιθανώς υπάρχουν. Για τη διασφάλιση της προστασίας της διαδικασίας της γεώτρησης τα κενά μεταξύ του σωλήνα ενίσχυσης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης καλύπτονται με τσιμέντο.

Εικόνα 3. Εξέλιξη γεωτρήσεων φυσικού αερίου



Πηγή: www.fool.co

1.3. Το φυσικό αέριο στην Ελλάδα

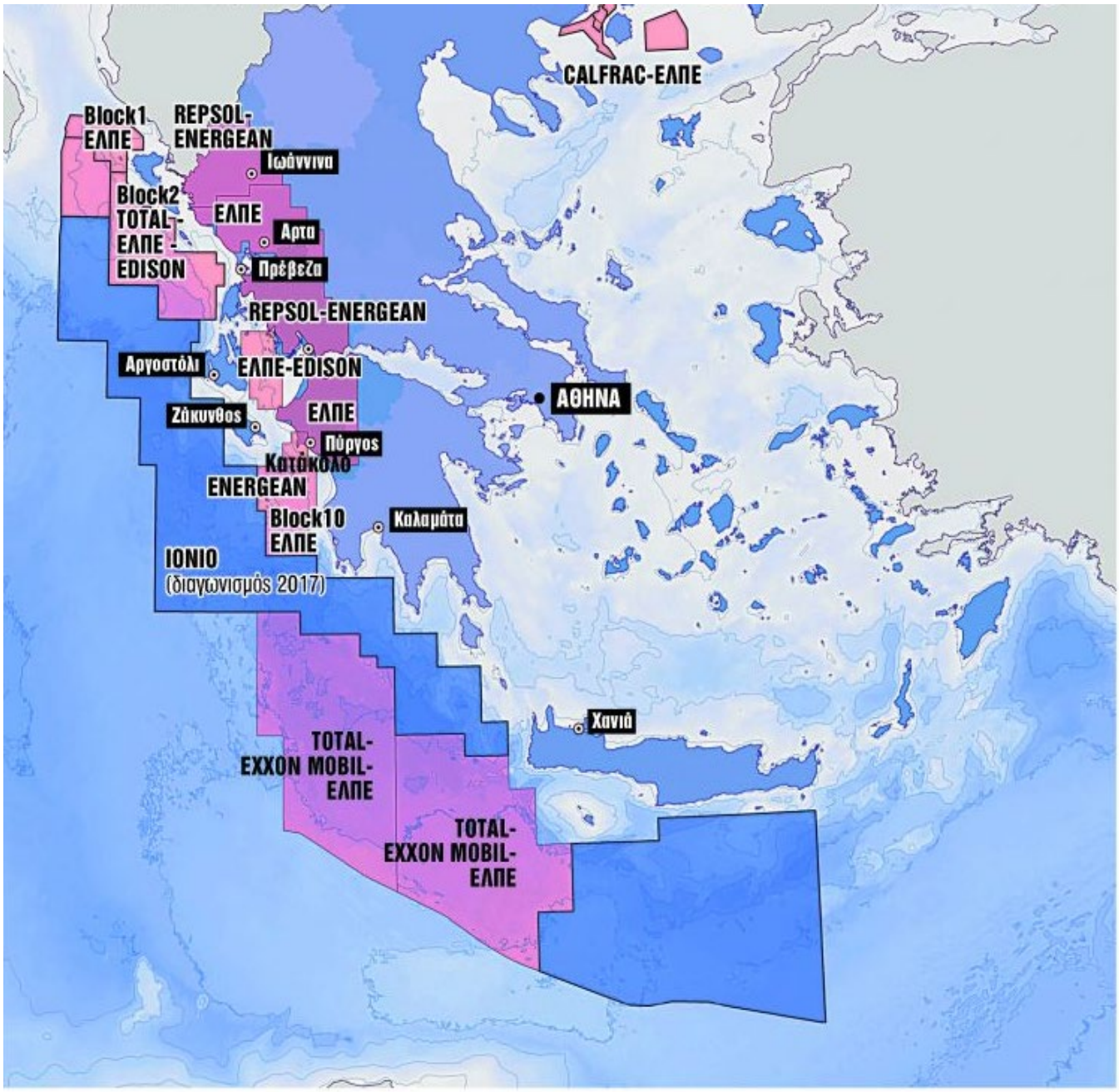
Σύμφωνα με τη γεωλογικές υπηρεσίες της Γαλλίας και των Η.Π.Α, πιθανά αποθέματα φυσικού αερίου σε ελληνικές θάλασσες εντοπίζονται νοτιοανατολικά και νότια της Κρήτης. Πρόκειται για τις περιοχές και κάτω από τη πεδιάδα Μεσαρά ή και κοντά στη Λιβύη.

Το κοίτασμα νότια του νησιού καταγράφθηκε κατά τη διάρκεια σεισμικών ερευνών της Νορβηγικής εταιρίας PGS το 2012, έπειτα από πρόσκληση του τότε Υπουργού Ενέργειας Γιάννη Μανιάτη. Σύμφωνα με τα πορίσματα της PGS, που αργότερα διατέθηκαν προς πώληση σε υποψήφιους επενδυτές μεγάλων πετρελαϊκών εταιριών, τα εκτιμώμενα αποθέματα του κοιτάσματος ανέρχονται στα 10 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια, αυξάνοντας το γεωπολιτικό ενδιαφέρον της περιοχής. Το επονομαζόμενο κοίτασμα «ΤΑΛΩΣ» βρίσκεται σε δύο οικόπεδα νότια και νοτιοδυτικά της Κρήτης. Εντούτοις, καθώς οι θαλάσσιες περιοχές πλησίον της Κρήτης χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάθος, το εγχείρημα είναι ιδιαίτερα απαιτητικό και χρονοβόρο, ελλοχεύοντας διάφορους οικονομικούς κινδύνους για τους επενδυτές.

Η διαδικασία αξιοποίησης του κοιτάσματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: Σε πρώτο πλάνο απαιτούνται 2 με 3 χρόνια, ώστε να επιβεβαιωθούν με σεισμικά υψηλή

ευκρίνεια οι στόχοι, οι οποίοι έχουν ήδη χαρτογραφηθεί. Ακολουθεί ανάλυση από σεισμικά τριών διαστάσεων, η οποία απαιτεί επίσης μία τριετία. Τελικά, η πρώτη γεώτρηση να αναμένεται σε διάστημα 5 ετών από την ανακάλυψη των κοιτασμάτων. Παρ' όλα αυτά, η παραπάνω διεργασία πιέζεται χρονικά, καθώς η Ε.Ε τονίζει συνεχώς την ανάγκη διακοπής των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με λιγνίτη, το οποίο συνάδει με το γεγονός ότι το 30% της ενεργειακής ανάγκης της χώρας για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, πρέπει να άμεσα να αντικατασταθεί.

Εικόνα 4. Πεδία ερευνών φυσικού αερίου στον Ελλαδικό χώρο



Πηγή: www.pinterest.com

Το 2022 η Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων και Ενεργειακών Πόρων (ΕΔΕΥΕΠ) επόπτευε έξι σεισμικές έρευνες με στόχο τον εντοπισμό κοιτασμάτων φυσικού αερίου, ώστε να εμπλουτίσουν το ενεργειακό μείγμα της χώρας και να επιταχύνουν την πράσινη ανάπτυξή της. Σε αυτήν περιλαμβάνονταν τα κοιτάσματα της νοτιοδυτικά της Κρήτης καθώς και περιοχές του Ιουνίου πελάγους.

Εικόνα 5. Πορίσματα ΕΔΕΥΕΠ

Πηγή: www.iefimerida.gr

1.4. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ ή LNG)

Όπως αναφέρθηκε άνωθεν, η χρήση του ΦΑ στη ναυτιλία αφορά την υγροποιημένη του μορφή. Η πρώτη απόπειρα υγροποίησης αερίων, χρονολογείται ήδη από το 18ο αιώνα, όταν ο φυσικός Faraday (1791-1867), αναρωτήθηκε τι θα μπορούσε να συμβεί στη περίπτωση ψύξης και συμπίεσης ενός αερίου. Με τη βοήθεια ενός

λυγισμένου γυάλινου σωλήνα, ο Faraday τοποθέτησε στο βραχύ σκέλος κρυστάλλους μίας ένωσης χλωρίου, έκλεισε το σωλήνα και βύθισε το μακρύ σκέλος σε ένα ψυκτικό μείγμα. Καθώς θέρμαινε τους κρυστάλλους στο βραχύ σκέλος δημιούργησε μια ελευθέρωση αερίου χλωρίου, το οποίο με τη σειρά του δημιούργησε μεγάλη πίεση.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) αποτελείται ως επί των πλείστων από μεθάνιο. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου ενέχει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Καθώς καταλαμβάνει το 1/600 του αέριου αντίστοιχού του, πρωτίστως διευκολύνεται η αποθήκευση και τη μεταφορά του. Στην πραγματικότητα, το πρώτο πειραματικό πλοίο υγροποιημένο σάλπαρε τον Φεβρουάριο του 1959 από τη Luisiana στο Ηνωμένο Βασίλειο (Vaudolon, 2000). Το δεξαμενόπλοιο «The Methane Pioneer», το πρώτο για μεταφορά LNG στο κόσμο, αποτελούνταν από πέντε πρισματικές δεξαμενές με μόνωση από κόντρα πλακέ και ουρεθάνη, και σηματοδότησε μια καινοτόμα ναυτιλιακή πρακτική που επρόκειτο να αλλάξει σημαντικά τα τότε δεδομένα. Την επόμενη δεκαετία σταδιακά δραστηριοποιήθηκαν και άλλες ήπειροι με εξαγωγές από τις Ηνωμένες Πολιτείες στην Αλάσκα και πιο συγκεκριμένα από την Αλάσκα στην Ιαπωνία (Αχνιώτης, 2012). Επομένως, δεν είναι παράδοξη η δημιουργία εργοστασίου υγροποιήσεως φυσικού αερίου το 1964 στην Άρζεου, 50 χιλιόμετρα ανατολικά του Οράν της Αλγερίας (Πεχλιβάνης, 2010). Πλέον σε όλο το κόσμο, εντοπίζονται 60 τερματικοί σταθμοί υποδοχής υγροποιημένου φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανόμενων της Ιαπωνίας, της Νότιας Κορέας, των Η.Π.Α και κάποιων Ευρωπαϊκών χωρών.

Η πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου υπολογίζεται στα περίπου 0.41-0.5 kg/L, αλλά συναρτάται πάντα στη θερμοκρασία, τη σύσταση και την πίεση. Η ικανότητα της θερμογόνου δύναμης που τη διακατέχει δεν είναι ακριβώς καθορισμένη, καθώς παίζει καταλυτικό ρόλο η σύσταση, η προέλευση, αλλά και η επεξεργασία του φυσικού αερίου. Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη που εντοπίζεται είναι 24 MJ/L σε -164ºC ενώ ως κατώτερη ορίζεται 21MJ/L (Βλαστάρας & Γεωργάτος, 2014). Εάν το LNG χυθεί στο νερό, επιπλέει και εξατμίζεται γιατί είναι ελαφρύτερο. Οι ατμοί που προκύπτουν είναι εύφλεκτοι και μπορούν να δημιουργήσουν έκρηξη όταν η συγκέντρωσή τους στον αέρα κυμαίνεται μεταξύ 5-15%. Ο συχνότερα αναμενόμενος κίνδυνος ανάφλεξης είναι από φλόγες ή σπινθήρες. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία ένα εύφλεκτο αέριο (ατμός) αναφλέγεται αυτόματα χωρίς μια πηγή ανάφλεξης (π.χ. σπινθήρας) μετά από μερικά λεπτά έκθεσης στη θερμότητα. Για τους ατμούς μεθανίου που προέρχονται από την εξάτμιση του LNG

με αναλογία μεθανίου - αέρα περίπου στο 10% (περίπου στο μέσο του 5-15% εύρους αναφλεξιμότητας)- η θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης είναι πάνω από 540° C.

Η αξιοποίηση του LNG στη ναυτιλία ξεκίνησε στη Νορβηγία ως μέσω πρόωσης για ένα μικρό αλλά αυξανόμενο αριθμό πλοίων της ακτοπλοΐας, σκαφών ανοικτής θαλάσσης καθώς και τριών σκαφών της εθνικής ακτοφυλακής. Η χρήση του LNG έχει περιβαλλοντικά οφέλη που υπερβαίνουν αυτά οποιουδήποτε άλλου υγρού καυσίμου πετρελαίου. Έκτοτε, ενώ η χρήση του LNG διαδίδεται, κοστίζει περισσότερο και απαιτεί διαφορετικές εγκαταστάσεις από τις συμβατικές εγκαταστάσεις πετρελαίου. Έτσι, η εισαγωγή του LNG ως καυσίμου πρόωσης για τα πλοία στοχεύει σε συγκεκριμένους τομείς της ναυτιλίας, σε συγκεκριμένα λιμάνια ενώ είναι πιθανότερη με τη ναυπήγηση νέων πλοίων παρά με την μετατροπή ήδη υπαρχόντων.

1.5. Παραγωγή ΥΦΑ

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου προϋποθέτει την αποβολή οποιωνδήποτε άλλων προσμίξεων που είναι επικολλημένες σε αυτό, όπως το νερό (H_2O), το άζωτο (N_2), το οξυγόνο (O_2). Εάν οι εν λόγω προσμίξεις παραμείνουν προσκολλημένες εγκυμονούν επιπλοκές κατά τη διαδικασία της υγροποίησης. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια ενός ψυκτικού κυκλώματος το φυσικό αέριο υγροποιείται λόγω της υψηλής πίεσης. Προκειμένου να συγκροτήσει την επιθυμητή μορφή του ως υγροποιημένο, το ΦΑ υπόκειται σε πληθώρα διεργασιών, με πρωταρχική τη διαδικασία της υγροποίησης. Η διεργασία κάθε φορά αναλογεί στη φύση του αερίου που θα χρησιμοποιηθεί. Οι τεχνικές αυτές είναι της ψύξης, της συμπίεσης ή και ο συνδυασμός αυτών των δύο (Αχνιώτης, 2012). Πιο αναλυτικά:

- Με συμπίεση: Η μέθοδος αυτή συναντάται κυρίως σε αέρια που υγροποιούνται σε υψηλές πιέσεις και φυσιολογικές θερμοκρασίες
- Με ψύξη: Ο ψυκτικός κύκλος επιτυγχάνεται με την υγροποίηση αερίου με απλή ψύξη σε ατμούς πτητικών υγρών, τα οποία σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση μπορούν να υγροποιηθούν.
- Με συνδυασμό ψύξης-συμπίεσης: Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα όταν οι δύο προηγούμενες τεχνικές δεν επιφέρουν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

Πίνακας 2. Χημική σύνθεση LNG

Χημικό Στοιχείο	Χημικός Τύπος	Ελάχιστη Τιμή (%)	Μέγιστη Τιμή (%)
Μεθάνιο	CH_4	87	99
Αιθάνιο	C_2H_6	<1	10
Προπάνιο	C_3H_8	>1	5
Βουτάνιο	C_4H_{10}	>1	>1
Άζωτο	N_2	0.10	1

Πηγή: Shively & Ferrare, 2005.

Πίνακας 3. Χημικές ιδιότητες LNG

Μοριακό βάρος	16.04
Θερμοκρασία βρασμού °F	-259
Θερμοκρασία ανάφλεξης °F	1004
Ελάχιστο όριο εύφλεκτου	5%

Πηγή: Shively & Ferrare, 2005.

Σε γενικές γραμμές οι διεργασίες υγροποίησης φυσικού αερίου που αποβλέπουν στην εμπορική παραγωγή του είναι τέσσερις:

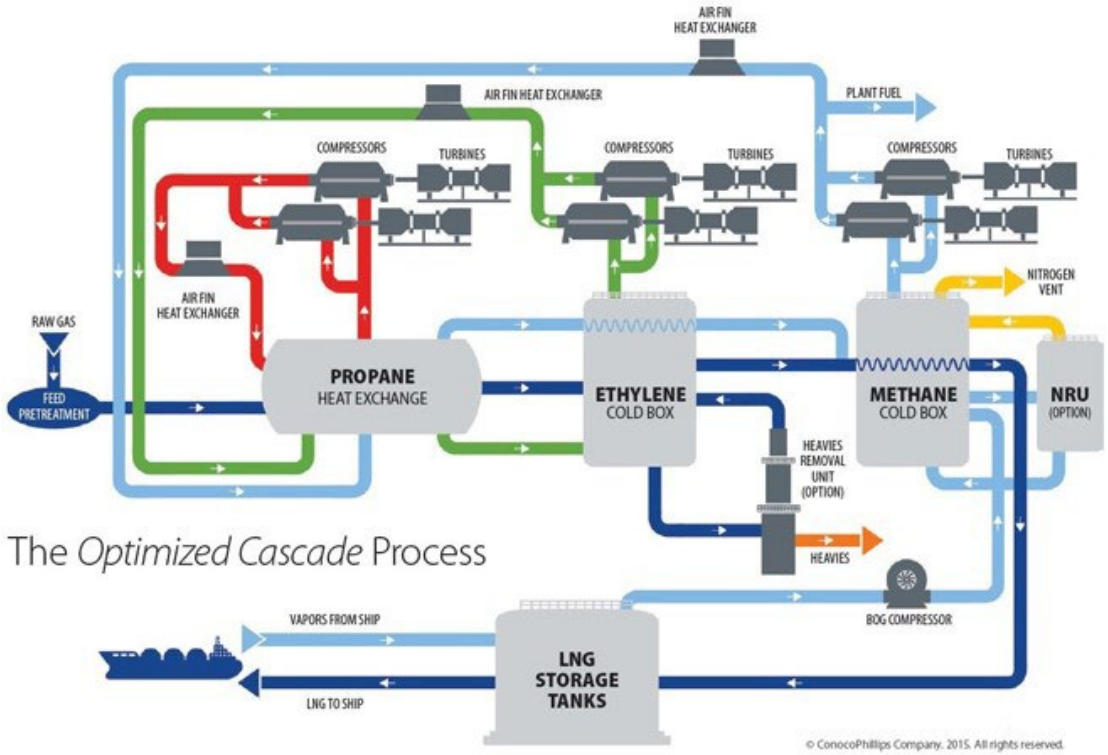
1.5.1. The Conoco Philips Cascade

Η διαδικασία ConocoPhilips Cascade βασίζεται σε τρία κυκλώματα ψύξης πολλαπλών σταδίων, χρησιμοποιώντας καθαρά ψυκτικά, εναλλαγές θερμότητας από συγκολλημένο αλουμίνιο και μεμονωμένες μονάδες ψυκτικού κουτιού. Πρόκειται για μια τεχνική που βελτιστοποιεί την ενσωμάτωση θερμότητας, ώστε να προσεγγίσει προσεκτικά τις καμπύλες ψύξης φυσικού αερίου και ψυκτικού. Κατά τη διάρκειά της χρησιμοποιούνται καθαρά ψυχτικά προπάνιου, αιθυλενίου και μεθανίου, αφού οι φυσικές τους ιδιότητες είναι ιδανικές για θερμική ολοκλήρωση. Οι εναλλαγές θερμότητας από συγκολλημένο αλουμίνιο και οι μονάδες κρύου κιβωτίου σκιαγραφούν

την επιθυμητή μεταφορά θερμότητας. Η σχεδίασή τους είναι ικανή να φιλοξενήσει ογκώδεις εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Αρχικά, το αέριο υποβάλλεται σε επεξεργασία, ώστε να αναιρεθεί το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το υδρόθειο (H_2S), αλλά και άλλες ενώσεις όπως νερό, θείο, οργανομεταλλικές ενώσεις υδράργυρου κ.ά. Στη συνέχεια διοχετεύεται στο τμήμα υγροποίησης. Το πλέον κατεργασμένο αέριο ψύχεται και συμπυκνώνεται στους -162° C, με κύριους ψυκτικούς παραμέτρους το μεθάνιο, το καθαρό προπάνιο και το αιθυλένιο. Το έτοιμο υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές, όπου και παραμένει έως την αποστολή του (Andress & Watkins, 2004).

Εικόνα 6. Διαδικασία Optimized Cascade



Πηγή: https://lnglicensing.conocophillips.com/

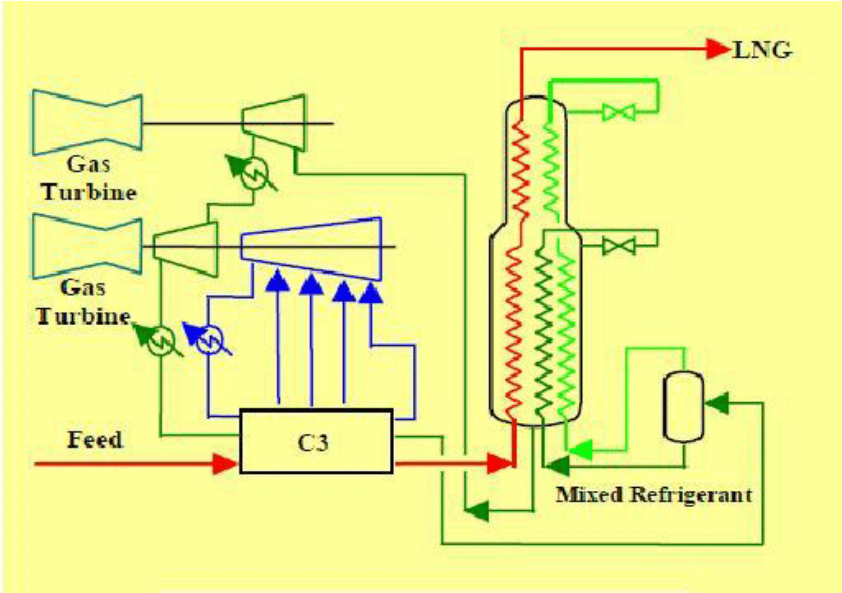
1.5.2. Liquefaction Cycle-C3MR

Η διαδικασία διακρίνεται σε δύο κύκλους ψύξης. Ο πρώτος κύκλος ψύχει το προπάνιο από θερμοκρασία περιβάλλοντος στους -235° C. Ο δεύτερος κύκλος (κύκλος Mixed Refrigerant), στοχεύει στην υγροποίηση της ροής του φυσικού αερίου και την απόψυξη του στους 2160° C. Ο κύκλος προπάνιου χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα

πίεσης για την πρόψυξη του φυσικού αερίου και του MR. Το MR με τη σειρά του διασπάται σε ένα ελαφρύ και ένα βαρύ ρεύμα υγρού, αφού ψυχθεί στο επίπεδο θερμοκρασίας προπάνιου χαμηλής πίεσης. Το βαρύ ρεύμα MR αποψύχεται στις θερμές και μεσαίες δέσμες του κύριου κρυογονικού εναλλάκτη θερμότητας (MCHE). Εν συνεχεία το ρεύμα αφήνεται υπό πίεση σε έναν υγρό διαστολέα και κατευθύνεται προς την πλευρά του κέλυφους του MCHE.

Τα NGL (Natural Gas Liquids), διαχωρίζονται από σχετικά πλούσιο αέριο. Προπάνιο χαμηλής πίεσης και η ζεστή δέσμη MCHE παρέχουν ψύξη. Έπειτα, τα NGL δρομολογούνται στη μονάδα κλασμάτωσης. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η κοπή C_2 χρησιμοποιείται ως αέριο καύσιμο υψηλής πίεσης, ενώ σε έκτακτες περιπτώσεις, συνδυάζεται με τη κύρια ροή φυσικού αερίου. Τέλος, το βουτάνιο, το προπάνιο και το συμπύκνωμα από τη μονάδα κλασμάτωσης, προχωρούν στη μονάδα αποθήκευσης και φόρτωσης για εξαγωγή. Ένα υγρό-διαστολέας μειώνει τη πίεση του φυσικού αερίου από το MCHE. Η διαδικασία ανακτά κρύο από τον ατμό που παράγεται και συμπιέζει το αέριο στη στάθμη καυσίμου υψηλής πίεσης (Primabudi, κ.α., 2019)

Εικόνα 7. Διαδικασία Mixed Refrigerant LNG



Πηγή: www.gulfoilandgas.com

1.5.3. Διεργασία με διπλό μείγμα ψυκτικών: DMR

Συγκριτικά με τον κύκλο C3MR, η διεργασία με διπλό μείγμα ψυκτικών DMR (Double Mixed Refrigerant), που επινοήθηκε από τη Shell, διακρίνεται από μικρότερο απόθεμα υδρογονανθράκων. Στην εν λόγω διαδικασία η πρόψυξη και η υπόψηξη επιτυγχάνονται με δύο διακριτά μικτά ψυκτικά, αυξάνοντας την ευελιξία στην επιλογή θεμοκρασίας και βελτιστοποιώντας την επιλογή συμπιεστών και οδηγών. Έτσι, το υγροποιημένο φυσικό αέριο παράγεται πιο αποτελεσματικά και αυξάνει τις δυνατότητες ανάπτυξής πόρων φυσικού αερίου σε ψυχρότερες και πιο απομακρυσμένες τοποθεσίες (Oluwagbemisola A. κ.α., 2020)

1.5.4. Διεργασία Linde Process Plants

Η Linde Process Plants Inc. είναι μια πολυεθνική, χημική εταιρία που συγκαταλέγεται στους μεγαλύτερους παραγωγούς φυσικού αερίου παγκοσμίως. Η εταιρία παράγει φυσικό αέριο αξιοποιώντας μία διαδικασία που επινοήθηκε από τον Carl Von Linde, στα τέλη του 19ου αιώνα. Πρόκειται για μια διαδικασία υγροποίησης αέρα ή άλλου αερίου με επαναλαμβανόμενη συμπίεση και επέκταση που παράγει ψύξη από το φαινόμενο Joule-Thomson (Ansarinasab κ.α., 2017). Ο κύκλος ψύξης αποτελείται από διάφορα στάδια.

Αρχικά το αέριο συμπιέζεται, αποκτώντας έτσι εξωτερική ενέργεια για να διατρέξει τον κύκλο υγροποίησης. Στη συνέχεια καταβυθίζεται σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον, χάνοντας ένα κομμάτι της θερμότητάς του. Το αέριο υψηλής πίεσης ψύχεται περαιτέρω με έναν εναλλάκτη θερμότητας αντίθετου ρεύματος. Το ψυχρότερο αέριο που φεύγει τελικώς ψύχει το αέριο μέσω από μία βαλβίδα εκτόνωσης. Έτσι έρχεται σε μία κατάσταση χαμηλότερης πίεσης. Μέρος του αέρα συμπυκνώνεται και γίνεται προϊόν εξόδου. Το αέριο χαμηλής πίεσης κατευθύνεται πίσω στον εναλλάκτη θερμότητας αντίθετου ρεύματος για να ψύξει το θερμότερο, εισερχόμενο αέριο υψηλής πίεσης. Μετά την έξοδο από τον εναλλάκτη θερμότητας αντίθετου ρεύματος, το αέριο είναι θερμότερο από ό,τι ήταν στο πιο κρύο του, αλλά πιο ψυχρό από ό,τι ξεκίνησε στο βήμα 1. Το αέριο αποστέλλεται πίσω στον συμπιεστή, αναμιγνύεται με ζεστό εισερχόμενο αέριο (για αντικατάσταση του συμπυκνωμένου προϊόντος) και επιστρέφει στον συμπιεστή για να πραγματοποιήσει άλλη μια διαδρομή στον κύκλο (και να γίνει

ακόμα πιο κρύο). Σε κάθε κύκλο η καθαρή ψύξη είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα που προστίθεται στην αρχή του κύκλου. Καθώς το αέριο περνάει περισσότερους κύκλους και γίνεται πιο ψυχρό, η επίτευξη χαμηλότερων θερμοκρασιών στη βαλβίδα εκτόνωσης γίνεται πιο δύσκολη.

1.6. Πλεονεκτήματα και εμπόδια

Παρότι η θερμογόνος δύναμη του είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καύσιμα, η χρήση LNG πληροί όλες τις προϋποθέσεις της MARPOL, καθώς περιορίζει τους ρύποι οξειδίων του θείου, τις εκπομπές σωματιδίων, αλλά και τα οξείδια του αζώτου. Πρόκειται για το καθαρότερο ορυκτό καύσιμο, καθώς είναι ένα κράμα ποικίλων αερίων με μεγαλύτερο ποσοστό το μεθάνιο. Ταυτόχρονα, εντοπίζεται μεγάλος αριθμός κοιτασμάτων και συνεχώς επινοούνται νέες τεχνοτροπίες οι οποίες διευκολύνουν την εξόρυξη του.

Όταν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αγωγός (π.χ., στα νησιά), ο ιδανικότερος τρόπος μεταφοράς του φυσικού είναι σε υγροποιημένη μορφή, καθώς έτσι μειώνεται ο όγκος του. Εναλλακτικά, το αέριο μπορεί να τοποθετηθεί σε αρκετά αυξημένη πίεση. Εντούτοις, ακόμη και σε μια δεξαμενή 200 bar, ο όγκος που καταλαμβάνει η ίδια ποσότητα ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερος από ό,τι εάν βρίσκονταν σε υγροποιημένη μορφή. Ωστόσο, για να παραμείνει το φυσικό αέριο σε υγροποιημένο θα πρέπει να βρίσκεται σε θερμοκρασία -160^{o}. Αυτή είναι η μεγαλύτερη πρόκληση που πρέπει να ξεπεράσουν οι κατασκευαστές.

Πρόκληση αποτελεί και η αποθήκευσή του στο πλοίο. Ενώ δεξαμενές πετρελαίου μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε τύπο πλοίου, καθώς η μορφή του είναι μεταβαλλόμενη, μια δεξαμενή LNG -εξαιρουμένων των LNG carriers τα οποία αναγκαστικά έχουν αναπτύξει νέες τεχνολογίες-, διακρίνονται από συγκεκριμένες διαστάσεις και προδιαγραφές, καθώς περιέχουν φορτίο που δέχεται πίεση και παρ’ όλα αυτά πρέπει να τοποθετηθεί σε πλοίο που έχει προηγηθεί της εφεύρεσης του, με αποτέλεσμα την απουσία των απαιτούμενων μονάδων αλλά και τη κάλυψη μεγάλου όγκου σε αυτό.

Η χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο προϋποθέτει τη χρήση μηχανής φυσικού αερίου. Η καύση του φυσικού αερίου, όπως και του πετρελαίου είναι ήδη

γνωστή από τη δεκαετία του ’80. Ωστόσο, οι κινητήρες διπλού καυσίμου αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του ’90. Η καύση φυσικού αερίου μαζί με το πετρέλαιο και όποιος συνδυασμός μπορεί να προκύψει, εμφανίζεται με τρείς διατάξεις: της gas diesel engine, της spark ignition gas engine και της dual fuel engine.

Οι Gas diesel engine αναπτύχθηκαν με τη χρήση πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου ή LNG carriers. Πρόκειται για ένα είδος μηχανής που αξιοποιεί σε πετρελαιοκίνητες μηχανές ένα μέρος του φυσικού αερίου που εξατμίζεται. Πιο συγκεκριμένα, η μηχανή η αναμιγνύει φυσικό αέριο και πετρέλαιο σε ίσες σχεδόν αναλογίες. Η λειτουργεία αυτού του κινητήρα, γίνεται σε κύκλο diesel, λειτουργεί δηλαδή ακριβώς όπως ένας πετρελαιοκίνητος κινητήρας (Karim, 1980).

Οι spark ignition gas μηχανές αξιοποιούν κινητήρες OTTO, που έναντι βενζίνης, χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, όπου ο σπινθηριστής προκαλεί ανάφλεξη. Εν αντιθέσει με τις gas diesel μηχανές, οι spark ignition gas μηχανές πληρούν όλες τις προϋποθέσεις της MARPOL, όσον αφορά τα όρια των προβλεπόμενων ρύπων. Το μειονέκτημα που παρατηρείται εδώ είναι ότι δεν παρέχεται ευελιξία ως προς το καύσιμο το οποίο θα χρησιμοποιείται (Nadaleti, Przybyla, 2018).

Οι κινητήρες διπλού καυσίμου (Dual Fuel Engine) λειτουργούν τόσο με φυσικό αέριο όσο και με πετρέλαιο, έτσι ώστε οι πελάτες να απολαμβάνουν τόσο τα οικολογικά οφέλη του φυσικού αερίου, όσο και την πρόσθετη ευελιξία με τον ενσωματωμένο πλεονασμό του κετανίου. Στη φάση που η μηχανή λειτουργεί με φυσικό αέριο, οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου μειώνονται κατά 80%, οι ρύποι διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται σημαντικά λόγω της χαμηλότερης περιεκτικότητας του σχετικού καυσίμου, ενώ οι εκπομπές οξειδίων του θείου είναι ουσιαστικά ανύπαρκτες (Selim, 2004).

1.7. Η αγορά του LNG

Η αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου και των λοιπών καυσίμων αποτελεί μια διαδικασία εκτεταμένη και περίπλοκη, αφού κάθε χώρα, η οποία επιθυμεί να προχωρήσει σε αγορά, δημιουργεί μια σειρά παραμέτρων που πρέπει να πληρωθούν, τηρώντας τους κανονισμούς της νομοθεσίας της. Επιπρόσθετα, η διαδικασία κωλύεται

λόγω της ετερογενούς διαμόρφωσης των λιμένων ανά το κόσμο, προκαλώντας έμμεσα την ανάγκη προσαρμογής των πλοίων σε αυτά.

Οι δύο μεγαλύτερες αγορές του LNG, εντοπίζονται στον Ειρηνικό και τον Ατλαντικό ωκεανό. Οι μεγαλύτεροι προμηθευτές στον Ειρηνικό Ωκεανό είναι η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα, με βασικούς τροφοδότες την Μαλαισία, την Αυστραλία και την Ινδονησία, στον Ατλαντικό ωκεανό Ευρώπη και Η.Π.Α. Προμηθεύονται υγροποιημένο φυσικό αέριο από το Τρινιντάντ και το Τομπάγκο, αλλά και από διάφορες χώρες της Αφρικής, όπως είναι η Αίγυπτος, η Νιγηρία και η Αλγερία (Γκόνης, Ψαραύτης, 2008). Πιο συγκεκριμένα, οι αγορές του φυσικού αερίου, μπορούν να κατονομαστούν σε 4 κατηγορίες (Μπούλου, 2014):

- Gas-on-gas markets: Σε αυτή τη κατηγορία περικλείονται χώρες, όπως η Η.Π.Α., που διαθέτουν μεγάλο αριθμό αγοραστών και πωλητών με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ανταγωνιστικού κλίματος μεταξύ τους και άλλων χωρών. Ως εκ τούτου, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές τιμές, καθώς κανένας προμηθευτής ή αγοραστής δεν έχει τη δυνατότητα να ελέγξει τις τιμές.
- Regulated markets: Η αγορά αυτή υπόκειται ως επί των πλείστων στον έλεγχο και την εποπτεία κυβερνητικών φορέων, ή, σπανιότερα από βιομηχανίες. Πρωταρχικό ρόλο παίζει η κυβέρνηση, καθώς καθορίζει ποιος μπορεί να εισέλθει στην αγορά και το κόστος των τιμών της. Έτσι, περιορίζεται η ελευθερία των συμμετεχόντων με την παροχή όμως ειδικών προνομίων αφενός και την απουσία κινήτρων για επενδύσεις στο τομέα του LNG αφετέρου.
- Oil linked markets: Η εν λόγω αγορά εξαρτάται πλήρως από την αγορά LNG και περιλαμβάνει την Ιαπωνία, την Νότια Κορέα και η Ταϊβάν. Λαμβάνοντας υπόψη δείγματα της αγοράς της Ιαπωνίας, ο τρόπος τιμολόγησης της βασίζεται στη καμπύλη S-Curve, όπου ο οριζόντιο άξονας αποτελεί το σταθμισμένο μέσο όρο της τιμής του εισαγόμενου αργού πετρελαίου και ο κάθετος, η τιμή εισαγωγής LNG. Αυτό το μοντέλο προκάλεσε ραγδαία ανέλιξη της αγοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Παρ' όλα αυτά σήμερα δεν είναι ιδιαίτερα επιτυχές, καθώς οι τιμές του χαρακτηρίζονται υψηλές.
- Oil indexed markets: Εδώ περιλαμβάνονται ορισμένα Ευρωπαϊκά κρατίδια και χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας. Από το 1960 η τιμή υπολογίζεται λαμβάνοντας την αξία στο σημείο πώλησης μείον το περιθώριο κέρδους και κόστους που προκύπτει για τη μεταφορά. Η τακτική αυτή αποτελεί μια

καθιερωμένη μέθοδο τιμολόγησης σε πολλές περιοχές παγκοσμίως. Ωστόσο με τη δημιουργία των LNG terminals τα κρατίδια αυτά θα αυτονομηθούν και οι αγορές τους θα χαρακτηρίζονται από περισσότερο διαπροσωπικές συναλλαγές, όπως αυτές των oil linked markets.

1.7.1. Τρόποι αγοράς ναυτιλιακών καυσίμων

Στην ακτοπλοΐα η αγορά καυσίμων διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο και η διαδικασία αυτή ποικίλλει ανάλογα τη χώρα, τη νομοθεσία ή τους λιμένες της. Δεν είναι λίγες οι φορές όπου η δεξαμενή καυσίμων είναι εγκατεστημένη σε διαφορετική χώρα από αυτήν στην οποία βρίσκεται το πλοίο. Οι μεγαλύτερες ακτοπλοϊκές εταιρίες διαθέτουν ειδικό τμήμα με βασική αρμοδιότητα την εκπόνηση μετρήσεων και ερευνών προς πρόβλεψη της αγοράς στο σύντομο ή και μακροχρόνιο. Σε εταιρίες μικρότερου βεληνεκούς υπεύθυνος αγοράς και χορήγησης των ναυτιλιακών καυσίμων καθίσταται τις περισσότερες φορές ο πλοιοκτήτης.

Είτε πρόκειται για ένα ολόκληρο τμήμα, είτε για ένα μεμονωμένο πρόσωπο, ο υπεύθυνος παραγγελίας επικοινωνεί με αγοραστές ναυτιλιακών καυσίμων κατόπιν έγκρισης του χειριστή και του πλοίαρχου του πλοίου. Όταν η διαδικασία αυτή διεκπεραιωθεί, η υπηρεσία του τμήματος καυσίμων γνωστοποιεί τη παραγγελία στο αγοραστικό μέρος, είτε μέσω ενός χρηματιστή-broker, είτε μέσω ενός εμπόρου, ή και ακόμη ευθύς στους προμηθευτές. Η λειτουργία του χρηματιστή-broker έχει εξέχουσα σημασίας καθώς μπορεί μεν να χορηγήσει με δαπανηρές χρεώσεις τον αγοραστή, αλλά τις περισσότερες φορές αποτελεί το ικανότερο πρόσωπο εύρεσης φθηνότερων τιμών στην αγορά. Συν τοις άλλοις, ο χρηματιστής-broker συμβάλλει και κατά την απόπειρα των αγοραστών να επεκτείνουν το εύρος της επιχείρησης τους στη παγκόσμια αγορά. Αφού το κομμάτι της παραγγελίας ολοκληρωθεί, ο port agent-πράκτορας του λιμένα αναλαμβάνει το ρόλο του διαμεσολαβητή μεταξύ παραγγελίας και παράδοσης. Έρχεται σε επικοινωνία με διάφορα τμήματα (π.χ. πλοιοκτήτη), αποβλέποντας στην εξασφάλιση της ορθής και χωρίς επιπλοκές παράδοση (Μπακάλη, 2017).

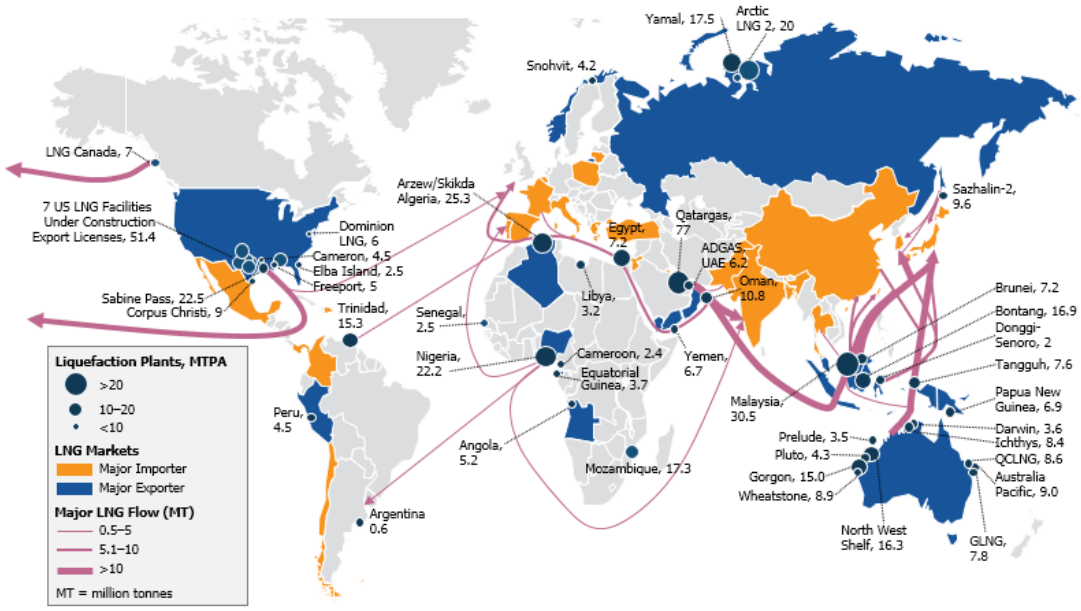
1.7.2. Παγκόσμια αγορά LNG

Η αυξημένη ζήτηση σε συνδυασμό με το μεγάλο κόστος που συνεπάγεται η αγορά και η εγκατάσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου προϋποθέτουν μακροχρόνια συμβόλαια, που υπερβαίνουν την εικοσαετία, πολλά χρόνια πριν την πραγματοποίηση των ερευνητικών σχεδίων με σκοπό τη διασφάλιση της συνεργασίας μεταξύ αυτών των δύο. Η διαδικασία αυτή ελέγχεται και εγκρίνεται από τη τράπεζα, αφού έχει βεβαιωθεί η ύπαρξη του συμφωνημένου χρηματικού ποσού. Τον ηγετικό ρόλο κατέχουν οι επιχειρήσεις επαναεριοποίησης και υγροποίησης LNG, όπως η Shell, η BP, η Chevron ή η Total, καθώς το αγαθό προς πώληση είναι στη κατοχή τους. Έτσι, ελέγχουν και τη διαθεσιμότητα αλλά και τη μεταφορά.

Σε γενικές γραμμές οι ναύλοι καθορίζονται από την ηλικία ή τον τύπο του πλοίου, την τιμή του LNG, τη σχέση προσφοράς ζήτησης, την απόσταση μεταξύ των σταθμών επανεριοποίησης κα το χρόνο του ταξιδιού (Λέκκας, 2018). Το 2004 η παρουσία του ΥΦΑ άγγιξε το 7% και έκτοτε η ζήτησή του αυξήθηκε γεωμετρικά με ανέλιξη 6.7% ετησίως. Καθώς το ενδιαφέρον αγοράς και εγκατάστασης LNG άρχισε να παίρνει παγκόσμιες διαστάσεις, οι μονοπωλιακές τακτικές της Ιαπωνίας, της Κορέας, της Ταιβάν και της Βορειοανατολικής Ασίας εξαλείφθηκαν. Το 2006 το Κατάρ αναδείχθηκε ο μεγαλύτερος εξαγωγέας υγροποιημένου φυσικού αερίου στο κόσμο. Το 2012 έλεγχε το 25% των παγκόσμιων εξαγωγών φυσικού αερίου στο κόσμο. Στην Ευρώπη το 2006 η Ισπανία και η Γαλλία το 2006 εισήγαγαν περίπου 8.2 εκατομμύρια τόνους εκάστες. Έξι χρόνια αργότερα, η ευρωπαϊκή ζώνη αγοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου μειώθηκε κατά 30% καθώς η Ασία και η Αμερική παρείχαν καλύτερη σχέση ποιότητας-τιμής.

Το 2013 καταγράφθηκαν 3.998 δρομολόγια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου παγκοσμίως. Τα περισσότερα από αυτά διέτρεξαν τις διώρυγες του Σουέζ και του Παναμά, καθώς ενώνουν με τη συμβολή δεξαμενών Ατλαντικό και Ειρηνικό ωκεανό, δημιουργώντας έτσι διασυνδέσεις σε ποικίλες χώρες παρά το κώλυμα των μεγάλων αποστάσεων που προκαλούνται. Το 2024 ο στόλος των LNG αυξήθηκε σε 701 πλοία με τα δρομολόγια να ξεπερνούν τα 7.000, σχεδόν τα διπλάσια από τη προηγούμενη δεκαετία.

Εικόνα 8. Εμπορικές κινήσεις ΥΦΑ – Ιανουάριος 2024



Πηγή: https://incorrys.com/

Παρ' όλα αυτά, όσο πρωτοπόρα και συμφέρουσα λύση θεωρείται η υγροποίηση του φυσικού αερίου και η ένταξη του στη ναυτιλία, υπόκεινται κάποιες επιβαρύνσεις άμεσα εξαρτώμενες με τα ισχύοντα κοινωνικό-οικονομικά δεδομένα, κάνοντας τη ζήτηση του να αποτελεί ένα ζήτημα αμφιλεγόμενο.

1.7.3. Πολιτικοί και γεωπολιτικοί παράγοντες

Εφόσον αναφερόμαστε σε μία τακτική υιοθετημένη από διάφορα κράτη, κρίνεται απαραίτητη η προσαρμογή της αγοράς του ΥΦΑ στα πολιτικοοικονομικά δεδομένα κάθε χώρας. Η παρέμβαση της κυβέρνησης στα ναυτιλιακά τεκταινόμενα δεν είναι απίθανη, κάτι που ως επί το πλείστο επιφέρει αρνητικές συνέπειες καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Οι ιδανικότερες συνθήκες για αγορά υγροποιημένου φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται σε περιόδους ευημερίας, οι οποίες σπανίως συναντώνται λόγω απεργιών, πολέμων, εθνικών κρίσεων κ.ά. Ως εκ τούτου, η τιμή των ναύλων είναι άμεσα εξαρτώμενη από την οικονομική και πολιτική σταθερότητα της κάθε χώρας

1.7.4. Παγκόσμια οικονομία

Συνυπολογίζοντας τα θεμελιώδη αξιώματα της οικονομικής θεωρίας, παρότι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν δύο διακριτές πηγές ενεργείας, αλληλοεπιδρούν. Πιο συγκεκριμένα, στο χάρτη της παγκόσμιας οικονομίας εάν η τιμή του πετρελαίου σημειώσει άνοδο, τότε ο δείκτης ζήτησης του φυσικού αερίου θα ανελιχθεί κατακόρυφα και αντίστροφα, δημιουργώντας με αυτό το τρόπο την ικανότητα στην αγορά να μπορεί να εναρμονίζεται κάθε φορά εκ νέου με τα εκάστοτε πολιτικό-οικονομικά δεδομένα.

1.7.5. Θαλάσσια μεταφορά και κόστος

Τα έξοδα μεταφοράς του LNG εξαρτώνται από τέσσερις βασικούς παράγοντες: το κόστος των καυσίμων, τα λιμενικά τέλη, τα έξοδα μίσθωσης μεταφορέων μεθανίου και τα τέλη που συνδέονται με τη θαλάσσια μεταφορά εμπορευμάτων (Galczyński M. κ.α., 2017). Εξίσου καταλυτική είναι η τιμή που καταβάλλεται για τα καύσιμα του πλοίου, η οποία θεωρείται η δεύτερη πιο σημαντική μετά το κόστος ναύλωσης και αναλογεί με βάση την απόσταση της πλεύσης, αλλά και τη ταχύτητα της, με τη πλειονότητα των LNG πλοίων να καταναλώνουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή και τον συνδυασμό αυτών των δύο.

1.7.6. Average haul: Μέση απόσταση θαλάσσιων διαδρομών

Ο όρος average haul αναφέρεται στην επιρροή που ασκεί η απόσταση των διαδρομών στη ζήτηση, καθώς γίνεται λόγος περί χωρητικότητας των πλοίων στους θαλάσσιους δρόμους, γεγονός που συνέβαλλε στη πλάτυνση της διώρυγας του Παναμά. Επιπρόσθετος παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο αυτό, αποτελεί η ποιότητα και η ταχύτητα των πλοίων μεταφοράς, με τελική απόρροια την αναζήτηση πλοίων με καλύτερη αποδοτικότητα.

1.8. Προοπτικές LNG στην Ελλάδα

Καθώς η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου εκτιμάται ότι θα υπερδιπλασιαστεί τις επόμενες δύο δεκαετίες, το LNG κεντρίζει το ενδιαφέρον του ελληνικού εφοπλισμού. Ακολουθώντας την Ιαπωνία, η Ελλάδα είναι πρωτεργάτης στον κλάδο των πλοίων μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου, με τις

παραγγελίες να καλύπτουν το 50% της παγκόσμιας συνολικής ζήτησης. Παρά τα διάφορα εμπόδια που εμφανίζονται κατά τις προσπάθειες της ελληνικής ναυτιλίας να χρησιμοποιήσει την εν λόγω πηγή ενέργειας, είτε λόγω της μετατόπισης του κέντρου βάρους της παγκόσμιας οικονομίας, είτε με τη καθολική αλλαγή των δεδομένων για τις εκάστοτε πηγές ενέργειας, η Ελλάδα παίζει καταλυτικό ρόλο στη παγκόσμια αγορά δεξαμενόπλοιων με υγροποιημένο φυσικό αέριο, καθώς κατέχει πάνω από 3.670 πλοία όλων των τύπων, διαθέτοντας το 22% της παγκόσμιας χωρητικότητας (143 Lng carrier).

Όσον αφορά την ακτοπλοΐα με τη χρήση επιβατηγών πλοίων και Ferry Boat, το κύριο λιμάνι εφοδιασμού είναι ο Πειραιάς και άλλα, μεγάλα λιμάνια, όπου αγκυροβολούν συχνά τέτοιου τύπου πλοίων. Στα εν λόγω λιμάνια επιτυγχάνεται, έτσι, η επιθυμητή μείωση ρύπων, ενώ παράλληλα επιλύνονται ζητήματα που ταλανίζουν εδώ και δεκαετίες την ελληνική κυβέρνηση, όπως ο εκσυγχρονισμός της εγχώριας ναυτιλίας, η εναρμόνισή της με τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η εύρεση ενός καυσίμου, το οποίο θα αντικατοπτρίζεται από χαμηλό επενδυτικό κόστος και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Περαιτέρω επενδυτικά σχέδια θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι πλωτές εγκαταστάσεις αποθήκευσης LNG σε περιοχές με αυξημένη ακτοπλοϊκή δραστηριότητα όπως είναι το λιμάνι της Πάτρας και του Ηρακλείου στη Κρήτη.

Μάλιστα, επιδιώκεται η καθιέρωση της Ελλάδας ως μελλοντικός κόμβος ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ανατολική Μεσόγειο χάρις στην ευνοϊκή γεωγραφική της θέση. Αρχικά, προμηθεύεται φορτία υγροποιημένου φυσικού αερίου από πολλές πηγές και διαφορετικές διαδρομές, κάτι το οποίο δηλώνει την παρουσία ασφάλειας που κυριαρχεί στο εν λόγω ζήτημα. Επιπροσθέτως, αποτελεί ήδη μια αγορά πώλησης προμήθειας καυσίμων και ανήκει στο 1% του ανεφοδιασμού πλοίων στη κλίμακα της παγκόσμιας ζήτησης. Για την υλοποίηση της προσπάθειας αυτής, νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες προβλέπει η ΔΕΠΑ Εμπορίας (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου), με τον τερματικό σταθμό Ρεβυθούσας και Αλεξανδρούπολης, στους οποίους θα γίνει αναφορά παρακάτω.

1.8.1. Poseidon Med

Λόγω της οικονομικής κρίσης των τελευταίων δεκαετιών, τα επενδυτικά πλάνα της Ελλάδας είναι πενιχρά. Τη λύση σε αυτό το ζήτημα δίνει το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα

Poseidon Med, το οποίο χωρίζεται σε δύο φάσεις: στο Poseidon Med I και το Poseidon Med II. Το Poseidon Med αποτελεί την πρώτη διασυνοριακή ευρωπαϊκή πρωτοβουλία που αποβλέπει την καθιέρωση του LNG ως το κύριο καύσιμο της ναυτιλιακής βιομηχανίας αναπτύσσοντας ένα επαρκές δίκτυο υποδομών ανεφοδιασμού καυσίμων με κέντρο την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου με τη συμμετοχή 5 κρατών μελών: την Κύπρο, την Ελλάδα, την Ιταλία, τη Σλοβενία και την Κροατία. Ως παγκόσμιο έργο στοχεύει στην ανάδευση των ναυτιλιακών υδάτων στην Ελλάδα και έχει γίνει δεκτό με ενθουσιασμό από τη ναυτιλιακή κοινότητα, την τοπική κοινωνία και την πολιτική διοίκηση. Το πρόγραμμα χωρίζεται σε δύο φάσεις.

Το Poseidon Med I εγκαινιάστηκε το 2013 και αποτελεί τη διεύρυνση της εφαρμογής του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο με επίκεντρο τον Πειραιά και εξέτασε τη δυνατότητα διανομής LNG σε περιφερειακά λιμάνια, όχι μόνο των συμμετεχουσών χωρών, αλλά και της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας. Κατόπιν της εν λόγω μελέτης, εκκίνησε η φάση της τεχνικής εφαρμογής, η οποία περιλαμβάνει το "retrofitting" των πλοίων, τη διαδικασία, δηλαδή, της μετατροπής των πλοίων, ώστε να είναι ικανά για χρήση ΥΦΑ. Συν τοις άλλοις, περικλείει έρευνες και προσεγγίσεις ναυπήγησης νέων πλοίων με χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το συνολικό αποτέλεσμα του προγράμματος επιβεβαιώνει ότι η προκείμενη διεργασία είναι εφικτή και μελλοντικά εφαρμόσιμη από τεχνική, οικονομική και νομοθετική άποψη.

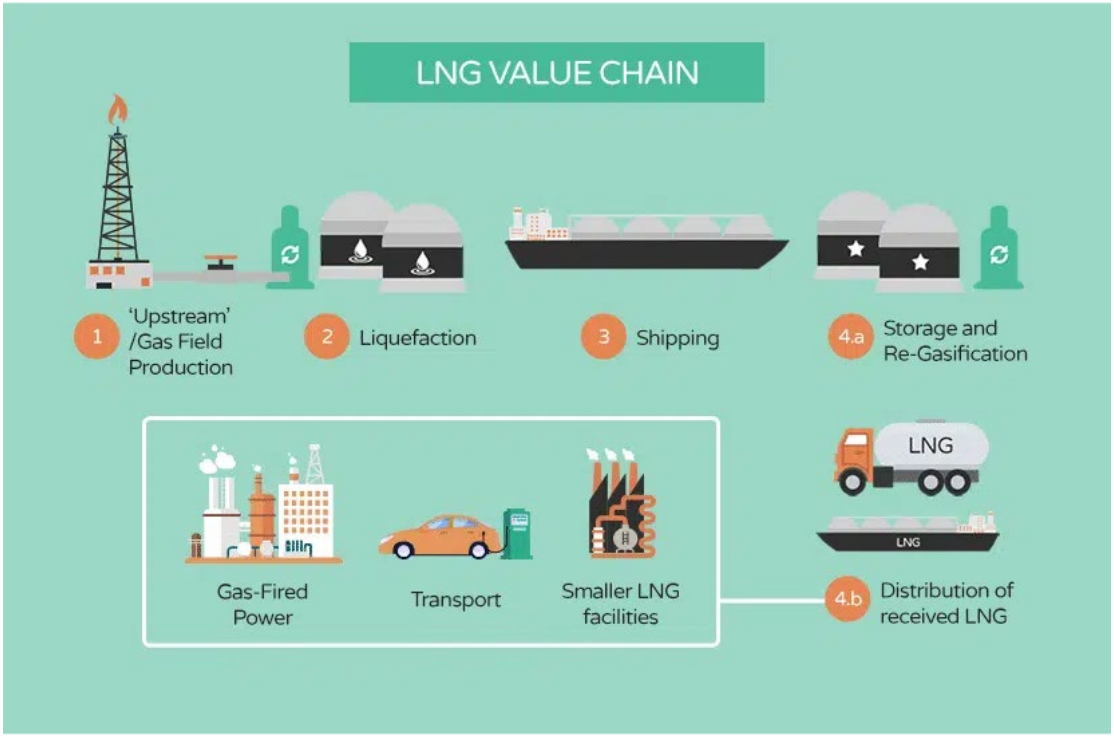
Τα αποτελέσματα της εν λόγω πρακτικής επρόκειτο να αποτελέσουν τη βάση του Poseidon Med II. Η δεύτερη φάση της πρωτοβουλίας είναι ένα πενταετές πρόγραμμα, το οποίο λαμβάνει κατά 50% χρηματοδότηση από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα «Συνδέοντας την Ευρώπη» και στοχεύει στην δημιουργία των απαραίτητων υποδομών εγκατάστασης και χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ανατολική Μεσόγειο και περιλαμβάνει διεργασίες όπως τη τιμολόγηση του LNG, την απόκτηση χρηματοδοτικών εργαλείων, το σχήμα εμπορίας κ.τ.λ. Στο εν λόγω πρόγραμμα συγκαταλέγονται μεγάλες ναυτιλιακές εταιρίες αλλά και οι κύριοι λιμένες της Ελλάδας (Πειραιάς, Πάτρα, Ηγουμενίτσα, Ηράκλειο), της Ιταλίας (Βενετία) και της Κύπρου (Λεμεσός) (Πολυχρονίου, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΦΑ

Η αγορά του ΥΦΑ και η παράδοσή του από τον προμηθευτή στον αγοραστή είναι συγκοινωνούντα δοχεία. Η μεταφορά χωρίζεται σε τέσσερα διαδοχικά στάδια: (1) εξόρυξη και παραγωγή, (2) υγροποίηση, (3) μεταφορά στον επιθυμητό προορισμό, (4) παραλαβή, αποθήκευση και αεριοποίηση. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας το ΥΦΑ μεταφέρεται μέσω LNG carriers. Εξαιτίας της αυξανόμενης συχνότητας διακίνησης ΥΦΑ, ο παγκόσμιος στόλος των LNG carriers έχει αυξηθεί, ανερχόμενος στα 600 πλοία από τα οποία περίπου τα 100 είναι υπό κατασκευή.

Εικόνα 9. Ο κύκλος του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου



Πηγή: https://energytracker.asia/

Για τη μεταφορά του ΥΦΑ χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα πλοία που το παραδίδουν στον καθορισμένο τερματικό σταθμό. Αξίζει να σημειωθεί πως τα LNG carriers αποθηκεύουν ένα μικρό μέρος του μεταφερόμενου φορτίου ώστε να διατηρήσουν ψυχρή την θερμοκρασία των δεξαμενών. Τα LNG carriers συνήθως ξεπερνούν τα 300 μέτρα, εξ' ου και ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να λαμβάνονται

αυστηρά μέτρα για τη διασφάλιση της ορθής μεταφοράς του ΥΦΑ. Για αυτήν ακριβώς τη διασφάλιση έχουν δημιουργηθεί τρία διαφορετικά σχέδια πλοίων μεταφοράς LNG:

- Σφαιρικό
- Πρισματικό σε ελεύθερη στάση
- Με μεμβράνη

Εικόνα 10. Παράδειγμα πλοίου μεταφοράς LNG

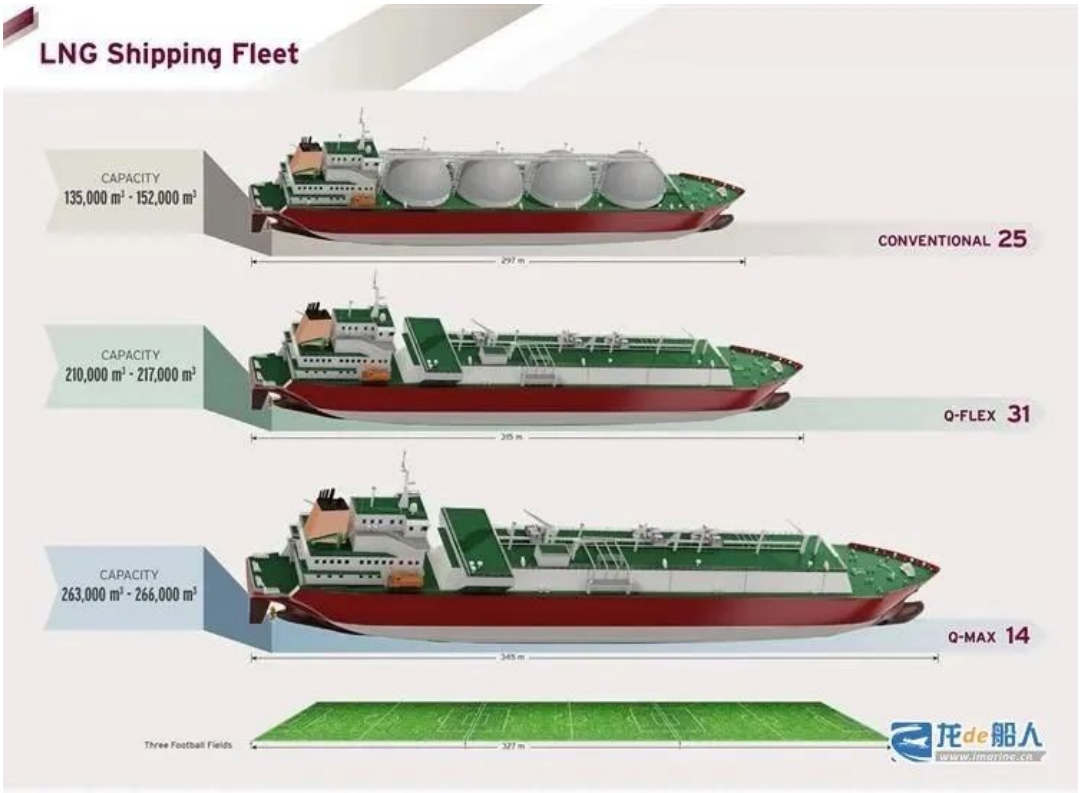
Πηγή: https://marine-digital.com/

Τα πλοία μεταφέρουν τις επιθυμητές ποσότητες LNG στους λιμένες-τερματικούς σταθμούς από το υγροποιημένο φυσικό αέριο και εγκαθίσταται σε μονωμένες δεξαμενές αποθήκευσης. Εκεί είτε αποθηκεύεται κρυογονικά είτε επαναεριοποιείται σε φυσικό αέριο προς κατανάλωση. Λόγω του υψηλού κόστους του επισταλίας του πλοίου (ship demurrage), ο χρόνος φόρτωσης του πλοίου θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα, αφού απαιτούνται δύο ή τρείς βραχίονες φόρτωσης υγρού ανάλογα με τη χωρητικότητα και το ρυθμό φόρτωσης. Για να διατηρηθεί στην κατάλληλη -κρύα- θερμοκρασία το σύστημα φόρτωσης, ώστε να αποφευχθεί η θερμική καταπόνηση (NBOG) για την οποία θα γίνει λόγος παρακάτω, με την άμεση εκκίνηση της φόρτωσης του πλοίου, ακολουθεί η εξής διαδικασία: Σε πρώτο στάδιο δημιουργείται η συνεχής ροή υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο σε δεύτερη φάση αποχωρεί από τη κεφαλή της προβλήτας και επιστρέφει στις δεξαμενές αποθήκευσης (Τσογγάρη, 2020).

Τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι προηγμένης τεχνολογίας και έχουν προσδόκιμο ζωής 30-55 έτη. Διαθέτουν διπλό κύτος, για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια του φορτίου και του πληρώματος. Τα πλοία που αναλαμβάνουν τη μεταφορά LNG είναι ειδικά σχεδιασμένα με τρόπο ώστε να διαχειρίζονται τη χαμηλή θερμοκρασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Βέβαια, η πιθανότητα εξάτμισης υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν εκμηδενίζεται, καθώς σύμφωνα με μελέτες ένα ποσοστό του ΥΦΑ της τάξης 0.1%-0.25% εξατμίζεται σε καθημερινή βάση, ανάλογα με τη ταχύτητα του ταξιδιού και της ποιότητας της μόνωσης. Τα εν λόγω πλοία, στη πλειονότητα τους έχουν 250-300 μέτρα μήκος και 46 μέτρα πλάτος. Καθώς το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει λιγότερη από τη μισή μάζα του νερού στον ίδιο όγκο (0.45 Kg/L), τα πλοία που προορίζονται για τη μεταφορά του κατατάσσονται με βάση τον όγκο τους και όχι το βάρος τους, κάτι το οποίο προκαλεί δυσχερείς συνθήκες κατά την παρουσία των πλοίων αυτών σε λιμάνια με αέρα, ακριβώς λόγω της μακροσκελούς επιφάνειας που τα χαρακτηρίζουν (Αχνιώτης, 2012).

Στα μεγαλύτερα είδη LNG συγκαταλέγονται τα Q-Flex και τα Q-max, με χωρητικότητα περίπου 213.000 και 265.000 κυβικά μέτρα αντιστοίχως. Αμφότερα αναλαμβάνουν κυρίως μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Τα πλοία αυτά χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αποδοτικότητα, είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και η συντήρηση και η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη άνεση. Επιπλέον, προλαμβάνουν το φαινόμενο της εξάτμισης που αναφέρθηκε παραπάνω, καθώς διαθέτουν ένα σύστημα επανυγροποίησης, το οποίο διατηρεί το ΥΦΑ στην αρχική του κατάσταση. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι οι νέες προδιαγραφές τους δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε όλους τους τύπους λιμένων, χωρίς τις απαραίτητες τροποποιήσεις (Τσογγάρη, 2020).

Εικόνα 11. Σύγκριση χωρητικότητας Q-Flex και Q-Max



Πηγή: https://www.imarinenews.com/

2.1. Natural Boil Off Gas (NBOG) - Φυσική εξάτμιση αερίων

Ως φυσική εξάτμιση αερίων ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία το υγροποιημένο φυσικό αέριο, που βρίσκεται συνήθως στους -160^{o} C, υφίσταται μικρές εξατμίσεις κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και αποθήκευσής του. Υπό κανονικές συνθήκες μεταφοράς, το φυσικό αέριο παραμένει υγροποιημένο και σε σταθερή πίεση. Όταν, όμως, πραγματοποιείται βρασμός και, επομένως, απελευθερώνονται αέρια, ο όγκος της δεξαμενής δέχεται αλλεπάλληλες πιέσεις. Μολονότι η κατασκευή των δεξαμενών αποθήκευσης ΥΦΑ έχει προβλέψει τέτοιου είδους φαινόμενα, οι παρατεταμένες αυξήσεις πίεσης αδυνατούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά καθιστώντας απαραίτητη την εύρεση εναλλακτικών. Αναλυτικότερα, αν το υγρό που εξατμίζεται απελευθερωθεί από τη δεξαμενή, τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση θα επανέρχονταν στα φυσιολογικά τους επίπεδα. Αυτό, όμως, δε μπορεί να υλοποιηθεί, καθώς σε πρώτο πλάνο, το μεθάνιο που συγκαταλέγεται στη σύνθεση του φυσικού

αερίου αποτελεί ένα εξαιρετικά ρυπογόνο στοιχείο για το περιβάλλον και κατά δεύτερον η ρίψη του στα θαλάσσια νερά είναι άκρως απαγορευτική (Kwak, κ.α., 2018).

2.1.1. Μέθοδοι ανάκτησης NBOG - Air Liquide

Η εταιρία Air Liquide Engineering & Construction επιχείρησε να επιλύσει το παραπάνω ζήτημα, προτείνοντας δύο τρόπους ανάκτησης του NBOG. Η πρώτη μονάδα επαναχρησιμοποίησης του NBOG στηρίζεται σε έναν αποδεδειγμένο κύκλο ανάστροφου αζώτου Brayton. Ανάλογα με την εκάστοτε πίεση που ασκεί το NBOG μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχήματα επεξεργασίας με έναν ή δύο διαστολείς. Η χρήση ενός κύκλου αζώτου επιτρέπει ευρεία ευελιξία λειτουργίας, η οποία εθεωρείτο κατάλληλη, καθώς η ροή NBOG ενδέχεται να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό με τη πάροδο του χρόνου. Η δεύτερη τεχνολογία που προτείνει η εν λόγω εταιρία ονομάζεται LIN to LNG box και χρησιμοποιεί υγρό άζωτο (LIN) ως ψυκτικό μέσο για την ανάκτηση του NBOG που παράγεται σε αποθήκες LNG. Σε σύγκριση με την προηγούμενη, η τεχνολογία αυτή προσφέρει το όφελος του μειωμένου αρχικού κόστους επένδυσης και είναι καταλληλότερη για μέτρια χωρητικότητα αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου.

2.1.2. Αποτίμηση μεθόδων

Ο ιδανικότερος τρόπος αντιμετώπισης της φυσικής εξάτμισης αερίων είναι το NBOG να υγροποιηθεί εκ νέου και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή να καταναλωθεί σε μονάδα αεριοποιήσης. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη ψύχοντας το πλέον εξατμισμένο φυσικό αέριο ώστε να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Η επανυγροποίηση (reliquefaction) απαιτεί ογκώδη εξοπλισμό και, επομένως, μεγαλύτερες δεξαμενές. Επιπροσθέτως, το NBOG μπορεί να ανακτηθεί και με καύση. Το υπερβολικό αέριο τροφοδοτείται στους κινητήρες του πλοίου που διαθέτουν τη κατάλληλη πίεση καυσίμου, ώστε να το καταναλώσουν. Το αέριο LNG χρησιμοποιείται ως καύσιμο με ορισμένα πλοία να βασίζονται στο Natural Boil Off Gas για να εκτελούν συγκεκριμένους ελιγμούς. Παρ' όλα αυτά οι συγκεκριμένες εναλλακτικές λύσεις, όσο ελπιδοφόρες και αν παρουσιάζονται, διαθέτουν ένα

σημαντικό μειονέκτημα: Όταν το υγροποιημένο φυσικό αέριο εξατμίζεται, τα πτητικά συστατικά του, το άζωτο και το μεθάνιο, βράζουν γρηγορότερα από τα άλλα, με τελική απόρροια την αλλαγή της σύνθεσης και της ποιότητας του LNG, φαινόμενο γνωστό και ως ageing process (διαδικασία γήρανσης).

2.2. Τύποι LNG carriers

Τα πλοία LNG λόγω της ιδιαιτερότητας του μεταφερόμενου φορτίου διαθέτουν έναν καινοτόμο ανατομικό σχεδιασμό. Στην πλώρη συναντώνται δεξαμενές αποθήκευσης, οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στις πρισματικές με σχεδιασμό μεμβράνης (membrane tanks-GTT technology) και στις σφαιρικές (Spherical Storage Tanks-Kvaerner-Moss system).

2.2.1. Membrane Tanks

Αυτός ο τύπος πλοίου αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960. Οι δεξαμενές μεμβράνης είναι δεξαμενές φορτίου που περιβάλλονται από μια πλήρη κατασκευή πλοίου διπλού κύτους. Οι εν λόγω δεξαμενές αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα μετάλλου για μόνωση και ένα δευτερεύον φράγμα για περισσότερη προστασία, σχεδιασμένο ώστε να αντισταθμίζεται και άλλη διαστολή ή συστολή χωρίς υπερβολική πίεση στη μεμβράνη. Με το σχεδιασμό της μεμβράνης το κύτος του πλοίου λειτουργεί στη πραγματικότητα ως η εξωτερική δεξαμενή, όπου και εγκαθίσταται μόνωση. Με την τοποθέτησης μιας δεύτερης μεμβράνης στο εσωτερικό της πρώτης συγκρατείται το LNG. Αυτή η εσωτερική μεμβράνη αποτελείται από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο. Η εγκατάστασή της διαρκεί περίπου 2 έτη και μπορεί να αποθηκεύσει από 30.000 κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου (Graczyk, κ.α., 2007).

Η GTT technology αποτελεί τον εκπρόσωπο των δύο βασικών τύπων πλοίων τύπου μεμβράνης, το Mark III και το No. 96 System, οπού μετά την ένωση της εταιρίας Gaz Transport και της Technigaz το 1994, εντοπίζεται ένας νέος τρίτος τύπος, ο οποίος αποτελεί την συγχώνευση των δύο παραπάνω, στον οποίο δόθηκε η ονομασία CSI (Combine One System).

2.2.1.1. No. 96 System- Gaz Transport System

Στο σύστημα αυτό οι δύο μεμβράνες είναι ίσες και κατασκευασμένες από invar, ένα υλικό που αποτελείται από 36% νικέλιο και 64% από χάλυβα, με αποτέλεσμα να περιέχει ελάχιστο συντελεστή συστολής. Για τη μόνωση του συστήματος αυτού παρέχονται κόντρα πλακέ κουτιά εφοδιασμένα με περλίτη. Ο περλίτης αποτελεί υλικό βασισμένο σε επεξεργασμένα ηφαιστειακά πετρώματα τα χαρακτηριστικά της μόνωσης που διαθέτει είναι εξέχουσας ποιότητας και δεν αλλοιώνονται σε βάθος χρόνου. Το συνολικό πάχος του συστήματος ανέρχεται σε 0,5 μέτρα (Αχνιώτης, 2012).

2.2.1.2. Mark III System – Technigaz System

Η βασική μεμβράνη του εν λόγω μοντέλου είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα χαμηλής θερμοκρασίας με πάχος 1,2 mm. Αυτό το είδος πλοίων μονώνονται με αφρό πολυουρεθάνης που ενισχύεται με υαλοβάμβακα. Το δεύτερο φράγμα είναι φθηνότερο και απλούστερο να κατασκευαστεί, αφού είναι κατασκευασμένο από Triplex. Το υλικό αυτό είναι τύπος πλαστικής μάζας διαπερατός από ατμούς, ενώ από την άλλη πλευρά μπορεί να περιέχει υγρό.

2.2.2. Spherical Storage Tanks

Η εν λόγω δεξαμενή είναι σφαιρική και τοποθετείται στο κύτος του πλοίου ώστε τουλάχιστον το μισό τμήμα της σφαίρας να βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του κύριου καταστρώματος. Η εξωτερική επιφάνεια της δεξαμενής διαθέτει ειδική μόνωση. Ένα κατακόρυφο σωληνοειδές στήριγμα οδηγείται από την κορυφή της δεξαμενής στο κάτω μέρος που στεγάζει τις σωληνώσεις και τα σκαλιά πρόσβασης. Όπως προκύπτει από τη διάταξη, οποιαδήποτε διαρροή στη δεξαμενή θα προκαλούσε τη συσσώρευση της στο δίσκο κάτω από τη δεξαμενή. Η γύρω περιοχή της δεξαμενής είναι εξοπλισμένη με αισθητήρες θερμοκρασίας που ενεργοποιούνται με την παρουσία LNG στο χώρο, κάτι το οποίο αποτελεί το δεύτερο φράγμα προστασίας του συγκεκριμένου μοντέλου (Zhu, κ.α., 2014).

2.2.3. Σύγκριση τύπων πλοίων LNG

Οι δεξαμενές μεμβράνης διαχειρίζονται πρακτικότερα το χώρο του πλοίου, εν αντιθέσει με τις σφαιρικές, αλλά είναι περισσότερο εύθραυστες καθώς κατά τη διάρκεια της μεταφοράς το υγροποιημένο φυσικό αέριο κινείται περισσότερο στο εσωτερικό της δεξαμενής. Από την άλλη, στις σφαιρικές δεξαμενές παρατηρείται ένα σημαντικό μειονέκτημα: Ο τρόπος σχεδίασης των δεξαμενών καλύπτει μεγάλο όγκο από την επιφάνεια του πλοίου. Έτσι, αφενός περιορίζεται η ορατότητα χαμηλά, ενώ το πλοίο δέχεται ισχυρότερη επιρροή από υψηλούς ανέμους. Το θετικό κοινό σημείο αυτών των δύο τύπων πλοίων μεταφοράς LNG είναι η υψηλής ποιότητας μόνωση που διαθέτουν, καθώς οι ναυτιλιακές εταιρίες γνωρίζουν πως σε περίπτωση που χυθεί σε αυτά υγροποιημένο φυσικό αέριο, το μέταλλο θα καταστραφεί και η επισκευή χαρακτηρίζεται από αρκετά αυξημένες χρεώσεις (Μπουλού, 2014).

2.3. Πρώτοι θαλάσσιοι δρόμοι μεταφοράς LNG

Οι πρώτες απόπειρες θαλάσσιων μεταφορών καταγράφονται το 1910 στις Η.Π.Α, όπου το φυσικό αέριο από τις πετρελαιοπηγές στο δέλτα του ποταμού Μισισιπή έπρεπε να μεταφερθεί στο Σικάγο. Μολονότι η τότε κοινωνικοοικονομικής κατάσταση στις Η.Π.Α. καθιστούσε το εγχείρημα ιδιαίτερα αναγκαίο, η μεταφορά τελικώς δεν πραγματοποιήθηκε. Παρόλα αυτά τη δεκαετία του δημιουργήθηκε το πρώτο εργοστάσιο υγροποίησης φυσικού αερίου στο Οχάιο, γεγονός που, σε συνδυασμό με την τελεσίδικη απόφαση της Μεγάλης Βρετανίας για καθολική υγροποίηση του φυσικού αερίου πριν την θαλάσσια μεταφορά του υπογραμμίζει την απήχηση της τότε διαδικασίας.

Αυτή η σειρά αποπειρών ένταξης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στη ναυτιλία και η σταδιακή αύξηση της ζήτησης δεξαμενόπλοιων για τη μεταφορά του επέφεραν μια σειρά επεκτάσεων των θαλάσσιων εμπορικών δρόμων. Η πρώτη υπερπόντια μεταφορά πραγματοποιήθηκε το 1969 με το πλοίο Polar Alaska από την Άπω Ανατολή προς το κόλπο του Τόκιο. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1977 εγκαινιάστηκαν δύο νέοι δρόμοι: από τη Μαλαισία και από το Abu Dhabi με προορισμό την Ιαπωνία. Η Αυστραλία αποπειράθηκε να μεταφέρει υγροποιημένο φυσικό αέριο το 1989 (Καραμπέτσου, 2013).

Αξίζει να επισημανθεί ότι τα άνωθεν δεν αντικατοπτρίζονται από απόλυτη εγκυρότητα, καθώς το πλήθος πηγών που συγκεντρώθηκε για την εκπόνηση της εν λόγω εργασίας παρουσιάζει ασάφειες στα δεδομένα που παρουσιάζουν συγκριτικά μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις ραγδαίες εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα καθημερινά στα ναυτιλιακά δεδομένα σε όλο το κόσμο ερευνητικά μας περιορίζουν. Η επιλογή και καταγραφή των παραθεμάτων που ακολουθούν προκλήθηκαν με άξονες την εγκυρότητα των πηγών και το έτος παράθεσης τους (χρησιμοποιήθηκαν τα πιο πρόσφατα).

2.4. Μεταγενέστερες διαδρομές

Όπως προαναφέρθηκε, η επέκταση της Διώρυγας του Παναμά επέφερε μια σειρά αλλαγών στους θαλάσσιους δρόμους που διασχίζουν τα δεξαμενόπλοια LNG. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα του ΥΦΑ δεν μεταφέρεται υπερατλαντικά. Ως επί το πλείστο το ΥΦΑ παράγεται στη λεκάνη του Ατλαντικού και του Ειρηνικού ωκεανού και παραμένει στην ίδια γεωγραφική περιοχή, τόσο για οικονομικούς όσο και για πρακτικούς λόγους. Ωστόσο, ο αριθμός θαλάσσιων μεταφορών ποικίλλει ανάλογα τη ζήτηση του LNG ανά το κόσμο. Για παράδειγμα, το 2016 διεξήχθησαν 4.246 ταξίδια σημειώνοντας αύξηση 5% σε σύγκριση με το 2015. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί πως η θαλάσσια μεταφορά του φυσικού αερίου δεν καλύπτει τη καθολική μεταφορά του, καθώς μεγάλο ποσοστό ΦΑ μετακινείται μέσω αγωγών, κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

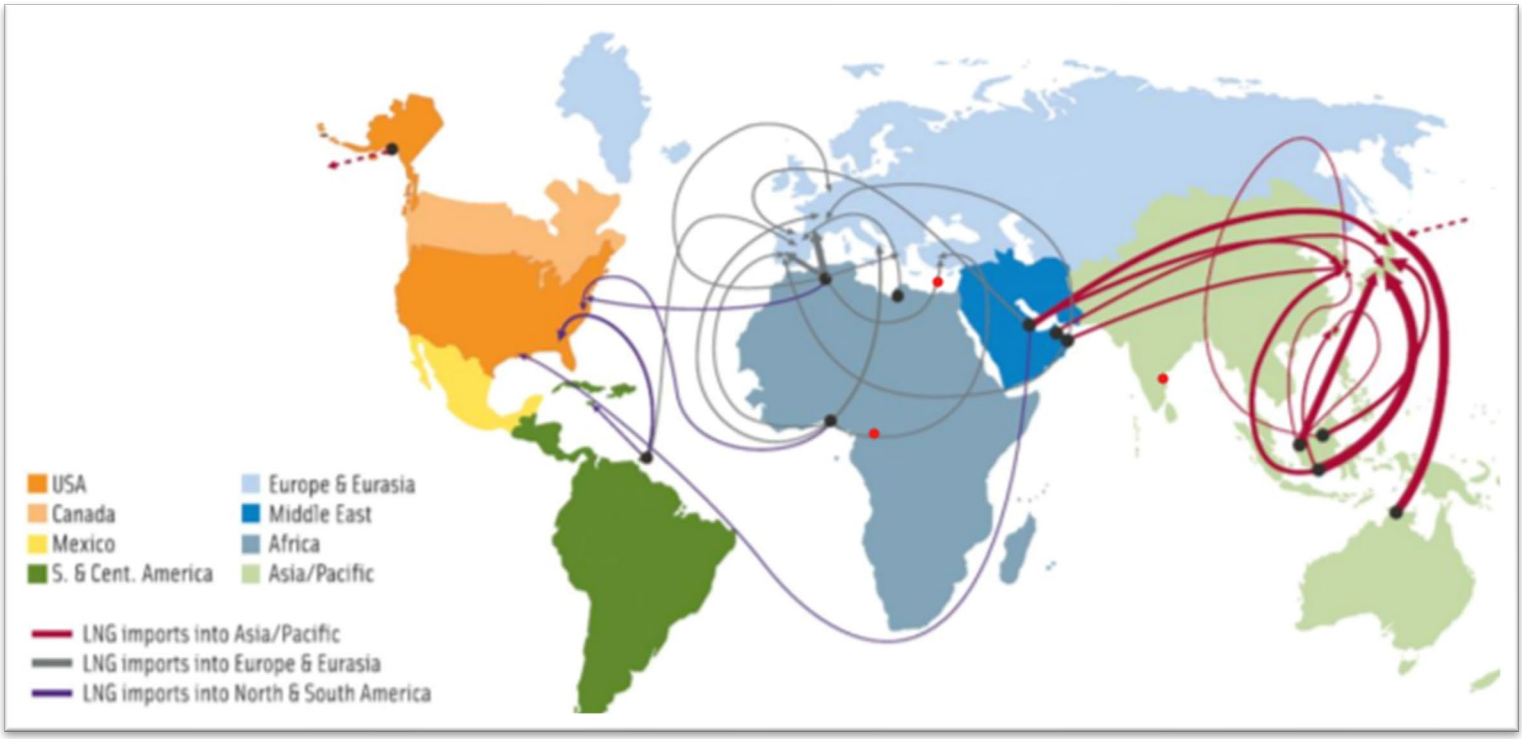
2.5. Κύριες διαδρομές μεταφοράς LNG

Λόγω του σταδιακά αυξανόμενου ενδιαφέροντος για το ΥΦΑ, ο εντοπισμός αποθεμάτων φυσικού αερίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη ζήτηση, αλλά και στη διακίνηση του. Χώρες από τη Βόρεια και Νότια Αμερική και από τη Μέση και Άπω Ανατολή αποτελούν τους κύριους παραγωγούς και εξαγωγείς του φυσικού αερίου. Καθώς αυτά βρίσκονται σε αρκετά μακρινή απόσταση από την Ευρώπη, την Κορέα και την Ιαπωνία, που, σύμφωνα με τα ισχύοντα δεδομένα, αποτελούν τους συστηματικότερους εισαγωγείς του φυσικού αερίου, η ανάγκη θαλάσσιων μεταφορών

LNG, γίνεται ακόμη περισσότερο εντονότερη. Πιο συγκεκριμένα οι κύριες διαδρομές αποστολής είναι:

- Από την Αλάσκα προς την Ιαπωνία κατά μήκος των διαδρομών που διασχίζουν τον Ειρηνικό ωκεανό
- Από την Ανατολική και Κεντρική Αφρική, τη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή, στον Ατλαντικό ωκεανό, τη Μεσόγειο θάλασσα και έως τη Δυτική και Νότια Ευρώπη
- Από τη Μέση Ανατολή, την Κεντρική Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική, το Τρινιντάντ και το Τομπάγκο, έως τις Ανατολικής ακτές της Βόρειας Αμερικής και τα νησιά της Καραϊβικής, κατά μήκος διαδρομών που διασχίζουν τον Ινδικό και Ατλαντικό ωκεανό.
- Από τη Μέση Ανατολή, το αρχιπέλαγος της Μαλαισίας και την Αυστραλία έως τις βιομηχανικές χώρες της Άπω Ανατολής κατά μήκος του Ινδικού ωκεανού και της Νοτιοδυτικής Ασίας.

Εικόνα 12. Σημεία διακίνησης ΥΦΑ σε Ατλαντικό και Ειρηνικό ωκεανό



Πηγή: https://www.eia.gov/

2.5.1. Δύο μεγάλες εμπορικές ζώνες

Οι δύο μεγαλύτερες λεκάνες διακίνησης ΥΦΑ είναι η λεκάνη του Ατλαντικού και αυτή του Ειρηνικού ωκεανού. Στη πρώτη συγκαταλέγεται η Δυτική και Βόρεια Αφρική, η Ευρώπη, Ανατολικές ακτές των Η.Π.Α και οι ακτές του κόλπου του Μεξικό. Όσον αφορά τη λεκάνη του Ειρηνικού ωκεανού, αυτή περιλαμβάνει τη Ρωσία, την Αλάσκα, τη Νότια Ασία και την Ινδία. Η Μέση Ανατολή αναλαμβάνει το ρόλο του «μεσάζοντα», καθώς βρίσκεται στη μέση μεταξύ των δύο αυτών ζωνών. Σε σπάνιες περιπτώσεις αποστέλλει φορτία στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α, ενώ βασικός της ρόλος αποτελεί η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου προς την Ασία.

2.5.2. Northern Sea Route-NSR

Η αναζήτηση νέων θαλάσσιων δρόμων που θα ευνοούσαν τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου με την επιθυμητή ελάττωση κόπου και χρήματος κατέληξαν στην εύρεση μίας νέας διαδρομής, ικανής να συγχωνεύει τις δύο προαναφερθείσες εμπορικές ζώνες του Ατλαντικού και του Ειρηνικού ωκεανού. Η εν λόγω διαδρομή, ονόματι Northern Sea/Shipping Route, αποτελεί μια ναυτιλιακή λωρίδα μεταξύ των δύο μεγάλων ωκεανών κατά μήκος της ρωσικής ακτής της Σιβηρίας και της Άπω Ανατολής διασχίζοντας πέντε αρκτικές θάλασσες: τη θάλασσα Καρά, τη θάλασσα του Λάπτοφ, τη θάλασσα του Μπάρεντς, τη θάλασσα Chukchi και την Ανατολική Σιβηρική θάλασσα.

Οι κλιματικές αλλαγές που σταδιακά εντείνονται ευνοούν τη προσβασιμότητα της διαδρομής αυτής, δίνοντας κατ' αυτό το τρόπο ένα επιπλέον κίνητρο στις ναυτιλιακές εταιρίες για περαιτέρω αναζήτηση επί του θέματος. Πιο συγκεκριμένα, η ποσότητα του πάγου στην Αρκτική το 2014 μειώθηκε κατά 30% σε σχέση με τη δεκαετία του 1980. Επιπλέον, η εν λόγω διαδρομή είναι αποδοτικότερη τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, καθώς το πάχος του πάγου τις περιόδους είναι μικρότερο, γεγονός το οποίο επηρεάζει και τη διάρκεια του ταξιδιού. Σε γενικά πλαίσια το ταξίδι από αυτή τη διαδρομή μειώνει την απόσταση μεταξύ Βόρειας Ευρώπης και Ιαπωνίας κατά 40%. Εάν δηλαδή ένα δεξαμενόπλοιο πλέει με ταχύτητα 17 κόμβων από το εργοστάσιο LNG της Ρωσίας προς την Ιαπωνία μέσω του καναλιού

Σουέζ, ολοκληρώσει το ταξίδι του σε 35 ημέρες, τότε μέσω της διαδρομής NSR θα διαρκέσει μόλις 15.

Η νέα αυτή διαδρομή μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου ενέχει τα κάτωθεν πλεονεκτήματα:

- Μείωση των περιβαλλοντικών εκπομπών, καθώς το πλοίο βρίσκεται σε διέλευση για μικρότερο χρονικό διάστημα.
- Σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου ανά τόνο φορτίου που μεταφέρεται λόγω της μικρότερης απόστασης που πρέπει να καλυφθεί.
- Μεγαλύτερη ποσότητα LNG κατά τη παράδοση, καθώς χάρις τη μειωμένη διάρκεια του ταξιδιού εξατμίζεται λιγότερο.
- Η αποφυγή διέλευσης μέσω της διώρυγας του Σουέζ (της πιο επικίνδυνης διαδρομής) ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες αεροπειρατείας.

Συνολικά, ο αριθμός των δεξαμενόπλοιων που έχουν διασχίσει τη διαδρομή αυτή, αυξήθηκε από 4 το 2010 σε 71 το 2013 και μειώθηκε σε 18 το 2015 (Verny, Grigentin, 2009).

2.6. Ανεφοδιασμός LNG

Οι σταθμοί ανεφοδιασμού ΥΦΑ μοιάζουν με αυτούς της βενζίνης, καθώς και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται τροφοδότηση με υγρό στοιχείο. Οι διανομείς LNG παραδίδουν καύσιμα σε οχήματα σε πιέσεις που κυμαίνονται από 30 έως 120 psi. Το φυσικό αέριο παραδίδεται στο σταθμό και αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (-160^{o}), όπου και διατηρείται υγροποιημένο. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός διανομέα το LNG αντλείται στο όχημα. Λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών, οι χειριστές τροφοδότησης LNG υποβάλλονται σε ειδική εκπαίδευση και η προστασία των χεριών και του προσώπου είναι υποχρεωτική για την αποφυγή ενδεχομένου κατάψυξης εγκαυμάτων. Εκεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές, που, στη πλειονότητα τους, είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα με μόνωση πολλαπλών στρωμάτων για να αποφευχθεί η διαρροή εξωτερικής θερμότητας στο φορτίο LNG. Ο ανεφοδιασμός με υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει την ίδια διάρκεια με το ντίζελ ή τη βενζίνη.

Υπάρχουν τρείς τρόποι τροφοδοσίας LNG: με κοντέινερ, με μόνιμους μεγάλους σταθμούς και με κινητές συσκευές. Στη κινητή τροφοδοσία το υγροποιημένο φυσικό αέριο παραδίδεται από βυτιοφόρο φορτηγό που διαθέτει εξοπλισμό μέτρησης και διανομής. Στους μόνιμους σταθμούς υπάρχει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης, καθώς είναι διαμορφωμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες κάθε στόλου.

Τα κόστη εγκατάστασης ενός σημείου ανεφοδιασμού LNG ποικίλλουν ανάλογα το μέγεθος του σταθμού, τη χωρητικότητα και τον τρόπο με τον οποίο το υγροποιημένο φυσικό αέριο διανέμεται. Το κόστος εφαρμογής σημείου ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι αρκετά μεταβλητό, καθώς μπορεί να κυμαίνεται από ένα έως αρκετά εκατομμύρια δολάρια. Το κόστος εξαρτάται από παράγοντες όπως η χωρητικότητα αποθήκευσης, ο σχεδιασμός των σταθμών και οι υπηρεσίες που απαιτούνται για τη κατασκευή του. Όμως, η εγκατάσταση ενός τέτοιου τύπου σταθμού απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση, καθώς οι κυβερνήσεις που ενδιαφέρονται να επενδύσουν στον κλάδο αυτό οφείλουν ελέγχουν εάν το κατάλληλο επίπεδο πίεσης αερίου είναι διαθέσιμο στη περιοχή τους, εάν η ποιότητα του και η περιεκτικότητα σε υγρασία βρίσκεται στα επιθυμητά πλαίσια και αν η υπηρεσία αερίου μπορεί να υποστηρίξει την απαιτούμενη ροή. Ως εκ τούτου, οι κυβερνήσεις των χωρών χρειάζονται αφενός, περισσότερο χρόνο προτού επενδύσουν στη συγκεκριμένη ιδέα και αφετέρου πρόσθετες επενδύσεις για την αντιμετώπιση των αναγκών αυτών (Aneziris, κ.α., 2019).

2.6.1. Truck-to-Ship

Ελλείψει υποδομής και ζήτησης, ο πιο διαδεδομένος τρόπος ανεφοδιασμού υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι η διαδικασία Truck to Ships (TTS). Σε αυτή τη διαδικασία το φορτηγό που μεταφέρει το LNG συνδέεται με το πλοίο, μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα. Εναλλακτικά, πολλά φορτηγά βυτιοφόρων συνδέονται με μια λειτουργία τροφοδοσίας, που διοχετεύει καύσιμο στο πλοίο. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της τακτικής είναι το χαμηλό επενδυτικό κόστος για τις επιχειρήσεις, καθώς και το γεγονός ότι τα φορτηγά ανεφοδιασμού LNG μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς. Παρόλα αυτά σημειώνεται και λίστα μειονεκτημάτων: Αφενός, η χωρητικότητα των φορτηγών είναι περιορισμένη. Έτσι, αυτή η μέθοδος ανεφοδιασμού καυσίμων είναι κατάλληλη μόνο για πλοία με υγροποιημένο φυσικό αέριο μικρότερου

μεγέθους. Επιπλέον, αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία λόγω του περιορισμένου ρυθμού ροής. Τέλος, η παρουσία διαδικασιών ανεφοδιασμού φορτηγών και αποθηκών στο λιμένα επηρεάζει τη συνολική ροή και λειτουργικότητά του, όπως τη μεταφορά φορτίων και επιβατών.

2.6.2. Ship-to-Ship

Η διεργασία αυτή είναι εφικτή σε εύρος τοποθεσιών: κατά μήκος του λιμένα, σε άγκυρα ή στη θάλασσα και η χωρητικότητα των καυσίμων κυμαίνεται από 1.000 έως 10.000 κυβικά μέτρα. Λόγω του περιορισμού μεγέθους σε ορισμένα λιμάνια είναι εφικτή για δεξαμενόπλοια μικρότερου μεγέθους. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταφοράς τα δεξαμενόπλοια πρέπει να βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο, προκειμένου να μεταγγισθεί το φορτίο. Ως εκ τούτου απαιτείται άριστος συντονισμών μεταξύ των δύο πλοίων -ειδικά εάν η επιχείρηση εκτελείται μεσοπέλαγα-, επαρκής εξοπλισμός και εκπαίδευση του προσωπικού, αλλά και άδεια έγκρισης από την αρμόδια αρχή του λιμένα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεταφοράς από πλοίο σε πλοίο είναι η απουσία ορίου χωρητικότητας, καθώς μπορεί να διεξαχθεί στη θάλασσα. Παρ' όλα αυτά χαρακτηρίζεται από αυξημένο επενδυτικό κόστος, κάτι το οποίο κάνει τις επιχειρήσεις να διστάζουν ως προς την επιλογή τους.

2.6.3. Shore-to-Ship

Ακόμη μια οδός ανεφοδιασμού είναι η ξηρά, όπου το υγροποιημένο φυσικό αέριο είτε ανεφοδιάζεται απευθείας από δεξαμενή, είτε από μικρό σταθμό, ή από τερματικό εισαγωγής και εξαγωγής. Εάν ο τερματικός σταθμός υγροποιημένου φυσικού αερίου δε βρίσκεται απευθείας στο αγκυροβόλιο, τότε υφίσταται η χρήση αγωγών από τον τερματικό σταθμό στην αποβάθρα. Η μεταφορά LNG από αγωγούς χρησιμοποιείται για πλοία που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ στη Νορβηγία εδώ και αρκετά χρόνια. Ο ανεφοδιασμός μέσω ξηράς χαρακτηρίζεται ως μια προτιμητέα λύση, κυρίως για λιμένες με σταθερή και μακροπρόθεσμη ζήτηση, κάτι το οποίο, εφόσον εγκατασταθούν ανάλογες τεχνολογικές υπηρεσίες στα λιμάνια, θα οδηγήσει σε σημαντικά μειωμένους χρόνους ανεφοδιασμού. Ωστόσο, η προσπάθεια που χρειάζεται ένα πλοίο για να φτάσει στη θέση του τερματικού σταθμού ή αγωγού, αποτελεί σημαντική πρόκληση.

2.7. Τερματικοί σταθμοί

Οι τερματικοί σταθμοί υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι εγκαταστάσεις στις οποίες γίνεται ανεφοδιασμός του LNG που αποστέλλεται από τα ειδικά δεξαμενόπλοια από τις ζώνες παραγωγής. Ένας τερματικός σταθμός εκτελεί τις εξής διεργασίες:

- Αγκυροβόληση των δεξαμενοπλοίων ΥΦΑ και εκφόρτωση ή επαναφόρτωση
- Αποθήκευση ΥΦΑ σε κρυογονικές δεξαμενές
- Συμπίεση και επανεριοποίηση.
- Αποστολή ΥΦΑ στο δίκτυο μεταφοράς

Όταν φτάνουν στον τερματικό σταθμό, τα LNG carriers αγκυροβολούνται στο σημείο εκφόρτωσης. Οι αρθρωτοί βραχίονες συνδέονται με τον μεταφορέα υγροποιημένου φυσικού αερίου για να εκφορτώσουν το περιεχόμενό του και να μεταφέρουν το LNG στις δεξαμενές αποθήκευσης του τερματικού σταθμού. Εν συνεχεία, το ΥΦΑ ρέει δια μέσου ειδικών αγωγών στη θερμοκρασία των -160^{o} C. Η διαδικασία διαρκεί περίπου 12 ώρες. Ένας όγκος αερίου αποστέλλεται πίσω από την αποθήκη του τερματικού σταθμού στο δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αέριου, αποβλέποντας στη διατήρηση της πίεσης μέσα στις δεξαμενές φορτίου.

2.7.1. Οι κορυφαίοι τερματικοί σταθμοί στον κόσμο

Η εκτεταμένη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου πλέον θεωρείται ζήτημα παγκόσμιας εμβέλειας, καθώς η σταδιακή αύξηση της ζήτησης του καλύπτει σχεδόν όλο το γεωγραφικό χάρτη. Επί του παρόντος πάνω από 40 έργα κατασκευής βρίσκονται σε εξέλιξη. Παρακάτω διατίθενται οι δέκα περισσότερο ανεπτυγμένοι τερματικοί σταθμοί, οι οποίο έχουν αλλάξει δια παντός τα οικονομικά δεδομένα τόσο της χώρας τους, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

I. Isle of Grain

Αποτελεί το μεγαλύτερο τερματικό σταθμό του Ηνωμένου Βασιλείου και του δυτικού ημισφαίριου της Ευρώπης. Βρίσκεται σε εκβολή του Τάμεση και συγκεκριμένα στο Hoo Peninsula, Kent με χωρητικότητα επαναεριοποίησης 1.000.000 m^3 δηλαδή το 20% της προμήθειας του φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου. Αποτελείται από 9 δεξαμενές αποθήκευσης και ανήκει στην εταιρεία National Grid

II. Sabine Pass

Βρίσκεται στις όχθες του ποταμού Sabine Pass ανάμεσα στο Τέξας και τη Λουϊζιάνα και αποτελεί το πρώτο μεγαλύτερο τερματικό σταθμό των Η.Π.Α και τον δεύτερο πιο ανεπτυγμένο του παγκόσμιου δυτικού ημισφαιρίου. Ξεχωρίζει για το μεγαλύτερο δείκτη επανεριοποίησης στο κόσμο. Χτήστικε το 2008, αποτελείται από 5 δεξαμενές αποθήκευσης με χωριτηκότητα 800.000 m^3 και ανήκει στην Cheniere Energy.

III. Golden Pass

Αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο τερματικό σταθμό των Η.Π.Α και το τρίτο μεγαλύτερο του παγκόσμιου δυτικού ημισφαιρίου και εξασφαλίζει αρκετό φυσικό αέριο για τη κάλυψη των μέσων ημερήσιων αναγκών περίπου 10 εκατομμύρια νοικοκυριών μέσω των αγωγών του. Ανήκει στην Qatar Petroleum. Το έτος κατασκευής του είναι το 2010 ενώ έχει 5 δεξαμενές συνολικής χωριτηκότητας 775.000 m^3

IV. South Hook

Ο δεύτερος μεγαλύτερος τερματικός σταθμός LNG του Ηνωμένου Βασιλείου και της Ευρώπης είναι το South Hook που βρίσκεται στο Milford Haven στην Ουαλία. Χτίστηκε το 2009 και ανήκει συνεργατικά στην Qatar Petroleum, την Exxon Mobil και την Total. Χάρη στις 5 δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας είναι ικανός για να εξασφαλίσει 21 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου ετησίως στο "National Transmission System-NTS" του Ηνωμένου Βασιλείου, σχεδόν το 25% δηλαδή της ζήτησης της χώρας.

V. Incheon

Βρίσκεται στη Βορειοδυτική ακτή της Ν. Κορέας (Incheon Metropolitan City, Sudogwon)και αποτελεί το μεγαλύτερο τερματικό σταθμό εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου στο κόσμο σε χωρητικότητα καθώς έχει 20 δεξαμενές αποθη΄κευσης με συνολική χωριτηκότητα 2.680.000 m^3. Χτίστηκε το 1996 και ανοίκει στην Korea Gas Corporation (Kogas).

Εικόνα 13. Εγκαταστάσεις LNG στην Ευρώπη

Πηγή: www.gie.eu

2.7.2. Τερματικός σταθμός LNG Ρεβυθούσας

Ο τερματικός σταθμός Ρεβυθούσας αποτελεί έναν από τους 28 τερματικούς σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου που λειτουργούν σήμερα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και στην Ευρώπη. Λειτουργεί από το 1999. Η ροή στους αγωγούς ρυθμίζεται από ειδικό κέντρο ελέγχου, που παρακολουθεί το σύστημα τροφοδοσίας όλο το εικοσιτετράωρο. Ο τερματικός σταθμός περιλαμβάνει 3 δεξαμενές αποθήκευσης και η συνολική της χωρητικότητα ανέρχεται στα 225.000 m^3 LNG και ρυθμό φόρτωσης 7.250 m^3 ανά ώρα.

Το 2019 η Ρεβυθούσα μετατράπηκε και σε κέντρο εξαγωγής ΥΦΑ. Έτσι, από την περιοχή θα μπορούν να αποχωρούν βυτιοφόρα με υγροποιημένο φυσικό αέριο και να το μεταφέρουν σε οποιαδήποτε περιοχή της χώρας ή/και τα Βαλκάνια. Σύμφωνα με πρόσφατα σχέδια υλοποίησης, εξαγωγές θα γίνονται και με μικρά δεξαμενόπλοια, καθώς έτσι θα είναι εφικτή η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου και στα νησιά, τα οποία μέχρι πρωτίστως δεν είχαν πρόσβαση στο εν λόγω καύσιμο. Στη δυτική πλευρά της περιοχής παρατηρείται η τρίτη μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης LNG. Έτσι, τα αποθέματα ασφαλείας της χώρας θα καλύπτουν διπλάσιο χρόνο απ' ότι σήμερα, όπως εξίσου θα καλύπτονται ανάγκες των γειτονικών χωρών. Σύμφωνα με μελέτες του ΔΕΣΠΑ, μετά την αναβάθμιση της, η δυναμικότητα του τερματικού αυτού σταθμού, θα αυξηθεί στα 7 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το χρόνο, από τα οποία τα 2 εκατομμύρια προορίζονται για την ελληνική αγορά και το υπόλοιπο ποσό, το οποίο καλύπτει το 30% της κατανάλωσης των γειτονικών χωρών, επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί για εξαγωγές σε χώρες των Βαλκανίων και την Ουκρανία, με αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας διασύνδεσης μεταξύ Ελλάδας-Βουλγαρίας, στην οποία υπάρχει και η δυνατότητα αντίστροφης ροής (Κωνσταντόπουλος, 2020).

Συμπερασματικά, η Ρεβυθούσα εξελίσσεται σε ένα από τους σημαντικότερους τερματικούς σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου της ΝΑ Ευρώπης, καθώς από τη θεσμοθετημένη μορφή ενός τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου, θα μετατραπεί σε ένα πολυμορφικό σταθμό, ο οποίος παρέχει ποικιλία λειτουργιών και εγκαταστάσεων.

2.7.3. Τερματικός σταθμός LNG Αλεξανδρούπολης

Η ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης ενισχύεται από το έργο του τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου Αλεξανδρούπολης που θα τροφοδοτεί την Ελληνική και τη περιφερειακή αγορά της νοτιοανατολικής Ευρώπης. Ο σταθμός αποτελεί τη δεύτερη πύλη εισόδου LNG μετά τη Ρεβυθούσα. Ο σχεδιασμός του ξεκίνησε το 2010. Ο τερματικός σταθμός αποτελείται από πλωτή μονάδα αποθήκευσης και επαναεριοποίησης -η οποία θα αγκυροβοληθεί σε θαλάσσιο χώρο, 17.6 χιλιομέτρων νοτιοδυτικά του λιμανιού της Αλεξανδρούπολης και 10 χλμ. από την κοντινότερη ακτή στη Μάκρη του Έβρου -καθώς και από ένα σύστημα αγωγών συνολικού μήκους 28 χιλιομέτρων. Το έργο κόστισε περίπου 380 εκατομμύρια ευρώ και αποσκοπεί στη δημιουργία μιας τέταρτης πύλης εισαγωγής φυσικού αερίου στον Ελλαδικό χώρο. Η δυναμικότητα παροχής του ανέρχεται στα 700.000 κυβικά μέτρα ανά ώρα ενώ η αποθηκευτική ικανότητα στα 170.000 κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τέλος δύναται να παρέχει αεριοποιημένο φυσικό αέριο δυναμικότητας έως και 5,5 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm) ετησίως.

Τη συγκατάθεση της στο έργο αυτό έχει επισημάνει και η Βουλγαρία, με τη συνεργασία της Ελληνικής εταιρίας ΔΕΠΑ και της Bulgarian Energy Holding EAD, δημιουργώντας μια διακρατική σύμπραξη δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, με αποτελέσματα τα οποία ξεπερνούν σε μεγάλο βαθμό τα εθνικά σύνορα. Η μονάδα αυτή είναι μέρος της στρατηγικής της ΕΕ για τη μείωση της εξάρτησης από το ρωσικό φυσικό αέριο, παρέχοντας μια εναλλακτική οδό προμήθειας φυσικού αερίου στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης όπως η Βουλγαρία, η Ρουμανία και η Σερβία. Έτσι η Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως διαμετακομιστικός κόμβος (hub) στη νοτιοανατολική Ευρώπη.

Η Αλεξανδρούπολη με την επένδυση αυτή ανοίγει τις πύλες της σε υγροποιημένο φυσικό αέριο από μεγάλη ποικιλία προμηθευτών, συμπεριλαμβανομένων και των Ηνωμένων Πολιτειών, που έχουν κάνει γνωστό το στρατηγικό τους ενδιαφέρον και τη περαιτέρω ανάπτυξη του λιμένα. Η εμπορική λειτουργία του έργου, αναμένεται να διασφαλίσει νέες ποσότητες φυσικού αερίου για τη τροφοδοσία της Ελληνικής και περιφερειακής αγοράς της νοτιοανατολικής Ευρώπης.

Το έργο FSRU Αλεξανδρούπολης υλοποιήθηκε με σταθερούς ρυθμούς από τη λήψη της τελικής επενδυτικής απόφασης από την Gastrade τον Ιανουάριο του 2022. Από τότε σημαντικά ορόσημα επιτεύχθηκαν, οδηγώντας στη λειτουργική ετοιμότητα και την έναρξη της εμπορικής λειτουργίας του. Τον Φεβρουάριο του 2023 ξεκίνησε η κατασκευή της πλωτής μονάδας αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (Floating Storage and Regasification Unit - FSRU) στη Σιγκαπούρη, σε συνεργασία με το ναυπηγείο Seatrium. Το FSRU απέπλευσε από τη Σιγκαπούρη στις 26 Νοεμβρίου 2023 και κατέφτασε στο Θρακικό Πέλαγος στις 17 Δεκεμβρίου, όπου αγκυροβόλησε στη μόνιμη θέση του. Τον καλοκαίρι του 2024, μετά από εκτενείς δοκιμές λειτουργίας και την έκδοση των απαιτούμενων αδειών λειτουργίας από το Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, το FSRU τέθηκε σε πλήρη λειτουργική ετοιμότητα, ξεκινώντας επίσημα την εμπορική του λειτουργία και στις 3 Οκτωβρίου 2024 κατέφθασε το πρώτο εμπορικό φορτίο LNG με τα επόμενα φορτία να είναι προγραμματισμένα για τις 25 Νοεμβρίου και 27 Δεκεμβρίου 2024. Μέχρι και τον Ιούλιο του 2025 έχει προγραμματιστεί η παράδοση ενός φορτίου ανά μήνα. Η Gastrade έχει ανακοινώσει ότι 14 ελληνικές και διεθνείς εταιρείες έχουν δεσμεύσει το 90% της δυναμικότητας από το 2025 έως το 2027 κάτι που προβλέπεται να φθίνει μέχρι το 2030 λόγω της απροθυμίας των εταιρειών για μακροχρόνιες δεσμεύσεις.

Η Gastrade ανέφερε ότι μια δεύτερη μονάδα FSRU βρίσκεται σε κατάσταση δανειοδότησης 5 χιλιόμετρα από τη πρώτη μονάδα εφόσον τωση που προκύψουν νέες ανάγκες στην αγορά της νοτιοανατολικής και κεντρικής Ευρώπης που καλύπτονται από την υφιστάμενη. Το έργο αυτό ονομάζεται «ΑΣΦΑ Θράκης» και προβλέπεται να έχει ικανότητα αποθήκευσης 170.000 m^3 ενώ θα συνδέεται με τους ήδη υφιστάμενους αγωγούς της περιοχής.

2.7.3. Τερματικός σταθμοί υπό ανάπτυξη

Η ένωση Λιμένων Ελλάδας (Ο.Λ.ΠΑ. Α.Ε) είχε αναφέρει ότι έως και τα τέλη του 2022 θα υπάρχουν εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου στα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά ενώ είχαν ανακοινωθεί παρόμοια εγχειρήματα :

- Το Argo FSRU της MedGas σε συνεργασία με την ExxonMobil LNG το οποίο προβλέπεται να αναπτυχθεί στο Παγασητικό κόλπο. Από τον Σεπτέμβριο 2024

εκρεμμεί η ολοκλήρωση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης του έργου. Η αναμενόμενη ετήσια χωρητικότητα είναι 5.2 δισεκατομμύρια m^3 ενώ προβλέπεται να εφοδιάζει αρκετές χώρες όπως τη Βουλγαρία, το Μαυροβούνιο, το Κόσοβο, τη Βοσνία, τη Βόρεια Μακεδονία, την Αλβανία, Στο οποίο ίσως δεν υλοποιηθεί λόγω της υπερκάλυψης από τα 2 υπάρχοντα FSRU και ταυτόχρονα λόγω έντονων αντιδράσεων από την τοπική κοινωνία στο Βόλο.

- Το Thessaloniki FSRU της Elpedison, στο Θερμαϊκό κόλπο. Ο υπεράκτιος αυτός τερματικός σταθμός θα αποτελείται από 2 πλοία που θα λειτουργούν ως πλωτές μονάδες αποθήκευσης (Floating Storage Unit - FSU) εκ τον οποίων το ένα θα λειτουργεί και ως μονάδα επαναεριοποίησης (FSRU). Η χωρητικότητα αποθήκευσης τους θα κυμαίνεται μεταξύ 250.000 m^3 και 280.000 m^3. Προβλέπεται να συμβάλλει στον εφοδιασμό της Βορείου Ελλάδας και της Νοτιοανατολικής Ευρώπης.

- Το Διώρυγα Gas της Motor Oil στην περιοχή των Αγ. Θεοδώρων Κορινθίας, το οποίο αναμένει κρατική χρηματοδότηση για την έναρξη του. Η δυναμικότητα αποθήκευσης θα είναι έως 210.000 m^3.

Το συνολικό ύψος των επενδύσεων για τη δημιουργία νέων πλωτών μονάδων αποθήκευσης και αεριοποίησης φυσικού αερίου ξεπερνά το 1 δισ. ευρώ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ LNG

Μολονότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί ένα συνεπές προϊόν δίχως προβλήματα στην αποθήκευση δεξαμενών που σχετίζονται με υδρατμούς και άλλους μολυσματικούς παράγοντες, η κρυογονική του θερμοκρασία φέρνει στο προσκήνιο ποικίλα ζητήματα όσον αφορά την ασφάλεια για μεταφορά και την αποθήκευση του. Συν τοις άλλοις, το LNG αποτελεί ένα καύσιμο που απαιτεί εντατική παρακολούθηση λόγω της συνεχούς θέρμανσης του, καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι ιδιαίτερα έντονη. Ακόμη και με χρήση δεξαμενών υψηλής μόνωσης παρατηρείται πάντα μια συνεχής αύξηση της εσωτερικής πίεσης, η οποία προκαλεί την ανάγκη εξαέρωσης στην ατμόσφαιρα. Συνακόλουθα, πρέπει να δωθεί μεγάλη προσοχή στη ψύξη των γραμμών μεταφοράς, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία υπερβολικών ποσοτήτων ατμού.

Η συνεχής εξάτμιση του καυσίμου προκαλεί μια εξίσου ενδιαφέρουσα επίδραση, καθώς μεταβάλλει τη σύνθεση του ίδιου του φυσικού αερίου: το μεθάνιο θα υποστεί βράση νωρίτερα από το προπάνιο και το βουτάνιο. Έτσι, αν το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα δίχως να αποσυρθεί ή αναπληρωθεί, η περιεκτικότητα του σε μεθάνιο θα μειώνεται συνεχώς και η αυθεντική σύσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου θα αλλοιωθεί. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως “weathering”.

Επιπλέον, λόγω της εξαιρετικά μειωμένης θερμοκρασίας (-160^{o} F), στην οποία εκτίθεται το φυσικό αέριο ώστε να υγροποιηθεί, πολλά υλικά υφίστανται αλλαγές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους, καθιστώντας τα ανασφαλή για τη προβλεπόμενη χρήση τους. Για παράδειγμα, ο χάλυβας στον άνθρακα χάνει την ολκιμότητά του σε χαμηλές θερμοκρασίες και υλικά όπως το πλαστικό και το καουτσούκ εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλές αντοχές σε πιθανότητα κρούσης, με αποτέλεσμα να θρυμματίζονται όταν πέφτουν, αυξάνοντας την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Ακόμη, λόγω της έκθεσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε κρυογονικές θερμοκρασίες, οι εργαζόμενοι ενδέχεται να αντιμετωπίσουν κρυογονικά εγκαύματα. Πιο συγκεκριμένα, η άμεση επαφή του σώματος με ΥΦΑ ή μέταλλα σε κρυογονικές θερμοκρασίες, μπορεί να βλάψει τον ιστό του δέρματος σε σημαντικό βαθμό. Για την αποφυγή κρυογονικών

εγκαυμάτων λόγω τυχαίας έκθεσης, προτείνεται η χρήση κατάλληλων προστατευτικών ενδυμάτων. Ανάλογα με το κίνδυνο έκθεσης η προστασία αυτή μπορεί να κυμαίνεται από χαλαρά γάντια ανθεκτικά στη φωτιά και ασπίδες πλήρους προσώπου, έως ειδικά ρούχα πολλαπλών στρώσεων πρόσθετης προστασίας.

Ένας σπανιότερος κίνδυνος, που σχετίζεται με το υγροποιημένο φυσικό αέριο, συναντάται στη περίπτωση που υπάρχει διαρροή ΥΦΑ μεγάλης έκτασης σε ένα σώμα νερού. Τέτοια συμβάντα λαμβάνουν χώρα σε περιπτώσεις ατυχήματος, όπου συνεπάγεται ρήξη εμπορευματοκιβωτίου οχήματος μεταφοράς LNG και η διαρροή του σε ένα υδατικό σύστημα. Το εν λόγω φαινόμενο έχει την ονομασία “Rapid Phase Transition-RPT” και παρατηρείται όταν το υγροποιημένο φυσικό αέριο εξατμίζεται με μεγάλη ταχύτητα όταν έρχεται σε επαφή με το νερό, προκαλώντας ένα είδος έκρηξης (Foss, 2003).

3.1. Ασφάλεια και LNG

Για την επίλυση των παραπάνω ζητημάτων σήμερα υπάρχουν ποικίλοι οργανισμοί που προασπίζονται το περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία γενικότερα και των εργαζομένων σε δεξαμενόπλοια με υγροποιημένο φυσικό αέριο ειδικότερα. Για την εξασφάλιση των παραπάνω, έχουν συστηθεί ορισμένοι κώδικες, οι οποίοι έχουν προταθεί από τη μη κερδοσκοπική οργάνωση NFPA (National Fire Protection Association) και αποβλέπουν στην εξασφάλιση ομαλότητας κατά τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Με εκπομπές θείου 10.000 υψηλότερες από το ντίζελ, η χρήση μαζούτ (HFO) ως καύσιμο των πλοίων ασκεί αυξημένο αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς αντιπροσωπεύει σχεδόν το 14% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών θείου στην ατμόσφαιρα. Η σταδιακή αυτή ανθρώπινη δραστηριότητα, αποτέλεσε την αφορμή για τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (ΔΝΟ) και την Ευρωπαϊκή ένωση να θέσουν νέους και αυστηρότερους κανονισμούς, με τη μείωση των ορίων θείου καυσίμου στα παγκόσμια ύδατα.

Σε σύγκριση με το μαζούτ -το δημοφιλέστερο καύσιμο στη ναυτιλία- η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου μειώνει τις διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), κατά 25%, τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) κατά 90% και 100% μείωση του θείου (SO_2) και εκπομπών λεπτών σωματιδίων. Μάλιστα, η σημαντικότητα του φυσικού

αερίου είναι τέτοια, που εάν οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα αντικατασταθούν από θερμικούς σταθμούς που τροφοδοτούνται από φυσικό αέριο, οι εκπομπές CO_2 του Ευρωπαϊκού ενεργειακού τομέα θα μειωθούν κατά 60% και 20% στη παγκόσμια κλίμακα. Τον Απρίλιο του 2018 η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος υιοθέτησε μια στρατηγική μείωσης των εκπομπών του θείου στη παγκόσμια ναυτιλία, με τελική απόρροια τη καθολική εξάλειψή τους. Αναλυτικότερα, επιδιώκεται η μείωση στις συνολικές ετήσιες εκπομπές θείων τουλάχιστον κατά 50% έως το 2050, σε σύγκριση με τα δεδομένα του 2008. Ακολουθούν τρείς οργανώσεις, οι οποίες αποβλέπουν στη μείωση των θαλάσσιων ρύπων.

3.1.1. Έργο Global MTTC Network

Στη προσπάθεια μείωσης των ρύπων που προκαλούνται από τη ναυτιλία συμβάλλει ο GMN: A global record for energy efficient shipping. Το εν λόγω πρόγραμμα, που χρηματοδοτείται από την Ε.Ε. και υλοποιείται από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό, προωθεί τεχνολογίες και επιχειρήσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο Ναυτιλιακό τομέα, συμβάλλοντας στη πλοήγηση με χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Κύριοι δικαιούχοι της πρωτοβουλίας αυτής αποτελούν τα αναπτυσσόμενα κράτη μικρών νησιών, στα οποία χορηγείται η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης, δια μέσου τεχνικών πληροφοριών και τεχνογνωσιών. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στη διεκπεραίωση των εξής διαδικασιών:

- Προώθηση τεχνολογιών και δραστηριοτήτων χαμηλών εκπομπών άνθρακα κατά τις θαλάσσιες μεταφορές.
- Ανάπτυξη εθνικών πολιτικών και μέτρων ενεργειακής απόδοσης.
- Βελτίωση των υφιστάμενων και μελλοντικών διεθνών κανονισμών ενεργειακής απόδοσης.
- Εθελοντική χορήγηση πιλοτικών συστημάτων και αναφοράς δεδομένων για τη τροφοδότηση της παγκόσμιας κανονιστικής διαδικασίας.

3.1.2. Έργο GloMEEP

Το έργο Global Maritime Energy Efficiency Partnership αποσκοπεί στην απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων για τα τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, ώστε οι μελλοντικές θαλάσσιες μεταφορές να χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα. Είναι ένα διετές πρόγραμμα και περιλαμβάνει την Αργεντινή, τη Κίνα, τη Γεωργία, την Ινδία κ.α., με άμεσο ζητούμενο τη δημιουργία εθνικών σχέσεων για την ανάπτυξη της ικανότητας της αντιμετώπισης των θαλάσσιων ρύπων. Το πρώτο εθνικό εργαστήριο έλαβε χώρα τον Δεκέμβριο του 2015 (Emad, κ.α., 2020).

3.2. MARPOL

Η Διεθνής Σύμβαση για τη Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία "MARPOL'' (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) επικεντρώνεται στη πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία όλων των τύπων (δημόσια, ιδιωτικά κ.α.). Η έγκριση της ανάγεται στις 2 Νοεμβρίου 1973 στο IMO.

Πιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο της σύμβασης αυτής θεσμοθετεί τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η χρήση των ρυπογόνων υλικών, αλλά και ποιες είναι οι εξαιρέσεις κατά τις οποίες θα γίνεται επιτρεπτή η ρήξη αυτών στο θαλάσσιο περιβάλλον για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις και σε δημόσια πλοία. Η ισχύουσα μορφή της σύμβασης αυτής περικλείεται από 6 τεχνικά παραρτήματα (Annexes), τα οποία είναι τα εξής:

Παράρτημα Ι: Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από το πετρέλαιο (Ημερομηνία ισχύς: 2/10/1983).

Καλύπτει την πρόληψη της ρύπανσης από το πετρέλαιο από επιχειρησιακά μέτρα καθώς και από τυχαίες απορρίψεις· οι τροποποιήσεις του παραρτήματος Ι του 1992 καθιστούσαν υποχρεωτικό για τα νέα πετρελαιοφόρα να έχουν διπλά κύτη και να εισάγει ένα σταδιακό χρονοδιάγραμμα για τα υπάρχοντα δεξαμενόπλοια ώστε να χωρέσουν σε διπλά κύτη, το οποίο στη συνέχεια αναθεωρήθηκε το 2001 και το 2003.

Παράρτημα ΙΙ: Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες χύμα (Ημερομηνία ισχύς: 2/10/1983).

Αναφέρει λεπτομερώς τα κριτήρια απόρριψης και τα μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες που μεταφέρονται χύμα · περίπου 250 ουσίες αξιολογήθηκαν και συμπεριλήφθηκαν στον κατάλογο που επισυνάπτεται στη Σύμβαση. Η απόρριψη των καταλοίπων τους επιτρέπεται μόνο σε εγκαταστάσεις υποδοχής έως ότου τηρηθούν ορισμένες συγκεντρώσεις και συνθήκες (οι οποίες ποικίλλουν ανάλογα με την κατηγορία των ουσιών). Σε κάθε περίπτωση, δεν επιτρέπεται η απόρριψη καταλοίπων που περιέχουν επιβλαβείς ουσίες εντός 12 μιλίων από την πλησιέστερη γη.

Παράρτημα III: Πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται δια θαλάσσης σε συσκευασμένη μορφή (Ημερομηνία ισχύς: 1/07/1992).

Περιέχει γενικές απαιτήσεις για την έκδοση λεπτομερών προτύπων για τη συσκευασία, τη σήμανση, την επισήμανση, την τεκμηρίωση, την αποθήκευση, τους περιορισμούς ποσότητας, τις εξαιρέσεις και τις ειδοποιήσεις. Για τους σκοπούς του παρόντος παραρτήματος, ως «επιβλαβείς ουσίες» νοούνται οι ουσίες που προσδιορίζονται ως θαλάσσιοι ρύποι στον Διεθνή Κώδικα Θαλάσσιων Επικίνδυνων Προϊόντων (Κώδικας IMDG) ή πληρούν τα κριτήρια του Παραρτήματος III.

Παράρτημα IV: Πρόληψη της ρύπανσης από τα λύματα από πλοία (Ημερομηνία ισχύς: 27/09/2003).

Περιέχει απαιτήσεις για τον έλεγχο της ρύπανσης της θάλασσας από τα λύματα. απαγορεύεται η απόρριψη λυμάτων στη θάλασσα, εκτός εάν το πλοίο βρίσκεται σε λειτουργία εγκεκριμένη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ή όταν το πλοίο απορρίπτει ομαλά και απολυμαντικά λύματα χρησιμοποιώντας εγκεκριμένο σύστημα σε απόσταση μεγαλύτερη των τριών ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη γη · τα λύματα που δεν έχουν υποστεί απολύμανση ή απολύμανση πρέπει να απορρίπτονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ξηρά.

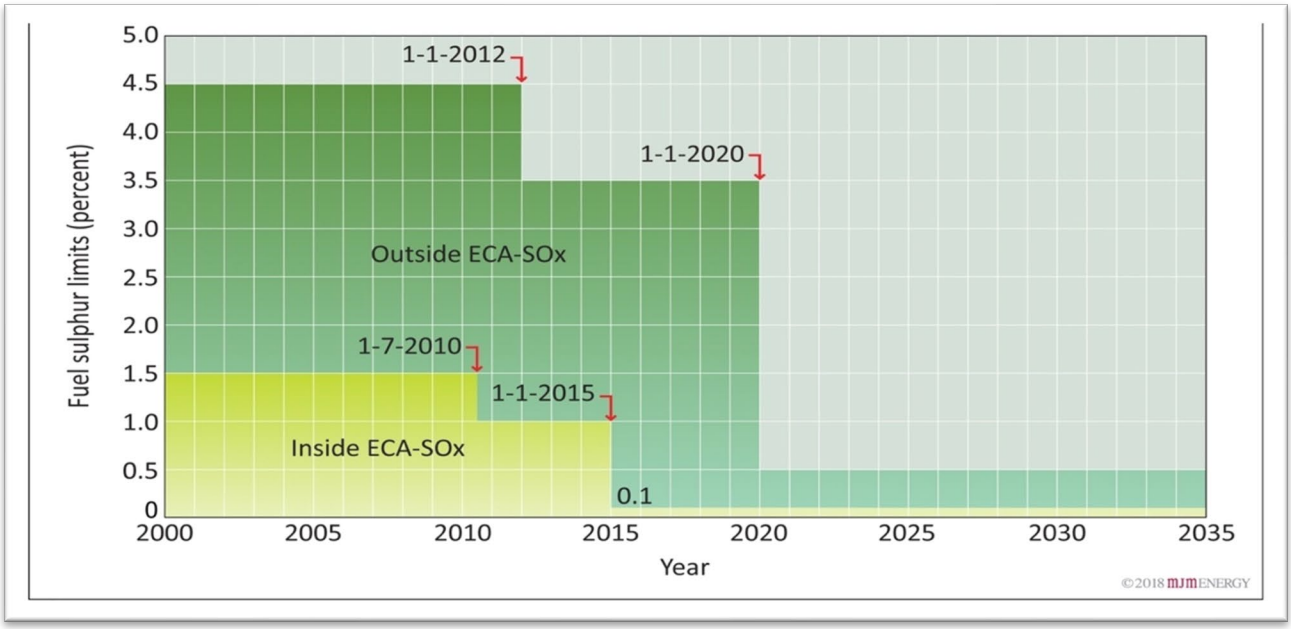
Παράρτημα V: Πρόληψη της ρύπανσης από σκουπίδια από πλοία (Ημερομηνία ισχύς 31/12/1988) .

Αντιμετωπίζει διαφορετικά είδη σκουπιδιών και προσδιορίζει τις αποστάσεις από τη γη και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να απορριφθούν. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του παραρτήματος είναι η πλήρης απαγόρευση που επιβάλλεται στη διάθεση στη θάλασσα όλων των μορφών πλαστικών.

Παράρτημα VI: Πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία (Ημερομηνία ισχύς: 19/05/2005).

Θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίου του θείου και οξειδίου του αζώτου από τα καυσαέρια του πλοίου και απαγορεύει τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον · οι καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών θέτουν αυστηρότερα πρότυπα για SOx, NOx και σωματιδιακά υλικά. Ένα κεφάλαιο που εγκρίθηκε το 2011 καλύπτει υποχρεωτικά τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από πλοία (IMO, 2014).

Γράφημα 2. Επιβολή ορίων εκπομπών θείου-MARPOL



Πηγή: www.cedigaz.org

Η σύμβαση της MARPOL έθεσε ακόμη πιο αυστηρά κριτήρια, όσον αφορά τη προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, θέσπισε περισσότερο ελεγχόμενα όρια στους προβλεπόμενους ρύπους κυρίως στο διοξείδιο του θείου και του αζώτου. Από το 2015 και έπειτα οι ελάχιστοι ρύποι που μπορούν να βρίσκονται στα καυσαέρια, έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό. Ο κώδικας της MARPOL περιλαμβάνει συγκεκριμένες μεθόδους ελέγχου και παρακολούθησης των ρύπων, επομένως προβλέπει και την έκδοση ακόμη περισσότερων πιστοποιητικών, με τελική απόρροια οι κατασκευαστές να αναγκάζονται να πληρούν τις προϋποθέσεις, που

ορίζουν οι κώδικες αυτοί. Συνακόλουθα, εισήγαγε την έννοια των ζωνών ECA (Emission Control Areas -βλ. παρακάτω). Εκεί ισχύουν τα αυστηρότερα κριτήρια που ορίζει η MARPOL. Ωστόσο είναι υπό συζήτηση να τεθούν ακόμη περισσότερες ζώνες ECA, με τη Μεσόγειο να βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές.

3.2.1. Ενέργειες μείωσης ρύπων

Ήδη οι παραπάνω ενέργειες έχουν ασκήσει βαθύτατη επίδραση σε παγκόσμια κλίμακα, επιφέροντας ως επί των πλείστων θετικά αποτελέσματα, καθώς λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών ανησυχιών αφενός και των περιοριστικών μέτρων αφετέρου, μερικές από τις πιο γνωστές εταιρίες του κόσμου όπως η VW Group, η εταιρία επίπλων ΙΚΕΑ και η εταιρία καταναλωτικών αγαθών Unilever, έχουν δημοσιοποιήσει τον στόχο τους για χρήση πιο καθαρών, εναλλακτικών λύσεων στην θαλάσσια μεταφορά τους, προσεγγίζοντας έτσι περισσότερο αγοραστικό κοινό. Ιδιαίτερα η Unilever ανακοίνωσε δημοσίως τη μεταφορά των συμβάσεων της σε εταιρίες που χρησιμοποιούν πλοία, τα οποία τροφοδοτούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Η απόρροια των ανωτέρω οδηγεί σε μια μακροπρόθεσμης διάρκειας μαζική αλλαγή, καθώς όλο και περισσότερες εταιρίες θα ακολουθήσουν τα χνάρια των προαναφερόμενων.

Επομένως, με την αυξανόμενη ζήτηση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε όλο το κόσμο, η διαθεσιμότητα του ενδέχεται να παρεμποδίσει τη ναυτιλιακή τροφοδοσία εν γένει. Όμως, οι Η.Π.Α, με την ανακάλυψη στιχολιθικού αερίου επρόκειτο να εφοδιάσει με ΥΦΑ τη παγκόσμια κοινότητα. Ταυτόχρονα, νέα εργοστάσια υγροποίησης εγκαινιάζονται στην Αυστραλία και τη Ρωσία, με τα έργα Yamal, Sakhalin 2 και το Queensland Curtis LNG, καθώς η αύξηση διαθεσιμότητας LNG συνεπάγεται την εξασφάλιση επαρκών εγκαταστάσεων καυσίμων. Επιπλέον η Νότια Κορέα, η Σιγκαπούρη και η Κίνα επιδιώκουν τη κατασκευή και επέκταση ανεφοδιασμού καυσίμων ενώ ταυτόχρονα η Ευρωπαϊκή Ένωση στη προσπάθεια αύξησης των σταθμών ανεφοδιασμού, ανακοίνωσε την απαίτηση εγκατάστασης τουλάχιστον ενός σταθμού σε κάθε κράτος.

3.3. Όροι εγκατάστασης LNG

Ανάλογα τη τοποθεσία και τη χρήση, μια εγκατάσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου, ενδέχεται να ρυθμίζεται από μια σειρά οργανισμών, όπως την ομοσπονδία "Federal Energy Regulatory Commission-FERC" και τον κυβερνητικό οργανισμό "Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration-PHPSA", οι οποίες αποβλέπουν στην εξασφάλιση της τήρησης των μέτρων περί περιβαλλοντικής προστασίας.

3.3.1. Όροι εγκατάστασης LNG

Συναρτήσει της τοποθεσίας και της χρήσης, η εγκατάσταση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ενδέχεται να ρυθμίζεται από μια σειρά οργανισμών, όπως την ομοσπονδία "Federal Energy Regulatory Commission-FERC" ή ο κυβερνητικός οργανισμός "Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration-PHPSA", οι οποίοι αποβλέπουν στην εξασφάλιση της τήρησης των μέτρων περί περιβαλλοντικής προστασίας.

3.3.1.1. Federal Energy Regulatory Commission-FERC

Πρόκειται για μια ομοσπονδία που είναι υπεύθυνη για την έγκριση της τοποθέτησης και κατασκευής εγκαταστάσεων εισαγωγής ή εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ταυτόχρονα, εκδίδει πιστοποιητικά δημόσιας αναγκαιότητας για εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου, οι οποίες ειδικεύονται σε διακρατικές μεταφορές φυσικού αερίου μέσω αγωγού. Μεταξύ άλλων, η FERC ασκεί περιβαλλοντικές εκτιμήσεις και προβλέψεις ενδεχόμενων επιπτώσεων για προτεινόμενες εγκαταστάσεις ΥΦΑ και τα έργα τα οποία έχουν εγκριθεί και κατασκευαστεί, υπόκεινται από την επίβλεψη της οργάνωσης αυτής για όσο διάστημα λειτουργεί η εγκατάσταση. Σήμερα ρυθμίζει 23 λειτουργικές εγκαταστάσεις.

3.3.1.2. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration

Ο κυβερνητικός οργανισμός PHMSA ιδρύθηκε το 2004 και χρησιμοποιεί συμβουλευτικά εγχειρίδια, ώστε να ενημερώνει τους χειριστές αγωγών και το προσωπικό ασφαλείας ομοσπονδιακών και πολιτειακών σωμάτων, για ζητήματα τα οποία ενδέχεται να μετατραπούν σε κινδύνους για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία

και ασφάλεια. Επιπροσθέτως, είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση και τη διασφάλιση της ασφαλούς μεταφοράς επικίνδυνων υλικών και συνεργάζεται με κρατικούς και τοπικούς ρυθμιστές (Meidl, 2018).

3.3.2. LNG κατά τη περίοδο πανδημίας του Covid-19

Η ναυτιλία υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν μπόρεσε να αποφύγει τον αρνητικό αντίκτυπο από τη μείωση της ζήτησης LNG ως αποτέλεσμα της υγειονομικής κρίσης. Κατά τη διάρκεια της πανδημίας του κορωνοϊού τα δεξαμενόπλοια ταξίδευαν με μειωμένη ταχύτητα πλεύσης στους 13,5 κόμβους και οι παραδόσεις φορτίου αναβάλλονταν, καθυστερούσαν ή ακόμα και να ακυρώνονταν, οδηγώντας σε συσσώρευση πλωτών φορτίων. Παρά το γεγονός ότι οι ακινητοποιήσεις στην Ασία άρχισαν να αυξάνονται, επιτρέποντας έτσι την εκφόρτωση ορισμένων δεξαμενόπλοιων υγροποιημένου φυσικού αερίου, η ζήτηση του παρέμεινε περιορισμένη και οι τιμές συνέχισαν να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό ώθησε ορισμένα από τα πλωτά φορτία να στραφούν προς την Ευρώπη, η οποία πλέον με τη σειρά της συμβάλλει στη συμφόρηση των δεξαμενόπλοιων της εν λόγω περιοχής.

Όσον αφορά την αγορά, το ξέσπασμα του Covid-19 στη Κίνα μείωσε τη ζήτηση από τον δεύτερο μεγαλύτερο εισαγωγέα υγροποιημένου φυσικού αερίου στο κόσμο και προκάλεσε ακόμη μεγαλύτερη μείωση των τιμών, κάτι το οποίο επρόκειτο να σταματήσει με τη παράλληλη εξαφάνιση της εν λόγω πανδημίας. Όσο η οικονομική δραστηριότητα στη Κίνα χαρακτηρίζεται από χαμηλά επίπεδα διατηρούνταν των πτωτικών τιμών υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ήδη τους πρώτους τρείς μήνες του 2020, οι εισαγωγές μειώθηκαν κατά 4.6% σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους. Σε αντίθεση με τα ρεκόρ του προηγούμενου έτους για εγκρίσεις σε μονάδες παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου, η δραματική πτώση στις τιμές του φυσικού αερίου επέβαλλαν έμμεσα τις ποικίλες εταιρίες χρήσης LNG να επιβραδύνουν τις αποφάσεις τους για νέα έργα και να μειώσουν τις επενδύσεις σε υπάρχουσες μονάδες.

Παρ’ όλα αυτά, ερευνητές επί του ζητήματος δηλώνουν αισιοδοξία όσον αφορά τη ζήτηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στο άμεσο μέλλον, με κύριο παράγοντα τη παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού, η οποία με τη σειρά της θα επιφέρει και αυξημένη ζήτηση ενέργειας. Έως το 2050 προβλέπεται 30% αύξηση του πληθυσμού από σήμερα, με συνολικό αριθμό τους 10 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Μεγάλο μέρος

της ανάπτυξης αυτής, λαμβάνει μέρος σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ζήτηση για ενέργεια συνάδει με την οικονομική ευημερία.

Όμως, δεν είναι μόνο η αυξημένη ζήτηση αυτή που προκαλεί μια πιθανή κλιμάκωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Πράγματι, υπάρχουν και άλλες μορφές διαθέσιμης ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, οι οποίες ήταν εν γένει φθηνότερες και ευκολότερα προσβάσιμες και μεταφέρσιμες. Ωστόσο, η έξαρση της επιδημίας ανανέωσε το ενδιαφέρον για εναλλακτικές πηγές ενέργειας, οι οποίες σημειώνουν χαμηλότερους ρύπους στο πλανήτη. Επομένως, η χρήση του φυσικού αερίου όχι μόνο καθίσταται προτιμότερη, αλλά πλέον και άκρως απαραίτητη.

Αυτές οι νέες προοπτικές συνάδουν με το γεγονός αύξησης του ενδιαφέροντος του υγροποιημένου φυσικού αερίου και την εγκατάσταση ειδικών μονάδων από εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου, με το LNG να χαρακτηρίζεται από διάφορες κυβερνήσεις ανά το κόσμο, ως «καύσιμο μετάβασης» και αναμένεται ότι θα σχηματίσει ένα αναλογικά μεγαλύτερο τμήμα ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες, ενώ ο άνθρακας και το πετρέλαιο θα μειωθούν όσον αφορά τα ποσοστά χρήσης τους.

3.3.3. Το μέλλον του LNG

Με βάση αυτούς τους κανονισμούς, ερευνητές επί του ζητήματος, οι οποίοι αντλούν και μελετούν τα εν λόγω δεδομένα, καταλήγουν σε μια πιθανή μελλοντική διακύμανση της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στο παγκόσμιο χάρτη, έχοντας ως βάση την επιλογή καυσίμου των καταναλωτών στα μετέπειτα έτη.

Γράφημα 3. Πιθανές επιλογές καυσίμου έως το 2030

Πηγή : https://www.bcg.com/

Λαμβάνοντας υπόψη τα ισχύοντα δεδομένα κανονισμών και λειτουργιών της χρήσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου ανά το κόσμο, το LNG επρόκειτο να σημειώσει ραγδαία αύξηση από το 2020 και έπειτα, με τη σταδιακή επιβράδυνση χρήσης των συμβατικών καυσίμων, καθώς δεν εναρμονίζονται με τα νέα δεδομένα κανονισμών που συνιστούν διάφοροι οργανισμοί. Προσεγγιστικά, υπολογίζεται ότι το 2030 θα καταναλώνονται 174.000 τόνοι υγροποιημένου φυσικού αερίου, κάτι το οποίο συνεπάγεται και την επαρκής διαθεσιμότητα LNG μέσω νέων εξορύξεων σε όλο το κόσμο. Παρ' όλα αυτά, υψηλή στις προτιμήσεις των καταναλωτών παρατηρείται και η τεχνολογία των καθαριστικών scrubbers, η οποία αναπτύχθηκε στο κεφ.1. Συμπερασματικά, υπολογίζεται ότι στο σύντομο μέλλον, το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα κατέχει το 30% της κατανάλωσης της αγοράς. Ωστόσο πρέπει να επισημανθεί ότι τα προκείμενα δεδομένα βασίζονται σε υπολογισμούς του έτους 2015, οπού η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είχε την έκταση που έχει γνωρίσει τα δύο τελευταία έτη στο τομέα της ναυτιλίας και η επιλογή των συμβατικών καυσίμων θεωρούνταν ως λύση μεγαλύτερης ασφάλειας (Πατέρα, 2018).

Σε πιο σύγχρονες μελέτες το 2019, αναλυτές ναυτιλιακών έργων προέβλεπαν μείωση της ζήτησης υγροποιημένου φυσικού αερίου για τα έτη 2021 έως 2023, καθώς παραγγελίες δεξαμενόπλοιων έχουν ήδη προηγηθεί, κάτι το οποίο ενδέχεται να προκαλούσε τη μείωση του ενδιαφέροντος για ανέγερση νέων εγκαταστάσεων ΥΦΑ. Έτσι, οι ναυτιλιακές εταιρίες θα έπρεπε να θέσουν μετέπειτα τα θεμέλια για μια μαζική αύξηση του LNG στόλου από το 2024 έως το 2025. Η παγκόσμια ζήτηση για LNG αναμένεται να αυξηθεί περισσότερο από 50% μέχρι το 2029, καθώς η Ασία θα μεταβεί από τον άνθρακα στο φυσικό αέριο, ανακοίνωσε η Shell.

Όσον αφορά τα Ευρωπαϊκά δεδομένα, βαθύτατη επίδραση επρόκειτο να ασκήσουν οι Η.Π.Α, καθώς οι μεγάλες εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου στη μεγάλη ήπειρο και συγκεκριμένα στο Gulf Coast, σηματοδοτούν την εξαγωγή LNG σε Ασία και Ευρώπη, με αποτέλεσμα την απουσία εσωτερικών μονάδων παραγωγής ΥΦΑ και την επακόλουθη οικονομική πτώση και ζήτηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στα Ευρωπαϊκά εδάφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

LNG ΚΑΙ ΑΚΤΟΠΛΟΪΑ

Η θεσμοθέτηση των παραπάνω κανονισμών στο ναυτιλιακό τομέα απασχολεί έντονα την ναυτιλία, καθώς την ωθεί στην αναζήτηση καινοτόμων λύσεων με το ΥΦΑ ως καύσιμο για επιβατηγά πλοία ή για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Έτσι, το LNG θα είναι διαθέσιμο σε όλους τους ναυτιλιακούς τομείς, καθώς η τεχνολογία μεμβράνης, την οποία παρουσιάσαμε παραπάνω, μπορεί να εξοπλίσει και εμπορικά σκάφη, όπως πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, δεξαμενόπλοια, φορτηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια κ.α. Ο όγκος αυτών των δεξαμενών μπορεί να κυμαίνεται από 1.000m για επιβατηγά πλοία, έως και 20.000 για πολύ μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Οι ακτοπλοϊκές συγκοινωνίες χωρίζονται στους εξής τύπους πλοίων:

- Μικρή ακτοπλοΐα, η οποία αφορά λιμένες προασπισμένων περιοχών, ως επί των πλείστων στο εσωτερικό τους, ή μεταξύ εγγύς κόλπων (λ.χ Αργοσαρωνικού).
- Μεσαία ακτοπλοΐα, που εξάγεται μεταξύ ηπειρωτικών και λιμένων νήσων της ίδιας χώρας
- Μεγάλη ή διεθνή ακτοπλοΐα, η οποία παρατηρείται σε λιμένες εγγύς κρατών όπως Αγγλίας-Ιταλίας, Αγγλίας-Γαλλίας κ.α.

Η διάκριση των επιμέρους τύπων κρίνεται απαραίτητη καθώς σε κάθε επιμέρους τύπου εφαρμόζονται διαφορετικοί κανόνες διεξαγωγής μεταφοράς, κυρίως επιβατών (Χαβιάρης, 2014).

Εικόνα 14. Χωρητικότητα πλοίων LNG ανά τύπο

Πηγή: www.gtt.fr

4.1. Απόπειρες εγκατάστασης LNG σε επιβατηγά πλοία

Σύμφωνα με μελέτες της βρετανικής εταιρίας Lloyd's Register σχετικά με τις θαλάσσιες μεταφορές, έγινε γνωστό ότι λόγω της ανταγωνιστικής τιμής της αγοράς, είναι πολύ πιθανό το υγροποιημένο φυσικό αέριο να υιοθετηθεί ευρέως ως καύσιμο πλοίων στο μέλλον. Η εν λόγω μελέτη παρέθεσε επίσης ότι για να επιτευχθεί η εναρμόνιση των ναυτιλιακών εταιριών με τους νέους κανονισμούς που προβλέπει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) και οι ποικίλες οργανώσεις για τις εκπομπές θείου, τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θεωρούνται από τους πλοιοκτήτες μόνο ως βραχυπρόθεσμη λύση, ενώ η χρήση κινητήρων, οι οποίοι θα μπορούν να εφοδιάζονται με υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί μια βιώσιμη και μακροπρόθεσμη λύση για την παγκόσμια ναυτιλία. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων θεωρείται σήμερα ως ο κύριος τομέας ενασχόλησης των ναυτιλιακών εταιριών και της τεχνολογικής ανάπτυξης για βιώσιμες μεταφορές. Η σταδιακή υιοθέτηση των καυσίμων αυτών και οι απόπειρες εγκατάστασης σχετικών κινητήρων, ήταν θεμελιώδεις για να ανοίξει ο δρόμος για την ευρύτερη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, με το πρώτο επιβατικό πλοίο με καύσιμο LNG να αποτελεί το M/S Viking Grace, της εταιρίας Viking Line, η οποία εδρεύει στη Φιλανδία, με κόστος περίπου 240 εκατομμύρια ευρώ. Εκτελεί δρομολόγια στη Βαλτική Θάλασσα, συνδέοντας τη Σουηδία με τη Φιλανδία. Έχει μήκος 218 μέτρα, ταχύτητα περίπου 22 κόμβοι, χωρητικότητα 2.800 επιβατών και 500 οχημάτων. Τέλος διαθέτει ένα πρωτοποριακό

σχεδιασμό για περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης το οποίο ονομάζεται Rotor Sail και εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια παράγοντας ώθηση από τον άνεμο.

Εικόνα 15. Επιβατηγό πλοίο Viking Grace

Πηγή: www.vikingline.com

Ωστόσο, μια κοινή πρόκληση, που τίθεται από την υιοθέτηση των περισσότερων εναλλακτικών καυσίμων, προέρχεται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία σημειώνουν χαμηλά επίπεδα ανάφλεξης, υψηλότερες μεταβλητότητες, διαφορετικό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μάζα και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και τοξικότητα. Η έγκριση και έναρξη ισχύος του σχεδίου διεθνούς κώδικα ασφαλείας για πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα με χαμηλό επίπεδο ανάφλεξης (κώδικας IGF), μαζί με προτεινόμενες τροποποιήσεις, ώστε να καταστεί ο κώδικας υποχρεωτικός βάσει της Σύμβασης Ασφάλειας Ζωής στη Θάλασσα-Safety of Life at Sea-SOLAS, υπήρξε καταλυτικής σημασίας και προχώρησε την αντιμετώπιση των ανωτέρω σε ρυθμιστικό επίπεδο.

4.1.1. Κώδικας IGF

Ο Διεθνής κώδικας ασφαλείας για πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλών επιπέδων ανάφλεξης, ήδη από τη σύσταση του είχε ως επίκεντρο τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Σκοπός του εν λόγω κώδικα είναι να καθιερώσει ένα διεθνές πρότυπο για τα πλοία και να εγκαθιδρύσει υποχρεωτικά κριτήρια όσον αφορά την εγκατάσταση μηχανισμών τεχνολογίας και τον εξοπλισμό τους, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κινδύνου για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Λόγω της ταχέως εξελισσόμενης τεχνολογίας καυσίμων, ο οργανισμός επανεξετάζει περιοδικά τον κώδικα αυτόν, λαμβάνοντας υπόψη τα επιχειρησιακά δεδομένα των διάφορων ναυτιλιακών εταιριών και τις τεχνικές εξελίξεις.

4.1.2. Safety of Life at Sea-SOLAS

Η σύμβαση SOLAS στις διαδοχικές της μορφές, θεωρείται συλλήβδην ως η πιο σημαντική από όλες τις διεθνείς συνθήκες όσον αφορά την ασφάλεια των εμπορικών πλοίων. Η πρώτη της έκδοση χρονολογείται το 1914, ως απάντηση στη καταστροφή του Τιτανικού, δεύτερη λαμβάνει χώρα το 1929, η τρίτη το 1948 και η τέταρτη το 1960, με οριστική την έκδοση της 1^{ης} Νοεμβρίου του 1974, η οποία προβλέπει ότι ενδεχόμενες τροποποιήσεις θα τίθενται σε ισχύ στην εν λόγω ημερομηνία, εκτός αν παρατηρηθούν αντιρρήσεις για την τροποποίηση από συμφωνημένο αριθμό μελών. Ως εκ τούτου η σύμβαση του 1974 ενημερώθηκε και τροποποιήθηκε επανειλημμένα, εξ' ου και ο λόγος που η σύμβαση που ισχύει σήμερα, συναντάται ως "SOLAS, 1974".

Κύριος στόχος της Σύμβασης Ασφάλειας Ζωής στη Θάλασσα είναι ο καθορισμός προτύπων για τη κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων, με τελική απόρροια την καθολική ασφάλεια των πλοίων. Τα κράτη ατομικά, είναι υπεύθυνα για τη διασφάλιση ότι τα πλοία με τη σημαία της κάθε χώρας επάνω εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις της και εκδίδονται πιστοποιητικά, τα οποία αποδεικνύουν τη διεκπεραίωση της προκείμενης τεχνικής διαδικασίας. Επιπλέον, η σύμβαση SOLAS παραχωρεί στα συμμετέχοντα κράτη το δικαίωμα να επιθεωρούν πλοία άλλων συμβαλλόμενων της σύμβασης κρατών σε περίπτωση που θεωρούν ότι αυτά τα τελευταία δε πληρούν τις προϋποθέσεις της σύμβασης. Η εν λόγω διεργασία

είναι γνωστή και ως “Port State Control”. Η ισχύουσα σύμβαση SOLAS περιλαμβάνει άρθρα, τα οποία ορίζουν γενικές υποχρεώσεις, διαδικασίες τροποποίησης κ.ο.κ., ακολουθούμενο από παράρτημα, χωρισμένο σε 14 κεφάλαια, με κάποια από αυτά να αποτελούν τα εξής:

Κεφάλαιο I - Γενικές διατάξεις

Περιλαμβάνει κανονισμούς σχετικά με την έρευνα των διαφόρων τύπων πλοίων και την έκδοση εγγράφων που υποδηλώνουν ότι το πλοίο πληροί τις απαιτήσεις της Σύμβασης. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει επίσης διατάξεις για τον έλεγχο των πλοίων σε λιμένες άλλων συμβαλλομένων κυβερνήσεων.

Κεφάλαιο II-1 - Κατασκευή - Υποδιαίρεση και σταθερότητα, μηχανήματα και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις

Η υποδιαίρεση επιβατικών πλοίων πρέπει να είναι τέτοια ώστε, αφού υποτεθεί ότι προκαλείται ζημιά στο κύτος του πλοίου, το σκάφος θα παραμείνει αιωρούμενο και σταθερό. Προβλέπονται επίσης απαιτήσεις για ακεραιότητα και ρυθμίσεις άντλησης υδροσυλλεκτών για επιβατηγά πλοία, καθώς και απαιτήσεις σταθερότητας τόσο για επιβατηγά όσο και για φορτηγά πλοία. Ο βαθμός υποδιαίρεσης - μετρούμενος από τη μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών διαφραγμάτων - ποικίλλει ανάλογα με το μήκος του πλοίου και την υπηρεσία στην οποία εκτελείται. Ο υψηλότερος βαθμός υποδιαίρεσης ισχύει για επιβατηγά πλοία.

Οι απαιτήσεις που καλύπτουν μηχανήματα και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν ότι οι υπηρεσίες που είναι απαραίτητες για την ασφάλεια του πλοίου, των επιβατών και του πληρώματος διατηρούνται υπό διάφορες συνθήκες έκτακτης ανάγκης.

Τα «βασισμένα σε στόχους πρότυπα» για τα πετρελαιοφόρα και τα φορτηγά χύδην υιοθετήθηκαν το 2010, απαιτώντας τα νέα πλοία να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν για μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και να είναι ασφαλή και φιλικά προς το περιβάλλον, σε άθικτες και καθορισμένες συνθήκες ζημιών, καθ’ όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Σύμφωνα με τον κανονισμό, τα πλοία θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή, ακεραιότητα και σταθερότητα για να ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο απώλειας του πλοίου ή ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον λόγω δομικής αστοχίας,

συμπεριλαμβανομένης της κατάρρευσης, με αποτέλεσμα πλημμύρες ή απώλεια στεγανότητας.

Κεφάλαιο II-2 - Πυροπροστασία, ανίχνευση πυρκαγιάς και εξαφάνιση πυρκαγιάς

Περιλαμβάνει λεπτομερείς διατάξεις πυρασφάλειας για όλα τα πλοία και ειδικά μέτρα για επιβατηγά πλοία, φορτηγά πλοία και δεξαμενόπλοια, καθώς και τις ακόλουθες αρχές: διαίρεση του πλοίου σε κύριες και κατακόρυφες ζώνες από θερμικά και δομικά όρια, διαχωρισμό χώρων διαμονής από το υπόλοιπο του πλοίου από θερμικά και δομικά όρια, περιορισμένη χρήση καύσιμων υλικών, ανίχνευση τυχόν πυρκαγιάς στη ζώνη προέλευσης, περιορισμός και εξαφάνιση οποιασδήποτε πυρκαγιάς στο χώρο προέλευσης, προστασία των μέσων διαφυγής ή πρόσβασης για σκοπούς πυρόσβεσης, έτοιμη διαθεσιμότητα πυροσβεστικών συσκευών και ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ανάφλεξης εύφλεκτων ατμών φορτίου.

(IMO, 2014)

4.1.3. United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)

Το UNCLOS αποτελεί τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας. Η εν λόγω σύμβαση αναφέρεται μερικές φορές και ως ο νόμος της θαλάσσιας σύμβασης ή ο νόμος της θαλάσσιας συνθήκης. Το UNCLOS, ως δίκαιο της θάλασσας έχει τεθεί σε λειτουργία από τις 16 Νοεμβρίου, 1982. Ωστόσο, η πρώτη φορά που μια τέτοια πρόταση ανακοινώθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη, χρονολογείται στο 1973. Κατά τη διάρκεια εννέα ετών, με την παρουσία εκπροσώπων από περισσότερες από 160 χώρες, η UNCLOS δημιουργήθηκε. Το υπόβαθρο των εξελίξεων εκτυλίσσεται λεπτομερώς παρακάτω.

Πριν τεθεί σε ισχύ ο ναυτικός νόμος της UNCLOS, υπήρχε μια σχολή σκέψης γνωστή ως ελευθερία της θάλασσας. Το δόγμα αυτό είχε τεθεί για πρώτη φορά σε λειτουργία κατά τη διάρκεια του 17^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με αυτόν τον νόμο, δεν υπήρχαν όρια κατά τις εφαρμογές των θαλάσσιων επιχειρήσεων και των εμπορικών δραστηριοτήτων. Με τα χρόνια και τους αιώνες, καθώς η τεχνολογία αναπτύχθηκε και οι ανάγκες των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο αυξήθηκαν, προέκυψε μια σειρά από ακανθώδεις προβλήματα. Η υπερεκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων έγινε αισθητή στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και πολλά έθνη άρχισαν να αισθάνονται την ανάγκη να διασφαλιστεί η προστασία των θαλάσσιων πόρων τους.

Ξεκινώντας από τις Ηνωμένες Πολιτείες το 1945, πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο έφεραν υπό τη δικαιοδοσία τους, τους φυσικούς πόρους που βρέθηκαν στην υφαλοκρηπίδα των ωκεανών τους. Μερικές από τις χώρες που άσκησαν αυτήν την εξουσία ήταν η Αργεντινή, ο Καναδάς, η Ινδονησία, η Χιλή, το Περού, ο Ισημερινός και ακόμη και χώρες όπως η Σαουδική Αραβία, η Αίγυπτος, η Αιθιοπία και η Βενεζουέλα. Δεδομένου ότι η χρήση των θαλάσσιων αποθεμάτων αυξήθηκε ακόμη περισσότερο στη δεκαετία του 1960 και από τη στιγμή που οι βάσεις εκτόξευσης πυραύλων άρχισαν επίσης να βασίζονται στον ωκεανό πυθμένα, έγινε επιτακτική ανάγκη να τεθεί ένας ειδικός κανονισμός για να εξασφαλιστεί η σωστή προστασία και δικαιοδοσία των θαλάσσιων αποθεμάτων .

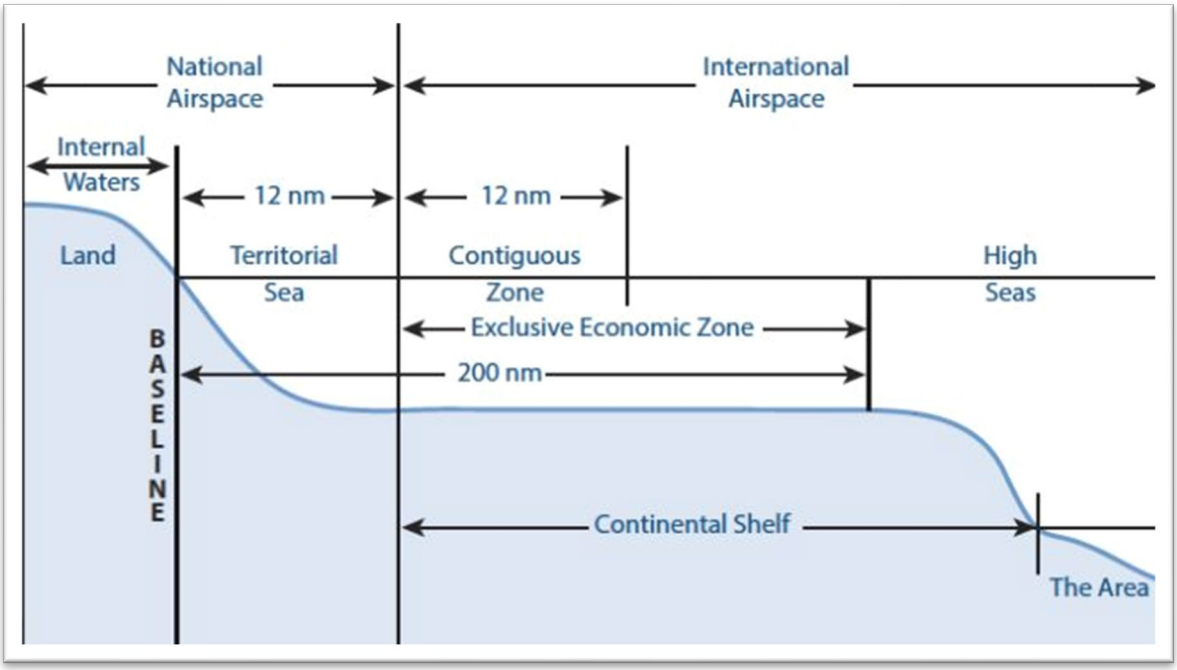
Έτσι, το 1967, συγκλήθηκε η Τρίτη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας. Σε αυτό το συνέδριο, ο πρέσβης των Ηνωμένων Εθνών από τη Μάλτα επιζητούσε μια νομική δύναμη, η οποία θα ήτο ικανή να επιφέρει διεθνή διακυβέρνηση στην επιφάνεια, αλλά και στο πυθμένα του ωκεανού. Μια τέτοια νομική εξουσία θα εξασφάλιζε επίσης ότι δεν θα προέκυπταν προβλήματα μεταξύ διαφόρων χωρών στις εν λόγω θαλάσσιες περιοχές. Εν ολίγοις, το προκείμενο συνέδριο, ή αλλιώς το UNCLOS III άνοιξε το δρόμο για τον υφιστάμενο ναυτικό νόμο. Τα κύρια χαρακτηριστικά του μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η UNCLOS, ως ο ισχύων νόμος της θάλασσας είναι δεσμευτικός.
- Ακόμη και όταν το όνομα του ναυτικού νόμου υποδηλώνει τη συμμετοχή των Ηνωμένων Εθνών, ο ΟΗΕ δεν έχει κανένα σημαντικό λειτουργικό ρόλο στη λειτουργία της UNCLOS
- Υπάρχουν 17 μέρη, 320 άρθρα και εννέα παραρτήματα στο UNCLOS
- Ο νόμος της θάλασσας προβλέπει πλήρη οικονομικά δικαιώματα σε έθνη για μια ζώνη 200 μιλίων από την ακτή τους. Η θάλασσα και ο βυθός που εκτείνεται σε αυτήν την περιοχή θεωρείται Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη-Exclusive Economic Zone (AOZ) και οποιαδήποτε χώρα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα ύδατα για την οικονομική της χρήση.
- Ο IMO (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός) διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη λειτουργία του UNCLOS. Μαζί με τον IMO , οργανισμοί όπως η Διεθνής Επιτροπή Φαλαινοθηρίας-International Whaling Commission και η Διεθνής Αρχή Βυθού-

International Seabed Authority, είναι ζωτικά μέρη στους λειτουργικούς τομείς του ναυτικού νόμου.

Συμπερασματικά, η παρουσία ενός ναυτικού νόμου όπως το UNCLOS, συνεπάγεται το γεγονός ότι οι θαλάσσιοι πόροι μπορούν να προστατευτούν, κάτι το οποίο χρήζει εξέχουσας σημασίας κυρίως στη σύγχρονη εποχή όπου η ανάγκη για προστασία των θαλάσσιων πόρων έχει αυξηθεί ακόμη περισσότερο από ό, τι ήταν κατά τη δεκαετία του 1960 και του 70 (Nemeth κ.α., 2014)

Γράφημα 4. Ανάλυση ζωνών UNCLOS



Πηγή: www.drishtiias.com

4.2 Τα σημαντικότερα πλοία με χρήση LNG ως καύσιμο

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις προαναφερθείσες διατάξεις περί ασφάλειας στην ακτοπλοΐα, αλλά και τη σημασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων, η πλειονότητα των μεγάλων ναυτιλιακών εταιριών, φανερώνει έντονο ενδιαφέρον προς τη κατασκευή πλοίων με το LNG, ως το κύριο καύσιμο χρήσης, καθώς οι κινητήρες καύσης υγροποιημένου φυσικού αερίου μειώνουν τις εκπομπές

CO2 κατά 25-30%, σε σύγκριση με πλοία καύσης ντίζελ ή μαζούτ. Παρακάτω δίνεται η λίστα με τα πιο αξιοσημείωτα πλοία, τα οποία τροφοδοτούνται με LNG.

1. Isla Bella

Το Isla Bella, αντιπροσωπεύει το πρώτο διεθνές φορτηγό πλοίο εμπορευματοκιβωτίων που κινείται με χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) και ανήκει στην εταιρία "TOTE." Το πλοίο ξεχωρίζει για το γεγονός ότι είναι το πρώτο από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τύπου Marlin και το μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου που λειτουργεί με κατανάλωση LNG, κάτι που καθιστά πρωτοπόρα την εταιρία "TOTE" στον τομέα των περιβαλλοντικά φιλικών ναυτιλιακών λύσεων. Τα πλοία της "TOTE" θεωρούνται τα πιο προηγμένα και υπεύθυνα περιβαλλοντικά σκάφη στην κατηγορία τους, καθιστώντας τα ηγέτες στον χώρο της ναυτιλίας. Η εταιρία έχει αφιερωθεί στην παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα αξιόπιστες και ασφαλείς παραδόσεις φορτίου.

Το Isla Bella κατασκευάστηκε στο San Diego από την εταιρία General Dynamics με διπλού καυσίμου αργής ταχύτητας κινητήρες (μηχανή πρόωσης MAN ME-GI). Οι κινητήρες αυτοί συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών, επιτυγχάνοντας μειώσεις κατά 98% στα NOx, 97% στα SOx και 72% στο διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, το πλοίο εξοπλίστηκε με πιστοποιημένο σύστημα καύσης Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME), συμμορφούμενο με τις προδιαγραφές του νόμου Jones Act. Αξιοσημείωτη είναι και η χρήση, προσφέροντας επιπλέον μείωση των εκπομπών, κάνοντας το Isla Bella πρωτοπόρο διεθνώς.Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι το αδελφό πλοίο του Isla Bella, το Perla del Caribe, παραδόθηκε το πρώτο τρίμηνο του 2016.

Εικόνα 16. Πλοίο Isla Bella

Πηγή: www.marinetraffic.com

2. AIDAnova

Το κρουαζιερόπλοιο AIDAnova, κατασκευασμένο από την εταιρία AIDA Cruises σε συνεργασία με την Carnival Corporation, αντιπροσωπεύει μια σημαντική επανάσταση στον κόσμο των κρουαζιερόπλοιων. Είναι το πρώτο κρουαζιερόπλοιο που χρησιμοποιεί καύσιμο υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Το AIDAnova έχει σχεδιαστεί για να υιοθετήσει την καινοτόμο τεχνολογία με διπλούς κινητήρες ισχύος, που τροφοδοτούνται τόσο στην ανοιχτή θάλασσα όσο και στους λιμένες. Οι συγκεκριμένοι κινητήρες είναι υβριδικοί, επιτρέποντας στο πλοίο να λειτουργεί με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον εν πλω αλλά και στα λιμάνια. Η AIDA Cruises έχτισε το 2021 το αδερφό πλοίο του AIDAnova, με όνομα AIDAcosma με χωρητικότητα περίπου 6.600 επιβαινόντων το καθένα. Επίσης, η Carvinal Corporation έχει στη κατοχή της άλλα 2 αδερφά πλοία με παρόμοιο σύστημα πρόωσης.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που καθιστούν το AIDAnova εξαιρετικά προηγμένο είναι η αποθήκευση του LNG επί του πλοίου, το οποίο προορίζεται αποκλειστικά για χρήση στη θάλασσα. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για παρουσία καυσίμων άλλου τύπου στο πλοίο και ενισχύει το πράσινο και βιώσιμο σχέδιο της "πράσινης κρουαζιέρας. "

Εικόνα 17. Πλοίο AIDAnova

Πηγή: www.lngindustry.com

3. Baltic Enabler και Botnia Enabler

Η πράσινη αποστολή της εταιρίας Wallenius Sol, επιχειρεί το 2019 τη δημιουργία των δύο μεγαλύτερων πλοίου ConRo με χρήση καυσίμου LNG και σχεδιάστηκε αποβλέποντας τον χειρισμό των αντίξοων συνθηκών που αντικατοπτρίζουν τον Αρκτικό κύκλο. Για τη προετοιμασία του αρχικού σχεδιασμού αυτού και τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης του πλοίου και ιδίως της κατανάλωσης καυσίμου, χρειάστηκαν περίπου 6 μήνες, με την εγκαινίαση τους να τοποθετείται τον Αύγουστο του 2022. Με κινητήρες που εξαλείφουν οριστικά τις εκπομπές σωματιδίων, το καινοτόμα αυτά εμπορικά πλοία ονομάζονται M/V Baltic Enabler και M/V Botnia Enabler. Τα αδερφά πλοία έχουν μήκος 242 μέτρα, χωρητικότητα 962 TEU (6,442 γραμμικά μέτρα φόρτωσης) και ταχύτητα περίπου 20 κόμβοι. Τα πλοία Enabler εκπέμπουν 63 τοις εκατό λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου και σημαντικά λιγότερα NOx (96%), SOx (99%) και σωματίδια (99%) σε σύγκριση με τα παλαιότερα πλοία. Εκτελούν δρομολόγια κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη, συνδέοντας λιμάνια στη Σουηδία, τη Φινλανδία, και άλλες χώρες της περιοχής. Το BOTNIA ENABLER και το αδελφό πλοίο της είναι εξοπλισμένα με κινητήρες πολλαπλών καυσίμων που μπορούν να λειτουργούν είτε με πετρέλαιο ντίζελ είτε με αέριο.

Εικόνα 18. Πλοίο Baltic Enabler

Πηγή: https://wallenius-sol.com/en

4. Creole Spirit

Το Creole Spirit αναγνωρίζεται διεθνώς ως το πλέον αποδοτικό LNG Carrier που χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), με το χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα φορτίου Αυτό το σκάφος, με μήκος 295 μέτρα και χωρητικότητα 174.000 m^3

LNG, είναι το πρώτο που χρησιμοποιεί σύστημα έγχυσης αερίου ελεγχόμενο ηλεκτρονικά τύπου M (M-type Electronically Controlled Gas Injection - MEGI). Η εταιρεία ιδιοκτησίας του, Teekay, έχει εξοπλίσει το πλοίο με δίχρονους κινητήρες MAN Diesel. Το εν λόγω τεχνολογικό προϊόν σημειώνει 100 τόνους κατανάλωσης καυσίμου, εν αντιθέσει άλλων συστημάτων στα οποία παρατηρούνται 125-130 τόνοι κατανάλωσης σε καθημερινό επίπεδο συχνότητας Η αυξημένη αποδοτικότητα και η μείωση του κόστους οφείλονται όχι μόνο στον κινητήρα, αλλά και στη μείωση του αριθμού των κυλίνδρων που χρειάζονται γενική επισκευή, στον περιορισμό του μεγέθους των πολύπλοκων ηλεκτρικών συστημάτων, καθώς και στην προσθήκη συστήματος «μερικής επανυγροποίησης». Το πλοίο ναυλώθηκε από την εταιρεία εφοδιασμού LNG, Cheniere, και τέθηκε σε λειτουργία στις αρχές του 2016. Η άφιξή του σε πορτογαλικό λιμάνι τον Απρίλιο του ίδιου έτους σήμανε την παραλαβή του πρώτου φορτίου αμερικανικού LNG στην Ευρώπη.

Εικόνα 19. Πλοίο Creole Spirit

Πηγή: www.balticshipping.com

5. Searoad Mersey II

Το MS Searoad Mersey II είναι ένα πλοίο τύπου RoRo (Roll-on/Roll-off) υπό Αυστραλιανή σημαία, το οποίο χρησιμοποιεί καύσιμο LNG και είναι το πρώτο πλοίο της Αυστραλιανής ακτοπλοΐας που εκμεταλλεύεται το LNG. Κατασκευασμένο από την Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (FSG) στη Γερμανία (με κόστος περίπου 75 εκατομμύρια ευρώ) και εγκαινιασμένο το 2016, αποτελεί ένα από τα πρώτα RoRo πλοία παγκοσμίως που σχεδιάστηκαν για χρήση τόσο υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) όσο και ντίζελ. Ως ένα από τα πρώτα RoRo πλοία με αυτή την τεχνολογία, το MS Searoad Mersey II διαθέτει φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα πρόωσης που

ελαχιστοποιεί το οικολογικό του αποτύπωμα. Με μήκος 182 μέτρα και δυνατότητα μεταφοράς φορτίων συνολικού μήκους 3.800 μέτρων (λωρίδες) μπορεί να μεταφέρει βαριά φορτηγά, αυτοκίνητα και τρέιλερ, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες της Αυστραλιανής αγοράς. Το MS Searoad Mersey II δραστηριοποιείται κυρίως στο Στενό Μπάς, συνδέοντας τη Μελβούρνη στη Βικτώρια με το Ντέβονπορτ στην Τασμανία, προσφέροντας σημαντικές υπηρεσίες στη μεταφορά εμπορευμάτων σε αυτή τη ζώνη υψηλής κίνησης. Με τον πρωτοποριακό σχεδιασμό του, το πλοίο έθεσε νέα πρότυπα στη χρήση LNG στον τομέα των RoRo. Επίσης στα τέλη του 2024 θα ενταχθεί για παρλόμοια ταξίδια το επόμενο αντίστοιχο πλοίο, 210 μέτρων και χωριτηκότητας 4227 μέτρων (λωρίδες), το οποίο κόστισε περίπου 100 εκατομμύρια ευρώ.

Εικόνα 20. Πλοίο Searoad Mersey II

Πηγή: https://en.wikipedia.org/

6. Rem Eir

Το REM Eir είναι το μεγαλύτερο σε διεθνές επίπεδο σκάφος εφοδιασμού πλατφόρμας (Platform Supply Vessel - PSV) που κινείται με υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Το πλοίο, το οποίο καθελκύστηκε το 2014, ανήκει στη Remøy Shipping και έχει σχεδιαστεί από την Wärtsilä Ship Design με βάση το πρότυπο VS 4411 DF. Με μήκος 92,5 μέτρα και πλάτος 20 μέτρα, διαθέτει καταστρωματική χωρητικότητα

1.080 τετραγωνικών μέτρων, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία και δυνατότητα μεταφοράς εφοδίων και εξοπλισμού προς υπεράκτιες πλατφόρμες. Είναι εξοπλισμένο με σύστημα διπλού καυσίμου αλλά και με υβριδικό- ηλεκτρικό σύστημα. Το Μάρτιο του 2022 ναυλώθηκε μακροπρόθεσμα από την Equinor με σκοπό να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα από τις θαλάσσιες δραστηριότητες κατά 50 τοις εκατό εντός του 2030 και με πιθανή μετασκευή των μηχανών του για να χρησιμοποιεί αμμωνία ως καύσιμο.

Εικόνα 21. Πλοίο Rem Eir

Πηγή: www.energy-oil- gas.com

7. Cement carrier Greenland

Το Greenland είναι το πρώτο πλοίο μεταφοράς τσιμέντου στον κόσμο που χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως καύσιμο. Κατασκευασμένο από το ναυπηγείο Ferus Smit για λογαριασμό της Erik Thun AB και προορισμένο για την JT Cement, το πλοίο διαθέτει προηγμένες τεχνολογίες που ενισχύουν τη φιλικότητα προς το περιβάλλον και την αποδοτικότητα στη μεταφορά χύδην φορτίων. Το μήκος του είναι 109,65 μέτρα, το πλάτος 14,99 μέτρα και η χωρητικότητα 7.200 DWT.

Το πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα φόρτωσης και εκφόρτωσης του πλοίου βασίζεται στη ρευστοποίηση του τσιμέντου με πεπιεσμένο αέρα. Οι ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές, με κεκλιμένες κορυφές και σύστημα ρευστοποίησης, διευκολύνουν τη ροή του τσιμέντου προς το κεντρικό σημείο αναρρόφησης. Μέσω αγωγών, το σύστημα μπορεί να μεταφέρει έως και 500 κ.μ. ανά ώρα, προσφέροντας μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία χωρίς σκόνη, ανεξάρτητα από τις καιρικές

συνθήκες. Η εταιρεία παρέλαβε άλλα 2 αντίστοιχα πλοία το 2016 (Ireland, 7.200 DWT.) και 2019 (Shetland, 7.600 DWT.)

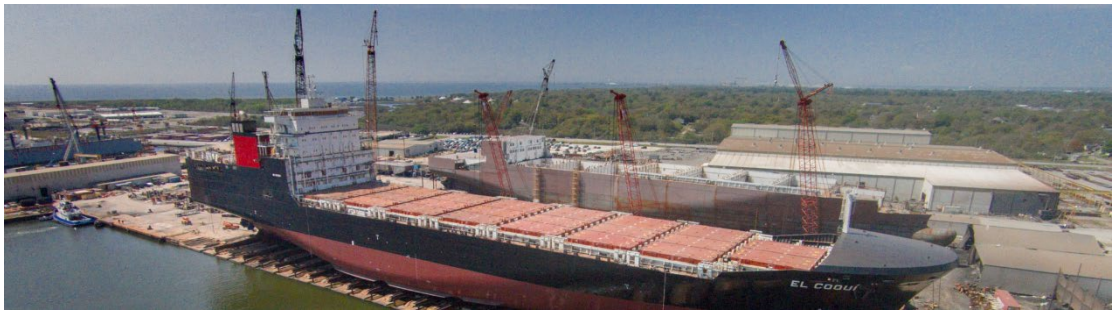
Εικόνα 22. Πλοίο Greenland

Πηγή: https://jt-cement.com/

8. El Coquí και Taíno

Τα El Coquí και Taíno είναι τα πρώτα παγκοσμίως πλοία τύπου ConRo (Container/Roll-On/Roll-Off) που κινούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο και η κατασκευή τους ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2014 ενώ η παράδοση τους έγινε το 2018. Ο σχεδιασμός τους υλοποιήθηκε από την Wärtsilä Ship Design σε συνεργασία με τη θυγατρική της Crowley Maritime, Jensen Maritime. Τα πλοία έχουν μήκος περίπου 219,5 μέτρα, πλάτος 32,3 μέτρα και χωρητικότητα νεκρού φορτίου 26.500 μετρικών τόνων. Η χωρητικότητα φορτίου τους αγγίζει τα 2.400 εμπορευματοκιβώτια (TEUs) και διαθέτουν συμπληρωματικό χώρο για περίπου 400 οχήματα σε κλειστό Ro/Ro γκαράζ. Τα El Coquí και Taíno εξυπηρετούν τη σύνδεση μεταξύ των ΗΠΑ και του Πουέρτο Ρίκο.

Εικόνα 23. Πλοίο Taino



Πηγή: https://conro.crowley.com/home

9. Tungsten Explorer

Το Tungsten Explorer είναι ένα προηγμένο πλοίο γεωτρήσεων ανοικτής θαλάσσης κατασκευασμένο το 2013, ιδιοκτησία της εταιρείας Vantage Drilling International, και συγκαταλέγεται στα πιο σύγχρονα και τεχνολογικά ανεπτυγμένα σκάφη του είδους. Με μήκος 238 μέτρα και πλάτος 42 μέτρα, μπορεί να πραγματοποιεί γεωτρήσεις σε βάθη έως 12.000 μέτρων κάτω από τον βυθό και να επιχειρεί σε θαλάσσια βάθη έως 3.600 μέτρα, αντιμετωπίζοντας με επιτυχία δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες. Διαθέτει εξελιγμένα συστήματα γεώτρησης και υψηλής ασφάλειας, καθώς και εξοπλισμό υποστήριξης για υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως καύσιμο. Δραστηριοποιείται σε περιοχές υψηλών απαιτήσεων, όπως τα βαθιά και υπερβαθέα ύδατα, και είναι κατάλληλο για μεγάλες υπεράκτιες εξορύξεις. Έχει αναλάβει αποστολές στον Κόλπο του Μεξικού, στη Δυτική Αφρική και στην Ανατολική Μεσόγειο. Με τις τεχνολογικές καινοτομίες του και την προσήλωση στη βιωσιμότητα, το Tungsten Explorer αποτελεί ορόσημο για τη ναυτιλιακή και πετρελαϊκή βιομηχανία, δείχνοντας πώς η περιβαλλοντική υπευθυνότητα μπορεί να συνδυαστεί αποτελεσματικά με την αποδοτικότητα στον τομέα των υπεράκτιων γεωτρήσεων.

Εικόνα 24. Πλοίο Tungsten Explorer

Πηγή: https://www.brainmar.com/

9. Scheldt River

Το Scheldt River είναι ένα σύγχρονο πλοίο έλξης βυθοκόρου με χοάνη (Trailing Suction Hopper Dredger - TSHD) που ανήκει στην εταιρεία DEME Group, σχεδιασμένο για περιβαλλοντικά υπεύθυνες και αποδοτικές εργασίες βυθοκόρησης. Κατασκευάστηκε το 2017 και αποτελεί ένα από τα πρώτα πλοία του είδους που χρησιμοποιεί διπλό καύσιμο, LNG και συμβατικό καύσιμο. Το μήκος του είναι 115,8 μέτρα και το πλάτος 25 μέτρα. Διαθέτει ισχυρή αντλία βυθοκόρησης που του επιτρέπει να συλλέγει και να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ιζήματος και υλικών από τον βυθό της θάλασσας με μεγάλη ακρίβεια. Η χρήση LNG, σε συνδυασμό με τις τελευταίες τεχνολογίες που ελαχιστοποιούν την περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθιστούν το Scheldt River ένα από τα πιο προηγμένα και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία βυθοκόρησης παγκοσμίως.

Εικόνα 25. Πλοίο Scheldt River

Πηγή: https://www.deme-group.com/

10. MS Francisco

Το MS Francisco είναι το πρώτο παγκοσμίως ταχύπλοο επιβατικό και οχηματαγωγό πλοίο (RoPax) που χρησιμοποιεί LNG ως καύσιμο. Κατασκευάστηκε από την Incat στη Χιλή και παραδόθηκε το 2013. Το πλοίο είναι σχεδιασμένο για υψηλές ταχύτητες και μπορεί να φτάσει έως και 58 κόμβους (107 χλμ/ώρα), γεγονός που το καθιστά ένα από τα ταχύτερα επιβατικά πλοία στον κόσμο. Έχει μήκος 99 μέτρα και πλάτος 26 μέτρα ενώ μεταφέρει περίπου 1.000 επιβάτες και 150 οχήματα. Εξυπηρετεί τη γραμμή Μπουένος Άιρες - Μοντεβιδέο στον ποταμό Ρίο ντε λα Πλάτα

και προσφέρει βιώσιμες αλλά και γρήγορες μεταφορές σε ένα σημαντικό εμπορικό και τουριστικό πέρασμα μεταξύ Αργεντινής και Ουρουγουάης.

Εικόνα 26. Πλοίο Francisco

Πηγή: https://www.vesselfinder.com/

Παρά τη κατασκευή ποικίλων τύπων πλοίων με υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο κατανάλωσης, έχουν παρατηρηθεί και προσπάθειες ήδη υφιστάμενων πλοίων, τα οποία τροφοδοτούνται κυρίως από πετρέλαιο, να υπάγονται σε επεξεργασία για τη μετατροπή τους σε πλοία καύσης LNG, με πρώτη την εταιρία Hapag-Lloyd και τη μετασκευή του πλοίου της "Sajir" των 15.000 TEU (μήκος περίπου 399 μέτρων και πλάτος 54 μέτρων), ώστε να είναι ικανό να τροφοδοτείται με ΥΦΑ. Η μετατροπή αυτή έλαβε χώρα στη Σαγκάη με σκοπό το σύστημα καυσίμων του πλοίου και ο υπάρχων κινητήρας καύσης ρυπογόνων για το περιβάλλον καυσίμων να μετατραπούν σε κινητήρα διπλού καυσίμου. Βασικό σχέδιο αποτελεί η λειτουργία του πλοίου με υγροποιημένο φυσικό αέριο, αλλά να είναι επίσης σε θέση να χρησιμοποιήσει και καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ως εφεδρικά. Το πλοίο "Sajir" όπου μετονομάστηκε σε Brussels Express, αποτελεί ένα από τα 17 πλοία του στόλου της συγκεκριμένης εταιρίας που είχαν προγραμματιστεί για μετασκευή αλλά το εγχείρημα διακόπηκε μετά την ολοκλήρωση του καθώς το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι είχε υπολογίσει η εταιρεία ώστε να προχωρήσει και στη μετασκευή των υπολοίπων. Αντ' αυτού, το 2026 η εταιρεία θα προχωρήσει σε μετασκευή 5 πλοίων με χωρητικότητα 10.000 TEU ώστε να καίνε Μεθανόλη ως καύσιμο.

Εικόνα 27. Πλοίο Brussels Express

Πηγή: https://www.hafen-hamburg.de/de/startseite/

4.3. Αποτίμηση χρήσης LNG ως κύριο καύσιμο

Το 2019 η εταιρεία SEA/LNG σε σχετική της έρευνα διατύπωσε μια επενδυτική υπόθεση για το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο πλοίων στην αγορά μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Banawan, κ.α., 2009). Η έρευνα ανέλυσε την περίπτωση ενός πλοίου 14.000 ETU, με δρομολόγιο τις γραμμές Ασίας-Η.Π.Α. και συνέκρινε 6 σενάρια τιμολόγησης καυσίμων. Έτσι, διαπίστωσε ότι το LNG αποτελεί την πλέον κερδοφόρα επένδυση σε ένα ευρύ φάσμα επιχειρηματικών επιλογών από ισχυρές αγορές εμπορευματικών μεταφορών με υψηλές ταχύτητες λειτουργίας πλοίων, έως σε αδύναμες αγορές εμπορευματικών μεταφορών οπού χρησιμοποιείται χαμηλή κατανάλωση. Τα πορίσματα της έρευνας συνοψίζονται ως εξής:

1. Σταθερό κόστος

Το κόστος του LNG προκύπτει από το φυσικό αέριο (25%). ένα προκαθορισμένο τέλος υγροποίησης για την ψύξη του και το κόστος μεταφοράς το οποίο μπορεί να συμβληθεί μακροπρόθεσμα (75%). Ως εκ τούτου, η τιμολόγηση του ΥΦΑ καθορίζεται από σταθερότερες μεταβλητές σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καύσιμα.

2. Χρόνοι ταξιδιού ECA-Emission Control Areas

Οι περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών (emission control areas ή ECAs) αποτελούν θαλάσσιες περιοχές που υπάγονται σε αυστηρότερους ελέγχους για τη μείωση ρύπων SOx, NOx, ODSs και VOCs από τα πλοία, όπως ορίζει το παράρτημα VI της

MARPOL (MARPOL, 1997). Οι κανονισμοί, που εκπορεύονται από ανησυχίας σχετικά με την συμβολή της ναυτιλίας στη ρύπανση του αέρα και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αυτή συνεπάγεται εφαρμόστηκαν τον Μάιο του 2005. Συνολικά, διακρίνονται τέσσερες τέτοιου είδους περιοχές: η Βαλτική και η Βόρεια Θάλλασα, η Βορειοαμερικανική ECA που περιλαμβάνει την πλειονότητα των ακτών των ΗΠΑ και του Καναδά, καθώς και η Καραϊβική ECA των ΗΠΑ. Το 2020 εφαρμόστηκε το αναθεωρημένο και αυστηρότερο Παράρτημα VI με σημαντικά μειωμένα όρια εκπομπών. Ως εκ τούτου, το ΥΦΑ αποτελεί μια ενδιαφέρουσα επενδυτική εναλλακτική ως κάυσιμο πλοων που διανύουν στην πλειονότητα του ταξιδιού τους τέτοιου είδους περιοχές.

3. Ανταγωνιστικό ενεργειακό κόστος

Ιστορικά, το καύσιμο αγοράζεται με βάση ενός δολαρίου ανά τόνο. Εντούτοις, αυτή η συναλλαγή αφορά την αγορά ενέργειας. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο προσφέρει χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανά τόνο, οπότε τιμολογείται έναντι του Heavy Fuel Oil (HFO) περίπου κατά 24%, καθώς περιλαμβάνει περισσότερη ενέργεια για μια δεδομένη μάζα.

4. Κόστος scrubbers

Παρότι σύμφωνα με την κοινή γνώμη, η αγορά scrubbers κοστολογείται στα 2 εκατομμύρια δολάρια για νέες κατασκευές και μεταποιήσεις σε παλαιότερα πλοία, για τα πλοά μεγαλύτερης ισχύος η εγκατάσταση του μηχαισμού κοστίζει αρκετά περισσότερο. Ως εκ τούτου, το ΥΦΑ ως καύσιμο πλοίων παρέχει μεγαλύτερη επενδυτική απόδοση από τα συστήματα καθαρισμού scrubbers. Ως αποτέλεσμα, συν τω χρόνω, παρατηρούνται όλο και λιγότερες παραγγελίες σε αυτά

4.4. Πλοία χρήσης LNG στο μέλλον

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο διακίνησης πλοίων δημοτικοποιείται. Σύμφωνα με το World LNG Report (2023), ο αριθμός των σχετικών πλοίων παγκοσμίως ανέρχεται στα περίπου 770 παγκοσμίως (International Gas Union (2023). Ιδιαίτερη κινητικότητα παρουσιάζεται στην βόρεια Ευρώπη όπου η ζώνη της

Βαλτικής σε συνδυασμό με την χρηματοδότηση της ΕΕ ευνοεί την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων. Εξίσου και άλλες χώρες, όπως η Κίνα, η Σιγκαπούρη, η Ιαπωνία, το Ντούρμπαν και οι ΗΠΑ, εισχωρούν με τη σειρά τους στην αλυσίδα εφοδιασμού καυσίμων με υγροποιημένο φυσικό αέριο, κάτι το οποίο συνεπάγεται τη κάλυψη μεγάλων θαλάσσιων εμπορικών οδών στα μετέπειτα έτη.

Έτσι την εμφάνιση τους κάνουν ορισμένες μελλοντικές προοπτικές εφοδιασμού ΥΦΑ, καθώς το ζήτημα της προσφοράς, παρά τη προβλεπόμενη ανάπτυξη αγοράς LNG και η ικανότητα ρευστοποίησης ενός επιπλέον 35% στα επόμενα 6 έτη, αναμένεται να δημιουργήσει μια «μακρά» αγορά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ΥΦΑ να μη μπορεί να αντιμετωπίσει αυτήν την υπερπροσφορά, αλλά έστω να μπορεί να επωφεληθεί από αυτήν. Παρ' όλα αυτά το ΥΦΑ θα πρέπει να παραμείνει ανταγωνιστικό έναντι του αγωγού φυσικού αερίου, κάτι το οποίο θα επιφέρει ανταγωνιστικές τιμές τόσο στην αλυσίδα όσο και στη πηγή εφοδιασμού, με τελική απόρροια την ωρίμανση και την επέκταση περισσότερων ευκαιριών διαπραγμάτευσης και ένα ευρύτερο δίκτυο αποθήκευσης. Συμπερασματικά, το LNG Bunkering επρόκειτο να αυξηθεί κατά 50-60% έως τα μέσα της δεκαετίας του 2020 όπου αυτή τη περίοδο υπάρχουν περίπου 190 λιμάνια για ανεφοδιασμό LNG με πλάνο δημιουργίας ακόμα 80 παγκοσμίως.

Προβλέψεις για μεταγενέστερες καταστάσεις είναι πιο αμφίβολες, καθώς παραμένει άγνωστη η συμμετοχή άλλων κρατών επί του ζητήματος και η κατά συνέπεια οικονομία και πολιτική σύσταση κάθε κράτους. Εξίσου αβέβαιη παραμένει και η τεχνολογική πρόοδος που ενδέχεται να έχει προκύψει μέχρι τότε.

Παρ' όλα αυτά δίνονται οι τέσσερις επιλογές που εξετάζονται για κατασκευή μελλοντικών πλοίων:

- Συνθετικό μεθάνιο
- Βιομεθάνιο
- Συστήματα δέσμευσης άνθρακα
- Μετάβαση σε μηδενικά καύσιμα άνθρακα όπως αμμωνία και υδρογόνο

Εδώ πρέπει να επισημανθεί πως τα εν λόγω καύσιμα μηδενικού άνθρακα δεν είναι ακόμη ώριμα, αλλά κάποια βασικά τους προβλήματα ή χαρακτηριστικά μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

Με αμμωνία

- Κυβική χωρητικότητα 40% περισσότερη από το ΥΦΑ
- Τα παραγόμενα οξείδια του αζώτου, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν με συσκευή SCR (Silicon Controlled Rectifier)
- Τοξικότητα, κάτι το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη ανάλυση κινδύνου

Με υδρογόνο

- Liquefaction -253^{o} C
- Κυβική χωρητικότητα 250% περισσότερη από το ΥΦΑ
- Αναφλεξιμότητα

Συνθετικό μεθάνιο

- Προκαλείται από την αντίδραση των στοιχείων του υδρογόνου (H2) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO2)
- Η ένωση H2 και CO2 απαιτεί ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια
- Τεχνολογίες σύνθεσης: Ηλεκτρόλυση, απομόνωση CO2, μεθανοποίηση

Εκτός όμως της ανάλυσης μακροπρόθεσμων προσδοκιών, είναι αναγκαία και η επικέντρωση των ζητημάτων στην επικρατούσα κατάσταση. Αφενός αυτό περιλαμβάνει τα πρόσφατα μέτρα του ΔΝΟ, τα οποία η ναυτιλιακή βιομηχανία οφείλει να αντιμετωπίσει τις επόμενες δεκαετίες, όπως και τις συστάσεις του MRV της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο παρακολουθεί, αναφέρει και επαληθεύει μέσω ενός συστήματος συλλογής δεδομένων, τα πλοία καύσης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Σύμφωνα με το EU MRV οι εταιρίες ενδέχεται να χρειαστεί να μειώσουν τις ετήσιες εκπομπές CO2 ανά μεταφορά, τουλάχιστον κατά 40% έως το 2030.

4.5. Εμπόδια υιοθέτησης

Στην υιοθέτηση του υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο, πέρα από το δίκτυο ανεφοδιασμού, υπάρχουν πολλά ακόμα εμπόδια όπως το ψηλό κόστος μετασκευής, η παραγωγή μεθανίου, η εκπαίδευση ναυτικών και οι ελλείψεις υποδομών τα οποία αναλύονται παρακάτω.

4.5.1. Μετασκευή υπάρχον πλοίου

Η διαδικασία μετασκευής ενός πλοίου για να κάνει καύση LNG ως καύσιμο είναι αρκετά περίπλοκη και πολυδιάστατη ενώ δεν είναι εφικτή για όλα τα υπάρχοντα πλοία.

Με το κόστος της να προσαρμόζεται ανάλογα το μέγεθος αλλά και τον τύπο πλοίου (από 5 έως και 30 εκατομμύρια ευρώ), πρέπει αρχικά να γίνει μελέτη για τον απαραίτητο εξοπλισμό. Τα ανταλλακτικά κυρίως προέρχονται από τη Κίνα καθώς υπάρχουν ελλείψεις τον υπόλοιπο κόσμο, κάτι που θα δημιουργήσει καθυστερήσεις λόγω του χρόνου παράδοσης και εκτελωνισμού αλλά και αύξηση του κόστους λόγω δασμών.

Ο βασικότερος εξοπλισμός που πρέπει να εγκατασταθεί αρχικά είναι οι ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης που χρησιμοποιούν κρυογονική τεχνολογία. Ο όγκος τους είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με τις δεξαμενές πετρελαίου, κάτι που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αποδοτικότητά του πλοίου, ιδιαίτερα στην ακτοπλοΐα. Επίσης πρέπει να εγκατασταθεί ένα νέο σύστημα καύσης το οποίο θα είναι προσαρμοσμένο να κάνει καύση φυσικού αερίου και ταυτόχρονα να ικανοποιεί και τις ανάγκες καύσης άλλων καυσίμων. Τέλος πρέπει να εγκατασταθεί εξοπλισμός ασφαλείας ο οποίος θα παρακολουθεί διαρκώς το σύστημα για τυχόν διαρροές.

Έτσι συμπεραίνουμε ότι μια τέτοια μετασκευή αποτελεί μεγάλο ρίσκο καθώς μπορεί να μην υπάρχει επιστροφή επί της επένδυσης οπότε αρκετοί επιλέγουν την αγορά νέου πλοίου με δυνατότητα καύσης εναλλακτικού καυσίμου.

4.5.2. Παραγωγή μεθανόλης

Κατά την καύση LNG, παράγεται μεθάνιο ως παραπροϊόν, ειδικά σε περιπτώσεις ατελούς καύσης. Το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο θερμοκηπίου, με 25 φορές μεγαλύτερη επίδραση στην υπερθέρμανση του πλανήτη από το CO_2. Οι διαρροές μεθανίου κατά την παραγωγή, μεταφορά ή χρήση LNG μπορούν να εξαλείψουν τα περιβαλλοντικά οφέλη του, καθιστώντας την καύση του προβληματική από περιβαλλοντική σκοπιά.

4.5.3. Ανάγκη εκπαίδευσης ναυτικών και τεχνικών

Η χρήση του LNG ως καύσιμο απαιτεί ειδικές γνώσεις και δεξιότητες, κυρίως λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του, όπως η ανάγκη για κρυογονική αποθήκευση και η υψηλή ευφλεκτότητά του. Για τον λόγο αυτό, οι ναυτικοί και οι τεχνικοί που εργάζονται σε τέτοια πλοία απαιτείται να έχουν ολοκληρώσει την απαραίτητη εκπαίδευση, όπως προβλέπεται από τα πρότυπα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και τις απαιτήσεις της Σύμβασης STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers).

Η εν λόγω εκπαίδευση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, από τη βασική διαχείριση του καυσίμου και τις τεχνικές του ανεφοδιασμού, μέχρι τις διαδικασίες που αφορούν την ασφάλεια και την αντιμετώπιση πιθανών περιστατικών. Παρόλο που η ενσωμάτωση τέτοιων προγραμμάτων συνεπάγεται αυξημένο λειτουργικό κόστος για τις ναυτιλιακές εταιρείες, πρόκειται για μια απαραίτητη και, σε πολλές περιπτώσεις, υποχρεωτική επένδυση. Η σωστή εκπαίδευση συμβάλλει καθοριστικά όχι μόνο στην ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος, αλλά και στη γενικότερη αξιοπιστία και αποδοτικότητα της λειτουργίας των LNG πλοίων.

4.5.4. Δημιουργία υποδομών ανεφοδιασμού

Η ανάπτυξη υποδομών ανεφοδιασμού LNG αποτελεί θεμελιώδες βήμα για την υποστήριξη της μετάβασης της ακτοπλοΐας και της ναυτιλίας σε πιο βιώσιμες πρακτικές. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Κατασκευή Εγκαταστάσεων Αποθήκευσης και Τροφοδοσίας LNG

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την ασφαλή αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων δεξαμενών που βασίζονται σε κρυογονική τεχνολογία, ώστε να διατηρείται το καύσιμο στις απαραίτητες χαμηλές θερμοκρασίες. Η κατασκευή των σχετικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να βασιστεί σε λεπτομερή μελέτη, προκειμένου οι δεξαμενές να έχουν τη χωρητικότητα που ανταποκρίνεται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε λιμανιού.

Με αυτόν τον τρόπο, ο ανεφοδιασμός των πλοίων θα μπορεί να πραγματοποιείται με ασφάλεια μέσω αντλιών και κατάλληλα σχεδιασμένων σωληνώσεων. Παράλληλα, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου του εξοπλισμού, προκειμένου να προληφθούν ενδεχόμενες διαρροές ή άλλες δυσλειτουργίες. Επιπλέον, για να διασφαλιστεί η ομαλή και χωρίς παρεμβολές λειτουργία του λιμανιού κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού, είναι αναγκαία η δημιουργία κατάλληλων χώρων ελλιμενισμού, σχεδιασμένων με βάση τις τεχνικές και λειτουργικές απαιτήσεις των πλοίων LNG.

2. Διασυνδέσεις με Υπάρχοντα Δίκτυα Φυσικού Αερίου

Η διασύνδεση των λιμανιών με το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου είναι σημαντική. Μεγάλα λιμάνια, όπως ο Πειραιάς, η Πάτρα και η Θεσσαλονίκη, μπορούν να συνδεθούν μέσω αγωγών, ενώ λιμάνια όπως η Ρεβυθούσα και η Αλεξανδρούπολη μπορούν να λειτουργήσουν ως κεντρικοί κόμβοι εισαγωγής LNG. Παράλληλα, θα αναπτυχθούν τοπικά δίκτυα διανομής LNG για λιμάνια που δεν έχουν άμεση σύνδεση με το εθνικό δίκτυο.

3. Ανάπτυξη Μικρότερων Πλοίων Ανεφοδιασμού (Bunkering Vessels)

Η ανάπτυξη μικρότερων πλοίων ανεφοδιασμού LNG, γνωστών ως bunkering vessels, είναι επίσης σημαντική για την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτά τα πλοία είναι εξοπλισμένα με αντλίες και δεξαμενές για ασφαλή και γρήγορη τροφοδοσία πλοίων, ακόμα και εν πλω. Η χρήση τέτοιων πλοίων θα μπορούσε να διευκολύνει τον ανεφοδιασμό σε περιοχές που δεν διαθέτουν σταθερές υποδομές.

4. Συνεργασίες και Χρηματοδοτήσεις

Η συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα είναι απαραίτητη για τη χρηματοδότηση αυτών των έργων. Συνεργασίες μεταξύ ναυτιλιακών εταιρειών, ενεργειακών επιχειρήσεων και του κράτους μπορούν να επιφέρουν σημαντικά οφέλη. Η αξιοποίηση ευρωπαϊκών χρηματοδοτικών προγραμμάτων, όπως το "Connecting Europe Facility", μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των απαραίτητων κεφαλαίων. Επιπλέον, οι λιμενικές αρχές πρέπει να ενσωματώσουν τη χρήση LNG στους στρατηγικούς τους στόχους για την πράσινη ανάπτυξη.

5. Πιλοτικά Προγράμματα και Δοκιμές

Η διεξαγωγή πιλοτικών προγραμμάτων και δοκιμών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας των συστημάτων ανεφοδιασμού. Μέσω αυτών των δοκιμών, θα συλλέγονται δεδομένα που θα επιτρέπουν την ανάλυση κόστους και απόδοσης, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της υποδομής.

Η ανάπτυξη υποδομών LNG αναμένεται να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών λιμανιών, να μειώσει το κόστος καυσίμου για τις ναυτιλιακές εταιρείες και να προωθήσει τη βιώσιμη ναυτιλία. Έτσι, η Ελλάδα θα έχει τη δυνατότητα να καταστεί κεντρικός κόμβος ανεφοδιασμού LNG στην περιοχή της Μεσογείου, ενισχύοντας τη θέση της στη διεθνή ναυτιλία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκμετάλλευση κοιτασμάτων φυσικού αερίου έρχεται δυναμικά στο επίκεντρο εύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας προς αντικατάσταση άλλων καυσίμων που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Το φυσικό αέριο πλέον θεωρείται καύσιμου του μέλλοντος, καθώς υπόσχεται μια πιο υγιή και καθαρή γη, καθώς είναι άφθονο, αποτελεσματικό, προσιτό και έχει καθαρότερη καύση σε σύγκριση με άλλα ορυκτά καύσιμα. Η απλή χημική του σύνθεση προσδίδει ελάχιστους ρύπους στο περιβάλλον, οι οποίοι με την εξέλιξη νέων συστημάτων τεχνολογίας σχεδόν μηδενίζονται. Έτσι, συμβάλλει στην εξάλειψη του φαινόμενου του θερμοκηπίου, της όξινης βροχής της αιθαλομίχλης και άλλων επιβλαβών μορφών ρύπανσης.

Σύμφωνα με αναλυτές και ερευνητές της Αμερικανικής ενέργειας, εάν προχωρήσουν όλα τα προγραμματισμένα έργα, η ακμάζουσα βιομηχανία υγροποιημένου φυσικού αερίου θα διαδραματίσει τουλάχιστον τόσο σημαντικό ρόλο όσο και οι νέες επενδύσεις σε άνθρακα για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Η ομάδα έρευνας Global Energy Monitor, που παρακολουθεί την ανάπτυξη ορυκτών καυσίμων, διαπίστωσε ότι το 2020 επενδύθηκαν περίπου 2 δισεκατομμύρια δολάρια σε προγραμματισμένες επενδύσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου παγκοσμίως, γεγονός το οποίο συνεπάγεται τον τριπλασιασμό της παγκόσμιας χωρητικότητας ΥΦΑ, με αποτέλεσμα την εισαγωγή δεκαετιών εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Η κατάσταση αυτή, όμως, μπορεί να αναστραφεί, καθώς τα έργα αυτά βρίσκονται ακόμη σε στάδιο σχεδιασμού. Το 2024 οι συνολικές επενδύσεις αγγίζουν τα 42 δισεκατομμύρια δολάρια.

Ακόμη, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει απορρίψει επιχειρήματα που θέτουν το φυσικό αέριο ως το καύσιμο μετάβασης στην αντίδραση της κλιματικής αλλαγής, αν και έχει περίπου τις μισές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με άλλα καύσιμα, προειδοποιώντας παράλληλα το ευρύ κοινό για αναζήτηση νέας καθαρής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, διατυπώθηκε η αδυναμία σύγκρισης εκπομπών άνθρακα και φυσικού αερίου, λόγω της διαφορετικής τους φύσης. Το φυσικό αέριο έχει μεν χαμηλότερες εκπομπές CO_2, αλλά το υγροποιημένο φυσικό αέριο εμπεριέχει μεθάνιο, το οποίο χαρακτηρίζεται ως βραχύβιο αέριο και παραμένει στην ατμόσφαιρα για περίπου 12 χρόνια. Μάλιστα, μια πρόσφατη μελέτη διαπίστωσε ότι το επίπεδο του

ατμοσφαιρικού μεθανίου έχει αυξηθεί σημαντικά από το 2007 μετά από μια σχετικά ομαλή περίοδο, χωρίς όμως οι ερευνητές να έχουν γνώση των ακριβών λόγων.

Εν συνεχεία, οι ερευνητές της Global Energy διαπίστωσαν ότι οι εκπομπές μεθανίου, οι οποίες προκαλούνται από την εξόρυξη και την επεξεργασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου αναμένεται να έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στην θέρμανση του πλανήτη από την προτεινόμενη επέκταση της ενέργειας του άνθρακα, με ποσοστά διαρροής μεθανίου 2% έως 3%.

Εν γένει οι απόψεις διίστανται. Εμπειρικά, η δημοφιλής γνώση είναι σπανίως σωστή, καθώς απουσιάζει από το κόσμο των λεπτομερειών, οι οποίες σε τελική ανάλυση προσδίδουν την αλήθεια. Η δημοφιλής γνώμη στη προκειμένη περίπτωση ισχυρίζεται ότι καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO), είναι πολύ ασφαλέστερα για τη καύση πλοίων, σε σύγκριση με τα κοινά, με το υγροποιημένο φυσικό αέριο να αποτελεί το ασφαλέστερο όλων. Εξάλλου, τα νέα πρότυπα εκπομπών οξειδίου του θείου του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, έχουν τεθεί ήδη σε ισχύ από τη 1^{η} Ιανουαρίου του 2020, καθώς η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς αερίων HGH και η ζημιά που προκαλείται στην ανθρώπινη υγεία από τις υψηλές εκπομπές SOx, αποτελεί ύψιστης σημασίας. Όμως η εναρμόνιση με τα μέτρα της IMO 2020 έχει προκαλέσει μια τάση προς υπερβολή η οποία οδηγείται από τη πεποίθηση ότι όσο περισσότερο ένα πλοίο κινείται από τη καύση του HSFO, τόσο το καλύτερο για το περιβάλλον.

Αν και φαίνεται δίκαιο να υποθέσουμε ότι η καύση LSFO είναι καλύτερη για το περιβάλλον από την καύση HSFO, δεν είναι. Με την υπεύθυνη χρήση ενός συστήματος καθαρισμού καυσαερίων, το HSFO έχει αποδειχθεί ότι ξεπερνά το LSFO σε τοξικές εκπομπές, σωματίδια (PM) και αποτύπωμα άνθρακα. Ομοίως, οι ισχυρισμοί ότι το ΥΦΑ είναι το καλύτερο καύσιμο για τη θαλάσσια απο-ανθρακοποίηση, αυτό φαίνεται εύλογο στην επιφάνεια. Ωστόσο, ο στενότερος έλεγχος αποκαλύπτει ότι το ΥΦΑ δεν είναι η «πανάκεια» που προωθείται.

Η προβλεπόμενη νομοθεσία αποβλέπει στη μείωση της ναυτιλιακής παραγωγής σωματιδίων και στη μείωση των εκπομπών CO_2 της βιομηχανίας κατά 50% έως το 2050. Η SEA / LNG, ο βιομηχανικός συνασπισμός που είναι επιφορτισμένος με την υποστήριξη της χρήσης καυσίμου ΥΦΑ, το αναγνωρίζει.

Οι επενδυτές οφείλουν να γνωρίζουν πώς οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για εγκατεστημένους κινητήρες και το λειτουργικό τους κόστος, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής καυσίμου, επρόκειτο να επηρεαστούν από την ισχύουσα και τη μελλοντική περιβαλλοντική νομοθεσία. Παρά το γεγονός ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει χαμηλότερη επίδραση άνθρακα από τα καύσιμα που έχουν ως βάση το πετρέλαιο, δεν είναι τόσο έντονη όσο υποδηλώνει η επιστήμη της κοινής λογικής, καθώς το LNG παρέχει μόνο μείωση κατά 20-25% στις εκπομπές CO2 σε σύγκριση με το ντίζελ.

Συνακόλουθα, προκύπτει ένα ισχυρό επιχείρημα για τη διαγραφή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή HSFO, καθώς αυτό το περισσευούμενο μαζούτ αποτελεί ουσιαστικά ένα υποπροϊόν της διαδικασίας κατασκευής ελαφρύτερων καυσίμων όπως το ντίζελ. Η SEA / LNG διαφωνεί. Το μεθάνιο αντιπροσωπεύει περίπου το 95% του ΥΦΑ που χρησιμοποιείται στη θαλάσσια πρόωση. Αν και το μεγαλύτερο μέρος του καίγεται, μερικά από αυτά διαφεύγουν κατά την κατανάλωση καυσίμου σε ένα φαινόμενο γνωστό ως «ολίσθηση μεθανίου». Αν και τα ολισθηρά ποσά συναντώνται σε μικρές κλίμακες, έχουν δυσανάλογα ισχυρό αντίκτυπο στο φαινόμενο της κλιματική αλλαγής. Το μεθάνιο έχει δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη που είναι 28 φορές υψηλότερο από αυτό του CO_2 σε προοπτική 100 ετών και 84 φορές υψηλότερο σε 20 χρόνια. Η ολίσθηση του μεθανίου μπορεί επομένως να μειώσει, ή ακόμη και να αναιρέσει, τα πιθανά οφέλη για το υγροποιημένο φυσικό αέριο από τις χαμηλότερες εκπομπές CO_2.

Οι εν λόγω παραθέσεις απορρίπτουν τους ισχυρισμούς, σύμφωνα με τους οποίους το υγροποιημένο φυσικό αέριο και η χρήση του προσφέρουν οφέλη από τον άνθρακα που προκύπτει αναλογικά με το αντιπροσωπευτικό μείγμα του στους υπάρχοντες στόλους πλοίων: όσο περισσότερα πλοία ΥΦΑ, τόσο μεγαλύτερα είναι τα οφέλη. Αλλά, εάν η καύση του ΥΦΑ έχει πράγματι οριακά επιζήμια επίδραση στο κλίμα μας, όσο περισσότερα πλοία καύσης υγροποιημένου φυσικού αερίου βλέπουμε, τόσο περισσότερο πρέπει να ανησυχούμε.

Τα αέρια LNG επίσης δεν είναι απαλλαγμένα από σωματίδια. Μια μελέτη για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαπίστωσε ότι, αν και οι εκπομπές σωματιδίων υγροποιημένου φυσικού αερίου ήταν χαμηλότερες σε όγκο από τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, συγκεντρώθηκαν σε ένα εξαιρετικά λεπτό φάσμα. Σύμφωνα με την εν λόγω

έρευνα, τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια μπορούν να διεισδύσουν στο αναπνευστικό σύστημα και να μεταφερθούν σε άλλα μέρη του σώματος μέσω του αίματος, όπου μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένου κινδύνου φλεγμονή. Πολύ μικρά σωματίδια μπορεί επίσης να παίξουν ρόλο στις ατμοσφαιρικές διεργασίες, υπαγορεύοντας την ποσότητα και τη διάρκεια ζωής των νεφών, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα.

Στο φάσμα των πιθανών εναλλακτικών πηγών ενέργειας υπάρχει ένας αριθμός, όπως το υδρογόνο ή ισχύ μπαταρίας, τα οποία υπόσχονται μεγαλύτερα, αλλά και περισσότερο μακροπρόθεσμα οφέλη. Ο μόνος παράγοντας που φαίνεται να κατατάσσεται υπέρ του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι ότι αντικατοπτρίζει μια πιο ώριμη τεχνολογία με πιο καθιερωμένους παράγοντες της προσφοράς.

Για αυτούς τους διάφορους λόγους οι Πανεπιστημιακές Ναυτιλιακές Συμβουλευτικές Υπηρεσίες (UMAS) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) προέβλεπε δαπάνες για υποδομές ανεφοδιασμού ΥΦΑ, οι οποίες δεν θα είχαν σημαντικά κλιματικά οφέλη. Οι θαλάσσιοι καθαριστές καυσαερίων, ωστόσο, έχουν θετικό βραχυπρόθεσμο, μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα.

Επιπλέον, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) θεωρείται συχνά εξαιρετικά επικίνδυνο και τοξικό με πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που ονομάζονται πλωτές βόμβες. Είναι όμως ακριβής αυτή η αντίληψη; Η ιστορική πραγματικότητα είναι ότι το ΥΦΑ έχει το καλύτερο ρεκόρ ασφαλείας από όλους τους κοινούς τύπους καυσίμων και είναι εντελώς μη τοξικό. Φυσικά οι ατμοί φυσικού αερίου είναι εύφλεκτοι και παρουσιάζουν κινδύνους ασφαλείας που πρέπει να αντιμετωπιστούν, αλλά αυτοί οι κίνδυνοι είναι ουσιαστικά λιγότεροι από ό, τι για τη βενζίνη, το ντίζελ και άλλα υγρά καύσιμα.

Όταν το υγροποιημένο φυσικό αέριο χύνεται στο έδαφος ή το νερό εξατμίζεται γρήγορα και δεν αφήνει υπολείμματα. Οι διαρροές ΥΦΑ στο νερό δεν βλάπτουν τους υδρόβιους οργανισμούς, καθώς ούτε και τις υδάτινες οδούς με οποιονδήποτε τρόπο. Καθώς το LNG εξατμίζεται, το νέφος ατμών μπορεί να αναφλεγεί εάν υπάρχει πηγή ανάφλεξης, αλλά διαφορετικά το ΥΦΑ διαλύεται εντελώς.

Η βιομηχανία υγροποιημένου φυσικού αερίου στέλνει μεγάλες ποσότητες με πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από τη δεκαετία του 1960. Υπάρχουν πάνω από 100 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων LNG το 2020 (σε σύγκριση με τα 1000 συνολικά πλοία παντός τύπου το 2024 μαζί με τα υπό κατασκευή αλλά χωρίς τα

LNG Carriers), με την εν λόγω βιομηχανία να έχει πραγματοποιήσει πάνω από 33.000 ταξίδια από το 1964, καλύπτοντας περισσότερα από 60 εκατομμύρια μίλια χωρίς ποτέ να υπάρξει σημαντική διαρροή, απώλεια φορτίου ή περιβαλλοντικό συμβάν. Υπήρξαν πυρκαγιές μηχανοστασίων, γεγονός το οποίο αποτελεί τυπικό συμβάν για την ευρύτερη ναυτιλιακή βιομηχανία, αλλά κανένα από τα περιστατικά δεν προκάλεσε ποτέ αστοχίες περιορισμού ή διαρροές φορτίου. Τα πλοία με υγροποιημένο φυσικό αέριο έχουν πολλαπλούς τοίχους συγκράτησης και μόνωση με 8 πόδια μεταξύ του κύτους και του φορτίου, καθιστώντας τα πολύ ανθεκτικά.

Συμπερασματικά, η αποστολή LNG θεωρείται πολύ ασφαλέστερη από την αντίστοιχη αποστολή αργού πετρελαίου. Τα ποσοστά ασφάλισης P&L (Profit & Loss statement), είναι 25% λιγότερα για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων ΥΦΑ από ό, τι για τη μεταφορά αργού πετρελαίου. Η ευθύνη στο πλαίσιο της ασφαλιστικής κάλυψης επικεντρώνεται στην πυρκαγιά και τη ζημιά και όχι στην περιβαλλοντική ρύπανση. Οι διαρροές αργού πετρελαίου είναι καλά τεκμηριωμένες για τις μακροπρόθεσμες ζημιές που προκαλούν, αλλά δεν υπάρχουν συγκρίσιμες περιβαλλοντικές απειλές για το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Τα ποσοστά ασφάλισης για οχήματα φυσικού αερίου είναι επίσης χαμηλότερα από ό, τι για οχήματα βενζίνης ή ντίζελ.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που κάνουν το LNG ασφαλέστερο από άλλα καύσιμα είναι:

- Οι ατμοί του μεθανίου είναι ελαφρύτεροι από τον αέρα και διαλύονται γρήγορα, σε αντίθεση με άλλα καύσιμα που συσσωρεύονται στο έδαφος και δημιουργούν μεγαλύτερο κίνδυνο πυρκαγιάς, αφήνοντας πίσω τους κηλίδες, λάσπες και άλλα βρώμικα υπολείμματα.
- Το μεθάνιο δεν είναι εκρηκτικό στον αέρα και είναι λιγότερο εύφλεκτο από άλλα καύσιμα.
- Τα ντεπόζιτα LNG είναι όλα διπλά τοιχώματα και πολύ παχιά, καθιστώντας τα πολύ ισχυρότερα και πιο ανθεκτικά από τα ντεπόζιτα για άλλα καύσιμα και χημικά.
- Το μεθάνιο είναι μη τοξικό, ενώ τα περισσότερα άλλα κοινά καύσιμα είναι πολύ τοξικά.

Το φυσικό αέριο καίγεται με ορατή φλόγα και έχει στενά όρια αναφλεξιμότητας, καίγοντας μόνο σε αναλογίες αέρα-καυσίμου 5-15%. Κάτω από 5%

το μείγμα είναι πολύ άπαχο για να καεί και πάνω από 15% το μείγμα είναι πολύ πλούσιο για καύση. Οι δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν αναφλέγονται τόσο εύκολα όσο οι δεξαμενές βενζίνης ή ντίζελ. Η θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης του μεθανίου είναι 1004 ° F, σημαντικά υψηλότερη από τη βενζίνη (495 ° F) ή το ντίζελ (600 ° F). Έτσι, ενώ οι ανοιχτές φλόγες και οι σπινθήρες μπορούν να αναφλέξουν το φυσικό αέριο, πολλές θερμές επιφάνειες όπως ένα σιγαστήρα αυτοκινήτου δεν θα το κάνουν. Οι ατμοί μεθανίου σε ανοιχτό αέρα εμφανίζουν πολύ αργή ταχύτητα φλόγας περίπου 4 mph.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο όμως εξακολουθεί να είναι επικίνδυνο, και αν χυθεί θα βράσει γρήγορα δημιουργώντας ένα νέφος ατμών. Αρχικά, ο ατμός του μεθανίου θα συμπυκνώσει τους υδρατμούς από τον αέρα κάνοντας το σύννεφο ορατό και προκαλώντας το να «κρέμεται» κοντά στο έδαφος μέχρι να ζεσταθεί. Εάν υπάρχει πηγή ανάφλεξης, το σύννεφο μπορεί να αναφλεγεί και θα καεί πίσω στην πηγή. Εάν το σύννεφο δεν αναφλεγεί, μπορεί δυνητικά να διανύσει κάποια απόσταση κάτω από τις σωστές συνθήκες, αλλά συνήθως θα θερμανθεί γρήγορα, θα ανέβει και θα εξαφανιστεί.

Το μοναδικό μεγάλο ατύχημα LNG στις ΗΠΑ έλαβε χώρα στις πρώτες μέρες του κλάδου κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου στο Κλίβελαντ του Οχάιο το 1944. Ελλείψει υλικών πολέμου, μια δεξαμενή κατασκευασμένη με ποιοτικά κατώτερα υλικά έσπασε από ευθραυστότητα και χύθηκε πάνω από 1 εκατομμύριο γαλόνια LNG. Το ΥΦΑ ξεχειλίζει τα φράγματα συγκράτησης και χύνεται σε ένα κοντινό αποχετευτικό δίκτυο. Οι ατμοί που περιέχονται στους σωλήνες αποχέτευσης ανάφλεξαν και κάηκαν σε μια κατοικημένη γειτονιά, σκοτώνοντας 128 άτομα και τραυματίζοντας πάνω από 200.

Ενώ αυτή η τραγωδία αναφέρεται συχνά από τους αντίμαχους του ΥΦΑ, ήταν ένα σημαντικό μάθημα για τη βιομηχανία που υιοθέτησε στη συνέχεια αυστηρούς κωδικούς ασφαλείας για να αποτρέψει αυτό το είδος ατυχήματος να ξανασυμβεί ξανά. Τα κιβώτια συγκράτησης έχουν σχεδιαστεί καλύτερα, ώστε να διατηρούν ολόκληρο τον όγκο που είναι αποθηκευμένος σε δεξαμενές. Οι υλικές επιλογές είναι πολύ πιο αυστηρές. Και το πιο σημαντικό, οι δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ δεν βρίσκονται σε περιοχές όπου οι διαρροές θα απειλήσουν τις τοπικές κοινότητες. Οι δεξαμενές αποθήκευσης που διαρρέουν σε υπονόμους παρουσιάζουν το χειρότερο σενάριο όπου ο ατμός περιέχεται και δεν επιτρέπεται να διαλυθεί.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ για θαλάσσιες και οδικές μεταφορές, καθώς και μελλοντικές δεξαμενές για χρήση σε σιδηροδρομικές γραμμές, είναι κατασκευασμένες σύμφωνα με αυστηρά πρότυπα και είναι εγγενώς πιο στιβαρές από τις δεξαμενές αργού, καυσίμου και χημικών. Οι δεξαμενές ΥΦΑ είναι πάντα διπλού τοιχώματος με εκτεταμένα συστήματα ανακούφισης πίεσης. Επιπλέον, είναι ανθεκτικές και έχουν επιβιώσει από πολλά ατυχήματα σε αυτοκινητόδρομους χωρίς να σπάσουν. Το πραγματικό παγκόσμιο ρεκόρ ασφάλειας μιλά από μόνο του, είτε στους δρόμους είτε στην ανοιχτή θάλασσα, το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι πολύ πιο ασφαλές στη μεταφορά και τη χρήση από τα συγκρίσιμα υγρά καύσιμα.

Στην ακτοπλοΐα, όπως προαναφέρθηκε, τα πλοία που λειτουργούν με LNG είναι ήδη σε λειτουργία, με περισσότερα, συμπεριλαμβανομένων των κρουαζιερόπλοιων και των μεγάλων εμπορευματοκιβωτίων, να βρίσκονται σε βιβλία παραγγελιών. Αυτά τα πλοία θα απαιτήσουν περαιτέρω συστήματα υποστήριξης συμπεριλαμβανομένων, φυσικά, εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού ΥΦΑ. Τα πλοία καυσίμων υγροποιημένου φυσικού αερίου πολλαπλασιάζονται, είτε έχουν μετατραπεί σε μεταφορείς καυσίμων είτε πρόκειται για δεξαμενόπλοια με χρήση καυσίμου LNG. Φυσικά, η νέα τεχνολογία φέρνει φυσικά νέες προκλήσεις, νέους κανονισμούς και νέα πρότυπα. Ο ΙΜΟ δημοσίευσε τον Κώδικα Ασφάλειας για Πλοία χρησιμοποιώντας Αέρια ή άλλα Καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης και οι νηογνώμονες έχουν κανόνες για την κατασκευή πλοίων με ΥΦΑ, οι οποίοι με τη πάροδο του χρόνου θα χαρακτηρίζονται από περισσότερη αυστηρότητα. Όσον αφορά την Ελλάδα, ο ήδη υπάρχων στόλος δεν μπορεί να αξιοποιήσει το LNG. Αν λάβουμε υπόψη ότι το 41% του ακτοπλοϊκού στόλου θα είναι κατά μέσο όρο 40 ετών το 2035, η πρόκληση που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι τεράστια κάτι που αναφέρει και η μελέτη της XRTC. Δεν υπάρχουν επίσης διαθέσιμα μεταχειρισμένα πλοία. Ο κανονισμός FuelEU Maritime έχει ήδη δώσει μέχρι το τέλος του 2029 εξαίρεση για τα πλοία που προσεγγίζουν νησιά με πληθυσμό κάτω των 200.000. Η Attica Group για παράδειγμα υπέγραψε συμφωνία με τη Stena RoRo για τη ναύλωση και μελλοντική αγορά 2 triple fueled (diesel, μπαταρία και μεθανόλη) E-Flexer με χωρητικότητα 1.500 επιβατών, 3.320 γραμμικών μέτρων φορτίου και παράδοση το 2027 με πιθανή επιλογή αγοράς ακόμα δύο.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το LNG αποτελεί μια μεταβατική λύση, ικανή να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές ρύπων και να συμβάλει στη συμμόρφωση με

τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Παρόλα αυτά, δεν είναι η πιο κατάλληλη μακροπρόθεσμη επιλογή, λόγω της μη ανανεώσιμης φύσης του και των περιβαλλοντικών κινδύνων που σχετίζονται με το μεθάνιο.

Για το μέλλον, καύσιμα όπως τα παρακάτω, που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές, ενδέχεται να αποτελέσουν πιο βιώσιμες λύσεις :

- Υδρογόνο , το οποίο προσφέρει μηδενικές εκπομπές αν παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές αλλά η τεχνολογία για τη καύση του είναι ακόμη υπό ανάπτυξη
- Αμμωνία, όπου παράγει μηδενικές εκπομπές CO_2 κατά την καύση αλλά υπάρχουν διάφορες προκλήσεις ως προς την τοξικότητα και την τεχνολογία καύσης.
- Μεθανόλη, με μικρότερες εκπομπές ρύπων από το LNG αλλά παρόλο που μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές, η ενεργειακή της απόδοση είναι χαμηλότερη.
- Βιοκαύσιμα, τα οποία κατασκευάζονται από οργανικές πρώτες ύλες και θεωρούνται ανανεώσιμα αλλά περιορίζεται η χρήση τους από τη χαμηλή παραγωγή και το υψηλό κόστος.
- Ηλεκτροκίνηση, η οποία είναι ιδανική για ακτοπλοΐα λόγω των μικρών αποστάσεων, αλλά μη εφαρμόσιμη σε μεγάλα πλοία λόγω των περιορισμών αποθήκευσης ενέργειας.

Παρ' όλα αυτά, το LNG παραμένει σήμερα η πιο ώριμη και εφαρμόσιμη λύση για τη άμεση μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλαγκιοζίδης, Χ. (2005). *Φυσικό αέριο: Εναλλακτική πηγή ενέργειας* (Πτυχιακή εργασία). Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Μεσολόγγι.

Αχνιώτης, Χ. (2012). *Υγροποιημένο φυσικό αέριο: παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση* (Πτυχιακή Εργασία). Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Καβάλα.

Βλαστάρας Α., Γεωργάτος Ι. (2014). *Εξόρυξη φυσικού αερίου από στιχόλιθους: Τεχνολογίες, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οικονομικοί δείκτες και προοπτικές* (Πτυχιακή Εργασία). Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.

Γκόνης, Κ., Ψαράυτης, Χ. (2020). *Η ναυτιλιακή αγορά LNG και οι προοπτικές της.* Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2020, από http://martrans.org/documents/2009/energy/NAF.%20CHR.07.pdf

Καραμπέτσου, Χ. (2003). *Το διεθνές εμπόριο του υγροποιημένου φυσικού αερίου* (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

Κοτρίκλα, Α. (2015). *Ναυτιλία και περιβάλλον.* Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.

Κωνσταντόπουλος, Ι. (2020). *Αριθμητική προσομοίωση ροής Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) σε δεξαμενή πλοίου κατά την διάρκεια ανεφοδιασμού* (Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Λέκκας, Π. (2018). *Η αγορά του LNG και οι τάσεις για το μέλλον* (Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

Μόδης, Κ., Σταματάκη, Σ. (2015). *Εισαγωγή στη μεταλλευτική έρευνα*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου.

Μπακάλη, Α. (2017). *Η διαδικασία του Bunkering και το συναφές κόστος κίνησης σαν στοιχείο της ανταγωνιστικότητας ενός εμπορικού πλοίου* (Μεταπτυχιακή διατριβή). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

Μπουλού, Μ., (2015). *Η παγκόσμια αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ): Η θαλάσσια διακίνηση και η εξέλιξή της* (Μεταπτυχιακή διατριβή). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

Πατέρα, Κ. (2018). *Φυσικό αέριο στη ναυτιλία.* (Πτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.

Πεχλιβάνης, Χ. (2010). *Το φυσικό αέριο χθες-σήμερα-αύριο* (Πτυχιακή Εργασία). Τ.Ε.Ι Μηχανολογίας, Καβάλα.

Τσογγάρη, Α. (2020). *Ενέργεια και δίκαιο της θάλασσας: Πτυχές του νομικού καθεστώτος του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) και της μεταφοράς αερίου* (Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Αθήνα.

Χαβιάρης, Ι. (2014). *Η εφαρμογή LNG ως καυσίμου σε πλοία RO-PAX* (Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς.

Φλώρος Κ. (2023). *Πράσινη χρηματοδότηση στην Ναυτιλία και τους λιμένες.* Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττική, Αιγάλεω και Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Andress, D., Watkins, R. (2004) *Beauty of Simplicity: Phillips Optimized Cascade LNG Liquefaction Process*. Ανακτήθηκε 15 Σεπτεμβρίου 2023 από https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1774671

Aneziris, O., Koromila, I., Nivolianitou, Z. (2019) *A systematic literature review on LNG safety at ports.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβίου, 2020 από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753519322064

Ansarinasab, H., Mehrpooya, M., Parivazh, M. (2017) *Evaluation of the cryogenic helium recovery process from natural gas based on flash separation by advanced exergy cost method – Linde modified process.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001122751730084X

Banawan, A., Gohary, M., Sadek, I. (2009) *Environmental and economical benefits of changing from marine diesel oil to natural-gas fuel for short-voyage high-power passenger ships.* Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2020, από

https://journals.sagepub.com/doi/10.1243/14750902JEME181

Bukowski, J., Nan Liu, Y., Boccella, S, Kowalski, L. (2020) *Innovations in natural gas liquefaction technology for future LNG plants and floating LNG facilities.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020, από http://www.airproducts.com/~/media/Files/PDF/industries/lng/LNG-IGRC-innovations-in-natural-gas-liquefaction-technology.pdf

Emad, G., Khabir, M., Shahbakhsh, M. (2020). *The Role of Maritime Logistics in Sustaining the Future of Global Energy: The Case of Hydrogen.* Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.researchgate.net/profile/Mohsen_Khabir/publication/338557713_The_Role_of_Maritime_Logistics_in_Sustaining_the_Future_of_Global_Energy_The_Case_of_Hydrogen/links/5e1cb825a6fdcc2837711243/The-Role-of-Maritime-Logistics-in-Sustaining-the-Future-of-Global-Energy-The-Case-of-Hydrogen.pdf

Foss, M. (2003) *LNG Safety and Security*. Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2020 από http://laohamutuk.org/Oil/LNG/Refs/024FossLNGSafetySecurity.pdf

Galczyński M., Ruszel M., Turowski P., Zajdler R., Zawisza A., (2017), *Global LNG Market*

Ανακτήθηκε 03 Οκτωβρίου, 2023 από

https://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2017/05/Global-LNG-Market_e-book.pdf

Graczyk, M., Moan, T., Wu, M. (2007). *Extreme sloshing and whipping-induced pressures and structural response in membrane LNG tanks.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445300701423049

Karim, G. (1980) *A review of combustion processes in the dual fuel engine—The gas diesel engine.* Ανακτήθηκε 15 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360128580900192

Kwak, D., Heo, J., Park, S., Seo, S., Kim, J. (2018*) Energy-efficient design and optimization of boil-off gas (BOG) re-liquefaction process for liquefied natural gas (LNG)-fuelled ship.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218301828

Ma, G., Zhang, C., Ding, Y., Li, B. (2020) *A study on the use of dual mixed refrigerant in a cascade dual mixed refrigerant cycle*. Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017710582

Meidl, R. (2018) *FERC and PHMSA Sign Memorandum of Understanding.* Ανακτήθηκε 15 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://scholarship.rice.edu/bitstream/handle/1911/105138/bi-brief-100118-ces-ferc.pdf?sequence=1

Nadaleti, W., Przybyla, G. (2018) *Emissions and performance of a spark-ignition gas engine generator operating with hydrogen-rich syngas, methane and biogas blends for application in southern Brazilian rice industries.* Ανακτήθηκε 15 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218306509

Nemeth, S., Mitchell, S., Nyman, E., Hensel, P. (2014) *Ruling the Sea: Managing Maritime Conflicts through UNCLOS and Exclusive Economic Zones.* Ανακτήθηκε 19 23 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03050629.2014.897233?casa_token=5owvfMTOhKgAAAAA%3AGl1EXTCz-efwrDpq3OWTGgTUv-bBESeUOUOoTyfMyAHk4LE8VeZiN-lYHac7M_5diVIYm6G-IU8

Newton, C., Stuber, W. (1985) *Double mixed refrigerant liquefaction process for natural gas.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://www.osti.gov/biblio/5586378

Oluwagbemisola A. , Ambrose A., Damilola B., (2020)

A study of LNG processes to determine the effect of end flash systems on efficiency Ανακτήθηκε 10 Σεπτεμβρίου, 2024, από

https://bibliotekanauki.pl/articles/240578

Primabudi, E., Morosuk, T., Tsatsaronis, G. (2019) *Multi-objective optimization of propane pre-cooled mixed refrigerant (C3MR) LNG process.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου 2023 από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219313623

Selim, M. (2004) *Effect of engine parameters and gaseous fuel type on the cyclic variability of dual fuel engines.* Ανακτήθηκε 14 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236104003679?via%3Dihub

Smith, M., Gonzales, G. (2020) *Costs Associated with compressed natural gas vehicle fueling infastructure.* Ανακτήθηκε 20 Σεπτεμβρίου, 2020 από https://afdc.energy.gov/files/u/publication/cng_infrastructure_costs.pdf

Verny, J., Grigentin, C. (2009) *Container shipping on the Northern Sea Route.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309001509

Vaudolon, Alain (2000) *Liquefied Gases: Marine Transportation and Storage,* Λονδίνο εκδόσεις Witherby & Company Limited

Zhu, X., Cheng, X., Peng, W., Zi, G. (2014) *Stress distribution and fracture pattern analysis of spherical LNG storage tank dome caused by thermal load.* Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2022, από https://koreauniv.pure.elsevier.com/en/publications/stress-distribution-and-fracture-pattern-analysis-of-spherical-ln

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

1. http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx
2. https://www.adv-polymer.com/blog/scrubbers-on-marine-vessels
3. https://lnglicensing.conocophillips.com/what-we-do/lng-technology/optimized-cascade-process/
4. https://www.gulfoilandgas.com/webpro1/prod1/Services.asp?id=243
5. https://www.prnewswire.com/news-releases/linde-process-plants-to-highlight-the-advantages-of-standardization-for-ngl-recovery-and-lng-plants-at-the-dug-midcontinent-conference-300039575.html
6. https://www.investopedia.com/terms/r/regulated-market.asp
7. http://www.mastermariners.org.au/news-and-articles/archived-articles-2/1263-types-of-lng-carriers
8. https://incbio.com/
9. https://www.igu.org/resources/lng2023-world-lng-report/
10. https://www.iqpc.com/media/5796/2214.pdf
11. https://www.gastrade.gr/

12. https://www.emsa.europa.eu/publications/inventories/item/3207-guidance-on-lng-bunkering-to-port-authorities-and-administrations.html
13. https://www.naftikachronika.gr/2017/07/29/strofi-pros-ta-ploia-tou-mellontos/
14. https://www.metaforespress.gr/naftilia/%cf%84%ce%bf-2035-%cf%84%ce%bf-50-%cf%84%cf%89%ce%bd-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%cf%8e%ce%bd-%ce%b1%ce%ba%cf%84%ce%bf%cf%80%ce%bb%ce%bf%cf%8a%ce%ba%cf%8e%ce%bd-%cf%80%ce%bb%ce%bf%ce%af/
15. https://xrtc-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/eleni_moutsatsou_xrtc_gr/EcHWWqkQJDlPvf5yKQ39bwIBRJh7w_Gbhq0so2fMXhyDGw?rtime=VszRS0kV3Ug
16. https://metaforespress.gr/naftilia/%CF%84%CE%BF-%CF%80%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%BF%CF%8A%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CF%83%CF%84%CF%8C%CE%BB/
17. https://ypodomes.com/
18. https://www.thescxchange.com/articles/1823-has-the-panama-canal-expansion-changed-anything
19. https://futurefuels.imo.org/home/future-insight/alternative-fuels/scalability-and-sustainability/lng/
20. https://www.capital.gr/epixeiriseis/3875934/xekina-i-emporiki-leitourgia-tou-termatikou-stathmou-lng-alexandroupolis/
21. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF
22. https://www.dapeep.gr/
23. https://gaslandinc.com/
24. https://lnglicensing.conocophillips.com/
25. https://marine-digital.com/
26. https://www.eia.gov/

27. https://www.economist.com/
28. https://stenaroro.com/news/stena-roro-places-order-for-two-new-multi-fuel-e-flexer-ropax-vessels/
29. https://www.attica-group.com/images/press-releases-news/2024-3/ATTICA-GROUP-STENA-RoRo-Agreement-EN.pdf
30. https://ecopress.gr/poseidonmedii-lng-kafsimo-naftilia/
31. https://gtt.fr/technologies/markiii-systems