

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΣΓΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΝΑ

ΘΕΜΑ:

**ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥΣ**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΚΟΚΟΣΙΟΥΛΗ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ
Α.Γ.Μ: 4198**

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 16/05/2020

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ: ΣΡΤ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	6
2.1 ΥΓΡΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	9
2.2 LPG.....	10
2.3 LNG.....	12
2.4 LEG.....	17
2.5 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ.....	17
3. ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	19
3.1 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΦΟΡΑ.....	19
3.2 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LPG.....	22
3.3 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG.....	26
3.4 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LEG.....	33
3.5 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	33
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	36
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θαλάσσιες μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία. Αυτή τη στιγμή μια ποικιλία προϊόντων όπως το αργό πετρέλαιο, τα εξευγενισμένα προϊόντα πετρελαίου, το LNG, το LPG , το LEG και τα διάφορα χημικά υλικά αποτελούν τον άξονα της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας. Για τη μεταφορά αυτών των προϊόντων, χρειάζονται εξειδικευμένοι τύποι πλοίων. Τα δεξαμενόπλοια που καλούνται να μεταφέρουν τέτοιου είδους φορτία εκτός από τις ειδικές σχεδιαστικές διαμορφώσεις, απαιτούν και ειδικούς χειρισμούς ως προς την μεταφορά αυτών των φορτίων αλλά και ως προς την φόρτωση και την εκφόρτωση αυτών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφέρει αγαθά σε όλο τον κόσμο, συνδέοντας πολίτες και επιχειρήσεις σε όλες τις ηπείρους. Στην σημερινή παγκοσμιοποιημένη οικονομία, η ταχύτητα και η χωρητικότητα των πλοίων έχουν αυξηθεί. Η χρήση πλοίων στη θάλασσα έχει γίνει ένας από τους φθηνότερους τρόπους μεταφοράς εμπορευμάτων, βάσει του

1.Κόστους ανά τόνο και

2. Καύσιμου ανά τόνο που μεταφέρεται.

Προκειμένου να καταστούν ικανά για να μεταφέρουν από μηχανήματα και εξοπλισμό, έως τρόφιμα και οχήματα, τα πλοία τροποποιούνται για να διαχειρίζονται διάφορα είδη εμπορευμάτων. Το αργό πετρέλαιο, τα άλλα είδη καυσίμων όπως το LNG (Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο) και το CNG (Compressed Natural Gas), τα ορυκτά και τα μεταλλεύματα απαιτούν τους δικούς τους τύπους πλοίων που είναι ειδικά κατασκευασμένα για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν αυτά τα αγαθά.

Ένα από τα μεγαλύτερα φορτία που μεταφέρονται μέσω πλοίων είναι τα προϊόντα πετρελαίου και τα υποπροϊόντά του, όσον αφορά τον όγκο. Αυτά περιλαμβάνουν το αργό πετρέλαιο, το LNG, το CNG, LEG (Liquified Energy Gas), LPG (Liquified Petroleum Gas) και τα διάφορα παράγωγά τους.

Το πρωταρχικό σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την αποστολή χύδην εμπορευμάτων είναι η δυνατότητα μεταφοράς φορτίου κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα αγαθά και το πλοίο ή να αποσταθεροποιήσει το σκάφος λόγω του FSE (Free Surface Effect) (των Ελεύθερων Επιφανειών). Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια μορφή διαμερισματοποίησης για να επιτρέψει στα αγαθά να παραμείνουν στη θέση τους.

Το υγρό χύμα φορτίο περιλαμβάνει συγκεκριμένα αγαθά και φορτία που είναι υγρά στη φύση και μεταφέρονται χύμα. Η πλειονότητα των φορτίων σε αυτήν την κατηγορία ανήκει σε προϊόντα πετρελαίου και στα υποπροϊόντά του. Αυτό

περιλαμβάνει το αργό πετρέλαιο, διάφορα προϊόντα που λαμβάνονται μετά το διαχωρισμό και την επεξεργασία του αργού πετρελαίου κ.λ.π.

Τέτοια φορτία αξίζει να σημειωθεί πως είναι εξαιρετικά ευμετάβλητα και ενέχουν κίνδυνο κατά τη μεταφορά, όχι μόνο στο πλήρωμα και τους χειριστές φορτίου, αλλά και για το περιβάλλον. Επιπλέον, το πλοίο διαθέτει ειδικές δεξαμενές αντοχής ενσωματωμένες στις βάσεις αποθήκευσης φορτίου, έτσι ώστε η FSE να μειώνεται εισάγοντας διαμήκεις διαιρέσεις και διαφράγματα για τη μείωση της απώλειας. Πρέπει επίσης να ληφθεί επαρκής μέριμνα για την αποφυγή εύφλεκτων εμπορευμάτων μακριά από τα αποθέματα φορτίου, καθώς η μείωση της μεταβλητότητας τέτοιων υγρών αγαθών δεν είναι αυστηρά εφικτή (σε αντίθεση με τα CNG, LNG, LPG, κ.λπ.).

Ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας βιομηχανίας εμπορευματικών μεταφορών χειρίζεται τη μεταφορά χημικών και διαφόρων παρόμοιων προϊόντων. Αυτό συμβαίνει λόγω της εμπειρογνωμοσύνης ορισμένων χωρών στη σύνθεση συγκεκριμένων χημικών. Η ζήτηση σε άλλα μέρη του πλανήτη απαιτεί μεγάλη μεταφορά τέτοιων φορτίων.

Οι χημικές ουσίες θέτουν πολλές προκλήσεις στη μεταφορά σε οποιαδήποτε μορφή και με οποιονδήποτε τρόπο. Αυτό οφείλεται στον υψηλό κίνδυνο διάβρωσης που αντιμετωπίζει το πλοίο ή τις μονάδες εμπορευματοκιβωτίων, την πιθανότητα τοξικής διαρροής, τυχαίας δηλητηρίασης και μόλυνσης. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, το πλοίο, τα μέλη του πληρώματος και διάφοροι χειριστές υποφέρουν από την ακατάλληλη αποθήκευση και αποστολή του φορτίου.

Για την ασφαλή μεταφορά χημικών, δηλητηριωδών εμπορευμάτων και τοξικών φορτίων, πρέπει να χρησιμοποιούνται ενισχυμένες και ειδικά κατασκευασμένες μονάδες αποθήκευσης. Οι συγκεκριμένες είναι ικανές να αντέχουν στη διάβρωση και τη σκουριά. Παράλληλα, έχουν τη δυνατότητα να περιέχουν τις αναθυμιάσεις του φορτίου και πιθανές επικίνδυνες παρενέργειες, έως ότου εκφορτωθούν και μεταφερθούν στη θύρα προορισμού (Rowbotham, 2014).

2. ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Γενικά, οι μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο με δύο τρόπους: την οικονομική ανάπτυξη και τη μη οικονομική ανάπτυξη. Οι οικονομικοί στόχοι περιλαμβάνουν την αύξηση του εκάστοτε εθνικού εισοδήματος, την ανάπτυξη της εθνικής βιομηχανίας και τη δημιουργία και διατήρηση ευκαιριών απασχόλησης για το κάθε κράτος.

Οι ανάγκες όμως και οι προσδοκίες του ταχέως αναπτυσσόμενου παγκόσμιου πληθυσμού μπορούν να καλυφθούν μόνο με τη μεταφορά των προϊόντων. Λόγω της γεωγραφικής επέκτασης και της διασποράς των τόπων παραγωγής, οι παγκόσμιοι τρόποι μεταφοράς γίνονται πιο ελκυστικοί την τελευταία δεκαετία. Η UNCTAD (2014) δήλωσε ότι σχεδόν το 85% του διεθνούς εμπορίου προϊόντων μεταφέρεται από τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Συνεπώς, η μορφή της παγκόσμιας οικονομίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Οι θαλάσσιες μεταφορές λοιπόν είναι πολύ δημοφιλείς, καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως :

- Χαμηλό κόστος
- Η απόσταση δεν είναι ο καθοριστικός παράγοντας για το συνολικό κόστος μεταφοράς
- Τα βαριά και χύδην φορτία μεταφέρονται εύκολα
- Έχουν μια φυσική διαδρομή
- Είναι ευέλικτες
- Ενθαρρύνουν την ανάπτυξη της βιομηχανίας και του εμπορίου
- Προκαλούν λιγότερη περιβαλλοντική ρύπανση σε σχέση με τις αεροπορικές μεταφορές
- Υπάρχει μικρότερο κόστος συντήρησης των πλοίων
- Είναι χρήσιμες κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών στους σιδηρόδρομους ή στους δρόμους
- Τέλος είναι χρήσιμες για το υπερπόντιο εμπόριο

Παρόλο που η θαλάσσια μεταφορά είναι ένας φθηνός και χρήσιμος τρόπος μεταφοράς αγαθών, υπάρχουν επίσης μειονεκτήματα στη χρήση αυτού του τρόπου μεταφοράς.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Είναι ένας πολύ αργός τρόπος μεταφοράς
- Η στάθμη του νερού των ποταμών μπορεί να κάνει τη ναυσιπλοΐα δύσκολη
- Ποτάμια και άλλα κανάλια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθ 'όλη τη διάρκεια του έτους, λόγω του χειμερινού καιρού
- Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η στάθμη του νερού μπορεί να πέσει
- Η θαλάσσια μεταφορά μέσω ποταμού είναι αναξιόπιστη
- Απαιτείται ειδική συντήρηση του σκάφους για στεγανότητα στο νερό
- Μερικές φορές τα λιμάνια δεν είναι κατάλληλα για παραλαβή φορτίου
- Το μέγεθος των λιμένων δεν είναι πάντα κατάλληλο για κάθε σκάφος (Hänninen, S., & Rytkönen, 2006).

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές είναι υπεύθυνες για περίπου 2 - 3% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Επιπλέον, σύμφωνα με τα σενάρια του IMO, οι παγκόσμιες εκπομπές θαλάσσιων μεταφορών θα μπορούσαν να αυξηθούν έως και 50% έως το 2050, ανάλογα με τις μελλοντικές οικονομικές και ενεργειακές εξελίξεις. Εάν δεν ελεγχθούν, αυτές οι εκπομπές κινδυνεύουν να υπονομεύσουν τους στόχους της συμφωνίας του Παρισιού και να ακυρώσουν τις μειώσεις εκπομπών που επιτεύχθηκαν σε άλλους τομείς.

Στις 4 Φεβρουαρίου 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε πρόταση για την αναθεώρηση του συστήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από τις θαλάσσιες μεταφορές (κανονισμός Ευρωπαϊκής Ένωσης 2015/757) προκειμένου να ευθυγραμμιστεί με το παγκόσμιο σύστημα συλλογής δεδομένων που αφορούν τα καύσιμα που καταναλώνονται από τα πλοία όπως εισήγαγε ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΔΝΟ). Επιπροσθέτως, ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης απαιτεί από πλοία άνω των 5.000 τόνων που χρησιμοποιούν ευρωπαϊκούς λιμένες να

παρακολουθούν και να αναφέρουν την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές CO₂ ανά ταξίδι και σε ετήσια βάση, από το 2018 (EP Legislative Observatory, 2019).

Η προτεινόμενη αναθεώρηση του κανονισμού (Ευρωπαϊκής Ένωσης 2015/757) στοχεύει στη διευκόλυνση της ταυτόχρονης εφαρμογής των δύο συστημάτων, διατηρώντας παράλληλα τους στόχους της ισχύουσας νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δηλαδή να διατηρήσει τη συλλογή ισχυρών και επαληθευμένων δεδομένων εκπομπών CO₂ σε επιμέρους επίπεδο πλοίου, να ενθαρρύνει την υιοθέτηση λύσεων ενεργειακής απόδοσης και να ενημερώσει τη μελλοντική χάραξη πολιτικής.

Στις 16 Σεπτεμβρίου 2020, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε τροπολογίες που απαιτούν από τις ναυτιλιακές εταιρείες να μειώσουν σε γραμμικό επίπεδο τις μέσες ετήσιες εκπομπές CO₂ σε σχέση με τις μεταφορές, για όλα τα πλοία τους, κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, με κυρώσεις με τη μη συμμόρφωσή τους. Προκειμένου να συγκεντρωθούν δεδομένα σχετικά με τις μεταφορές, η αναφορά των «μεταφερόμενων φορτίων» ανά ταξίδι θα παραμείνει υποχρεωτική. Επιπλέον, οι τροποποιήσεις εισάγουν την επισήμανση περιβαλλοντικών επιδόσεων των πλοίων και ζητεί να συμπεριληφθεί το μεθάνιο και άλλα αέρια θερμοκηπίου εκτός του CO₂ και καλύτερη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή στα λιμάνια (European Parliament, 2020).

Η Επιτροπή θα πρέπει να αναθεωρήσει τον κανονισμό υπό το φως των μελλοντικών μέτρων του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού. Η έκθεση θα περιλαμβάνει τη θαλάσσια ναυτιλία σύμφωνα με την οδηγία ETS (Emissions Trading Scheme) της Ε.Ε. από το 2022. Στόχος της είναι να δημιουργηθεί επίσης ένα «Ταμείο Ωκεανού» για την περίοδο 2022-2030, χρηματοδοτούμενο από έσοδα από τη δημοπρασία δικαιωμάτων ETS, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για να καταστήσουν τα πλοία πιο ενεργειακά αποδοτικά. Επιτυγχάνοντας αυτό, θα κατορθώσει να υποστηρίξει τις επενδύσεις σε καινοτόμες τεχνολογίες και υποδομές για την αποσυμπίεση από τις θαλάσσιες μεταφορές και να προστατεύσει τα θαλάσσια οικοσυστήματα που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή.

Με την άνοδο της βιομηχανίας προέκυψε μια ανάγκη μεταφοράς για μεγάλους όγκους βασικών συνθετικών προϊόντων. Λόγω των ειδικών χημικών και φυσικών ιδιοτήτων τους και των σχετικά μικρότερων όγκων που πρέπει να μεταφερθούν, έπρεπε να κατασκευαστούν ειδικά δεξαμενόπλοια. Τα βυτιοφόρα μοιάζουν με μικρά

πετρελαιοφόρα, αλλά έχουν χωρητικότητα μικρότερη από 40.000 τόνους. Αργότερα, χρειάστηκαν πιο εξελιγμένα πλοία με πολλές εξαρτώμενες δεξαμενές ειδικού χάλυβα.

Σήμερα, οι περισσότεροι από τους σημαντικότερους φορείς εκμετάλλευσης αναλαμβάνουν ένα πρόγραμμα αντικατάστασης στόλου και ταυτόχρονα, αναβαθμίζουν τον στόλο τους ώστε να ανταποκρίνονται στις όλο και πιο αυστηρές απαιτήσεις των ναυλωτών και των νομοθετών. Ο σχεδιασμός και οι προδιαγραφές των περισσότερων νέων πλοίων είναι τόσο εξελιγμένοι που τα Tankers θα μπορούν να χειρίζονται σχεδόν κάθε τύπο υγρού φορτίου (Wells, 1999).

2.1 ΥΓΡΑ ΦΟΡΤΙΑ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πραγματοποιούνται θαλάσσιες μεταφορές διαφόρων ειδών φορτίου. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στα υγρά φορτία που διακομίζονται θαλάσσια.

Υγρά φορτία λοιπόν θεωρούνται όλα τα φορτία που ρέουν ελεύθερα και αποθηκεύονται στις δεξαμενές του βυτιοφόρου, από και προς το οποίο αντλούνται. Το υγρό χύμα φορτίο μπορεί να αποτελείται από αργό πετρέλαιο, προϊόντα πετρελαίου, LNG, LPG, LEG και υγρά χημικά. Επίσης καυστική σόδα, φυτικά έλαια, κρασί και χυμοί μεταφέρονται με δεξαμενόπλοια.

1. Μαζούτ

Το αργό πετρέλαιο είναι το σημαντικότερο εμπόρευμα στον κόσμο σήμερα. Το 2013 ο συνολικός όγκος των αποστολών αργού πετρελαίου ήταν κατά μέσο όρο 1,8 δισεκατομμύρια τόνοι. Οι κύριες διαδρομές εμπορίου αργού πετρελαίου αφορούν περιοχές που βρίσκονται στη Δυτική Ασία, την Αφρική και την Αμερική.

2. Προϊόντα Πετρελαίου

Τα προϊόντα πετρελαίου, επίσης γνωστά ως **υποπροϊόντα πετρελαίου**, είναι μια ομάδα υλικών που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο στα διυλιστήρια πετρελαίου. Τα προϊόντα αυτά κυμαίνονται από διαφορετικούς βαθμούς μαζούτ και βενζίνης, πετρελαίου κίνησης, πίσσας και λιπαντικών. Το 2013 μεταφέρθηκαν θαλασσίως πάνω από 1895 εκατομμύρια τόνοι προϊόντων πετρελαίου.

2.2 LPG

Η σημαντική αύξηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων μεταφορών θεωρείται από ορισμένους ως σημαντικό μέρος της αντίδρασής μας στην κλιματική αλλαγή. Το Liquefied Petroleum Gas (LPG) είναι ένα τέτοιο καύσιμο που παρέχει σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης και μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου των συμβατικών κινητήρων ανάφλεξης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ακόμα και τώρα εξακολουθεί να υπάρχει κάποια αβεβαιότητα ως προς την καλύτερη χρήση του υγραερίου σε κινητήρες ανάφλεξης (Mustovic, 2011).

Η σύνθεση του LPG ποικίλλει σημαντικά και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Συνολικά, περίπου το 60% του LPG προέρχεται από την επεξεργασία του λεγόμενου συμβατικού φυσικού αερίου. Το υπόλοιπο παράγεται κυρίως κατά τη διύλιση αργού πετρελαίου. Το LPG περιέχει κυρίως παραφίνες οι οποίες περιλαμβάνουν το προπάνιο και το βουτάνιο, καθώς και μικρότερες ποσότητες αιθανίου.

Το LPG που παράγεται κατά τη διύλιση πετρελαίου μπορεί επίσης να περιέχει ιδιαίτερα προπυλένιο (προπένιο) και βουτυλένιο (βουτένιο), τις λεγόμενες ολεφίνες οι οποίες προέρχονται από διάφορες διεργασίες. Ωστόσο, λόγω των παρόμοιων μεταβλητών του προπανίου και του προπυλενίου, καθώς και των βουτανίων και των βουτυλενίων, ο διαχωρισμός αυτών των συστατικών είναι σχετικά δαπανηρός και για το λόγο αυτό συχνά δεν πραγματοποιείται. Ως αποτέλεσμα, το LPG που προέρχεται από διυλιστήρια μπορεί να έχει σημαντική περιεκτικότητα σε ολεφίνες έως και 30% κατ'όγκο (Sadeghbeigi, 2012).

Δεδομένων αυτών των διαφορετικών πηγών και μεθόδων επεξεργασίας, η σύνθεση του LPG είναι πολύ μεταβλητή. Απόδειξη αυτού απεικονίζεται στον Πίνακα 1, ο οποίος δείχνει το αποδεκτό εύρος σημαντικών ειδών εντός του LPG σε διαφορετικές αγορές σε όλο τον κόσμο, όπως προκύπτει από ιδιόκτητα δελτία δεδομένων ασφαλείας υλικού. Ενώ η περιεκτικότητα σε LPG ποικίλλει σημαντικά σε ολόκληρο τον κόσμο, είναι κυρίως ένα μείγμα τεσσάρων υδρογονανθράκων: προπάνιο, προπυλένιο, ισο-βουτάνιο και ν-βουτάνιο. Αντιθέτως, η περιεκτικότητα σε αιθάνιο μπορεί να είναι έως 10 (% vol) σε ορισμένες αγορές διότι θεωρείται ένα

λιγότερο σημαντικό συστατικό. Η περιεκτικότητα σε βουτυλένιο στο LPG φαίνεται να είναι μικρότερης σημασίας, αλλά δεν αναφέρεται ευρέως (Morganti, 2013).

ΠΕΡΙΟΧΗ	Σύνθεση καυσίμου (% vol)				
	Αιθάνιο	Προπάνιο	Προπυλένιο	Βουτένια	Βουτυλένια
Αυστραλία	0-10	0-100	0-45	0-50	0-15
Βέλγιο	0-5	50-100	0-50	0-10	
Καναδάς		92.5-100	0-5	0-2.5	
Γαλλία	0-5	50-100	0-50	0-5	
Γερμανία	0-5	50-100	0-50	0-10	
Χονγκ Κονγκ	0-5	20-40		60-80	
Ιταλία	0-5	40-100	0-50	0-50	
Κορέα		10. -35		65-90	
Μεξικό		60		40	
Ολλανδία	0-5	50-100	0-50	0-50	
Νέα Ζηλανδία		60-70		30-40	
Πολωνία		20-60		40-80	
Σιγκαπούρη	0-5	20-60		60-80	
Ισπανία	0-5	87.5-100	0-5	0-5	
Ηνωμένο Βασίλειο	0-5	50-100	0-50	0-5	
Ηνωμένες Πολιτείες		92.5-100	0-5	0-2.5	

Πίνακας 1. Δεδομένα σύνθεσης LPG ανά περιοχή που λαμβάνονται από ιδιόκτητα MSDSs των εταιρειών BP, Chevron, ConocoPhillips, ExxonMobil και Royal Dutch Shell. (Πηγή : Morganti, 2013)

2.3 LNG

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) είναι φυσικό αέριο που έχει ψυχθεί σε υγρή κατάσταση (υγροποιημένο), περίπου στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-260\text{ }^{\circ}\text{ Fahrenheit}$), για μεταφορά και αποθήκευση. Ο όγκος του φυσικού αερίου στην υγρή του κατάσταση είναι περίπου 600 φορές μικρότερος από τον όγκο του στην αερία του κατάσταση σε έναν αγωγό φυσικού αερίου. Αυτή η διαδικασία υγροποίησης, που αναπτύχθηκε κατά τον 19ο αιώνα, καθιστά δυνατή τη μεταφορά φυσικού αερίου σε μέρη που δεν φτάνουν οι αγωγοί φυσικού αερίου και η χρήση φυσικού αερίου ως καυσίμου μεταφοράς.

Η ζήτηση για LNG ολοένα και αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες. Το 2019, η παγκόσμια ζήτηση LNG στην αγορά ανήλθε σε 356,06 εκατομμύρια τόνους και ένας σύνθετος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (CAGR) 5,8% αναμένεται να παρατηρηθεί την επταετία 2020 - 2027 (GrandViewResearch , 2019). Τα νέα έργα υποδομής και παραγωγής που αναμένεται να υλοποιηθούν και η εφαρμογή του LNG στην αγορά είναι μερικοί από τους κινητήριους μοχλούς που προωθούν την παραπάνω ανάπτυξη. Πρόσφατα, η ζήτηση φυσικού αερίου αυξήθηκε απότομα στην Ασία και η παραγωγή στις Ηνωμένες Πολιτείες αυξήθηκε . Η Grand View Research (2019) ισχυρίζεται ότι το 2019, η περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού αντιπροσώπευε το μεγαλύτερο μερίδιο εσόδων 41,3%, όπου η Αυστραλία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο ως παγκόσμιος εξαγωγέας LNG με έργα εξόρυξης που βρίσκονται στο Κουίνσλαντ και τη Δυτική Αυστραλία.

Το LNG χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφοράς, σε ηλεκτρική ενέργεια και παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, μαγείρεμα, καθώς και σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να αντικαταστήσει το αργό πετρέλαιο σε πολλές εφαρμογές. Επιπλέον, το LNG θεωρείται καθαρότερη πηγή ενέργειας για την αντικατάσταση ή συμπλήρωση άνθρακα και πετρελαίου. Αν και το LNG εξάγεται σε συνδυασμό με το αργό πετρέλαιο, είναι η λιγότερο ρυπογόνα ορυκτή ενέργεια και αποτελεί πηγή ενέργειας που συμπληρώνει τις προσπάθειες για την οικοδόμηση εναλλακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το 2020 ήταν μια πρωτοφανής χρονιά για τις αγορές φυσικού αερίου και υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η ζήτηση φυσικού αερίου μειώθηκε κατά 3%. Η ζήτηση LNG ήταν πιο ανθεκτική και κατάφερε να αυξηθεί κατά 1%. Ωστόσο, σημειώθηκαν υψηλά επίπεδα μεταβλητότητας της αγοράς LNG, τόσο με την υπερβολική υπερπροσφορά, όσο και με την υπερβολική στεγανότητα κατά τη διάρκεια του έτους.

Το φυσικό αέριο θα είναι το ισχυρότερο αναπτυσσόμενο ορυκτό καύσιμο και θα αυξηθεί κατά 0,9% από το 2020 έως το 2035. Είναι το μοναδικό ορυκτό καύσιμο που αναμένεται να αναπτυχθεί μετά το 2030, γνωρίζοντας κορύφωση κατά τη ζήτησή του το 2037. Από το 2035 έως το 2050, η ζήτηση φυσικού αερίου θα μειωθεί κατά 0,4%. Αυτή η σχετικά μέτρια μείωση οφείλεται στη δύσκολη αντικατάσταση της χρήσης φυσικού αερίου στους χημικούς και βιομηχανικούς τομείς, γεγονός που περιορίζει τον αντίκτυπο της επιταχυνόμενης μείωσης του αερίου που χρησιμοποιείται για ηλεκτρική ενέργεια.

Όπου οι αγωγοί φυσικού αερίου δεν είναι πραγματοποιήσιμοι ή δεν υπάρχουν, η υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι ένας τρόπος μεταφοράς του φυσικού αερίου από περιοχές παραγωγής σε περιοχές αγοράς, όπως προς και από τις Ηνωμένες Πολιτείες και άλλες χώρες.

Οι εγκαταστάσεις εξαγωγής LNG λαμβάνουν φυσικό αέριο μέσω αγωγού και υγροποιούν το αέριο για μεταφορά σε ειδικά πλοία ή δεξαμενόπλοια. Η μεγαλύτερη ποσότητα LNG μεταφέρεται από δεξαμενόπλοια που ονομάζονται LNG μεταφορείς σε μεγάλες, εν πλω, κρυογονικές δεξαμενές. Το LNG μεταφέρεται επίσης σε μικρότερα εμπορευματοκιβώτια σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) που μπορούν να τοποθετηθούν σε πλοία και φορτηγά.

Στους τερματικούς σταθμούς εισαγωγής, το LNG εκφορτώνεται από πλοία και μπορεί να αποθηκευτεί σε κρυογονικές δεξαμενές αποθήκευσης πριν επιστραφεί στην αέρια κατάσταση ή να επαναεριοποιηθεί. Μετά την επαναεριοποίηση, το φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω αγωγών φυσικού αερίου σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οικιακούς και εμπορικούς πελάτες.

Αν και η εφαρμογή της ανάλυσης κινδύνου στον τομέα του LNG εξακολουθεί να λαμβάνει σημαντική προσοχή από επαγγελματίες και ερευνητές, ωστόσο ορισμένοι ρυθμιστές και το ευρύ κοινό παραμένουν δύσπιστοι ως προς την ασφάλεια των εγκαταστάσεων LNG, καθυστερώντας για το λόγο αυτό την επέκταση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και εμποδίζοντας την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων

σε ορισμένες χώρες. Για να αποκαλυφθούν τα ολιστικά ζητήματα και οι μελλοντικές προοπτικές για την ασφάλεια της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG, καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική η περιεκτική και συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της τρέχουσας προηγμένης έρευνας σχετικά με την εφαρμογή τεχνολογιών ανάλυσης κινδύνου στον τομέα του LNG.

Η αλυσίδα εφοδιασμού LNG αποτελείται από τέσσερα συνδεδεμένα και ανεξάρτητα λειτουργικά μέρη:

- εξερεύνηση και παραγωγή
- υγροποίηση
- μεταφορά και επαναεριοποίηση
- αποθήκευση και διανομή (Foss, 2007)

1. Εξερεύνηση και παραγωγή

Το πρώτο μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού LNG είναι η εξερεύνηση και η παραγωγή. Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο που εναποτίθεται κάτω από τη στεριά και τη θάλασσα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και γενικότερα η περιοχή της Βόρειας Αμερικής διαθέτουν άφθονους πόρους φυσικού αερίου. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αυξηθεί από 167,4 σε 244,7 tcf κατά τη δεκαετή περίοδο από το 1999 έως το 2009 (BP, 2010). Οι δραστηριότητες εξερεύνησης και εξόρυξης περιλαμβάνουν σεισμικές μετρήσεις και γεωτρήσεις.

Το φυσικό αέριο που εξορύσσεται, μεταφέρεται σε εγκατάσταση επεξεργασίας μέσω αγωγών υψηλής πίεσης. Η σύνθεση του φυσικού αερίου ποικίλλει ανάλογα με το πού βρίσκεται το κοίτασμα αερίου (Wang and Economides, 2009). Οι μεγαλύτερες χώρες που πωλούν LNG σε παγκόσμιες αγορές περιλαμβάνουν την Ινδονησία, τη Μαλαισία, το Κατάρ και την Αλγερία.

2. Υγροποίηση

Η υγροποίηση είναι ένα άλλο βασικό μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού LNG. Οι εγκαταστάσεις υγροποίησης συχνά αποτελούνται από πολλές παράλληλες μονάδες. Το φυσικό αέριο διέρχεται πρώτα από την προκατεργασία για την απομάκρυνση των μολυσματικών ουσιών ή των ακαθαρσιών, συμπεριλαμβανομένων των αερίων και του νερού. Στη συνέχεια, οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες αφαιρούνται

χρησιμοποιώντας ψυκτικά μέσα υψηλού επιπέδου για να αποφευχθεί η κατάψυξη όταν το αέριο ψύχεται στους περίπου -162°C και για να πληροί τις προδιαγραφές ποιότητας στο σημείο παράδοσης. Το υπόλειμμα του αερίου που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ψύχεται περαιτέρω έως ότου υγροποιηθεί πλήρως. Κατά τη διάρκεια της υγροποίησης, ο όγκος του αερίου μειώνεται κατά έναν συντελεστή 600. Επομένως, το LNG καταλαμβάνει μόνο το 1/600 του χώρου που απαιτείται για συγκρίσιμη ποσότητα φυσικού αερίου σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση.

Το LNG αποθηκεύεται σε δεξαμενές διπλού τοιχώματος σε ατμοσφαιρική πίεση. Το εσωτερικό τοίχωμα είναι σε επαφή με το LNG και είναι κατασκευασμένο από υλικά κατάλληλα για κρυογονική συντήρηση. Αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν 9% χάλυβα νικελίου, αλουμίνιο ή άλλα κρυογονικά κράματα. Ο εξωτερικός τοίχος είναι γενικά κατασκευασμένος από ανθρακούχο χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο δακτυλιοειδής χώρος μεταξύ δύο τοιχωμάτων δεξαμενής είναι γεμάτος με μονωτικό υλικό (Wang and Economides, 2009).

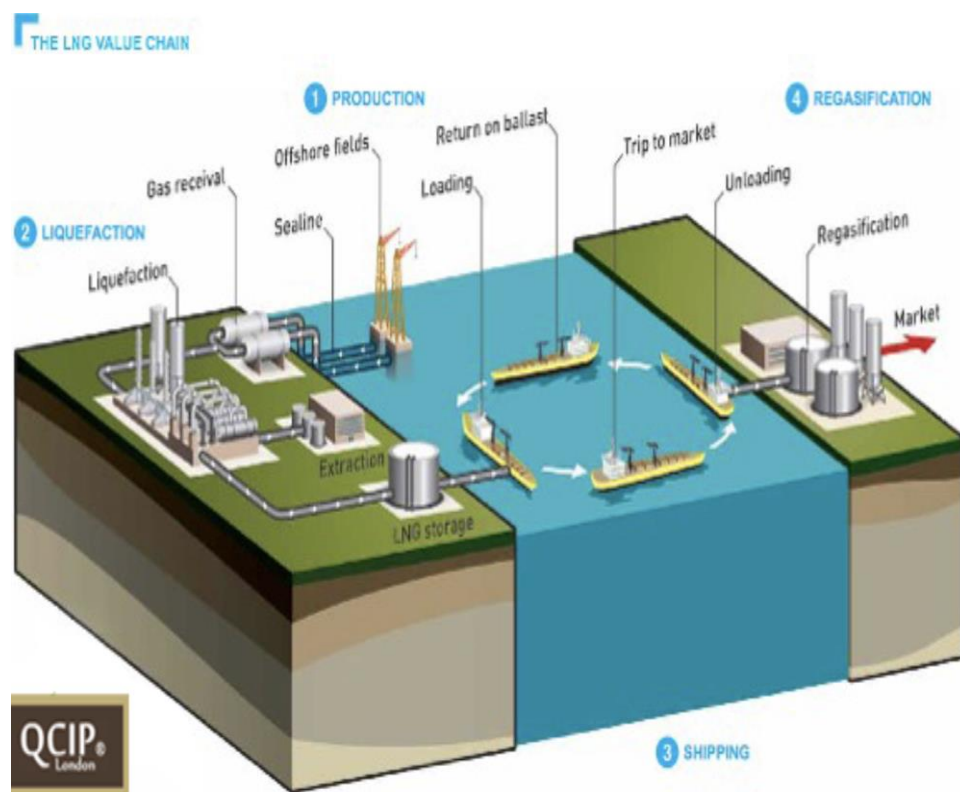
3. Μεταφορά

Τα δεξαμενόπλοια LNG είναι ειδικά σχεδιασμένα πλοία για τη μεταφορά LNG πέρα από τις θάλασσες. Πολλά δεξαμενόπλοια LNG που βρίσκονται σε λειτουργία χρησιμοποιούν το σχέδιο Moss, το οποίο είναι εύκολα αναγνωρίσιμο λόγω του ορατού άνω μισού των σφαιρικών δεξαμενών πάνω από το κατάστρωμα. Η χωρητικότητα ενός πλοίου LNG έχει αυξηθεί σημαντικά από λιγότερο από 30.000 m^3 στα μέσα της δεκαετίας του 1960, σε πάνω από 250.000 m^3 το 2009. Σε σύγκριση με άλλα πλοία μεταφοράς, τα πλοία LNG είναι γενικά λιγότερο ρυπογόνα επειδή καταναλώνουν φυσικό αέριο αντί για καύσιμο πετρέλαιο για πρόωση (Wang and Economides, 2009).

4. Αποθήκευση και επαναεριοποίηση

Το LNG χρησιμοποιείται με διάφορους τρόπους κατά την άφιξη στον προορισμό του. Οι τερματικοί σταθμοί λήψης LNG μπορεί να περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις για άμεση φόρτωση LNG σε βυτιοφόρα για οδική διανομή. Οι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής LNG ενδέχεται να βρίσκονται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, επιτρέποντας τη χρήση ενός τέτοιου υγρού για την ψύξη της μονάδας παραγωγής ενέργειας όπου καίγεται φυσικό αέριο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το LNG μεταφέρεται πρώτα σε δεξαμενές διπλού τοιχώματος, παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε εγκατάσταση υγροποίησης, όπου το LNG έως ότου χρειαστεί αποθηκεύεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Στη συνέχεια, το LNG αντλείται σε υψηλότερη πίεση μέσω της διαδικασίας επαναεριοποίησης όπου μετατρέπεται πίσω στην αερίά του κατάσταση. Το LNG θερμαίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον στο οποίο διέρχονται σωλήνες που θερμαίνονται από θερμαντήρες απευθείας καύσης είτε σωλήνες που θερμαίνονται από θαλασσινό νερό ή ζεστό νερό. (Wang and Economides, 2009).



Σχήμα 1. Αναπαράσταση Εφοδιαστικής Αλυσίδας LNG

Η διαδικασία υγροποίησης του LNG είναι απαραίτητη για να καταστεί ελκυστικό αυτό το καύσιμο στη ναυτιλία. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αγωγοί για τη μεταφορά του αερίου από τον χώρο παραγωγής στον καταναλωτή, αλλά όταν η απόσταση είναι πολύ μεγάλη, οι οικονομικές πτυχές είναι αρκετά περίπλοκες (Jaramillo, 2007).

2.4 LEG

Το αιθυλένιο ($\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$) είναι σχεδόν το ελαφρύτερο οργανικό προϊόν στον πλανήτη. Είναι άχρωμο και εύφλεκτο με ελαφρώς γλυκιά μυρωδιά σε κανονική κατάσταση, δηλαδή, θερμοκρασία περιβάλλοντος και μία ατμόσφαιρα. Το αιθυλένιο είναι επίσης ένα από τα σημαντικότερα αλκένια στην πετροχημική βιομηχανία. Η σημασία του προέρχεται από τον εξαιρετικά αντιδραστικό διπλό δεσμό του στη χημική του δομή. Με αυτόν τον διπλό δεσμό, το αιθυλένιο μπορεί να εμπλακεί σε πολλά είδη αντιδράσεων όπως προσθήκη, οξείδωση και πολυμερισμός τα οποία είναι μερικά μεταξύ πολλών άλλων. Επιπλέον, είναι επίσης μια σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή πλαστικών, υφασμάτων, χαρτιού, διαλυτών, βαφών, προσθέτων τροφίμων, φυτοφαρμάκων και φαρμακευτικών προϊόντων. Συνεπώς, η χρήση του μπορεί να επεκταθεί στη συσκευασία, τη μεταφορά, την κατασκευή και άλλες βιομηχανίες.

Το αιθυλένιο συνήθως μεταφέρεται μέσω αγωγού σε αέρια μορφή από το εργοστάσιο παραγωγής στο εργοστάσιο αγοράς, αν και μια σχετικά μικρή ποσότητα υγροποιημένου αιθυλενίου (LEG) μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια.

2.5 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα φυσικό προϊόν που αποτελείται από υδρογονάνθρακες και άλλα οργανικά υλικά. Είναι ένας μη ανανεώσιμος πόρος, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να αντικατασταθεί φυσικά με τον ρυθμό που καταναλώνεται και, ως εκ τούτου, είναι περιορισμένος. Με τη διαδικασία της διύλισης από το αργό πετρέλαιο παράγονται διάφορα προϊόντα όπως η βενζίνη και το ντίζελ.

Το αργό πετρέλαιο είναι ο ακατέργαστος φυσικός πόρος που εξάγεται συνήθως μέσω γεώτρησης. Κατά κύριο λόγο ανιχνεύεται μαζί με άλλους φυσικούς πόρους, όπως το φυσικό αέριο (το οποίο είναι ελαφρύτερο και επομένως βρίσκεται πάνω από το αργό πετρέλαιο) και το αλατόνερο (το οποίο είναι πυκνότερο και βυθίζεται παρακάτω).

Μετά την εξαγωγή του, το αργό πετρέλαιο εξευγενίζεται και μεταποιείται σε μια ποικιλία μορφών, όπως βενζίνη, κηροζίνη και άσφαλτος προς πώληση στους καταναλωτές.

Αν και συχνά ονομάζεται "μαύρος χρυσός", το αργό πετρέλαιο δεν έχει πάντα συγκεκριμένη τιμή ιξώδους και μπορεί να ποικίλει σε χρώμα από μαύρο σε κίτρινο, ανάλογα με τη σύνθεση των υδρογονανθράκων. Η απόσταξη, η διαδικασία με την οποία το πετρέλαιο θερμαίνεται και διαχωρίζεται σε διαφορετικά συστατικά, είναι το πρώτο στάδιο της διύλισης (Hu, 2017).

Αν και τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας έχουν χρησιμοποιηθεί για αιώνες, το αργό πετρέλαιο ανακαλύφθηκε και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης και οι βιομηχανικές του χρήσεις αναπτύχθηκαν τον 19ο αιώνα. Οι νέες μηχανές που εφευρέθηκαν έφεραν επανάσταση στον τρόπο εργασίας και εξαρτώνται από αυτούς τους πόρους για να λειτουργήσουν.

Σήμερα, η παγκόσμια οικονομία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από ορυκτά καύσιμα, όπως το αργό πετρέλαιο και η ζήτηση για αυτούς τους πόρους πυροδοτεί συχνά πολιτικές αναταραχές, καθώς ένας μικρός αριθμός χωρών ελέγχουν τα μεγαλύτερα κοιτάσματα. Όπως κάθε βιομηχανία, η προσφορά και η ζήτηση επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις τιμές και την αποδοτικότητα του αργού πετρελαίου. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Σαουδική Αραβία και η Ρωσία είναι οι κορυφαίοι παραγωγοί πετρελαίου στον κόσμο.

Στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν μία από τις κορυφαίες χώρες παραγωγής πετρελαίου στον κόσμο και οι αμερικανικές εταιρείες ανέπτυξαν την τεχνολογία για να μετατρέπουν το πετρέλαιο σε χρήσιμα προϊόντα όπως η βενζίνη. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών του 20ού αιώνα, το πετρέλαιο των ΗΠΑ μειώθηκε δραματικά και οι ΗΠΑ έγιναν εισαγωγείς ενέργειας. Ο κύριος προμηθευτής τους ήταν και είναι ο Οργανισμός Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ) που ιδρύθηκε το 1960, ο οποίος αποτελείται από τους μεγαλύτερους (κατ' όγκο) κατόχους αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο.

Το πετρέλαιο εξωτερικής καύσης λοιπόν (γνωστό και ως καύσιμο πλοίων ή μαζούτ) είναι κλάσμα που λαμβάνεται από απόσταξη πετρελαίου, είτε ως απόσταγμα είτε ως υπόλειμμα. Ο όρος μαζούτ χρησιμοποιείται επίσης με αυστηρότερη έννοια για να αναφέρεται μόνο στο βαρύτερο εμπορικό καύσιμο που μπορεί να ληφθεί από αργό πετρέλαιο, δηλαδή, βαρύτερο από την βενζίνη.

Σύμφωνα με το ISO 8217 υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης και 10 κατηγορίες πετρελαίων που θεωρούνται υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου. Παρακάτω παραθέτονται οι έξι τύποι ναυτιλιακών καυσίμων :

- No.1.: Απόσταγμα , κατηγορίας DMX, DMA
- No.2.: Απόσταγμα , κατηγορίας DMB, DMA
- No.3.: Απόσταγμα , κατηγορίας DMB, DMZ
- No.4.: Απόσταγμα και υπόλειμμα , κατηγορίας RMA 10, RMB 30, RMD 80
- No.5.: Υπόλειμμα, κατηγορίας RME 180, RMG 380
- No.6.: Υπόλειμμα, κατηγορίας RME 180, RMG 380, RMK700. (Kaiser, 2019).

3. ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

3.1 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΦΟΡΑ

Τα δεξαμενόπλοια της σύγχρονης εποχής είναι το προϊόν μίας μακράς εξελικτικής διαδικασίας. Αρχικά η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου δια θαλάσσης χρονολογείται στις αρχές του 20ού αιώνα, όταν ο κόσμος βρισκόταν στη μέση μιας βιομηχανικής επανάστασης. Κατά τη διάρκεια του Πρώτου Παγκόσμιου Πόλεμου, η βιομηχανία δεξαμενόπλοιων κυριαρχούνταν από εταιρείες πετρελαίου, οι οποίες δημιούργησαν δεξαμενόπλοια για να μεταφέρουν το δικό τους πετρελαιοφόρο. Το πρώτο επιτυχημένο δεξαμενόπλοιο, ναυπηγικής χρήσης, ήταν το Glucklauf, ναυπηγημένο στο Newcastle της Αγγλίας, ικανό να μεταφέρει έως και 3000 τόνους κηροζίνης σε 16 δεξαμενές τοποθετημένες σε δύο στήλες.

Η ποιότητα των πλοίων που κατασκευάστηκαν ακόμα τότε ήταν εκπληκτική και μπορεί να αποδοθεί στην επένδυση των πετρελαϊκών εταιρειών που επιθυμούσαν μια οικονομική και αποτελεσματική μεταφορά του προϊόντος τους που ήταν πάνω από όλα αξιόπιστη και ασφαλής.

Η χρονική περίοδος του μεσοπολέμου ήταν καθοριστική καθώς είναι το διάστημα κατά το οποίο υπήρξε η εμφάνιση του ανεξάρτητου ιδιοκτήτη δεξαμενόπλοιων. Πρακτικά αυτό σήμαινε για την παγκόσμια οικονομία, ότι η

μεμονωμένη εταιρεία που δεν διαθέτει δικό της πετρέλαιο για μεταφορά, παρέχει την ίδια τη μεταφορά ως υπηρεσία (Arslan, 2008).

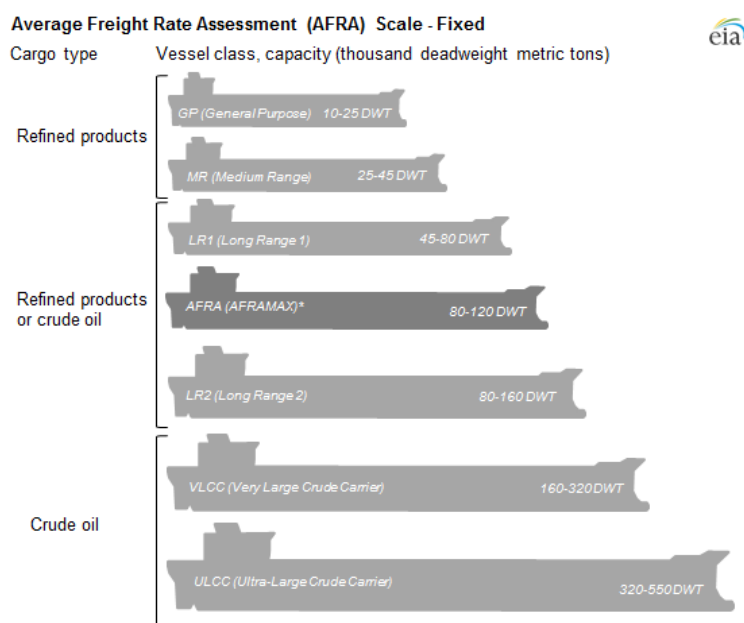
Η αγορά του ναυτιλιακού τομέα αποτελείται από μεγάλο αριθμό σχετικά μικρών πλοιοκτητών και μπορεί να χαρακτηρίζεται από έλλειψη συγκέντρωσης σε αντίθεση με την αγορά εμπορευματοκιβωτίων που έχει τα χαρακτηριστικά της αγοράς τακτικών γραμμών (liner shipping market). Οι περισσότεροι ιδιοκτήτες δεξαμενόπλοιων σήμερα είναι ανεξάρτητοι, γεγονός που σημαίνει ότι δεν είναι οι ιδιοκτήτες του φορτίου αλλά οι πάροχοι της υπηρεσίας μεταφοράς (Chen, 2019).

Το μέγεθος ενός σύγχρονου δεξαμενόπλοιου μπορεί να κυμαίνεται από 5.000 έως περισσότερο από 350.000 τόνους DWT. Ο παγκόσμιος στόλος πετρελαιοφόρων και εξευγενισμένων προϊόντων αυτού χρησιμοποιεί ένα σύστημα ταξινόμησης για την τυποποίηση των συμβατικών όρων, τον καθορισμό του κόστους αποστολής και τον προσδιορισμό της ικανότητας των πλοίων να ταξιδεύουν σε λιμάνια ή μέσω ορισμένων στενών και καναλιών. Αυτό το σύστημα, γνωστό ως σύστημα «Average Freight Rate Assessment (AFRA)» δημιουργήθηκε από τη Royal Dutch Shell πριν από έξι δεκαετίες και εποπτεύεται από την ανεξάρτητη ομάδα μεσιτών του Λονδίνου Tanker (LTBP). Οι μεσίτες πλοίων διαπραγματεύονται τη μεταφορά εμπορευμάτων και αγαθών.

Η AFRA χρησιμοποιεί μια κλίμακα (Σχήμα 2) που ταξινομεί τα δεξαμενόπλοια σύμφωνα με τους DWT, ένα μέτρο της ικανότητας ενός πλοίου να μεταφέρει φορτίο. Η κατά προσέγγιση χωρητικότητα ενός πλοίου σε βαρέλια καθορίζεται χρησιμοποιώντας περίπου το 90% της χωρητικότητας του πλοίου, και πολλαπλασιάζοντάς το με ένα βαρέλι ανά μετρικό τόνο (συντελεστή μετατροπής ειδικά για κάθε τύπο προϊόντος πετρελαίου), καθώς η πυκνότητα υγρού καυσίμου ποικίλλει κατά τύπο και βαθμό.

Τα μικρότερα σκάφη στην κλίμακα AFRA, τα πετρελαιοφόρα General Purpose (GP) και Medium Range (MR), χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά φορτίων εξευγενισμένων πετρελαιοειδών σε σχετικά μικρότερες αποστάσεις, όπως από την Ευρώπη στην Ανατολική Ακτή των ΗΠΑ. Το μικρότερο μέγεθός τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση στα περισσότερα λιμάνια σε όλο τον κόσμο. Ένα δεξαμενόπλοιο GP μπορεί να μεταφέρει μεταξύ 70.000 και 190.000 βαρέλια βενζίνης (14,5 έως 36,0 lt) και ένα δεξαμενόπλοιο MR μπορεί να μεταφέρει μεταξύ 190.000 και 345.000 βαρέλια (36-66 εκατομμύρια lt).

Τα πλοία κατηγορίας Long Range (LR) είναι τα πιο συνηθισμένα στον παγκόσμιο στόλο, καθώς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά τόσο εξευγενισμένων προϊόντων όσο και αργού πετρελαίου. Αυτά τα πλοία έχουν πρόσβαση στα περισσότερα μεγάλα λιμάνια. Ένα δεξαμενόπλοιο LR μπορεί να μεταφέρει από 345.000 έως και 615.000 βαρέλια βενζίνης ή 310.000 έως 550.000 βαρέλια αργού πετρελαίου (Peng, 2020).



Σχήμα 2. Είδη και τύποι δεξαμενόπλοιων κατά το σύστημα AFRA

Κατά την ιστορία της εφαρμογής του συστήματος AFRA, τα πετρελαιοφόρα μεγάλωσαν σε μέγεθος και προστέθηκαν νεότερες ταξινομήσεις. Τα Very Large Crude Carrier (VLCC) και Ultra-Large Crude Carrier (ULCC) προστέθηκαν καθώς το παγκόσμιο εμπόριο πετρελαίου επεκτάθηκε και τα μεγαλύτερα σκάφη παρείχαν περισσότερα οικονομικά οφέλη στην πλοιοκτήτρια εταιρεία για τις αποστολές αργού πετρελαίου. Τα VLCCs είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες αποστολές αργού πετρελαίου σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Βόρειας Θάλασσας, έδρα του δείκτη αναφοράς τιμών αργού πετρελαίου Brent. Ένα VLCC μπορεί να μεταφέρει από 1,9 εκατομμύρια έως 2,2 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου.

Υπάρχει ένας μικρός αριθμός σκαφών ULCC που χρησιμοποιούνται αυτήν τη στιγμή, καθώς το μέγεθός τους απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις που περιορίζουν τον αριθμό των θέσεων όπου αυτά τα σκάφη μπορούν να φορτώσουν και να εκφορτώσουν. Αυτά τα τεράστια πλοία μπορούν να μεταφέρουν περίπου 2 έως 3,7 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου. Το μόνο λιμάνι των ΗΠΑ που μπορεί να

χειριστεί τόσο μεγάλα πλοία ενώ είναι πλήρως φορτωμένα είναι το Offshore Oil Port (LOOP).

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι λαμβάνονται προφυλάξεις για να διασφαλιστεί τόσο η ασφάλεια του προσωπικού, όσο και η πρόληψη διαρροών ή ατυχημάτων κατά τη συνήθη διαχείριση του φορτίου στα λιμάνια. Οι οπτικοί έλεγχοι για διαρροές πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη μεταφορά υλικών, παρέχουν στο λειτουργικό προσωπικό τη δυνατότητα να εφαρμόσει κατάλληλα μέτρα επισκευής αν αυτά χρειαστούν.

Το αργό πετρέλαιο κατά τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης υπόκειται στις ακόλουθες διαδικασίες:

- Η φόρτωση και εκφόρτωση πραγματοποιείται μόνο υπό την επίβλεψη του προσωπικού που είναι υπεύθυνο για τη διασφάλιση της σωστής διαδικασίας.
- Τα απορροφητικά λιπαντικά και τα υλικά συγκράτησης πρέπει να είναι διαθέσιμα και επαρκή για να αποτρέπονται οι διαρροές.
- Πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύστημα ασφάλισης διακοπής για να αποφευχθεί η αναχώρηση των οχημάτων πριν από την πλήρη αποσύνδεση εύκαμπτων ή σταθερών γραμμών μεταφοράς πετρελαίου.
- Οι συσκευές συγκόλλησης πρέπει να συνδέονται πριν από τη φόρτωση ή την εκφόρτωση του φορτίου.
- Πριν από την πλήρωση και την αναχώρηση οποιουδήποτε δεξαμενόπλοιου, ο κατώτερος αγωγός και όλα τα σημεία εξόδου αυτών των οχημάτων πρέπει να επιθεωρούνται στενά για εκκενώσεις και, εάν είναι απαραίτητο, απαιτείται διαβεβαίωση ότι σφίγγονται, ρυθμίζονται ή αντικαθίστανται για να αποφευχθούν τυχόν διαρροές (Wang, 2019).

3.2 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LPG

Η γενική διάταξη ενός πλοίου LPG είναι σχεδόν ίδια με εκείνη ενός πετρελαιοφόρου, με τις δεξαμενές φορτίου απλωμένες σε ένα ορισμένο μήκος προς τα εμπρός και τα μηχανήματα στο πίσω μέρος. Το νερό έρματος δεν μπορεί να μεταφερθεί στις δεξαμενές φορτίου, επομένως οι χώροι έρματος παρέχονται με την ενσωμάτωση χώρων διπλού κύτους (στο τμήμα μεσαίου σκάφους).

Τα πλοία μεταφοράς LPG λοιπόν είναι λογικό να προδιαθέτουν συγκεκριμένες προδιαγραφές καθώς θα πρέπει να είναι ικανά να μεταφέρουν το LPG (σε υγρή μορφή) καθώς επίσης και χημικά φορτία, σε αέρια μορφή όπως αμμωνία, προπυλένιο και χλώριο.

Σε αντίθεση με το LNG, το φορτίο LPG απαιτεί αποθήκευση σε συνθήκες διαφορετικές από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα συστήματα συγκράτησης υγραερίου ταξινομούνται σε τρεις τύπους και κάθε πλοίο μεταφοράς υγραερίου έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με οποιονδήποτε από αυτούς (Akyuz, 2015)

Δεξαμενές υπό πίεση :

Το προπάνιο, το βουτάνιο και η άνυδρη αμμωνία μεταφέρονται σε δεξαμενές υπό πλήρη πίεση. Η χωρητικότητα αυτών των δεξαμενών είναι συνήθως μικρότερη από 2000 κυβικά μέτρα. Κατά κύριο λόγο είναι μη μονωμένα κυλινδρικά δοχεία πίεσης που είναι τοποθετημένα εν μέρει κάτω από το επίπεδο του κύριου καταστρώματος. Δεδομένου ότι πρόκειται για δεξαμενές τύπου C, συχνά αποτρέπουν την πλήρη χρήση του όγκου κάτω από το κατάστρωμα.

Semi Pressurized or Semi Refrigerated Tanks (υπό μερική ψύξη ή δεξαμενές συμπίεσεως) :

Αυτά τα πλοία χρησιμοποιούν δεξαμενές ανεξάρτητου τύπου C και είναι κατασκευασμένα με συνηθισμένους βαθμούς χάλυβα. Η εξωτερική επιφάνεια αυτών των δεξαμενών είναι μονωμένη και σε αυτά τα πλοία τοποθετούνται εγκαταστάσεις ψύξης για τη διατήρηση της πίεσης λειτουργίας του φορτίου. Οι περισσότεροι τύποι δεξαμενών που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι δεξαμενές της μορφής bi-lobe.

Μια δεξαμενή μορφής bi-lobe αποτελείται από δύο ίσες κυλινδρικές δεξαμενές που είναι ενσωματωμένες η μία στην άλλη και το κοινό τμήμα διαίρεσης αποτελείται συνήθως από ένα διάτρητο διάφραγμα.

Εναλλακτικά υλικά των δεξαμενών μορφής bi-lobe πρέπει να είναι κατάλληλα για υπηρεσίες χαμηλής θερμοκρασίας και μπορεί, για παράδειγμα, να είναι ανοξείδωτοι χάλυβες, Ni-χάλυβες, αλουμίνιο κ.λπ. Τα τελευταία χρόνια κυλινδρικές δεξαμενές μορφής bi-lobe εφαρμόστηκαν για λίγα μικρότερα πλοία για μεταφορά LPG.

Στην πραγματικότητα, οι κυλινδρικές δεξαμενές μορφής bi-lobe, είναι ευνοϊκές και προτιμότερες για εφαρμογή σε δεξαμενόπλοια LPG λόγω της καλύτερης χρήσης της περιβάλλουσας περιοχής της γάστρας σε σύγκριση με τη χρήση συνηθισμένων κυλινδρικών δεξαμενών παρόμοιας διαμέτρου.

Επιπλέον, οι κυλινδρικές δεξαμενές μορφής bi-lobe έχουν μια ελκυστική αναλογία για την επιφάνεια των δεξαμενών έναντι του όγκου των κυλινδρικών δεξαμενών, και κατά συνέπεια παρατηρείται μικρότερη διαρροή θερμότητας στις δεξαμενές σε σύγκριση με δύο κυλινδρικές δεξαμενές ίδιου συνολικού όγκου.

Δεξαμενές πλήρους ψύξης :

Τα πλοία με δεξαμενές πλήρους ψύξης έχουν χωρητικότητα 10.000 έως 100.000 κυβικά μέτρα. Όσα έχουν μικρότερο μέγεθος χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πολλαπλών τύπων φορτίου, ενώ τα μεγαλύτερα έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρεται ένας μόνο τύπος φορτίου σε μόνιμη διαδρομή. Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι συνήθως πρισματικές δεξαμενές τύπου «Α» που έχουν κλίση στο πάνω άκρο για μείωση της ελεύθερης επιφανειακής επίδρασης. Συνήθως διαιρούνται κατά μήκος από ένα στεγανό διάφραγμα, προκειμένου να μειωθούν περαιτέρω οι ελεύθερες επιφανειακές επιδράσεις. Αυτές οι δεξαμενές είναι κατασκευασμένες από όλκιμο χάλυβα, προκειμένου να διαθέτουν μέγιστη αντοχή σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές έως $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ στις οποίες μεταφέρεται φορτίο όπως το προπάνιο (Dugenci, 2020).

Στην αγορά θαλάσσιων μεταφορών λοιπόν, LPG μεταφέρεται συνήθως από ειδικά πλοία κατάλληλα για μεταφορά υγραερίου υπό πίεση, ή υπό μερική ψύξη ή συμπίεση. Τα πλοία LPG υπό πίεση (18-bar,) ή υπό μερική ψύξη ή συμπίεση (5-8 bar, -10 έως $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) μεταφέρουν 3 - 10.000 m^3 ή 10 - 30.000 m^3 αντίστοιχα.

Οι μεγαλύτεροι όγκοι απαιτούν ψυκτικές λύσεις μεταφοράς (πίεση περιβάλλοντος, αλλά σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 100% προπάνιο). Τα πλοία με δεξαμενές πλήρους ψύξης έχουν συνήθως όγκο φορτίου που κυμαίνεται από 35.000 m^3 έως 100.000 m^3 . Αξιολογώντας τις αγορές μεταφοράς LPG σε όλο τον κόσμο, αναπτύσσεται μια τάση προς τη μεταφορά LPG σε μεγάλες ποσότητες. Η λύση τερματικού ανοικτής θάλασσας είναι κατάλληλη και για τους τρεις τύπους μεταφοράς. Ο κύκλος φόρτωσης / εκφόρτωσης, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών πρόσδεσης και αναχώρησης, μπορεί συνήθως να επιτευχθεί σε περίπου μία ημέρα.

Ο υπεράκτιος τερματικός σταθμός αποτελείται από ένα σύστημα πρόσδεσης και ένα ρευστό σύστημα μεταφοράς (Single Point Mooring – SPM) που συνδέεται μέσω υποθαλάσσιου αγωγού με την εγκατάσταση αποθήκευσης υγραερίου στην ξηρά. Όπως επισημαίνει ο Γιαννάκης (2009), το SPM είναι ένα «μεγάλο ναύδετο αγκυροβολημένο ανοικτά της ακτής, στο οποίο δένουν τα μεγάλα δεξαμενόπλοια και από εκεί με σωλήνωση φορτώνουν ή εκφορτώνουν το φορτίο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατασκευή μεγάλων τερματικών σταθμών εκφόρτωσης δεξαμενοπλοίων».

Το σύστημα SPM επιτρέπει στο πλοίο να εκφορτώσει ανεξάρτητα των οποιοδήποτε καιρικών φαινομένων, ιδιαίτερα όταν παρατηρούνται ισχυροί άνεμοι οι οποίοι προκαλούν και μεγάλη θαλασσοταραχή. Ο αγωγός (μονός ή διπλός) μπορεί να έχει μήκος αρκετά χιλιόμετρα, ανάλογα με την τοπική βαθυμετρία, τα χαρακτηριστικά του πλοίου και τη φιλοσοφία λειτουργίας του χερσαίου τερματικού. Η μεταφορά προπανίου και / ή βουτανίου σε συνθήκες ψύξης ή υπό μερική ψύξη ή συμπίεση μέσω του συστήματος μεταφοράς υγρού ενδέχεται να απαιτεί τη χρήση μονωμένων αγωγών για την αποφυγή της θέρμανσης του LPG λόγω του περιβάλλοντος. Η μόνωση αυτή διασφαλίζει ότι τα προϊόντα διατηρούνται στη θερμοκρασία που συμφωνήθηκε μεταξύ του τερματικού φορέα και της ναυτιλιακής εταιρείας.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα SPM μεταφοράς LPG προσφέρει μια πρακτική λύση με πολλά πλεονεκτήματα. Τα κορεσμένα λιμάνια μπορούν να ανακουφιστούν και να ξεπεράσουν τις δυσκολίες και τα έξοδα αναβάθμισης των αποβαθρών , ιδιαίτερα όταν επικρατεί οποιοσδήποτε συνδυασμός μεγαλύτερων πλοίων, περιορισμένου βάθους νερού και ταχέως μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών.

Ένα σύστημα 4-buoy Conventional Buoy Mooring (CBM) αναπτύχθηκε πρόσφατα κοντά στην ακτή της Μαδέρας της Πορτογαλίας. Αυτό το τερματικό παρέχει την κύρια εγκατάσταση εισαγωγής για υγραέριο, προϊόντα πετρελαίου (βενζίνη, ντίζελ, μαζούτ και κηροζίνη) για την κατανάλωση ενέργειας για το νησί.

Η μεταφορά των φορτίων από τα δεξαμενόπλοια γίνεται μέσω εύκαμπτων σωλήνων, σχεδιασμένων να προσαρμόζονται στις κινήσεις του σκάφους και να συνδέουν το σκάφος με το σωλήνα ο οποίος είναι τοποθετημένος στον πυθμένα της θάλασσας. Κάθε συνδεδεμένος αγωγός (τρεις συνολικά) συνδέεται σε διαφορετική δεξαμενή ακτής, ανάλογα με το εκφορτωμένο προϊόν.

Ενώ η περιβαλλοντική ασφάλεια της διαδικασίας εκφόρτωσης είναι πάντα ο πρωταρχικός στόχος, κατά την ανάπτυξη ενός υπεράκτιου τερματικού σταθμού μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου, η οικονομική επιτυχία του συστήματος της Μαδέρας εξαρτάται ιδιαίτερα από την ανάπτυξη ενός τερματικού αποθήκευσης και εκφόρτωσης που θα μπορούσε να διατηρήσει τις ενεργειακές του ανάγκες καθώς και τον τουρισμό. Το νέο σύστημα CBM της Μαδέρας ικανοποιεί και τις δύο απαιτήσεις και βοήθησε τη Μαδέρα να διατηρήσει μια σταθερή παροχή προσιτής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας την εξάρτηση του νησιού από την ηπειρωτική χώρα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι σχεδιαστικές και λειτουργικές φιλοσοφίες που εφαρμόζονται σε αυτούς τους τερματικούς σταθμούς έχουν επίσης εφαρμοστεί πλήρως στο σχεδιασμό και την πρακτική εφαρμογή του τελικού τερματικού τύπου SPM. Η πλήρης εφαρμογή ενός υπεράκτιου τερματικού LPG ως έργου από την αρχή έως την λειτουργία φόρτωσης / εκφόρτωσης μπορεί να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από ένα έτος.

Με την προβλεπόμενη αύξηση των έργων LPG τα επόμενα χρόνια, οι LPG SPM αναμένεται να παρέχουν μια οικονομική και ασφαλή εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους μεταφοράς αυτό το φορτίου (Apon, 2021).

3.3 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG

Όπως έχουν γίνει κατανοητά από τα παραπάνω κεφάλαια ο αριθμός αλλά και το μέγεθος των πλοίων μεταφοράς LNG αυξάνεται συνεχώς τις τελευταίες δεκαετίες. Στο τέλος του 2016, ο παγκόσμιος στόλος αποστολής ΥΦΑ αποτελούνταν από 439 πλοία. Το 2017, εκτιμάται ότι περίπου 170 σκάφη χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Στο τέλος του 2018, ο παγκόσμιος στόλος ήταν περίπου 550 πλοία. Το μέσο μέγεθος του στόλου ήταν σχεδόν 120.000 m³. Τα υπερ-δεξαμενόπλοια LNG με δυναμικότητα 200.000-250.000 m³ προβλέπεται να κατακλύσουν την ναυτιλιακή μεταφορά πολύ σύντομα.

Όλα τα πλοία μεταφοράς LNG είναι σκάφη διπλού κύτους με διαφορές όμως στα συστήματα συγκράτησης φορτίου ανεξάρτητων ή ολοκληρωμένων δεξαμενών φορτίου. Συνεπώς, οι δύο κυρίαρχοι σχεδιαστικοί τύποι των πλοίων μεταφοράς LNG είναι:

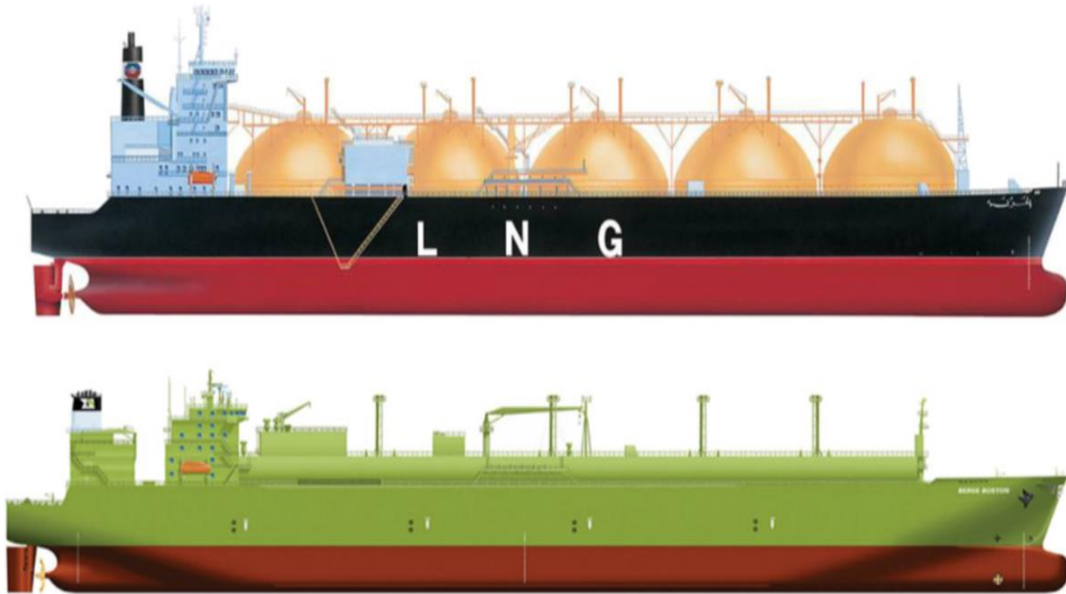
1. Τα πλοία που φέρουν δεξαμενές τύπου μεμβράνης

2. Τα πλοία με σφαιρικές δεξαμενές

Πλοία με δεξαμενές μεμβράνης

Σε σχεδιασμούς δεξαμενών μεμβράνης, το σύστημα συγκράτησης φορτίου αποτελείται από ένα πολύ λεπτό, μονωμένο στρώμα φορτίου διπλού τοιχώματος από ανοξείδωτο χάλυβα, η οποία είναι μονωμένη επίσης με ανοξείδωτο χάλυβα, η οποία στηρίζεται δομικά από το κύτος του πλοίου. Οι σφαιρικές δεξαμενές, επίσης γνωστές ως δεξαμενόπλοια Moss, έχουν σφαιρικές δεξαμενές αλουμινίου ή δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα πρισματικού σχήματος που είναι αυτοφερόμενες εντός του κύτους του πλοίου. Αυτές οι δεξαμενές είναι μονωμένες εξωτερικά. Και οι δύο εναλλακτικές λύσεις δεξαμενοπλοίων σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και εξοπλίζονται με εξελιγμένα συστήματα μεταφοράς LNG σε μεγάλες αποστάσεις, αποθηκευμένα σε θερμοκρασίες περίπου 162°C (Sinha, 2012).

Ο καθένας από τους κύριους τύπους σχεδίων πλοίων LNG συνιστά περίπου το ήμισυ του στόλου (η πραγματική διανομή είναι 50% μεμβρανοειδή, 45% σφαιρικά δεξαμενόπλοια και 5% άλλοι τύποι δεξαμενοπλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου), αλλά τα δεξαμενόπλοια με μεμβράνη κυριαρχούν μεταξύ των νέων κτιρίων LNG. Τα πλοία LNG είναι γενικά καλά σχεδιασμένα, καλά συντηρημένα και λειτουργούν με καλά εκπαιδευμένο πλήρωμα. Συνεπώς, η ναυτιλία με LNG έχει μέχρι στιγμής καλό ιστορικό ασφάλειας. Οι δύο κύριοι τύποι μεταφορέων LNG απεικονίζονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Κύριοι τύποι μεταφορέων LNG: δεξαμενόπλοια σφαιρικής δεξαμενής (άνω) και δεξαμενόπλοια με δεξαμενή μεμβράνης (κάτω μέρος).

Σήμερα υπάρχουν τέσσερα συστήματα συγκράτησης που χρησιμοποιούνται για νέα πλοία που κατασκευάζονται. Δύο από τα σχέδια είναι αυτοσυντηρούμενου τύπου, ενώ τα άλλα δύο είναι τύπου μεμβράνης και σήμερα τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας ανήκουν στην Gaz Transport & Technigaz (GTT).

Τα ειδικά λοιπόν σχεδιασμένα πλοία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου σε τερματικά εισαγωγής των διαφόρων χωρών. Τα δεξαμενόπλοια Moss μερικές φορές χρησιμοποιούν άζωτο για να καθαρίσουν κάποιους χώρους κάτω από τα καταστρώματα για να βοηθήσουν στην πρόληψη των πυρκαγιών. Τα φορτία πλοίων Moss έχουν σχεδιαστεί για τη συλλογή υγροποιημένου φυσικού αερίου και τα σκάφη περιέχουν εξοπλισμό που απαιτείται για τυχόν επισκευή. Παράλληλα με τα Moss tankers, άλλα LNG πλοία είναι σχεδιασμένα με πρισματικές δεξαμενές φορτίου με μεμβράνη. Τα είδη πλοίων μεταφοράς LNG είναι :

- Moss tanks (Spherical IMO type B LNG tanks)
- IHI (Prismatic IMO type B LNG tanks)
- TGZ Mark III
- GT96
- CS1 (Harper, 2002) .

Λαμβάνοντας την ονομασία τους από την εταιρεία που τα σχεδίασε, τη νορβηγική εταιρεία Moss Maritime, τα Moss tanks (Spherical IMO type B LNG tanks) LNG τύπου B του IMO είναι σφαιρικού σχήματος. Τα περισσότερα σκάφη τύπου Moss έχουν 4 ή 5 δεξαμενές.

Το εξωτερικό της δεξαμενής έχει ένα παχύ στρώμα αφρώδους μόνωσης που είναι τοποθετημένη σε πάνελ ή σε πιο μοντέρνα σχέδια τυλιγμένα γύρω από τη δεξαμενή. Πάνω από αυτή τη μόνωση υπάρχει ένα λεπτό στρώμα "κασσίτερου" το οποίο επιτρέπει τη στεγάνωση της μόνωσης με ατμόσφαιρα αζώτου. Αυτή η ατμόσφαιρα ελέγχεται συνεχώς για την περίπτωση που θα έδειχνε διαρροή της δεξαμενής. Επίσης, το εξωτερικό μέρος της δεξαμενής ελέγχεται σε διαστήματα 3 μηνών για τυχόν κρύες κηλίδες που θα δείχνουν διακοπή της μόνωσης.

Κατά τη διάρκεια της ψύξης ή της προθέρμανσης η δεξαμενή μπορεί να επεκταθεί ή να συστέλλεται περίπου 60 cm. Λόγω αυτής της επέκτασης και συστολής, όλες οι σωληνώσεις στη δεξαμενή έρχονται στην κορυφή και συνδέονται με τις γραμμές των πλοίων μέσω εύκαμπτων φυσητών. Μέσα σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ένα σύνολο κεφαλών ψεκασμού. Αυτές οι κεφαλές είναι τοποθετημένες γύρω από τον ισημερινό δακτύλιο και χρησιμοποιούνται για ψεκασμό LNG πάνω στα τοιχώματα της δεξαμενής για τη μείωση της θερμοκρασίας .

Οι δεξαμενές έχουν κανονική πίεση λειτουργίας έως 22 kPa (3.2 psi), η οποία μπορεί να αυξηθεί για εκκένωση έκτακτης ανάγκης. Αν και οι δύο κύριες αντλίες αποτύχουν στη συνέχεια να αφαιρέσουν το φορτίο, οι βαλβίδες ασφαλείας της δεξαμενής ρυθμίζονται για ανύψωση στα 100 kPa. Στη συνέχεια η πίεση αυξάνεται στη δεξαμενή με τις ελαττωματικές αντλίες που ωθούν το φορτίο στις άλλες δεξαμενές όπου μπορεί να αντληθεί (Bateman, 2007).

Σχεδιασμένα από την Technigaz, τα TGZ Mark III είναι σχέδια τύπου μεμβράνης. Η μεμβράνη αποτελείται από ανοξείδωτο ατσάλι με «στρώματα» για απορρόφηση της θερμικής συστολής όταν η δεξαμενή έχει κρυώσει. Το κύριο φράγμα, κατασκευασμένο από κυματοειδές ανοξείδωτο χάλυβα πάχους περίπου 1,2 mm, είναι αυτό που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό φορτίο (ή τον ατμό σε κατάσταση κενής δεξαμενής). Αυτό ακολουθείται από μία πρωτεύουσα μόνωση η οποία με τη σειρά της καλύπτεται από ένα δευτερεύον φράγμα κατασκευασμένο από ένα υλικό που ονομάζεται «τριπλό» το οποίο είναι βασικά ένα μεταλλικό φύλλο που είναι τοποθετημένο μεταξύ των φύλλων υαλοπινάκων και συμπιέζεται μεταξύ τους. Αυτό καλύπτεται και πάλι από μια δευτερεύουσα μόνωση η οποία με τη σειρά της

στηρίζεται από τη δομή της γάστρας του πλοίου από το εξωτερικό. Από το εσωτερικό της δεξαμενής προς τα έξω, τα στρώματα είναι:

- το LNG
- το πρωτεύον φράγμα από ανοξείδωτο χάλυβα
- η πρωτογενής μόνωση
- το δευτερεύον φράγμα μέσα στην τριπλή μεμβράνη
- η δευτεροβάθμια μόνωση
- η δομή σκάφους πλοίου.

Τα δεξαμενόπλοια LNG έχουν μέση χωρητικότητα τριών δισεκατομμυρίων κυβικών ποδών, κοστίζοντας περίπου 260 εκατομμύρια δολάρια το καθένα. Τα δεξαμενόπλοια LNG διαφέρουν από τα παραδοσιακά πετρελαιοφόρα καθώς το φορτίο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο, πρέπει να ψύχεται σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες και έχει ελαφρώς διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά από το πετρέλαιο (συμπεριλαμβανομένης μιας υψηλότερης τάσης για καύση). Τα δεξαμενόπλοια LNG χρησιμοποιούν συνήθως πολλαπλές χωριστές ράβδους ή διαμερίσματα - φέροντας 888.867 κυβικά πόδια LNG. Τα αποθηκευτικά διαμερίσματα στα παραδοσιακά πετρελαιοφόρα κατέχουν συνήθως το ένα δέκατο περίπου (Zakaria, 2012).

Τα δεξαμενόπλοια LNG παρουσιάζουν ένα μοναδικό σύνολο ανησυχιών για την ασφάλεια. Το LNG είναι πιο εύφλεκτο από το πετρέλαιο, προκαλώντας μεγάλη ανησυχία για την ασφάλεια αυτών των δεξαμενόπλοιων όταν βρίσκονται κοντά σε μεγάλους πληθυσμούς και υποδομές (δηλαδή σε λιμένες κοντά σε αστικές περιοχές). Ως εκ τούτου, οι οργανισμοί ασφαλείας μερικές φορές επιβάλλουν ειδικούς περιορισμούς στη ναυσιπλοΐα και απαιτήσεις συνοδών σε πολλά από αυτά τα ευαίσθητα λιμάνια. Παρά τις ανησυχίες αυτές, στις αρχές του 2018, «δεν σημειώθηκε ποτέ σημαντική απώλεια φορτίου δεξαμενής υγροποιημένου φυσικού αερίου». Πράγματι, ένα άμεσο χτύπημα ενός πυραύλου Exocet σε δεξαμενόπλοιο LNG δεν προκάλεσε έκρηξη (αν και αυτό μπορεί να οφείλεται σε δυσλειτουργία του Exocet παρά στην ανθεκτικότητα του ίδιου του δεξαμενόπλοιου LNG).

Το "σενάριο χειρότερης περίπτωσης" ενός κατεστραμμένου δεξαμενόπλοιου LNG συνεπάγεται μια μεγάλη αρχική έκρηξη, πιθανότατα προκαλώντας πυρκαγιά, με αποτέλεσμα μια ζώνη θερμικής ακτινοβολίας περίπου 0,73 τετραγωνικών μιλίων. Εάν

το δεξαμενόπλοιο LNG είναι αρκετά κοντά για να προσδέσει σε λιμάνι ή τερματικό σταθμό, τότε η πυρκαγιά θα μπορούσε να εξαπλωθεί από το νερό στη γη. Μόλις το LNG σε ένα δεξαμενόπλοιο εκραγεί, θα είναι ουσιαστικά αδύνατο να σβήσει η φωτιά μέχρι να καεί (Vanem, 2008).

Ο παρακάτω Πίνακας 2 δείχνει τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού πλοίου μεταφοράς LNG :

Συνολικό μήκος	284.40 m
Μήκος μεταξύ καθέτων	271.00 m
Πλάτος (μορφοποιημένο)	42.50 m
Βάθος στο κύριο κατάστρωμα (χυτό)	25.40 m
Βάθος στο κατάστρωμα του κορμού (μορφοποιημένο)	32.20 m
Σχέδιο σχεδιασμού (μορφοποιημένο) κάτω από καρίνα	11.40 m
Σχέδιο σμάλτο (μορφοποιημένο)	12.30 m
Βάθος διπλού πυθμένα	2.9 m
Διπλό πλάτος	2.32 m
Συνολική μετατόπιση	98,500 t
Συνολική χωρητικότητα δεξαμενών φορτίου	138,000 m ³
Συνολικό πάχος μόνωσης	0.530 m
Ταχύτητα	36.114 k/h
Δυνατότητα διαμονής	40 άτομα

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά ενός τυπικού πλοίου μεταφοράς LNG (Vanem, 2008).

Για τον υπολογισμό της μέγιστης αξιόπιστης συμβατότητας των τερματικών LNG και των δικτύων αγωγών φυσικού αερίου, δεν υπάρχουν σαφή και ενοποιημένα τεχνικά πρότυπα, ακόμη και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ειδικότερα, για δίκτυα αγωγών με πολλαπλές πηγές αερίου αλλά και πολλαπλά σημεία λήψης, υπάρχουν πολλά τεχνικά προβλήματα λόγω διαφορών στις ρυθμίσεις παραμέτρων, στις συνθήκες ορίου, στην επιλογή μοντέλου και στη χρήση λογισμικού προσομοίωσης.

Για τους τερματικούς σταθμούς LNG, οι χώρες της ΕΕ έχουν ανακοινώσει διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού των τεχνικών δυνατοτήτων. Το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς για το Φυσικό Αέριο (ENTSOG) έχει επισημάνει περαιτέρω την ουσία των σχετικών προβλημάτων και διευκρινίζει ότι αυτό είναι ένα τεχνικό πρόβλημα με τη λειτουργία εισόδου-εξόδου (EE) πολλών αερίων.

Η φόρτωση και εκφόρτωση LNG στη λειτουργία λιμένων είναι πολύ σημαντική για τη συλλογή, μεταφορά και παράδοση και αποθήκευση LNG πριν από τη διανομή του στην αγορά τελικής χρήσης. Στο αρχικό στάδιο, το LNG πλοίο θα φορτώσει το αέριο από την πηγή και στη συνέχεια θα το παραδώσει στον τερματικό επεξεργασίας LNG. Εκεί, θα επεξεργαστεί και θα υγροποιήσει το αέριο σε LNG, και στη συνέχεια θα αποθηκευτεί σε δεξαμενές αποθήκευσης LNG.

Μετά από αυτό, το LNG θα φορτωθεί σε ένα άλλο LNG πλοίο για να το μεταφέρει και να το εκφορτώσει στον τερματικό επαναεριοποίησης LNG για τους σκοπούς της αγοράς τελικής χρήσης. Στη συνέχεια, το LNG θα αποθηκευτεί σε δεξαμενές αποθήκευσης LNG για φόρτωση σε φορείς LNG. Το LNG αποθηκεύεται και θα μεταφερθεί από τον μεταφορέα ο οποίος διατηρεί τη θερμοκρασία του στους -162°C .

Μόλις ο μεταφορέας LNG φτάσει στον προορισμό του, το LNG θα εκφορτωθεί και θα αποθηκευτεί σε μονωμένες δεξαμενές κατασκευασμένες ειδικά για να διατηρούν τις εξαιρετικά κρύες θερμοκρασίες τους. Όταν υπάρχει ζήτηση, το LNG θα θερμανθεί για να μετατραπεί σε αέριο σε αναλογία 1: 600 .

Μετά από συζητήσεις με ειδικούς, προέκυψε ένα προκαταρκτικό συμπέρασμα: αν και η προσομοίωση λογισμικού είναι ένα είδος βασικών τεχνικών μέσων, τα πραγματικά λειτουργικά δεδομένα και οι εμπειρικές τιμές αποτελούν τη βάση για τον προσδιορισμό των τιμών διαφόρων τεχνικών ικανοτήτων σε διάφορα επίπεδα στην πράξη.

Στην Κίνα, για παράδειγμα ο ορισμός, η ταξινόμηση πολλαπλών επιπέδων, η μέθοδος υπολογισμού και, τα κριτήρια προσδιορισμού της αξίας της τεχνικής ικανότητας των δικτύων αγωγών φυσικού αερίου, σπάνια συζητούνται και η ανάπτυξη σχετικών κανόνων παραμένει στη θεωρητική φόρμουλα ορισμένων προδιαγραφών σχεδιασμού . Όσον αφορά τον υπολογισμό της τεχνικής ικανότητας των τερματικών LNG, οι καταστάσεις είναι παρόμοιες, αλλά υπάρχει τελικά ένα ενοποιημένο πρότυπο αναφοράς (Fu, 2021).

3.4 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LEG

Τα πλοία μεταφοράς LEG είναι πιο εξελιγμένα από τα δεξαμενόπλοια LNG και LPG και έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν όχι μόνο και τα περισσότερα άλλα φορτία υγροποιημένου αερίου, αλλά και αιθυλένιο στο ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του, των -104°C . Αυτά τα πλοία διαθέτουν κυλινδρικές, μονωμένες, ανοξειδωτες δεξαμενές φορτίου ικανές να φιλοξενήσουν φορτία έως ένα μέγιστο ειδικό βάρος 1,8 σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από τουλάχιστον 41°C έως μέγιστο 80°C και στη μέγιστη πίεση δεξαμενής 4 bar.

3.5 ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η μεταφορά χημικών προϊόντων σε χύδην καλύπτεται από κανονισμούς του SOLAS Κεφάλαιο VII - Μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων και Παράρτημα II της MARPOL - Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες.

Και οι δύο συμβάσεις απαιτούν τα χημικά δεξαμενόπλοια που κατασκευάστηκαν μετά την 1η Ιουλίου 1986 να συμμορφώνονται με τον Διεθνή Χημικό Κώδικα Χύδην (Κωδικός IBC), ο οποίος καθορίζει τα διεθνή πρότυπα για την ασφαλή μεταφορά, χύδην φορτίου δια θαλάσσης, επικίνδυνων χημικών και επιβλαβών υγρών ουσιών. Ο Κώδικας καθορίζει το σχεδιασμό και το πρότυπο κατασκευής πλοίων που εμπλέκονται στη μεταφορά χύδην υγρών χημικών ουσιών και προσδιορίζει τον εξοπλισμό που θα μεταφερθεί για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων για το πλοίο, το πλήρωμά του και το περιβάλλον, όσον αφορά τη φύση των μεταφερόμενων προϊόντων .

Ο κώδικας IBC παραθέτει μια λίστα χημικών ουσιών και των κινδύνων τους και προσδιορίζει τόσο τον τύπο του πλοίου που απαιτείται για τη μεταφορά αυτού του προϊόντος, όσο και την αξιολόγηση περιβαλλοντικών κινδύνων.

Τα χημικά δεξαμενόπλοια που κατασκευάστηκαν πριν από την 1η Ιουλίου 1986 θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του κώδικα για την κατασκευή και τον εξοπλισμό πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνα χημικά χύδην (BCH Code) - τον προκάτοχο του κώδικα IBC (MUHAMMAD, 2018).

Οι σχεδιαστικές διαμορφώσεις και διευθετήσεις των χημικών δεξαμενόπλοιων συχνά είναι βασικά παρόμοιες με εκείνες που περιγράφονται για τα πετρελαιοφόρα, ιδίως όταν το χημικό προϊόν δεν απαιτείται να μεταφέρεται σε ανεξάρτητη δεξαμενή. Για ορισμένα φορτία προτιμώνται δεξαμενές κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα. Όταν το χημικό προϊόν απαιτείται να μεταφέρεται σε ανεξάρτητη δεξαμενή, η δομή και οι ρυθμίσεις μπορεί να είναι παρόμοιες με πλοία που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια.

Σύμφωνα με τον κώδικα IBC, τα χημικά δεξαμενόπλοια σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με ένα από τα τρία καθορισμένα πρότυπα. Ένα πλοίο τύπου 1 είναι ένα δεξαμενόπλοιο που προορίζεται για τη μεταφορά προϊόντων που θεωρείται ότι αποτελούν τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Θα πρέπει να είναι σε θέση να επιβιώσει από το πιο σοβαρό επίπεδο ζημιών και οι δεξαμενές φορτίου θα πρέπει να βρίσκονται στη μέγιστη καθορισμένη απόσταση εντός του πλοίου. Τα πλοία τύπου 2 και 3 μεταφέρουν προϊόντα με προοδευτικά μικρότερους κινδύνους. Όταν ένα πλοίο προορίζεται να μεταφέρει μια γκάμα προϊόντων, του αποδίδεται το πρότυπο που ισχύει για το προϊόν που έχει την πιο αυστηρή απαίτηση τύπου πλοίου.

Ο Κώδικας IBC ορίζει επίσης τους τύπους δεξαμενών φορτίου. Η δεξαμενή τύπου 1 είναι μια ανεξάρτητη δεξαμενή που δεν είναι γειτονική ή μέρος της δομής του κύτους. Η δεξαμενή τύπου 2 είναι μια ολοκληρωμένη δεξαμενή, δηλαδή είναι μέρος της δομής του κύτους του πλοίου. Η δεξαμενή βαρύτητας (G) είναι μια ανεξάρτητη ή ενσωματωμένη δεξαμενή που έχει πίεση σχεδιασμού όχι μεγαλύτερη από 0,7 bar, με τον μετρητή πίεσης να βρίσκεται στην κορυφή της δεξαμενής.

Ο Κώδικας IBC καθορίζει για κάθε μεμονωμένο προϊόν τον τύπο του πλοίου και τον απαιτούμενο τύπο δεξαμενής, π.χ. θειικό οξύ — τύπος πλοίου 3 — δεξαμενή τύπου (G).

Επίσης, οι απαιτήσεις για τα υλικά κατασκευής, σταθερότητας, γενικής διάταξης, ρυθμίσεις σωληνώσεων, ηλεκτρικές και περιβαλλοντικές ρυθμίσεις, εξαερισμός δεξαμενών και πυροπροστασία κ.λπ. των χημικών δεξαμενόπλοιων καλύπτονται από τον κώδικα IBC.

Πριν από την έναρξη της εκφόρτισης, ο υπεύθυνος αξιωματικός θα πρέπει να ελέγξει ότι το σύστημα αγωγών του φορτίου έχει ρυθμιστεί σωστά, ότι οι σωστές βαλβίδες είναι ανοιχτές, ότι οι βαλβίδες που δεν χρησιμοποιούνται είναι κλειστές και ότι το σύστημα εξαερισμού φορτίου είναι κατάλληλο για τη λειτουργία φορτίου.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον εξοπλισμό εκφόρτωσης φορτίου του πλοίου, όπως οι αντλίες και ο εξαερισμός

Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν θερμοδυναμικά δεδομένα ισορροπίας ατμού επιστρέφοντας ένα αδρανές αέριο που έχει μετατοπιστεί από τη δεξαμενή παραλαβής στην ακτή, η πίεση στη δεξαμενή φορτίου του πλοίου πρέπει να παρακολουθείται προσεκτικά και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή υπερπίεσης. Κατά την έναρξη κάθε εκφόρτωσης και σε τακτά χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας, πρέπει να γίνονται έλεγχοι για να διασφαλιστεί ότι το φορτίο δεν διαρρέει.

Κατά την εκφόρτωση χημικών φορτίων που πρέπει να μεταφέρονται κάτω από ένα στρώμα αζώτου (Nitrogen blanketing) μπορεί να είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι δεν εισέρχεται αέρας στη δεξαμενή.

Αν και η απαιτούμενη πίεση δεν είναι μεγαλύτερη από περίπου 0,2 bar, είναι συνηθισμένο το σύστημα παροχής αζώτου στην ακτή να είναι τόσο υψηλό όσο 7 bar. Ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια, όταν ο χώρος της έλξης είναι ακόμα μικρός, είναι πιθανό ο ρυθμός ροής να υπερβεί την ικανότητα εξαερισμού της δεξαμενής και να αναπτυχθεί μια υπερπίεση (Sakar, 2017).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ιδέα ενός «General Cargo» πλοίου χρησιμοποιήθηκε για όλους τους τύπους θαλάσσιων μεταφορών γύρω στα τέλη του 1500 όταν το διεθνές εμπόριο άρχισε να εισάγεται την παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά. Όλα τα πλοία εκείνη την εποχή κατασκευάστηκαν με την ίδια στοιχειώδη ιδέα, χωρίς να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι διαφορετικά φορτία χρειάζονταν διαφορετικό βαθμό φροντίδας και προσοχής καθώς υπήρχε ένας μικρός τρόπος εξειδίκευσης. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, τα πλοία άρχισαν να εξελίσσονται. Η ανάγκη για εξειδίκευση κρίθηκε σύντομα αξιόλογη.

Ένας άλλος λόγος ήταν επίσης ότι η αύξηση του διεθνούς εμπορίου απαιτούσε μια μεγάλη ποσότητα του ενιαίου εμπορεύματος να μεταφερθεί από το ένα μέρος στο άλλο. Αυτός ήταν ο πρωταρχικός λόγος για την εισαγωγή διαφορετικών τύπων πλοίων.

Κατά κύριο λόγο η μεταφορά χύδην υγρών ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα με την ανακάλυψη και η αποστολή πετρελαίου. Εκείνη την εποχή, τα δεξαμενόπλοια εμφανίστηκαν ως ο κύριος τρόπος μεταφοράς πετρελαίου από τα διυλιστήρια στην παγκόσμια αγορά. Στη συνέχεια, καθώς εμφανίστηκαν διαφορετικά ενεργειακά προϊόντα, η ανάγκη για διαφορετικό τύπο δεξαμενόπλοιων έφτασε στην σημερινή της εικόνα.

Επί του παρόντος, μια ποικιλία προϊόντων όπως το αργό πετρέλαιο, τα τελικά προϊόντα πετρελαίου, το LNG, το LPG, το LEG και οι χημικές ουσίες, αποτελούν τον άξονα της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας, ενώ τα δεξαμενόπλοια διαδραματίζουν σημαντικό μερίδιο άνω του 33% της χωρητικότητας του παγκόσμιου στόλου.

Επιπλέον, τα δεξαμενόπλοια είναι ζωτικής σημασίας για ολόκληρη την παγκόσμια λειτουργία θαλάσσιου φορτίου, καθώς βοηθούν στη μεταφορά φορτίων, εμπορευμάτων και υλικών σε ολόκληρο τον κόσμο, όπου διατηρούν τη συνέχεια στις άλλες βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες.

Ωστόσο, τα δεξαμενόπλοια δεν περιορίζονται μόνο σε έναν συγκεκριμένο τύπο ή ποικιλία. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι δεξαμενόπλοιων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία μεταφοράς υγρού φορτίου. Αυτή η ταξινόμηση των δεξαμενόπλοιων μπορεί να βασίζεται σε διάφορους παράγοντες. Τα πετρελαιοφόρα ,

τα πλοία μεταφοράς LPG, LNG , LEG και χημικών ουσιών είναι τα πιο γνωστά. Οι χειρισμοί επίσης που γίνονται για τα φορτία τα οποία μεταφέρουν είναι πάρα πολύ σημαντικοί και διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο και το είδος του φορτίου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαννάκης , Θ. (2009) ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΛΕΞΙΚΟ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΟΡΩΝ, Όροι ναυλοσυμφώνου, φορτωτικής, Shipping. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΜΦΙΤΡΙΤΗ
2. Akyuz, E., & Celik, M. (2015). Application of CREAM human reliability model to cargo loading process of LPG tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 34, 39-48.
3. Arslan, O., & Er, I. D. (2008). SWOT analysis for safer carriage of bulk liquid chemicals in tankers. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1-3), 901-913.
4. Bateman, S., Ho, J., & Mathai, M. (2007). Shipping patterns in the Malacca and Singapore straits: an assessment of the risks to different types of vessel. *Contemporary Southeast Asia*, 309-332.
5. Chen, J., Zhang, W., Wan, Z., Li, S., Huang, T., & Fei, Y. (2019). Oil spills from global tankers: Status review and future governance. *Journal of cleaner production*, 227, 20-32.
6. Dugenci, I., Arican, O. H., Kara, G., & Unal, A. U. (2020). Operational Process in Lpg and Lng Gas Ships in Maritime Transportation Logistics. In *Handbook of Research on the Applications of International Transportation and Logistics for World Trade* (pp. 310-329). IGI Global.
7. Foss, M. M., & Head, C. E. E. (2007). *Introduction to LNG*. Center for Energy Economics, Bureau of Economic Geology, Jackson School of Geosciences, University of Texas.
8. Fu, Z., Shan, T., Yang, Y., & Liu, F. (2021). Interoperability of LNG terminals and gas pipeline networks. *Natural Gas Industry B*, 8(1), 48-56.
9. Grand View Research (2019) *Liquefied natural gas market size, share & trends analysis report by application (transportation fuel, power generation), by region (North America, Europe, APAC, Central & South America, MEA), and segment forecasts, 2020–2027.*
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/liquefied-natural-gas-lng-market>
10. Hänninen, S., & Rytönen, J. (2006). Transportation of liquid bulk chemicals by tankers in the Baltic Sea. VTT.

11. Hu, X., Hu, S., Jin, F., & Huang, S. (Eds.). (2017). *Physics of petroleum reservoirs*. Springer Berlin Heidelberg.
12. Jaramillo, P., Griffin, W. M., & Matthews, H. S. (2007). Comparative life-cycle air emissions of coal, domestic natural gas, LNG, and SNG for electricity generation. *Environmental science & technology*, 41(17), 6290-6296.
13. Kaiser, M. J., de Klerk, A., Gary, J. H., & Handwerk, G. E. (2019). *Petroleum Refining: Technology, Economics, and Markets*. CRC Press.
14. Morganti, K. J. (2013). *A study of the knock limits of liquefied petroleum gas (LPG) in spark-ignition engines* (Doctoral dissertation).
15. MUHAMMAD, T. A. N. (2018). *PROSEDUR PENANGANAN CHEMICAL CARGO BERBASIS IBC CODE DI MT. JEIL CRYSTAL PADA PT. JEIL INTERNATIONAL, CO., LTD. KARYA TULIS*.
16. Mustovic, F. (2011). *Autogas Propulsion Systems for Motor Vehicles*. IBC Sarajevo.
17. Peng, G. S., Gao, Y., Wen-hua, W., Lin, L., & Huang, Y. (2020). Numerical Method to Simulate Self-Propulsion of Aframax Tanker in Irregular Waves. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
18. Rowbotham, M. (2014). *Maritime and cargo security failures: European cases*. In *Maritime Transport Security*. Edward Elgar Publishing.
19. Sadeghbeigi, R. (2012). *Fluid catalytic cracking handbook: An expert guide to the practical operation, design, and optimization of FCC units*. Elsevier.
20. Şakar, C., & Zorba, Y. (2017). A Study on Safety and Risk Assessment of Dangerous Cargo Operations in Oil/Chemical Tankers. *Journal of ETA Maritime Science*, 5(4), 396-413.
21. Vanem, E., Antao, P., Østvik, I., & de Comas, F. D. C. (2008). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(9), 1328-1344.
22. Wang, B., Zhang, H., Yuan, M., Wang, Y., Menezes, B. C., Li, Z., & Liang, Y. (2019). Sustainable crude oil transportation: design optimization for pipelines considering thermal and hydraulic energy consumption. *Chemical Engineering Research and Design*, 151, 23-39.
23. Wang, X., & Economides, M. (2009). *Liquefied Natural Gas (LNG)*. *Advanced Natural Gas Engineering* (Gulf Publishing Company, 2009).

24. Wells, P. G., Höfer, T., & Nauke, M. (1999). Evaluating the hazards of harmful substances carried by ships: The role of GESAMP and its EHS working group. *Science of the total environment*, 237, 329-350.
25. Zakaria, M. S., Osman, K., & Musa, M. (2012). Boil-off gas formation inside large scale liquefied natural gas (lng) tank based on specific parameters. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 229, pp. 690-694). Trans Tech Publications Ltd.
26. Harper, I. (2002, January). Future development options for LNG marine transportation. In *American Institute of Chemical Engineering, Spring National Meeting*.
27. Sinha, R. P., & Nik, W. M. N. W. (2012, September). Investigation of propulsion system for large LNG ships. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 36, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
28. EP Legislative Observatory, 2019. Πρόσβαση στις 20/04/2021 από: [https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?lang=en&reference=2019/2066\(DEC\)](https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?lang=en&reference=2019/2066(DEC))
29. Anon (2021). Retrieved 25 April 2021, from <https://www.porttechnology.org/wp-content/uploads/2019/05/PT26-22.pdf>

