

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΠΛΟΙΑ – MARINE
TRASPORT LPG**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΟΛΕΣΝΙΚΩΒ ΑΝΔΡΕΑΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΧΟΙΝΑΣ Χ.**

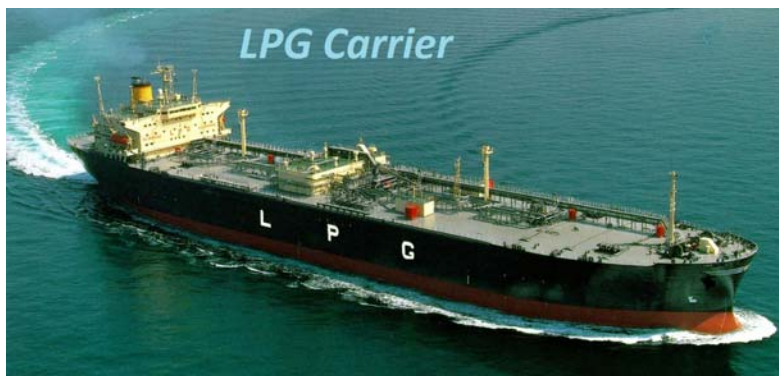
ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2013

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΠΛΟΙΑ – MARINE
TRANSPORT LPG**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΟΛΕΣΝΙΚΩΒ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΜ : 4295**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν στη μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων χύδην φορτίων, δηλαδή πετρελαίου, άνθρακα, σιδηρομεταλλευμάτων, και άλλων πρώτων υλών και καυσίμων, καθώς και τροφίμων, εμπορευμάτων και άλλων αγαθών.

Στη σημερινή εποχή, η παγκόσμια οικονομία βασίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στη διακίνηση εμπορευμάτων μέσω θαλάσσης, γεγονός που καθιστά δυνατή την ανάπτυξη της σε περιοχές που έχουν πόρους, όπως η Ινδία και η Κίνα. Ένας τομέας της παγκόσμιας οικονομίας που παρουσιάζει άνθιση είναι και αυτός της μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων, όπως τα υγραέρια.

Η εκτεταμένη χρήση του υγραερίου και γενικά των υγροποιημένων αερίων τα τελευταία χρόνια από τις βιομηχανίες, έχει οδηγήσει σε αυξημένη ζήτηση και συνεπώς σε αύξηση της μεταφοράς υγραερίων με πλοία. Είναι γεγονός, ότι τα υγραέρια θεωρούνται επικίνδυνα φορτία και οι συνθήκες διακίνησης και μεταφοράς τους είναι πολύ αυστηρές. Για αυτό το λόγο, η μεταφορά αυτών των προϊόντων γίνεται από ειδικά κατασκευασμένα πλοία, τα λεγόμενα LPG Carriers, τα οποία διαθέτουν ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές, καθώς και συστήματα συναγερμού σε περίπτωση διαρροής.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της μεταφοράς υγραερίων με πλοία, καθώς αποτελεί ένα σημαντικό τομέα της οικονομίας των θαλάσσιων μεταφορών.

ABSTRACT

Maritime transport contributes to the transfer of huge amounts of bulk cargo, i.e. oil, coal, iron ore and other raw materials and fuel and food, merchandise and other goods.

Today, the global economy is based largely on the movement of goods by sea, which makes it possible to develop in areas that have resources, such as India and China. One sector of the global economy that is showing bloom, is the transport of dangerous goods such as LPG.

The Extended use of gas and liquefied gas generally in recent years from industry, has led to increased demand and consequently has increased the transfer of gas ships. The fact that the LPG is considered to be hazardous load, the conditions of handling and transport are very strict. For this reason, the transfer of these products is done specially by built ships, called LPG Carriers, which are specially designed tanks, with alarm systems in case of leakage.

In this paper there is a presentation of LPG transportation with ships, which is an important economic sector of maritime transport.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν την πιο αποτελεσματική, συμφέρουσα και ασφαλή λύση για τη μεταφορά μεγάλης μάζας φορτίων, χύδην και σε εμπορευματοκιβώτια και συνιστούν βασική δραστηριότητα για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας και την διευκόλυνση της ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας. Υπολογίζεται ότι οι θαλάσσιες μεταφορές διακινούν περίπου το 80% του όγκου του διεθνούς εμπορίου.

Οι θαλάσσιες μεταφορές, με συνεχώς βελτιούμενα, ασφαλέστερα και ταχύτερα πλοία, κατέστησαν προσιτές ακόμη και τις πιο μακρινές αγορές, συνέβαλαν στην ένταξη στην παγκόσμια αγορά των μεγάλων αναδυόμενων αγορών, όπως η Κίνα και η Ινδία, και αύξησαν το ποσοστό των διεθνώς εμπορεύσιμων αγαθών σε κάθε χώρα σε σχέση με τα μη εμπορεύσιμα.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η παρουσίαση της μεταφοράς υγραερίων με πλοία. Η μεταφορά υγραερίων με πλοία αποτελεί ένα σημαντικό τομέα της παγκόσμιας οικονομίας και για αυτό το λόγο θα γίνει μια προσπάθεια προσέγγισης αυτού του θέματος.

Γνωρίζουμε ότι το υγραέριο (LPG) είναι ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα υδροποιημένα αέρια και ότι οι υδρογονάνθρακες στην υγρή φάση καταλαμβάνουν μόνο το 1/250 του όγκου που χρειάζονται εάν αποθηκευθούν στην αέρια φάση. Από εμπορική άποψη είναι λοιπόν πρακτικό να αποθηκεύονται και να διακινούνται οι υδρογονάνθρακες αυτοί σε υγρή φάση και όχι σε αέρια, καθιστώντας έτσι τη μεταφορά τους με πλοία ένα σημαντικό τομέα της παγκόσμιας οικονομίας διακίνησης εμπορευμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας μας, γίνεται μια εκτενής αναφορά στα υδροποιημένα αέρια, στη φύση του υγραερίου και στην παραγωγή του υδροποιημένου αερίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα είδη και οι τρόποι μεταφοράς υδροποιημένου υγραερίου με πλοία, καθώς οι κατηγορίες των πλοίων μεταφοράς.

Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα θέματα και τους κανόνες ασφαλείας κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθεται ο προσδιορισμός των κινδύνων και επισημαίνεται η αναγκαιότητα της κατάλληλης εκπαίδευσης του προσωπικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΥΓΡΑΕΡΙΩΝ

1.1 Γενικά στοιχεία

Τα καύσιμα προϊόντα του πετρελαίου που κυκλοφορούν στο εμπόριο στην Ελλάδα σήμερα είναι τα εξής:

- Υγραέριο Προπάνιο
- Υγραέριο Μίγμα
- Βενζίνη Αυτοκινήτων Αμόλυβδη και Σούπερ
- Φωτιστικό Πετρέλαιο
- Πετρέλαιο Εσωτερικής Καύσης Ντίζελ
- Καύσιμο Αεριοθουμένων Ja-1
- Απασφαλτωμένο Πετρέλαιο Εξωτερικής Καύσης (Απόσταγμα Κενού)
- Ελαφρύ Πετρέλαιο Εξωτερικής Καύσης (Μαζούτ) Νο. 1
- Ελαφρύ Πετρέλαιο Εξωτερικής Καύσης (Μαζούτ) Νο. 2
- Βαρύ Πετρέλαιο Εξωτερικής Καύσης (Μαζούτ) Νο. 3

Προϊόν των διυλιστηρίων είναι επίσης η άσφαλτος που χρησιμοποιείται στην επίστρωση των δρόμων και για την παρασκευή διαφόρων στεγανοποιητικών προϊόντων. Στα διυλιστήρια παράγεται επίσης σαν παραπροϊόν αέριο καύσιμο (μίγμα κυρίως μεθανίου, αιθανίου και υδρογόνου) που χρησιμοποιείται για καύση στους κλιβάνους των παραγωγικών τους μονάδων, καθώς και νάφθα (ακατέργαστη βενζίνη) που χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη στα πετροχημικά.

Ανάλογα με το βαθμό συνθετικότητας του διυλιστηρίου μπορεί ακόμη να παράγονται λιπαντικά, γράσσα, στερεά παραφίνη, διαλύτες και άλλα προϊόντα του πετρελαίου.^[1]

1.2 Υγραέριο προπάνιο και υγραέριο μίγμα

Στον γενικό όρο υγραέρια περιλαμβάνονται το προπάνιο, το βουτάνιο και μίγματα αυτών των δυο. Στην Ελλάδα επίσημες προδιαγραφές υπάρχουν για υγραέριο προπάνιο και υγραέριο μίγμα. Στα υγραέρια του εμπορίου εκτός από τους δυο αυτούς υδρογονάνθρακες υπάρχουν επίσης σε μικρή αναλογία ακόρεστες ενώσεις με τη μορφή ελαφρύτερων ή βαρύτερων υδρογονανθράκων.

Χαρακτηριστικό των υγραερίων είναι ότι σε μέτριες πιέσεις υγροποιούνται στη συνήθη θερμοκρασία. Με την υγροποίηση ο όγκος τους μειώνεται σημαντικά παρέχοντας μια πηγή συμπυκνωμένης ενέργειας. Τα υγραέρια υπό πίεση σε υγρή μορφή μεταφέρονται εύκολα με αγωγούς, πλοία, βυτιοφόρα αυτοκίνητα και μεταλλικές φιάλες. Μειώνοντας την πίεση εξατμίζονται

και τροφοδοτηθούν καυστήρες όπου καίγονται με καθαρή φλόγα και υψηλή θερμογόνο δύναμη. Τα υγραέρια αποτελούν άριστα καύσιμα από περιβαλλοντολογικής πλευράς, γιατί δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου θείο και καίγονται πλήρως χωρίς κατάλοιπα.

Τα υγραέρια είναι άχρωμα και άοσμα και στα υγραέρια του εμπορίου προστίθενται σε πολύ μικρή αναλογία μερκαπτάνες για να γίνονται αντιληπτές τυχόν διαρροές. Τα υγραέρια είναι βαρύτερα του αέρα. Το προπάνιο του εμπορίου έχει σχετική ειδική πυκνότητα ως προς τον αέρα 1,52 και το μίγμα περίπου 1,92. Για το λόγο αυτό τυχόν διαρροές υγραερίων μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνες λόγω συγκέντρωσης των υγραερίων, π.χ. σε υπόγεια όπου σχηματίζονται ισχυρά εκρηκτικά μίγματα.

Στην Ελλάδα υγραέρια χρησιμοποιούνται σήμερα για θέρμανση και μαγείρεμα στα σπίτια ή στα εστιατόρια, στη βιομηχανία σαν καύσιμα, σαν προωθητικά στα αεροζόλ, όπως επίσης και στην γεωργία και πτηνοτροφία, σε θερμοκήπια, εκκολαπτήρια. Για μεταφορές, έχει ήδη επιτραπεί η χρήση των υγραερίων στα ταξί της πρωτεύουσας και σε Ι.Χ.

Τα υγραέρια πρέπει να εξατμίζονται πλήρως και να καίγονται στις συσκευές ικανοποιητικά χωρίς να προκαλούν διαβρώσεις ή κατάλοιπα στο σύστημα. Η εξάτμιση και τα χαρακτηριστικά καύσεως των υγραερίων του εμπορίου ορίζονται, για συνήθεις εφαρμογές από την πτητικότητα, την τάση ατμών και σε μικρότερο βαθμό από την ειδική τους πυκνότητα. Η πτητικότητα εκφράζεται με την θερμοκρασία στην οποία το 95% του καυσίμου έχει εξατμιστεί. Στις Ελληνικές Προδιαγραφές η θερμοκρασία αυτή είναι $-380\text{ }^{\circ}\text{C max}$ για προπάνιο και $20\text{ }^{\circ}\text{C max}$ για το υγραέριο μίγμα. Η τάση ατμών επηρεάζεται κυρίως από την περιεκτικότητα σε ελαφρούς υδρογονάνθρακες (μεθάνιο και αιθάνιο) και στις Ελληνικές Προδιαγραφές ορίζονται στους $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $14,8\text{ kg/cm}^2\text{ max}$ σχετική πίεση για προπάνιο και $4.5\text{ min} - 7.0\text{ max kg/cm}^2$ για το υγραέριο μίγμα.^[1]

Οι προδιαγραφές θέτουν όριο για τις πτητικές ενώσεις του θείου (15 mg/kg max και για τις δυο ποιότητες υγραερίων) που εκτός από την δυσάρεστη οσμή καθιστούν τα υγραέρια διαβρωτικά. Στον περιορισμό της ολικής περιεκτικότητας σε θειούχες ενώσεις αποβλέπει επίσης και η προδιαγραφή της διάβρωσης χάλκινου ελάσματος.

Τέλος, βασική απαίτηση είναι η απουσία υγρασίας από τα υγραέρια, καθώς η ύπαρξη διαλυμένου νερού δημιουργεί υδρατμούς κατά την εξαέρωση των υγραερίων προκαλώντας προβλήματα στις σωληνώσεις.

Η παρουσία στα υγραέρια ενώσεων με σημαντικά μικρότερη πτητικότητα από το προπάνιο και το βουτάνιο μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα. Μικρή περιεκτικότητα ελαιωδών ενώσεων μπορεί να προκαλέσει βουλώματα στους ρυθμιστές πίεσεως και στις βαλβίδες. Τα υγραέρια ελέγχονται, προς την κατεύθυνση αυτή με την προδιαγραφή υπολείμματος εξατμίσεως ($0,05\%\text{ max}$ κατά όγκο) καθώς και με τον προσδιορισμό βουτανίου (ή πεντανίου) και βαρύτερων.

[2]

1.3 Υγροποιημένα αέρια

Ένα υγροποιημένο αέριο είναι η υγρή μορφή μιας ουσίας που, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό ατμοσφαιρική πίεση, θα ήταν σε αέρια μορφή.

Τα περισσότερα υγροποιημένα αέρια είναι υδρογονάνθρακες και το βασικό χαρακτηριστικό που κάνει τους υδρογονάνθρακες βασική πηγή ενέργειας επίσης τα καθιστά επικίνδυνα. Επειδή αυτά τα αέρια αντιμετωπίζονται σε μεγάλες ποσότητες, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανότητες διαρροής και να περιορίσουν όλες τις πηγές ανάφλεξης.

Η σημαντικότερη ιδιότητα ενός υγροποιημένου αερίου, σε σχέση με την άντληση και την αποθήκευση, είναι η πίεση ατμού της. Είναι η απόλυτη πίεση που ασκείται όταν το υγρό ισορροπεί με τον ατμό του σε δεδομένη θερμοκρασία. Ο διεθνής θαλάσσιος οργανισμός, με σκοπό την τήρηση των κανονισμών μεταφοράς υγροποιημένων αερίων, συσχετίζει την εμποτισμένη πίεση ατμού με τη θερμοκρασία, υιοθετώντας τον ακόλουθο κανόνα για τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων στη θάλασσα:

Υγρά με πίεση ατμού που υπερβαίνουν τα 2.8 διατηρούνται σε θερμοκρασία 37.8 °C.

Βάσει του κανονισμού αυτού του IMO, το οξείδιο του αιθυλενίου δεν θα ήταν κατάλληλο ως υγροποιημένο αέριο. Εντούτοις, συμπεριλαμβάνεται στο διεθνή κώδικα πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια σε μεγάλες ποσότητες, επειδή το σημείο βρασμού του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι τόσο χαμηλό που θα ήταν δύσκολο να μεταφερθεί το φορτίο με οποιαδήποτε μέθοδο εκτός από εκείνων που ορίζονται για τα υγροποιημένα αέρια.

Επιπλέον, οι χημικές ουσίες, όπως ο διεθυλικός αιθέρας, το οξείδιο προπυλενίου και το ισοπρένιο δεν είναι αυστηρά υγροποιημένα αέρια, αλλά συνδέουν τις υψηλές πιέσεις ατμού με τους κινδύνους ανάφλεξης. Ως αποτέλεσμα τέτοιων κινδύνων αυτές οι χημικές ουσίες, και διάφορων παρόμοιων ενώσεων, έχουν απαριθμηθεί από κοινού και στον κώδικα (reconstruction Equipment Ships Liquefied Bulk) και (Bulk Chemical). Πράγματι, όταν μεταφέρονται σε χημικά δεξαμενόπλοια, υπό τον όρο των μαζικών χημικών κωδικών, τέτοια προϊόντα πρέπει να αποθηκευθούν σε ανεξάρτητες δεξαμενές και όχι σε εκείνες που χτίζονται κατά τη δομή του πλοίου. ^[3]

1.4 Υγραέριο (LIQUEFIED PETROLEUM GAS: LPG)

Το υγραέριο (LPG) είναι γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφούν τα υγροποιημένα αέρια, που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες με τρία ή τέσσερα άτομα άνθρακα (3 και 4). Αυτοί οι υδρογονάνθρακες υπάρχουν σαν αέρια σε συνήθεις θερμοκρασίες και πιέσεις περιβάλλοντος, αλλά μπορούν να υγροποιούνται υπό μέσες πιέσεις. Εάν η πίεση στη συνέχεια μειωθεί, οι υδρογονάνθρακες γίνονται ξανά αέριοι.

Οι παραπάνω υδρογονάνθρακες στην υγρή φάση καταλαμβάνουν μόνο το 1/250 του όγκου που χρειάζονται εάν αποθηκευθούν στην αέρια φάση. Από εμπορική άποψη είναι λοιπόν πρακτικό να αποθηκεύονται και να διακινούνται οι υδρογονάνθρακες αυτοί σε υγρή φάση και όχι σε αέρια.^[4]

Σε γενική χρήση δύο είδη υγραερίου είναι γνωστά, το βουτάνιο και το προπάνιο ή μίγματα αυτών. Το υγραέριο μπορεί να αποθηκεύεται σε υγρή φάση είτε στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος υπό μέση πίεση ή υπό ψύξη σε χαμηλότερη πίεση. Εάν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι επαρκώς χαμηλή, το υγραέριο μπορεί να αποθηκευθεί στην ατμοσφαιρική πίεση. Σε θερμοκρασία 20° C το βουτάνιο του εμπορίου έχει τάση ατμών περίπου 2 BAR (28 PSIG) και το προπάνιο του εμπορίου 7 BAR (100 PSIG).

Το υγραέριο σε υγρή φάση είναι άχρωμο, το βάρος του είναι περίπου το μισό του βάρους, ίσου όγκου νερού και οι ατμοί του είναι πυκνότεροι του αέρα. Το βουτάνιο του εμπορίου έχει περίπου διπλάσιο βάρος από ίσο όγκο αέρα και το προπάνιο του εμπορίου είναι περίπου μιάμιση φορά βαρύτερο από ίσο όγκο αέρα. Γι' αυτό η αέρια φάση του υγραερίου «ρέει» στο έδαφος και στις αποχετεύσεις, συσσωρευόμενη στο χαμηλότερο σημείο της περιοχής.

Όταν είναι αναμειγμένο με τον αέρα, το υγραέριο σχηματίζει εκρηκτικό μίγμα. Η αναλογία κατ' όγκο αέριας φάσης υγραερίου στον ατμοσφαιρικό αέρα όπου σχηματίζεται εκρηκτικό μίγμα είναι 2% έως 10% περίπου. Όταν το μίγμα υγραερίου-αέρα είναι εκτός της παραπάνω περιοχής, είναι ή πολύ φτωχό ή πολύ πλούσιο για να αναφλεγεί υπό μορφή έκρηξης. Διαρροή μικρής σχετικά ποσότητας υγρού υγραερίου μπορεί να δημιουργήσει μεγάλο όγκο αέριας φάσης και συνεπώς μεγάλο όγκο εκρηκτικού μίγματος. Για τον έλεγχο ύπαρξης υγραερίου στον αέρα και μάλιστα σε μίγμα εκρηκτικό χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα ανίχνευσης εκρηκτικού μίγματος.^[1]

Οποιοδήποτε μίγμα αερίου υγραερίου-αέρα που δημιουργείται από διαρροή ή άλλη αιτία, μπορεί να ανάψει σε κάποια απόσταση από το σημείο διαφυγής και η φλόγα μπορεί να επιστρέψει προς τα πίσω δηλαδή προς την κατεύθυνση της αρχικής πηγής διαρροής.

Η αέρια φάση του υγραερίου δημιουργεί ελαφρά αναισθησία και μπορεί επίσης να προξενήσει ασφυξία λόγω έλλειψης οξυγόνου, εάν υπάρχει σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις. Στο υγραέριο προσδίδεται οσμή πριν διατεθεί στην κατανάλωση με την προσθήκη οσμογόνου ουσίας όπως η αιθυλομερκαπτάνη ή το διμεθυλοσουλφίδιο, ώστε να καταστεί δυνατή η ανίχνευση του αερίου, μέσω της όσφρησης, σε συγκεντρώσεις μικρότερες από το 1/5 του κάτω ορίου εκρηκτικότητας.

Διαφυγή του υγραερίου μπορεί να ανιχνευθεί και με άλλο τρόπο πλην της οσμής. Όταν το υγρό αεριοποιείται, η ψυκτική επίδραση στον περιβάλλοντα αέρα προκαλεί συμπύκνωση και ακόμα και ψύξη των υδρατμών στον αέρα. Αυτό μπορεί να γίνει φανερό ως δρόσος στο σημείο διαφυγής και έτσι είναι ευκολότερο να διαπιστωθεί η διαρροή.

Λόγω της ταχείας εξαερίωσης και της συνακόλουθης πτώσης της θερμοκρασίας, το υγραέριο μπορεί να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα αν έρθει σε επαφή με το ανθρώπινο δέρμα. Οι χειριστές πρέπει να χρησιμοποιούν προστατευτικά μέσα όπως γάντια και γυαλιά, εάν είναι ενδεχόμενο να εκτεθούν σε τέτοιες βλαπτικές επιδράσεις.

Εάν δοχείο που περιέχει υγραέριο εκκενωθεί μπορεί να περιέχει ακόμα υγραέριο σε αέρια μορφή και είναι δυνατό να είναι επικίνδυνο. Σ' αυτή τη μορφή η εσωτερική πίεση είναι σχεδόν ίση με την ατμοσφαιρική, και εάν η βαλβίδα παρουσιάζει διαρροή ή αφήνεται ανοικτή, ο αέρας μπορεί να διαχυθεί μέσα στο δοχείο, σχηματίζοντας εκρηκτικό μίγμα και δημιουργώντας κίνδυνο έκρηξης, ενώ το υγραέριο μπορεί να διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα.^[2]

1.5 Παραγωγή υγροποιημένου αερίου

Για την κατανόηση των διάφορων όρων που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο υγροποιημένου αερίου, είναι πρώτιστης σημασίας η διαφοροποίηση μεταξύ των πρώτων υλών και των συστατικών τους, προκειμένου να διαφοροποιηθεί η σχέση μεταξύ φυσικού αερίου, υγρού φυσικού αερίου και υγροποιημένων αερίων πετρελαίου.

Το φυσικό αέριο μπορεί να εμφανιστεί σε:

- Υπόγεια φρεάτια
- Συμπυκνωμένες δεξαμενές
- Μεγάλες πετρελαιοφόρες περιοχές

Το φυσικό αέριο περιέχει μικρότερες ποσότητες βαρύτερων υδρογονανθράκων (γνωστά ως υγρά φυσικού αερίου). Αυτό είναι σε εξάρτηση με τις κυμαινόμενες ποσότητες νερού, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου και άλλων μη υδρογονανθρακικών ουσιών.

Το ποσοστό που περιέχεται στο ακατέργαστο φυσικό αέριο ποικίλλει από μια θέση σε άλλη. Τα ποσοστά είναι γενικά μικρότερα στα φρεάτια αερίου όταν συγκρίνονται με εκείνα που βρίσκονται στις συμπυκνωμένες δεξαμενές. Ανεξάρτητα από την προέλευση, το φυσικό αέριο απαιτεί επεξεργασία για την αφαίρεση βαρύτερων υδρογονανθρακικών και μη υδρογονανθρακικών συστατικών. Αυτό εξασφαλίζει ότι το προϊόν είναι σε αποδεκτή κατάσταση για ρευστοποίηση ή για τη χρήση του ως αεριώδη καύσιμο.

Το ακατέργαστο αέριο τροφοδοσίας είναι απαλλαγμένο από κατάλοιπα. Ακολουθεί η αφαίρεση των όξινων αερίων (διοξείδιο του άνθρακα και σουλφίδιο υδρογόνου). Το διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να αφαιρεθεί, καθώς παγώνει σε μια θερμοκρασία πάνω από το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του και το τοξικό σύνθετο σουλφίδιο υδρογόνου απομακρύνεται δεδομένου ότι προκαλεί ατμοσφαιρική ρύπανση όταν καίγεται ως καύσιμο. Η αφαίρεση του όξινου αερίου προκαλεί εμπότισμό του αερίου ρεύματος με υδρατμούς, οι οποίοι στη συνέχεια αφαιρούνται.

Κατόπιν το αέριο περνά σε μια μονάδα διαχωρισμού όπου γίνεται η περαιτέρω διάσπαση σε προπάνιο και βουτάνιο. Τέλος, η κύρια ροή αερίου, τώρα συνήθως μεθάνιο, είναι υγροποιημένη στο τελικό προϊόν, υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Για να χαμηλώσουν τη θερμοκρασία του μεθανίου σε περίπου $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ (το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του) υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες ρευστοποίησης σήμερα. Αυτοί περιγράφονται παρακάτω:

- **Καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (Pure process):** αυτό είναι παρόμοιο σε γενικές γραμμές με τον κύκλο υγροποίησης, αλλά προκειμένου να επιτευχθεί η χαμηλή θερμοκρασία που απαιτείται, τρία στάδια περιλαμβάνονται όπου το καθένα έχει την ψυκτική ουσία, το συμπιεστή και τους εναλλάκτες θερμότητας του. Το πρώτο στάδιο χρησιμοποιεί το προπάνιο, το δεύτερο είναι ένα στάδιο συμπύκνωσης που χρησιμοποιεί το αιθυλένιο και τελικά το τρίτο στάδιο που χρησιμοποιεί το μεθάνιο. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις πριν από το 1970.
- **Μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (mixed process):** ενώ με την καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών, μια διαδικασία τριών κύκλων, με τη μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (συνήθως μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και άζωτο), η διαδικασία επιτυγχάνεται σε έναν κύκλο. Ο εξοπλισμός είναι λιγότερο σύνθετος από την καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών, αλλά η κατανάλωση ισχύος είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη και για αυτόν τον λόγο η χρήση της δεν είναι διαδεδομένη.
- **Προψυγμένη μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (cooled mixed process):** αυτή η διαδικασία είναι γενικά γνωστή ως διαδικασία (MultiComponent) και είναι ένας συνδυασμός των πιο πάνω διαδικασιών. Είναι η πιο κοινή διαδικασία σε λειτουργία σήμερα. ^[3]

Τα καύσιμα για τις εγκαταστάσεις παρέχονται κυρίως από το στιγμιαίο αέριο κατά τη διαδικασία υγροποίησης. Εάν είναι απαραίτητο, τα πρόσθετα καύσιμα μπορούν να ληφθούν από το ακατέργαστο υγροποιημένο αέριο ή από τα αποσπασμένα συμπυκνώματα.

Υγροποιημένο αέριο πετρελαίου είναι το γενικό όνομα που δίνεται για το προπάνιο, το βουτάνιο και τα μίγματα των δύο. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να ληφθούν από τον καθαρισμό του ακατέργαστου πετρελαίου. Όταν παράγονται κατά αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται συνήθως υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση.^[1]

Εντούτοις, η κύρια παραγωγή βρίσκεται σε χώρες παραγωγής πετρελαίου. Σε αυτές τις θέσεις το υγροποιημένο αέριο εξάγεται από φυσικά αέρια ή από ποσότητες ακατέργαστου πετρελαίου που προέρχονται από υπόγειες δεξαμενές. Στην περίπτωση πηγής φυσικού αερίου, το ακατέργαστο προϊόν αποτελείται κυρίως από το μεθάνιο.

Το προπάνιο χωρίζεται σε μεθάνιο και αιθυλένιο. Το αιθυλένιο στη συνέχεια μπορεί να συντεθεί με το χλώριο για την παρασκευή του βινυλίου χλωριδίου. Στην περίπτωση του μεθανίου, αυτό ανασχηματίζεται αρχικά με τον ατμό σε υδρογόνο. Συνδυάζοντας το αυτό με άζωτο κάτω από υψηλή πίεση και θερμοκρασία, παρουσία ενός καταλύτη, παράγεται η αμμωνία.

Το φυσικό αέριο μεταφέρεται είτε μέσω αγωγών ως αέριο είτε θαλάσσια στην υγροποιημένη μορφή του. Η σύνθεσή του ποικίλλει σύμφωνα με το που βρίσκεται, αλλά το μεθάνιο είναι κατά πολύ το κυρίαρχο συστατικό, κυμαινόμενο από 70% έως 99%. Το φυσικό αέριο τη χρονική περίοδο αυτή είναι από τα πιο σημαντικά προϊόντα στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και περίπου 150 εκατομμύρια τόνοι μεταφέρονται θαλάσσια κάθε έτος.^[5]

Ένας μικρός αριθμός τερματικών σταθμών, συμπεριλαμβανομένων και διάφορων άλλων εγκαταστάσεων στην Ευρώπη, έχουν τη δυνατότητα να αφαιρούν το μεθάνιο και να φορτώνουν ακατέργαστο σε ημιδιατηρημένους υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση μεταφορείς αερίου (semipressurized carriers). Αυτό φέρεται σε 80 ° ατμοσφαιρική πίεση ή σε 45° υπό πίεση ατμού.

Τα υγροποιημένα αέρια πετρελαίου περιλαμβάνουν προπάνιο, βουτάνιο και μίγματα των δύο. Βουτάνιο που αποθηκεύεται στους κυλίνδρους γνωστό ως εμφιαλωμένο αέριο, έχει διαδεδομένη χρήση ως καύσιμο για τη θέρμανση και το μαγείρεμα. Επίσης, είναι ένας σημαντικός αυξητικός παράγοντας οκτανίου για τη βενζίνη μηχανών και ένα βασικό πετροχημικό αέριο. Το προπάνιο, επίσης, χρησιμοποιείται ως εμφιαλωμένο αέριο, ειδικά στα κρύα κλίματα (στα οποία η πίεση ατμού της προσαρμόζεται). Εντούτοις, χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτρική παραγωγή, για βιομηχανικούς λόγους όπως η κοπή μετάλλων. Περίπου 250 εκατομμύρια τόνοι των υγροποιημένων αερίων παράγονται κάθε έτος παγκοσμίως και περίπου 70 εκατομμύρια τόνοι μεταφέρονται θαλάσσια.^[6]

1.6 Φυσικά χαρακτηριστικά του υγραερίου

Χαρακτηριστικά	Προπάνιο	Βουτάνιο
Χημικός Τύπος:	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Μοριακό Βάρος:	44,094	58,120
Σημείο πήξης υγρού σε 760 mm Hg: (°C)	-187,7	-138,3
Σημείο βρασμού υγρού σε 760 mm Hg: (°C)	-42,1	-0,5
Ειδικό βάρος υγρού σε 15,5 °C: (kg/lt)	0,507	0,582
Σχετική πυκνότητα αερίου (αέρας = 1) σε S.C.:	1,522	2.006
Κρίσιμη θερμοκρασία: (°C)	96,8	152,0
Κρίσιμη πίεση-απόλυτη: (bar)	42,6	38,0
Λόγος όγκου αερίου προς όγκο υγρού σε S.C.:	272,7	237,8
Λανθάνουσα θερμότητα στο σημείο βρασμού και 760 mm Hg: (Kcal/kg)	101,7	92,3
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη σε S.C.: (Kcal/kg)	12048	11851
Απαιτούμενος αέρας καύσης σε S.C.: (m ³ αέρα/1 m ³ αερίου)	23,82	30,97
Απαιτούμενος αέρας καύσης σε S.C.: (kg αέρα/1 kg αερίου)	15,71	15,49
Ειδική θερμότητα αερίου σε S.C.: Cp (Kcal/kg oC)	0,388	0,397
Ειδική θερμότητα αερίου σε S.C.: Cv (Kcal/kg oC)	0,343	0,361
Σημείο ανάφλεξης-Flash Point (°C):	-105	-60
Σημείο αυτανάφλεξης-Ignition Point: (°C)	470	365
Όρια εκρηκτικότητας μίγματος αερίου-αέρα (Vol-%): Κατώτερο:	2,37	1,86
Όρια εκρηκτικότητας μίγματος αερίου-αέρα (Vol-%): Ανώτερο:	9,50	8,41
Αριθμός Οκτανίων (Oktane No):	125	91 ^[1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΠΛΟΙΑ

2.1 Είδη και τρόποι μεταφοράς υγροποιημένου αερίου με πλοία

Τα πλοία μεταφοράς αερίων κυμαίνονται από τα μικρά υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση σκάφη περίπου 3.500 m³ (fully pressurized) για την αποστολή του προπανίου, του βουτανίου και των χημικών αερίων σε περιβαλλοντική θερμοκρασία μέχρι τα πλήρως μονωμένα ή ειδικά πλοία ψυγεία (fully) πάνω από 100.000 m³ για τη μεταφορά LNG και LPG. Μεταξύ αυτών των δύο ευδιάκριτων τύπων υπάρχει και ένας τρίτος τύπος πλοίων, ο ημιδιατηρημένος υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση μεταφορέας αερίου (semipressurized carriers). Αυτά τα πλοία είναι σε θέση να μεταφέρουν πολλά φορτία υπό συνθήκες κατάψυξης σε ατμοσφαιρική πίεση ή σε θερμοκρασίες που αντιστοιχούν σε πιέσεις μεταξύ 5 και 9 bar. [7]

Η μετακίνηση των υγροποιημένων αερίων θαλάσσια είναι τώρα μια ώριμη βιομηχανία, που εξυπηρετείται από έναν στόλο πάνω από 1000 πλοία. Το 2009 οι αριθμοί πλοίων σε κάθε κατηγορία ήταν:

- LNG carriers 300
- Fully refrigerated ships 216
- Ethylene carriers 100
- Semipressurized ships 200
- Pressurized ships 450 [8]

Οι μεταφορείς αερίου χρησιμοποιούν ορισμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού από κοινού με άλλα σκάφη για τη μεταφορά των υγρών όπως δεξαμενόπλοια χημικών και πετρελαίου. Τα δεξαμενόπλοια χημικών μεταφέρουν τα πιο επικίνδυνα φορτία τους στις κεντρικές δεξαμενές, ενώ τα φορτία μικρότερου κινδύνου μπορούν να σταλούν στις πλαϊνές δεξαμενές. Ο στόχος είναι η προστασία από την έκχυση του επικίνδυνου φορτίου σε περίπτωση σύγκρουσης. Αυτή η ίδια αρχή εφαρμόζεται και για τα πλοία μεταφοράς αερίων.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα σχεδόν μοναδικό στα πλοία μεταφοράς αερίων είναι ότι οι δεξαμενές φορτίου διατηρούνται υπό θετική πίεση για να αποτραπεί ο αέρας στο σύστημα αποθήκευσης φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι μόνο το υγρό φορτίο και ο ατμός είναι παρόντες στη δεξαμενή προς αποφυγή αναφλέξεων. Επιπλέον, όλα τα πλοία μεταφοράς αερίου χρησιμοποιούν κλειστά συστήματα κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση, χωρίς να απελευθερώνονται ατμοί στην ατμόσφαιρα. Με αυτά τα μέσα η απελευθέρωση φορτίου στην ατμόσφαιρα αποβάλλεται ουσιαστικά και ο κίνδυνος ανάφλεξης ατμού ελαχιστοποιείται. [6]

Οι μεταφορείς αερίου πρέπει να συμβαδίζουν με τα πρότυπα που καθορίζονται από το διεθνή θαλάσσιο οργανισμό και με όλες τις απαιτήσεις ασφάλειας και ρύπανσης. Οι απαιτήσεις εξοπλισμού για τους μεταφορείς αερίου περιλαμβάνουν τον έλεγχο θερμοκρασίας και πίεσης, την ανίχνευση αερίου και δείκτες στάθμης των δεξαμενών φορτίου. Όλα τα παραπάνω εξοπλίζονται με κατάλληλους συναγερμούς.

Υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις κατά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία αυτών των πλοίων ανάλογα με το σύστημα συγκράτησης και το είδος του φορτίου που μεταφέρουν. Τα συστήματα συγκράτησης φορτίου μπορούν να είναι ανεξάρτητων δεξαμενών (pressurized, semipressurized or fully refrigerated) ή μεμβρανοειδούς τύπου (membrane).

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτών των παραλλαγών είναι τα εξής:

Πλήρως διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία (Fully pressurized ships):

Η μεταφορά των υγροποιημένων αερίων θαλάσσια άρχισε το 1934 όταν μια διεθνής επιχείρηση έθεσε σε λειτουργία δύο πλοία μικτού τύπου πετρελαιοφόρου/LPG. Τα πλοία αυτά, βασικά πετρελαιοφόρα, είχαν μετατραπεί σε μικρά, με δεξαμενές υψηλής πίεσης για τη μεταφορά και αυτή η μετατροπή επέτρεψε τη μεταφορά αυτού του προϊόντος σε μεγάλες αποστάσεις. Σήμερα τα περισσότερα διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση διαθέτουν δύο ή τρεις οριζόντιες, κυλινδρικές ή σφαιρικές δεξαμενές και έχουν την ικανότητα μεταφοράς έως και 5.000 m³ όγκου. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια έχουν ναυπηγηθεί πλοία με σφαιρικές δεξαμενές, έως 10.000 m³, το καθένα από αυτά με πέντε σφαιρικές δεξαμενές.

Ημιδιατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία (Semi pressurized ships):

Παρά την πρόωρη σημαντική ανακάλυψη μεταφοράς φορτίων των υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση LPG, η μετακίνηση υγροποιημένων αερίων θαλάσσια άρχισε πραγματικά να αυξάνεται στις αρχές της δεκαετίας του '60 με την ανάπτυξη των κατάλληλων μετάλλων για τη συγκράτηση αυτών των υγροποιημένων αερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα πρώτα σκάφη που χρησιμοποίησαν αυτήν την νέα τεχνολογία εμφανίστηκαν το 1961. Μετέφεραν αέρια υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση/ημικατεψυγμένη κατάσταση. Από τα τέλη της δεκαετίας του '60 πλοία ημιδιατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση/ πλήρως κατεψυγμένα είχαν γίνει η επιλογή πλοιοκτητών με την παροχή υψηλής ευελιξίας στο χειρισμό φορτίου. Αυτού του τύπου τα πλοία, χρησιμοποιούν δεξαμενές κυλινδρικές ή σφαιρικές και έχουν την ικανότητα να φορτώνουν και να ξεφορτώνουν τα φορτία αερίου και στις κατεψυγμένες και στις διατηρημένες υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση εγκαταστάσεις. ^[3]

Μεταφορείς αιθυλενίου και χημικών αερίων (Ethylene /chemical carriers):

Οι μεταφορείς αιθυλενίου είναι οι περιπλοκότεροι των ημιδιατηρημένων υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βυτιοφόρων. Το πρώτο πλοίο αυτής της κατηγορίας κατασκευάστηκε το 1966

και, από το 1995, υπήρξαν περίπου 100 τέτοια πλοία σε υπηρεσία ικανότητας από 1.000 έως 12.000 m³.

Από αυτόν τον στόλο υπάρχει μια ειδική υποομάδα πλοίων ικανών να διαχειριστούν ένα ευρύ φάσμα υγρών χημικών ουσιών και υγροποιημένων αερίων ταυτόχρονα. Αυτά έχουν κυλινδρικές, μονωμένες, δεξαμενές κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα ικανές να προσαρμόσουν τα φορτία μέχρι μια μέγιστη πυκνότητα 1.8 σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -104 °C έως και +80 °C σε μέγιστη πίεση 4 bar. Τα πλοία αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονται ως τα πιο ευπροσάρμοστα, καθώς έχουν τη δυνατότητα να ξεφορτώνουν και να φορτώνουν σε όλους τους ειδικά κατασκευασμένους τερματικούς σταθμούς.

Fully ships:

Η δεκαετία του '60 είδε επίσης μια άλλη σημαντική ανάπτυξη στην εξέλιξη μεταφορέων αερίου την εμφάνιση του πρώτου fully πλοίου, που κατασκευάστηκε για να μεταφέρει τα υγροποιημένα αέρια σε χαμηλή θερμοκρασία. Το πρώτο πλοίο αυτής της κατηγορίας κατασκευάστηκε από ιαπωνικό ναυπηγείο, το 1962. Το πλοίο διατηρούσε τέσσερις πρισματικές διαμορφωμένες (σαν κουτιά) δεξαμενές κατασκευασμένες το 3% από χάλυβα νικελίου, επιτρέποντας τη μεταφορά των φορτίων σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο -48 °C. Οι πρισματικές δεξαμενές επέτρεψαν στα πλοία αυτά να μεγιστοποιήσουν την μεταφορική τους ικανότητα, καθιστώντας τα κατά συνέπεια ιδιαίτερα κατάλληλα για τη μεταφορά μεγάλων όγκων φορτίων όπως LPG, αμμωνία και βινύλιο χλωριδίου για μεγάλες αποστάσεις. Σήμερα, κυμαίνονται από 20.000 έως 100.000 m³.

Οι κύριοι τύποι συστημάτων συγκράτησης φορτίου που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα πλήρως κατεψυγμένα σκάφη είναι ανεξάρτητες δεξαμενές που έχουν άκαμπτη μόνωση αφρού. Παλαιότερα σκάφη μπορεί να έχουν ανεξάρτητες δεξαμενές γεμισμένα με μόνωση περλίτη. Στο παρελθόν έχουν υπάρξει μερικά πλήρως κατεψυγμένα σκάφη που ναυπηγούνται με ημιμεμβράνη (semimembrane) ή τις ακέραιες δεξαμενές και τις εσωτερικές δεξαμενές μόνωσης, αλλά αυτά τα συστήματα έχουν πλέον ελάχιστο ενδιαφέρον. ^[3]

Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου:

Στον ίδιο σχεδόν χρόνο με την ανάπτυξη των fully refrigerated LPG, οι ναυπηγοί αντιμετώπιζαν την πιο απαιτητική πρόκληση, τη μεταφορά LNG. Το φυσικό αέριο, ένα καθαρό, μη τοξικό καύσιμο, είναι τώρα η τρίτη σπουδαιότερη πηγή ενέργειας στον κόσμο, μετά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Επειδή το αέριο σε υγροποιημένη μορφή καταλαμβάνει πολύ λιγότερο όγκο, και λόγω της κρίσιμης θερμοκρασίας του υγροποιημένου μεθανίου, η θαλάσσια μεταφορά LNG έχει μόνο νόημα από μια εμπορική άποψη εάν μεταφέρεται σε υγροποιημένη μορφή υπό ατμοσφαιρική πίεση και έτσι δημιουργεί μια μεγαλύτερη πρόκληση στη μηχανική, κυρίως επειδή πρέπει να μεταφερθεί σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από τα LPG, με σημείο βρασμού -162 °C.

Τα LNG πλοία που έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιούν είτε δεξαμενές μεμβρανών τύπου TGZ Mark που κατασκευάζονται από ανοξείδωτο ατσάλι, της εταιρείας Technigaz, τύπου GT96 που είναι δεξαμενές που αποτελούνται από δύο λεπτές στρώσεις μεμβράνης, είτε πρισματικές δεξαμενές τύπου B (IHI) ή σφαιρικές δεξαμενές (Moss Tanks) της εταιρείας Maritime. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκαν και δεξαμενές τύπου CD1, οι οποίες αποδείχθηκαν ελαττωματικές με πολλά μειονεκτήματα. Τα πλοία κυμαίνονται μεταξύ 125.000 και 160.000 m³ μεταφορικής ικανότητας.^[3]

Τα πρώτα Υγραεριοφόρα που ναυπηγήθηκαν στη δεκαετία του 1960, καλούμενα τότε μεθανιοφόρα, έφεραν ορθογώνιες τραπεζοειδείς δεξαμενές όπου και στη συνέχεια αυτές εξελίχθηκαν σε σφαιροειδείς δεξαμενές των οποίων τα άνω τμήματα υπερέχουν του κυρίου καταστρώματος του πλοίου. Ακόμα πιο σύγχρονα Υγραεριοφόρα φέρουν δεξαμενές τύπου μεμβράνης.

Πρέπει να σημειωθεί πως η μεταφορά των υγραερίων γίνεται είτε σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, που για ορισμένα φθάνει τους -250°F(-121°C), είτε σε υψηλές πιέσεις, γεγονός που παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες καθώς και ιδιαίτερους κινδύνους. Έτσι, τα πλοία αυτά θεωρούνται επικίνδυνα σε ατυχήματα και για το λόγο αυτό τα μέτρα ασφαλείας και οι περιορισμοί που λαμβάνονται σ' αυτά είναι ιδιαίτερα σχολαστικοί, εξ ου και οι υψηλότερες αμοιβές των ναυτικών των πλοίων αυτών. Η προσέγγιση τέτοιων πλοίων επιτρέπεται μόνο σε ειδικές προβλήτες συναφών εγκαταστάσεων που παρέχουν σε υψηλό βαθμό μέσα ασφαλείας, πρόβλεψης και αντιμετώπισης έκτακτων συνθηκών.^[4]

Η παγκόσμια χωρητικότητα τέτοιου τύπου πλοίων το 1976 έφθανε τους 3.380.000 κόρους κ.χ. επί της συνολικής παγκόσμιας που ήταν 372.000.000, δηλαδή περίπου το 0,9%. Παρόλα αυτά, η αύξηση σε αριθμό τέτοιων πλοίων είναι αργή αλλά σταθερή, αφού αυξάνονται οι παγκόσμιες ανάγκες σε κατανάλωση υγραερίων, όπου μέσα σε μια μόνο δεκαετία 1960-1970 αυτή είχε διπλασιαστεί από 20 σε 42 δισεκατομμύρια κυβικούς πόδες.

Για την πληρέστερη αντίληψη της μεταφορικής ικανότητας των πλοίων αυτών σημειώνεται ότι ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 κυβικά μέτρα φυσικού αερίου σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι, ένα Υγραεριοφόρο μεταφορικής ικανότητας, σε χωρητικότητα, 90.000 ή 120.000 κυβ.μέτρων μπορεί να μεταφέρει ανά ταξίδι περίπου 50.000.000, ή 70.000.000 κυβ.μέτρα φυσικού αερίου αντίστοιχα.^[6]

Στις σύγχρονες θαλάσσιες μεταφορές παρατηρούνται δύο βασικοί τύποι υγραεριοφόρων πλοίων: τα Υγραεριοφόρα φυσικού αερίου, τα λεγόμενα δεξαμενόπλοια ή τάνκερς φυσικού αερίου, (Gas Tanker-LNG) και τα Υγραεριοφόρα πετρελαϊκού αερίου, λεγόμενα αντίστοιχα δεξαμενόπλοια ή τάνκερς πετρελαϊκού αερίου (Gas Tankers-LPG).

Η χωρητικότητα των πλοίων αυτών έχει επικρατήσει να υπολογίζεται και να δηλώνεται σε κυβικά μέτρα με διεθνές σύμβολο cbm. [5]

Μία από τις μεγαλύτερες πλοιοκτήτριες εταιρίες τέτοιου τύπου πλοίων στον κόσμο είναι η ελληνική εταιρία StealthGas, του Ομίλου Βαφειά, της οποίας ο στόλος αριθμεί περίπου 40 πλοία LPG, των οποίων οι ονομασίες τους, στη πλειονότητά τους, έχουν πρώτο συνθετικό τη λέξη Gas, π.χ. Gas Marathon, Gas Chios κ.λπ.

Δυνατότητες ανάπτυξης διαβλέπει ο ναυλομεσιτικός οίκος Clarksons στον κλάδο μεταφοράς υγραερίου (LPG), καθώς αναμένεται αύξηση της συνολικής μεταφορικής ικανότητας των πλοίων LPG κατά 4,7% το 2013 και 4,9% το 2014.

Σημειώνεται ότι η μεταφορική ικανότητα των LPG Carriers αυξήθηκε κατά 1,7%, στα 19,9 εκατ. κ.μ. πέρυσι και οι παραγγελίες πλοίων ήταν 51 έναντι 23 πλοίων το 2011. Τέλος, σημειώνουμε ότι στον κλάδο των πλοίων LPG υπάρχει και ελληνική παρουσία, αφού στις εν λόγω εταιρείες συγκαταλέγονται η Stealthgas, η Prime Marine και η Diamantis Pateras Maritime.

Το αγγλικό ακρωνύμιο L.P.G. προέρχεται από τις λέξεις Liquefied Petroleum Gas και χρησιμοποιείται για να περιγράψει την οικογένεια των ελαφριών υδρογονανθράκων, τα επονομαζόμενα υγραέρια. Σημειώνεται, επίσης, ότι το L.P.G. αποτελεί φυσικό παράγωγο της επεξεργασίας φυσικού αερίου και της διύλισης αργού πετρελαίου. [7]

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου πρόκειται για μια σύγχρονη μορφή ενέργειας πολλαπλών χρήσεων, με μοναδικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ένα από τα ευρέως διαδεδομένα καύσιμα:

- «Φιλικό» προς το περιβάλλον
- Οικονομικά αποδοτικό
- Εύκολα προσβάσιμο

Πέραν του L.P.G., τα πλοία του στόλου δύνανται να μεταφέρουν και άλλα πετροχημικά προϊόντα, ποικίλων βιομηχανικών και εμπορικών χρήσεων, όπως:

- Προπυλένιο
- Βουταδιένιο
- Αμμωνία
- Μονομερές βινυλοχλωρίδιο (VCM) [8]

2.2 Τα υγραεριοφόρα πλοία και οι δεξαμενές τους

Το Υγραεριοφόρο (Liquid Gas Carrier) είναι ένα δεξαμενόπλοιο ειδικά κατασκευασμένο για τη μεταφορά αερίων του πετρελαίου (Petroleum Gases), καθώς επίσης και φυσικών αερίων (Natural Gases).

Ειδικά στις μεταφορές αυτών των αερίων χρησιμοποιούνται οι όροι LPG Liquefied Petroleum Gases (Υγροποιημένα αέρια πετρελαίου) και LNG Liquefied Natural Gases (Υγροποιημένα φυσικά αέρια). Οι όροι αυτοί χαρακτηρίζουν και τα αντίστοιχα Υγραεριοφόρα πλοία, τα οποία κατασκευάζονται για τη μεταφορά τέτοιων φορτίων, έχουμε δηλαδή, πλοία «LPG Carrier» και πλοία «LNG Carrier».^[6]

Τα αέρια αυτά χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές και άλλες ανθρώπινες ανάγκες. Για να φορτωθούν στις δεξαμενές του πλοίου, τα αέρια πιέζονται αρκετά με σκοπό να μειωθεί ο όγκος τους στο ελάχιστο δυνατό και επιτρεπτό, μέχρι σε σημείο μάλιστα που αυτά υγροποιούνται.

Πολλά τέτοια αέρια, για να γίνει και να διατηρηθεί η υγροποίηση τους, χρειάζεται ταυτόχρονα να ψυχθούν σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (περισσότερο και από τους -100°C , ανάλογα με τη φύση του αερίου και για το λόγο αυτό, συχνά, τα αέρια αυτά ονομάζονται και «κρυογενή».^[7]

Τα πρώτα Υγραεριοφόρα πλοία ναυπηγήθηκαν στο τέλος της δεκαετίας του '50 και στις αρχές της δεκαετίας του '60. Τα πλοία αυτά είναι εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν συγκεκριμένα επικίνδυνα φορτία, τα οποία και χρειάζονται ειδικούς χειρισμούς και προφυλάξεις, τόσο κατά τη φόρτωση όσο και κατά τη μεταφορά τους.



Εικόνα 1: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένων αερίων LPG.

Πέρα από αυτά, μια πολύ βασική και ουσιώδης διαφορά τους από τα κοινά δεξαμενόπλοια βρίσκεται ακριβώς στους χώρους φορτίου. Οι δεξαμενές είναι ειδικά κατασκευασμένες για να μπορούν να δέχονται φορτία με μεγάλη πίεση και με πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Γι' αυτό κατασκευάζονται από ειδικά μέταλλα και κράματα νικελίου και χάλυβα ή ανοξείδωτου χάλυβα και κράματα αλουμινίου. Επίσης, ο τύπος και ο τρόπος κατασκευής των δεξαμενών προβλέπονται από σχετικούς κανονισμούς IMO, σύμφωνα με τους οποίους αυτές μπορεί να είναι:

✚ Ανεξάρτητες δεξαμενές (Independent Tanks):

Οι δεξαμενές αυτές δεν αποτελούν μέρος του σκάφους, δηλαδή δεν είναι κολλημένες πάνω σε αυτό αλλά είναι «αυτοσυγκρατούμενες». Γύρω από τη δεξαμενή, σε μικρή απόσταση υπάρχει δεύτερο τοίχωμα και, ανάμεσα στο κέλυφος της δεξαμενής και στο δεύτερο αυτό τοίχωμα, παρεμβάλλεται κενός χώρος, ο οποίος προστατεύει το σκάφος από διαρροή, κυρίως ψύξης, που πιθανόν να συμβεί από τη δεξαμενή φορτίου προς τα έξω. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές υπάρχουν σε τύπο «Α», με πρισματική διατομή, τύπο «Β» με σφαιρική κυρίως διατομή και τύπο «C» με κυλινδρική διατομή.

✚ Μεμβρανώδεις δεξαμενές (Membrane Tanks):

Το κέλυφος αυτών των δεξαμενών είναι σχετικά σύνθετο. Αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό τοίχωμα (μεμβράνη πάχους 0,5 mm) φτιαγμένο από κράμα σιδηρονικελίου. Η εξωτερική του πλευρά καλύπτεται από ένα μονωτικό στρώμα πάχους 200 mm, φτιαγμένο συνήθως από περλίτη, στη συνέχεια από μία δεύτερη μεμβράνη ίδια με την πρώτη και εξωτερικά πάλι από ένα ίδιο με το προηγούμενο μονωτικό στρώμα περλίτη. Η ενισχυμένη μόνωση προορίζεται να ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας από τη δεξαμενή φορτίου και να προστατεύει το γύρω σκάφος από τυχόν διαρροή ψύξης.

Οι δεξαμενές αυτές του τύπου δεν είναι «αυτοσυγκρατούμενες», αλλά στηρίζονται πάνω στο σκάφος με διάφορα ισχυρά στηρίγματα. Η διατομή τους είναι μάλλον πρισματική και μοιάζει αρκετά με τη διατομή του αμπαριού ενός φορτηγού μεταλλευματοφόρου.^[9]

✚ Ημιμεμβρανώδεις δεξαμενές (Semi-membrane Tanks):

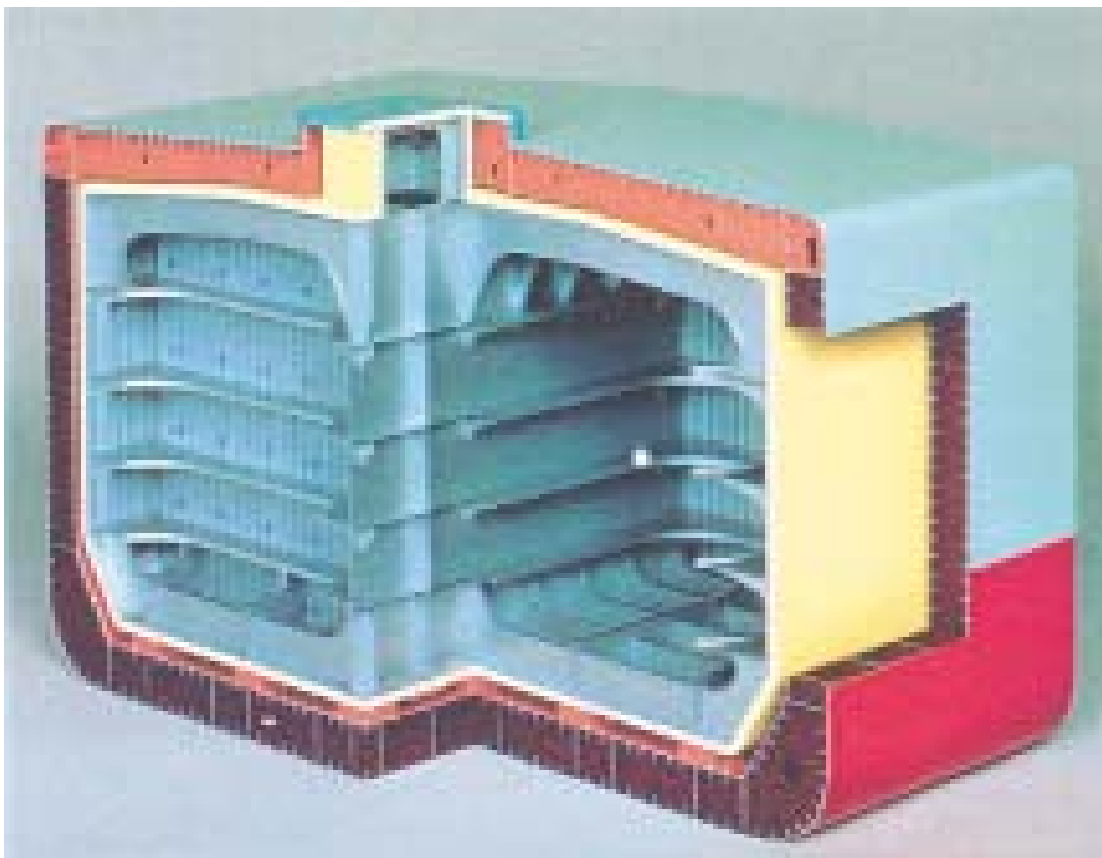
Αυτές αποτελούν μια παραλλαγή των δεξαμενών τύπου μεμβράνης με τη διαφορά ότι αυτές είναι «αυτοσυγκρατούμενες» και το πρώτο τοίχωμα τους είναι λίγο λεπτότερο από το αντίστοιχο των δεξαμενών μεμβράνης. Η διατομή τους είναι αρμονική, με επίπεδες πλευρές και ορθές γωνίες.

✚ Ακέραιες δεξαμενές (Integral Tanks):

Οι δεξαμενές αυτές είναι ενσωματωμένες πάνω στο σκάφος, με τη διαφορά ότι γύρω από το κέλυφος τους υπάρχει πολύ ισχυρή μόνωση, για να ελαχιστοποιείται η απώλεια θερμότητας από τις δεξαμενές φορτίου, αλλά και για να προστατεύεται από την ψύξη του φορτίου η κατασκευή του σκάφους γύρω από τη δεξαμενή. Έχουν πρισματική διατομή, η οποία μοιάζει αρκετά με τη διατομή του αμπαριού ενός φορτηγού μεταλλευματοφόρου.^[9]

Τα υγραεριοφόρα πλοία διαθέτουν κανονικά δεξαμενές έρματος, όπως τα φορτηγά ξηρού φορτίου δηλαδή διπύθμενα, πλευρικές και πάνω δεξαμενές κτλ. Ειδικά οι πλευρικές δεξαμενές επικοινωνούν άμεσα με τα διπύθμενα, με τρόπο ώστε το πλοίο να έχει εσωτερικά και δεύτερο περίβλημα-κέλυφος, ίδιο με το εξωτερικό περίβλημα του σκάφους. Η ύπαρξη διπλού περιβλήματος είναι ρητή και επιβεβλημένη απαίτηση των Νηογνωμόνων για όλα τα Υγραεριοφόρα.

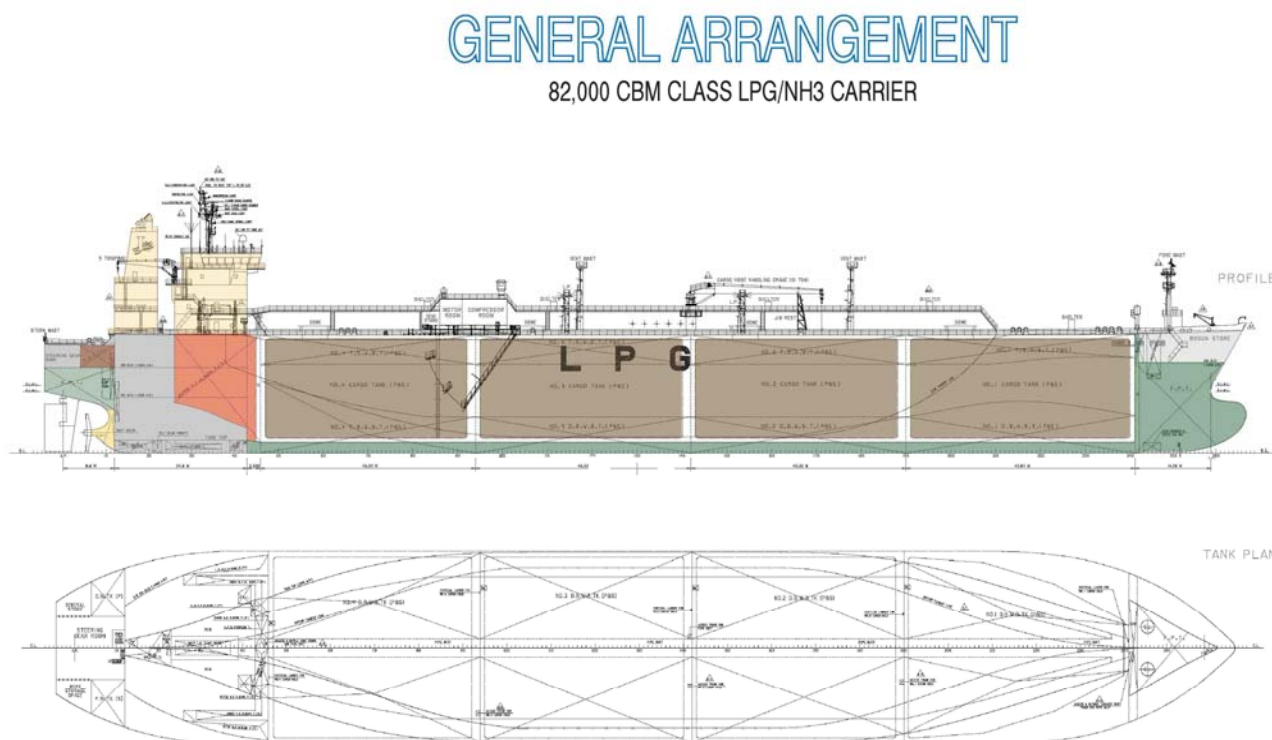
Τα φορτία των υγραεριοφόρων μεταφέρονται όλα σε υγροποιημένη κατάσταση, διότι έτσι ελαττώνεται και ο όγκος τους (μέχρι και 600 φορές, ώστε να είναι εκμεταλλεύσιμη και η μεταφορά τους), αλλά σε διάφορες συνθήκες ανάλογα με το είδος του κάθε φορτίου. Οπότε, η μεταφορά των LPG και LNG γίνεται με διαφορετικούς τρόπους ή «συστήματα μεταφοράς υγραερίων» όπως λέγονται, ανάλογα με το φορτίο και κυρίως, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες με τις οποίες πρέπει να γίνεται η μεταφορά του κάθε φορτίου ή ομάδας ομοειδών φορτίων.^[8]



Εικόνα 2: Τμηματική παράσταση σκάφους ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένων αερίων. Φαίνεται το εσωτερικό των δεξαμενών φορτίου, καθώς επίσης και το εξωτερικό περίβλημα αυτών.

2.3. Κατηγορίες πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου υγραερίου

Επίσης, και τα υγραεριοφόρα πλοία, μπορούμε να τα κατατάξουμε σε ισάριθμες κατηγορίες, ανάλογα με τις δυνατότητες που έχει το κάθε πλοίο να χειρίζεται ένα φορτίο και γενικά να ανταποκρίνεται σε ένα σύστημα μεταφοράς υγραερίων.



Εικόνα 3: Γενική διάταξη ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένων αερίων.

Με βάση τα καθιερωμένα και γνωστά συστήματα μεταφοράς υγραερίων, τα υγραεριοφόρα πλοία μπορούμε να τα κατατάξουμε στις παρακάτω κατηγορίες:

✚ Πλήρους πίεσης (Fully pressures ship):

Είναι κυρίως μικρά πλοία με χωρητικότητα περίπου 1000 m³, με κυλινδρικές δεξαμενές σε οριζόντια ή όρθια διάταξη. Μεταφέρουν συνήθως LPG με μεγάλη πίεση (περίπου 18 kg/cm²) και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι 45 °C.

✚ Ημιψυκτικού – Ημιπυκτικού τύπου (Semi-refrigerated / Semi-pressured Ship):

Είναι κατασκευασμένα να μεταφέρουν υγραέρια με μέτρια ψύξη (-10 μέχρι και -50 °C) και με πίεση μέχρι 10 kg/cm², έχουν χωρητικότητα μέχρι 12.000 m³ και συνήθως μεταφέρουν προϊόντα LPG, αμμωνία, προπάνιο κτλ.

✚ Πλήρους ψύξης – Ημιπυεστικού τύπου (Fully-refrigerated /Semi-pressured Ship):

Αυτά τα πλοία έχουν χωρητικότητα που κυμαίνεται από 5.000 μέχρι 100.000 m³ και μεταφέρουν κυρίως LPG σε πλήρη ψύξη (μέχρι και -55 °C) αλλά σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Η χωρητικότητά τους φτάνει και τις 100.000 m³.

✚ Πλοίο μεταφοράς Αιθυλενίου (Ethylene Ship):

Είναι πλοίο με ειδικά κατασκευασμένες δεξαμενές για τη μεταφορά αιθυλενίου, το οποίο συνήθως μεταφέρεται σε θερμοκρασία -104 °C. Οι δεξαμενές του κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου και βέβαια, εξωτερικά, έχουν πολύ ισχυρή και ανθεκτική μόνωση. Η χωρητικότητά αυτών των πλοίων κυμαίνεται από 1000 μέχρι 12.000 m³.

✚ Πλοίο μεταφοράς LNG (LNG Ship):

Αυτό το πλοίο έχει δεξαμενές ίδιες με αυτές του πλοίου αιθυλενίου και μεταφέρει προϊόντα LNG σε θερμοκρασίες μέχρι -163 °C. Η χωρητικότητά του κυμαίνεται από 40.000 μέχρι 140.000 m³. [5]

Τέλος, κάποια άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υγραεριοφόρων πλοίων, σε ότι αφορά την κατασκευή και τον εξοπλισμό τους είναι:

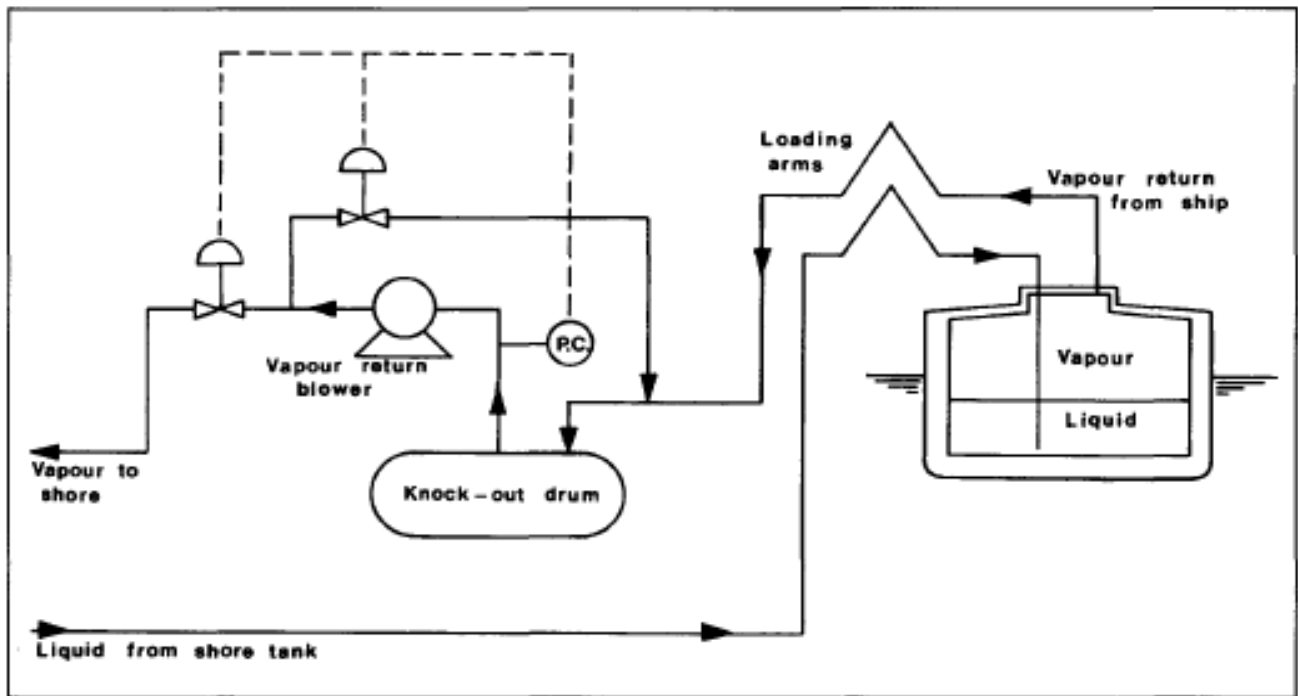
- Οι χώροι φορτίου είναι απομονωμένοι από το μηχανοστάσιο, λεβητοστάσιο, χώρους ενδίαιτησης, φρεάτια αλυσίδων, αποθήκες κτλ. Με τη χρήση ενδιάμεσων κενών στεγανών χώρων.
- Οι σωληνώσεις φοροεκφόρτωσης περνάνε κάτω από τα κουβούσια των δεξαμενών και από εκεί προς τη δεξαμενή, για να αποφεύγεται ο κίνδυνος από τυχόν διαρροή αερίου σε περίπτωση ζημιάς στις σωληνώσεις.
- Η κάθε δεξαμενή φορτίου, έχει κατά κανόνα, το δικό της αντλιοστάσιο, το οποίο είναι εγκαταστημένο, πάνω στο κύριο κατάστρωμα.
- Ο IMO, μέσα από σχετικό Κώδικα, κατατάσσει τα υγραεριοφόρα σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας των φορτίων που μεταφέρουν για το περιβάλλον:
 - ✓ Πλοία τύπου 1 G (μεταφέρουν φορτία πολύ μεγάλου κινδύνου)
 - ✓ Πλοία τύπου 2 G (μεταφέρουν φορτία μειωμένης επικινδυνότητας)
 - ✓ Πλοία τύπου 3 G (μεταφέρουν φορτία ελάχιστης επικινδυνότητας) [7]

2.4 Terminal φόρτωσης - εκφόρτωσης

Ο τερματικός εξοπλισμός είναι πιο δύσκολο να περιγραφεί από ότι ο εξοπλισμός του πλοίου, λόγω της έλλειψης των διεθνών προτύπων σχεδιασμού.

Για τα LPG υγραεριοφόρα υπάρχουν πολλές εκατοντάδες τερματικά σε όλο τον κόσμο. Τα πρότυπα σχεδιασμού διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα και από εταιρεία σε εταιρεία και η διαφορά αυτή μπορεί επίσης να είναι εμφανής στην προβλήτα. Εδώ, θα βρεθεί ότι η μεταφορά φορτίου συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση των βραχιόνων φόρτωσης ή σωλήνων.

Η παροχή ενός μηχανισμού επιστροφής του ατμού μεταξύ του πλοίου και των τερματικών φόρτωσης και εκφόρτωσης στην ξηρά εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, όπως τα οικονομικά, τα ποσοστά μεταφοράς φορτίου, την απόσταση της προβλήτα από τις δεξαμενές αποθήκευσης, τις πιέσεις και τις θερμοκρασίες των προϊόντων του φορτίου. [5]



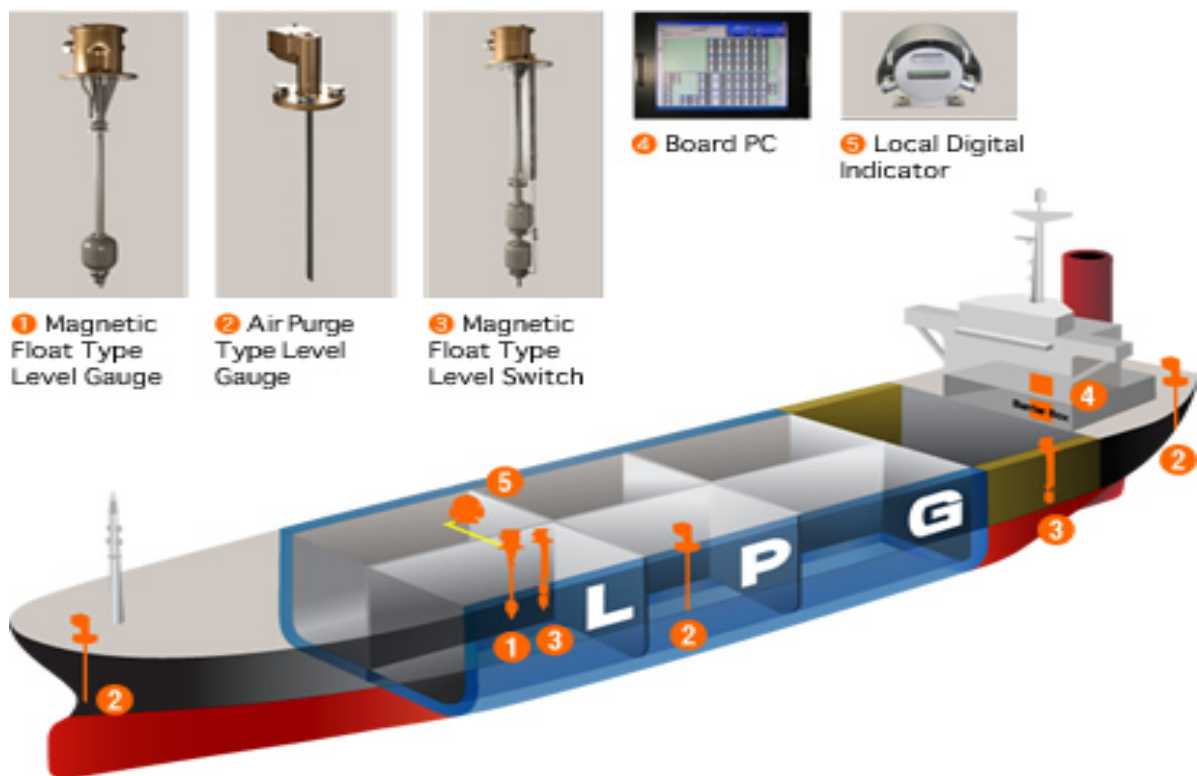
Εικόνα 4: Τερματικό φόρτωσης LPG loading terminal.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΜΑΤΑ – ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΦΟΡΤΩΣΗ – ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

3.1 Προσδιορισμός των κινδύνων

ΑΣΦΑΛΕΙΑ

- ✚ Υψηλός κίνδυνος για φωτιά.
- ✚ Κίνδυνος σχηματισμού εκρηκτικού μίγματος των ατμών σε ανάμιξη με τον αέρα. Το αέριο, ως βαρύτερο του αέρα, μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις, με πιθανότητα ανάφλεξης και επιστροφής της φλόγας.
- ✚ Η υψηλή θερμοκρασία ή η φλόγα που προσβάλλει το χώρο όπου βρίσκονται φιάλες υγραερίου μίγματος, μπορεί να προκαλέσει τη διάνοιξη και έκρηξη τους χωρίς να ενεργοποιηθούν οι ασφαλιστικές τους βαλβίδες.



Εικόνα 5: Level Master Ace(LMA).Σύστημα μέτρησης στάθμης δεξαμενών LPG.

ΥΓΕΙΑ

- ✚ Το υγραέριο μίγμα κατά την αποθήκευση και χρήση του υπό συνθήκες πίεσης, δεν είναι επικίνδυνο για την υγεία.
- ✚ Μόνο σε περιπτώσεις διαρροής δημιουργούνται επικίνδυνες καταστάσεις διότι οι ατμοί του ως βαρύτεροι του αέρα, συγκεντρώνονται σε συστήματα αποχετεύσεων, κλειστούς χώρους, υπόγεια κλπ., εκτοπίζοντας το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και αναπτύσσοντας ασφυξιογόνο δράση.
- ✚ Η παρουσία του 1,3-βουταδιένιου ως συστατικό του υγραερίου μίγματος σε συγκεντρώσεις <0.1% m/m δεν θεωρείται επιβλαβής.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- ✚ Λόγω της υψηλής πτητικότητάς του, δεν προκαλεί ρύπανση στο έδαφος και τους υδάτινους αποδέκτες.
- ✚ Θεωρείται ότι δεν επιδρά στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος στην ατμόσφαιρα. ^[10]

ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

- ✚ Μικρής έκτασης φωτιές αντιμετωπίζονται με χρήση ξηρής σκόνης.
- ✚ Μεγάλης έκτασης φωτιές αντιμετωπίζονται από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό.
- ✚ Άμεση διακοπή της τροφοδοσίας της φωτιάς με προϊόν.
- ✚ Χρήση νερού για ψύξη της εξωτερικής επιφάνειας της φιάλης ή της δεξαμενής που εκτίθεται στη φωτιά.
- ✚ Χρήση νερού υπό μορφή σπρέι για διευκόλυνση της προσέγγισης του προσωπικού στην περιοχή της φωτιάς.
- ✚ Οι διάδρομοι διαφυγής πρέπει να είναι ελεύθεροι και να εξασφαλίζεται προσπέλαση των πυροσβεστικών μέσων.

Ανεπαρκής ψύξη της δεξαμενής, έχει ως αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση της πίεσης λόγω εξαέρωσης του περιεχομένου της και την αύξηση της θερμοκρασίας στο κέλυφος με συνέπεια την πλήρη ρήξη της δεξαμενής και την ακαριαία εκτόνωση του περιεχομένου της. Ακολουθεί ανάφλεξη και έκρηξη της εκτονωθείσας μάζας.

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΥΧΑΙΑΣ ΕΚΛΥΣΗΣ - ΔΙΑΡΡΟΗ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

- ✚ Απομόνωση της πηγής της διαρροής.
- ✚ Εκκένωση της περιοχής από το προσωπικό που δεν εμπλέκεται στην αντιμετώπιση του περιστατικού.
- ✚ Το υγρό αφήνεται να εξατμισθεί.
- ✚ Αποφυγή εισόδου υγρού ή ατμού σε αποχετευτικά συστήματα, υπόγειους χώρους ή ορύγματα.
- ✚ Κλειστοί ή περιορισμένοι χώροι πρέπει να αερισθούν.
- ✚ Χρήση νερού υπό μορφή σπρέι για το διασκορπισμό του αερίου και την προστασία του προσωπικού που προσπαθεί να σταματήσει τη διαρροή.

ΔΙΑΡΡΟΗ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Η διαρροή στη θάλασσα από πλοίο, αντιμετωπίζεται σύμφωνα με το Παράρτημα του Πρωτοκόλλου 1978 της Διεθνούς Σύμβασης 1973 «Πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από πλοία» (MARPOL 73/78) και τις τροποποιήσεις του.

- ✚ Το υγρό υγραέριο μίγμα, αφήνεται να εξατμισθεί από την επιφάνεια του νερού.
- ✚ Ενημέρωση του λιμενικού και των πλησιέστερων λιμανιών για το συμβάν.
- ✚ Τα παρακαείμενα πλοία πρέπει να ειδοποιηθούν και να παραμείνουν μακριά από το σημείο διαρροής.^[10]

ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

- ✚ Θερμοκρασία φόρτωσης/εκφόρτωσης, °C : χειμερινοί μήνες, 20-25 θερινοί μήνες, 30-35
- ✚ Πίεση φόρτωσης/εκφόρτωσης, kg/cm² : 6-8
- ✚ Θερμοκρασία αποθήκευσης, °C : χειμερινοί μήνες, 20-25 θερινοί μήνες, 30-35
- ✚ Πίεση αποθήκευσης, kg/cm²: 6-8
- ✚ Αποθήκευση του υγραερίου μίγματος σε ειδικά σχεδιασμένα δοχεία υπό πίεση (σφαιρικές δεξαμενές, κυλινδρικές δεξαμενές, φιάλες).
- ✚ Σε περίπτωση που πρέπει να χρησιμοποιηθούν φιάλες για τοπική θέρμανση εσωτερικών χώρων, συνιστάται να διατηρείται στους εν λόγω χώρους μόνο η χρησιμοποιούμενη φιάλη.
- ✚ Απαραίτητος ο διαχωρισμός των κενών από τις πλήρεις φιάλες και η ύπαρξη ειδικού συστήματος ελέγχου ώστε οι πλήρεις φιάλες να μην αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

- ✚ Οι φιάλες υγραερίου μίγματος πρέπει να διατηρούνται σε χώρο σκιερό, με καλό αερισμό, πάντα σε κατακόρυφη θέση, μακριά από φιάλες πεπιεσμένου οξυγόνου. Να αποφεύγεται η πτώση, το κτύπημα και η φθορά τους.
- ✚ Οι δεξαμενές υγραερίου μίγματος πρέπει να διατηρούνται σε εξωτερικούς χώρους ή πολύ καλά αεριζόμενους αποθηκευτικούς χώρους.
- ✚ Απαραίτητη η γείωση των δεξαμενών, η σήμανσή τους, η προληπτική επιθεώρησή τους και η χρήση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού αντιακρηκτικού τύπου.
- ✚ Οι χώροι όπου ευρίσκονται αποθηκευμένες μεγάλες ποσότητες υγραερίου μίγματος, πρέπει να διαθέτουν ειδική οργάνωση σε θέματα πρόληψης ατυχημάτων και περιορισμού των συνεπειών τους (συστήματα πυρόσβεσης, διαχείρισης ασφάλειας, σχέδια έκτακτης ανάγκης).

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΚΘΕΣΗ

- ✚ Η μέσω κλειστών συστημάτων παραγωγή και διακίνηση του υγραερίου μίγματος, ελαχιστοποιεί την πιθανότητα έκθεσης εκτός των περιπτώσεων αστοχίας. Η πιο επικίνδυνη οδός έκθεσης, θεωρείται η εισπνοή.
- ✚ Πιθανότητα επαγγελματικής έκθεσης: Σε περίπτωση διαφυγής προϊόντος κατά την παραγωγή, τη διακίνηση, τη φόρτωση καθώς και κατά την πλήρωση και μεταφορά του υπάρχει πιθανότητα εκτόξευσης κρύν σταγονιδίων και πρόκλησης κρούς εγκαύματος.
- ✚ Με την υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων ελέγχου ανάλογα με την περίπτωση (θέσπιση διαδικασιών, αερισμός, χρήση μέσων ατομικής προστασίας), επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση της έκθεσης.^[10]

ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- ✚ Ο καθαρισμός, η επιθεώρηση και η συντήρηση των δεξαμενών αποθήκευσης υγραερίου μίγματος, απαιτούν ειδικές διαδικασίες και προφυλάξεις όπως: έκδοση σχετικών αδειών εργασίας, άδειασμα δεξαμενών από το προϊόν (gas freeing), χρήση ζωνών ασφαλείας και ατομικών αναπνευστικών συσκευών αέρα.
- ✚ Δεν επιτρέπεται η είσοδος σε κλειστούς χώρους όταν η συγκέντρωση του διαθέσιμου οξυγόνου είναι <20% κ.ό.
- ✚ Απαιτείται φυσικός αερισμός ή σύστημα εξαερισμού ώστε να εξασφαλίζεται ότι η συγκέντρωση ατμών στον αέρα δεν υπερβαίνει το κατώτερο όριο εκρηκτικότητας (1.9% κ.ό.). Συνιστάται η εγκατάσταση συστημάτων ανίχνευσης εύφλεκτων αερίων.

ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- ✚ Το υγραέριο μίγμα δεν θεωρείται τοξικό. Χαρακτηρίζεται ως απλό ασφυξιογόνο.
- ✚ Σε περίπτωση επαφής του δέρματος με υγρό υγραέριο μίγμα, προκαλείται κρυοπάγημα.
- ✚ Κατά την επαφή σταγονιδίων υγρού υγραερίου μίγματος, επέρχεται ερεθισμός των ματιών συνοδευόμενος από θάμβωση και πόνο.
- ✚ Το υγραέριο μίγμα έχει ναρκωτική δράση.
- ✚ Έκθεση σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, επιφέρει σπασμούς και απώλεια αισθήσεων.
- ✚ Οι ατμοί του υγραερίου μίγματος, ως βαρύτεροι του αέρα, τείνουν να τον εκτοπίσουν, μειώνοντας τη συγκέντρωση του υπάρχοντος οξυγόνου για αναπνοή με κίνδυνο ασφυξίας σε περιπτώσεις διαφυγής μεγάλων ποσοτήτων.^[10]

3.2 Αναγκαιότητα εκπαίδευσης του προσωπικού

Τα πληρώματα των δεξαμενοπλοίων δεν είναι άνοσα στους κινδύνους που αντιμετωπίζουν όλοι οι ναυτικοί. Επιπλέον αντιμετωπίζουν άλλους κινδύνους λόγω της φύσης των φορτίων που μεταφέρονται.

Για αυτόν τον λόγο όλο το προσωπικό που εξυπηρετεί στα βυτιοφόρα πρέπει να εκπαιδευθεί πλήρως και να είναι κατάλληλο για την ειδίκευση του δεξαμενοπλοίου στο οποίο υπηρετούν. Πρέπει να γνωρίζουν πλήρως τις ιδιότητες και τις ιδιαιτερότητες των διάφορων φορτίων και να είναι ικανοί να δοκιμάσουν τον εξοπλισμό που παρέχεται για να ελαχιστοποιήσει τους κινδύνους.

Όλο πάρα πολύ συχνά, το γεγονός που δίνει αφορμή για έναν απλό τραυματισμό προσωπικού ή μια μεγαλύτερης κλίμακας καταστροφή είναι το αποτέλεσμα της άγνοιας ή των αμελών διαδικασιών. Η αυστηρή κατάρτιση, και οι δύο στην ξηρά και εν πλω, και η κατάλληλη χρήση του σωστού εξοπλισμού, έχουν αποδειχθεί για να ελαχιστοποιήσουν τέτοια γεγονότα.

Τα πληρώματα βυτιοφόρων τείνουν να είναι ειδικοί στον τύπο σκάφους επάνω στον οποίο υπηρετούν. Η ελεύθερη μετακίνηση του προσωπικού, στα βυτιοφόρα, από άλλες κατηγορίες σκάφους δεν πρέπει να ενθαρρυνθεί.^[10]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι θαλάσσιες μεταφορές, όπως προαναφέραμε, αποτελούν ένα σημαντικό τομέα της παγκόσμιας οικονομίας. Ειδικότερα, η μεταφορά εμπορευμάτων με πλοία συμβάλλει στην ανάπτυξη της οικονομίας και την ασφαλή διακίνηση εμπορευμάτων που θεωρούνται επικίνδυνα, όπως είναι τα υγραέρια.

Οι εφαρμογές των υγραερίων στη σημερινή εποχή και την καθημερινή μας ζωή είναι ποικίλες, γεγονός που έχει οδηγήσει σε αυξημένη ζήτηση και αύξηση της μεταφοράς τους με πλοία. Η μεταφορά των υγραερίων γίνεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή σε πολύ υψηλές πιέσεις. Για την ασφαλή μεταφορά υγραερίων χρησιμοποιούνται ειδικά κατασκευασμένα δεξαμενόπλοια, τα λεγόμενα υγραεριοφόρα.

Τα πρώτα υγραεριοφόρα κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1960 και από τότε έχουν σημειωθεί βελτιώσεις στην κατασκευή τους, κυρίως στον τύπο των δεξαμενών, με σκοπό τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια και την αποφυγή πιθανών διαρροών. Στις σύγχρονες θαλάσσιες μεταφορές υπάρχουν τα LNG (υγραεριοφόρα φυσικού αερίου) και τα LPG Gas tankers (υγραεριοφόρα πετρελαϊκού αερίου).

Οι δεξαμενές των πλοίων αυτών είναι ειδικά κατασκευασμένες από υλικά όπως κράματα νικελίου και χάλυβα, για να μπορούν να δέχονται φορτία με μεγάλη πίεση και με πολύ χαμηλή θερμοκρασία και ο τρόπος κατασκευής τους προβλέπεται από πολύ αυστηρούς κανονισμούς. Όπως παρουσιάσαμε στην εργασία μας, τα υγραεριοφόρα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους, τον εξοπλισμό τους και το βαθμό επικινδυνότητάς τους.

Συμπερασματικά, η μεταφορά υγραερίων με πλοία αποτελεί ένα μεγάλο τομέα της παγκόσμιας οικονομίας. Τα υγραεριοφόρα αποτελούν ειδικά κατασκευασμένα πλοία, τα οποία ναυπηγούνται κάτω από πολύ αυστηρές συνθήκες, που έχουν ως σκοπό τη μέγιστη ασφάλεια και την αποφυγή διαρροών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Λυγερός Α.Ι., Ph.D (1984). Πετρέλαιο – Παραγωγή – Δύλιση – Προϊόντα, «Handbook Butane-Propane Gases, 4th edition, published by CHILTON COMPANY».
- [2]: Κυριακοπούλου Γ.Β (1978). Τεχνολογία Καυσίμων, Η καύση Θεωρία και Εφαρμογή, ΕΜΠ.
- [3]: Γιαννόπουλος, Α. Γ. (1998). Θαλάσσιες Μεταφορές. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Παρατηρητής.
- [4]: Τζελέπη, Ν. (1988). Μεταφορά Εμπορευμάτων Δια Θαλάσσης. Περιστέρι.
- [5]: "Maritech News", (Δεξαμενόπλοιο αερίων).
- [6]: Βρόντος, Χ. (2006). Μεταφορές Εμπορευμάτων. Θεσσαλονίκη.
- [7]: Piciocchi R. (2006): ‘Gas Carriers’, ABS.
- [8]: McGuire and white: ‘Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals’, Sigto, 1996.
- [9]: Seamanship international: ‘LNG Operational Practice’, Witherbys Publishing, 2006.
- [10]: Ελληνικά Πετρέλαια Α.Ε. Δελτίο δεδομένων ασφάλειας υγραερίου μίγματος, Αναθεώρηση 5^η, Δεκέμβριος 2009.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΥΓΡΑΕΡΙΩΝ.....	6
1.1 Γενικά στοιχεία.....	6
1.2 Υγραέριο προπάνιο και υγραέριο μίγμα.....	6
1.3 Υγροποιημένα αέρια.....	8
1.4 Υγραέριο (LIQUEFIED PETROLEUM GAS: LPG).....	9
1.5 Παραγωγή υγροποιημένου αερίου.....	13
1.6 Φυσικά χαρακτηριστικά του υγραερίου.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΠΛΟΙΑ.....	13
2.1 Είδη και τρόποι μεταφοράς υγροποιημένου υγραερίου με πλοία.....	14
2.2 Τα υγραεριοφόρα πλοία και οι δεξαμενές τους.....	19
2.3. Κατηγορίες πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου υγραερίου.....	22
2.4 Terminal φόρτωσης - εκφόρτωσης.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΜΑΤΑ – ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΦΟΡΤΩΣΗ – ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	25
3.1 Προσδιορισμός των κινδύνων.....	25
3.2 Αναγκαιότητα εκπαίδευσης του προσωπικού.....	29
ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	30
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	32