

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: καπτ. Κωνσταντάκης Γεώργιος
ΘΕΜΑ: Μεταφορά Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου - LNG

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: Γιαννικουρή Μιχαήλ
Α.Γ.Μ: 3914

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:
Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>				
<i>2</i>				
<i>3</i>				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :

Περίληψη	4
-----------------------	----------

Κεφάλαιο 1

1.1. Η προέλευση και γενικά χαρακτηριστικά του υγροποιημένου φυσικού αερίου.	6
1.2. Η λύση της μεταφοράς του μέσω εμπορικών πλοίων.	6
1.3. Σύνθεση και οι χημικές ιδιότητες	8

Κεφάλαιο 2

2.1. Η συνεισφορά στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση.	10
2.2. Το φυσικό αέριο στην καθημερινότητα μας.	10
2.2.1. Ως καύσιμο για οχηματαγωγά.	10
2.2.2. Ως καύσιμο στις θαλάσσιες μεταφορές.	11
2.2.3. Η χρήση του στην βιομηχανία και στις τοπικές κοινότητες.	12

Κεφάλαιο 3

3.1. Μέθοδοι μεταφοράς φυσικού και υγροποιημένου αερίου.	13
3.1.1. Δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου.	13
3.1.2. Η αλυσίδα του υγροποιημένου φυσικού αερίου.	15
3.1.2.1. Εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου.	16
3.1.2.2. Μεταφορά μέσω πλοίων και διαδικασία επαναεριοποίησης.	17
3.1.2.3. Δεξαμενές Αποθήκευσης.	18
3.2. Οι κυριότεροι εξαγωγείς και εισαγωγείς στην αγορά του ΥΦΑ.	20

Κεφάλαιο 4

4.1. Η πρώτη μεταφορά μέσω πλοίου και η μετέπειτα ιστορική αναδρομή.	22
4.2. Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και κατηγοριοποίηση τους.	23
4.2.1. Κατηγοριοποίηση με βάση τα συστήματα δεξαμενών.	24
4.2.2. Κατηγοριοποίηση με βάση τα συστήματα πρόωσης.	28

Κεφάλαιο 5

5.1. Χειρισμός του φορτίου.	31
5.1.1. Το σχεδιάγραμμα του δικτύου φορτοεκφόρτωσης ενός πλοίου.	31
5.1.2. Οι κύριες επιχειρησιακές λειτουργίες του πλοίου.	32
5.1.3. Ο Τυπικός κύκλος του φορτίου.	33
5.2. Οι κίνδυνοι για την ασφάλεια και την υγεία του πληρώματος και ο ασφαλής χειρισμός του φορτίου.	35
5.2.1. Προστασία του προσωπικού.	36
5.2.2. Έκθεση με το φορτίο και σχετικοί κίνδυνοι.	36
5.2.3. Πιθανοί κίνδυνοι από μια διαρροή φορτίου στο πλοίο αλλά και στο περιβάλλον. ...	38

Κεφάλαιο 6

6.1.	Έγγραφα που συνοδεύουν το φορτίο του πλοίου.	41
6.2.	Θαλάσσιες εγκαταστάσεις τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου. . . .	45
6.2.1.	Σύστημα σύνδεσης βραχιόνων.	47
6.2.2.	Ακολουθία φορτοεκφόρτωσης.	48
6.2.3.	Πάγωμα των γραμμών και των σωληνώσεων (Line Cool Down)	49
6.2.4.	Αδρανοποίηση της ατμόσφαιρας εντός των βραχιόνων φορτοεκφόρτωσης (Purging of Loading Arms)	50
6.3.	Η Διαδικασία της Φόρτωσης (Loading Operation)	50
6.3.1.	Πλήρωση της δεξαμενής (Topping off)	52
6.3.2.	Αφερματισμός.	53
6.4.	Η Διαδικασία της Εκφόρτωσης (Discharging Operation)	53
6.5.	Η διαδικασία της αποστράγγισης και της εξαέρωσης (Draining & Purging Operation).	57
6.6.	Ημερολόγιο παρακολούθησης φορτοεκφόρτωσης (Cargo Operation Logbook).	57
6.7.	Εργασίες αμέσως μετά το πέρας της φορτοεκφόρτωσης.	58
6.8.	Περισσευόμενη ποσότητα φορτίου (Cargo heel)	60

Κεφάλαιο 7

7.1.	Σύστημα επείγουσας διακοπής λειτουργίας - Emergency Shutdown System (ESD). . .	62
7.2.	Έλεγχος και δοκιμή του συστήματος.	65
7.3.	Μπλοκάρισμα και παράκαμψη του συστήματος (Blocking & Override)	67

Κεφάλαιο 8

8.1.	Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου.	69
8.2.	Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου FLNG - FPSO (Floating Production Storage & Offloading)	70
8.2.1.	Τρόπος λειτουργίας.	70
8.2.2.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.	71
8.2.3.	Ιστορική αναδρομή.	72
8.3.	Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου FSRU (Floating Storage Regasification Unit)	73
8.3.1.	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα.	73
8.3.2.	Ιστορική αναδρομή.	74
8.3.3.	Μετατροπή πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου σε πλωτές εγκαταστάσεις FSRU.	74

Κεφάλαιο 9

9.1.	Στατιστικά στοιχεία επί του παγκόσμιου στόλου.	76
9.2.	Κορυφαίοι πλοιοκτήτες.	77
9.3.	Έλληνες πλοιοκτήτες και εφοπλιστές.	78

Βιβλιογραφία.	79
-----------------------	----

Περίληψη

Το θέμα αυτής της πτυχιακής είναι ο τομέας της μεταφοράς του υγροποιημένου αερίου· ένας τομέας, που βασίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό του στις θαλάσσιες μεταφορές και στην εμπορική ναυτιλία. Η πτυχιακή αυτή είναι δομημένη, ώστε, επιγραμματικά, να προσπαθήσουμε να καλύψουμε τα κύρια τμήματα του τομέα αυτού και να επικεντρωθούμε στην σύνδεση του με την εμπορική ναυτιλία. Το κείμενο, παρόλο, που περιέχει πολλούς τεχνικούς όρους έχει απλοποιηθεί και εξηγηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητό και από άτομα που δεν απασχολούνται στο τομέα της μεταφοράς του υγροποιημένου αερίου και της εμπορικής ναυτιλίας γενικότερα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, θα γίνει αναφορά στην προέλευση του υγροποιημένου αερίου, την σύνθεση του και τις χημικές ιδιότητες. Θα εξηγηθούν οι διαφορές μεταξύ της αέριας και της υγρής μορφής του φυσικού αερίου και πώς αυτές αξιοποιήθηκαν για την παγκόσμια μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω ειδικών εμπορικών πλοίων. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα δοθεί έμφαση στην συνεισφορά που έχει το φυσικό αέριο στο περιβάλλον και την θέση του ανάμεσα στις μορφές ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ τέλος θα γίνει μνεία στις χρήσεις που συναντάται στην καθημερινότητα μας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, θα γίνει εστίαση στους δύο διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς του φυσικού αερίου σε παγκόσμια κλίμακα, θα εξηγηθεί η αλυσίδα μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου, ενώ παράλληλα θα παρατεθούν οι χώρες, που δραστηριοποιούνται εμπορικά στο τομέα του φυσικού αερίου.

Από το τέταρτο κεφάλαιο και έπειτα, θα γίνει ειδίκευση στον τομέα της εμπορικής ναυτιλίας. Αρχικά, θα γίνει μία μικρή ιστορική αναδρομή από την πρώτη θαλάσσια μεταφορά υγροποιημένου φυσικού έως σήμερα, καθώς θα παρουσιαστούν οι τύποι πλοίων, που βρίσκονται εν ενεργεία και αποτελούν κομμάτι του παγκόσμιου στόλου. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα εξηγηθεί ο τυπικός χειρισμός του φορτίου σε ένα εμπορικό πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φορτίου, τις επιχειρησιακές λειτουργίες του πλοίου, τον κύκλο του φορτίου, ενώ θα γίνει αναφορά και σε όλους τους πιθανούς κινδύνους, που μπορεί να αντιμετωπίσει το πλήρωμα σε σχέση με αυτό. Στο έκτο κεφάλαιο, θα περιγραφούν αποκλειστικά η διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης, τα έγγραφα, που συνοδεύουν το φορτίο, οι τερματικοί σταθμοί και τα συστήματα τους και θα εξηγηθούν οι διαδικασίες, που διεξάγονται ανάλογα με το είδος της φόρτωσης ή εκφόρτωσης.

Στο έβδομο κεφάλαιο, θα γίνει μία ξεχωριστή αναφορά στο σύστημα επείγουσας διακοπής λειτουργίας και πώς η ύπαρξη του καθιστά τον τομέα της μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ως ένα από τους πιο ασφαλείς του χώρου, ελαχιστοποιώντας, στο ελάχιστο, τα όποια ατυχήματα δύνανται να προκύψουν .

Στο όγδοο κεφάλαιο, γίνεται ιδιαίτερη μνεία σε ένα καινοτόμο χώρο, αυτό των πλωτών εγκαταστάσεων, που αποτελούν κομμάτι του τομέα της μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου και τις λύσεις και τις ευκαιρίες, που έχουν δώσει στο παγκόσμιο τομέα της προσφοράς και ζήτησης φυσικού αερίου. Στο τελευταίο κεφάλαιο, θα παρατεθούν στατιστικά στοιχεία επί του παγκόσμιου στόλου, τους κυριότερους πλοιοκτήτες και την θέση και την ισχύ των Ελλήνων πλοιοκτητών και εφοπλιστών.

Η παρούσα πτυχιακή ολοκληρώθηκε κάτω από την επίβλεψη και καθοδήγηση του Πλοίαρχου καπτ. Κωνσταντάκη Γεώργιου. Βασίστηκε σε ένας εύρος πηγών, κυρίως έντυπης αγγλικής και ελληνικής βιβλιογραφίας, ενώ πάρθηκαν και αρκετά στατιστικά στοιχεία από έρευνες διεθνών οργανισμών και ινστιτούτων. Τέλος, οι γνώσεις και οι εμπειρίες που αποκόμισα, κατά την διάρκεια των δύο εκπαιδευτικών μου ταξιδιών σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και η αλληλεπίδραση μου με το έμπειρο και υψηλά καταρτισμένο πλήρωμα αξιωματικών και υπαξιωματικών, ήταν καταλυτικός παράγοντας για την ολοκλήρωση αυτή της πτυχιακής εργασίας.

Ο σπουδαστής,

Γιαννικουρής Μιχαήλ

Κεφάλαιο 1

1.1 Η προέλευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) ή όπως είναι πιο διαδεδομένο με βάση την αγγλική ορολογία του, LNG (Liquified Natural Gas) είναι μια ασφαλής, και φιλική προς το περιβάλλον, πηγή ενέργειας.

Παράγεται σε εγκαταστάσεις υγροποίησης κοντά σε πηγές αποθεμάτων φυσικού αερίου και μεταφέρεται κυρίως με εξιδεικευμένου τύπου εμπορικά πλοία. Στην συνέχεια, εξάγεται και εισάγεται μέσω τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Terminals) και παραδίδεται στις τοπικές αγορές. Το αέριο διανέμεται στους καταναλωτές σε υγρή ή αέρια μορφή. Πολλές χώρες εξάγουν ή εισάγουν φυσικό αέριο μέσω πλοίων. Η περίπτωση των ΗΠΑ αποτελεί μια ιδιόμορφη εξαίρεση καθώς κάνει και τα δύο.

Το φυσικό αέριο είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων, το οποίο, όταν υγροποιείται, σχηματίζει ένα διαυγές άχρωμο και άοσμο υγρό. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε σόμπες αερίου, οικιακούς θερμαντήρες και ηλεκτρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Όταν ζεσταθεί πάλι, επιστρέφει στην αέρια του μορφή.

Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (90%) με προσμίξεις αιθανίου, προπάνιου, βουτανίου, αζώτου και μικρής ποσότητας αλκαλικών που έχουν συμπυκνωθεί σε ένα κρυογονικό υγρό μέσω ειδικής διαδικασίας υγροποίησης σε περίπου $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης προς διευκόλυνση στην αποθήκευση και στην μεταφορά του.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο συμπιέζεται σε ένα μικρό κλάσμα σε σχέση με τον αρχικό όγκο της αέριας μορφής του (περίπου το 1/600), κατά την διαδικασία της υγροποίησης. Η διαδικασία αυτή μειώνει τον όγκο του φυσικού αερίου, καθιστώντας το πολύ πιο οικονομικό για τη μεταφορά του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί ένα εύφλεκτο μείγμα και εξαιρετικά επικίνδυνο, εάν δεν διαχειριστεί και αντιμετωπιστεί με το σωστό τρόπο.

1.2 Η λύση της μεταφοράς του μέσω εμπορικών πλοίων

Το ΥΦΑ δεν αναφλέγεται από μόνο του, καθώς χρειάζεται να είναι σε μορφή ατμού (Vapour) και να αναμειχθεί με ατμοσφαιρικό αέρα, για να προκύψει καύση. Το συγκεκριμένο μείγμα, όμως, είναι εύφλεκτο, εάν το ποσοστό όγκου του αέρα επί του μείγματος κυμαίνεται ανάμεσα στην

περιοχή 5% έως 15%. Εάν αυτό το εύφλεκτο μείγμα βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο (όπως κάθε τύπου δεξαμενές), αυτό θα εκραγεί βίαια. Το ΥΦΑ, επειδή είναι μια κρυογονική ουσία, οποιαδήποτε διαρροή ή επαφή με αυτό αποτελεί κίνδυνο τόσο για το προσωπικό αλλά και τα ελάσματα, με τα οποία θα έρθει σε επαφή. Επίσης μπορεί να προκαλέσει ασφυξία.

Το κύριο συστατικό του είναι το μεθάνιο, το οποίο εάν εισαχθεί άμεσα σε μια δεξαμενή φορτίου, η οποία βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αυξάνει ταχέως την εσωτερική πίεση της δεξαμενής και καθιστά την ατμόσφαιρα της εύφλεκτη. Επιπλέον, η δεξαμενή ψύχεται γρήγορα, προκαλώντας τεράστια θερμική πίεση στα ελάσματα αλλά και στις σωληνώσεις. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά οι προπαρασκευαστικές εργασίες, κατά τη φορτοεκφόρτωση.



Πλοίο μεταφοράς (ΥΦΑ) με δεξαμενές φορτίου που βρίσκονται κάτω από κατάστρωμα.
(Δεξαμενές Μembrανών)

Το ΥΦΑ δεν είναι τόσο πυκνό όσο το πετρέλαιο και για αυτό απαιτεί διπλάσιο ή και τριπλάσιο χώρο για τις δεξαμενές φορτίου ενός πλοίου. Για να εξοικονομήσουν χώρο μερικοί Νορβηγοί ναυπηγοί, τοποθέτησαν τις δεξαμενές σε χώρους, που εκτείνονται ακόμα και κάτω από το ακομοδέσιο του πλοίου, ενώ άλλοι ναυπηγοί τις τοποθετούν και επί του καταστρώματος.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO) δεν έχει εκδώσει κάποια σχετική οδηγία σχετικά με το χώρο τοποθέτησης των δεξαμενών. Στη πλειονότητα των σημερινών πλοίων μεταφοράς LNG, οι δεξαμενές τους αποτελούν μέρος του ανώτερου καταστρώματος, το οποίο είναι ελαφρώς ανυψωμένο από το κύριο κατάστρωμα, έχοντας τις δεξαμενές φορτίου πλήρως προστατευμένες από κάτω του.

1.3 Σύνθεση και οι χημικές ιδιότητες

Η σύνθεση του ΥΦΑ ποικίλλει ανάλογα με την πηγή του, αλλά και τη διαδικασία υγροποίησης. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις το κύριο συστατικό θα είναι το μεθάνιο με μικρά ποσοστά βαρύτερων υδρογονανθράκων, όπως αιθανίου, προπανίου, βουτανίου, πεντανίου αλλά και μικρών ποσοτήτων αζώτου επί του μείγματος.

Ωστόσο, για σκοπούς, όπως η μεταφορά και η διαχείριση του, όταν απαιτείται ο ακριβής υπολογισμός της θερμογόνου αξίας και πυκνότητας του μείγματος, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες ιδιότητες με βάση την πραγματική ανάλυση των συστατικών του φορτίου.

Κατά τη διάρκεια ενός θαλάσσιου ταξιδιού, θερμότητα μεταφέρεται στο ΥΦΑ μέσω της μόνωσης των δεξαμενών φορτίου, προκαλώντας τη βράση και την εξάτμιση μέρους του φορτίου, το λεγόμενο και ως «Boil Off». Το φορτίο αυτό μετατρέπεται σε αέρια μορφή ατμού και καταλαμβάνει χώρο στο πάνω μέρος του φορτίου και της δεξαμενής. Το ατμοποιημένο αυτό φορτίο λέγεται BOG (Boil Off Gas).

Η σύνθεση του ΥΦΑ μεταβάλλεται με αυτή τη βράση, επειδή τα ελαφρύτερα συστατικά, που έχουν χαμηλότερα σημεία βρασμού στην ατμοσφαιρική πίεση, εξατμίζονται πρώτα. Ως αποτέλεσμα, το φορτίο, που παραδίδεται, έχει χαμηλότερη ποσοστιαία περιεκτικότητα αζώτου και μεθανίου, από εκείνο που φορτώθηκε στην αρχή του ταξιδιού, και ένα ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, λόγω αυτής της εξάτμισης.

Προέλευση	Αζωτο [mol%]	Μεθάνιο [mol%]	Αιθάνιο [mol%]	Προπάνιο [mol%]	Βουτάνιο και άλλοι υψηλότεροι υδρογονάνθρακες [mol%]
Αλγερία	0.71	88.92	8.41	1.59	0.37
Νιγηρία	0.03	91.70	5.52	2.17	0.58
Νορβηγία	0.46	92.03	5.75	1.31	0.45
Κατάρ	0.27	90.90	6.43	1.66	0.74
Τρινιτάντ & Τομπάγκο	0.01	96.78	2.78	0.37	0.06

Πίνακας τυπικής σύστασης ΥΦΑ μεταξύ βασικών παραγωγών κρατών

Το εκρηκτικό εύρος του μεθανίου στον ατμοσφαιρικό αέρα (21% οξυγόνο) είναι περίπου 5,3 έως 14% (κατ' όγκο). Όταν ένα πλοίο έχει άδειες δεξαμενές είτε μετά από την ναυπήγηση του είτε μετά από δεξαμενισμό του, ο αέρας εντός των δεξαμενών πρέπει να αραιωθεί με άζωτο, έως ότου το οξυγόνο μειωθεί σε 2% πριν από τη πρώτη φόρτωση.

Οι υδρατμοί του ΥΦΑ είναι ελαφρύτεροι από τον αέρα, σε θερμοκρασία πάνω από -110 °C ανάλογα και με τη σύνθεση του μείγματος. Επομένως, όταν ο ατμός εξαερίζεται στην ατμόσφαιρα μέσω των εξαεριστικών των δεξαμενών, οι ατμοί θα συγκεντρωθούν στην περιοχή από πάνω τους και όταν ο κρύος αυτός ατμός αναμειχθεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα, θα εμφανιστεί ως ένα ευδιάκριτο λευκό σύννεφο λόγω της συμπύκνωσης της υγρασίας στον αέρα. Το εύφλεκτο εύρος του συγκεκριμένου μείγματος ατμών - αέρα δεν εκτείνεται σημαντικά πέρα από την περίμετρο του λευκού νέφους.

Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του μεθανίου, δηλαδή η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία πρέπει να θερμανθεί το αέριο, για να προκαλέσει αυτοδιατηρούμενη καύση χωρίς ανάφλεξη με σπινθήρα ή φλόγα, είναι 595 °C.

Ιδιότητες	Μη-Κατεργασμένο Φυσικό Αέριο	Κατεργασμένο Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο
Σχετική μοριακή μάζα	20	16
Περιεχόμενο σε άνθρακα (wt %)	73	75
Περιεχόμενο σε υδρογόνο (wt %)	27	25
Περιεχόμενο οξυγόνο (wt %)	0.4	0
Πυκνότητα σε σχέση με τον αέρα στους 15°C	1.5	0.6
Σημείο βρασμού (°C/ 1 atm)		-162
Αριθμός μεθανίου	69	99
Όριο ανάφλεξης ατμών (% κ.ο)	5	15
Όριο ανάφλεξης	0.7	2.1

Οι φυσικές ιδιότητες του μη κατεργασμένου φυσικού αερίου σε αντιπαράθεση με του κατεργασμένου υγροποιημένου φυσικού αερίου

Κεφάλαιο 2

2.1 Η συνεισφορά στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση

Η καύση του φυσικού αερίου δεν εκπέμπει αιθάλη, σκόνη ή αναθυμιάσεις. Παράγει 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από τα πετρελαιοειδή καύσιμα και 45% λιγότερο σε σχέση με τον άνθρακα. Επίσης, έχει μειωμένες εκπομπές οξειδίου του αζώτου (NO_x) κατά 50% από τα προαναφερθέντα, ενώ έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) μιας ιδιαιτέρως περιβαλλοντικά επιβλαβούς ουσίας.

Αυτές οι ιδιότητες του σε συνδυασμό με την ενεργειακή απόδοσή του αλλά και τα άφθονα αποθεματικά του, που διανέμονται σε όλο τον κόσμο, το καθιστούν ως μια μορφή ενέργεια του μέλλοντος. Το 2035 η χρήση φυσικού αερίου αναμένεται να αντιστοιχεί στο 25% του παγκόσμιου ενεργειακού χαρτοφυλακίου, δηλαδή σε ζήτηση ύψους 5,5 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων σημειώνοντας σημαντική αύξηση σε σχέση με το 21% που βρίσκεται σήμερα.

Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων του 21^{ου} αιώνα, ιδίως για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και την προστασία του περιβάλλοντος, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε ένα πλαίσιο δράσεων με στόχο, πιο συγκεκριμένα, την επίτευξη ενός στόχου μείωσης κατά 40% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030 (σε σύγκριση με το 1990), μαζί με ένα σύνολο μέτρων, που αποσκοπούν στην μείωση των ρυπογόνων εκπομπών στο σύνολο τους. Το φυσικό αέριο, εκτός από εξαιρετική καύσιμη ύλη, αποτελεί, επίσης, μια αρκετά καλή συμπληρωματική λύση στο πλαίσιο ενός ενεργειακού μίγματος με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, βιομάζα) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμων.

2.2 Το φυσικό αέριο στην καθημερινότητα μας

2.2.1 Ως καύσιμο για οχηματαγωγά

Σύμφωνα με το γαλλικό Εθνικό Ινστιτούτο Στατιστικής και οικονομικών μελετών σε μελέτη του το 2012, οι οδικές μεταφορές αντιπροσώπευαν το 85% της μεταφοράς εμπορευμάτων στην χώρα, καθιστώντας τον τομέα αυτό υπεύθυνο για το ένα τρίτο σχεδόν των εκπομπών CO₂ της χώρας.

Η ανάπτυξη του φυσικού αερίου ως καυσίμου, είτε σε αέρια μορφή (υγραέριο) για αστικές μεταφορές ή σε μικρές αποστάσεις, είτε σε υγροποιημένη μορφή για περιφερειακές και υπεραστικές μεταφορές (ΥΦΑ), θεωρείται ως μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση για την επίτευξη των νέων περιβαλλοντικών στόχων που έχει θέσει η παγκόσμια κοινότητα.

Το φυσικό αέριο καθιστά δυνατή τη συμμόρφωση με τα νέα περιβαλλοντικά πρότυπα, αφού σε σύγκριση με το ντίζελ, το καύσιμο φυσικού αερίου έχει μειωμένες εκπομπές κατά 25% του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), κατά 80% οξειδίου του αζώτου (NO_x) και κατά 97% των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO), ενώ κοστίζει και σημαντικά λιγότερο σε σχέση με το ντίζελ. Τέλος, τα οχήματα, που κινούνται με ΥΦΑ είναι κατά 50% λιγότερο θορυβώδη από τα αντίστοιχα οχήματα, που κινούνται με πετρελαιοκίνητα καύσιμα, ανακουφίζοντας σημαντικά τις αστικές περιοχές από τα φαινόμενα ηχορύπανσης.

2.2.2 Ως καύσιμο στις θαλάσσιες μεταφορές

Η χρήση βαρέος καυσίμου (Heavy Fuel Oil - HFO) ως θαλάσσιο καύσιμο έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς οι εκπομπές θείου είναι 10.000 φορές υψηλότερες σε σχέση με το ντίζελ. Η χρήση του ευθύνεται σχεδόν για το 14% των παγκόσμιων εκπομπών θείου στην ατμόσφαιρα.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός και η Ευρωπαϊκή Ένωση εφάρμοσαν αυστηρότερους κανονισμούς, μειώνοντας τα όρια περιεκτικότητας του θείου επί των θαλάσσιων καυσίμων στα ύδατα σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, η υιοθέτηση της οδηγίας 2012/33/ΕΕ επιβάλλει ανώτατο όριο εκπομπής θείου για τα πλοία ύψους 0,1% σε ειδικές περιοχές (περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου): Βαλτική θάλασσα, Μάγχη και βόρεια θάλασσα, από την 1η Ιανουαρίου 2015, και 0,5% για όλα τα άλλα ευρωπαϊκά ύδατα από το 2020 ή 2025. Αυτή η οδηγία τοποθετεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως μία από τις λύσεις για το μέλλον των θαλάσσιων εμπορικών στόλων. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, το ΥΦΑ αντιπροσωπεύει: μείωση κατά 25% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), 90% των εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NO_x), και σχεδόν 100% σε θείο (SO₂) και εκπομπές μικρών ρυπογόνων σωματιδίων.

Εκτός από τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το ΥΦΑ είναι η κύρια ενέργεια, που προσφέρει τις καλύτερες θερμοδυναμικές αποδόσεις και, ως εκ τούτου, την καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Ειδικότερα, το κόστος του είναι σημαντικά ανταγωνιστικότερο από εκείνο των

αντιστοίχων άλλων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, όπως το θαλάσσιο πετρέλαιο αερίου. (Marine Gas Oil - MGO). Επί του παρόντος, η μεγάλη πλειονότητα των πλοίων που κινούνται με υγραέριο βρίσκονται στη Νορβηγία, ενώ υπάρχει μικρή και σταθερή χρήση του και σε αλιευτικά κυρίως σκάφη και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως τη Δανία, τη Σουηδία, τη Φινλανδία, την Ολλανδία, το Βέλγιο και τη Γερμανία.

2.2.3 Η χρήση του στην βιομηχανία και στις τοπικές κοινότητες

Οι χρήσεις του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν περιορίζονται μόνο στις θαλάσσιες ή οδικές μεταφορές. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την προμήθεια βιομηχανικών χώρων ή τοπικών κοινοτήτων, που συνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου. Οι τοπικές κοινότητες αλλά και τα ιδιωτικά νοικοκυριά ψάχνουν διαρκώς τρόπους να περιορίζουν τα έξοδα τους, αναζητώντας μια οικονομικά σταθερή και προσιτή πηγή ενέργειας. Το ΥΦΑ είναι, επίσης, μια εναλλακτική λύση σε σχέση με το πετρέλαιο και τον άνθρακα, ακόμα και στον τομέα της βιομηχανίας, επιτρέποντας στους επιχειρηματίες να κάνουν εξοικονόμηση, όσον αφορά τόσο το κόστος προμήθειας ενέργειας όσο και το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού. Επιπρόσθετα, τούς επιτρέπει να συμμορφωθούν σύμφωνα με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς κανονισμούς, οι οποίοι χρόνο με τον χρόνο γίνονται ακόμη πιο αυστηροί.

Στην Ευρώπη, περίπου το 25% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα. Αυτοί μπορούν να μετατρέψουν μόνο το 33% με 45% της ενέργειας, που παράγεται από την καύση σε ηλεκτρισμό. Συγκριτικά, ένα εργοστάσιο που τροφοδοτείται από φυσικό αέριο και όχι από άνθρακα συνδέεται με: μείωση κατά 81% του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), κατά 8% του οξειδίου του αζώτου (NO_x), και σχεδόν κατά 100% σε θείο (SO₂) και εκπομπές μικρών ρυπογόνων σωματιδίων.

Οι χαμηλότερες επιπτώσεις του φυσικού αερίου στο περιβάλλον είναι τέτοιες ώστε, εάν αντικατασταθούν οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα από θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, που τροφοδοτούνται αποκλειστικά με φυσικό αέριο, οι εκπομπές CO₂ του ευρωπαϊκού ενεργειακού τομέα θα μειωθούν κατά 60% και το 20% σε παγκόσμια κλίμακα.

Κεφάλαιο 3

3.1 Μέθοδοι μεταφοράς φυσικού και υγροποιημένου αερίου

Το φυσικό αέριο μπορεί να μεταφερθεί σε παγκόσμια κλίμακα μέσω δύο διαφορετικών τρόπων. Αυτοί βασίζονται αποκλειστικά στην φύση, στην οποία θα βρίσκεται αυτό και στο αν θα είναι σε αέρια ή υγρή. Στην πρώτη περίπτωση μεταφέρεται μέσω εκτεταμένων δικτύων χερσαίων ή μη αγωγών και στην δεύτερη μέσω της αλυσίδας μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

3.1.1 Δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου

Οι επίγειοι αγωγοί συνεχίζουν να είναι ο προτιμώμενος τρόπος μεταφοράς του φυσικού αερίου, παρά την αύξηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου τα τελευταία χρόνια. Το δίκτυο αγωγών, όμως, μπορεί να διέρχεται από παραπάνω από μία χώρες εγείροντας πολύπλοκα γεωπολιτικά προβλήματα. Παρόλο που το ποσοστό μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω πλοίων αυξάνεται συνεχώς, οι αγωγοί εξακολουθούν να είναι ο κύριος τρόπος μεταφοράς του φυσικού αερίου, ιδίως μεταξύ χωρών εντός της ίδιας γεωγραφικής περιοχής.



Η αφετηρία του δικτύου αγωγών Qatargas, στην χώρα του Κατάρ

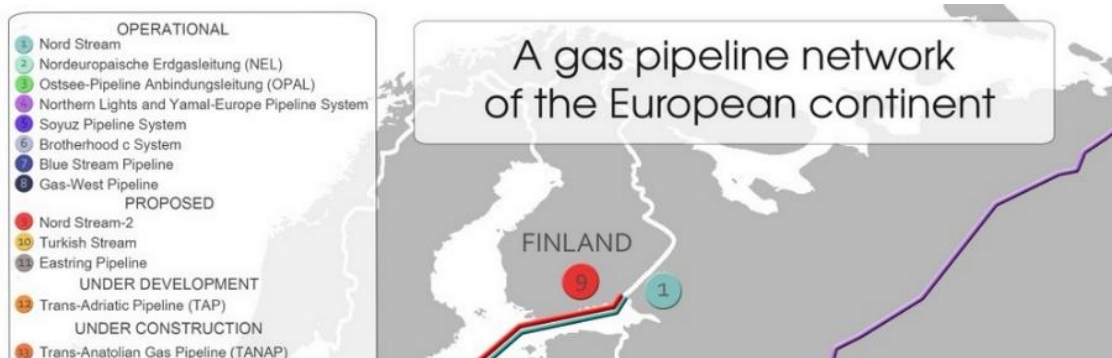
Υπάρχουν δύο τύποι αγωγών αερίου:

- Οι χερσαίες σωληνώσεις, όπως εκείνες του το ρωσικού δικτύου, το οποίο εκτείνεται σε απόσταση σχεδόν 160.000 χιλιόμετρα και το οποίο είναι το μακρύτερο στον κόσμο.
- και οι υποθαλάσσιες σωληνώσεις, όπως εκείνες, που συνδέουν τα βορβηγικά αποθέματα φυσικού αερίου με ευρωπαϊκούς τερματικούς σταθμούς, ή τη Βόρεια Αφρική.

Μεγάλο μειονέκτημα του δικτύου αγωγών είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, για λόγους ασφαλείας, οι αγωγοί αερίου βρίσκονται ως επί το πλείστο κάτω από το έδαφος. Επιπλέον, το φυσικό αέριο πρέπει να συμπιέζεται από σταθμούς συμπίεστών, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι ανά 120 με 150 χιλιόμετρα, ώστε να εξασφαλιστεί ότι κινείται μέσα στο δίκτυο με ταχύτητα 15 έως 20 χιλιομέτρων ανά ώρα. Σε ενδοπεριφερειακό επίπεδο, περισσότερα από τα τρία τέταρτα της συνολικής μεταφερόμενης ποσότητας γίνεται μέσω αγωγών αερίου.

Σε αντίθεση με το υγροποιημένο φυσικό αέριο, το οποίο μπορεί να μεταφερθεί μέσω θαλάσσης οπουδήποτε, το φυσικό αέριο μέσω του δικτύου αγωγών μεταφέρεται αποκλειστικά από μια τοποθεσία σε μία άλλη, σύμφωνα με τις κατασκευασμένες γραμμές. Σε ορισμένες περιοχές, το τραχύ έδαφος, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες αλλά και οι πολιτικές συνθήκες καθιστούν αδύνατη τη δημιουργία ή την επέκταση ενός αγωγού.

Για τους λόγους αυτούς, η δημιουργία αγωγών αερίου και η επιλογή των διαδρομών τους μπορεί να έχουν μείζονες γεωπολιτικές επιπτώσεις, όπως καταδεικνύουν οι αγωγοί, που προμηθεύουν την Ευρώπη με φυσικό αέριο από τη Ρωσία. Για δεκαετίες, το 80% του ρωσικού αερίου μεταφερόταν μέσω της Ουκρανίας, το οποίο εκείνη την εποχή αποτελούσε αναπόσπαστο τμήμα της Σοβιετικής Ένωσης. Ωστόσο, μέχρι το 2015, το μερίδιο αυτό μειώθηκε στο 50% και θα μπορούσε τελικά να μειωθεί σε μόλις 25% λόγω των συνεχιζόμενων πολιτικών εντάσεων μεταξύ των δύο χωρών. Ως αποτέλεσμα, η Ρωσία έχει αναγκαστεί να παρακάμψει την Ουκρανία τόσο στο Βορρά, κάτω από τη Βαλτική θάλασσα, όσο και στο νότο, μέσω της Τουρκίας.



Το υπάρχον, προτεινόμενο και υπό κατασκευή ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου.

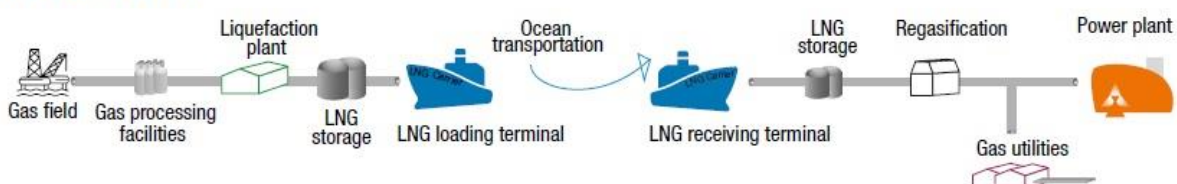
3.1.2 Η αλυσίδα του υγροποιημένου φυσικού αερίου

Η μεταφορά του υγροποιημένου αερίου βασίζεται σε μια σειρά από στάδια από το αρχικό στάδιο της εξόρυξης μέχρι την τελική κατάληξη του στο δίκτυο διανομής.

- Η αλυσίδα ΥΦΑ ξεκινά με την παραγωγή φυσικού αερίου.
- Το αέριο επεξεργάζεται και εισέρχεται στην εγκατάσταση υγροποίησης.
- Εκεί υγροποιείται.
- Το ΥΦΑ φυλάσσεται σε κατάλληλα κατασκευασμένες δεξαμενές ξηράς.
- Μέχρι να φθάσει ένα πλοίο για να φορτώσει και να μεταφέρει το προϊόν.

----- Ακολουθεί το ταξίδι του πλοίου και η θαλάσσια μεταφορά του φορτίου-----

LNG value chain



- Το πλοίο φτάνει στο σταθμό εκφόρτωσης.
- Το ΥΦΑ φυλάσσεται σε κατάλληλα κατασκευασμένες δεξαμενές ξηράς.
- Το υγροποιημένο αέριο εισέρχεται στην εγκατάσταση επαναεριοποίησης.
- Μεταφέρεται μέσω του δικτύου διανομής.

3.1.2.1 Εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου

Προσφέροντας έναν ευέλικτο τρόπο μεταφοράς, το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να παρακάμψει τους περιορισμούς μεταφοράς, τους οποίους έχουν οι χερσαίοι και υποθαλάσσιοι αγωγοί φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο υγροποιείται, όταν ψύχεται σε θερμοκρασία περίπου -160°C , μια θερμοκρασία που ποικίλλει ελαφρώς ανάλογα με την σύσταση του μείγματος του αερίου. Το αέριο μεταφέρεται μέσω ενός αγωγού αερίου από την περιοχή παραγωγής σε μια κοντινή μονάδα υγροποίησης όπου υφίσταται διάφορες διεργασίες.

Το εισερχόμενο αέριο καθαρίζεται, σε πρώτη φάση, για να αφαιρεθούν ουσίες, όπως το νερό και ο υδράργυρος, προκειμένου να συμμορφωθεί με τις προδιαγραφές της αγοράς και να προετοιμαστεί για το επόμενο βήμα της υγροποίησης. Μετά το αρχικό στάδιο ψύξης, το αέριο υφίσταται απόσταξη, για να διαχωριστεί από υδρογονάνθρακες, όπως προπάνιο και βουτάνιο, τα οποία είναι υγροποιημένα αέρια πετρελαίου και χρησιμοποιούνται ως καύσιμα αυτοκινήτων.

Στη συνέχεια, το αέριο διοχετεύεται μέσω αρκετών εναλλακτών θερμότητας, όπου ψύχεται σε στάδια πριν από την υγροποίηση του. Η ψύξη λαμβάνει χώρα σε κλειστό κύκλωμα χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα υγρά υδρογονανθράκων ως ψυκτικό. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση ονομάζεται και ως «τρένο υγροποίησης» (liquefaction train). Σε συνθήκες περιβάλλοντος, το υγροποιημένο φυσικό αέριο καταλαμβάνει περίπου 600 φορές λιγότερο χώρο από ο, τι σε αέρια κατάσταση, διατηρώντας παράλληλα τις ίδιες ιδιότητες: είναι άχρωμο, μη τοξικό και μη εύφλεκτο ελλείψει οξυγόνου. Το υγροποιημένο αέριο αποθηκεύεται σε μεγάλες δεξαμενές σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και στη συνέχεια φορτώνεται σε πλοία.



Η εγκατάσταση τρένου υγροποίησης της Chenier στο Sabine Pass των ΗΠΑ

3.1.2.2 Μεταφορά μέσω πλοίων και διαδικασία επαναεριοποίησης

Μόλις υγροποιηθεί, το φυσικό αέριο φορτώνεται σε ειδικά σχεδιασμένα πλοία που ονομάζονται μεταφορείς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG Carriers). Επειδή το φυσικό αέριο είναι από την φύση του άοσμο, προστίθεται πριν την τελική μεταφορά μια χημική ένωση έτσι ώστε ενδεχόμενες διαρροές να μπορούν εύκολα να εντοπιστούν βάση της έντονης οσμής του. Τα συγκεκριμένα πλοία είναι διπλού τοιχώματος και έχουν ολικό μήκος μεταξύ 200-350 μέτρων ενώ έχουν καθαρή χωρητικότητα έως και 260.000 κυβικά μέτρων ΥΦΑ.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πλοίων ΥΦΑ που χρησιμοποιούνται την σημερινή εποχή

- Πλοία με μονωμένες σφαιρικές δεξαμενές αλουμινίου, που προεξέχουν από το κατάστρωμα. (Δεξαμενές τύπου Moss)
- Πλοία με δεξαμενές μεμβρανών, οι οποίες αποτελούν μέρος της δομής διπλού τοιχώματος του πλοίου. (Membrane Tanks)

Παρά την ποιότητα του συστήματος μόνωσης της δεξαμενής, ένα ορισμένο ποσό του φορτίου θερμαίνεται, εξατμίζεται και επιστρέφει σε αέρια κατάσταση στην οροφή της κλειστής δεξαμενής. Το ποσοστό αυτό του βρασμού (boil-off) ανέρχεται σε περίπου 0,15% επί του συνολικού όγκου του

φορτίου ανά ημέρα. Οι ατμοποιήσεις αυτές ανακτώνται και χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των μηχανών του πλοίου. Τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ λειτουργούν, συντηρούνται και επανδρώνονται με τα υψηλότερα πρότυπα ασφαλείας. Τα μέλη του πληρώματος παρακολουθούν στενά τη

θερμοκρασία και την πίεση, ελέγχουν την παρουσία οξυγόνου και εφαρμόζουν αυστηρές διαδικασίες επιθεώρησης δεξαμενών.

Όταν το πλοίο φθάσει στο τερματικό σταθμό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο εκφορτώνεται και αποθηκεύεται σε μεγάλες δεξαμενές σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Στην συνέχεια, αντλείται από τις δεξαμενές υπό συνεχή πίεση, θερμαίνεται είτε μέσω ατμού είτε μέσω θαλασσινού νερού και επιστρέφει στην αέρια μορφή του. Επειδή το φυσικό αέριο είναι άοσμο, βοηθητικά προγράμματα προσθέτουν μια ειδική χημική ένωση (tetrahydrothiophene (tht) ή thiolane (tht)) έτσι, ώστε οι διαρροές να μπορούν εύκολα να εντοπιστούν. Το αέριο μετά είναι έτοιμο για να διατεθεί στο δίκτυο μεταφοράς.

3.1.2.3 Δεξαμενές Αποθήκευσης

Όπως κάνουν και με το πετρέλαιο, οι βιομηχανικές χώρες διατηρούν ένα στρατηγικό απόθεμα φυσικού αερίου, για να διασφαλίσουν την αδιάλειπτη παροχή του σε περίπτωση επείγουσας κατάστασης. Η αποθήκευση είναι, επίσης, ένας τρόπος προσαρμογής της προσφοράς για να ανταποκριθεί στις διακυμάνσεις της ζήτησης.



Δεξαμενές αποθήκευσης φυσικού αερίου.

Η κατανάλωση φυσικού αερίου ποικίλλει ανάλογα με την εποχή αλλά και από τις ανάγκες θέρμανσης. Η αποθήκευση είναι, επομένως, απαραίτητη για την ευθυγράμμιση της προσφοράς με

την πραγματική ζήτηση. Από τη στιγμή που φθάνει στο τερματικό σταθμό μέχρι τη στιγμή που αντλείται στο δίκτυο διανομής, το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε γιγαντιαία δεξαμενές, αλλά αυτό δεν αποτελεί μια μακροπρόθεσμη μέθοδος αποθήκευσης. Μια λύση είναι να φυλάσσεται το αέριο σε φυσικές υπόγειες δεξαμενές, σε παρεμφερείς συνθήκες όπως κι αν φυλάσσονταν σε τεχνητές δεξαμενές.

Υπάρχουν τρεις βασικές τεχνικές υπόγειας αποθήκευσης αερίου:

Δεξαμενή υδροδότησης: το αέριο εισάγεται σε ένα πορώδες υπόγειο σχηματισμό βράχων, που περιέχει νερό και υπερκαλύπτεται με ένα αδιαπέραστο καπάκι βράχου, που λειτουργεί ως στεγανό κάλυμμα.

Σπήλαιο αλατιού: ένα μεγάλο, τεχνητό υπόγειο σπήλαιο δημιουργείται με την άντληση φρέσκου νερού σε ιζηματογενές βράχο που αποτελείται από βράχο αλάτι (Κρύσταλλοι χλωριούχου νατρίου). Το πέτρινο αλάτι είναι φυσικά αδιαπέραστο, καθιστώντας το κατάλληλο για την αποθήκευση αερίου.

Δεξαμενή εξάντλησης: το αέριο εισάγεται σε εξαντλημένα πηγάδια πετρελαιοειδών και πετρελαιοφυσικού αερίου, τα οποία είναι αδιαπέραστα.

Το 2015, υπήρχαν περίπου 680 υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου (UGS) παγκοσμίως, με συνολικό όγκο αποθήκευσης που έφτασε στο 10% της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης. Οι περισσότερες από αυτές βρίσκονται σε τρεις μεγάλες αγορές: της Βόρειας Αμερικής, της Ευρώπης και της Ρωσίας και στις κύριες χώρες παραγωγής αερίου της Κεντρικής Ασίας.

3.2 Οι κυριότεροι εξαγωγείς και εισαγωγείς στην αγορά του ΥΦΑ

Παρακάτω θα αναφερθούν τα κυριότερα κράτη στο τομέα του υγροποιημένου φυσικού αερίου, αλλά και στην παγκόσμια αγορά. Θα τα ταξινομηθούν χρονολογικά σε σχέση με την είσοδο τους στην

αγορά με την εγκατάσταση τερματικών υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ξεχωριστό παράδειγμα είναι αυτό, των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, που εισάγει και εξάγει ταυτόχρονα φυσικό αέριο, φαινόμενο που οφείλεται κυρίως στο τρόπο οργάνωσης και διαίρεσης της χώρας (σε πολιτειακά κράτη) παρά στους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης. Παραλείφθηκε η αναφορά του όρου «παραγωγός», διότι δεν είναι απαραίτητο μία χώρα να έχει δική της παραγωγή φυσικού αερίου, για να το εξάγει. Η Αίγυπτος αποτελεί ένα τέτοιο παράδειγμα, καθώς εισάγει φυσικό αέριο από την παγκόσμια αγορά και το μεταπωλεί λόγω της στρατηγικής της γεωπολιτικά θέσης στην γύρω περιοχή. Η Ελλάδα σκοπεύει να ακολουθήσει το ίδιο παράδειγμα με το σχέδιο κατασκευής τερματικού σταθμού υγροποιημένου φυσικού αερίου στην πόλη της Αλεξανδρούπολης.

Κυριότεροι Εξαγωγείς ΥΦΑ:

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (1969), Λιβύη (1970), Αλγερία (1971), Μπρουνέι (1972), Ινδονησία (1977), Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (1977), Μαλαισία (1983), Αυστραλία (1989), Κατάρ (1997), Νιγηρία (1999), Τρινιτάντ και Τομπάγκο (1999), Ομάν (2000), Αίγυπτος (2004), Ισημερινή Γουινέα (2007), Νορβηγία (2007)

(Η χρονολογία στην παρένθεση αντιστοιχεί στο έτος εγκατάστασης του πρώτου τερματικού σταθμού ΥΦΑ στην χώρα)

Κυριότεροι Εισαγωγείς ΥΦΑ:

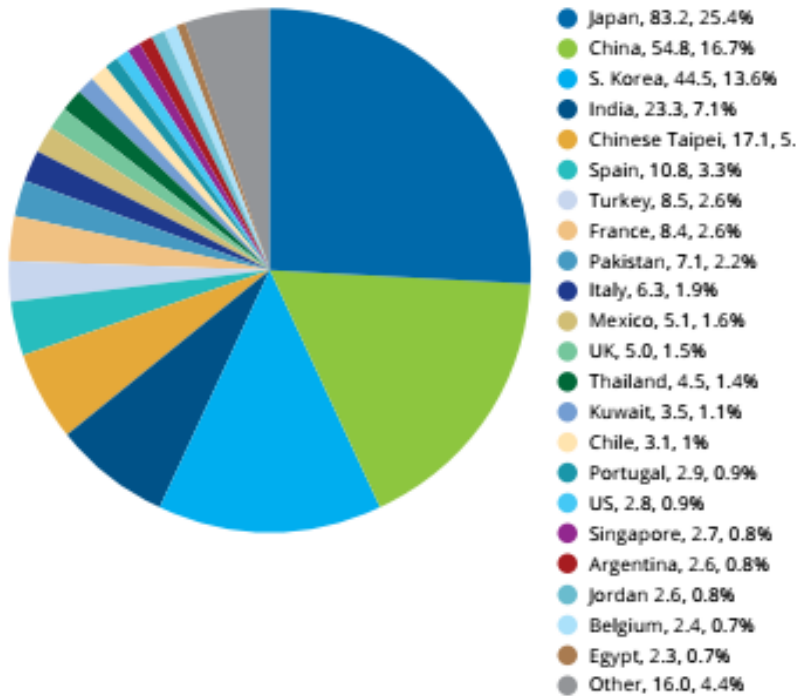
Ιαπωνία (1969), Ισπανία (1969), Ιταλία (1971), Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (1971), Γαλλία (1972), Νότια Κορέα (1986), Βέλγιο (1987), Ταϊβάν (1990), Τουρκία (1992), Ελλάδα (2000), Πουέρτο Ρίκο (2000), Δομινικανή Δημοκρατία (2003), Πορτογαλία (2003), Ινδία (2004), Ηνωμένο Βασίλειο (2005), Μεξικό (2006), Κίνα (2006)

(Η χρονολογία στην παρένθεση αντιστοιχεί στο έτος εγκατάστασης του πρώτου τερματικού σταθμού ΥΦΑ στην χώρα)

Παρακάτω παραθέτουμε τα στατιστικά στοιχεία σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Φυσικού Αερίου που δημοσιεύτηκαν κατά την ετήσια έκθεση του το 2019



**Εξαγωγείς ΥΦΑ σε δις m³
και σε μερίδιο της αγοράς (2018)**



**Εισαγωγείς ΥΦΑ σε δις m³
και σε μερίδιο της αγοράς (2018)**

Note: Number legend represents total imports in MT, followed by market share %. "Other" includes markets with imports less than 2.0 MT (by order of size): Poland, the Netherlands, Brazil, Malaysia, the Dominican Republic, the United Arab Emirates, Greece, Bangladesh, Lithuania, Israel, Canada, Malta, Jamaica, and Colombia.

Κεφάλαιο 4

4.1 Η πρώτη μεταφορά μέσω πλοίου και η μετέπειτα ιστορική αναδρομή

Η πρώτη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου στην ιστορία πραγματοποιήθηκε από το πλοίο Methane Pioneer, καθαρής χωρητικότητας 5.034 μετρικών τόνων. Ξεκίνησε τον απόπλου του από το Καλκάσιο ποταμό (Calcasieu River) στις ακτές του κόλπου της Λουϊζιάνα στις 25 Ιανουαρίου 1959. Ο προορισμός του ήταν το Ηνωμένο Βασίλειο και το νησί Κάμβειϊ (Canvey Island). Διασχίζοντας τον Ατλαντικό Ωκεανό μετά από διάστημα 27 ημερών το πρώτο φορτίο υγροποιημένου φυσικού αερίου παραδόθηκε στις 20 Φεβρουαρίου του 1959. Η επακόλουθη επέκταση και η ραγδαία ζήτηση για φυσικό αέριο έφερε στις μέρες μας μια μεγάλη επέκταση του παγκόσμιου στόλου. Πλέον υπάρχουν πλοία στην αγορά με δεξαμενές φορτίου συνολικού όγκου μεταφοράς έως και 266.000 m³ που ταξιδεύουν πλέον σε όλο τον κόσμο.

Η επιτυχία του Methane Pioneer, ενός ειδικά τροποποιημένου πλοίου γενικού φορτίου C1-M-AV1, εξώθησε το Συμβούλιο Φυσικού Αερίου και τη Διεθνή Ένωση Μεθανίου να παραγγείλει την ναυπήγηση δύο νέων πλοίων αποκλειστικά για τις ανάγκες μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αυτά τα πλοία ήταν τα Methane Princess και Methane Progress. Τα πλοία ήταν εξοπλισμένα με ανεξάρτητες δεξαμενές φορτίου αλουμινίου χωρητικότητας 27.000 m³, τα οποία δραστηριοποιήθηκαν στην Αλγερινή αγορά υγροποιημένου φυσικού αερίου το 1964.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, προέκυψε η ευκαιρία της εξαγωγής ΥΦΑ από την Αλάσκα, στην Ιαπωνία, και έτσι το 1969 ξεκίνησε το εμπόριο με την εταιρεία TEPCO και την εταιρεία φυσικού αερίου της πόλης του Τόκιο. Δύο νέα πλοία, το Polar Alaska και το Arctic Tokio χωρητικότητας 71.500 m³ το καθένα από τα οποία ναυπηγήθηκε στη Σουηδία για την εξυπηρέτηση αυτής της αγοράς.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής έδωσε κίνητρα στα ναυπηγεία της χώρας να κατασκευάσουν πλοία μεταφορείς υγροποιημένου φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν συνολικά 16 νέα πλοία. Τα τέλη της ίδιας δεκαετίας και οι αρχές της δεκαετίας του 1980 έφεραν την προοπτική των Αρκτικών πλοίων μεταφοράς και την δραστηριοποίησή τους σε μια νέα έως τότε αγορά. Νέου τύπου δεξαμενές φορτίου οι Technigaz Mark III και οι Gaztransport No. 96 κατασκευάστηκαν αντικαθιστώντας σιγά σιγά τις ήδη υπάρχοντες τύπου Moss Rosenberg, με τις οποίες ήρθε η αύξηση της μέσης καθαρής χωρητικότητας των πλοίων σε περίπου 143.000 m³.

Τα τελευταία χρόνια, το μέγεθος και η καθαρή χωρητικότητα των πλοίων έχει αυξηθεί σημαντικά. Το 2005, η Qatargas πρωτοστάτησε στην ανάπτυξη δύο νέων κατηγοριών πλοίων, των q-Flex και q-Max. Κάθε τέτοιο πλοίο έχει καθαρή χωρητικότητα μεταξύ 210.000 - 266.000 m³ και είναι εξοπλισμένο με αυτόνομο σύστημα επαναυγροποίησης. Από το 2005, έχουν κατασκευαστεί συνολικά 203 πλοία, εκ των οποίων τα 193 βρίσκονταν ακόμη σε λειτουργία. Το 2016, ο παγκόσμιος

στόλος αποτελούνταν από 439 πλοία ενώ στο τέλος της 2018, αυξήθηκε σε 550 σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της Παγκόσμιας Ένωσης Αερίου (2019).



Το Methane Pioneer το πρώτο πλοίο που πραγματοποίησε την πρώτη μεταφορά υγροποιημένου αερίου στον κόσμο

4.2 Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και η κατηγοριοποίησή τους

Η πλειονότητα των πλοίων που βρίσκονται αυτή την στιγμή στην αγορά χωρίζονται σε δύο τύπου αυτά που έχουν ξεχωριστές ανεξάρτητες δεξαμενές και σε αυτά που έχουν δεξαμενές μεμβράνης. Είναι γενικά ειδικευμένα πλοία, που μεταφέρουν το φορτίο τους σε συνθήκες κοντά στο σημείο βρασμού του στους -162°C σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, ανάλογα βέβαια και με τις ιδιότητες της σύστασης του ίδιου του φορτίου. Αυτά τα πλοία, συνήθως, μεταφέρουν αποκλειστικά μόνο υγροποιημένα φορτία φυσικού αερίου, όμως, υπάρχουν παραδείγματα όπου μπορούν να μεταφέρουν επίσης και φορτία υγραερίου (Liquified Petroleum Gas - LPG). Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να έχουν μία επιπλέον

εγκατάσταση επαναυγροποίησης, ώστε να διαχειρίζεται του υδρατμούς του φορτίου, που υφίστανται εξάτμιση.

Το φυσικό αέριο υγροποιείται με ψύξη στους -162°C σε μια διαδικασία, που γίνεται στην ξηρά, πριν το τελικό προϊόν φορτωθεί στο πλοίο. Οι δεξαμενές του πλοίου είναι πλήρως μονωμένες, διατηρώντας την θερμοκρασία του φορτίου καθ' όλη την διάρκεια του ταξιδιού. Σε κάποια πλοία υπάρχουν ειδικά συστήματα επαναυγροποίησης, που επιστρέφουν την φυσική εξάτμιση από το πάνω μέρος του φορτίου και το επιστρέφουν σε υγρή μορφή στο πάτωμα της δεξαμενής. Τα πλοία, που δεν έχουν τέτοιο ειδικό σύστημα, απλά καίνε αυτούς τους υδρατμούς ως καύσιμο στις μηχανές του πλοίου.

4.2.1 Κατηγοριοποίηση με βάση τα συστήματα δεξαμενών

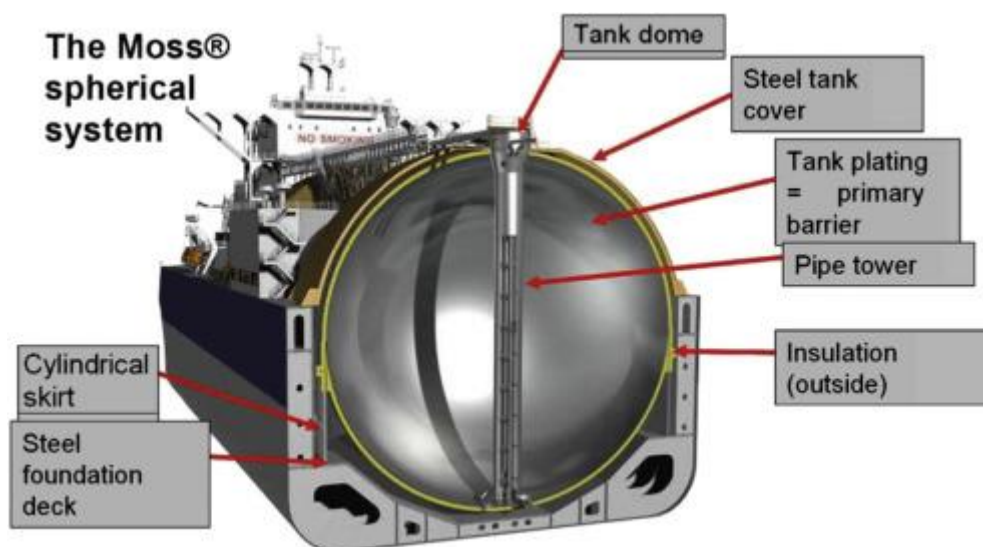
Σήμερα υπάρχουν τέσσερις τύποι δεξαμενών, που χρησιμοποιούνται κατά την ναυπήγηση νέων πλοίων. Υπάρχουν δύο ναυπηγικά σχέδια με την χρήση ανεξάρτητων αυτοϋποστηριζόμενων δεξαμενών και άλλα δύο σχέδια με την χρησιμοποίηση δεξαμενών μεμβρανών. Τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας των τελευταίων ανήκουν στην εταιρεία Gaztransport & Technigaz (GTT).



Έχει επικρατήσει η κατασκευή των νέων πλοίων να γίνεται σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο. Ο λόγος είναι ότι οι πρισματικές δεξαμενές μεμβράνης εξοικονομούν περισσότερο κατασκευαστικό χώρο, έχοντας λιγότερο κενό χώρο μεταξύ των δεξαμενών φορτίου και των δεξαμενών έρματος. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η συνολική καθαρή χωρητικότητα του πλοίου να είναι μεγαλύτερη με την αντίστοιχη της πρώτης κατηγορίας πλοίων, που έχουν σφαιρικές δεξαμενές. Ωστόσο, οι αυτοϋποστηριζόμενες δεξαμενές είναι πιο ισχυρές και έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις καταπονήσεις. Έτσι, αποτελούν μία αξιόπιστη λύση, εάν το πλοίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον ως πλωτή δεξαμενή αποθήκευσης ΥΦΑ.

A) Σφαιρικές Δεξαμενές τύπου Moss (Τύπου B)

Έχουν πάρει το όνομά τους από την Νορβηγική εταιρεία Moss Maritime, που τις σχεδίασε. Αποτελούν σφαιρικές δεξαμενές τύπου B σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού και τα περισσότερα πλοία έχουν ένα αριθμό τεσσάρων ή πέντε δεξαμενών.



Το εξωτερικό της κάθε δεξαμενής έχει ένα παχύ στρώμα μόνωσης αφρού, που είτε τοποθετείται σε πάνελ ή σε πιο σύγχρονα σχέδια γύρω από τη δεξαμενή. Πάνω από αυτή τη μόνωση είναι ένα λεπτό στρώμα "αλουμινίου", που επιτρέπει στη μόνωση να διατηρείται ξηρή μέσα σε ατμόσφαιρα αζώτου. Αυτή η ατμόσφαιρα ελέγχεται, συνεχώς, για την ανίχνευση μεθανίου που υποδηλώνει άμεσα την διαρροή της δεξαμενής. Το εξωτερικό της δεξαμενής ελέγχεται σε διαστήματα 3 μηνών για τυχόν παγωμένα σημεία, που υποδεικνύουν φθορά και σπάσιμο στη μόνωση.

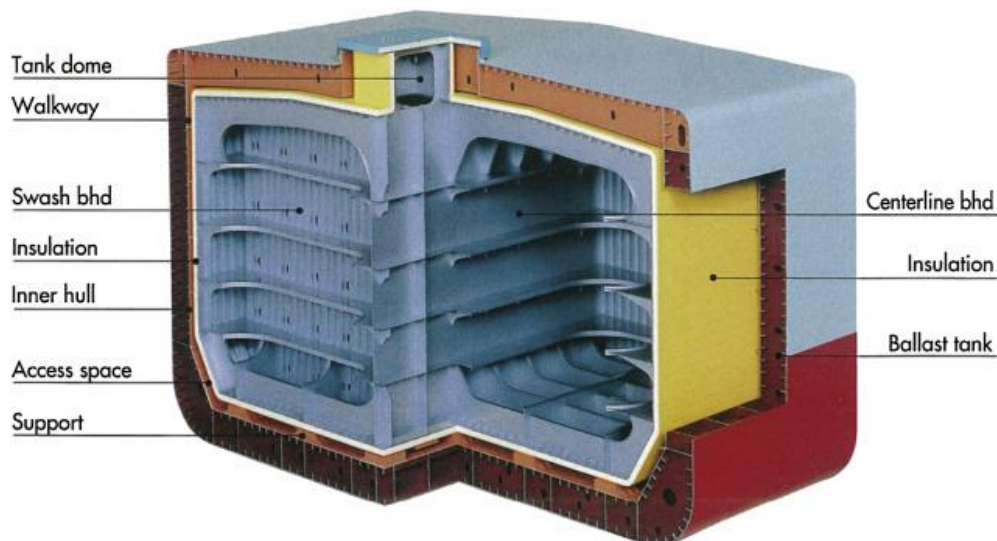
Η δεξαμενή υποστηρίζεται γύρω από την περιφέρειά της από ένα δακτύλιο, το οποίο υποστηρίζεται από σε μια μεγάλη κυκλική βάση, που είναι ένας συνδυασμός αλουμινίου και χάλυβα, η οποία σηκώνει το βάρος της δεξαμενής και μειώνει την καταπόνηση της υπερκατασκευής του πλοίου. Αυτή η βάση επιτρέπει στην δεξαμενή να διασταλεί και να συσταλεί κατά την διάρκεια των διαδικασιών ψύξης ή θέρμανσης της δεξαμενής έως και 60 εκατοστά (Cooldown & Warm Up Operation). Όλες οι σωληνώσεις διέρχονται από την κορυφή των δεξαμενών και συνδέονται με τις γραμμές των πλοίων. Μέσα σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ένα σύνολο από κεφαλές ψεκασμού (Spray Heads). Είναι τοποθετημένες γύρω από το δακτύλιο και χρησιμοποιούνται για να ψεκάσουν υγρό φορτίο επάνω στα τοιχώματα της δεξαμενής για να μειώσουν με αυτό τον τρόπο τη θερμοκρασία της.

Οι δεξαμενές, συνήθως, λειτουργούν υπό συνθήκες πίεσης έως 22 kPa, αλλά αυτό μπορεί να αυξηθεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Εάν και οι δύο κύριες αντλίες φορτίου της μιας δεξαμενής παρουσιάσουν λειτουργικό πρόβλημα τότε η πίεση μπορεί να προσαρμοστεί στα 100 kPa σε επίπεδα

κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση. Η γραμμή, που συνδέει τις δεξαμενές μεταξύ τους, ανοίγει κι έτσι λόγω της αυξημένης πίεσης το φορτίο μεταφέρεται στις άλλες δεξαμενές, όπου και αντλείται από τις λειτουργικές αντλίες των εν λόγω δεξαμενών.

B) Πρισματικές Δεξαμενές ΙΗΙ (Τύπου Β)

Το συγκεκριμένο σχέδιο ανήκει στην εταιρεία Ishikawajima - Harima Heavy Industries και βρίσκεται μόνο σε δύο πλοία παγκοσμίως. Το σχέδιο τους περιορίζει το πρόβλημα του διατοιχισμού του φορτίου, πρόβλημα το οποίο συναντάται στις δεξαμενές μεμβρανών και που μπορεί να προκαλέσει καταστροφή στα ελάσματα της δεξαμενής. Επίσης, περιορίζει την δυνατότητα να δεχθούν σημαντική φθορά χωρίς να καταστραφεί πλήρως η δομή τους σε περιπτώσεις αστοχίας του εξοπλισμού τους.



Γ) Δεξαμενές μεμβράνης TGZ Mark III

Αυτές οι δεξαμενές είναι ένα σχέδιο της εταιρείας Technigaz. Η μεμβράνη του αποτελείται από ανοξείδωτο ασάλι σε κυματοειδές σχήμα κατάλληλο, να απορροφήσει τη θερμική συστολή των ελασμάτων, όταν η δεξαμενή ψύχεται.

Το πρωτεύον φράγμα, είναι κατασκευασμένο από κυματοειδές ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 1,2 χιλιοστών, το οποίο βρίσκεται σε άμεση επαφή με το φορτίο. Ακολουθεί η κύρια μόνωση, η οποία με τη σειρά της καλύπτεται από ένα δευτερεύον φράγμα κατασκευασμένο από ένα υλικό που

ονομάζεται «triplex», το οποίο είναι βασικά ένα μεταλλικό φύλλο σκεπασμένο μεταξύ φύλλων υαλοβάμβακα συμπιεσμένα όλα μαζί. Αυτό καλύπτεται και πάλι από μια δευτερεύουσα μόνωση, η οποία με τη σειρά της υποστηρίζεται από τη δομή του κύτους, το οποίο δεν είναι άλλο από το κατάστρωμα του.



Ο εσωτερικός χώρος μιας δεξαμενής τύπου Mark III

Δ) Δεξαμενές μεμβράνης GT96

Σχεδιασμένες από την εταιρεία Gaztransport, οι δεξαμενές αυτές έχουν μια εσωτερική και μια εξωτερική λεπτή μεμβράνη από το υλικό Invar, το οποίο δεν έχει σχεδόν καμία θερμική συστολή. Η μόνωση είναι κατασκευασμένη από κομμάτια κόντρα πλακέ γεμάτο με περλίτη και συνεχώς ξεπλένεται με αέριο αζώτου. Οι δύο μεμβράνες παρακολουθούνται μόνιμα για την ανίχνευση υδρογονανθράκων στο άζωτο, που υποδηλώνουν άμεσα διαρροή.



Ο εσωτερικός χώρος μιας δεξαμενής τύπου GT96

E) Δεξαμενές μεμβράνης CSI

Οι δεξαμενές τύπου CS1 είναι ένας συνδυασμός των καλύτερων στοιχείων των δύο παραπάνω τύπων δεξαμενών και προέκυψε μετά την συγχώνευση των δύο εταιρειών. Το πρωτεύον φράγμα είναι κατασκευασμένο από Invar πάχους 0,7 χιλιοστών, και το δευτερεύον είναι από triplex. Η εσωτερική και η εξωτερική μόνωση αποτελείται από πάνελ αφρού πολυουρεθάνης.

4.2.2 Κατηγοριοποίηση με βάση τα συστήματα πρόωσης

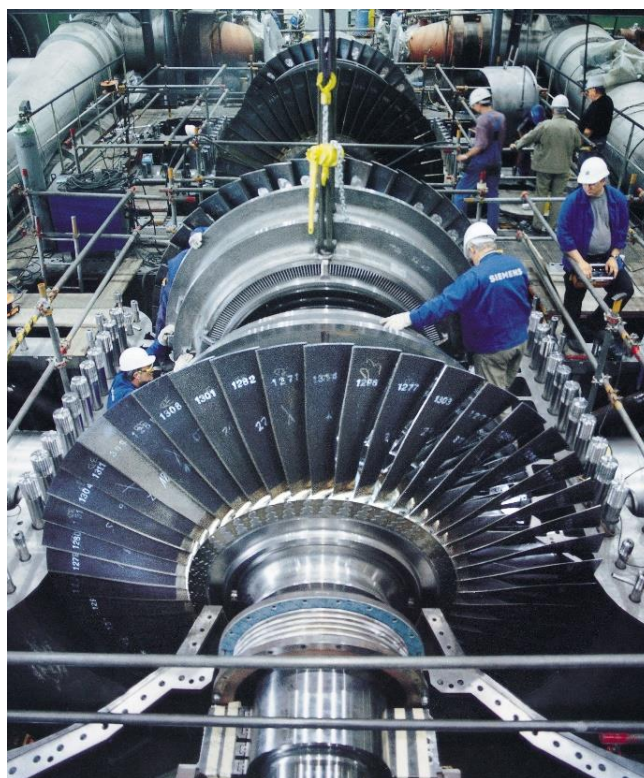
Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μέσα στις δεξαμενές υφίσταται ένα προκαθορισμένο (εξαρτάται από το τύπο της δεξαμενής) φυσικό ποσοστό φυσικής εξάτμισης του φορτίου λόγω της μεταφοράς θερμότητας από την μόνωση των δεξαμενών στα εσωτερικά ελάσματα της. Το φορτίο βράζει και μετατρέπεται σε αέρια μορφή και ανεβαίνει στην οροφή της δεξαμενής, όπου πιέζει τα ελάσματα και ανεβάζει στην πίεση στο εσωτερικό των δεξαμενών. Για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών σε σταθερά επίπεδα, οι ναυπηγοί κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν αυτό το φυσικό φαινόμενο προς όφελος των πλοίων κι έτσι η αφαίρεση αυτών των ατμών του φορτίου, το λεγόμενο και ως BOG (Boil Off Gas), να καταλήγει στους χώρους του μηχανοστασίου και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις μηχανές πλοίου για την πρόωση του. Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, τα συστήματα πρόωσης των πλοίων έχουν υποστεί σημαντικές καινοτομίες και βελτιώσεις, ιδίως για τη μείωση του κόστους των καυσίμων κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού.

Σήμερα, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να επιλέξουν μεταξύ των ακόλουθων συστημάτων πρόωσης:

A) Ατμοστρόβιλοι

Οι Ατμοστρόβιλοι είναι το παραδοσιακό σύστημα προώθησης των πλοίων. Συνήθως, δύο λέβητες παράγουν επαρκή ατμό για τις κύριες προωστικές γεννήτριες και τους βοηθητικούς κινητήρες. Οι λέβητες μπορούν, επίσης, να τροφοδοτούνται μερικώς ή πλήρως με βαρύ καύσιμο λαδιού. Σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος ατμού είναι το γεγονός ότι δεν είναι απαραίτητη η μονάδα καύσης του περίσσιου αερίου, επειδή το σύνολο του ατμοποιημένου αερίου χρησιμοποιείται στους λέβητες. Επίσης, το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους είναι ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα.

Από την άλλη πλευρά, η χαμηλή θερμική αποδοτικότητα και το υψηλότερο κόστος μεταφοράς φορτίου αποτελούν σαφή μειονεκτήματα. Τα μεγάλα πλοία απαιτούν περισσότερη ισχύ και καύσιμα από ότι μπορεί να καταναλώσουν μέσω της φυσικής εξάτμισης του φορτίου. Επιπλέον, είναι δύσκολη στελέχωση των πλοίων με μηχανικούς, που είναι εξειδικευμένοι στα συστήματα ατμοστρόβιλων, καθώς η τεχνολογία αυτή χάνει συνεχώς μερίδιο της αγοράς κι λιγότεροι ναυτικοί επιδιώκουν να εξειδικευτούν σε αυτού του είδους τα συστήματα.



Εγκατάσταση ατμοστρόβιλου σε πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ

B) Ηλεκτρομηχανές ντίζελ διπλού καυσίμου ή τριπλού καυσίμου (DFDE/TFDE)

Μετά από σχεδόν 40 χρόνια, που ο παγκόσμιος στόλος αποτελούνταν εξ ολοκλήρου από συστήματα Ατμοστροβίλων, το 2001 η εταιρεία ENGIE εφοδίασε τα πλοία με το πρώτο συστήματα πρόωσης διπλού καυσίμου (Duel Fuel Dual Engine – DFDE).

Τα συστήματα αυτά είναι σε θέση να κάψουν τόσο πετρέλαιο ντίζελ όσο και BOG, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα των πλοίων κατά περίπου 25-30% σε σχέση με τις Ατμογεννήτριες. Τα συστήματα πρόωσης διπλού καυσίμου είναι εξοπλισμένα με ένα σύστημα ηλεκτροκίνητης ώθησης τροφοδοτούμενο από κινητήρες ντίζελ μεσαίας ταχύτητας διπλού καυσίμου. Σε λειτουργία αερίου, αυτές οι μηχανές διπλού καυσίμου τρέχουν σε χαμηλή πίεση φυσικού αερίου με μια μικρή ποσότητα ντίζελ που χρησιμοποιείται ως σπινθήρας. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει εξολοκλήρου με ντίζελ ανά πάσα στιγμή.

Αυτά τα συστήματα προώθησης πρέπει να είναι εξοπλισμένα με ένα επιπλέον σύστημα, που διαχειρίζεται την περίσσεια του BOG των δεξαμενών. Για αυτό είναι απαραίτητη μια μονάδα καύσης αερίου (Gas Combustion Unit - GCU). Ο πρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται για το BOG, όμως, αυξάνει ταυτόχρονα και το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού του πλοίου.

Τα πλοία τριπλού καυσίμου (Triple Fuel Dual Engine – TFDE) είναι ικανά να κάψουν βαρύ πετρέλαιο, ντίζελ και BOG αέριο, προσφέροντας ευελιξία στην λειτουργία του πλοίου αλλά και βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας σε διάφορες ταχύτητες.

Κεφάλαιο 5

5.1 Χειρισμός του φορτίου

5.1.1 Το σχεδιάγραμμα του δικτύου φορτοεκφόρτωσης ενός πλοίου

Ένα τυπικό πλοίο έχει τέσσερις έως έξι δεξαμενές που βρίσκονται κατά μήκος της διαμήκου γραμμής του. Γύρω από τις δεξαμενές υπάρχει ένας συνδυασμός δεξαμενών έρματος, υδατοφραγμάτων και κενών χώρων. Αυτό δίνει στο σκάφος ένα σχέδιο τύπου διπλού κύτους.

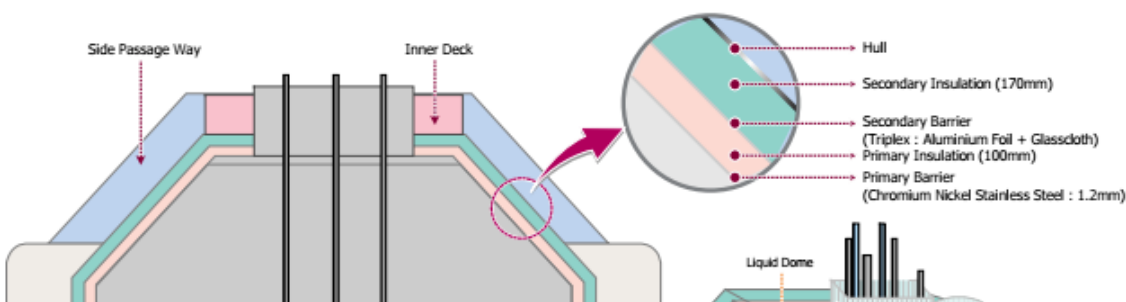
Μέσα σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν τρεις βυθισμένες αντλίες. Υπάρχουν δύο κύριες αντλίες φορτίου, που χρησιμοποιούνται σε εργασίες εκκένωσης φορτίου και μια μικρότερη αντλία, που αναφέρεται και ως αντλία αποστράγγισης. Η τελευταία αντλία χρησιμοποιείται και ως αντλία ψεκασμού. Αντλεί υγρό φορτίο από την δεξαμενή και μέσω ειδικών ψεκαστήρων το ρίχνει στα ελάσματα της δεξαμενής, για να μειώσει την θερμοκρασία τους.

Όλες αυτές οι αντλίες αποτελούν κομμάτι του συστήματος, που είναι γνωστό ως ο «πύργος άντλησης». Εκείνο διέρχεται από την κορυφή της δεξαμενής και σε ολόκληρο το ύψος της δεξαμενής. Ο πύργος άντλησης περιέχει, επίσης, το σύστημα μέτρησης της δεξαμενής και τη γραμμή πλήρωσης της δεξαμενής, τα οποία βρίσκονται κοντά στο κάτω μέρος της.

Στις δεξαμενές μεμβράνης υπάρχει επίσης ένας κενός σωλήνας με μια βαλβίδα που μπορεί να ανοιχτεί με βάρος ή υπό πίεση. Αυτός είναι ο πύργος της αντλίας έκτακτης ανάγκης. Στην περίπτωση που και οι δύο κύριες αντλίες φορτίου δεν λειτουργήσουν το καπάκι αφαιρείται και μια αντλία φορτίου έκτακτης ανάγκης συνδέεται, ώστε να αντληθεί με αυτό τον τρόπο το φορτίο.

Όλες οι αντλίες φορτίου συνδέονται σε έναν κοινό σύστημα σωληνώσεων, που κατά μήκος του καταστρώματος και διακλαδώνεται σε κάθε πλευρά του σκάφους στις πολλαπλές του φορτίου (Manifolds), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη φορτοεκφόρτωση.

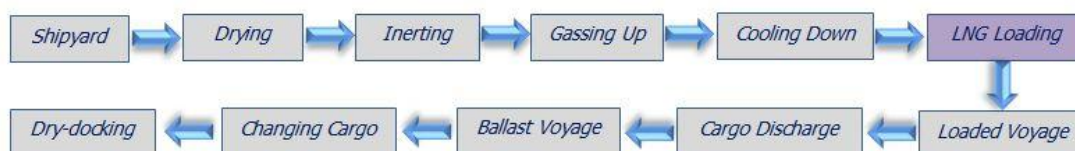
Όλοι οι χώροι ατμών δεξαμενών φορτίου συνδέονται μέσω μιας κεφαλίδας ατμών που λειτουργεί παράλληλα με την κεφαλίδα του φορτίου. Αυτό έχει, επίσης, σωληνώσεις και συνδέσεις με τις πλευρές του πλοίου δίπλα στις πολλαπλές.



Το τυπικό σύστημα φορτοεκφόρτωσης εντός μιας δεξαμενής μεμβρανών

5.1.2 Οι κύριες επιχειρησιακές λειτουργίες του πλοίου

Όταν τελειώνει η ναυπήγηση ενός πλοίου ή όταν εκείνο τελειώνει την συντήρηση του μετά από δεξαμενισμό ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία, ώστε το πλοίο να καταστεί κατάλληλο για φόρτωση.



- Shipyard - Επιθεώρηση των ναυπηγείων – το πρώτο βήμα ο διεξοδικός έλεγχος των δεξαμενών φορτίου και ότι είναι καθαρές.
- Drying - Ξήρανση – κάθε υγρασία πρέπει να αφαιρεθεί από τις δεξαμενές με την εισαγωγή ξηρού αέρα από την ξηρά ή από το πλοίο. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί φράξιμο και πάγωμα των σωληνώσεων κατά την πρώτη φόρτωσης

- Inerting - Η αδρανοποίηση – είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι οι δεξαμενές δεν είναι εύφλεκτες. Χρησιμοποιείται αδρανές αέριο από την μονάδα παραγωγής του πλοίου ή άζωτο (N_2).
- Gassing Up - Η αεριοποίηση – Τα υπολείμματα CO_2 που υπάρχουν μέσα στο αδρανές αέριο πρέπει να εκτοπιστούν από την δεξαμενή και αυτό γίνεται με την χρήση ατμών υγροποιημένου φυσικού αερίου.
- Cooling-Down - Ψύξη – είναι η διαδικασία της αργής ψύξης των δεξαμενών σε θερμοκρασίες $-110\text{ }^\circ\text{C}$ έως $-130\text{ }^\circ\text{C}$ μέσω του συστήματος και των γραμμών ψεκασμού. Αυτό αποτρέπει το θερμικό σοκ στα εσωτερικά ελάσματα των δεξαμενών όταν θα εισαχθεί για πρώτη φορά φορτίο σε αυτές.

5.1.3 Ο Τυπικός κύκλος του φορτίου

Ένας τυπικός κύκλος φορτίου ξεκινά με τις δεξαμενές σε μια κατάσταση αδειανές από φορτίο (Gas Free). Αυτό σημαίνει ότι οι δεξαμενές είναι γεμάτες με αέρα, και έτσι επιτρέπεται η είσοδος σε αυτές για τη συντήρηση της δεξαμενής και των αντλιών της. Το φορτίο δεν μπορεί να φορτωθεί απευθείας σε μία άδεια δεξαμενή, καθώς η παρουσία οξυγόνου θα δημιουργούσε μια εκρηκτική ατμόσφαιρα εντός της δεξαμενής, και η ταχεία αλλαγή της θερμοκρασίας που προκαλείται από το κρυογονικό φορτίο σε θερμοκρασίες $-162\text{ }^\circ\text{C}$ θα προκαλούσε θερμικό σοκ στα ελάσματα της.

Έτσι, πρώτα, η δεξαμενή πρέπει να αδρανοποιείται, για να εξαλειφθεί ο κίνδυνος έκρηξης. Μια εγκατάσταση παραγωγής αδρανών αερίων επί του πλοίου, που λειτουργεί με ντίζελ παράγει ένα μίγμα αερίων με σύσταση συνήθως λιγότερο από 5% O_2 και περίπου 13% CO_2 και 82% N_2 . Αυτό το αδρανές αέριο εισάγεται στις δεξαμενές του πλοίου μέχρι το επίπεδο οξυγόνου στο εσωτερικό τους να είναι κάτω από 4%.

Στη συνέχεια, το πλοίο εισέρχεται στο τερματικό σταθμό για την διαδικασία του πλήρωσης με ατμό υγροποιημένου φυσικού αερίου (Gassing Up) και ψύξης των δεξαμενών (Cooling Down). Οι δεξαμενές δεν είναι ακόμα έτοιμες για φόρτωση, διότι το CO_2 που υπάρχει μέσα στο μείγμα του αδρανούς αερίου θα παγώσει, εάν εισαχθεί το φορτίο και θα προκαλέσει ζημιά στις αντλίες, ενώ το θερμικό σοκ θα προκαλέσει επιπλέον ζημιά στο σύστημα σωληνώσεων. Το φορτίο εισάγεται στην δεξαμενή κατά μήκος της γραμμής ψεκασμού στον κύριο ατμοποιητή, βράζει και μετατρέπεται σε αέριο. Στη συνέχεια, θερμαίνεται μέχρι τους $20\text{ }^\circ\text{C}$ στους θερμοαντήρες αερίου και στη συνέχεια

εισάγεται στις δεξαμενές για να εκτοπίσουν το "αδρανές αέριο". Αυτό συνεχίζεται, μέχρι να αφαιρεθεί όλο το CO₂ από τις δεξαμενές.

Αρχικά, το αδρανές αέριο εξαερίζεται στην ατμόσφαιρα. Μόλις η περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες φθάσει το 5% (χαμηλότερο εύρος αναφλεξιμότητας του μεθανίου), το αδρανές αέριο ανακατευθύνεται στις εγκαταστάσεις της ξηράς μέσω των πολλαπλών του φορτίου με την βοήθεια των συμπιεστών υψηλού φόρτου του πλοίου (High Duty Compressors). Ο τερματικός σταθμός, στη συνέχεια, καίει αυτόν τον ατμό, για να αποφύγει τους κινδύνους μια έκρηξης λόγω της μεγάλης ποσότητας υδρογονανθράκων. Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό, οι δεξαμενές είναι γεμάτες με μεθάνιο αλλά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το επόμενο στάδιο είναι να μειωθεί η θερμοκρασία των δεξαμενών. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο ψεκάζεται στις δεξαμενές μέσω κεφαλών ψεκασμού, το οποίο εξατμίζεται και αρχίζει να παγώνει τη δεξαμενή. Το περίσσιο αέριο πηγαίνει πάλι πίσω στην ξηρά για να επαναυγροποιηθεί ή για να καεί. Μόλις η θερμοκρασία πέσει στους -140°C, οι δεξαμενές είναι έτοιμες για φόρτωση.

Η φόρτωση ξεκινά και το υγρό φορτίο αντλείται από τις δεξαμενές αποθήκευσης της ξηράς στις δεξαμενές του πλοίου. Όλο το εκτοπισμένο αέριο επιστρέφει στην ξηρά μέσω των συμπιεστών υψηλού φόρτου. Η φόρτωση συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί συνήθως η 98,5% χωρητικότητα επί του όγκου των δεξαμενών (ώστε να καταστεί δυνατή η συστολή / διαστολή του φορτίου).

Το πλοίο μπορεί έπειτα να αποπλεύσει προς το λιμάνι εκφόρτωσης. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες στρατηγικές διαχείρισης του BOG. Η καύση του αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή προώθησης, ή μπορεί να επαναυγροποιηθεί και να επιστραφεί στις δεξαμενές φορτίου, ανάλογα με τα συστήματα του πλοίου.

Στο λιμάνι το φορτίο διοχετεύεται στην ξηρά χρησιμοποιώντας τις αντλίες φορτίου του πλοίου. Καθώς η δεξαμενή αδειάζει, ο χώρος ατμών γεμίζεται είτε με αέριο από την ξηρά είτε με ατμοποίηση κάποιου φορτίου στον ατμοποιητή φορτίου. Στα τελευταία στάδια της εκφόρτωσης χρησιμοποιώντας τις αντλίες ψεκασμού αντλείται όσο το δυνατόν περισσότερο φορτίο, αφήνοντας πάντα ένα ποσοστό ασφαλείας που ονομάζεται και ως «heel» σε μία δεξαμενή. Συνήθως είναι ένα ποσοστό 5% έως 10% του φορτίου και αυτό χρησιμοποιείται, για να κρυσώσουν τις υπόλοιπες κενές δεξαμενές πριν την επόμενη φόρτωση, ώστε να αποφύγουμε την περίπτωση του θερμικού σοκ. Η ψύξη των δεξαμενών διαρκεί περίπου 20 ώρες σε πλοία με δεξαμενές τύπου Moss και 10-12 ώρες σε εκείνα με δεξαμενές μεμβρανών. Έτσι, το ποσοστό αυτό ασφαλείας εξυπηρετεί, ώστε το πλοίο να φτάσει στο λιμάνι με παγωμένες δεξαμενές και έτοιμες για εξοικονομώντας σημαντικό χρόνο.

Αν όλο το φορτίο αντληθεί από στην ξηρά, τότε οι δεξαμενές θα ζεσταθούν σε ένα άφορτο ταξίδι και δεν θα είναι κατάλληλες για φόρτωση. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ακολουθηθεί η διαδικασία που περιγράφηκε στην αρχή, καθώς οι δεξαμενές μας έχουν επιστρέψει σε κατάσταση Gas Free.

5.2 Οι κίνδυνοι για την ασφάλεια και την υγεία του πληρώματος και ο ασφαλής χειρισμός του φορτίου.

Η μεταφορά και ο χειρισμός διαφόρων υγροποιημένων φυσικών αερίων ενέχουν σημαντικούς πιθανούς κινδύνους, όπως είναι ο κίνδυνος τραυματισμού ή θανάτου, αλλά και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Το υγροποιημένο αέριο σχετίζεται με κινδύνους, όπως της ασφυξίας, της τοξικότητας, των κρυογονικών θερμοκρασιών και της αναφλεξιμότητας.

Οι πληροφορίες για κάθε φορτίου υγροποιημένου αερίου που μεταφέρονται στο πλοίο πρέπει να είναι διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Όψη
2. Συνθήκες μεταφοράς
3. Αντιδραστικότητα
4. Ειδικές απαιτήσεις
5. Φυσικές ιδιότητες
6. Κύριοι κίνδυνοι
7. Συνθήκες πυρκαγιάς και έκρηξης
8. Σχετικοί κίνδυνοι
9. Κίνδυνοι για την υγεία
10. Συμβατά και μη συμβατά υλικά για αλληλεπίδραση

Τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε οι ναυτικοί να μην εκτίθεται απευθείας σε κίνδυνο από το μεταφερόμενο φορτίο αρκεί ο εξοπλισμός του πλοίου να λειτουργεί και να συντηρείται σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Αυτό προϋποθέτει υψηλή κατάρτιση και εκπαίδευση του προσωπικού.

5.2.1 Προστασία του προσωπικού

Όλα τα πλοία θα πρέπει να διαθέτουν τον κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό και κρυογονικό ρουχισμό για την προστασία του πληρώματος, που εμπλέκεται στις εργασίες φορτοεκφόρτωσης. Οι τύποι και οι ποσότητες του προστατευτικού εξοπλισμού καθώς και ο πρόσθετος εξοπλισμός ασφαλείας θα πρέπει να συμμορφώνονται αυστηρά με τις συστάσεις που αναφέρονται στο οδηγό της Διεθνούς Σύμπραξης Πλοιοκτητών. (International Chamber of Shipping - ICS Tanker Safety Guide)

Επίσης θα πρέπει να έχουν εξοπλισμό πρώτων βοηθειών, συμπεριλαμβανομένης της ανάνηψης οξυγόνου σύμφωνα με τις διατάξεις του ιατρικού οδηγού πρώτων βοηθειών του Διεθνή Ναυτιλιακού οργανισμού (IMO-MFAG) αλλά και του διεθνή ιατρικού οδηγού για τα πλοία από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO-IMGS).

Λόγω του ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται σε κρυογονικές θερμοκρασίες, οποιαδήποτε σωματική επαφή με αυτό θα προκαλέσει κρυοπαγήματα ή εγκαύματα. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε από διαρροή του υγρού, είτε από επαφή με παγωμένες σωλήνες και φλάντζες.

Το προσωπικό, που πρέπει να εργαστεί στην περιοχή της πολλαπλής φορτοεκφόρτωσης του πλοίου ή και σε άλλες περιοχές, όπου μπορεί να εμφανιστεί διαρροή, πρέπει να φοράει ρουχισμό, που να καλύπτει ολόκληρο το σώμα. Στολές με μακριά μανίκια, γάντια, προστατευτικά γυαλιά, κράνος και παπούτσια ασφαλείας, μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τον συγκεκριμένο κίνδυνο.

5.2.2 Έκθεση με το φορτίο και σχετικοί κίνδυνοι

A) Κρυοπαγήματα ή ψυχρά εγκαύματα

Η άμεση επαφή με κρύο υγρό ή ατμούς ή μη μονωμένους σωλήνες και εξοπλισμό μπορεί να προκαλέσει κρύα εγκαύματα ή κρυοπαγήματα. Η εισπνοή κρύου ατμού μπορεί να βλάψει μόνιμα ορισμένα όργανα όπως στους πνεύμονες. Η απευθείας έκθεση στο υγρό φορτίο, ή ακόμη και στους ψυχρούς ατμούς του, μπορεί να οδηγήσουν σε κρύα εγκαύματα τα οποία, εάν είναι εκτεταμένα, θα μπορούσαν να είναι και θανατηφόρα.

Τα συμπτώματα των «ψυχρών εγκαυμάτων» είναι παρόμοια με εκείνα των συνήθη εγκαυμάτων. Ακραίος πόνος εμφανίζεται στην πληγείσα περιοχή με συνεπακόλουθη σύγχυση, διέγερση και ενδεχομένως λιποθυμία του θύματος. Αν η περιοχή του εγκαύματος είναι αρκετά μεγάλη, το θύμα μπορεί να περιέλθει σε κατάσταση σοκ.

Θα πρέπει να φοριέται κατάλληλη προστατευτική ενδυμασία για την αποφυγή κρουπαγημάτων.

B) Τοξικότητα

Η ταχεία εξάτμιση του υγροποιημένου φυσικού αερίου θα ελαχιστοποιήσει την έκταση των εγκαυμάτων στο δέρμα. Όμως μπορεί να προκαλέσει έναν προσωρινό ή μόνιμο κίνδυνο για την υγεία, όπως ο ερεθισμός, οι βλάβες των ιστών ή δυσλειτουργία των αρθρώσεων λόγω της τοξικότητας του.

Επίσης, ο κρύος ατμός μπορεί να είναι επικίνδυνος για τα μάτια του θύματος. Εάν οι υγρές ή κρύες αναθυμιάσεις μπουν στα μάτια του θύματος, πρέπει να ξεπλυθούν αμέσως με θαλασσινό ή φρέσκο νερό για τουλάχιστον 15 λεπτά. Εάν οι αναθυμιάσεις έρθουν σε επαφή με το δέρμα, τότε πρέπει η πληγείσα περιοχή να βυθιστεί πλήρως σε χλιαρό νερό.

Η προστατευτική ενδυμασία πρέπει να φοριέται, όπως απαιτείται και η αναπνευστική συσκευή θα πρέπει να φοριέται, εάν υπάρχει κίνδυνος εισπνοής τοξικών ατμών. Ο εξοπλισμός ανίχνευσης τοξικών αερίων, που παρέχεται, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ανάλογα με τις ανάγκες και να συντηρείται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Γ) Ασφυξία

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις, κάθε ατμός μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, είτε είναι τοξικός είτε όχι. Ο κίνδυνος αυτό εμφανίζεται όταν το αίμα δεν μπορεί να μεταφέρει επαρκή ποσότητα οξυγόνου στον εγκέφαλο. Το θύμα θα βιώσει πονοκέφαλο, ζάλη και ανικανότητα συγκέντρωσης, ακολουθούμενη από απώλεια συνείδησης.

Εάν η αναπνοή του σταματήσει ή είναι αδύναμη ή ακανόνιστη, θα πρέπει γίνεται ανάνηψη του θύματος. Σε όλες τις περιπτώσεις έκθεσης, πρέπει να ζητούνται οι αντίστοιχες ιατρικές συμβουλές. Η ασφυξία μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση εξοπλισμού ανίχνευσης ατμών και οξυγόνου και αναπνευστικών συσκευών.

Δ) Αναισθησία

Το μεθάνιο είναι γενικά ο λιγότερο επιβλαβής υδρογονάνθρακας σε σχέση με τους περισσότερους υδρογονάνθρακες, αλλά οι ασφαλείς εργασιακές πρακτικές υπαγορεύουν ότι πρέπει να αποφεύγεται κάθε ηθελημένη έκθεση.

Εάν όμως ένα άτομο εκτεθεί σε φυσικό αέριο, θα πρέπει να μεταφερθεί αμέσως σε συνθήκες καθαρού αέρα, διότι το μεθάνιο έχει αναισθητικό αποτέλεσμα. Ένα πρόσωπο, που εκτίθεται σε υπερβολική ποσότητα ατμών, μπορεί να μην συνειδητοποιήσει άμεσα τους κινδύνους, τους οποίους βρίσκεται, διότι το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο τόσο σε υγρή όσο και σε αέρια μορφή. Το ασυνείδητο άτομο μπορεί να αντιδράσει σε αισθητήρια ερεθίσματα, αλλά αυτό μπορεί να γίνει μόνο με μεγάλη δυσκολία. Οπότε πρέπει να ασκείται πρόσθετη επαγρύπνηση, όταν ένα άτομο πλησιάζει μια περιοχή, όπου μπορεί να υπάρχει διαρροή μεθανίου. Οι κίνδυνοι αναισθητικών ατμών μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση εξοπλισμού ανίχνευσης ατμών φορτίου και αναπνευστικών συσκευών.

5.2.3. Πιθανοί κίνδυνοι από μια διαρροή φορτίου στο πλοίο αλλά και στο περιβάλλον

Οι πιθανοί κίνδυνοι μιας μεγάλης διαρροής φορτίου περιλαμβάνουν τους κινδύνους της ασφυξίας, των ψυχρών εγκαυμάτων και του κρυοπαγήματος όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αλλά και της κρυογονικής φθοράς στα ελάσματα του πλοίου, μιας πιθανής πυρκαγιάς ή έκρηξης και διαρροής του φορτίου στην θάλασσα ή στην ατμόσφαιρα.

Οι κίνδυνοι από την ενδεχόμενη διαρροή στην θάλασσα μπορούν να μειωθούν μέσω ενός συνδυασμού προσεγγίσεων, όπως της μείωσης της πιθανότητας διαρροής, της μείωσης των συνεπειών μιας διαρροής, της βελτίωσης του εξοπλισμού ασφάλειας, και των τεχνικών πρόληψης ή μετριασμού μιας διαρροής. Οι εκρήξεις σε περιορισμένους χώρους, μπορεί να έχουν, επίσης, τη δυνατότητα πρόκλησης βλάβης, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε περαιτέρω διαρροή φορτίου.

Τα δελτία δεδομένων ασφαλείας (Safety Data Sheets – MSDS) δίνουν οποιαδήποτε πληροφορία, που αφορά ενδεχόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος από το φορτίο του πλοίου. Συνήθως πάντως, εάν συμβεί κάποιο τέτοιο σοβαρό περιστατικό, αυτό μπορεί να προκληθεί κυρίως είτε κατά την διάρκεια ανεφοδιασμού του πλοίου ή κατά την διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης.

Συνηθεις αιτίες μπορεί να είναι εάν

- Εάν η επιχείρηση δεν παρακολουθείται σωστά.
- Εάν οι σωληνώσεις μεταφοράς του φορτίου δεν έχουν συνδεθεί σωστά.
- Εάν κατά την αποσύνδεση των γραμμών φορτίου αυτές δεν έχουν αποστραγγιστεί.
- Εάν ο εξοπλισμός του φορτίου δεν έχει συντηρηθεί καταλλήλως.
- Και αν το πλοίο αποκολληθεί από σημείο λιμενισμού του λόγω της κακής κατάστασης του συστήματος πρόσδεσης.

Την στιγμή που το υγροποιημένο φυσικό αέριο διαρρέυσει και εκτεθεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, εκείνο θα ατμοποιηθεί. Αυτή η ατμοποίηση θα συμβεί σε δύο φάσεις. Αρχικά, σε μια περίοδο 20-30 δευτερόλεπτων, θα υπάρχει ένα υψηλό ατμοποίησης, καθώς η θερμότητα που χρειάζεται για την εξάτμιση λαμβάνεται από την ίδια την πηγή της διαρροής. Σε δεύτερη φάση, το ψυχρό εξατμισμένο αέριο αρχίζει να μονώνει την υγρή επιφάνεια και η ταχύτητα εξάτμισης μειώνεται με σταθερό ρυθμό ανάλογα με το πόσο γρήγορα μπορεί να μεταφερθεί η θερμότητα στο υγρό φορτίο από τη γύρω περιοχή.

Αυτό το ποσοστό εξάτμισης μπορεί να αυξηθεί εάν υπάρχει

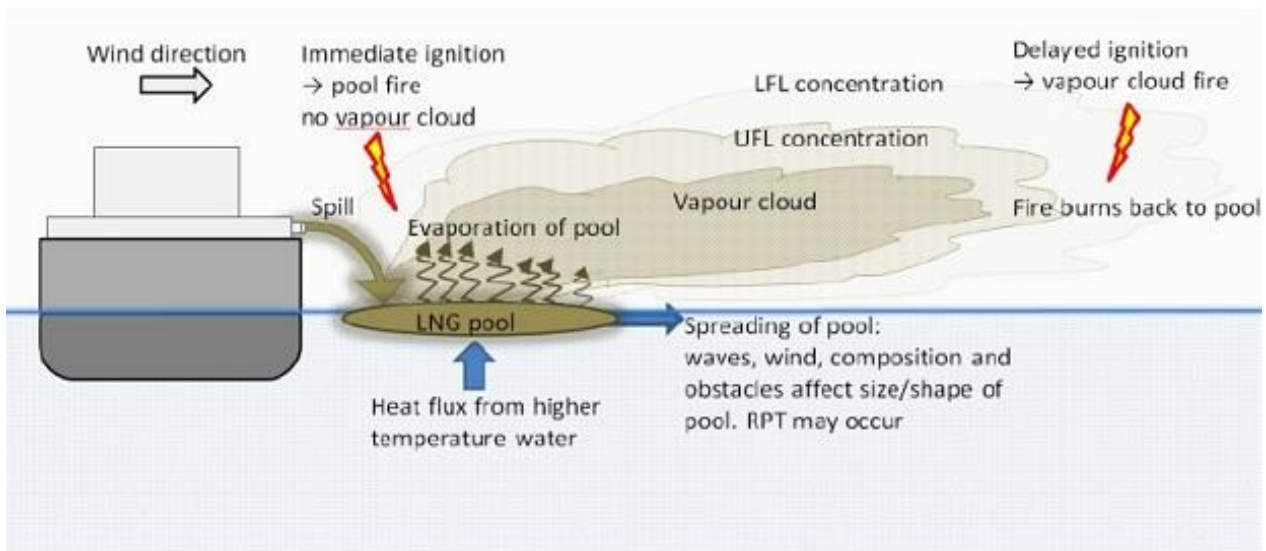
- Συνεχής διαρροή, δηλαδή μεγαλύτερος όγκος που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα,
- Λόγω του ανέμου,
- Λόγω της επαφής του με το νερό,
- Λόγω ανάφλεξης,
- Λόγω διέγερσης της επιφάνειας του υγρού.

Ο ψεκάσμος νερού μιας μη αναφλεγμένης διαρροής φορτίου θα επιταχύνει την ατμοποίηση και θα μειώσει τους κινδύνους των ψυχρών καταγμάτων των ελασμάτων του πλοίου, της φωτιάς και της ανάφλεξης. Όμως, ο ψεκάσμος με νερό σε φορτίο που έχει αναφλεγεί θα αυξήσει το ποσοστό εξάτμισης και ως εκ τούτου την ταχύτητα καύσης. Η χρήση πιδάκων νερού σε διαρροές ΥΦΑ μπορεί να προκαλέσει πιτσιλίσματα, οδηγώντας σε ψυχρά κατάγματα των ελασμάτων του πλοίου ή ψυχρών εγκαυμάτων του προσωπικού, ή μπορεί να προκαλέσει την ανάφλεξη του και να επιδεινώσει σοβαρά τη φωτιά.

Αμέσως μετά την ατμοποίηση του, το φυσικό αέριο είναι 1-4 φορές βαρύτερο από τον αέρα. Καθώς το αέριο θερμαίνεται, η πυκνότητα του θα μειωθεί και θα γίνει η ίδια με του αέρα στους περίπου –

120°C και θα διατηρηθεί μέχρι φτάσει σε θερμοκρασία 15°C. Έτσι, μπορεί να σχηματιστεί ένα σύννεφο ψυχρών ατμών φυσικού αερίου σαν ένα λεπτό στρώμα γύρω από τη διαρροή. Ευτυχώς, αυτό το σύννεφο θα είναι ορατό λόγω της συμπύκνωσης της ατμοσφαιρικής υγρασίας.

Όταν το φορτίο πέσει στην θάλασσα, παρουσιάζει «το φαινόμενο της ταχείας μετάβασης» (Rapid Phase Transition). Κρότοι παρόμοιοι με εκείνους με μίας έκρηξης μπορεί να ακουστούν. Ωστόσο, δεν υπάρχουν φλόγες ή έκρηξη όταν συμβαίνει αυτό. Αυτό οφείλεται λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας με το υγροποιημένο φυσικό αέριο, που συντελεί στην ταχεία ατμοποίηση του. Και σε αυτή την περίπτωση, θα δημιουργηθεί το ίδιο σύννεφο ψυχρών ατμών γύρω από το χώρο της διαρροής.



Possible outcome of LNG spill over water

Σε περίπτωση διαρροών του φορτίου, το ίδιο το φορτίο και οι αναθυμιάσεις του, μπορούν να εισέλθουν σε κλειστούς χώρους και οι θύλακες αερίου μπορούν να παγιδευτούν κοντά σε δομές του καταστρώματος.

Όταν πρόκειται για διαρροή φορτίου, πρέπει να ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία:

- Απομονώνουμε την πηγή της διαρροής. Σε περίπτωση φορτοεκφόρτωσης το σύστημα εκτάκτου ανάγκης του πλοίου (Emergency Shutdown System – ESD) ενεργοποιείται.
- Καλούμε σε βοήθεια.
- Προστατεύουμε τα ελάσματα του πλοίου από τον κίνδυνο ψυχρών καταγμάτων.
- Επιταχύνουμε την ταχύτητα εξάτμισης για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ανάφλεξης.

Η ακριβής διαδικασία θα εξαρτηθεί από τη φύση του συμβάντος, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους της διαρροής, της θέσης, των συνθηκών περιβάλλοντος και των κινδύνων ανάφλεξης. Η διαρροή του κρυογονικού φορτίου επάνω σε οποιοδήποτε χαλύβδινο σημείο του πλοίου θα

προκαλέσει σοβαρές πιέσεις στο μέταλλο και θα το σπάσει. Ελάσματα από ανοξείδωτο χάλυβα ή υλικά από ξύλο δεν θα πάθουν όμως απολύτως τίποτα.

Στο χώρο των πολλαπλών (Manifold) και στο πάτωμα υπάρχει μία μικρή δεξαμενή νερού με ένα διχτυωτό πλέγμα στην οροφή της, ώστε σε περίπτωση μικρής διαρροής να προστατεύσει τα ελάσματα του πλοίου από την απευθείας έκθεση του με το φορτίο. Επίσης, στην πλευρά των εξάλων του πλοίου που γίνεται η φορτοεκφόρτωση τίθεται σε λειτουργία το σύστημα της Κουρτίνας Νερού (Water Curtain) η οποία προστατεύει με τον ίδιο τρόπο τα ελάσματα του πλοίου σε περίπτωση που η διαρροή προέλθει κυρίως από τους βραχίονες φορτοεκφόρτωσης του τερματικού σταθμού.

Κεφάλαιο 6

6.1 Έγγραφα που συνοδεύουν το φορτίο του πλοίου

Η μεταφορά φορτίων υγροποιημένων αερίων υπόκειται στην ίδια εμπορική τεκμηρίωση μέσω μια σειρά εγγράφων, όπως ισχύει και για τα πλοία που μεταφέρουν φορτία πετρελαίου. Ο πλοίαρχος θα πρέπει να ζητήσει το κωδικό τεχνικό όνομα του φορτίου το συντομότερο δυνατό και πριν από τη φόρτωση. Επίσης, πρέπει να ελέγξει το φορτίο, σύμφωνα με το στο πιστοποιητικό καταλληλότητας του. Τα δελτία δεδομένων (Data Sheets) για τα φορτία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται επίσης επί του πλοίου.

Τα έγγραφα που συνοδεύουν το φορτίο υγρού αερίου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα.

A) Φορτωτική: (Bill of Lading)

Αυτό είναι το σημαντικότερο έγγραφο. Είναι η απόδειξη για το φορτίο επί του πλοίου και τυπικά υπογράφεται από τον καπετάνιο για λογαριασμό του εφοπλιστή ή του ναυλωτή. Αναφέρει την ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου, ότι έχει παραληφθεί στο πλοίο σε καλή κατάσταση και αναφέρει τους όρους και τις προϋποθέσεις, υπό τις οποίες το πλοίο θα μεταφέρει το φορτίο στον προορισμό του. Σε ορισμένους λιμένες που εκτελούν διαδικασίες πρόωρης αναχώρησης, οι πράκτορες θα υπογράψουν αυτό το έγγραφο έπειτα από ειδική εξουσιοδότηση του πλοίαρχου.

Η φορτωτική, συνήθως, εκδίδεται σε τρία πρωτότυπα, το καθένα από τα οποία σφραγίζεται και υπογράφεται ξεχωριστά. Ένα από αυτά πηγαίνει στον αποστολέα, ένα στον μεταφορέα (εφοπλιστής ή ναυλωτής) και ένα στον αποδέκτη του φορτίου. Ένα αντίγραφο θα διατηρηθεί επί του σκάφους και ο πλοίαρχος θα παραδώσει το φορτίο μόνο με την παρουσίαση του πρωτότυπου έγγραφου του αποδέκτη.

B) Πιστοποιητικό Ποσότητας: (Certificate of Quantity)

Αυτό εκδίδεται από το τερματικό σταθμό φόρτωσης και είναι οι αναγραφόμενες ποσότητες φορτίου που δηλώνονται ως το τελικό φορτίο και πιστοποιούνται συνήθως από έναν ανεξάρτητο επιθεωρητή.

Γ) Πιστοποιητικό ποιότητας: (Certificate of Quality)

Αυτό παρέχει τις προδιαγραφές και την ποιότητα του φορτίου, όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά και τα συστατικά στοιχεία του. Εκδίδεται κι αυτό από το τερματικό σταθμό φόρτωσης.

Δ) Πιστοποιητικό προέλευσης: (Certificate of Origin):

Πρόκειται για ένα έγγραφο που εκδίδεται από το παραγωγό του φορτίου, ή τον αποστολέα και υπογράφεται από τις τελωνειακές αρχές και βεβαιώνεται για τη χώρα στην οποία παράχθηκε το φορτίο.

Ε) Χρονοδιάγραμμα: (Time Sheet)

Καταγράφει όλα τα χρονικά στοιχεία των κινήσεων και των εργασιών του πλοίου από την είσοδο των πλοίου μέχρι την τελική αναχώρησή του από το λιμάνι. Αυτό συνήθως προετοιμάζεται από τους πράκτορες του πλοίου και υπογράφεται από τον καπετάνιο. Σκοπός του είναι να παράσχει μια συμφωνημένη δήλωση των γεγονότων σχετικά με το χρονοδιάγραμμα των εργασιών και των τυχόν καθυστερήσεων.

ΣΤ) Δηλωτικό φορτίου: (Cargo Manifest)

Το παρόν έγγραφο προετοιμάζεται συνήθως από τους πράκτορες του πλοίου στο λιμένα φόρτωσης και απαριθμεί το φορτίο σύμφωνα με τη φορτωτική και τη ποσότητα του φορτίου εντός του πλοίου. Σκοπός του είναι να παρέχει άμεσα διαθέσιμα στοιχεία για τις τελωνειακές αρχές και οποιοδήποτε άλλους ενδιαφερόμενους στο λιμένα εκφόρτωσης.

Ζ) Πιστοποιητικό καταλληλότητας δεξαμενής: (Certificate of Tank Fitness)

Αυτό εκδίδεται από ανεξάρτητους χημικούς ή επιθεωρητές, όπου ελέγχουν την ετοιμότητα των δεξαμενών σύμφωνα με τις ειδικές συνθήκες που χρειάζονται να είναι πριν από τη φόρτωση.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς του Παγκόσμιου Ναυτιλιακού Οργανισμού απαιτούν να είναι διαθέσιμες οι ακόλουθες πληροφορίες για κάθε φορτίο επί του πλοίου:

1. Πλήρης περιγραφή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, που είναι αναγκαίες για την ασφαλή μεταφορά του φορτίου.
2. Μέτρα αντιμετώπισης σε περίπτωση διαρροής του φορτίου.
3. Μέτρα αντιμετώπισης σε περίπτωση επαφής με το φορτίο.
4. Διαδικασίες πυρόσβεσης και πυροσβεστικών μέσων.
5. Διαδικασίες μεταφοράς φορτίου, και έκτακτης απελευθέρωσης του φορτίου, καθαρισμός των δεξαμενών και αλλαγής του φορτίου.
6. Ειδικός εξοπλισμός που απαιτείται για τον ασφαλή χειρισμό του συγκεκριμένου φορτίου.
7. Ελάχιστη θερμοκρασία αντοχής του χάλυβα των δεξαμενών και της σιδηροκατασκευής του πλοίου.
8. Διαδικασίες έκτακτης ανάγκης.
9. Αντιδραστικότητα του φορτίου με άλλα υλικά.
10. Λεπτομέρειες σχετικά με τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια πλήρωσης της δεξαμενής για κάθε φορτίο, που μπορεί να μεταφερθεί σε κάθε θερμοκρασία φόρτωσης, τη μέγιστη θερμοκρασία αναφοράς και τη ρύθμιση πίεσης για κάθε βαλβίδα εκτόνωσης.

Ο πλοίαρχος και όλοι οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να χρησιμοποιούν το δελτίο δεδομένων, όπως και κάθε άλλη σχετική πληροφορία, για να εξοικειωθούν με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε φορτίου, που πρόκειται να φορτωθεί.

Επειδή το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί ένα μείγμα υδρογονανθράκων, πρέπει να αναζητηθούν πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του μείγματος, που πρόκειται να φορτωθεί. Οι ενδείξεις θερμοκρασίας και πίεσης στις δεξαμενές του πλοίου και της ξηράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση αυτών των πληροφοριών.

6.2 Θαλάσσιες εγκαταστάσεις τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου

Οι θαλάσσιες εγκαταστάσεις τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά και φόρτωση/εκφόρτωση των πλοίων μέσω ειδικών βραχιόνων φορτοεκφόρτωσης.

Οι τερματικοί σταθμοί συνήθως κατασκευάζονται μικρή απόσταση από την κύρια μονάδα παραγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου και έχουν προβλήτα με επαρκή βάθος και μήκος για την υποδοχή και την πρόσδεση των πλοίων. Οι βραχίονες φορτοεκφόρτωσης που βρίσκονται επάνω στην προβλήτα συνδέονται με ένα σύστημα σωληνώσεων που διέρχονται από όλη την χερσαία εγκατάσταση και των δεξαμενών της. Στις περισσότερες περιπτώσεις, πριν την είσοδο στο λιμάνι ή την προβλήτα υποδοχής υπάρχει ένας μακρύς θαλάσσιος διάυλος ορισμένος με βοηθήματα ναυσιπλοΐας τα οποία αποτελούν ένα οδηγό για το πλοίο για την διέλευση του πλοίου μέχρι την τελική πρόσδεση του.

Τα σκάφη εισέρχονται στην εγκατάσταση υποβοηθούμενα από εξειδικευμένους πλοηγούς (γνώστες της γύρω θαλάσσιας περιοχής), οι οποίοι προστίθενται στην ομάδα της γέφυρας και βοηθούν την είσοδο του πλοίου, την σωστή ευθυγράμμιση του με τους βραχίονες φορτοεκφόρτωσης και την πρόσδεση τους. Επίσης, βρίσκονται παρόντες και κατά την αναχώρηση του πλοίου μέχρι συνήθως την έξοδο από ορισμένο θαλάσσιο διάυλο. Μερικοί από αυτούς εκτός από πλοηγοί λαμβάνουν και καθήκοντα υπευθύνου φόρτωσης (Loading Master), ειδικά σε περιπτώσεις, όπου η προβλήτα απέχει πολύ μακριά από την κύρια εγκατάσταση.

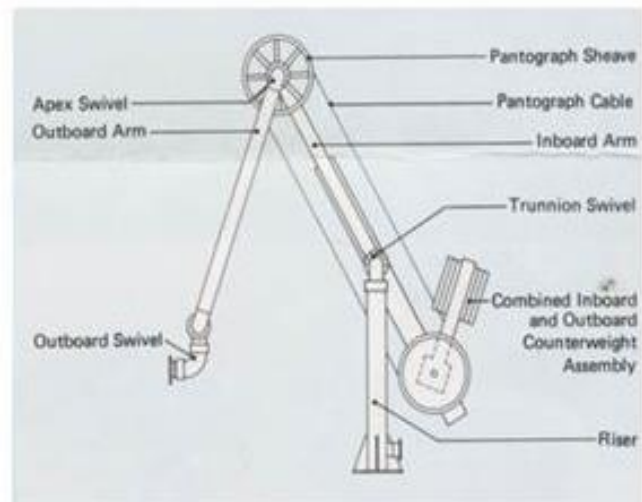
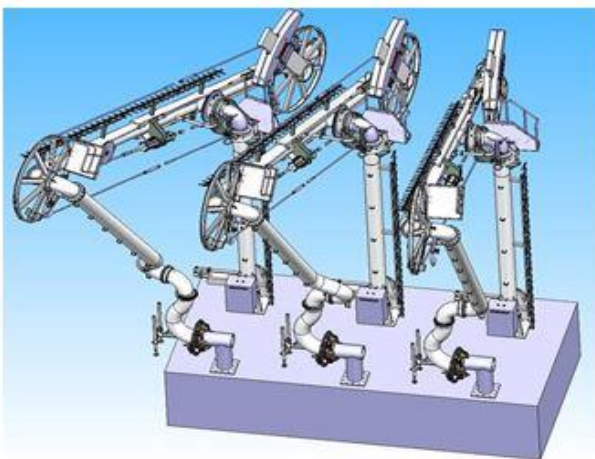


Αριστερά ένα πλοίο με δεξαμενές μεμβρανών υπό την βοήθεια ρυμουλκών κατευθύνεται προς την προβλήτα πρόσδεσης ενώ δεξιά εάν πλοίο με δεξαμενές τύπου Moss έχει τελειώσει με την διαδικασία πρόσδεσης και είναι έτοιμο για φορτοεκφόρτωση.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα κρυογονικό υγρό, το οποίο συνήθως φορτώνεται σε οποιαδήποτε θερμοκρασία κάτω από του $-159\text{ }^{\circ}\text{C}$. Οι κανονικοί βραχίονες φορτοεκφόρτωσης ή οι ελαστικοί εύκαμπτοι σωλήνες χάλυβα δεν αντέχουν σε τέτοιες κρυογονικές θερμοκρασίες.

Οι βραχίονες φορτοεκφόρτωσης, που είναι εγκατεστημένοι στους τερματικούς σταθμούς είναι κατασκευασμένοι από ειδικά ακριβά κράματα υλικών που αντέχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες και έχουν δυνατότητα μεγάλης συστολής και διαστολής χωρίς να παραμορφώνονται.

Επίσης, δεν είναι στατικοί και προσφέρουν ένα εύρος κίνησης σε περίπτωση οποιαδήποτε κίνησης του πλοίου είτε οριζόντιας είτε κάθετης, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του φορτίου. Λειτουργούν με υδραυλικό σύστημα και είναι εφοδιασμένοι με συνδέσμους απελευθέρωσης έκτακτης ανάγκης και σύστημα απελευθέρωσης έκτακτης ανάγκης.



Αριστερά ένα τυπικό σύστημα βραχιόνων φορτοεκφόρτωσης και δεξιά το σχηματικό τους διάγραμμα.

Ο βραχίονας έχει δύο περιστρεφόμενα συνδέσμους, ένα στην κορυφή και το άλλο στο κάτω μέρος του. Ο πάνω στροφέας συνδέει το εξωτερικό άκρο του βραχίονα, που πηγαίνει στην πολλαπλή του πλοίου με το εσωτερικό του άκρο που στηρίζεται στην βάση του στην ξηρά. Ο κάτω στροφέας χρησιμοποιεί κάποια αντίβαρα, ώστε να μειώσει το βάρος του βραχίονα, που συνδέεται στην πολλαπλή του πλοίου και, επίσης, για να μειωθεί η απαιτούμενη ισχύ που χρειάζεται μέχρι εκείνος να τοποθετηθεί στην θέση του.

Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι παρέχει σχετικά μεγάλο εύρος κινήσεων (Operating Envelope) κι έτσι υπάρχει η δυνατότητα υποδοχής μεγάλων πλοίων. Με την χρήση εύκαμπτων

σωλήνων αυτό το περιθώριο θα ήταν πολύ μικρότερο και άρα μόνο μικρά πλοία θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν. Επίσης, σε τερματικούς σταθμούς με δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή με μεγάλο εύρος παλίρροιας επιτρέπεται η συνεχής μεταφορά του φορτίου χωρίς να επηρεάζεται από μια ενδεχόμενη οριζόντια κίνηση του πλοίου.



Βραχίονες φορτοεκφόρτωσης συνδεδεμένοι με τις πολλαπλές του πλοίου

Σύστημα σύνδεσης βραχιόνων

Οι τερματικοί σταθμοί χρησιμοποιούν συνήθως βραχίονες τύπου γρήγορης σύνδεσης/αποσύνδεσης συνδέσμων (QCDCs - Quick Connect/Disconnect). Αυτό το σύστημα προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου. Αυτοί οι σύνδεσμοι λειτουργούν υδραυλικά και ελέγχονται χειροκίνητα μέσω ενός τηλεχειριστήριου. Οι κεφαλές των πολλαπλών του πλοίου και των βραχιόνων κλειδώνονται μηχανικά με θετικό κλείδωμα και έχουν ανεξάρτητη τροφοδοσία από την υδραυλική τροφοδοσία του βραχίονα. Το κύριο πλεονέκτημα του βραχίονα τύπου QCDC είναι η ύπαρξη ενός συστήματος απελευθέρωσης έκτακτης ανάγκης και επείγουσα διακοπή λειτουργίας, το γνωστό και ως ESD (Emergency Shutdown) και το οποίο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες το ESD-1 και ESD-2.

Σε περίπτωση επείγουσας κατάστασης κατά τη φορτοεκφόρτωση το σύστημα ESD μπορεί να ενεργοποιηθεί από πολλαπλά σημεία. Σε περίπτωση ενεργοποίησης του ESD-1, η αντλία φορτίου της ξηράς κλείνει και η κύρια βαλβίδα φόρτωσης του πλοίου κλείνει, προστατεύοντας τα συστήματα φόρτωσης του πλοίου. Σε περίπτωση αποκοπής της σύνδεσης του βραχίονα φόρτωσης, ενεργοποιείται το σύστημα ESD-2, το οποίο ενεργοποιεί τον σύνδεσμο απελευθέρωσης έκτακτης ανάγκης προκαλώντας διακοπή της τροφοδοσίας τους συστήματος (PERC -Power Emergency Release Coupling), αποσυνδέοντας αμέσως τους βραχίονες, ώστε να αποτραπεί φθορά στην κατασκευή τους.



Αριστερά κλείδωμα το σύστημα QC/DC ενώ δεξιά ο μηχανισμός PERC

6.2.2 Ακολουθία φορτοεκφόρτωσης

Η ασφαλής, αποδοτική και αξιόπιστη φόρτωση υγροποιημένου φυσικού αερίου σε ένα πλοίο επιτυγχάνεται με την συνεργασία μια ομάδας υψηλά καταρτισμένων ατόμων, που περιλαμβάνει άτομα τόσο από την πλευρά όσο και από την ξηρά. Ο υπεύθυνος φόρτωσης (Loading Master) είναι ο πιο σημαντικός εκπρόσωπος του τερματικού σταθμού και συντονίζει την όλη επιχείρηση και παραμένει καθ' όλη την διάρκεια επάνω στο πλοίο. Το δωμάτιο ελέγχου του φορτίου του πλοίου (CCR – Cargo Control Room) αλλά και της ξηράς (TCCR – Terminal Cargo Control Room) αποτελούν τους δύο ξεχωριστούς επιχειρησιακούς χώρους, που συνεργάζονται κατά την μεταφορά του φορτίου.



Αριστερά ο χώρος CCR ενός τερματικού σταθμού και δεξιά ο αντίστοιχος ενός πλοίου

Πριν από την έναρξη της επιχείρησης, υπάρχει μια σειρά από σημεία που συζητούνται μεταξύ των εκπροσώπων και των δύο πλευρών. Η συζήτηση γίνεται κυρίως μεταξύ του υπεύθυνου φόρτωσης και του υποπλοιάρχου, παρουσία του πλοιάρχου, του πράκτορα του πλοίου και του φορτίου και ενός ανεξάρτητου εμπειρογνώμονα. Εκεί συζητούνται όλες οι διαδικασίες επί του πλοίου σύμφωνα με το οδηγό φορτώσεως (Gas Carrier Guide). Απαιτείται κατάλληλη ανταλλαγή πληροφοριών και θα πρέπει να ολοκληρωθούν τα σχετικά μέρη του καταλόγου ελέγχου ασφάλειας πλοίου/ξηράς.

6.2.3 Πάγωμα των γραμμών και των σωληνώσεων (Line Cool Down)

Τα άτομα του τερματικού σταθμού ξεκινούν την άντληση του φορτίου με αργό ρυθμό για περίπου 15 λεπτά, προκειμένου να κρυώσουν σταδιακά τις σωληνώσεις της ξηράς τους βραχίονες φόρτωσης αλλά και τις κεφαλές των πολλαπλών του πλοίου. Σταδιακά, αυξάνουν αργά το ρυθμό μεταφοράς του φορτίου μέχρι να παγώσει η κύρια γραμμή και η γραμμή του ψεκασμού του πλοίου για περίπου 15-20 λεπτά. Οι πιέσεις των δεξαμενών φορτίου θα πρέπει να παρακολουθούνται στενά και, εάν απαιτείται, ο συμπιεστής υψηλού φόρτου θα πρέπει να προσαρμόζεται, ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση των ατμών του φορτίου. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα καμπύλωσης των σωληνώσεων, πρέπει οι κεφαλές και οι γραμμές να παγώσουν και να γεμίσουν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα.

Πριν από την έναρξη της φορτοεκφόρτωσης, οι σωληνώσεις του φορτίου πρέπει να έχουν πλήρως παγώσει. Οι κύριοι λόγοι είναι οι ακόλουθοι:

1. Να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα διαρροής στις συνδέσεις των βαλβίδων ή σε άλλα τμήματα των σωληνώσεων, καθώς το φορτίο διέρχεται από αυτούς. Αυτό γίνεται, γιατί ο πάγος λειτουργεί και ως μονωτικό υλικό.
2. Για να μειωθεί η πιθανότητα του ξαφνικού σοκ των τοιχωμάτων των σωληνώσεων, καθώς το κρύο υγρό διέρχεται μέσα από αυτούς.
3. Για να αποφευχθεί η δημιουργία φυλάκων ατμών φυσικού αερίου. Εάν το υγροποιημένο φυσικό αέριο εισαχθεί σε μια ζεστή σωλήνωση, το αρχικό φορτίο θα εξατμιστεί, και θα δημιουργήσει ένα φύλακα ατμού, όπου θα μπλοκάρει τη φόρτωση του υγρού. Στη συνέχεια, είναι πιθανό ότι αυτός ο ατμός θα συμπυκνωθεί πολύ γρήγορα καθώς η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από το «σημείο συμπύκνωσης» (dew point), επιτρέποντας έτσι σε αυτό το υγρό να προκαλέσει βλάβη στους αγωγούς, τις βαλβίδες ή τις συνδέσεις.

6.2.4 Αδρανοποίηση της ατμόσφαιρας εντός των βραχιόνων φορτοεκφόρτωσης (Purging of Loading Arms)

Μετά τη σύνδεση των βραχιόνων, ο αέρας πρέπει να αδρανοποιηθεί από το κομμάτι μεταξύ των βραχιόνων και των κεφαλών των πολλαπλών. Αέριο αζώτου εισέρχεται σε αυτό το κομμάτι και συμπιέζεται σε πίεση μεταξύ των 4-6 atm.

Μετά την συμπίεση, η βαλβίδα εξαερισμού της πολλαπλής ανοίγει και απελευθερώνεται αέρας και άζωτο στην ατμόσφαιρα. Αυτή η λειτουργία επαναλαμβάνεται δύο ή τρεις φορές, και σταματά, αφού μετρηθεί με ειδικό εξοπλισμό ότι το μείγμα αερίου που εξέρχεται από τις βαλβίδες έχει περιεκτικότητα σε οξυγόνο κάτω του 2%. (Oxygen Test). Την ίδια ώρα διεξάγεται μια δοκιμή διαρροής με σαπουνόνερο επάνω στις κεφαλές των πολλαπλών την ίδια στιγμή (Leak Test). Εάν εμφανιστούν φυσαλίδες στο σαπουνόνερο τότε αυτό αποτελεί ένδειξη διαρροής και μη καλής σύνδεσης των βραχιόνων και των πολλαπλών του πλοίου. Σε αυτή την περίπτωση αποσυνδέονται, αλλάζονται οι φλάντζες στις κεφαλές των πολλαπλών του πλοίου και συνδέονται ξανά. Αν το πρόβλημα παραμένει η συγκεκριμένη γραμμή της συγκεκριμένης πολλαπλής θα αποκοπεί από το πλάνο φορτοεκφόρτωσης και η μεταφορά του φορτίου θα ξεκινήσει από τις υπόλοιπες γραμμές των πολλαπλών.

6.3 Η Διαδικασία της Φόρτωσης (Loading Operation)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται από τις σωληνώσεις του τερματικού σταθμού και μέσω των βραχιόνων φόρτωσης καταλήγει στην κύρια «γραμμή υγρού» (Liquid Line) της εκάστοτε πολλαπλής. Από εκεί μεταφέρεται μέσω των σωληνώσεων του πλοίου και καταλήγει στην «γραμμή πλήρωσης υγρού» της εκάστοτε δεξαμενής (Tank Filling Line). Ο ατμός που δημιουργείται από την εξάτμιση του φορτίου, εκτοπίζεται από την δεξαμενή μέσω της «γραμμής ατμού» (Vapour Line) και μεταφέρεται στην πλευρά της ξηράς.

Αρχικά αυτό γίνεται μέσω «ελεύθερης ροής» (Free Flow), αλλά όσο η πίεση της δεξαμενής αυξάνεται, ένας συμπιεστής αρχίζει να λειτουργεί, για να αυξήσει τη ροή του αερίου στην ξηρά και να περιορίσει την πίεση της δεξαμενής του φορτίου.

Καθώς η ταχύτητα μεταφοράς φορτίου αυξάνεται, είναι σημαντικό να παρακολουθείται η πίεση της δεξαμενής και να ξεκινήσει η λειτουργία ενός συμπιεστή υψηλού φόρτου. Εάν οι συμπιεστές δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τον όγκο του βρασμού και των εκτοπισμένων αερίων, θα πρέπει να μειωθεί η ταχύτητα της μεταφοράς του φορτίου.

Όταν όλες οι γραμμές και οι βαλβίδες έχουν ψυχθεί πλήρως, το πλοίο μπορεί να ξεκινήσει την αύξηση του ρυθμού φόρτωσης, σύμφωνα με την ακολουθία που συμφωνήθηκε με τον τερματικό σταθμό. Ο αφερματισμός ξεκινάει κι αυτός σύμφωνα με το πλάνο φόρτωσης. Το φορτίο θα πρέπει να διανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλες τις δεξαμενές κατά τη φόρτωση.

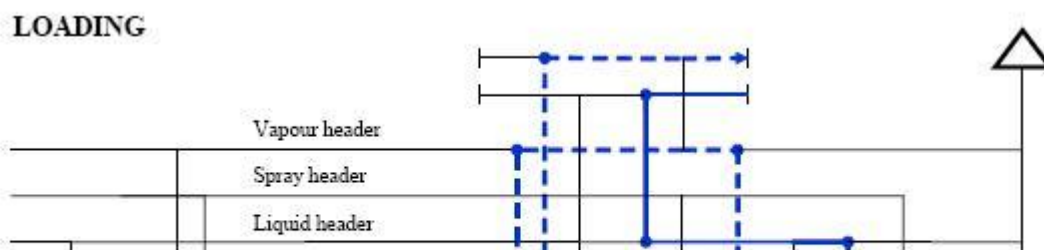
Οι συμπιεστές προσαρμόζονται σύμφωνα με το ρυθμό φόρτωσης, ώστε να εξασφαλίζεται ότι η πίεση ατμών της δεξαμενής παραμένει σε επίπεδο ασφαλές κάτω από την πίεση όπου ενεργοποιεί τις βαλβίδες εκτόνωσης των δεξαμενών. Επίσης, ελέγχεται ότι το σύστημα αζώτου λειτουργεί σωστά.

Στα πλοία τύπου Moss η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πριν την φόρτωση πρέπει να βρίσκεται εντός ορισμένων ορίων, κυρίως σε περιοχές με αυξημένη θερμοκρασία. Έτσι οι θερμοκρασίες των δεξαμενών πρέπει να παρακολουθούνται αρκετά στενά.

Οι ωριαίες θερμοκρασίες πρέπει να καταγράφονται ώστε, να μπορεί να επαληθευτεί εάν αυτές βρίσκονται εντός των ορίων ανοχής των κατασκευαστών. Στα πλοία με δεξαμενές μεμβράνης πρέπει να έχει ξεκινήσει άμεσα το σύστημα ρύθμιση της θερμοκρασίας στους κενούς χώρους μεταξύ των δεξαμενών (Cofferdam) του πλοίου.

Οι επικοινωνίες με το τερματικό σταθμό θα πρέπει να δοκιμάζονται σε συχνή βάση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Επίσης οι απομακρυσμένες συσκευές μέτρησης και οι δείκτες θέσης βαλβίδων θα πρέπει να ελέγχονται σε αντιπαραβολή με τις ενδείξεις των τοπικών και αναλογικών δεκτών.

Τα μέσα πρόσδεσης πρέπει να ελέγχονται συχνά και πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με το ρυθμό φόρτωσης του πλοίου ή τις αυξομειώσεις της παλίρροιας. Ο υπεύθυνος αξιωματικός φυλακής (Officer of Watch - OOW) θα πρέπει σε περίπτωση αμφιβολίας να καλέσει για βοήθεια τον Πλοίαρχο ή ένα ανώτερο του.



Το τυπικό σχεδιάγραμμα της φόρτωσης μίας δεξαμενής

6.3.1 Πλήρωση της δεξαμενής (Topping off)

Όσο πλησιάζει η ολοκλήρωση της φόρτωσης, οι δεξαμενές πρέπει να γεμίσουν σύμφωνα με το σχέδιο φορτίου, που συνήθως αφήνει ένα χρονικό περιθώριο 10 έως 15 λεπτών μεταξύ της ολοκλήρωσης της φόρτωσης για την εκάστοτε δεξαμενή.

Ο τερματικός σταθμός πρέπει να ειδοποιείται εκ των προτέρων και με τη συμφωνηθείσα διαδικασία, ώστε να μειώσει από το μέρος του τον ρυθμό φόρτωσης. Η γνωστοποίηση αυτή (Notice) πρέπει να γίνεται τουλάχιστον 30 λεπτά πριν την έναρξη μείωσης του ρυθμού φόρτωσης. Συνήθως γίνεται 60 λεπτά πριν και λέγεται «γνωστοποίηση εντός μίας ώρας» (One Hour Notice).

Οι δεξαμενές μεμβράνης συνήθως γεμίζουν μέχρι το επίπεδο του 98,5%, ενώ τα πλοία τύπου Moss μέχρι το 99,5%, και αυτό συμβαίνει διότι λόγω της διαφορετικής κατασκευής και των δυνάμεων διατοιχισμού, που δέχονται η κάθε μία.

Ανεξάρτητα τον τύπο των δεξαμενών υπάρχουν συναγερμοί που ενεργοποιούνται σε προκαθορισμένα επίπεδα πλήρωσης. Το υψηλότερο και τελευταίο επίπεδο ενεργοποιεί τον συναγερμό του «συστήματος έκτακτης διακοπής λειτουργίας ESD» (Emergency Shutdown System), το οποίο κλείνει την βαλβίδα της γραμμής πλήρωσης της δεξαμενής.

Τα όρια πλήρωσης των δεξαμενών φορτίου εμπεριέχονται σε ένα κεφάλαιο του διεθνή κώδικα για την κατασκευή και τον εξοπλισμό πλοίων, που μεταφέρουν χύδην υγροποιημένο αέριο. IGC Code

(International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk). Τέθηκε σε ισχύ τη 1/7/1986 και ήταν σύμφωνος με την αναθεωρημένη διεθνή σύμβαση για την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα. (SOLAS 1974/83)

6.3.2 Αφερματισμός

Η λειτουργία «αφερματισμού» (deballasting) διεξάγεται ταυτόχρονα με τη φόρτωση. Πριν από την έναρξη πρέπει να ελεγχθούν οπτικά οι δεξαμενές έρματος ότι δεν περιέχουν πετρελαιοειδή ή άλλους ρύπους. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να πραγματοποιείται μέσω των ανοιγμάτων των καπακιών των δεξαμενών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, ειδικά για τις δεξαμενές, που βρίσκονται δίπλα στις δεξαμενές καυσίμου πετρελαίου. Σε πολλούς τερματικούς σταθμούς μπορεί στο πλοίο να διεξαχθούν αιφνίδιοι έλεγχοι από τις υγειονομικές αρχές του εκάστοτε κράτους, οι οποίες μπορούν να πάρουν δείγματα νερού για ανάλυση από τις δεξαμενές έρματος.

Ο ερματισμός του πλοίου, συνήθως, διεξάγεται με τέτοιο τρόπο ώστε το πλοίο να έχει μία μικρή διαγωγή προς τα πρύμα. Κατά τον αφερματισμό του πλοίου, ελέγχεται πάντα ο ρυθμός του, ώστε το βύθισμα του πλοίου να μην διαφέρει παραπάνω από 1 μέτρο από το βύθισμα άφιξης και πάντα σε συνεννόηση με τον τερματικό σταθμό. Η διαδικασία του αφερματισμού θα πρέπει, συνήθως, να ολοκληρώνεται πριν την έναρξη πλήρωσης των δεξαμενών.

6.4 Η Διαδικασία της Εκφόρτωσης (Discharging Operation)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο στην διαδικασία της εκφόρτωσης μεταφέρεται στην ξηρά με την βοήθεια των αντλιών του πλοίου. Στο πάτο κάθε δεξαμενή φορτίου βρίσκονται εγκατεστημένες δύο βυθισμένες κύριες αντλίες φορτίου. Κατά την μεταφορά του φορτίου, καθώς η δεξαμενή αδειάζει η πίεση της πέφτει. Στον αντίποδα, η πίεση των δεξαμενών της ξηράς αυξάνει με την παραλαβή του φορτίου. Με τη χρήση αυτής της διαφοράς πίεσης το φορτίο αποστέλλεται, αρχικά, από τις δεξαμενές του πλοίου στις δεξαμενές της ξηράς.

Όταν, όμως, ο ρυθμός εκφόρτωσης αυξηθεί, η πίεση εντός των δεξαμενών του πλοίου θα μειωθεί με δυσανάλογο και ταχύτερο ρυθμό. Έτσι, για να ισορροπηθεί η πίεση εντός των δεξαμενών, ατμοποιημένο φορτίο εισέρχεται από τις δεξαμενές της ξηράς στις αντίστοιχες του πλοίου. Εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα παροχής του ατμοποιημένου φορτίου από την ξηρά, τότε μέρος του υγροποιημένου φορτίου, που εξέρχεται από τις δεξαμενές καταλήγει στον «εξατμιστή» του πλοίου (Vaporizer). Εκεί δημιουργείται το απαραίτητο ατμοποιημένο φορτίο, το οποίο και εισέρχεται μέσα στις δεξαμενές του πλοίου κρατώντας με αυτό τον τρόπο σταθερή την πίεση των δεξαμενών

Η τυπική διαδικασία εκφόρτωσης με επιστροφή ατμοποιημένου φορτίου από τον τερματικό σταθμό είναι η ακόλουθη:

- Αρχικά επιβεβαιώνεται ότι βαλβίδες των πολλαπλών μεταφοράς φορτίου είναι ανοικτές. (Liquid Manifold Valves). Στην συνέχεια, κλείνονται τοπικά οι βαλβίδες ψύξης της κάθε πολλαπλής. (Cool Down Valves)
- Πριν από την έναρξη της αντλίας φορτίου, πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι όλες οι βαλβίδες πλήρωσης φορτίου της δεξαμενής είναι ανοικτές (Filling Tank Valve), όμως η βαλβίδα που συνδέει τις πολλαπλές να παραμένει κλειστή. Τα άτομα του μηχανοστασίου πρέπει να είναι ενήμερα και να βρίσκονται σε επιφυλακή, σε περίπτωση που χρειαστεί επιπλέον ηλεκτρική ισχύ για τις αντλίες του πλοίου.
- Όταν η αντλία είναι έτοιμη να ξεκινήσει, σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της, το πλοίο ενημερώνει τα άτομα στην ξηρά, ώστε να είναι προετοιμασμένοι για τις επακόλουθες αλλαγές στις πιέσεις των δεξαμενών τους.
- Η συνήθης διαδικασία είναι να ξεκινήσουμε μία αντλία από μία δεξαμενή σε κατάσταση επανακυκλοφορίας μέσα στην δεξαμενή. Αυτό συνήθως διαρκεί 5 λεπτά κι έπειτα ειδοποιείται η ξηρά ότι η αντλία θα συνδεθεί επάνω στο δίκτυο και θα ξεκινήσει η εκφόρτωση. Η αντλία λειτουργεί αρχικά στο 60% της ισχύς της. Η δεύτερη αντλία μπορεί να δοθεί απευθείας επάνω στην γραμμή, χωρίς να τεθεί σε κατάσταση επανακυκλοφορίας.

Παρόμοια διαδικασία εφαρμόζεται και στις άλλες δεξαμενές με 5 λεπτά διάστημα μεταξύ κάθε δεξαμενής. Μόλις όλες οι αντλίες τρέχουν στο 60% της ισχύς του, τότε σιγά σιγά αυξάνεται η ισχύς τους, ώστε να φτάσει στο μέγιστο συμφωνηθέν ρυθμό εκφόρτωσης μεταξύ πλοίου και ξηράς.

Η διαδικασία έναρξης των αντλιών και παράδοσης του στο δίκτυο μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την πολιτική της εκάστοτε εταιρείας αρκεί βέβαια αυτή να μην παραβαίνει τις οδηγίες χρήσης και λειτουργίας του κατασκευαστή.

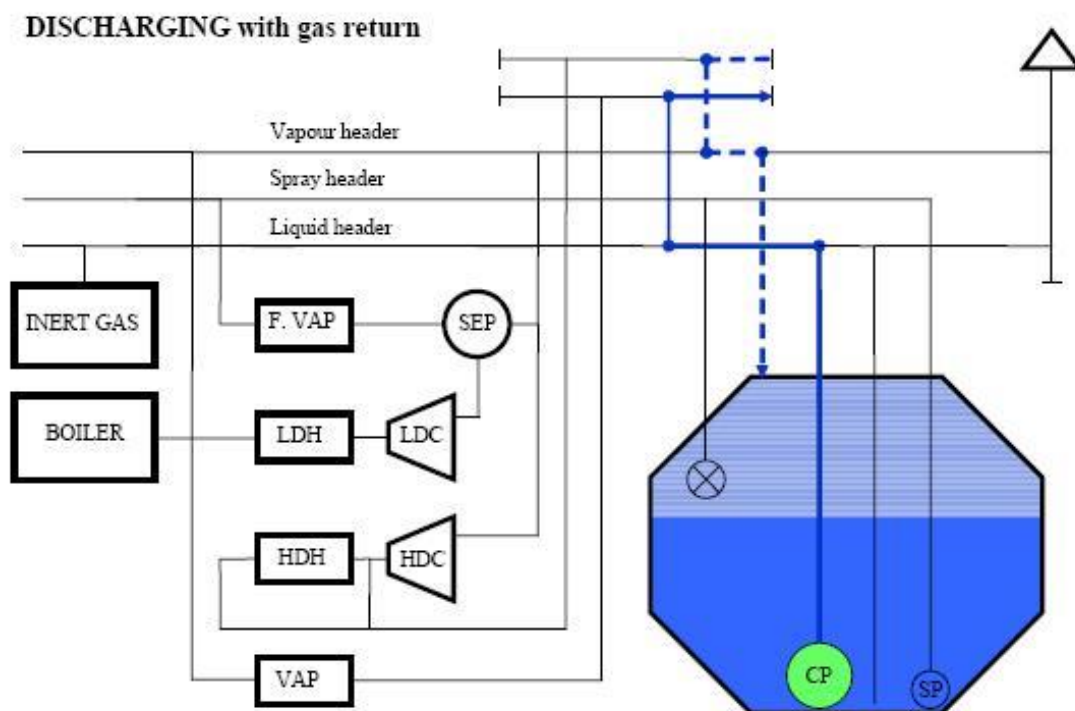
Καθώς πέφτει η πίεση της δεξαμενής, ζητείται από τον τερματικό σταθμό να αρχίσει να στέλνει ατμοποιημένο φορτίο πίσω στο πλοίο, ώστε να διατηρείται η πίεση της δεξαμενής σε σταθερά επίπεδα.

Τα ακόλουθα στοιχεία πρέπει να παρακολουθούνται στενά κατά την εκφόρτωση:

- Επίπεδο φορτίου στη δεξαμενή
- Πίεση της δεξαμενής
- Ισχύς της αντλίας και πίεση εκκένωσης
- Βύθισμα, Διαγωγή και υπολειπομένη ποσότητα φορτίου στις δεξαμενές
- Γενική Κατάσταση πλοίου

Κατά την ολοκλήρωση της εκφόρτωσης, τα επίπεδα φορτίου σε κάθε δεξαμενή διαφέρουν ελαφρώς ώστε να ολοκληρωθεί σταδιακά η εκφόρτωση σε κάθε δεξαμενή ξεχωριστά χρησιμοποιώντας την αντλία αποστράγγισης (ψεκασμού) της κάθε δεξαμενής. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται και «επιβράδυνση» (Ramp Down).

Μετά το τέλος της εκφόρτωσης, ζητείται να σταματήσει η παροχή ατμοποιημένου φορτίου από τον τερματικό σταθμό. Ακόμα και μετά το τέλος της εκφόρτωσης, μία βαλβίδα πλήρωσης μιας δεξαμενής πρέπει να μένει πάντα ανοιχτή, ώστε να αποφευχθεί η συμπίεση της κύριας γραμμής μεταφοράς φορτίου.

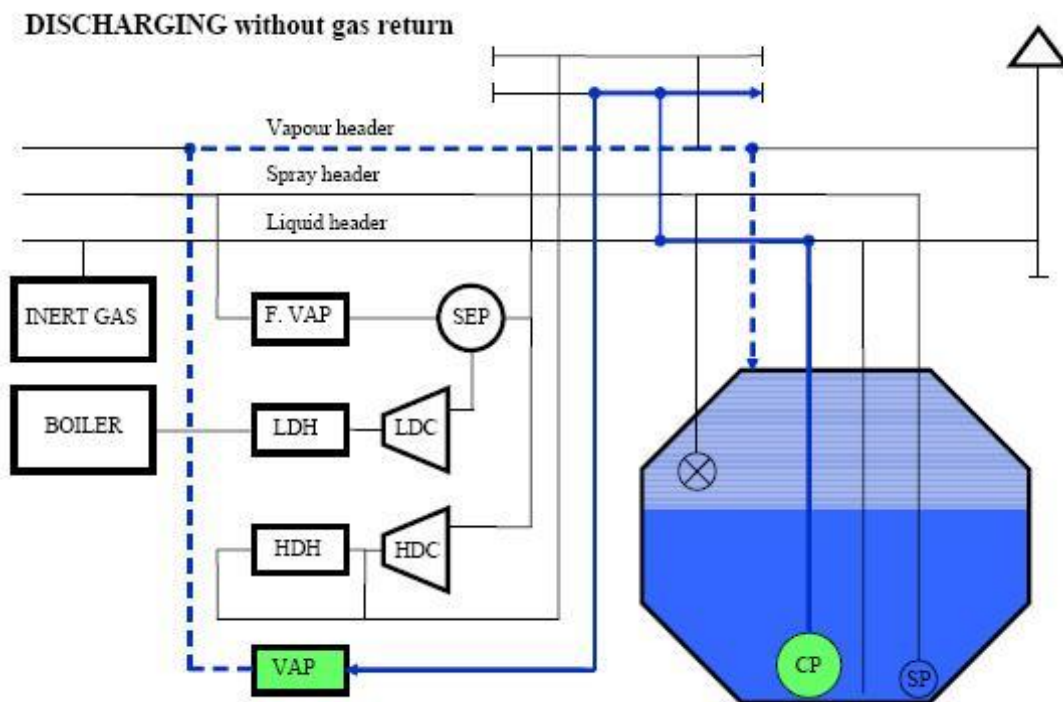


Το τυπικό σχεδιάγραμμα της φόρτωσης μίας δεξαμενής με επιστροφή ατμοποιημένου φορτίου

Διαδικασία εκφόρτωσης χωρίς παροχής ατμοποιημένου φορτίου από τον τερματικό σταθμό

Σε σπάνιες περιπτώσεις όπως εκείνης ενός νέου τερματικού σταθμού θα πρέπει να γίνει εκφόρτωση δίχως την παροχή ατμοποιημένου φορτίου από την πλευρά της ξηράς. Η διαδικασία της εκφόρτωσης που περιγράψαμε παραπάνω, ακολουθείται, επίσης, με την εξής διαφορά. Όταν ξεκινήσει η λειτουργία των αντλιών του πλοίου και αρχίσει η μεταφορά του φορτίου ένα μέρος του μέσω μια ανοικτής βαλβίδας καταλήγει στον «εξατμιστή» του πλοίου (Vaporizer). Εκεί δημιουργείται το κατάλληλο ατμοποιημένο φορτίο, το οποίο και εισέρχεται μέσα στις δεξαμενές του πλοίου. Η ισχύς του εξατμιστή αυξομειώνεται ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση εντός των δεξαμενών.

Πριν ξεκινήσει όμως η διαδικασία, ο ναυλωτής και ο τερματικός σταθμός πρέπει να έρθουν σε συμφωνία, γιατί ο αριθμός του συνολικού παραδοτέου φορτίου ίσως διαφέρει από το ακριβή νούμερο της φορτωτικής, εξαιτίας ενός ποσοστού του φορτίου το οποίο θα έχει ατμοποιηθεί.



Το τυπικό σχεδιάγραμμα της φόρτωσης μίας δεξαμενής χωρίς επιστροφή ατμοποιημένου φορτίου

6.5 Η διαδικασία της αποστράγγισης και της εξαέρωσης (Draining & Purging Operation)

Η διαδικασία της αποστράγγισης και της εξαέρωσης των γραμμών του τερματικού σταθμού, των γραμμών και της πολλαπλής του πλοίου είναι η ίδια είτε πρόκειται για φόρτωση ή εκφόρτωση.

Ξεκινάει με την χρήση αέριου αζώτου και πραγματοποιείται πριν από την αποσύνδεση των βραχιόνων του τερματικού σταθμού από τις κεφαλές των πολλαπλών του πλοίου. Αυτή γίνεται μέσω της βαλβίδας παράκαμψης ψεκασμού της εκάστοτε πολλαπλής. (Spray Bypass Valve)

Μετά το τέλος της φορτοεκφόρτωσης, οι βαλβίδες εκτάκτου διακοπής (ESD) των πολλαπλών κλείνουν και στην συνέχεια συνδέεται η γραμμή ψεκασμού με τις βαλβίδες ψεκασμού των δεξαμενών με τη πολλαπλή. Η βαλβίδα ψύξης σε κάθε πολλαπλή διατηρείται κλειστή.

Στη συνέχεια, ο τερματικός σταθμός παρέχει αέριο αζώτου με αυξανόμενη πίεση που φτάνει σε ένα ορισμένο επίπεδο (συνήθως περίπου 4atm). Στη συνέχεια, η βαλβίδα ψύξης ανοίγει και το υπολειπόμενο υγρό φορτίο, αλλά και ατμοποιημένο φορτίο εισέρχεται πίσω στις δεξαμενές μέσω της διαφοράς πίεσης. Η ίδια διαδικασία γίνεται και στην πολλαπλή του ατμοποιημένου φορτίου (Vapour Line). Η αποστράγγιση συνήθως διεξάγεται διαδοχικά σε κάθε πολλαπλή του πλοίου.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η κάθε πολλαπλή να είναι εντελώς απαλλαγμένη από υγρό φορτίο και το επίπεδο συγκέντρωσης υδρογονανθράκων στο ατμοποιημένο φορτίο να είναι λιγότερο από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση, την οποία ορίζει ο εκάστοτε τερματικός σταθμός, που είναι συνήθως 1%.

6.6 Ημερολόγιο παρακολούθησης φορτοεκφόρτωσης (Cargo operation Logbook)

Κατά τη διάρκεια των εργασιών φορτοεκφόρτωσης, ο αξιωματικός φυλακής κάνει εγγραφές σε αυτό το ημερολόγιο όλες τις εργασίες, που αφορούν αποκλειστικά στο φορτίο όπως μετρήσεις του φορτίου, τα δεδομένα των αντλιών, που βρίσκονται σε λειτουργία, μέτρηση του κενού χώρου του πλοίου, τον ωριαίο ρυθμό φορτοεκφόρτωσης, τις κοπώσεις που δέχεται το πλοίο και γράφεται οποιαδήποτε στάδιο της επιχείρησης. Το ημερολόγιο αυτό βρίσκεται στον «χώρο διαχείρισης του φορτίου» (Cargo Control Room) και συμπληρώνεται και υπογράφεται επίσης από όλους τους αξιωματικούς φυλακής, σύμφωνα με τις οδηγίες του υποπλοιάρχου.

6.7 Εργασίες αμέσως μετά το πέρας της φορτοεκφόρτωσης

1. Μέτρηση των δεξαμενών

Μόλις οι βραχίονες φόρτωσης αποστραγγιστούν και είναι έτοιμοι για αποσύνδεση, ο υποπλοίαρχος και ένας ανεξάρτητος επιθεωρητής του φορτίου εκδίδουν την τελική έκθεση μεταφοράς του φορτίου το λεγόμενο και ως CTS (Cargo Custody Transfer Survey). Σε όλη την διαδικασία είναι παρών και ο «υπεύθυνος φορτοεκφόρτωσης» από την πλευρά του τερματικού σταθμού (Loading Master), όπου λαμβάνει ένα αντίγραφο για το σκοπούς της φορτωτικής.

2. Αποσύνδεση βραχιόνων

Μόλις ολοκληρωθεί η έκδοση της τελικής έκθεσης μεταφοράς, ο υπεύθυνος φορτοεκφόρτωσης ζητά από το προσωπικό του τερματικού σταθμού να αποσυνδέσουν και να απομακρύνουν τους βραχίονες από το πλοίο με τελευταία, πάντα, τον βραχίονα, που είναι συνδεδεμένος με την πολλαπλή της γραμμή ατμών του πλοίου. Σε μερικές περιπτώσεις, δίνεται στο πλοίο μία φιάλη με δείγμα του φορτίου προς φύλαξη και ενδεχόμενο έλεγχο και το πλοίο είναι έτοιμο για αποχωρήσει.

3. Συνάντηση μετά τη φόρτωση

Ενώ το προσωπικό του πλοίου και της ακτής προετοιμάζονται για τον απόπλου, διεξάγεται μία συνάντηση με τον υπεύθυνο φόρτωσης και όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, όπως οι πράκτορες του πλοίου και του ναυλωτή. Εκεί τα απαιτούμενα έγγραφα φορτίου υπογράφονται από τον «υπεύθυνο φορτοεκφόρτωσης» (Loading Master) και τον πλοίαρχο, συμπεριλαμβανομένης οποιασδήποτε «σημείωσης διαμαρτυρίας» (Letter of Protest) και έντυπα βαθμολόγησης των υπηρεσιών και της απόδοσης του πλοίου και του «τερματικού σταθμού» (Feedback Forms). Αμέσως μετά, επιβιβάζονται οι πλοηγοί εκτός της περίπτωσης, όπου ο υπεύθυνος είναι και ο πλοηγός ταυτόχρονα.

4. Αναχώρηση πλοίου

Μόλις ολοκληρωθεί η συνάντηση των φορέων το παρεχόμενο καλώδιο σύνδεσης του συστήματος έκτακτης διακοπής της ξηράς με το αντίστοιχο του πλοίου αποσυνδέεται και το προσωπικό της ξηράς μαζί με τον «πτυσσόμενο διάδρομο» (Gangway), που αποτελούσε την γέφυρα διέλευσης μεταξύ του πλοίου με τον τερματικό σταθμό απομακρύνονται. Ρυμουλκά προσδένονται στο πλοίο και οι διαδικασίες απόπλου ξεκινούν κι έτσι εκείνο αναχωρεί χωρίς περαιτέρω καθυστέρηση.

Saab TankRadar® CTS		CERTIFICATE OF LOADING			
SHIP NAME					
PORT NAME					
VOYAGE NO.					
CARGO NO.					
CHIEF OFFICER					
BEFORE LOADING					
DATE (DD/MM/YYYY)					
LOCAL TIME (HH:MM)					
TRIM (METRES)	0.00 (M)	Even Keel			
LIST (DEGREES)	0.00 (M)	Upright			
SHIP AVG VAPOR TEMP	-136	DEG C			
SHIP AVG LIQUID TEMP	-160.0	DEG C			
SHIP AVG VAPOR PRESS	113.5	kPa(a)			
		TANK 1	TANK 2	TANK 3	TANK 4
AVG LEVEL MEASUREMENT (M)		0.087 (F)	0.240 (F)	0.088 (F)	0.023 (F)
TRIM CORRECTION (M)		0.000	0.000	0.000	0.000
LIST CORRECTION (M)		0.000	0.000	0.000	0.000
CORRECTED LEVEL (M)		0.087	0.240	0.088	0.023
TANK AVG VAPOR TEMP (DEG C)		-126.1	-136.3	-138.3	-141.5
TANK AVG LIQUID TEMP (DEG C)		-160.0	-160.1	-160.0	-----
TANK VAPOR PRESS (kPa(a))		113.5	113.5	113.6	113.5
TANK VOLUME (M3)		45.758	311.448	104.410	21.944
SHIP TOTAL VOLUME (M3)		483.560	(A)		
AFTER LOADING					
DATE (DD/MM/YYYY)					
LOCAL TIME (HH:MM)					
TRIM (METRES)	0.00 (M)	Even Keel			
LIST (DEGREES)	0.00 (M)	Upright			
SHIP AVG VAPOR TEMP	-128	DEG C			
SHIP AVG LIQUID TEMP	-160.8	DEG C			
SHIP AVG VAPOR PRESS	112.5	kPa(a)			
		TANK 1	TANK 2	TANK 3	TANK 4
AVG LEVEL MEASUREMENT (M)		27.192 (F)	27.066 (F)	27.035 (F)	27.057 (F)
TRIM CORRECTION (M)		0.000	0.000	0.000	0.000
LIST CORRECTION (M)		0.000	0.000	0.000	0.000
CORRECTED LEVEL (M)		27.192	27.066	27.035	27.057
TANK AVG VAPOR TEMP (DEG C)		-134.5	-123.2	-123.6	-129.3
TANK AVG LIQUID TEMP (DEG C)		-160.9	-160.8	-160.7	-160.8
TANK VAPOR PRESS (kPa(a))		112.6	112.5	112.6	112.4
TANK VOLUME (M3)		21,879.616	42,447.655	42,390.477	37,280.169
SHIP TOTAL VOLUME (M3)		143,997.917	(B)		
VOLUME LOADED (M3)		143,514	(B-A)		

Παράδειγμα της τελική έκθεση μεταφοράς του φορτίου μετά από διαδικασία φόρτωσης.

6.8 Περισσευόμενη ποσότητα φορτίου (Cargo heel)

Ανάλογα με την αγορά εμπορίας του πλοίου και ύστερα από συγκεκριμένες απαιτήσεις του ναυλωτή, που μπορεί να εξαρτώνται από παράγοντες, όπως εάν το πλοίο θα κινηθεί με καύσιμο προερχόμενο από την φυσική εξάτμιση του φορτίου ή με συμβατικά καύσιμα ή ακόμα το, εάν ο τερματικός σταθμός φόρτωσης παγώσει τις γραμμές του πλοίου με δικό του φορτίο ή εάν το ίδιο το πλοίο θα το κάνει με το δικό του φορτίο, μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη μιας μικρής ποσότητας φορτίου στις άδειες δεξαμενές του πλοίου. Η ποσότητα αυτή καθορίζεται πριν την εκφόρτωση και γίνεται διακοπή των αντλιών, πριν την ολική άντληση του φορτίου από τις δεξαμενές στις απαιτούμενες ποσότητες.

Οι κύριες αντλίες του πλοίου σταματάνε αυτόματα όταν το επίπεδο του υγρού πέσει κάτω από ένα μέτρο, για να αποφευχθεί το πλήρες άδειασμα των δεξαμενών. Εάν η υπολειπόμενη ποσότητα της δεξαμενής είναι παραπάνω από την συμφωνηθείσα μεταξύ πλοίου και ναυλωτή, τότε τίθεται σε λειτουργία η αντλία αποστράγγισης (ψεκασμού), η όποια λειτουργεί ακόμα και σε στάθμη κάτω του ενός μέτρου, ώστε να συνεχιστεί η εκφόρτωση μέχρι τα επιθυμητά όρια.

Κάθε πλοίο έχει τις δικές του ειδικές οδηγίες στο εγχειρίδιο λειτουργίας του, όπου περιγράφονται λεπτομερώς οι απαιτούμενες εναπομείνουσες ποσότητες κάθε δεξαμενής αλλά και τις διαδικασίες, που πρέπει να ακολουθούνται για να γίνει αυτό. Οι εναπομείνουσες ποσότητες πρέπει να υπολογίζονται πολύ προσεκτικά, ώστε να επιτυγχάνεται η παράδοση της μέγιστη ποσότητα του φορτίου στο λιμάνι εκφόρτωσης, και, επίσης, να υπάρχει η επαρκής ποσότητα φορτίου ώστε να χρησιμοποιηθεί, για να μειώσει την θερμοκρασία των δεξαμενών, ώστε να καθιστούν κατάλληλες για φόρτωση στο επόμενο προορισμό του πλοίου.

Οι τελικές ποσότητες φορτίου θα διαφέρουν από εκείνες που βρίσκονται εντός των δεξαμενών καθώς σε αυτές θα προστεθούν μετά την διαδικασία της αποστράγγισης όλο το υγροποιημένο και ατμοποιημένο φορτίο που βρίσκονται μεταξύ των πολλαπλών και των γραμμών του πλοίου. Αύτη η ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί μέσω πινάκων που βρίσκονται στο ειδικό εγχειρίδιο λειτουργίας του πλοίου.

Η εναπομένουσα ποσότητα θα ποικίλλει ανάλογα επίσης με τον τύπο των δεξαμενών. Εκείνα που έχουν δεξαμενές φορτιού με μεμβράνες και εκτελούν σύντομα ταξίδια επιτρέπεται να υπάρχει μια μικρή μόνο ποσότητα φορτίου σε καθεμία από τις δεξαμενές. Αυτή έχει την ικανότητα διατηρήσει την θερμοκρασία του πάτου της δεξαμενής αρκετά χαμηλή, ώστε το πλοίο να είναι σε θέση να

αρχίσει τη φόρτωση χωρίς απαιτείται πρόσθετος χρόνος παγώματος των δεξαμενών. Η ελάχιστη αποδεκτή θερμοκρασίας για την φόρτωση από τους τερματικούς σταθμούς είναι οι -130 °C.

Ένα χρειαστεί να ψυχθεί περαιτέρω η δεξαμενή κατά την διάρκεια του ταξιδιού, τίθεται σε λειτουργία η αντλία ψεκασμού (αποστράγγιση), όπου ψεκάζει τα επάνω ελάσματα της δεξαμενής με κρύο φορτίο και μειώνουν ξανά την συνολική θερμοκρασία της δεξαμενής περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο το ρυθμό εξάτμισης του φορτίου.

Σε μεγαλύτερα ταξίδια, η περισσευόμενη ποσότητα πρέπει να είναι σαφώς μεγαλύτερη αλλά όμως δεν μπορεί να ξεπερνά το 10% του ύψους της δεξαμενής λόγω του φαινομένου του διατοιχισμού. Συνήθως αυτή κρατιέται σε μια δεξαμενή με τις υπόλοιπες να έχουν ένα ελάχιστο αριθμό φορτίου.

Στα πλοία με δεξαμενές τύπου Moss, η εναπομένουσα ποσότητα διατηρείται σε μία δεξαμενή με τις υπόλοιπες να είναι σχεδόν άδειες. Κατά την διάρκεια του ταξιδιού, η αντλία ψεκασμού βρίσκεται, συνεχώς, σε λειτουργία, ώστε να κρατάει την θερμοκρασία των δεξαμενών σε χαμηλά επίπεδα και να τις διατηρεί σε κατάσταση φόρτωσης. Σε μικρούς πλόες, η ποσότητα αυτή μπορεί να κατανεμηθεί σε όλες τις δεξαμενές.

Όταν το πλοίο πηγαίνει για δεξαμενισμό η εναπομένουσα ποσότητα πρέπει είναι όσο το δυνατό μικρότερη καθώς οι δεξαμενές πρέπει να είναι τελείως άδειες. Όποια ποσότητα υπάρχει ακόμα εντός των δεξαμενών θα οδηγηθεί στον καυστήρα υγροποιημένου φυσικού αερίου (GCU) και διοχετευτεί στην ατμόσφαιρα.

Κεφάλαιο 7

7.1 Σύστημα επείγουσας διακοπής λειτουργίας - Emergency Shutdown System (ESD)

Το σύστημα επείγουσας διακοπής (ESD) (Emergency Shutdown System) είναι ένα προαπαιτούμενο σύστημα που είναι εγκατεστημένο σε όλα τα πλοία μεταφοράς χύδην υγροποιημένων, σύμφωνα με τις αρχές του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού, μετά από σύσταση της διεθνούς κοινοπραξίας μεταξύ ιδιοκτών πλοίων μεταφοράς αεροφόρων φορτίων και τερματικών σταθμών (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators – SIGTTO).

Όλα τα μέλη πληρώματος πρέπει να γνωρίζουν τον τρόπο ενεργοποίησης του συστήματος, αλλά και στις τοποθεσίες, που βρίσκεται σε όλο το πλοίο. Το σύστημα μπορεί να ενεργοποιηθεί αυτόματα ή χειροκίνητα και είναι ένα σύστημα γρήγορου κλεισίματος. Όταν ενεργοποιηθεί κλείνει όλες τις βαλβίδες του καταστρώματος, αλλά διακόπτει επίσης την λειτουργία και όλου του εξοπλισμού που σχετίζεται με το φορτίο, όπως αντλίες, συμπιεστή, βραστήρα κ.α. Ο τερματικός σταθμός, επίσης, διαθέτει αντίστοιχο σύστημα έκτακτης ανάγκης, το οποίο συνδέεται με εκείνο του πλοίου μέσω ενός καλωδίου που συνδέεται σε ειδικές υποδοχές, που βρίσκονται συνήθως κάτω από τις πολλαπλές του πλοίου. Με το ίδιο καλώδιο επιτυγχάνεται και η ενδοεπικοινωνία μεταξύ του πλοίου και του τερματικού σταθμού.

Το ESD θα ενεργοποιηθεί στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Χειροκίνητη ενεργοποίηση από το πλήρωμα χρησιμοποιώντας τα κουμπιά ESD
- Μπλακάουτ του πλοίου
- Ενεργοποίηση από τον τερματικό σταθμό και του δικού του συστήματος ESD
- Αισθητήρες θερμότητας που βρίσκονται διασκορπισμένοι στις δεξαμενές, στο χώρο των πολλαπλών και του συμπιεστή σε περίπτωση πυρκαγιάς
- Όταν το επίπεδο του φορτίου έχει φτάσει στα μέγιστα επιτρεπτά όρια σε μία δεξαμενή
- Χαμηλή πίεση της δεξαμενής
- Χαμηλή υδραυλική πίεση των βαλβίδων φορτίου
- Χαμηλή πίεση αέρα
- Ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης

Η ενεργοποίηση του συστήματος θα προκαλέσει τα ακόλουθα

- Όλες οι βαλβίδες ESD φόρτωσης της πολλαπλής θα κλείσουν

- Οι συμπιεστές θα σταματήσουν
- Οι κύριες αντλίες αλλά και ψεκασμού θα σταματήσουν
- Όλες οι αντλίες του τερματικού σταθμού θα σταματήσουν
- Η κύρια βαλβίδα τροφοδοσίας αερίου του μηχανοστασίου θα κλείσει και τέλος
- Η γεννήτρια παραγωγής αδρανών αερίων θα σταματήσει.

Ο κύριος σκοπός του συστήματος ESD είναι η αυτόματη διακοπή της ροής του υγροποιημένου και ατμοποιημένου φορτίου και την διακοπή των μηχανημάτων του συστήματος φορτοεκφόρτωσης, σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, ώστε εκείνο να μεταβεί σε μια ασφαλή και στατική κατάσταση.

Το σύστημα περιλαμβάνει μια σειρά από κουμπιά χειροκίνητης ενεργοποίησης, σε περίπτωση αποτυχίας της αυτόματης ενεργοποίησης, τα οποία είναι διασκορπισμένα σε διάφορα μέρη του πλοίου αλλά και αυτόματους αισθητήρες πυρκαγιάς, που δύναται να ενεργοποιήσουν το απομακρυσμένο κλείσιμο των βαλβίδων για τη διακοπή του φορτίου μεταξύ πλοίου και τερματικού σταθμού.

Τα κουμπιά βρίσκονται σε στρατηγικά σημεία όπως η γέφυρα του πλοίου, η αίθουσα ελέγχου φορτίου, ο πυροσβεστικός σταθμός, στις πολλαπλές, στις δεξαμενές, στο χώρο του συμπιεστή κ.α.



Το κουμπί ενεργοποίησης του συστήματος ESD επί του πλοίου και κάτω οι αισθητήρες ενεργοποίησης του συστήματος



Όταν ενεργοποιηθεί το σύστημα, σταματάει τις αντλίες φορτίου αλλά και τους συμπιεστές. Όμως ακόμα και με αυτά τα μέτρα δεν προφυλάσσεται το πλοίο όταν αυτό ενεργοποιείται κατά την

διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης. Το σύστημα ESD δεν ενεργοποιείται μονάχα όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι αλλά μπορεί να ενεργοποιηθεί και εν πλω.

Συνήθεις διαδικασίες που διεξάγονται εν πλω, όπως η χρήση του συστήματος ψεκασμού για την ψύξη των δεξαμενών ή της χρήσης του συστήματος επαναϋγροποίησης μπορεί λόγω κάποιου εσφαλμένου χειρισμού ή βλάβη του συστήματος να προκαλέσουν κάποιο ατύχημα. Η ύπαρξη και η ενεργοποίηση του αυτόματου συστήματος διακοπής εν πλω προφυλάσσει από τέτοιες περιπτώσεις.

Το σύστημα ESD ελαχιστοποιεί τους πιθανούς κινδύνους, που μπορούν να προκύψουν κατά τη διαδικασία μεταφοράς του φορτίου. Παρέχει ένα γρήγορο και ασφαλές τρόπο για τη διακοπή της μεταφοράς, την απομόνωση των συστημάτων του φορτίου πλοίου και της ξηράς με ελεγχόμενο τρόπο, σε περιπτώσεις, όπου το σύστημα φορτοεκφόρτωσης υπολειτουργήσει και δεν μπορεί να διαχειριστεί την ασφαλή μεταφορά του φορτίου. Το σύστημα προστατεύει το πλοίο όσο και το τερματικό σταθμό και σε περιπτώσεις, όπως η απώλεια της ηλεκτρικής ισχύος, ή η περίπτωση διαρροής ή πυρκαγιάς.

Οι περισσότεροι τερματικοί σταθμοί έχουν κι ένα δεύτερο επίπεδο προστασίας που προβλέπει την ταχεία αποσύνδεση των βραχιόνων ξηράς με τις κεφαλές της πολλαπλής του πλοίου. Αυτό το επίπεδο προστασίας είναι γνωστό και ως ESD-2. Αυτό μπορεί να προκύψει μετά από κίνηση του πλοίου εκτός του εύρους κινήσεων των ευέλικτων βραχιόνων. Όταν ενεργοποιηθεί το σύστημα ESD-2 μαζί με την αποσύνδεση των βραχιόνων ενεργοποιεί και το σύστημα ESD-1, το οποίο κλείνει όλες τις απαραίτητες βαλβίδες και συστήματα και σταματά την διαδικασία της φορτοεκφόρτωσης.

Εκτός της προστασίας που προσφέρει το σύστημα αυτό έχει ακόμα μία χρησιμότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ένα σύστημα ενδοεπικοινωνίας μεταξύ του τερματικού σταθμού και του πλοίου. Όταν το πλοίο προσδέσει στον λιμένα φορτοεκφόρτωσης, ένα ειδικό καλώδιο, που συνδέει το σύστημα το ESD του πλοίου και της ξηράς τοποθετείται στο χώρο, που βρίσκεται κάτω από την πολλαπλή του πλοίου. Μέσω του ίδιου καλωδίου μπορεί να ενωθεί τηλεφωνικά ο χώρος επιχειρήσεως του φορτίου του πλοίου με το κέντρο επιχειρήσεων του τερματικού σταθμού.



Η κονσόλα σύνδεσης του συστήματος που βρίσκεται συνήθως κάτω από την πολλαπλή του πλοίου

7.2 Έλεγχος και δοκιμή του συστήματος

Κάθε πλοίο πριν την έλευση του στο τερματικό σταθμό και σε διάρκεια όχι περισσότερη των 48 ωρών πρέπει να ελέγξει πλήρως το σύστημα ESD ώστε να διαπιστωθεί η λειτουργική του κατάσταση. Σε περίπτωση βλάβης του συστήματος το πλοίο δεν μπορεί να λάβει άδεια για να εισέλθει στο λιμάνι.. Υποχρεωτικός έλεγχος πρέπει επίσης να γίνεται εάν από τον προηγούμενο έλεγχο έχει μεσολαβήσει διάστημα 30 ημερών.

Οι δοκιμές πριν ένα πλοίο εισέλθει στο λιμάνι περιλαμβάνουν επίσης

- Αυτόματη ενεργοποίηση του συστήματος τερματισμού έκτακτης ανάγκης και κλεισίματος όλων των συστημάτων φορτοεκφόρτωσης
- Χειροκίνητη ενεργοποίηση μέσω όλων των κουμπιών και αισθητήρων ενεργοποίησης.
- Όλες οι βαλβίδες φορτίου και έρματος να είναι λειτουργικές.
- Η χρονομέτρηση του ανοίγματος/κλεισίματος των βαλβίδων πολλαπλής να είναι εντός των ορίων.
- Ο έλεγχος της λειτουργίας της γεννήτριας αζώτου και της συμπίεσης των κενών χώρο μεταξύ των ελασμάτων των δεξαμενών.
- Ο έλεγχος για την ύπαρξη νερού μεταξύ των κενών χώρων.

- Ο έλεγχος και η λειτουργικότητα των υποδοχών του καλωδίου ESD για την σύνδεση του με εκείνο της ξηράς αλλά και του κονσόλας ελέγχου του συστήματος που βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο του πλοίου.
- Ο έλεγχος της ενεργοποίησης του πνευματικού συστήματος ESD

Η επιτυχής ολοκλήρωση αυτών των δοκιμών πρέπει να καταγράφεται σε ειδική φόρμα της εταιρείας αλλά και στο ημερολόγιο του πλοίου.



Ένα από τα ειδικά εργαλεία δοκιμής του συστήματος που συνδέεται στην κονσόλα κάτω από το χώρο της πολλαπλής του πλοίου

Πριν ξεκινήσουν οι εργασίες φορτοεκφόρτωσης, ζητείται από τον υπεύθυνο φορτοεκφόρτωσης του τερματικού η δοκιμή του κύριου και του δευτερεύοντος συστήματος παρουσίας του. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους και σε δύο διαφορετικές συνθήκες. Η δοκιμή μπορεί να γίνει με ενεργοποίηση του συστήματος από την πλευρά του τερματικού σταθμού (Shore to Ship ESD) είτε με την ενεργοποίηση του συστήματος από την πλευρά του πλοίου (Ship to Shore ESD).

Αυτός ο αμφίδρομος έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί αμέσως μετά την σύνδεση των βραχιόνων του τερματικού σταθμού με τις πολλαπλές του πλοίου και πριν ξεκινήσει η διαδικασία παγώματος των γραμμών σε ζέστες δηλαδή συνθήκες και για αυτό ονομάζεται και ως Warm ESD. Αφού πραγματοποιηθεί με επιτυχία η δοκιμή του συστήματος σε ζεστές συνθήκες, ξεκινάει η διαδικασία παγώματος των γραμμών του τερματικού σταθμού και του πλοίου. Με το πέρας της διαδικασίας ελέγχεται ξανά το σύστημα σε ψυχρές συνθήκες αυτή την φορά και για αυτό αυτή η δοκιμή

ονομάζεται και ως Cold ESD. Αφού πραγματοποιηθεί και αυτή η δοκιμή του συστήματος με επιτυχία, τότε μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της μεταφοράς του φορτίου.

Εκτός του τυπικού καλωδίου ESD, που προσφέρει συνήθως διπλή ηλεκτρική και μέσω οπτικών ινών σύνδεση του συστήματος, υπάρχει και το πνευματικό σύστημα ESD που ενεργοποιείται πνευματικά

μέσω διαφοράς πίεσης αέρα. Αν και παλαιωμένο σύστημα υποστηρίζεται από αρκετούς τερματικούς σταθμούς ακόμα.

Κατά την διάρκεια της δοκιμής μεταξύ του πλοίου και του τερματικού σταθμού πρέπει να ορίζεται ένας κύριος τρόπος σύνδεσης του συστήματος και ένας δευτερεύων. Συνήθως σε νέους τερματικούς σταθμούς, ο κύριος τρόπος σύνδεσης είναι εκείνος των οπτικών ινών με δευτερεύοντα τον ηλεκτρικό τρόπο. Σε παλαιότερους τερματικούς σταθμούς ο κύριος τρόπος σύνδεσης είναι ο ηλεκτρικός με δευτερεύοντα, τον πνευματικό. Τόσο ο κύριος αλλά και ο δευτερεύων τρόπος σύνδεσης ελέγχονται κατά την διαδικασία δοκιμών του συστήματος.

7.3 Μπλοκάρισμα και παράκαμψη του συστήματος (Blocking & Override)

Όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και κατά την διάρκεια της φορτοεκφόρτωση το σύστημα βρίσκεται πάντα υποχρεωτικά σε λειτουργία. Υπάρχουν όμως μερικές περιπτώσεις όπου το σύστημα μπορεί να απενεργοποιηθεί και να παρακαμφθεί. Στο λιμάνι, αυτό μπορεί να γίνει κατά την διαδικασία αποσύνδεσης των βραχιόνων ξηράς και την μεταφορά τους εκτός του πλοίου.

Επίσης, αλλά έπειτα από συνεννόηση του Πλοιάρχου, του υποπλοιάρχου και του υπεύθυνου φόρτωσής του τερματικού σταθμού, το σύστημα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία παράκαμψης. Αυτό μπορεί να γίνει στην διαδικασία πλήρωσης της δεξαμενής φορτίου. Όταν το επίπεδο της δεξαμενής είναι αρκετά υψηλό και κοντά στα όρια πλήρωσης της μία απότομη κίνηση του πλοίου (από δυσμενής καιρικές συνθήκες ή από αποθαλασσιά) μπορεί να επιφέρει εσφαλμένα ενεργοποίηση του συστήματος και να κλείσει την βαλβίδα πλήρωσης της δεξαμενής. Έτσι, εάν η φορτωτική από την πλευρά του ναυλωτή αναφέρεται σε πλήρες φορτίο, τότε μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα.

Εν πλω, το σύστημα μπορεί επίσης να παρακαμφθεί προς αποφυγήν της εσφαλμένης ενεργοποίησης του που μπορεί να προκαλέσει το κλείσιμο του συμπιεστή αερίου και της κεντρικής βαλβίδας παροχής αερίου στο μηχανοστάσιο που θα επιφέρει την διακοπή των μηχανών εάν αυτές βρίσκονται σε λειτουργία τροφοδοσίας μέσω αερίου. Μια περίπτωση, που μπορεί να επιφέρει εσφαλμένη ενεργοποίηση του συστήματος είναι, επίσης, η ύπαρξη δυσμενών καιρικών συνθηκών,

στην περίπτωση γεμάτων δεξαμενών φορτίου και λόγω του διατοιχισμού του φορτίου, να ενεργοποιηθεί ο συναγερμός υψηλού επιπέδου πλήρωσης της δεξαμενής.

Επίσης σε περίπτωση ενεργοποίησης του συστήματος έπειτα από μία βλάβη στο σύστημα φορτοεκφόρτωσης και μέχρι την τελική αποκατάσταση της το σύστημα απενεργοποιείται προσωρινά αλλά μόνο έπειτα και με την συγκατάθεση του Πλοιάρχου.

Κεφάλαιο 8

8.1 Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου



Εκτός από τους τυπικούς επιγείους τερματικούς σταθμούς υπάρχουν επίσης και οι πλωτές εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στην σημερινή εποχή υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι πλωτών εγκαταστάσεων.

Ο πρώτος τύπος πλωτής εγκατάστασης είναι εκείνος, στην οποία γίνεται η παραγωγή, αποθήκευση και εκφόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου και είναι γνωστή ως FPSO (Floating Production Storage & Offloading) ή όπως είναι πιο διαδεδομένη ως FLNG, ενώ ο δεύτερος τύπος πλωτής εγκατάστασης είναι εκείνος, στον οποίο γίνεται μόνο αποθήκευση και επαναεριοποίηση του φυσικού αερίου και είναι γνωστός ως FSRU (Floating Storage Regasification Unit).

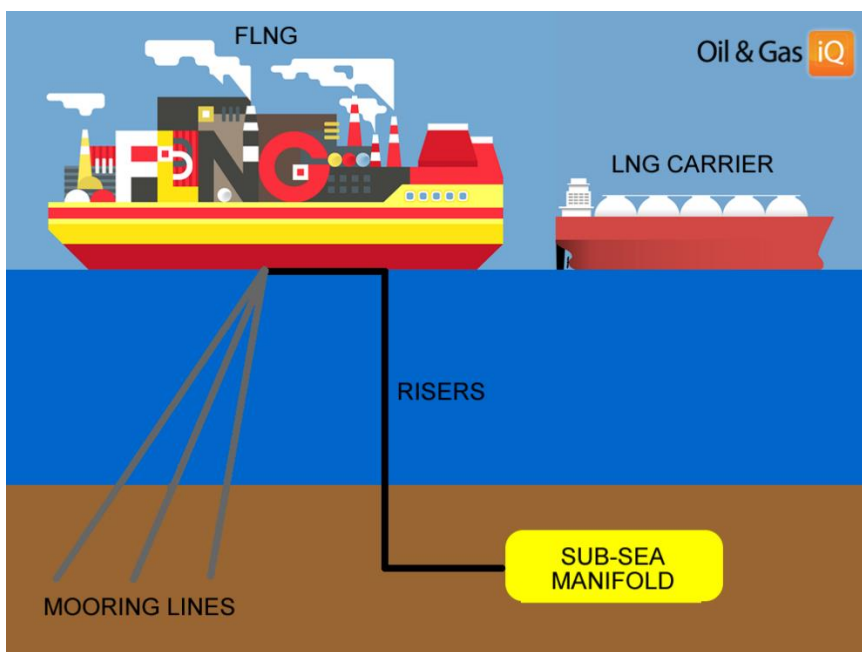
8.2 Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου FLNG - FPSO (Floating Production Storage & Offloading)

Λίγες εγκαταστάσεις FLNG λειτουργούν σήμερα όμως αποτελούν μια καινοτόμα και οικονομική επιλογή προσφέροντας πολλές λύσεις σε προβλήματα της αγοράς. Τα τελευταία 10 χρόνια έχουν αναπτυχθεί τακτικά και επιτυχώς σε όλο τον κόσμο και τα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνουν ταχύτητα και προσιτότητα σε τοπικές αγορές με μικρή ζήτηση ή σε αγορές όπου η δημιουργία ενός χερσαίου τερματικού σταθμού είναι αρκετά δύσκολη η κοστοβόρα.

Ο όρος της «πλωτής εγκατάστασης υγροποιημένου φυσικού αερίου» χρησιμοποιείται, για να περιγράψει μια υπεράκτια εγκατάσταση που επιπλέει πάνω από ένα πεδίο φυσικού αερίου. Οι εγκαταστάσεις αυτές παράγουν, υγροποιούν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο μέσω ενός συμβατικού πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου στην ηπειρωτική χώρα.

Οι πλωτές αυτές εγκαταστάσεις μπορεί να αντλήσουν φορτίο από υποβρύχια πεδία φυσικού αερίου, τα οποία θα ήταν ασύμφωρα οικονομικά, να αντληθούν μέσω της τυπικής τεχνολογίας ενός χερσαίου τερματικού ή εμπεριείχαν υψηλό κίνδυνο περιβαλλοντικής μόλυνσης. Λειτουργούν συμπληρωματικά με τις χερσαίες εγκαταστάσεις της χώρας και βοηθούν στην κάλυψη της ζήτησης της αγοράς.

8.2.1 Τρόπος λειτουργίας



Η πλωτή εγκατάσταση βρίσκεται αγκυροβολημένη ακριβώς επάνω από ένα πεδίο φυσικού αερίου. Από εκεί το αέριο αντλείται και μεταφέρεται στην εγκατάσταση μέσω της σύνδεσης του υποθαλάσσιου αγωγού με το πλοίο μέσω ειδικών καταδύμενων σωληνώσεων. Στη συνέχεια, το αέριο επεξεργάζεται στην εγκατάσταση, αφαιρούνται τυχόν προσμίξεις κι έπειτα ψύχεται και αποθηκεύεται σε υγροποιημένη μορφή στις δεξαμενές της πλωτής εγκατάστασης. Το τελικό στάδιο είναι εκείνο της εκφόρτωσης του σε πλοία με παρόμοια διαδικασία, εάν εκείνα πήγαιναν σε ένα χερσαίο τερματικό σταθμό φόρτωσης.

8.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

Μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των εγκαταστάσεων είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει η ανάγκη για κατασκευή εκτεταμένων αγωγών, μονάδων συμπίεσης, βυθοκόρησης και κατασκευής μια χερσαίας μονάδας επεξεργασίας υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η επεξεργασία του τελικού προϊόντος γίνεται επάνω σε αυτή και ακριβώς επάνω από το πεδίο του φυσικού αερίου. Αυτό βοηθά, επίσης, στη διατήρηση των θαλάσσιου, αλλά και παράκτιου περιβάλλοντος. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι δεν αποτελούν μόνιμες εγκαταστάσεις και μπορούν να μετακινηθούν εύκολα και να εγκατασταθούν ξανά σε διαφορετικό πεδίο φυσικού αερίου ακόμα και σε διαφορετική γεωγραφική περιοχή.

Μειονεκτήματα

Το βασικό μειονέκτημα έγκειται στο βασικό σχεδιασμό και κατασκευής της εγκατάστασης. Εκείνη πρέπει να συνδυάζει όλα τα συστήματα λειτουργίας και ασφαλείας με τα αντίστοιχα μια χερσαίας σε εγκατάστασης αλλά σε μέγεθος το οποίο δεν ξεπερνά το ένα τέταρτο της δεύτερης. Επίσης επειδή βρίσκεται αγκυροβολημένη σε ένα σταθερό σημείο, το οποίο είναι τις περισσότερες φορές πλήρως εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες, έτσι η εγκατάσταση δέχεται συνεχώς κοπώσεις και δυνάμεις από στοιχεία της φύσης, όπως τον άνεμο και τα κύματα ή και από μετεωρολογικές διαταραχές όπως τα θαλάσσια ρεύματα ή η αποθαλασσία.

8.2.3 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη πειραματική ανάπτυξη και λειτουργία μια τέτοιας εγκατάστασης ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Η εταιρεία Mobil το 1997 δημιούργησε μία τετράγωνη δομή με ένα κυκλικό δακτύλιο στο μέσο της, την γνωστή και ως «The Doughnut». Μετά από αυτή την πρώτη πλωτή εγκατάσταση, πραγματοποιήθηκε μεγάλη πρόοδος στον σχεδιασμό αλλά στην κατασκευή αυτών των εγκαταστάσεων με την πρώτη ολοκληρωμένη μονάδας παραγωγής, το PFLMG Satu να λειτουργεί στις όχθες του Sarawak στην χώρα της Μαλαισίας.

Η εταιρεία Shell επίσης από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 έχει αναπτύξει τη δική της τεχνολογία στο τομέα των πλωτών εγκαταστάσεων FLNG. Αυτή ξεκίνησε με την βελτιστοποίηση υφιστάμενων έργων στη Ναμίμπια, το Ανατολικό Τιμόρ, την Αυστραλία και τη Νιγηρία. Τον Ιούλιο του 2009 η εταιρεία υπέγραψε σχετική σύμβαση κατασκευής με την εταιρεία Techship και την Samsung για το σχεδιασμό, κατασκευή και εγκατάσταση δικού της τύπου πλωτών εγκαταστάσεων σε πεδία φυσικού αερίου που κατέχει την συνεκμετάλλευσή τους. Η εγκατάσταση της Shell, Prelude αποτελεί την μεγαλύτερη πλωτή εγκατάσταση στον κόσμο αυτή την στιγμή.



Η πλωτή εγκατάσταση Prelude κατά την διάρκεια φόρτωσης σε συμβατικό πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ

8.3 Πλωτές Εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου FSRU (Floating Storage Regasification Unit)

Η χρήση των πλωτών εγκαταστάσεων FRSU θεωρούνται ως μία αποδεδειγμένη και αξιόπιστη λύση, μετά από περισσότερα από 10 χρόνια που βρίσκονται σε λειτουργία. Αποτελούν ευέλικτες εγκαταστάσεις αποθήκευσης και επαναεριοποίησης φυσικού αερίου και η μετεγκατάστασή τους είναι αρκετά εύκολη αλλά και γρήγορη.

8.3.1 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα

Είναι μια συμφέρουσα εναλλακτική επιλογή σε σχέση με τους χερσαίους τερματικούς σταθμούς, αφού έχουν σαφώς το μειωμένο κόστος και η εγκατάστασή τους είναι άμεση. Επίσης, έχουν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με εκείνες μιας μόνιμης εγκατάστασης.

Επιπλέον, αυτές οι μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν και αποκλειστικά μόνο για αποθήκευση αερίου μέχρι την ολοκλήρωση χερσαίων δεξαμενών. Επίσης, τον ρόλο της εξειδικευμένης πλωτής κατασκευής επαναεριοποίησης φυσικού αερίου μπορούν να παίξουν ένα τυπικό πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου σε συνδυασμό με μια χερσαία εγκατάσταση επαναεριοποίησης.

Μειονεκτήματα

Ένας συμβατικός τερματικός σταθμός έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης αερίου από κάθε είδος πλωτής κατασκευής. Αυτός προσφέρει μία μακροπρόθεσμή λύση και προσφέρει το συνεχή εφοδιασμό της αγοράς, ενώ μία πλωτή εγκατάσταση FSRU μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια βραχυπρόθεσμη και προσωρινή λύση. Δεδομένου ότι οι χερσαίες εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης είναι κοντά στα αστικά κέντρα, τα συμβατικά πλοία, τα οποία λειτουργούν ως μονάδες FSRU είναι συχνά αγκυροβολημένα μέσα σε ένα λιμάνι ή σε μια προστατευόμενη θαλάσσια περιοχή.

Επίσης, στην περίπτωση μίας ολοκληρωμένης πλωτής εγκατάστασης επαναεριοποίησης, προϋποθέτει την ύπαρξη ή την δημιουργία ενός λιμένα σε μικρή απόσταση από ένα αστικό κέντρο ώστε να περιοριστεί το μήκος και κόστος ενός δικτύου χερσαίου αγωγού που να τροφοδοτεί τις ανάγκες των τοπικών κοινοτήτων.

Επίσης, οι καιρικές συνθήκες της περιοχής λαμβάνονται υπόψη, καθώς ίσως χρειαστούν μέτρα βελτίωσης, ώστε η πλωτή εγκατάσταση να βρίσκεται αγκυροβολημένη με ασφάλεια από τον καιρό. Επίσης, συστήματα εκτελωνισμού και ελέγχου του φορτίου μπορούν να αναπτυχθούν γρηγορότερα και ευκολότερα εντός του ορίου του λιμένα.

8.3.2 Ιστορική αναδρομή

Το 2005 κατασκευάστηκε στην Νότια Κορέα η πρώτη ολοκληρωμένη πλωτή εγκατάσταση επαναεριοποίησης για λογαριασμό της εταιρείας Exceleerate χωρητικότητας 138000 m³, η οποία ήταν σχεδιασμένη, ώστε να μπορεί να φορτοεκφορτώσει φυσικό αέριο σε συνθήκες ανοικτής θάλασσας.

Αυτή η εγκατάσταση καθώς και παρόμοιες που ακολούθησαν αργότερα είχαν ένα εξειδικευμένο σύστημα πρόσδεσης στην ανοιχτή θάλασσα και μέσω ενός εσωτερικού πλωτού πυργίσκου, που διέθεταν μπορούσαν να εκφορτώσουν φυσικό αέριο συνδεδεμένα σε υποθαλάσσιους αγωγούς, οι οποίοι διοχέτευαν στην συνέχεια το φυσικό αέριο στο δίκτυο της ξηράς. Αυτού του τύπου μεταφοράς ονομάζεται η πύλη (The Gateway) και χρησιμοποιείται ακόμα σε μερικές τοποθεσίες.

Οι μονάδες αυτές είναι ευάλωτες στο καιρό όποτε δεν μένουν μόνιμα στο ίδιο σημείο παρά μόνο μεταβαίνουν όταν έχουν διαθέσιμο φορτίο για μεταφορά. Η διάρκεια της επιχείρησης κρατάει περίπου 10 ημέρες και μετά το τέλος της η πλωτή εγκατάσταση πλέει πάλι σε ένα ασφαλές σημείο περιμένοντας το επόμενο της φορτίο για να μεταβεί ξανά στο σημείο που βρίσκεται ο υποθαλάσσιος αγωγός. Η λύση αυτή λόγω των μειονεκτημάτων της δεν προτιμήθηκε ιδιαίτερα.

Η χρήση αποβάθρων με ολοκληρωμένα συστήματα αγκυροβολιάς μέσα σε λιμένες ή σε προστατευόμενες περιοχές συμπεριλαμβανομένων των ποταμών στη Νότια Αμερική, την Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή για την υποδοχή των FSRU είναι η πλέον επικρατούσα λύση στην σημερινή αγορά του φυσικού αερίου.

8.3.3 Μετατροπή πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου σε πλωτές εγκαταστάσεις FSRU

Η μετατροπή υφιστάμενων πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου σε μονάδες FSRU αποτελεί μία γρήγορη και οικονομική λύση. Το 2008 έγινε η πρώτη μετατροπή τέτοιου τύπου. Πλοία

παλαιού τύπου δεξαμενών Moss χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με μια χερσαία εγκατάσταση επαναεριοποίησης δημιουργώντας μια πλήρης εγκατάσταση μεταφοράς, αποθήκευσης και επαναεριοποίησης φυσικού αερίου και τροφοδότησης του τοπικού δικτύου φυσικού αερίου. Τέτοια έργα δημιουργήθηκαν στη Βραζιλία, την Ινδονησία και την Ιταλία με το πιο πρόσφατο έργο εκείνο στη Μάλτα το 2017. Ένα ανάλογο τύπου έργο έχει εγκριθεί να κατασκευαστεί και στην Ελλάδα στο λιμένα της Αλεξανδρούπολης.

Η μετατροπή τέτοιων πλοίων σε πλωτές μονάδες FSRU προτιμάται, διότι απαιτεί λιγότερο χρόνο από ότι η ναυπήγηση μίας νέας ολοκληρωμένης πλωτή μονάδα επαναεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στον αντίποδα, όμως, η μικρή χωρητικότητα αυτών των πλοίων που κυμαίνεται μεταξύ 125.000-135.000 m³ αλλά και η μεγάλη τους ηλικία που αγγίζει τα 20-40 έτη δεν αποτελούν μία λύση για μακροπρόθεσμα έργα.

Σε σύγκριση όμως με έναν συμβατικό τερματικό σταθμό, απαιτεί γενικά χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες από τις ολοκληρωμένες λύσεις FSRU, αλλά συνοδεύεται από υψηλότερη αρχική επένδυση. Ένα παράδειγμα που έφερε η είσοδος των FSRU στο τομέα της παγκόσμιας ζήτησης και αγοράς, είναι ότι χώρες όπως η Αίγυπτος και η Κολομβία χωρίς παραγωγή φυσικού αερίου έχουν μετατραπεί σε εξαγωγείς από εισαγωγείς, μεταπωλώντας το φυσικό αέριο, που εισάγουν εκμεταλλεόμενες την γεωγραφική τους θέση και τις ανάγκες της τοπικής αγοράς και ζήτησης. Τέλος, το περίπου 15% της παγκόσμιας μεταφοράς φυσικού αερίου επαναεριοποιείται σε μονάδες FSRU.



Η πλωτή εγκατάσταση επαναεριοποίησης Egat, στο κράτος της Αιγύπτου

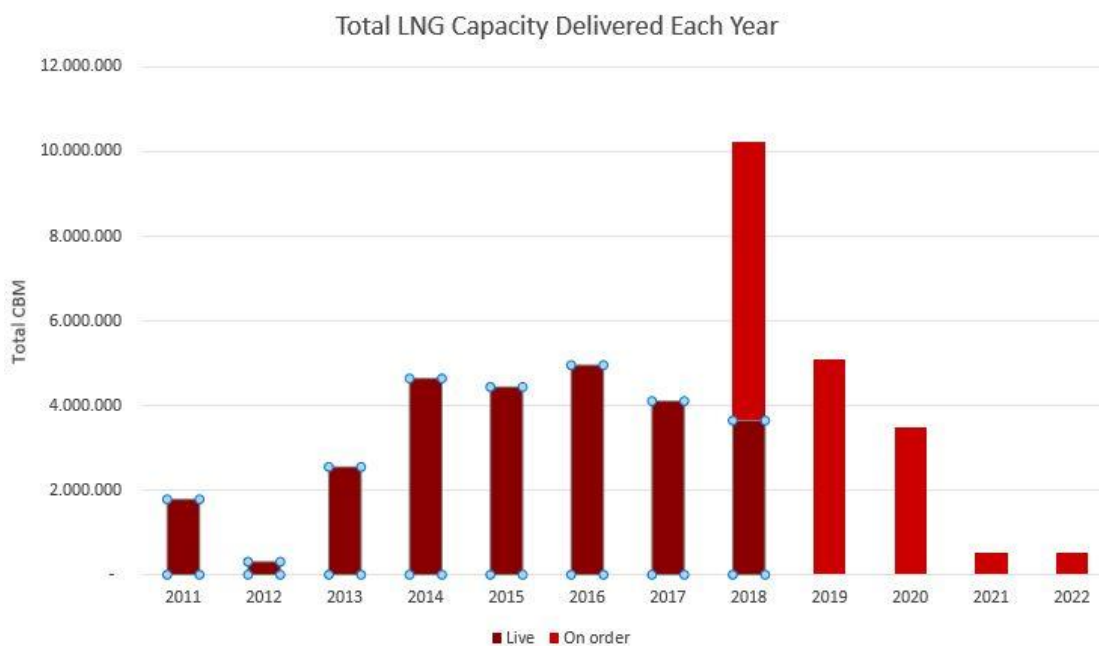
Κεφάλαιο 9

9.1 Στατιστικά στοιχεία επί του παγκόσμιου στόλου

Το έτος που πέρασε καθώς και το προηγούμενο ο παγκόσμιος στόλος μεταφοράς υγροποιημένου φορτίου φυσικού αερίου σημείωσε ακόμα ένα ρεκόρ όσο αφορά την ναυπήγηση νέων πλοίων αλλά και την παραγγελία τους σε ναυπηγεία.

Το 2018 σύμφωνα με τα στοιχεία της VesselsValue 22 πλοία αξίας \$3.900.000.000 παραδοθήκαν στην αγορά, ενώ άλλα 43 πλοία αξίας \$7.700.000.000 παραδόθηκαν κατά το 2019.

Η συνολική δυναμικότητα του παραδοτέου στόλου το 2018 ισοδυναμούσε σε 10.230.000 m³, αριθμός, που είναι μακράν ο μεγαλύτερος της ιστορίας μέχρι στιγμής.



Αξίζει να σημειωθεί, τα δεδομένα δεν περιλαμβάνουν τις μονάδες πλωτή αποθήκευση και μονάδες επαναεριοποίησης (FSRUs). Σύμφωνα με τα στοιχεία της VesselsValue ο συνολικός παγκόσμιος στόλος αριθμεί σε 600 πλοία από τα οποία 499 πλοία βρίσκονται σε λειτουργία, και 101 είναι υπό κατασκευή.

Η συνολική επιχειρησιακή ικανότητα του στόλου, που βρίσκεται σε λειτουργία ανέρχεται σε 75.600.000 m³ καθαρής χωρητικότητας και \$50.500.000.000 αξίας μεταφερόμενου υγροποιημένου φυσικού αερίου.

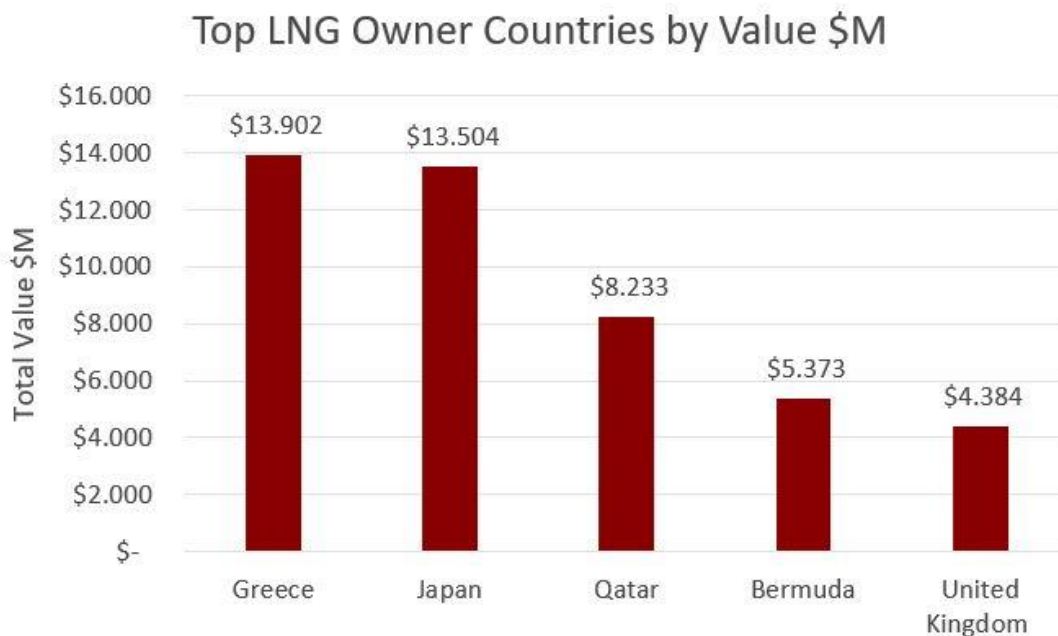
9.2 Κορυφαίοι πλοιοκτήτες

Η χώρα μετά περισσότερα υπό σημαία της πλοία είναι η Ιαπωνία με 87 σε σύνολο, ενώ ακολουθεί η Ελλάδα με 60 πλοία και το Κατάρ με 59.

Σε όρους μεταφορικής χωρητικότητας το Κατάρ βρίσκεται στην πρώτη θέση με συνολική μεταφορική ικανότητα 12.200.000 m³, η Ιαπωνία δεύτερη με 11.900.000 m³ και η Ελλάδα στην Τρίτη θέση με 9.600.000 m³.

Εξετάζοντας την αξία κάθε στόλου το 2018, η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση με αξία στόλου 13,900,000,000\$ με την Ιαπωνία στην δεύτερη θέση με 13,500,000,000\$ και το Κατάρ στην Τρίτη με 8,200,000,000\$.

Η εταιρεία Nakilat του Κατάρ εξακολουθεί να είναι ο μεγαλύτερος πλοιοκτήτης παγκοσμίως με την κατοχή 33 πλοίων στο στόλο τους, αξίας 4.900.000.000\$. Η ναυτιλιακή εταιρεία Teekay με έδρα τις Βερμούδες έχει 22 πλοία αξίας 2.600.000.000\$, ενώ η γιαπωνέζικη MOL κατέχει σήμερα 21 πλοία αξίας 2.400.000.000\$.



9.3 Έλληνες πλοιοκτήτες και εφοπλιστές

Όσο αφορά τις ελληνικές ναυτιλιακές εταιρείες, που εμπορεύονται στο τομέα του υγροποιημένου φυσικού αερίου από 8 που ήταν μέχρι το 2017 αυξήθηκαν σε 13 στο τέλος του επόμενου έτους. Το 2018, η χωρητικότητα του ελληνόκτητου στόλου αυξήθηκε κατά 25% αντιπροσωπεύοντας το 9% της παγκόσμιας μεταφορικής δυνατότητας, ενώ ο μέσος όρος ηλικίας του στόλου ήταν τα 5,3 έτη που τον καθιστούν το νεότερο παγκοσμίως.

Το ίδιο έτος επίσης οι Έλληνες εφοπλιστές έσπασαν ακόμα ένα ρεκόρ παραγγέλλοντας συνολικά 28 πλοία που αναμένεται να παραλάβουν κατά την διετία 2020-2021. Ο αριθμός των ενεργεία πλοίων αριθμούν πλέον 84 και αναμένεται να υπερβούν τα 100 την επόμενη διετία.

Όσο αφορά σε στοιχεία που αφορούν τον αριθμό των εν ενεργεία και υπό ναυπήγηση πλοίων στο τέλος του έτους 2019, στην πρώτη θέση βρίσκεται η εταιρεία Maran Gas, του κ. Αγγελικούση Ι. με 44 πλοία. Στην δεύτερη θέση η εταιρεία Gaslog, του κ. Λιβανού Π. με 35 ενώ στην τρίτη η Dynagas του κ. Προκοπίου Γ. με 19. Στην τέταρτη θέση βρίσκεται η εταιρεία TMS Cardiff του κ. Οικονόμου Γ. με 16. Η εταιρεία Thenamaris του κ. Μαρτίνου Ν., η εταιρεία Minerva του κ. Μαρτίνου Α. και η εταιρεία Pantheon Tankers της Αγγελικούση Α. από πέντε πλοία. Τέλος, η εταιρεία Tsakos Energy Navigation του κ. Τσάκου Ν. έχει της τρία πλοία και η Chandris (Hellas) του κ. Χανδρή Μ. ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Όσο αφορά την πρωτοπορία των Ελλήνων πλοιοκτητών τον Νοέμβριο του 2012, το πλοίο OB Riner της ελληνικής εταιρείας Dynagas έγινε το πρώτο που πραγματοποίησε την μεταφορά φορτίου υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Ευρώπη και την Νορβηγία στην Ιαπωνία και την Ασία, κάνοντας χρήση του Βορείου Περάσματος (Northern Sea Route) στον Αρκτικό Κύκλο.

Έντυπη Βιβλιογραφία

1. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, International Maritime Organization, 1983 Edition
2. Carefully to Carry the carriage of liquefied gases, Issue B UK Club, February 2005
3. Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen, TSO Consolidated Edition, 2007
4. Gas Tankers Advance Course STCW 78/95, The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1995
5. Gas Tankers — Familiarization Level, Marine Sun, 2012
6. Guidelines for Automatic Cargo Tank Overfill Protection Aboard Gas Carriers, SIGTTO 1993
7. Harper Ian, 2002, Future Development Options for LNG Marine Transportation, Wavespec Limited,
8. ISGOTT - The International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals, Witherby Seamanship International 2006
9. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals 4th Edition, SIGTTO Witherby Seamanship, 2016
10. LNG Carriers with ME-GI Engine and High Pressure Gas Supply System, MAN Diesel & Turbo, 2009
11. LNG Carrier Seminar, Managing Risk, DNV Hamburg 2005
12. LNG Custody Transfer Handbook, Second Edition, G.I.I.G.N.L., 2001
13. Rawson K.J, Tupper E.C., 2001, Basic Ship Theory Fifth Edition, Volume 1, Chapters 1 to 9, Butterworth Heineman
14. Sagen Arne and Mitchell Pat, 2002, Safety and Health at Sea First Edition, , Witherbys Publishing
15. Specialised Tanker Training (Liquefied Gas), Warsash Maritime Centre, 2002
16. Vaudolon Alain, 2000, Liquefied Gases Marine Transportation and Storage, Witherby
17. Παναγιωτίδης Δήμος, 2000, Υγραεριοφόρα Πλοία, Περιγραφή – Χειρισμοί Φορτίου – Υπολογισμοί, Χ&Γ Δρακόπουλος ΟΕ

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. IGU World LNG Annual Report 2019, International Gas Union, 2019
2. Noble Peter G., 2009 A Short History of LNG Shipping 1959-2009, Texas Section SNAME
3. Αχιλιάς Δ., Ελευθεριάδης Ι., Νικολαΐδης Ν., 2015, Αέριοι Υδρογονάνθρακες, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2015

Ιστότοποι

1. <https://www.depa.gr/>
2. <https://www.igu.org/>
3. <https://lngfacts.org/>
4. <https://www.oilandgasiq.com/>
5. <https://www.planete-energies.com/en>
6. <https://www.lngworldnews.com>
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas
8. https://en.wikipedia.org/wiki/LNG_carrier
9. <http://bdmariners.org/>
10. <https://www.elengy.com/en/>
11. <https://www.naftikachronika.gr/>

Εικόνες

1. <https://www.isalos.net/2019/04/gaslog-gladstone-neotefkto-lng-carrier-tis-gaslog-ltd/>
2. <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/transporting-gas-land>
3. <http://southfront.org/wp-content/uploads/2015/08/A-gas-pipeline-network-of-the-European-continent.jpg>
4. <https://www.marinelink.com/news/sabine-pass-lng-train-construction-469407>
5. <https://www.studentenergy.org/topics/natural-gas-storage>
6. <https://alchetron.com/Methane-Pioneer#->
7. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/independent-tank>
8. <https://gcaptain.com/lng-containment-company-gtt-cuts-outlook-on-ship-construction-delays/>
9. <https://www.motorship.com/news101/lng/lng-carriers-debut-korean-tank-design>
10. <https://i.pinimg.com/236x/d8/75/f6/d875f69aa61609d562b4af534e32fafd--stationary-engineer-steam-turbine.jpg>
11. <https://stimarine.wordpress.com/emergency-shutdown-system-for-lng-carriers/>
12. <https://www.lngworldnews.com/wp-content/uploads/2019/02/shell-taking-time-with-prelude-flng-commissioning-768x454.jpg>
13. <https://www.bangkokpost.com/business/1793089/egat-readying-countrys-first-fsru>

Πίνακες

1. <http://naturalgasglobal.com/wp-content/uploads/2015/07/The-average-compositions-of-LNG.jpg>
2. <http://www.liquefiedgascarrier.com/LNG.html>