

Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΩΝ BUNKERING LNG

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ
ΒΑΡΣΑΜΗΣ ΙΑΣΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΧΟΙΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2014

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΩΝ
BUNKERING LNG**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΑΡΣΑΜΗΣ ΙΑΣΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Ημερομηνία κατάθεσης: 27-06-2014

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Σχοινά Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες στην οικογένειά μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, και ιδιαίτερα την μητέρα μου φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, με την οποία ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Νέας Μηχανιώνας, αποτελεί συνδυασμό των γνώσεων που μου έχουν προσφέρει σε προπτυχιακό επίπεδο τόσο η Σχολή όσο και τα εκπαιδευτικά ταξίδια.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει αρχικά τη χρήση φυσικού αερίου ως εναλλακτικό καύσιμο της ναυτιλίας καθώς και την σχετική τεχνολογία του φυσικού αερίου (Υγροποίηση, Μεταφορά, Αποθήκευση, Χρήση). Μέρος αυτής της διαδικασίας αποτελούν τα πλοία που εξυπηρετούν τους εν λειτουργία τερματικούς σταθμούς αποθήκευσης και υγροποίησης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην πρόωση των σύγχρονων εμπορικών πλοίων και των καυσίμων που χρησιμοποιούν σήμερα, προωστήριες μηχανές, βαρύ καύσιμο και αποστάγματά του, προβλήματα με τα βαριά καύσιμα. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο στα πλοία καθώς και οι ιδιότητές του. Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το δίκτυο καυσίμου, όπως αποθήκευση καυσίμου, η εξάτμιση του υγροποιημένου φυσικού αερίου, συστήματα έκτακτης ανάγκης. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία ανεφοδιασμού του πλοίου με φυσικό αέριο.

ABSTRACT

This thesis, which completes the course at Engineering Faculty in Michaniona, is a combination of knowledge that I have been offered at the undergraduate level from both the school and the experience gained by training on board merchant ships.

The purpose of this paper is to present initially the use of natural gas as an alternative fuel for shipping also the relative technology of natural gas (liquefaction, transportation, storage). Part of this process are the vessels that transfer LNG worldwide.

The first chapter covers a reference to modern propulsion systems, fuels used and problem with heavy fuel. In the second chapter we study the use of natural gas as fuel for ships and its properties. The third chapter develops the fuel system, such as fuel storage, evaporation of liquefied natural gas, emergency systems. Finally, the fourth chapter presents the process of refueling ship with LNG.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ναυτιλία βρίσκεται υπό τεράστια πίεση τα τελευταία χρόνια. Η πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα στα περισσότερα τμήματα, ως αποτέλεσμα των πολλών παραγγελιών νέων πλοίων στην πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα καθώς και η πτώση στον όγκο των φορτίων που μεταφέρονται μέσω θαλάσσης είναι οι κύριοι λόγοι για αυτό. Η εικόνα αυτή, βέβαια, ποικίλει για κάθε κατηγορία φορτίου.

Επιπροσθέτως, η ναυτιλία συνεχίζει να πλήττεται από τη ραγδαία αύξηση των τιμών του πετρελαίου, όπως συμβαίνει και με άλλες βιομηχανίες. Συνεπώς, οι κάτοχοι πλοίων θα πρέπει να αναζητήσουν πλοία με περισσότερη ενεργειακή απόδοση και/ή εναλλακτικά καύσιμα.

Την ίδια ώρα, διεθνής νομοθεσία μέσω του I.M.O. (International Maritime Organization) έχει επιβάλλει αυστηρότερα μέτρα για τις εκπομπές καυσαερίων με σκοπό τη βελτίωση του περιβάλλοντος και τη βλαβερή επίδραση των αέριων ρύπων ναυτικών μηχανών στην υγεία των κατοίκων του πλανήτη.

Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου σαν καύσιμο πλοίου υποστηρίζεται από το γεγονός ότι οι εγκαταστάσεις παραγωγής του είναι σε θέση να καλύψουν την παγκόσμια ζήτηση. Επιπλέον, τα αποθέματα φυσικού αερίου είναι άφθονα και νέες εγκαταστάσεις παραγωγής είναι υπό σχεδίαση και κατασκευή.

Αυτό το δίκτυο παραγωγής δημιουργεί την κατάλληλη βάση εγκατάστασης και υποδομής μικρής και μεσαίας κλίμακας, αποθήκες καυσίμων πλοίων και φορτηγών για τον ανεφοδιασμό των πλοίων με υγροποιημένο φυσικό αέριο σαν καύσιμο πλοίου. Όσον αφορά την τιμή, απόκλιση έχει παρατηρηθεί ανάμεσα σε καύσιμα με βάση το πετρέλαιο και το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Η τιμή του φυσικού αερίου σαν καύσιμο και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί θα καθορίσουν το εύρος της χρήσης του.

Οι μετατροπές των πλοίων, ο χρόνος φόρτωσης-εκφόρτωσης, οι διαδικασίες ανεφοδιασμού του καυσίμου καθώς και θέματα ασφαλείας είναι σημαντικοί παράμετροι στη χρήση του σαν καύσιμο πλοίου. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα καινούριο καύσιμο για τη ναυτιλία και πολύ νωρίς η χρήση του θα δημιουργήσει αβεβαιότητες στις ρυθμιστικές αρχές καθώς και στο ευρύ κοινό.

Σήμερα, υπάρχουν δεξαμενόπλοια υγροποιημένου φυσικού αερίου που καίνε φυσικό αέριο σαν καύσιμη ύλη σε καυστήρες λεβήτων αλλά και σε μηχανές εσωτερικής καύσεως (M.E.K). Αναμένουμε να δούμε μια ραγδαία αύξηση στον αριθμό των σκαφών που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο και να πληρούν τις απαιτήσεις μείωσης του οξειδίου του θείου, του υποξειδίου του αζώτου και των αιρούμενων σωματιδίων από τα συστήματα εξαγωγής τους.

Ενώ το αέριο καύσιμο είναι αποτελεσματικό και εύκολο στη χρήση, είναι δύσκολο να αποθηκευτεί. Πολλές φυσικές πηγές αερίου ήταν γνωστές και μερικές χρησιμοποιούνταν από τη δεκαετία του 1940, αλλά οι περισσότερες ήταν απομακρυσμένες από τα μέρη που χρειάζονταν το αέριο, έτσι η μόνη μέθοδος μετακίνησης του φυσικού αερίου ήταν οι αγωγοί. Εκείνη την περίοδο υπήρχε μια όλο και μεγαλύτερη κατανόηση της μεγάλης κλίμακας της υγροποίησης των αέριων καυσίμων (συμπεριλαμβανομένων του προπανίου, του βουτανίου και του μεθανίου).

Τα πρώτα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ήταν το Methane Princess και το Methane Progress τα οποία χτίστηκαν με ειδικές δεξαμενές φορτίων κατασκευασμένες από κράμα αλουμινίου και όλες οι σωληνώσεις φορτίου, οι αντλίες και οι βαλβίδες ήταν κατασκευασμένες από ειδικό ανοξείδωτο ατσάλι.

Οι δεξαμενές φορτίων ήταν πλήρως μονωμένες αλλά, ακόμη και έτσι, η εξωτερική θερμότητα συνέχιζε να διαχέεται στις δεξαμενές προκαλώντας μέρος του υγρού μεθανίου να μετατρέπεται σε αέριο. Μιας και οι δεξαμενές δεν μπορούσαν να διατηρήσουν την αύξηση στην εσωτερική πίεση, οι εξατμίσεις του φυσικού αερίου (BOG=Boil Of Gas) έπρεπε να ελευθερωθούν από τις δεξαμενές. Σε ακραίες περιπτώσεις, θα μπορούσαν να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα αλλά, ως συνήθως, διοχετεύονταν με σωλήνες στο μηχανοστάσιο και χρησιμοποιούνταν σαν αέριο καύσιμο για τους λέβητες των πλοίων. Αυτά τα πλοία ήταν ατμόπλοια αλλά υπήρχαν δύο εξαιρέσεις το 1970, το δεξαμενόπλοιο υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) *Lucian*, το οποίο χτίστηκε με μια μονάδα αεριοστρόβιλων που έκαιγαν τις εξατμίσεις του φυσικού αερίου, και το δεξαμενόπλοιο *Venator*, που και αυτό επίσης χρησιμοποιούσε φυσικό αέριο ως καύσιμο σε κινητήρα Sulzer (M.E.K.). Κανένα από αυτά τα σκάφη δεν κάλυψαν τον σχεδιασμό του κατασκευαστή: στο *Lucian* τοποθετήθηκε νέος κινητήρας και η μηχανή του *Venator* μετατράπηκε σε μια συμβατική μηχανή πετρελαίου.

Τα τελευταία 50 χρόνια ,ο στόλος των δεξαμενοπλοίων αυξήθηκε από 2 σε 400 πλοία. Τα περισσότερα από αυτά είναι ατμοκίνητα που χρησιμοποιούν τις εξατμίσεις του φυσικού αερίου σαν καύσιμο. Μέχρι που το 2005 η πρώτη νέα κατηγορία πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου άρχισε να εμφανίζεται και ,μόλις τέθηκαν σε υπηρεσία, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο ενδεχόμενο χρήσης φυσικού αερίου σαν καύσιμο σε άλλα είδη πλοίων.

Υπάρχουν πολλοί σοβαροί λόγοι για την χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία όπως: οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και πρακτικοί.

Οικονομικοί

Τα παγκόσμια αποθέματα μεθανίου είναι πολύ περισσότερα από αυτά του αργού πετρελαίου. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας υπολογίζει πως προς το παρόν υπάρχει αρκετό (φυσικό αέριο) για κατανάλωση για τα επόμενα 250 χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανανεώσιμες και μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου. Τα επίπεδα των τιμών του φυσικού αερίου είναι σήμερα αρκετά ελκυστικά.

Περιβαλλοντικοί

Το 2015 η μείωση του ορίου της περιεκτικότητας σε θείο σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών(περιοχές ECA) στο μέγιστο 0,1% σημαίνει πως το μεθάνιο θα ανταγωνιστεί το πετρέλαιο για καύσιμο πλοίων. Η προγραμματισμένη αλλαγή της περιεκτικότητας θείου στο 0,5% (το 2020 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) και το 2020 ή το 2025 παγκοσμίως) θα δώσει επίσης ένα επιπλέον οικονομικό πλεονέκτημα στο αέριο καύσιμο, μιας και το φυσικό αέριο δεν περιέχει καθόλου θείο.

Πρακτικοί

Το φυσικό αέριο είναι ένα καθαρό καύσιμο που προσφέρει την προοπτική μειωμένης συντήρησης, μειωμένου χειρισμού και επεξεργασίας καυσίμου επί του πλοίου. Υπάρχουν μερικά προβλήματα στη διαχείριση διαφορετικών ποιοτήτων φυσικού αερίου, αυτά όμως μπορούν εύκολα να ξεπεραστούν.

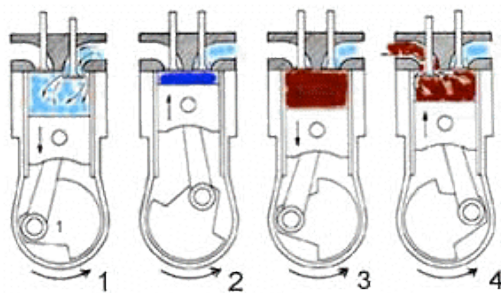
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΠΡΟΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ

1.1 Προωσθήριες μηχανές σύγχρονων πλοίων και καύσιμα που χρησιμοποιούν

Οι προωσθήριες μηχανές σύγχρονων πλοίων διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, στις μηχανές εσωτερικής καύσεως και στις μηχανές εξωτερικής καύσεως.

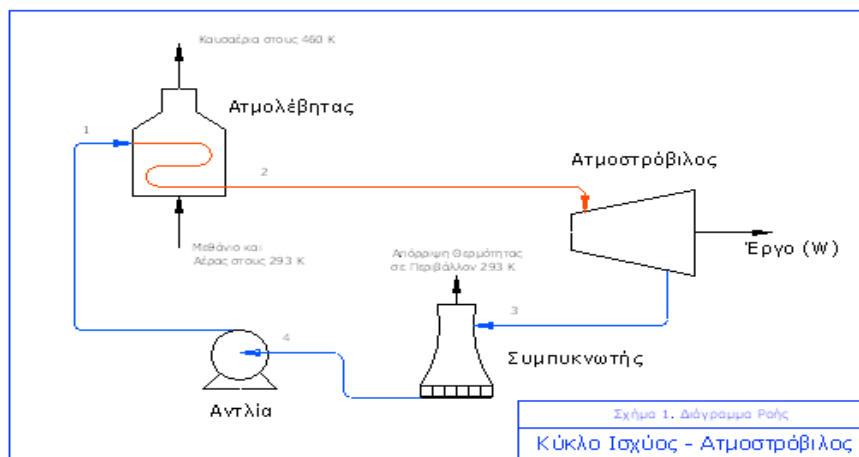
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές, στις οποίες καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Ο τύπος μηχανής εσωτερικής καύσεως που χρησιμοποιείτε στην ναυτιλία σήμερα είναι ο κινητήρας Diesel . Οι κινητήρας Diesel διακρίνεται σε τετράχρονος και δίχρονος. Ο κύκλος λειτουργίας του είναι: Εισαγωγή, Συμπύεση, Καύση/Εκτόνωση και Εξαγωγή.

1. **Εισαγωγή.** Πεπιεσμένος αέρας εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής. Το έμβολο βρίσκεται στο Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ)
2. **Συμπύεση.** Το έμβολο κινείται προς το Άνω Νεκρό Σημείο(ΑΝΣ) και συμπιέζει τον αέρα που βρίσκεται στον κύλινδρο. Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ γίνεται έγχυση καυσίμου από τον εγχυτήρα.. Η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας, προκαλούν την ανάφλεξη του καυσίμου μείγματος.
3. **Καύση / Εκτόνωση.** Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο
4. **Εξαγωγή.** Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-στροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.



Εικόνα 1: Κύκλος λειτουργίας ΜΕΚ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (ή ΜΕΚ) διαφοροποιούνται από τις μηχανές εξωτερικής καύσης. Η μηχανή εξωτερικής καύσης είναι και αυτή μια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου δεν γίνεται μέσα στο χώρο παραγωγής έργου αλλά εκτός αυτού του χώρου. Το εργαζόμενο μέσο σε αυτή τη μηχανή δεν είναι τα καυσαέρια αλλά κάποιο ρευστό. Ο τύπος μηχανής εξωτερικής καύσεως που χρησιμοποιείται στα πλοία σήμερα είναι ο ατμοστρόβιλος. Τα κύρια μέρη ενός ατμοστρόβιλου είναι η τροφοδοτική αντλία, ο λέβητας, ο ατμοστρόβιλος και ο συμπυκνωτής. Η τροφοδοτική αντλία τροφοδοτεί τον λέβητα με απιονισμένο νερό. Στον λέβητα καίγεται το καύσιμο στον θάλαμο καύσεως, παράγονται καυσαέρια τα οποία βοηθούν στην ατμοποίηση του νερού. Στον ατμοστρόβιλο, διοχετεύεται ο παραγόμενος ατμός, εκτονώνεται και δίνει κίνηση στα πτερύγια του στροβίλου. Τέλος στον συμπυκνωτή, ο ατμός μετατρέπεται και πάλι σε νερό για να ξαναγυρίσει στο λέβητα και να κλείσει ο θερμοδυναμικός κύκλος της μηχανής.



Εικόνα 2: Κύκλος ισχύος-Ατμοστρόβιλος

Συνήθως, αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο το βαρύ πετρέλαιο(HFO) και αποστάγματα του όπως το Marine Gas Oil(MGO) και το Marine Diesel Oil(MDO). Τα τελευταία χρόνια τα πλοία που μεταφέρουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas-L.N.G) έχουν την ικανότητα να τροφοδοτούν της μηχανές τους με αυτό και να το καταναλώνουν.

1.2 Το βαρύ καύσιμο(HFO) και τα αποστάγματα του Marine Gas Oil (MGO)- Marine Diesel Oil (MDO)

Οι δυο κύριες κατηγορίες καυσίμων στην ναυτιλιακή βιομηχανία είναι τα προϊόντα-αποστάγματα (distillates) και τα υπολείμματα αποστάξεως (residual fuel oil). Πρόκειται για δυο κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους. Ωστόσο είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους, στις προωσθήριες εγκαταστάσεις με μηχανές Diesel, χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών είτε εναλλάξ είτε σε μείγματα.

Τα προϊόντα απόσταξης χωρίζονται στα Marine Gas Oil(MGO) και στα Marine Diesel Oil(MDO). Το MGO χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρούς υψηλόστροφους κινητήρες Diesel οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τύπους πλοίων. Το βαρύ πετρέλαιο ή αλλιώς μαζούτ, είναι το καύσιμο με το υψηλότερο ιξώδες και ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος τύπος αυτού στην ναυτιλία είναι το IFO180 και IFO380, με ιξώδες των 180 και 380 centistokes στους 50°C. Σε αντίθεση με τα προϊόντα απόσταξης το βαρύ πετρέλαιο απαιτεί εγκαταστάσεις προθέρμανσης για την καύση του.

Το μαζούτ σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας είναι μαύρο και παχύρευστο. Πρόκειται για το υπόλειμμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου το οποίο δεν αποστάζει ως τους 360°C και το οποίο εξέρχεται από την βάση του πύργου αποστάξεως του διωλιστηρίου. Είναι το προϊόν του διωλιστηρίου με την χαμηλότερη τιμή πώλησης. Οι προδιαγραφές της αγοράς θέτουν περιορισμούς κυρίως στην περιεκτικότητα σε θείο.

1.3 Προβλήματα με τα βαριά καύσιμα στο περιβάλλον

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που εκπέμπεται από τα πλοία συμβάλει αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, άλλοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια και οι πτητικές οργανικές ενώσεις, επηρεάζουν αρνητικά τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία του πληθυσμού. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία δέχονται την πίεση κανονιστικού πλαισίου.

1.3.1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO_2)

Το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θεωρείται αέριο το οποίο εμφανίζεται να έχει αυτήν την περίοδο μία συγκέντρωση της τάξης των 380ppm με συνεχή αυξητική τάση για το μέλλον. Η κύρια πηγή εκπομπής ρύπων από τα πλοία προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Η καύση είναι μια χημική διαδικασία κατά την οποία τα συστατικά του καυσίμου οξειδώνονται ταχύτατα από το οξυγόνο που περιέχει ο αέρας καύσης. Τα περισσότερα καύσιμα περιέχουν κυρίως άνθρακα (C), το υδρογόνο (H) και σε μικρότερες ποσότητες θείου (S).

1.3.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_2)

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από τα πλοία σε αντίθεση με τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα ευθύνονται για τις όξινες εναποθέσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον καθώς και για υλικό σωματιδιακού χαρακτήρα που μπορεί να βλάψει την υγεία. Το διοξείδιο του θείου είναι ένας από τους κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας. Προέρχεται από τις καύσεις, όταν το καύσιμο περιέχει θείο. Είναι αέριο, άχρωμο με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Μετατρέπεται με τα υδρογόνα που παράγονται κατά την καύση σε θειικό οξύ H_2SO_4 , κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

1.3.3 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ(NO_x)

Το άζωτο που αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξειδία του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσεως τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη. Τα NO_x συμμετέχουν στην εμφάνιση ποικιλίας αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως οι σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης, υδροβιότοπων και χερσαίων εκτάσεων.

1.4 Πρόσφατοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί

Η ποιότητα των ναυτιλιακών καυσίμων απασχολεί τους διεθνείς οργανισμούς από το 1973, όμως φαινόμενα όπως: η μόλυνση της ατμόσφαιρας, η αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, οι κλιματικές αλλαγές, ώθησαν τους διεθνείς οργανισμούς να λάβουν πιο αυστηρά μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών βλαβερών αερίων που προέρχονται από τη χρήση ναυτιλιακών καυσίμων.

Για τον έλεγχο της ποιότητας και της καταλληλότητας των καυσίμων οι διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει ποιοτικά όρια όπως πχ. Αυτά που περιέχονται στο πρότυπο ISO 8217. Η προσπάθεια για την μείωση των βλαβερών αερίων οδήγησε σε περιορισμό της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο. Η MARPOL έκανε τα πρώτα βήματα σχετικά με τη λήψη μέτρων για την προστασία της μόλυνσης του αέρα από τα τις εκπομπές θείου με την θέσπιση κανονισμών τους οποίους τους υιοθέτησε ο IMO (International Maritime Organization). Πρώτα, δημιουργήθηκαν οι περιοχές SECA (SO_x Emission Control Areas). Ωστόσο μετά τις τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL οι περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου μετονομάστηκαν σε περιοχές ECA (Emission Control Area) γιατί συμπεριλήφθηκαν και οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιήθηκε 1/7/2010. Ως περιοχές ECA έχουν χαρακτηριστεί, η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρειος

Θάλασσα, το , στενό της Μάγχης, ο Καναδάς, Η.Π.Α (200ν.μ δυτικά και ανατολικά των ακτών), Πουέρτο Ρίκο και τα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 3: Υπάρχουσες περιοχές ECA (2014)

Σήμερα, το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο στις περιοχές ECA είναι μέχρι 1,0% και στους Ωκεανούς μέχρι 3,5%. Πλοία που παραμένουν σε λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης λιγότερο των 2 ωρών (ακτοπλοΐα) μπορούν να χρησιμοποιούν καύσιμα περιεκτικότητας υψηλού θείου. Από 1/1/2015 θα υπάρξει αλλαγή στις περιοχές ECA και το ποσοστό θα μειωθεί στο 0,1%.

Από 1/1/2020 έχει προγραμματιστεί από τον IMO να υπάρξει μείωση στις εκπομπές θείου και στους ωκεανούς με το όριο να είναι στο 0,5%. Αυτό θα εξαρτηθεί από τις πετρελαϊκές εταιρίες αν είναι έτοιμες να παράγουν αποθειωμένα καύσιμα αλλιώς μεταφέρεται για 1/1/2025.

| ΕΤΟΣ | ΗΜΕΡΙΑ | ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ | ΕΛΑΦΥΝΣΗ |
|------|---------------------------|------------------------|---|
| 1999 | 26 ^η Απριλίου | EU 1999/32 | Υιοθετείται η Κοινωνική οδηγία 1999/32 για τους περιορισμούς στα όρια περιεκτικότητας του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα. |
| 2000 | 1 ^η Ιανουαρίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'05 | Εφαρμόζονται οι κανονισμοί για τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου και για τους αποθερωτές ειδικού τύπου |
| | 1 ^η Ιουλίου | EU 1999/32 | Με βάση την κοινωνική οδηγία 1999/32 το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο εντός των ορίων της Ε.Ε γίνεται 0,2% |
| 2005 | 19η Μαρτίου | IMO | Το παράρτημα VI της MARPOL που είχε υιοθετηθεί στις 26/09/1997 τίθεται σε ισχύ ανώτατο με ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου παρακάτω 4,5% |
| | 11 ^η Αυγούστου | EU 1999/33 | Η κοινωνική οδηγία 1999/32 αναθεωρείται από την 2005/33 |
| 2006 | 19η Μαρτίου | IMO | Η Βαλτική Θάλασσα τίθεται ως περιοχή SEC A Sca: Max>1,5% |
| | | | Η Βαλτική Θάλασσα τίθεται ως περιοχή SEC A Sca: Max>1,5% |
| | 11 ^η Αυγούστου | EU 2005/33 | Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο για τα συμβατηγία πλοία τωπακών γραμμών από και προς τα λιμάνια της Ε.Ε είναι 1,5% (δίνεται παράταση για 16 Ελληνικά συμβατηγία πλοία) Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο για το MDO γίνεται 1,5% |
| 2007 | 11 ^η Αυγούστου | EU 2005/33 | Η Βόρεια Θάλασσα και η θάλασσα της Μάγχης τίθενται ως περιοχές SEC A Sca: Max>1,5% |
| | 22 ^η Νοεμβρίου | IMO | Η Βόρεια Θάλασσα και το κανάλι της Μάγχης τίθενται ως περιοχές SEC A |
| 2008 | 1 ^η Ιανουαρίου | EU 1999/32 | Με βάση την κοινωνική οδηγία 1999/32 το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο του καυσίμου ΜGΟ είναι Max 0,1% |
| 2009 | 1 ^η Ιανουαρίου | C ARB | Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο των πλοίων που προσεγγίζουν την California έως και 24 miles από τις ακτές είναι 1,5% για το ΜGΟ και 0,5% για το ΜDΟ . |
| 2010 | 1 ^η Ιανουαρίου | EU 2005/33 | Το ανώτατο όριο των καυσίμων σε θείο για τα πλοία που πλέουν εντός των εσωτερικών υδάτων και πλοία που παραμένουν σε θέσεις παραβολής (berths) > max 0,1% |
| | 1 ^η Ιουλίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'08 | Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο για τις περιοχές ECA γίνεται 1% |
| 2012 | 1 ^η Ιανουαρίου | C ARB | Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο στο ΜGΟ/ ΜDΟ των πλοίων που προσεγγίζουν την California έως και 24 miles από τις ακτές είναι 0,1% |
| | 1 ^η Ιανουαρίου | EU 2005/33 | Τέλος της παράτασης για τα 16 Ελληνικά συμβατηγία πλοία της ασαπλοίας. Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα γίνεται 0,1% |
| | 1 ^η Ιανουαρίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'08 | Το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα γίνεται παρακάτω 3,5% |
| 2015 | 1 ^η Ιανουαρίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'08 | Το ανώτατο όριο της περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα στις περιοχές ECA γίνεται 0,1% |
| 2020 | 1 ^η Ιανουαρίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'08 | Το ανώτατο όριο της περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα γίνεται παρακάτω 0,5%* |
| 2025 | 1 ^η Ιανουαρίου | IMO/MARPOL ANNEX VI'08 | Το ανώτατο όριο της περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα γίνεται παρακάτω 0,5% |

*εφόσον επιβεβαιωθεί κοινά πόσο είναι εμιακό με μέγιστη σκεπτικότητας του IMO έως το τέλος του 2018 αλλιώς θα ορισθεί νέα ημερομηνία την 1^η Ιανουαρίου του 2025

Εικόνα 4: Χρονική μείωση εκπομπών θείου

1.5 Προτεινόμενες Λύσεις

Τα τελευταία 15 χρόνια ένα νέο καύσιμο έχει κάνει την παρουσία του στον χώρο της ναυτιλίας. Αυτό είναι το φυσικό αέριο. Επειδή το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως καύσιμο έχει την ιδιότητα να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) περίπου 25-30%, τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) σχεδόν στο μηδέν και τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) περισσότερο από 80%, είναι φανερό ότι εμφανίζει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με οποιοδήποτε ορυκτό καύσιμο. Συνεπώς είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον να εξετασθούν οι απαιτήσεις χρήσης του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο πρόωσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο.

Η οδηγία MSC.285(86)/2009 του IMO παρέχει διεθνή τυποποίηση στον τομέα προσωρινών οδηγιών ασφαλείας για την εγκατάσταση μηχανών φυσικού αερίου στα πλοία, ενώ η MSC επεξεργάζεται τον Διεθνή Κώδικα Μεταφοράς Αερίων (International Gas Carrier code- IGC code) που θα καλύψει την έλλειψη κανονιστικών απαιτήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΟΥ

2.1 Σύνθεση-Ιδιότητες

Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄), Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο, άοσμο και μη τοξικό αέριο. Συνήθως περιέχει και μικρές ποσότητες από άλλους ελαφριούς υδρογονάνθρακες(αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο) και σπάνια, σε ακόμη μικρότερες συγκεντρώσεις πεντάνιο και εξάνιο. Σε κανονικές θερμοκρασίες οι δυο τελευταίοι υδρογονάνθρακες είναι υγροί με χαμηλό σημείο ζέσεως. Όμως σε υψηλές θερμοκρασίες είναι σε αέρια κατάσταση και αποτελούν τμήμα του φυσικού αερίου. Εκτός από υδρογονάνθρακες , το φυσικό αέριο μπορεί να περιέχει διάφορα ανόργανα συστατικά, όπως: άζωτο, αργό, ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο.

| Συστατικά | % κατά όγκο σύσταση |
|--|----------------------|
| Μεθάνιο (CH ₄) | 70-90 |
| Αιθάνιο (C ₂ H ₆) | 5-15 |
| Προπάνιο (C ₃ H ₈) και Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀) | < 5 |
| CO ₂ , N ₂ , H ₂ S, κτλ. | μικρότερες ποσότητες |

Εικόνα 5: Συστατικά φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο συχνά χαρακτηρίζεται από την παρουσία ή την απουσία συγκεκριμένων συστατικών. Έτσι έχουμε τους χαρακτηρισμούς:

Υγρό Αέριο(Wet): συνήθως το μη επεξεργασμένο αέριο που περιέχει συμπτκνώσιμους υδρογονάνθρακες (προπάνιο, βουτάνιο κ.α.).

Ξηρό Αέριο (Dry): όταν δεν περιέχει συμπτκνώσιμους υδρογονάνθρακες

Όξινο Αέριο (Sour): όταν περιέχει διοξείδιο του άνθρακα (σε ποσοστό >2%) υδρόθειο και άλλες ενώσεις θείου, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια.

Γλυκό Αέριο(Sweet): όταν περιέχει διοξείδιο του άνθρακα (σε ποσοστό <2%) ενώ οι συγκεντρώσεις του υδρόθειου και άλλων ενώσεων είναι μικρότερες από κάποια όρια.

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59.

Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή το πετρέλαιο, έχει λιγότερες επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα, μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο, όπως λέει και το όνομα του, είναι το φυσικό αέριο που έχει μετατραπεί σε υγρή μορφή για να διευκολυνθεί η μεταφορά του ή η αποθήκευσή του. Το φυσικό αέριο υγροποιείται σε ατμοσφαιρική πίεση στους -161°C . Κατά τη διαδικασία υγροποίησης απαιτείται επεξεργασία για την αφαίρεση των προσμίξεων όπως νερό, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο και άλλες ενώσεις του θείου. Απομακρύνοντας αυτές τις προσμίξεις, δεν δημιουργούνται ουσίες σε στερεά μορφή με την ψύξη του φυσικού αερίου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το υγροποιημένο φυσικό αέριο να αποτελείται κατά περίπου 95% από μεθάνιο. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμο κατά τη μεταφορά διότι η αναλογία του είναι 1/600 του αντίστοιχου όγκου φυσικού αερίου.

2.2 Χρήση του Φυσικού Αερίου ως καύσιμο σε λέβητες

Η καύση αερίου σαν καύσιμο λέβητα είναι μια πολύ ώριμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη θάλασσα από το 1964. Το αέριο καύσιμο εισάγεται με μέτρια πίεση σε προφύσια (3 ή 4) μέσα στους καυστήρες όπου τροφοδοτούν με καύσιμο την εστία του λέβητα. Υπήρχε μία απαίτηση να υπάρχει μια πιλοτική φλόγα πετρελαίου πάντα αναμμένη για να πληρεί τους κανόνες νηογνώμονα, αν και η απαίτηση έχει τώρα καταργηθεί, οι οποίοι υπακούουν σε μερικούς συγκεκριμένους κανόνες για μηχανισμούς ασφαλείας και διαδικασίες αναζωπύρωσης.

Η διαδικασία είναι απλή και αποτελεσματική. Παρά την τροποποιημένη ρύθμιση του καυστήρα, απαιτεί κάτι παραπάνω από την ικανότητα να ρυθμίζει την αναλογία αέρα-καυσίμου για να αντισταθμίσει τις αλλαγές στην ποσότητα θερμότητας του καυσίμου που χρησιμοποιείται (εναλλάσσοντας ανάμεσα στο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και στη διαφορά στη σύνθεση του αερίου με την

πάροδο του χρόνου). Μια απαίτηση που μπορεί να διαβεβαιώσει πως η ροή του καυσίμου είναι περιορισμένη ούτως ώστε να προστατευτεί η επιφάνεια του λέβητα από την «υπερθέρμανση» εφοδιάζοντας περισσότερη θερμότητα απ' ό τι μπορεί να απορροφήσει η επιφάνεια. Χωρίς την απαίτηση, η επιφάνεια θα μπορούσε να έχει πλήρη ροή πετρελαίου και αερίου την ίδια στιγμή!



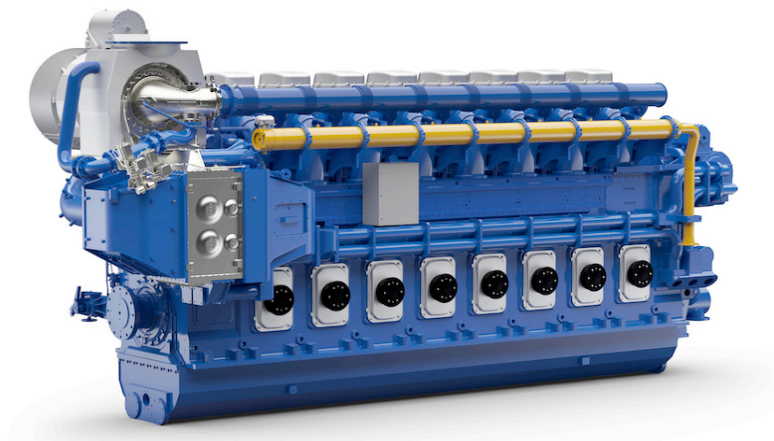
Εικόνα 6: Καυστήρας Φυσικού Αερίου Λέβητα

2.3 Κινητήρες διπλού καυσίμου-Dual Fuel Engines

Βασικά, οι Dual Fuel μηχανές είναι τροποποιημένες ΜΕΚ ώστε να είναι σε θέση να καταναλώνουν όχι μόνο υγρά καύσιμα αλλά και συνδιασμό υγρών και αέριων καυσίμων ταυτόχρονα. Οι κινητήρες διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν μια αρχική πιλοτική έγχυση πετρελαίου για να αναφλέξουν το αέριο καύσιμο που έχει ήδη εισαχθεί σε χαμηλή πίεση στον κύλινδρο με τον αέρα καύσης. Είναι ικανοί να πληρούν τις αυστηρότερες απαιτήσεις εκπομπών και να λειτουργούν στον κύκλο Όττο. Αν παρουσιαστεί πρόβλημα με την τροφοδότηση του αέριου καυσίμου, μπορούν αυτομάτως να αλλάξει σε κύκλο Diesel καταναλώνοντας MGO η ακόμα και HFO χωρίς να σταματήσει τη λειτουργία του ο κινητήρας. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται έγχυση χαμηλής πίεσης (Low pressure gas injection).

Η Wartsila έχει κατασκευάσει έναν μεσόστροφο τετράχρονο κινητήρα διπλού καυσίμου. Αυτός ο κινητήρας λειτουργεί με τροποποιημένο κύκλο χρησιμοποιώντας MDO (ανάφλεξη με συμπίεση) για να ξεκινήσει η ανάφλεξη του αερίου. Αυτός ο κινητήρας μπορεί να μεταβεί ομαλά σε λειτουργία κύκλου Diesel καταναλώνοντας αποστάγματα(MGO, MDO) ή υπολειμματικό πετρέλαιο (HFO) όταν το φυσικό αέριο

δεν είναι διαθέσιμο. Όταν η μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση που τροφοδοτείται με φυσικό αέριο, αυτό εισέρχεται στον κύλινδρο με τον αέρα εισαγωγής. Ένας όμοιος κινητήρας έχει κατασκευαστεί και από την MAN B&W.



Εικόνα7: Wartsila 46DF Dual Fuel Engine

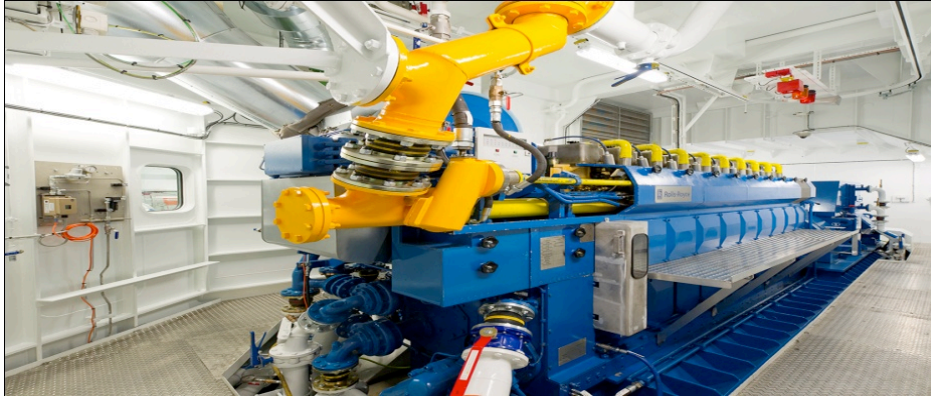
2.4 Κινητήρες αερίου-Gas Engine

Οι κινητήρες αερίου καίνε το φυσικό αέριο σε κύκλο Diesel. Χρησιμοποιούν MDO για την βοήθεια ανάφλεξης του αερίου. Το αέριο εισάγεται στον κύλινδρο στο τέλος του χρόνου συμπίεσεως σε υψηλή πίεση. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται έγχυση υψηλής πίεσης (High pressure gas injection).

Σήμερα, η τεχνολογία αυτή δεν έχει εμφανιστεί στην ναυτιλία. Όμως η Wartsila 32GD, μπορεί να προσαρμόσει το ποσοστό αερίου σε πετρέλαιο που χρησιμοποιείται κατά τη λειτουργία της και είναι πιο ευέλικτη σε διάφορα είδη σύνθεσης του φυσικού αερίου, από τους κινητήρες με χαμηλή πίεση εγχύσεως.

Η MAN B&W έχει κατασκευάσει έναν δίχρονο αργόστροφο κινητήρα, υψηλής πίεσης εγχύσεως. Οι μελέτες για αυτόν τον κινητήρα πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του ερευνητικού κέντρου Helios. Αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2014 και ο σκοπός είναι να αναδειχθεί η πρακτικότητα των κινητήρων(ME-GI) αλλά και των ήδη υπάρχοντων μετασκευασμένων κινητήρων ME-C στην καύση του φυσικού αερίου.

Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει δημιουργηθεί για τα καινούρια πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που θα εισέλθουν στην υπηρεσία των ΗΠΑ-Πουέρτο Ρίκο.



Εικόνα 8: Rolls-Royce Bergen Gas Engine

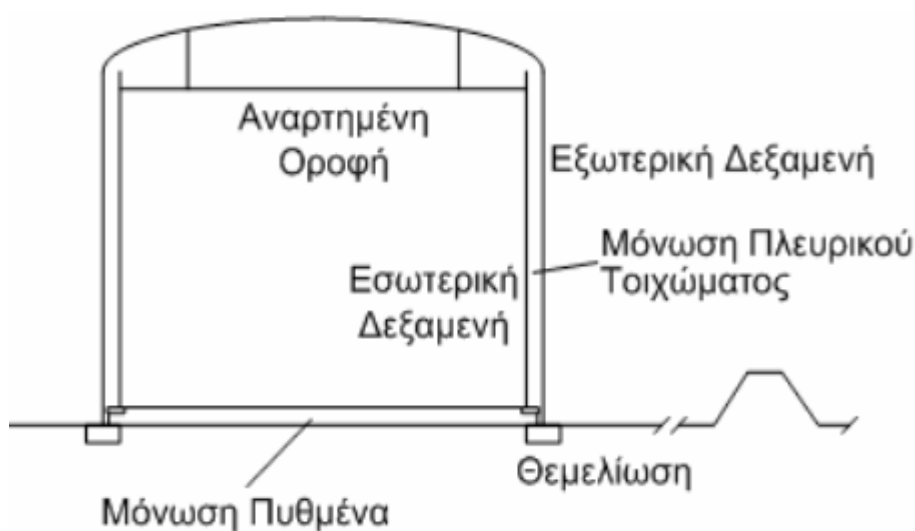
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

3.1 Αποθήκευση Φυσικού Αερίου

3.1.1 Αποθήκευση φυσικού αερίου στη στεριά (Onshore Storage)

Υγροποιημένο φυσικό αέριο

Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι ένα σημαντικό μέρος της επένδυσης των τερματικών εγκαταστάσεων παραλαβής υγροποιημένου φυσικού αερίου. Λόγω του υψηλού κόστους και της σπουδαιότητας αυτών των μονάδων στη συνολική ασφάλεια των εγκαταστάσεων, έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό των δεξαμενών. Οι δεξαμενές έχουν διπλή επένδυση με τα μονωτικά υλικά να είναι τοποθετημένα ανάμεσα στα εσωτερικά και τα εξωτερικά τοιχώματα. Οι χωρητικότητες των δεξαμενών κυμαίνονται από 50-250,000 κυβικά μέτρα (m^3). Ο τερματικός σταθμός απαιτεί αγωγούς, αντλίες, βαλβίδες και σύστημα συγκέντρωσης ατμών και μπορεί ακόμη να χρειάζεται μία μονάδα επανυγροποίησης και έναν ψεκαστήρα. Μικρότερες δεξαμενές είναι δοχεία πίεσης, με διπλά τοιχώματα και μονώσεις κενού.

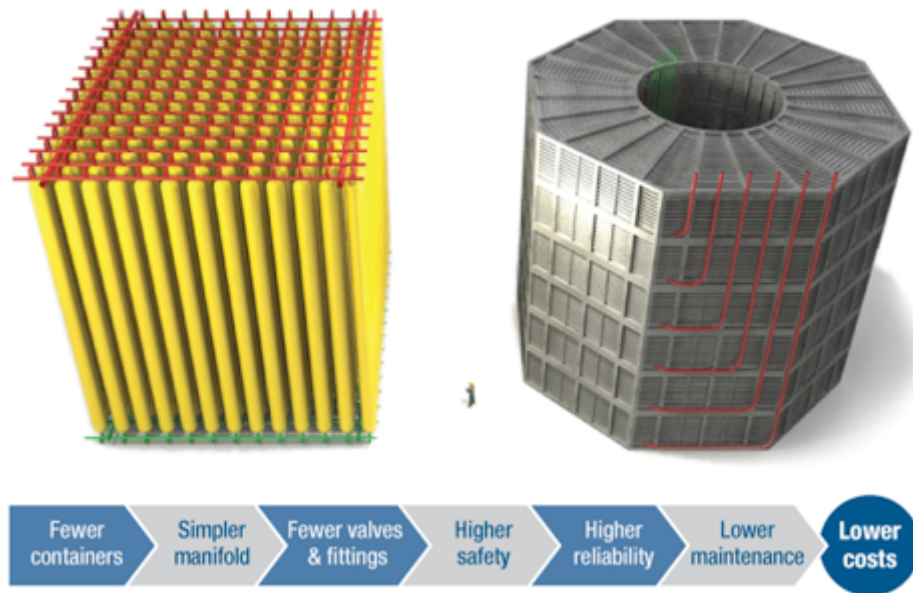


Εικόνα 9: Δεξαμενή αποθήκευσης Φ.Α. στη στεριά

Συμπιεσμένο φυσικό αέριο

Η αποθήκευση του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (Compressed Natural Gas-CNG) τείνει να είναι σε μικρότερη κλίμακα, χρησιμοποιώντας είτε στοιβάδες από

κυλίνδρους πίεσης (συνήθως στοιβαγμένες οριζοντίως) είτε ένα σύστημα από κουλουριασμένο σωλήνα(όπως το σχέδιο Coselle). Αυτές οι δεξαμενές χαρακτηρίζονται ως τύπου «C». Η πίεση που συμπιέζεται το φυσικό αέριο πλησιάζει τα 275 bar.



Εικόνα 10: Δέξαμενή CNG

Το μέγεθος μιας τέτοιας δεξαμενής μπορεί να κυμαίνεται από 15-20 μέτρα(m) σε διάμετρο και από 2,5-4,5 μέτρα (m) σε ύψος , και μπορεί να ζυγίζει περίπου 550 μετρικούς τόνους(mt).

Το σύστημα Coselle χρησιμοποιείται στην ξηρά για αποθήκευση άλλων αερίων υπό πίεση (όπως το διοξείδιο του άνθρακα CO₂).

3.1.2 Αποθήκευση φυσικού αερίου στο πλοίο (Onboard Storage)

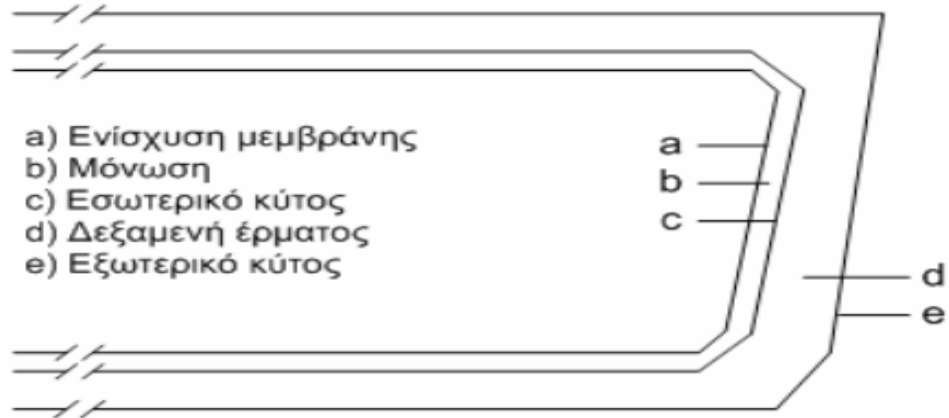
Υγροποιημένο φυσικό αέριο

Μέχρι σήμερα, η αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου επί του πλοίου ρυθμίζεται από τις διατάξεις του Διεθνούς Κώδικα Μεταφοράς Αερίων (International Gas Carrier code- IGC code) που είναι μέρος της SOLAS.

Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει απαιτήσεις όσον αφορά την αντοχή και την κατασκευή των δεξαμενών αλλά προσπαθεί να μην είναι δεσμευτικός. Δίνει βέβαια σαφείς κανόνες για τον υπολογισμό της επιτρεπόμενης πίεσης στις δεξαμενές σε σχέση με τη ρύθμιση για τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή εκτόνωσης των ανακουφιστικών βαλβίδων(Maximum Allowable Relief Valve Setting-MARVS). Σύμφωνα με τους όρους του κώδικα, ένας ορισμένος αριθμός τύπων δεξαμενών γίνεται δεκτός.

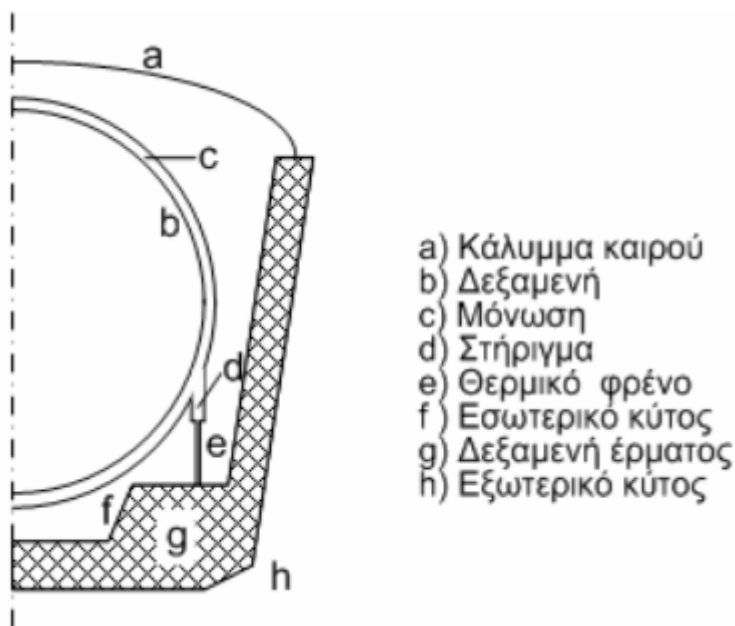
Τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς LNG έχουν μεταφορική ικανότητα έως 250000m³ υγροποιημένου φυσικού αερίου. Κάθε πλοίο χρησιμοποιεί ένα από τα ανεξάρτητα συστήματα αποθήκευσης, τα οποία μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κύριους τύπους. Οι δεξαμενές αυτές δεν αποτελούν μέρος του σκάφους, δηλαδή δεν είναι κολλημένες πάνω σε αυτό αλλά είναι αυτοσυγκρατούμενες. Γύρω από τη δεξαμενή, σε μικρή απόσταση, υπάρχει δεύτερο τοίχωμα και ανάμεσα στο κέλυφος της δεξαμενής και το δεύτερο αυτό τοίχωμα, παρεμβάλλεται κενός χώρος ο οποίος προστατεύει το σκάφος από διαρροή, κυρίως ψύξης που πιθανόν να συμβεί από τη δεξαμενή φορτίου προς τα έξω. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές διακρίνονται σε τύπου «Α» με πρισματική διατομή, σε τύπου «Β» με σφαιρική διατομή και τύπου «C» με κυλινδρική διατομή.

Τα πλοία που χρησιμοποιούν δεξαμενές με μεμβράνες τύπου «Α», η μόνωση και δευτερογενής φραγή εφαρμόζεται στη γάστρα του σκάφους. Η μόνωση μεταβιβάζει επίσης το φορτίο από το φορτίο LNG στο κύτος και τη δομή του σκάφους. Μια μεταλλική μεμβράνη συγκράτησης εγκαθίσταται έπειτα πάνω από την επιφάνεια μόνωσης. Η μεμβράνη μπορεί να αποτελείται από Invar (χάλυβας υψηλής περιεκτικότητας σε μέταλλα με εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής) ή από μια δομή «βάφλας» (φτιαγμένη από νικελιούχο χάλυβα), όπου η διατομή της βάφλας επιτρέπει τη δισδιάστατη μεταφορά θερμότητας διατηρώντας την επαφή με τη φέρουσα μόνωση. Οι δεξαμενές με μεμβράνες χωρίζονται επίσης σε διαμερίσματα και επιτρέπουν αποδοτικότερη χρήση του όγκου αποθήκευσης του κύτους. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η επίπεδη κορυφή και το χαμηλότερο κέντρο βάρους, ενώ οι σφαιρικές δεξαμενές επεκτείνονται επάνω από το κατάστρωμα.



Εικόνα 11: Δεξαμενή αποθήκευσης πλοίου τύπου «Α»

Ένα σχέδιο χρησιμοποιεί μη σταθερές σφαιρικές δεξαμενές που υποστηρίζονται σε κυλινδρικά στηρίγματα τύπου «B» ή αλλιώς Moss Type. Κάθε δεξαμενή είναι μονωμένη και τοποθετημένη μεταξύ διαφραγμάτων σε ένα χωριστό τμήμα σκάφους. Αυτά τα διαμερίσματα καλύπτονται με αδρανές αέριο(άζωτο), το οποίο δειγματίζεται περιοδικά για να ανιχνευτεί οποιαδήποτε διαρροή.



Εικόνα 12: Δεξαμενή αποθήκευσης πλοίου τύπου «B»

3.2 Εξάτμιση-Boil Off Gas(BOG)

Παρόλο που το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε μονωμένη δεξαμενή, μπορεί ακόμη να υπάρχει μερική μεταφορά αέρα από την ατμόσφαιρα μέσα στο υγρό που θα του προκαλέσει την εξάτμιση. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει αέριο που πρέπει να συμπεριληφθεί ή να απομακρυνθεί από την δεξαμενή. Η εξάτμιση του υγρού έχει ως επίδραση να κρατά το υγρό κρύο καθώς η διαδικασία χρησιμοποιεί θερμότητα. Αν η δεξαμενή περιέχει ατμό, η πίεση και η θερμοκρασία του υγρού θα αυξηθεί καθώς η εσωτερική θερμοκρασία της δεξαμενής αυξάνεται. Αυτό το εξατμισμένο αέριο μπορεί να καταναλωθεί από μηχανές εσωτερικής καύσεως, λέβητες ή επίσης μπορεί να επανυγροποιηθεί και το υγρό να επιστρέψει στη δεξαμενή. Η ισχύς που απαιτείται για την επανυγροποίηση δεν είναι σημαντική: μερικοί εκτιμούν πως είναι 6MW για 300 τόνους υγροποιημένου φυσικού αερίου την ημέρα και 800KW για 30τόνους υγροποιημένου φυσικού αερίου την ημέρα.

Ο χειρισμός του εξατμισμένου αερίου σε πλοία στη θάλασσα είναι πολύ μεγαλύτερη πρόκληση από την ξηρά. Οποιαδήποτε τεχνολογία δεξαμενών και αν επιλεγεί, τα περιεχόμενα της δεξαμενής θα προσλαμβάνουν τη θερμότητα μέσω της μόνωσης και έτσι θα παράγεται BOG(Boil Off Gas). Όσο η ποσότητα που θα παράγεται με αγωγιμότητα είναι μικρότερη από τη ζήτηση καυσίμου στο μηχανοστάσιο, δεν υπάρχει πρόβλημα. Ωστόσο, ενώ το πλοίο βρίσκεται σε αδράνεια και η κατανάλωση των κινητήρων δεν μπορεί να απορροφήσει το BOG που έχει παραχθεί, τότε η πίεση στη δεξαμενή θα αυξηθεί και, κάποια στιγμή, το αέριο θα πρέπει είτε να απορριφθεί είτε να επανυγροποιηθεί.

Μέχρι σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα όσον αφορά τα ποσοστά της εξάτμισης για τις δεξαμενές που είναι σε λειτουργία στα πλοία. Το επίπεδο όμως της εξάτμισης έχει πέσει ραγδαία σε δεξαμενόπλοια υγροποιημένου φυσικού αερίου σαν αποτέλεσμα τεχνολογικών βελτιώσεων. Τα πρώτα πλοία είχαν ημερήσιο ποσοστό εξάτμισης 0,25% του όγκου του υγρού, με τα τελευταία συστήματα δεξαμενών υπάρχουν ισχυρισμοί πως τα ποσοστά αυτά έχουν μειωθεί σε 0,10% την ημέρα.

3.3 Συμπιεστές Αερίου-Gas Compressors

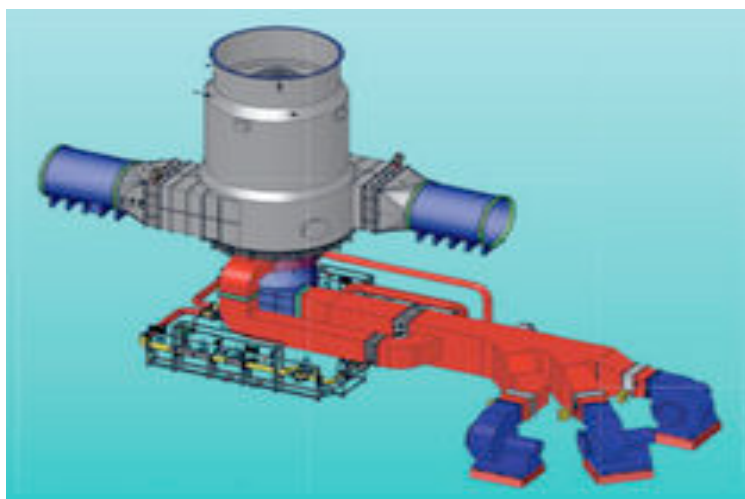
Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου του κινητήρα, μπορεί να είναι απαραίτητο να παρέχει το αέριο σε αυξημένη πίεση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με φυγόκεντρο συμπιεστή, για την έγχυση αερίου σε υψηλή πίεση. Ο ατμός εισέρχεται κοντά στο κέντρο ενός στροφείου, το οποίο περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Η περιστροφή δημιουργεί φυγόκεντρο δύναμη που ωθεί τον ατμό προς την περιφέρεια. Ο ατμός στην έξοδό του από το στροφείο έχει αποκτήσει μεγάλη ταχύτητα. Στην έξοδο από το στροφείο ο ατμός εισέρχεται στο κέλυφος του συμπιεστή όπου αυτός επιβραδύνεται και η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε πίεση. Δεδομένου ότι η αύξηση της πίεσεως στην έξοδο του στροφείου είναι μικρή, οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι πολυβάθμιοι με περισσότερες από μία βαθμίδες.

Το πλεονέκτημα των φυγοκεντρικών συμπιεστών είναι η απλότητα της κατασκευής δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πολλά κινούμενα μέρη. Επιπλέον, δεδομένου ότι η αύξηση της πίεσεως επιτυγχάνεται με μεγάλη ταχύτητα, οι συμπιεστές αυτοί περιστρέφονται με μεγάλο αριθμό στροφών από 3000-18000rpm. Η κίνηση στον συμπιεστή δίνεται απευθείας μέσω μιας ατράκτου από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που βρίσκεται σε διαφορετικό δωμάτιο. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για ύπαρξη διατάξεως στεγανοποίησης (shaft seal) με άζωτο στο σημείο διελεύσεως του άξονα, ώστε να αποτρέπεται η διαρροή φυσικού αερίου.

3.4 Μονάδα καύσης φυσικού αερίου-Gas Combustion Unit(GCU)

Η μονάδα καύσης φυσικού αερίου (GCU) , είναι μια μονάδα στην οποία καίγονται οι περίσσιες εξατμίσεις του φυσικού αερίου που δεν μπορούν να καταναλωθούν ή έστω να υγροποιηθούν και να επιστρέψουν ξανά πίσω στην δεξαμενή. Η μονάδα αυτή είναι τοποθετημένη στην καπνοδόχο του πλοίου και καίει το φυσικό αέριο. Το (GCU) εφαρμόζεται πλέον σε πολλές δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου και η τεχνολογία του είναι προηγμένη. Κατά την καύση του φυσικού αερίου στη μονάδα παράγονται καυσαέρια με χαμηλό οξείδιο του αζώτου(NO_x) και ελάχιστο διοξείδιο του άνθρακα(CO_2). Χρησιμοποιεί μια πιλοτική φλόγα που

τροφοδοτείται από το πετρέλαιο για να πραγματοποιηθεί η καύση του μεθανίου. Οι μονάδες που είναι σε λειτουργία σε ορισμένα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι κατασκευασμένες από την Saacke (Τύπος GCU 300) και είναι ικανές να καίνε 3 μετρικούς τόνους αερίου την ώρα. Η μονάδα είναι 6 μέτρα ψηλή, έχει 2,5 μέτρα διάμετρο και ζυγίζει πάνω από 300 τόνους.



Εικόνα 13: Saacke Type GCU 300

3.5 Ανιχνευτές αερίου-Gas Detection

Το φυσικό αέριο δεν είναι τοξική ουσία. Τυχόν όμως διαρροή έστω και σε μικρές ποσότητες περικλείει κινδύνους αναφλέξεως, εκρήξεως ή ακόμα και πρόκλησης πυρκαγιάς εάν συνδυαστεί με άλλες εύφλεκτες ή εκρηκτικές ουσίες. Σε περίπτωση δε όπου προκληθεί μεγαλύτερο ρήγμα σε κάποιο σημείο της εγκατάστασης ευρισκόμενο σε υψηλότερες πιέσεις υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος από το ωστικό κύμα. Για αυτό είναι απαραίτητο να παρέχεται συνεχής παρακολούθηση των επικίνδυνων περιοχών επί του σκάφους για τις μίξεις φυσικού αερίου/αέρα και φυσικού αερίου/αζώτου. Αυτό συμβαίνει για να διασφαλίσει πως δεν υπάρχει καθόλου διαρροή αερίου από τις δεξαμενές αποθήκευσης ή τα συστήματα αερίου καυσίμου, στα συστήματα εξαερισμού και στα συστήματα αγωγών αερίου στο μηχανοστάσιο.

Το μεθάνιο στον αέρα ανιχνεύεται από τους αισθητήρες χρησιμοποιώντας έναν καταλυτικό αισθητήρα κατανάλωσης που τοποθετείται στο χώρο που προστατεύεται.

Το μεθάνιο στο άζωτο ανιχνεύεται χρησιμοποιώντας υπέρυθρους οπτικούς αισθητήρες που τοποθετούνται στο χώρο που προστατεύεται ή σε ένα κεντρικό αναλυτή που αντλεί δείγματα από μια απομακρυσμένη περιοχή και τα εξετάζει διαδοχικά σύμφωνα με τη φύση του χώρου που δειγματίζεται.

3.6 Συστήματα διακοπής λειτουργίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Emergency Shut Down-ESD)

Τα συστήματα φυσικού αερίου επί του σκάφους είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να κλείνουν αυτόματα σε περίπτωση οποιασδήποτε δυσλειτουργίας του συστήματος καύσης φυσικού αερίου. Οι αγωγοί φυσικού αερίου στο μηχανοστάσιο έχουν δύο τηλεχειριζόμενες βαλβίδες διακοπής λειτουργίας στη σειρά με έναν σωλήνα εξαερισμού ανάμεσα στις δύο βαλβίδες(διπλός φραγμός και εξαερισμός).

Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος για να ανακουφίσει την πίεση που προκαλείται από οποιοδήποτε υγρό, παγιδεύοντας το ανάμεσα στις βαλβίδες διπλού φραγμού, οι οποίες απορροφούν τη θερμότητα και τη μετατρέπουν σε ατμό αυτή η πίεση θα χρειαστεί να βρει διέξοδο μέσω του εξαερισμού.

Ο ίδιος κανονισμός χρησιμοποιείται και για την παροχή αερίου στο μηχανοστάσιο για να διασφαλίσει πως καθόλου μεθάνιο δε φτάνει στο χώρο όταν η παροχή αερίου είναι κλειστή.

Το σύστημα φόρτωσης πλοίων έχει επίσης σύστημα ESD, επιτρέποντας τη λειτουργία ανεφοδιασμού πλοίων να αναστέλλεται εξ' αποστάσεως σε περίπτωση περιστατικού. Η πολυπλοκότητα του συστήματος ανεφοδιασμού ESD εξαρτάται από τους κανονισμούς στο πλοίο και αν χρησιμοποιείται η επιστροφή ατμού.

Για την προστασία του μηχανοστασίου είναι πιθανό να υπάρχει μια απλούστερη διάταξη για τους αγωγούς αερίου σε εγκαταστάσεις με πολλαπλές μηχανές. Για αυτά τα πλοία δεν υπάρχει απαίτηση για μεμονωμένους αγωγούς

φυσικού αερίου μιας και όλος ο χώρος του κινητήρα μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ασφαλής χώρος φυσικού αερίου μέχρι να ανιχνευτεί οποιοδήποτε αέριο. Σε μια τέτοια στιγμή, όλα τα μηχανήματα και τα συστήματα στον επηρεαζόμενο χώρο του μηχανοστασίου θα σταματήσουν να λειτουργούν από το σύστημα ESD.

3.7 Σωλήνες με διπλό τοίχωμα

Οι σωλήνες αερίου στο μηχανοστάσιο είναι κανονικά με διπλό τοίχωμα είτε με αδρανοποιημένο αέριο είτε με έναν στεγανό χώρο ανάμεσα στα δύο ομόκεντρα τοιχώματα των σωληνώσεων. Η πίεση ή το κενό ανάμεσά τους παρακολουθείται για τυχόν διαρροή. Αν είναι μονά τοιχώματα, θα πρέπει να περιέχεται μέσα σε ένα αεριζόμενο αγωγό εξαγωγής ο οποίος χρειάζεται να παρακολουθείται για οποιαδήποτε διαρροή αερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

4.1 Φορτηγίδα ανεφοδιασμού με φυσικό αέριο

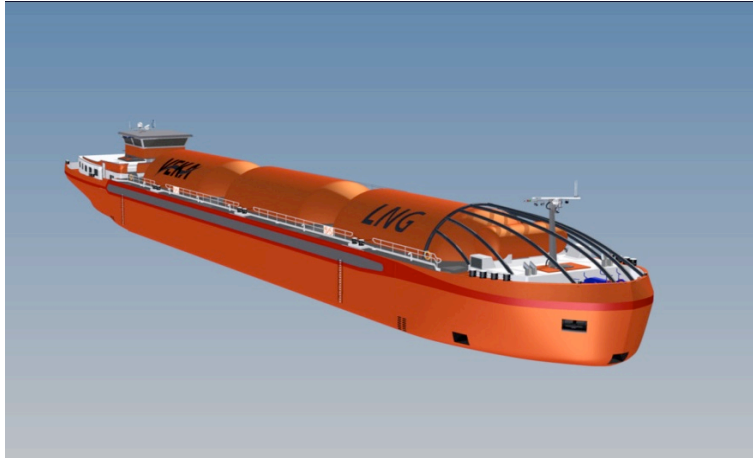
Οι φορτηγίδες ανεφοδιασμού με υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι μικρά δεξαμενόπλοια υγροποιημένου φυσικού αερίου που θα πρέπει να εναρμονίζονται με τις διατάξεις του Διεθνούς Κώδικα Μεταφοράς Αερίων (International Gas Carrier code- IGC code) για να τους επιτρέπεται να λειτουργούν διεθνώς.

Φαίνεται πιθανότερο πως σχεδόν όλοι οι κανονισμοί για τα πλοία που καίνε φυσικό αέριο και το αποθηκεύουν ως υγροποιημένο φυσικό αέριο θα ισχύουν και για τις φορτηγίδες, παρόλο που μερικοί κανόνες IGC είναι περισσότερο αυστηροί εξ' αιτίας των εργασιών φορτοεκφόρτωσης..

Ήδη η Veka Group αναπτύσσει μία φορτηγίδα ανεφοδιασμού πλοίων με φυσικό αέριο που έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

| | |
|---|---|
| Συνολικό μήκος | 86m |
| Συνολικό πλάτος | 10,50m |
| Βύθισμα | 3.20m |
| Χωρητικότητα φόρτωσης υγροποιημένου φυσικού αερίου | 3 δεξαμενές χωρητικότητας 750m ³ η καθεμία |
| Δεξαμενή υγροποιημένου φυσικού αερίου για την πρόωση | 1 δεξαμενή χωρητικότητας 25m ³ |
| Πρόωση/ ηλεκτρισμός | 3 ηλεκτρογεννήτριες για πρόωση συμπεριλαμβανομένου και των αντλιών εκφόρτωσης 285kW η καθεμία 2 ηλεκτροκίνητες προπέλες τύπου Azimuth 375kW 1 ηλεκτροκίνητο Bow thruster 375kW 1 ηλεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης 500kW |

Εικόνα 14: Χαρακτηριστικά φορτηγίδας ανεφοδοδιασμού



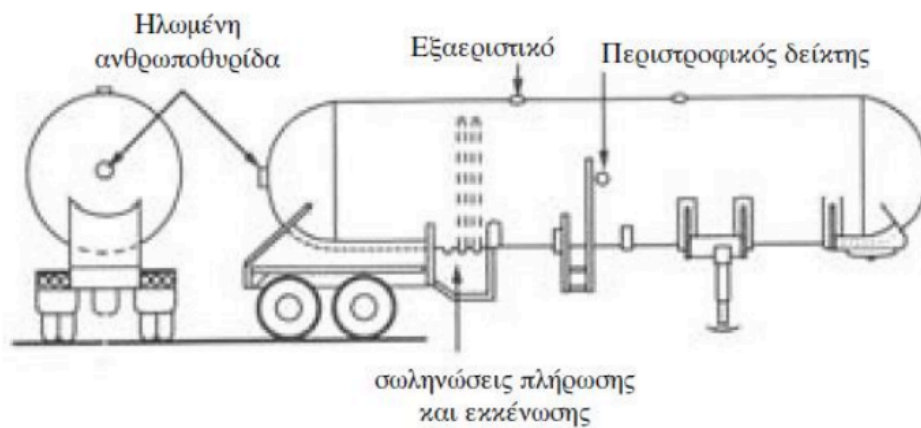
Εικόνα 15: Φορτηγίδα LNG της Veka Group

4.2 Βυτιοφόρα οχήματα υγροποιημένου φυσικού αερίου

Σήμερα έχουμε την δυνατότητα να μεταφέρουμε το υγροποιημένο φυσικό αέριο και με βυτιοφόρα. Ο τρόπος μεταφοράς είναι ο ίδιος όπως σε ένα δεξαμενόπλοιο δηλαδή στη δεξαμενή επικρατεί θερμοκρασία -160°C και πίεση 1bar. Οι δεξαμενές αυτές συνήθως είναι κατασκευασμένες από χάλυβα.

Σημειώνεται ότι οι δεξαμενές αυτές ποτέ δεν πληρώνονται τελείως, αλλά αφήνεται χώρος για διαστολή κατά τη μεταφορά. Η υπερπλήρωση μπορεί να προκαλέσει υδροστατική αστοχία. Υπάρχει εξαιρεστική διάταξη, μόνο για ατμούς. Σε περίπτωση ανατροπής, ο εξαερισμός δεν θα οδηγήσει στη μείωση της εσωτερικής πίεσης.

Αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες για διανομή υγροποιημένου φυσικού αερίου σε πρατήρια λιανικής πώλησης και ,στη Νορβηγία και την Ολλανδία για να παραδώσουν αποθήκες για πλοία.



Εικόνα 16: Δεξαμενή βυτιοφόρου μεταφοράς LNG

4.3 Δημιουργία ασφαλών ζωνών

Αμέσως μόλις το πλοίο έχει προσδεθεί στην πηγή ανεφοδιασμού(στην προβλήτα ή τη φορτηγίδα ανεφοδιασμού) πρέπει να δημιουργηθούν κατάλληλες ζώνες ασφαλείας για να κρατήσουν όλο το προσωπικό, που δεν εμπλέκεται άμεσα στη διαδικασία σύνδεσης του σωλήνα παροχής, μακριά από πιθανή έκθεση στον ατμό ή τη διαφυγή υγρού.

4.4 Εξοπλισμός μεταφοράς φυσικού αερίου

Επί του παρόντος, η τυποποιημένη μέθοδος μεταφοράς για πλοία που αποθηκεύουν υγροποιημένο φυσικό αέριο σαν καύσιμο(σε αντίθεση με την αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου σαν φορτίο) χρησιμοποιεί εύκαμπτους κρυογενικούς σωλήνες που συγκροτούν τη μόνη σύνδεση ανάμεσα στην πηγή προμήθειας (δεξαμενή ξηράς, βυτιοφόρα οχήματα ή φορτηγίδες) και στο πλοίο παραλαβής. Οι σωλήνες είναι ειδική κατασκευή για να διαχειρίζονται τις χαμηλές θερμοκρασίες και τη θερμοκρασία εναλλαγής ανάμεσα στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τους -162°C .

Οι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται ποικίλουν. Έτσι από απλές φλάντζες μέχρι εξελιγμένους ημιαυτόματους συνδέσμους. Καθώς τα μεγέθη της δεξαμενής και

οι ρυθμοί φόρτωσης αυξάνονται, ξεχωριστές σωλήνες επιστροφής ατμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πηγή προμήθειας. Η μεταφορά του φορτίου από και προς τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου συνήθως πραγματοποιείται με υψηλή πίεση στη φόρτωση του πλοίου και στους τερματικούς σταθμούς εκφορτώσεως, και υπάρχει πάντα πρόβλεψη για επιστροφή ατμού. Πρόσφατα, οι μεταφορές υγροποιημένου φυσικού αερίου από πλοίο σε πλοίο(ship to ship) πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας κρυογενικούς σωλήνες. Μία από τις μεγαλύτερες διαφορές στη σύνδεση ανάμεσα στο πλοίο, ανεφοδιασμό στην ξηρά και τον ανεφοδιασμό υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι το θέμα της ηλεκτρικής μόνωσης και των ηλεκτρικών καλωδίων, που πρέπει να χρησιμοποιηθούν με το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Η πιο πρακτική λύση φαίνεται να είναι ένας μικρού μήκους κρυογονικός σωλήνας για την τελική σύνδεση από τις εγκαταστάσεις παράδοσης στο πλοίο παραλαβής. Η εμπειρία στους εύκαμπτους σωλήνες έχει δείξει μία αρκετά μεγαλύτερη ικανότητα να αντιμετωπίσουν τις μηχανικές και θερμικές επιπτώσεις από την αναμενόμενη.

4.5 Σύνδεση

Τα δύο ζητήματα που επικεντρώνεται η προσοχή στη σύνδεση και αποσύνδεση της παροχής υγροποιημένου φυσικού αερίου με το πλοίο παραλαβής είναι:

Κανόνας 1^{ος} : Ποτέ μην επιτρέπεται στο αέριο καύσιμο και τον αέρα να είναι παρόντα την ίδια χρονική περίοδο στον ίδιο χώρο.

Κανόνας 2^{ος} :Αν αποτύχει η εφαρμογή του 1^{ου} Κανόνα, τότε να υπάρξει έλεγχος πως δεν υπάρχει πηγή ανάφλεξης.

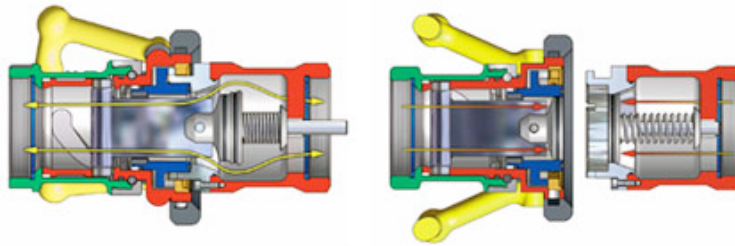
Για τη σύνδεση και αποσύνδεση, θα εξετάσουμε πρώτα τον 2^ο Κανόνα. Ο κίνδυνος εδώ δεν είναι ο στατικός ηλεκτρισμός αλλά το γεγονός ότι το πλοίο και οι εγκαταστάσεις παράδοσης έχουν διαφορετική ηλεκτρική τάση και υπάρχει

πιθανότητα σπινθήρα όταν ο σωλήνας συνδεθεί. Πριν τη σύνδεση, ένα καλώδιο σύνδεσης (με έναν διακόπτη απομόνωσης στη θέση “off”) τοποθετείται ανάμεσα στο πλοίο και την ξηρά. Μόλις συνδεθούν, ο διακόπτης απομόνωσης ενεργοποιείται, φτάνοντας και τα δύο στην ίδια τάση. Ο σωλήνας μπορεί τώρα να συνδεθεί χωρίς την εμφάνιση σπινθήρα. Επιπροσθέτως, ο σωλήνας μπορεί επίσης να έχει μια μονωτική φλάτζα ή ένα πλήρως μονωμένο τμήμα .

Επιστρέφοντας στον 1^ο Κανόνα, στη σύνδεση ο σωλήνας μπορεί να περιέχει αέρα. Είναι απαραίτητο να καθαριστούν οι σωλήνες με αέριο άζωτο για να φύγει ο αέρας. Μόλις το καθαρό αέριο άζωτο από την ξηρά διαπεράσει στον συλλέκτη καυσίμου του πλοίου και το καθαρό αέριο άζωτο από το πλοίο καθαρίσει τους σωλήνες, ατμός μεθανίου μπορεί να εισέλθει στο σύστημα παροχής για να αντικαταστήσει το άζωτο.

Κατά τη σύνδεση των σωληνώσεων ανεφοδιασμού πρέπει να χρησιμοποιούνται φλάντζες με υλικά κατάλληλα για χρήση σε κρυογονικές θερμοκρασίες. Οι φλάντζες σύνδεσης απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στο σωστό σφίξιμο των βιδών και τη χρήση των κατάλληλων τσιμουχών (συνήθως διογκωμένου πολυτετραφθοροαιθυλενίου(PTFE). Η διαδικασία ψύξης στην αρχή του ανεφοδιασμού και η θέρμανση στο τέλος της παραλαβής θα επηρεάσει την ταλάντευση των βιδών στις φλάντζες σύνδεσης και χρειάζεται να ελέγχεται προσεκτικά. Η πρακτική στην ξηρά είναι να χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι με μια απλή κλειδαριά στριψίματος και δακτυλιοειδείς σφραγίσεις που είναι πολύ πιο ανθεκτικές στις εναλλαγές θερμοκρασίας αυτές όμως είναι πολύ πιο ακριβές. Σε περίπτωση περιορισμού το χρόνου ανεφοδιασμού καυσίμου(πλοία ανεφοδιασμού, σκάφη προμήθειας ανοικτής θαλάσσης, κλπ.), προβλέπεται πως σύνδεσμοι πατέντας θα χρησιμοποιηθούν για λόγους απόδοσης.

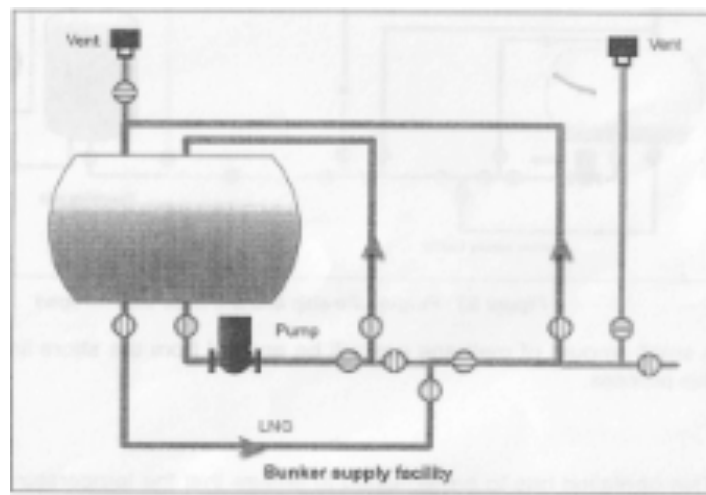
Συνήθως, κατά την σύνδεση υπάρχουν τέσσερις γραμμές φορτοεκφόρτωσης. Οι τρεις μεταφέρουν υγρό(Liquid lines) και η τέταρτη αντλεί τις εξατμίσεις(Varour line) που έχουν παραχθεί κατά τη φόρτωση οδηγώντας τις δεξαμενές στεριάς ή στη δεξαμενή της φορτηγίδας.



Εικόνα 17: Διάταξη σύνδεσης πλοίου με την στεριά η την φορτηγίδες

4.6 Ψύξη των γραμμών με φυσικό αέριο-Cooling down

Η ψύξη των γραμμών στην φόρτωση ενός πλοίου υγροποιημένου φυσικού αερίου πραγματοποιείται είτε από τις εγκαταστάσεις που θα γίνει η τροφοδότηση είτε με το εναπομένοντα φορτίο που έχει απομείνει εντός των δεξαμενών. Οι άνθρωποι του τερματικού σταθμού ψύχουν πρώτα τους αγωγούς που θα διοχετεύσουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο στο πλοίο. Η ψύξη γίνεται με επανακυκλοφορία του υγρού που βρίσκεται στην δεξαμενή.



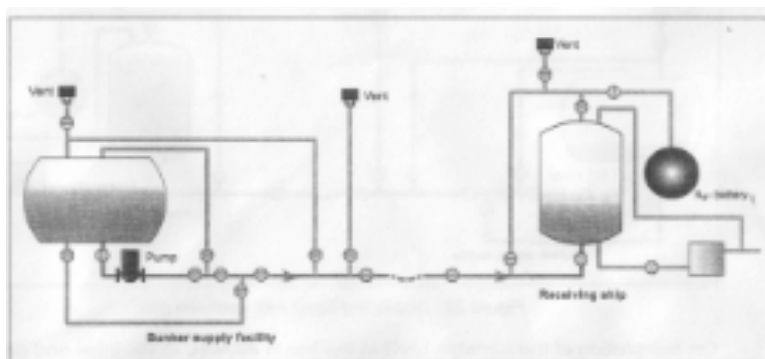
Εικόνα18: Δίκτυο ψύξης των γραμμών – Cooling down

Σκοπός της ψύξης με υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι να ψύξουν τους αγωγούς και τις δεξαμενές του πλοίου ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα εξάτμισης και αύξησης της πίεσης. Η τελική θερμοκρασία του υγρού είναι συνάρτηση της πίεσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση, τόσο μεγαλύτερο

είναι το σημείο βρασμού του υγρού. Επομένως, για να επιτευχθεί η φόρτωση χωρίς προβλήματα η θερμοκρασία στις δεξαμενές θα πρέπει να πλησιάζει τους -160°C και σε ατμοσφαιρική πίεση.

4.7 Φόρτωση φυσικού αερίου- Loading LNG

Κατά την φόρτωση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στις δεξαμενές του πλοίου, υπάρχει μία μερική εξάτμιση του φορτίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης εντός των δεξαμενών. Αυτές απομακρύνονται μέσω της γραμμής εξατμίσεως (vapour line).



Εικόνα 19: Διάταξη φόρτωσης φυσικού αερίου

4.8 Καθαρισμός μεθανίου με άζωτο- Γραμμή αδρανοποίησης

Οποιοσδήποτε σωλήνας ή δεξαμενή περιλαμβάνει αέρα πρέπει να είναι πλήρως αδρανής πριν το μεθάνιο εισαχθεί. Το αδρανές αέριο από επιλογή μας είναι το άζωτο το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί συμπιεσμένο ή σαν υγρό άζωτο. Είναι πιθανό να παρασκευαστεί μία κατάλληλη ποσότητα αερίου αζώτου στο πλοίο χρησιμοποιώντας σχετικά απλό και αξιόπιστο εξοπλισμό που ονομάζεται παραγωγός απορρόφησης της ταλάντευσης της πίεσης του αζώτου. Υπάρχει ένας άλλος τύπος παραγωγής αζώτου που χρησιμοποιεί μια μονάδα διαχωρισμού από μεμβράνη που είναι φθηνότερη αλλά έχει ποσοτικούς περιορισμούς. Καλύπτει επίσης, την αδρανοποίηση των δεξαμενών αποθήκευσης με άζωτο ως προετοιμασία για τις επιδιορθώσεις δεξαμενής(μετά απ' την οποία το άζωτο καθαρίζεται με ξηρό αέρα). Το αέριο άζωτο, ενώ αδρανοποιείται, αποτελεί κίνδυνο για την ασφάλεια του

προσωπικού καθώς μπορεί να προκαλέσει ασφυξία και, σε υψηλές συγκεντρώσεις (90%-100%) μπορεί αμέσως να σταματήσει τη διαδικασία αναπνοής.

4.9 Η παρακολούθηση της στάθμης του φυσικού αερίου στις δεξαμενές

Ενώ οι δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου έχουν χρησιμοποιήσει μερικούς νέους και εξελιγμένους μετρητές στο παρελθόν, μεγάλος μέρος της παρακολούθησης επιπέδων διεξάγεται χρησιμοποιώντας συμβατικά συστήματα μέτρησης, κατά κύριο λόγο μετρητές ραντάρ. Οι επιπλοκές είναι ότι ο μετρητής πρέπει να είναι έγκλειστος(αεροστεγώς), ικανός να αντέξει θερμοκρασίες -162°C και δεν πρέπει να επηρεάζεται από την εσωτερική πίεση της δεξαμενής, που είναι μια σημαντική παράμετρος. Η καθαριότητα και η σύνθεση του υγροποιημένου φυσικού αερίου κάνει τη χρήση μετρητών χωρητικότητας κατάλληλη για αισθητήρες υψηλών και χαμηλών επιπέδων.

Ένα συγκεκριμένο προτέρημα των δεξαμενών αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι ότι είναι κανονικού σχήματος. Αν οι ποσότητες πρόκειται να προκύψουν από μετρήσεις στάθμης, ο πίνακας βαθμονόμησης είναι εύκολο να υπολογιστεί και είναι πολύ περισσότερο ακριβής από τις ήδη υπάρχουσες δεξαμενές.

Απομένει να δούμε αν οι αρχιτέκτονες ναυπηγείων αρχίσουν να σκέφτονται τη χρήση δεξαμενών με περίπλοκο σχήμα με σκοπό να αυξήσουν την αποδοτικότητα χώρου στην αποθήκευση επί του σκάφους. Αυτό μπορεί να κάνει τον υπολογισμό του επίπεδου LNG στη δεξαμενή πιο περίπλοκη.

4.10 Θέματα ασφαλείας

Η υιοθέτηση της χρήσης μεθανίου σαν καύσιμο απαιτεί εξοπλισμό και διαδικασίες που είναι απλές και φιλικές προς το χρήστη. Εν τούτοις, διατηρούν έναν πολύ υψηλό βαθμό της γενικής λειτουργικής ασφάλειας. Γνωρίζουμε πώς για 50 χρόνια τώρα, το προσωπικό που εμπλέκεται εκπαιδεύεται σε ένα υψηλό επίπεδο κατανόησης των κινδύνων και των διαδικασιών για τη διαχείριση του φορτίου με

ασφάλεια. Θα πρέπει να είναι δυνατό να αναπτύξουμε συστήματα και διαδικασίες που απλοποιούν τη λειτουργία, διαχειρίζονται τον κίνδυνο και παρέχουν όλα όσα χρειάζονται για συνεπή και ασφαλή ανεφοδιασμό πλοίων με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Η τυποποίηση του εξοπλισμού και των διαδικασιών σε όλο το φάσμα των πλοίων που χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο σαν καύσιμο είναι η πιο λογική λύση. Αυτό το καύσιμο δεν είναι πιο επικίνδυνο από την κηροζίνη που καταναλώνουν τα αεροπλάνα ή την κοινή βενζίνη.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το LNG είναι μια εξειδικευμένη αγορά, αναπτυσσόμενη στις θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας. Υπάρχει σημαντική διαφορά στην αγορά σε σύγκριση με το πετρέλαιο για τον λόγο ότι το πετρέλαιο είναι ευρέως διαδεδομένο στην ναυτιλία, που όμως οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί τείνουν να το περιορίσουν. Τα τελευταία χρόνια μεγάλες εταιρείες παγκοσμίως επενδύουν σημαντικά ποσά σε έρευνα με σκοπό να βρουν λύση σε αυτούς τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που έχει εφαρμόσει ο IMO. Σήμερα, το παγκόσμιο ενδιαφέρον στρέφεται στην πρόωση των πλοίων με χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο και αυτό επιβεβαιώνεται από τις παραγγελίες στα ναυπηγεία που έχουν αυξηθεί. Έλληνες πλοιοκτήτες έχουν ήδη εισέλθει στην αγορά μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου αλλά όχι ακόμα στο μέγεθος που τους αναλογεί γιατί το κόστος επενδύσεως ενός τέτοιου πλοίου είναι πολύ υψηλό. Η εκτίμηση μας είναι ότι, στο ορατό μέλλον θα αυξηθούν οι πλοιοκτήτες LNG αλλά και οι πλοιοκτήτες είτε με τις κατάλληλες μετατροπές στα υπάρχοντα πλοία τους είτε με νέες παραγγελίες θα χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ως καύσιμο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- www.wikipedia.com
- Ψυκτικές και Κλιματιστικές Εγκαταστάσεις, Ευάγγελος Γ. Κανακακης, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2013
- Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Τόμος Δεύτερος, Λάζαρος Χ. Κλιάνης Ιωάννης Κ. Νικόλου Ιωάννης Α. Σιδερής . Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2010
- Liquefied Natural Gas, Nigel Draffin, Petrosport House, England 2013
- CNG by ship, Ketil Firing Hanssen, DNV Research, February 2005

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | 6 |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΠΡΩΨΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ..... | 9 |
| 1.1 Προωσθήριες μηχανές σύγχρονων πλοίων και καύσιμα που χρησιμοποιούν | 9 |
| 1.2 Το βαρύ καύσιμο (HFO) και τα αποστάγματά του Marine Gas Oil (MGO)- Marine Diesel Oil (MDO)..... | 11 |
| 1.3 Προβλήματα με τα βαριά καύσιμα στο περιβάλλον | 12 |
| 1.3.1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ(CO ₂) | 12 |
| 1.3.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂)..... | 12 |
| 1.3.3 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ(NO _x) | 13 |
| 1.4 Πρόσφατοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί..... | 13 |
| 1.5 Προτεινόμενες λύσεις..... | 15 |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΟΥ | 17 |
| 2.1 Σύνθεση-Ιδιότητες..... | 17 |
| 2.2 Χρήση του Φυσικού Αερίου ως καύσιμο σε λέβητες | 18 |
| 2.3 Κινητήρες διπλού καυσίμου-Dual Fuel Engines..... | 19 |
| 2.4 Κινητήρες αερίου-Gas Engine | 20 |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ..... | 22 |
| 3.1 Αποθήκευση Φυσικού Αερίου | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.1 Αποθήκευση φυσικού αερίου στη στεριά (Onshore Storage)..... | 22 |
| 3.1.2 Αποθήκευση φυσικού αερίου στο πλοίο (Onboard Storage)..... | 23 |
| 3.2 Εξάτμιση-Boil Off Gas(BOG) | 26 |
| 3.3 Συμπιεστές Αερίου-Gas Compressors | 27 |
| 3.4 Μονάδα καύσης φυσικού αερίου-Gas Combustion Unit(GCU)..... | 27 |
| 3.5 Ανιχνευτές αερίου-Gas Detection | 28 |
| 3.6 Συστήματα διακοπής λειτουργίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Emergency Shut Down-ESD) | 29 |
| 3.7 Σωλήνες με διπλό τοίχωμα | 30 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ | 31 |
| 4.1 Φορτηγίδα ανεφοδιασμού με φυσικό αέριο..... | 31 |
| 4.2 Βυτιοφόρα οχήματα υγροποιημένου φυσικού αερίου | 32 |
| 4.3 Δημιουργία ασφαλών ζωνών..... | 33 |
| 4.4 Εξοπλισμός μεταφοράς φυσικού αερίου..... | 33 |
| 4.5 Σύνδεση..... | 34 |
| 4.6 Ψύξη των γραμμών με φυσικό αέριο-Cooling down | 36 |
| 4.7 Φόρτωση φυσικού αερίου- Loading LNG | 37 |
| 4.8 Καθαρισμός μεθανίου με άζωτο- Γραμμή αδρανοποίησης | 37 |
| 4.9 Η παρακολούθηση της στάθμης του φυσικού αερίου στις δεξαμενές | 38 |
| 4.10 Θέματα ασφαλείας | 38 |
| ΕΠΙΛΟΓΟΣ | 40 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 41 |