



**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΠΛΟΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ  
ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ»**

**Μιχαήλ Μπόφος**

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**



**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΠΛΟΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ  
ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ»**

**Μιχαήλ Μπόφος**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική  
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του  
Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη  
Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών  
Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών  
Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ.**



### Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής διατριβής

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ...Μιχαήλ..Μπόφος....., του .....Βασιλείου....., με αριθμό μητρώου .....13..... φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ, δηλώνω ότι: *«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».*

Ο δηλών

Ημερομηνία

*14 Οκτωβρίου 2017*



### Περίληψη:

Η παρούσα εργασία αφορά στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου που χρησιμοποιούνται στα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου σε υγρή μορφή, στις προοπτικές χρήσης συστημάτων προχωρημένης τεχνολογίας ενώ γίνεται και σύγκριση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων πρόωσης.

Την τελευταία δεκαετία το φυσικό αέριο αποτελεί σημαντικό ενεργειακό πόρο. Ένας από τους βασικούς λόγους είναι οι τεχνολογικές εξελίξεις στην εξόρυξη, τη μεταφορά, τη διαχείριση και την κατανάλωση καθώς και το κόστος όλων των παραπάνω διαδικασιών το οποίο παραμένει χαμηλό σε σχέση με τα πλεονεκτήματα της χρήσης του.

### *Χρήσεις φυσικού αερίου*

- Αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου.
- Καύσιμο οχημάτων (οικολογικά οχήματα). Το 2005, οι χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό οικολογικών οχημάτων ήταν η Αργεντινή, η Βραζιλία, το Πακιστάν, η Ιταλία, το Ιράν και οι Η.Π.Α.. Γίνονται, επίσης, προσπάθειες για χρήση του και στην αεροπορία.
- Οικιακή χρήση (μαγειρική, θέρμανση κ.α.)
- Άλλες χρήσεις (παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων)

Τα λεγόμενα **Υγραεριοφόρα** πλοία είναι ειδικός τύπος εμπορικών πλοίων, δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια, δηλαδή φυσικό αέριο σε υγρή μορφή, όπως μεταφέρεται το πετρέλαιο. Οι ιδιότητες του υγροποιημένου φυσικού αερίου ορίζουν συγκεκριμένες προδιαγραφές στα πλοία αυτά, στα οποία εγκαθίστανται συστήματα προχωρημένης τεχνολογίας, ώστε η μεταφορά, η διαχείριση και τέλος η κατανάλωση να επιτελούνται με ασφάλεια.

**Λέξεις κλειδιά:** Φυσικό αέριο, υγροποίηση, συστήματα επιτήρησης και ελέγχου



**Abstract:**

This thesis refers to the control systems for handling and transportation of liquefied natural gas and compares the propulsion systems on LNG carriers.

The last decade natural gas consists a major energy resource. One of the main reasons is the technological evolution in extraction, transportation, handling and consumption as well as the cost of all the above operations which remains low regarding the advantages of its use.

Uses of Natural Gas

- Main resource for electrical production
- Production of hydrogen
- Vehicle fuel
- Domestic use
- Other production uses

The liquefied gas carriers are a special type of commercial tanker vessel that carry liquefied gases such as natural gas in liquid form. The physical properties of LNG require particular standards for these vessels on which are used advanced technology systems so that the transportation, handling and consumption are being executed with safety.

**Keywords:** Natural gas, liquefaction, control and monitoring systems



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια του Π.Μ.Σ «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος "Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών" του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος "Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε." του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά ΤΤ.

Οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Βασίλειο Τσουκαλά, για την καθοριστική συμμετοχή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Ακόμη ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και τους συναδέλφους μου, για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια του Προγράμματος.

Τέλος, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στη μητέρα μου Κυριακή, στην αδελφή μου Μαρία, στους ανθρώπους του άμεσου περιβάλλοντός μου και στη Μαρία που με στήριξαν και σε αυτό το «ταξίδι».

*Η εργασία αυτή αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου Βασίλη.*



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Γενικά περί ενέργειας .....	8
1.2 Το φυσικό αέριο .....	9
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	10
2. ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	
2.1 Υγροποίηση.....	10
2.2 Ιστορικές αναφορές.....	12
2.3 Χρήση του μεταφερόμενου φορτίου ως καύσιμο .....	14
2.4 Συστήματα πρόωσης .....	14
3. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	
3.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά .....	15
3.2 Αναθυμιάσεις .....	19
3.3 Όργανα εποπτείας και ελέγχου .....	20
3.4 Συστήματα διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου .....	27
3.5 Συστήματα πρόωσης .....	39
4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΣΗΣ .....	59
5. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ.....	62
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	72



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά περί ενέργειας

Η ενέργεια, που ορίζεται ως η ικανότητα παραγωγής έργου, υπάρχει στη φύση υπό διάφορες μορφές, όπως θερμική, κινητική, χημική, ηλεκτρική, που διέπονται από την Αρχή της αφθαρσίας της Ενέργειας. Σύμφωνα με αυτή, η ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται, μπορεί όμως να μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη.

Όλες σχεδόν τις μορφές ενέργειας, τις χρησιμοποιεί ο άνθρωπος είτε όπως τις βρίσκει στη φύση, είτε μετατρέποντάς τις με τη βοήθεια των μηχανών προκειμένου να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές του ανάγκες, σε οικιακό αλλά και βιομηχανικό επίπεδο.

Τα τεράστια ποσά ενέργειας που η ανθρωπότητα χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες της προέρχονται από διάφορες πηγές με κυριότερη τα καύσιμα.

**Καύση** καλείται η ένωση διαφόρων σωμάτων με το οξυγόνο του αέρα, η οποία αποτελεί εξώθερμη χημική αντίδραση. Η χημική ενέργεια της καιόμενης ουσίας μετατρέπεται σε θερμική την οποία οι διάφορες θερμικές μηχανές την αποδίδουν σε μηχανικό έργο (κίνηση).

**Καύσιμα** είναι ουσίες που απελευθερώνουν ενέργεια κατά μία συμβατική ή πυρηνική αντίδραση και η ενέργεια αυτή είναι εκμεταλλεύσιμη, δηλαδή μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο από θερμικές μηχανές. Τα καύσιμα μπορούν να είναι στερεά, υγρά ή/και αέρια. Στα τελευταία συγκαταλέγεται και το φυσικό αέριο το οποίο αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Έτσι ο άνθρωπος προκειμένου να εκμεταλλευτεί τις παραπάνω ιδιότητες της ύλης για την παραγωγή ενέργειας, κατασκεύασε και εξελίσσει συνεχώς τις θερμικές μηχανές. [1]





## 1.2 Το φυσικό αέριο

Το Φυσικό Αέριο είναι αέριο μείγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα. Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες και εξαιτίας των ιδιοτήτων του θεωρείται οικολογικό καύσιμο. Βασικό συστατικό του είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, ήλιο και υδρόθειο. Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο.

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα: έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59.

Το φυσικό αέριο στην υγρή του μορφή είναι κατά 600 φορές μικρότερο σε όγκο απ' ότι το αέριο. Η ανάγκη λοιπόν για υγροποίηση είναι επιτακτική προκειμένου οι εμπορευόμενες ποσότητες να έχουν αξία. Το φυσικό αέριο υγροποιείται σε ατμοσφαιρική πίεση, στους  $-165^{\circ}\text{C}$ .

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

Συναντάται στη φύση σε υπόγειους σχηματισμούς τόσο μόνο του αλλά και με την παρουσία αργού πετρελαίου. Βασικό του συστατικό είναι το μεθάνιο το οποίο και καθορίζει τις φυσικές και θερμοφυσικές ιδιότητες. [2]

### 1.3 Ιστορική αναδρομή

Η άσφαλτος και τα βιτουμένα, τα πιο παλιά γνωστά προϊόντα του πετρελαίου, όπως και ενδείξεις για διαρροές φυσικού αερίου πρωτοβρέθηκαν μεταξύ 6000 και 2000 π.Χ. στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται το Ιράν. Η χρήση του φυσικού αερίου αναφέρεται στην Κίνα το 900 π.Χ. περίπου, όπου ανοίχθηκαν γύρω στα 900-1100 φρέατα και το αέριο μεταφερόταν με αγωγούς από μπαμπού.



Εκμετάλλευση του εκλυόμενου αερίου για την παραγωγή άλατος στην Κίνα

Στην Ευρώπη αυτές οι επιτεύξεις ήταν άγνωστες και το φυσικό αέριο δεν ανακαλύφθηκε παρά το 1659 στην Αγγλία. Το αέριο από απόσταξη ανθράκων ανακαλύφθηκε το 1670 και άρχισε να χρησιμοποιείται το 1790, γιατί ήταν πιο εύκολη η μεταφορά, η αποθήκευση και η χρησιμοποίησή του στις μηχανές εσωτερικής καύσεως και στον φωτισμό δρόμων και σπιτιών. Το 1821 η πόλη Φριντόνια στην περιφέρεια της Νέας Υόρκης φωτιζόταν με φυσικό αέριο. Αλλά η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου εξακολουθούσε να είναι περιορισμένη, γιατί δεν υπήρχε τρόπος μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις και επί έναν αιώνα το φυσικό αέριο παρέμεινε στο περιθώριο της βιομηχανικής εξέλιξης, που βασίστηκε στον άνθρακα, το πετρέλαιο και τον ηλεκτρισμό.

Η μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου με αγωγούς αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1920 και αποτέλεσε ένα σημαντικό στάδιο στη χρήση του αερίου. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ακολούθησε μια περίοδος τεράστιας κατανάλωσης, που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Το 1960 η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ήταν 470 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και το 1979 ήταν 1,459 τρισεκατομμύρια κυβικά



μέτρα. Το 1950 το φυσικό αέριο αποτελούσε το 12% της καταναλισκόμενης παγκοσμίως ενέργειας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε σε 14,6% το 1960 και σε 25% το 1980. [3]

## 2. ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

### 2.1 Υγροποίηση

Το υγροποιημένο αέριο, είναι η υγρή μορφή ενός αερίου η οποία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση θα ήταν αέρια. Το ίδιο υγροποιημένο αέριο, σε δεδομένη θερμοκρασία σε μία κλειστή δεξαμενή, θα έχει πάντα την ίδια πίεση. Έτσι το βουτάνιο για παράδειγμα, σε δεδομένη θερμοκρασία έχει μία δεδομένη πίεση ανεξάρτητα αν βρίσκεται σε μία δεξαμενή υγραεριοφόρου, ή σε έναν απλό αναπτήρα.

Τα περισσότερα υγροποιημένα αέρια είναι υδρογονάνθρακες και λόγω της βασικής τους ιδιότητας, που τα καθιστά τη νούμερο ένα πηγή ενέργειας στον πλανήτη, τη δυνατότητα ανάφλεξης, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα. Λόγω λοιπόν των μεγάλων ποσοτήτων που διαχειρίζεται και διακινεί ο άνθρωπος, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται και να ακολουθούνται από όλους τους εμπλεκόμενους τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας για την ελαχιστοποίηση διαρροών και τον περιορισμό των πηγών ανάφλεξης.

		Μεθάνιο	Αιθάνιο	Προπάνιο	Βουτάνιο	Πεντάνιο	Άζωτο
		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>
Μοριακό βάρος	-	16.042	30.068	44.094	58.120	72.150	28.016
Σημείο βρασμού σε 1bar απόλυτη πίεση	°C	-161.5	-88.6	-42.5	-5	36.1	-196°C
Πυκνότητα υγρού στο σημείο βρασμού	kg/m <sup>3</sup>	426.0	544.1	580.7	601.8	610.2	808.6
Αναλογία όγκου αερίου υγρού στο σημείο βρασμού και σε 1 bar απόλυτης πίεσης	-	619	413	311	311	205	649
Όρια ευφλεκτικότητας στον αέρα κατ'όγκο	%	5.3 to 14	3 to 12.5	2.1 to 9.5	2 to 9.5	3 to 12.4	Μη Εύφλεκτο
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης	°C	595	510	468	365/500	-	-
Μικτή θερμαντική ικανότητα	kJ/kg	55,559	51,916	50,367	49,530	49,069	-
Θερμότητα εξάτμισης στο σημείο βρασμού	kJ/kg	510.4	489.9	426.2	385.2	357.5	199.3

Φυσικές ιδιότητες Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG)

Τα αέρια καύσιμα υγροποιούνται για τη μεταφορά τους δια θαλάσσης σε χύδην μορφή, αλλά γιατί περισσότερο φορτίο μπορεί να χωρέσει σε δεδομένο όγκο.



Ανάλογα με το προϊόν 1 κυβικό μέτρο αερίου πετρελαίου σε υγρή μορφή, ισοδυναμεί με 250 κυβικά στην αέρια φάση. Για το φυσικό αέριο, η αναλογία είναι μεγαλύτερη καθώς σε 1 κυβικό υγρό, αντιστοιχούν 600 κυβικά αέριο.

Κατά τη μεταφορά τους και προκειμένου να διατηρηθούν στην υγρή τους φάση, διατηρούνται είτε σε πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής, είτε σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του περιβάλλοντος, είτε σε συνδυασμό.

## 2.2 Ιστορικές αναφορές

Η μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου παρουσιάζει ενδιαφέρον, νωρίτερα από το 1959 όταν το πρώτο πλοίο που μετέφερε LNG ,το “Methane Pioneer” μετέφερε 5000 κυβικά από τις ΗΠΑ στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι πρώτες σκέψεις για μεταφορά δια θαλάσσης ξεκίνησαν το Μάιο του 1915 όταν ο Godfrey L. Cabot εξέφρασε την ιδέα της «... διαχείρισης και μεταφοράς υγρού αερίου» από φορτηγίδες ποταμού. Η ιδέα περιελάμβανε την υγροποίηση του εκλυόμενου αερίου από πηγάδια πετρελαίου στο Δέλτα του ποταμού Μισισίπι και τη μεταφορά του με φορτηγίδες στο Σικάγο. Εκεί οι κρίες συνθήκες θα χρησιμοποιούνταν για την ψύξη και το αέριο ως πηγή ενέργειας.

Η εξέλιξη στον τομέα κατασκευής των εμπλεκόμενων μερών για τη μεταφορά και τη φύλαξη του υγροποιημένου αερίου γνώρισε ταχύτατους ρυθμούς μετά το ατύχημα στις εγκαταστάσεις υγροποίησης αερίου στο Κλήβελαντ του Οχάιο. Εκεί το 1944 μία προσφάτως κατασκευασμένη δεξαμενή φύλαξης, που αποτελούνταν κατά 3,5% από νικελιούχο ασάλι χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, απέτυχε απελευθερώνοντας το περιεχόμενό της στην παρακείμενη περιοχή. Η ανάφλεξη του αερίου προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές και απώλεια 100 ανθρώπων.[4]

Στα μέσα της δεκαετίας του '50 υπήρχε μεγάλη ζήτηση για την κάλυψη των αναγκών του Ηνωμένου Βασιλείου σε αέριο και το Βρετανικό Συμβούλιο εξέφρασε το ενδιαφέρον για εισαγωγή αερίου δια θαλάσσης από τη Βενεζουέλα.

Το πρωτότυπο πλοίο “Methane Pioneer” μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, ήταν γεγονός. Η χρηματοδότηση για την κατασκευή του έγινε από το Βρετανικό Συμβούλιο Αερίου και Αμερικανούς επενδυτές. Το “Methane Pioneer”, το πρώην φορτηγό πλοίο “Normarti”, μετασκευάστηκε για τις ανάγκες μεταφοράς 5.000 κυβικών μέτρων υγροποιημένου φυσικού αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση εντός πέντε δεξαμενών από κράμα αλουμινίου εγκατεστημένες σε δύο αμπάρια. Η μετασκευή έγινε σύμφωνα με τις απαιτήσεις και επιθεωρήθηκε και εγκρίθηκε από τον Αμερικάνικο Νηογνώμονα (ABS), το Νηογνώμονα Lloyd’s (LRS) και την Αμερικάνικη Ακτοφυλακή (USCG). Τα δύο αμπάρια ήταν εσωτερικά μονωμένα με τη χρήση προκατασκευασμένων πινάκων τύπου σάντουιτς με κοντραπλακέ από ελαφρόξύλο, σφένδαμο και δρύ. Οι δεξαμενές τοποθετήθηκαν επάνω στη μόνωση και η επιφάνειά τους μονώθηκε με στρώματα υαλοβάμβακα. Σε κάθε δεξαμενή

τοποθετήθηκε μία αντλία ενώ στο κατάστρωμα υπήρχαν δύο προωθητικές αντλίες για τη μεταφορά του φορτίου στην ξηρά. Καμία προσπάθεια δεν έγινε για τη χρήση των αναθυμιάσεων ως καύσιμο στην 2.000 ίππων μηχανή Nordberg και αυτές οδηγούνταν στην ατμόσφαιρα.

Στο παρθενικό του ταξίδι το “Methane Pioneer” απέπλευσε στις 28 Ιανουαρίου 1959 πλήρως φορτωμένο και μετά από κακοκαιρία και ομίχλη στο Αγγλικό Κανάλι και προβλήματα στην προωστήρια μηχανή έφτασε στο Κάνβει Άιλαντ 23 μέρες αργότερα στις 20 Φεβρουαρίου 1959. [5]

Μετά την επιτυχή πορεία του “Methane Pioneer” ακολούθησαν πολλές ναυπηγήσεις πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου με τεχνολογικές εξελίξεις που συνεχίζονται μέχρι τις μέρες μας.

Μέχρι τα μέσα του 2006 ο παγκόσμιος στόλος των πλοίων LNG αριθμούσε πάνω από διακόσια πλοία. Στις αρχές του 2009 πάνω από τριακόσια και παρουσιάζει συνεχή αύξηση μέχρι και σήμερα.



Το Methane Pioneer κατασκευής 1945

Με την πάροδο των χρόνων και δεδομένων των αναγκών στην αγορά των ενεργειακών πόρων, έχει καθιερωθεί η μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου από πλοία χωρητικότητας περί των 160,000 κυβικών σε θερμοκρασία  $-165^{\circ}\text{C}$  και σε συνθήκες πίεσης λίγο ανώτερης της ατμοσφαιρικής.



### 2.3 Χρήση του μεταφερόμενου φορτίου ως καύσιμο

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται με τη μορφή υγρού στη θερμοκρασία βρασμού του. Έτσι, προκειμένου να διατηρείται σταθερή η πίεση εντός των δεξαμενών πρέπει κατά κάποιο τρόπο να αποβάλλονται οι εκλυόμενες αναθυμιάσεις του. Επαρκώς μονωμένες δεξαμενές και προσεκτική διαχείριση του φορτίου μπορούν να τις περιορίσουν, όμως είναι αναπόφευκτες. Στο “Methane Pioneer”, η απόρριψη των αναθυμιάσεων γινόταν στην ατμόσφαιρα. Αυτό ωστόσο αποτελεί σπατάλη ενέργειας και στα μεταγενέστερα πλοία χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμο, έχοντας προθερμανθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, συμπιεστεί ελαφρώς και τέλος καεί στους λέβητες ατμού. Αρχικά, κατ’ απαίτηση των κανονισμών αέρια καύσιμα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο εν πλω ενώ ήταν απαραίτητη η ύπαρξη φλόγας από την πιλοτική έγχυση πετρελαίου περί του 10% της συνολικής φλόγας στην εστία του λέβητα. Λόγω των αυστηρών κανονισμών για την απελευθέρωση αναθυμιάσεων στην ατμόσφαιρα στα λιμάνια της Ιαπωνίας και των καθυστερήσεων στα αγκυροβόλια λόγω τυφώνων, προκειμένου να αποφεύγεται αύξηση στην πίεση των δεξαμενών και κατ’ επέκταση αύξηση στη θερμοκρασία του υγρού φορτίου, δημιουργώντας προβλήματα στους τερματικούς σταθμούς, οι μηχανικοί των πλοίων ανέπτυξαν την τεχνική της καύσης των αναθυμιάσεων στο αγκυροβόλιο παρακάμπτοντας τους συμπιεστές, απλά χρησιμοποιώντας την πίεση των δεξαμενών.

Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι η φωτιά από την καύση του αερίου ήταν πιο σταθερή και πιο αξιόπιστη απ’ ότι με τη χρήση της πιλοτικής έγχυσης πετρελαίου και πλέον συνηθίζεται η καύση αερίου 100% εν πλω και η χρήση διπλού καυσίμου στους ελιγμούς και στο λιμάνι.[6] Για εμπορικούς λόγους δεν χρησιμοποιούταν αέριο καύσιμο κατά την εκφόρτωση ενώ πλέον στα σύγχρονα πλοία, με προωστήρια εγκατάσταση διάταξη ηλεκτροπρόωσης, η χρήση του αερίου στην εκφόρτωση για την παραγωγή ενέργειας συνηθίζεται για οικονομικούς λόγους.

### 2.4 Συστήματα πρόωσης

Εκτός από το “Methane Pioneer” και τα υπόλοιπα πλοία της σειράς του που ακολούθησαν, όλα τα υγραεριοφόρα φυσικού αερίου ήταν εφοδιασμένα με προωστήρια εγκατάσταση, διάταξη αμοστροβίλων. Οι λέβητες και οι αμοστροβίλοι εξασφαλίζουν εύκολη διαχείριση των αναθυμιάσεων όχι μόνο εν πλω αλλά και κατά την αγκυροβολία. Γι αυτό το λόγο οι προωστήριες εγκαταστάσεις αμοστροβίλων έκαναν την επανεμφάνισή τους στην παγκόσμια εμπορική ναυτιλία και επικράτησαν μέχρι τις αρχές του 2010 που πλέον τα νεότευκτα υγραεριοφόρα φυσικού αερίου εφοδιάζονταν με προωστήρια εγκατάσταση, διάταξη ηλεκτροπρόωσης. [7]

### 3. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

#### 3.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το υγροποιημένο φυσικό αέριο λόγω των ιδιοτήτων του, κατά τη μεταφορά και αποθήκευση πρέπει να διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία (λίγο κάτω από το σημείο βρασμού του,  $-165^{\circ}\text{C}$ ).

Ο πιο καθιερωμένος τύπος πλοίων για μεταφορά LNG, είναι τα τύπου Μεμβράνης (Membrane Type).

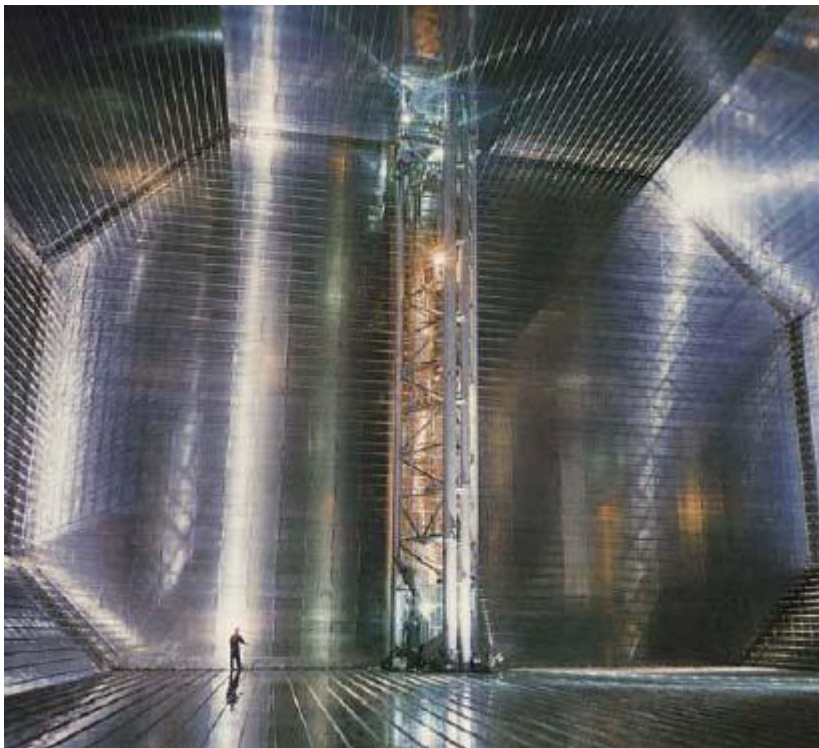


Membrane Type LNG/Carrier

Η διάταξη του χώρου φύλαξης του φορτίου αποτελείται από τέσσερις δεξαμενές διπλής μόνωσης, εγκιβωτισμένες στο εσωτερικό της γάστρας του πλοίου, τοποθετημένες σε σειρά από το πρωαίο έως το πρυμναίο τμήμα. Οι χώροι μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβλήματος της γάστρας χρησιμοποιούνται για έρμα ενώ προστατεύουν και τις δεξαμενές σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης.

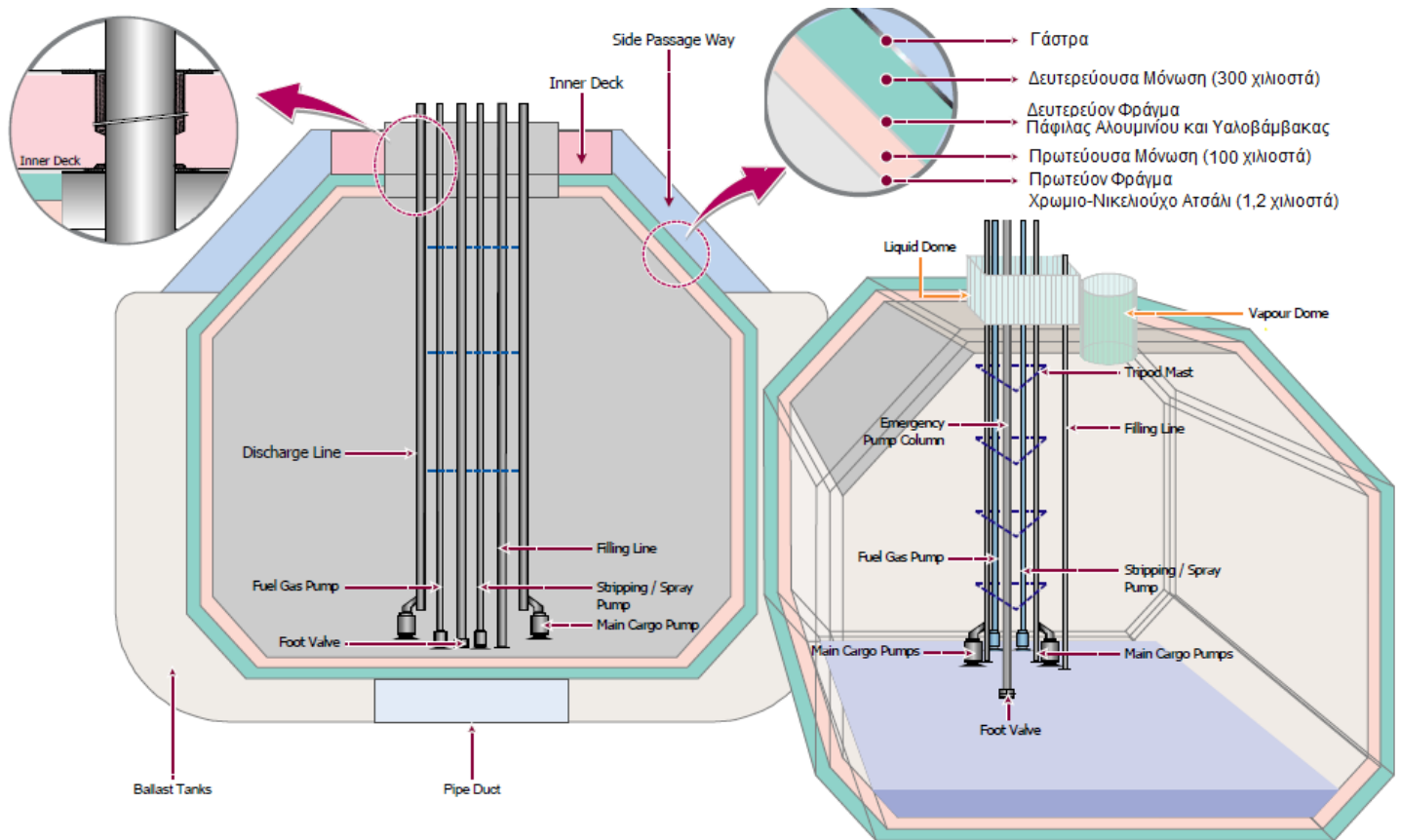
Οι δεξαμενές φορτίου είναι διαχωρισμένες από άλλα διαμερίσματα και μεταξύ τους από πέντε εγκάρσια διαχωριστικά τμήματα.

Τα συστήματα φύλαξης, διαχείρισης, μέτρησης και ελέγχου του φορτίου έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο στις τέσσερις δεξαμενές σε περίπου  $-163^{\circ}\text{C}$  και στην απόλυτη πίεση των 1060mbar. Οι τύποι των δεξαμενών που έχουν καθιερωθεί είναι οι GTT Mark III και No.96, με ορισμένες κατασκευαστικές διαφορές.

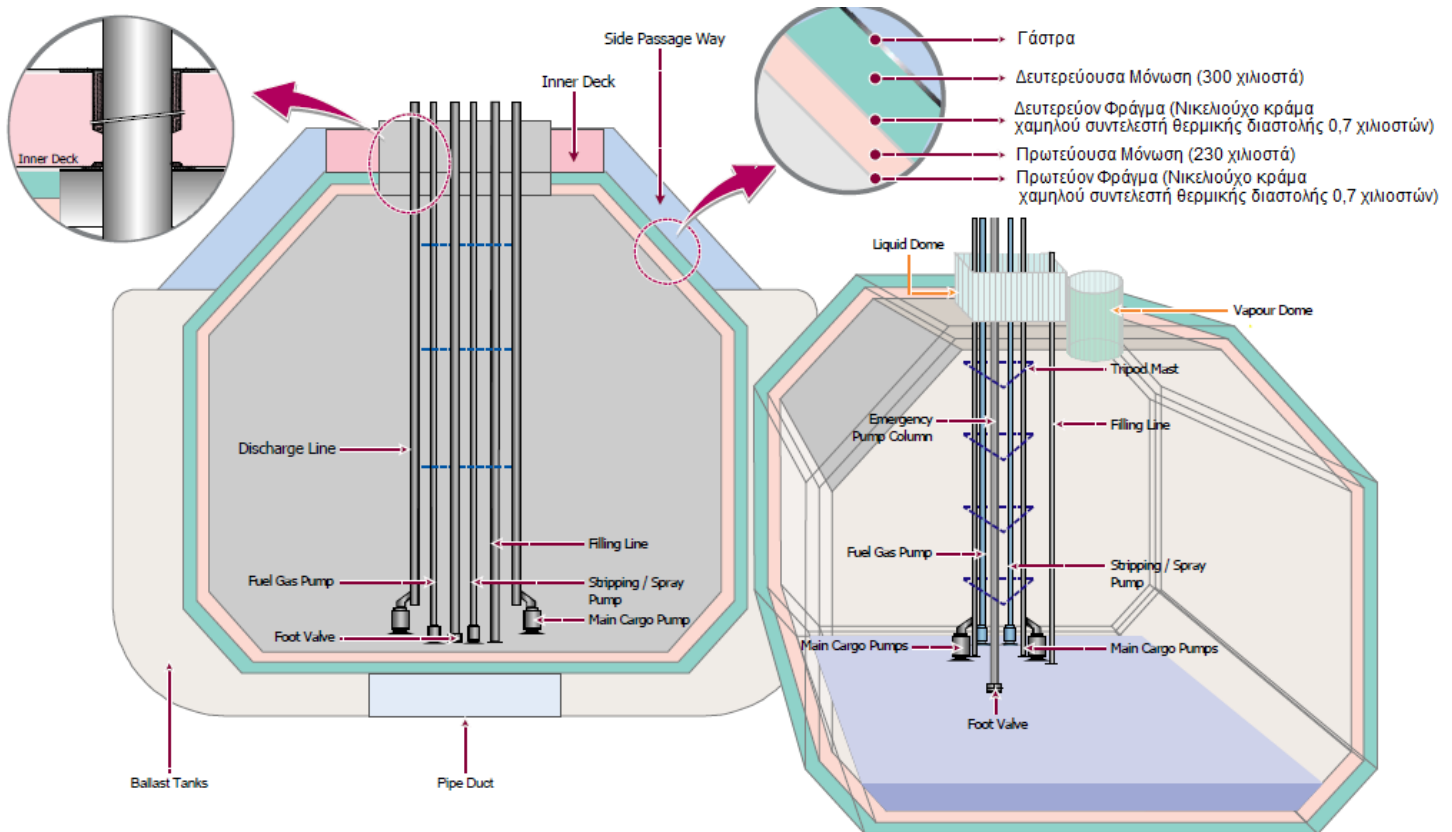


Εσωτερικό δεξαμενής τύπου Μεμβράνης





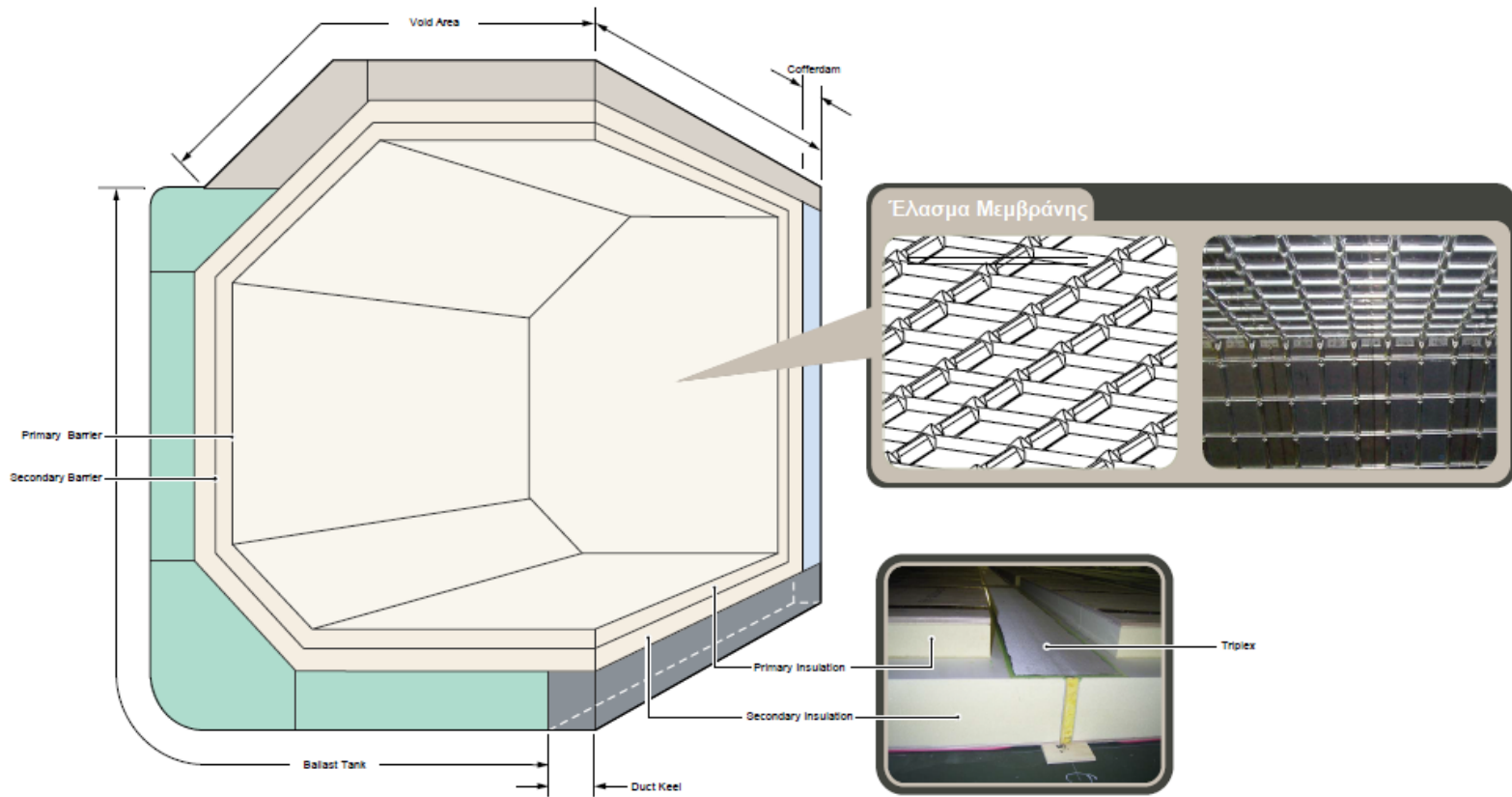
Διάταξη στρωμάτων δεξαμενής τύπου MARK III



Διάταξη στρωμάτων δεξαμενής τύπου No.96

Το πάχος της μόνωσης υπολογίζεται έτσι ώστε να περιορίζεται ο ρυθμός των αναθυμιάσεων σε λιγότερο από 0,14% την ημέρα σε έμφορτη κατάσταση με τις δεξαμενές γεμισμένες στο 98,5% της συνολικής τους χωρητικότητας.

Το άνω μέρος της δεξαμενής είναι πλαγιοτομημένο κατά 45° προκειμένου να περιορίζεται το φαινόμενο της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού. Το κάτω μέρος ακολουθεί την ίδια γεωμετρία προκειμένου η δεξαμενή να ακολουθεί την κατασκευαστική γραμμή του πλοίου.



Δεξαμενή τύπου Mark III σε τομή

### 3.2 Αναθυμιάσεις

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο το οποίο φορτώνεται στα πλοία LNG τύπου Membrane σε δεδομένη θερμοκρασία και πίεση, εκλύει από την επιφάνειά του αναθυμιάσεις σε ρυθμό ανάλογο με τη μονωτική ικανότητα των δεξαμενών στις οποίες αποθηκεύεται.

Οι εκλύομενες αναθυμιάσεις στα σύγχρονα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, παραλαμβάνονται από συμπιεστές προκειμένου είτε να επανυγροποιηθούν, είτε να καούν στις κινητήριες μηχανές των πλοίων.



### 3.3 Όργανα εποπτείας και ελέγχου

#### Δείκτες στάθμης υγρού

Οι δείκτες στάθμης είναι πολύ σπουδαίοι, καθώς τα συστήματα φορτίου είναι κλειστά και οι στάθμες δεν είναι δυνατόν να βυθομετρηθούν. Οι δείκτες αυτοί συνδέονται με τους συναγερμούς υψηλής στάθμης για την παροχή προειδοποίησης, σε περίπτωση υπερπλήρωσης, και με τα συστήματα κρατήσεως, για την πρόληψη υπερπλήρωσης της δεξαμενής και διαρροής του φορτίου στο κατάστρωμα ή υπερσυμπύεσης της δεξαμενής και πρόκληση θραύσεως. Αν οι κινητήρες της αντλίας φορτίου είναι εμβαπτιζόμενοι, υπάρχει σύστημα κρατήσεως του συστήματος χαμηλής στάθμης, για την αποφυγή περιστροφής της αντλίας με ατμούς φορτίου. Η απαιτούμενη ακρίβεια για τους δείκτες στάθμης των υγραεριοφόρων είναι μεγαλύτερη από εκείνη για τα λοιπά δεξαμενόπλοια, λόγω της μεγάλης εμπορικής αξίας του φορτίου και συνεπώς οι δείκτες στάθμης σ' αυτούς είναι πιο εξειδικευμένοι και απαιτούν προσεκτική συντήρηση.

Οι δείκτες που περιγράφονται παρακάτω είναι όλοι κλειστών ή έμμεσων τύπων, εκτός από τους μόνιμους ή ολισθαίνοντες σωλήνες που είναι περιορισμένου τύπου.

#### 1. Πλωτοί δείκτες.

Οι δείκτες αυτοί αποτελούνται από πλωτήρα κινούμενο κατακόρυφα και επιπλέει σε υγρό. Αυτός προσαρμόζεται σε ταινία ενδείξεως, που μπορεί να συνδέεται με ένα μηχανισμό κινήσεως για μακρινή ανάγνωση.

#### 2. Δείκτες διαφορικής πίεσεως.

Οι δείκτες αυτοί δεν αποτελούν μηχανικά όργανα, αλλά μετρούν τη διαφορά πίεσεως μεταξύ υγρού και ατμού.

#### 3. Δείκτες σταθερού και ολισθαίνοντα σωλήνα.

Αυτός ο τύπος συνήθως τοποθετείται σε δοχεία που βρίσκονται υπό πίεση. Ο σωλήνας διαπερνά τη δεξαμενή και φέρει στην κορυφή του βάνα. Όταν η βάνα ανοίγει, εκλύεται περιορισμένη ποσότητα φορτίου. Αν το ανοικτό άκρο του σωλήνα βρίσκεται (μέσα στη δεξαμενή) στη φάση του ατμού, ο ατμός έρχεται στη βάνα. Αν το ανοικτό άκρο βρίσκεται στο υγρό φορτίο, τότε εκλύονται λεπτά σταγονίδια.

Τρεις τύποι σωλήνα τοποθετούνται συνήθως:

- Ένας σταθερός σωλήνας, που δείχνει ότι το υγρό ανήλθε σε ορισμένη στάθμη.
- Ένας βαθμονομημένος σωλήνας που μπορεί να παλινδρομεί κατακόρυφα διαμέσου τσιμούχας, για τον προσδιορισμό της στάθμης υγρού. Αυτός ο σωλήνας ονομάζεται **ολισθαίνων σωλήνας**.



• Ένας κυρτός σωλήνας που τοποθετείται στο άκρο του άξονα μιας κυλινδρικής δεξαμενής, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται. Οι στάθμες του υγρού φαίνονται στην κυκλική κλίμακα της δεξαμενής.

Τα απλά αυτά όργανα χρησιμοποιούνται εύκολα και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

#### 4. Δείκτες φυσαλίδας αζώτου.

Αυτός ο τύπος δείκτη μετρά την πίεση που είναι αναγκαία για την εκτόπιση του υγρού φορτίου από ένα μικρό ευαίσθητο σωλήνα τοποθετημένο στη δεξαμενή. Η στάθμη του φορτίου είναι η ίδια, όπως η στάθμη του υγρού στο σωλήνα.

Το άζωτο εισάγεται στο σωλήνα σε πίεση που μόλις επαρκεί για να εκτοπίσει το υγρό, που φαίνεται από τις φυσαλίδες του αζώτου, οι οποίες διαφεύγουν. Η αναγκαία πίεση εξαρτάται από την πυκνότητα του φορτίου και τη στάθμη του υγρού. Αν η πυκνότητα του φορτίου είναι γνωστή, η στάθμη του υγρού μπορεί να υπολογισθεί απευθείας, αν όχι, τότε μπορεί να υπολογισθεί η πυκνότητα του φορτίου, αν έχουν τοποθετηθεί δύο δείκτες, ένας στον πυθμένα της δεξαμενής και ένας σε ένα γνωστό ύψος πάνω από αυτόν. Η διαφορά των πιέσεων καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της πυκνότητας. Οι αναγνώσεις μπορεί να είναι τύπου μανομέτρου ή τύπου ωρολογίου.

#### 5. Αισθητήρια ηλεκτρικής χωρητικότητας.

Αυτός ο τύπος δείκτη χρησιμοποιεί σταθερό, ηλεκτρονικό αισθητήριο ηλεκτρικά μονωμένο από τη δεξαμενή, το οποίο ανιχνεύει τη μεταβολή της ηλεκτρικής χωρητικότητας (ή διηλεκτρική σταθερά) μεταξύ υγρού και ατμού. Η ανάγνωση συνήθως γίνεται με τη βοήθεια ψηφιακού πίνακα. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται ένα αισθητήριο που εκτείνεται στο βάθος της δεξαμενής ή αριθμός αισθητηρίων σε διαφορετικά επίπεδα.

Τα αισθητήρια χωρητικότητας δεν έχουν κινούμενα μέρη και είναι πολύ απλά.

#### 6. Δείκτες υπερήχων.

Οι δείκτες αυτοί εργάζονται πάνω στην ίδια αρχή όπως και οι ηχομετρητές. Ηχητικά κύματα εκπέμπονται από την κορυφή της δεξαμενής και μετράται ο χρόνος επιστροφής τους μετά την ανάκλαση.

#### 7. Μετρητές ραδιενεργών.

Μια πηγή ραδιενεργού υλικού τοποθετείται στη μια πλευρά της δεξαμενής και ένας ανιχνευτής στην άλλη. Στην περίπτωση αυτή γίνεται μέτρηση της ακτινοβολίας που απορροφάται από το περιεχόμενο της δεξαμενής.



### Μηχανισμοί μέτρησης της πίεσης

Οι δείκτες πίεσεως τοποθετούνται σε διάφορα σημεία στο και γύρο από το σύστημα φορτίου υγραεριοφόρου πλοίου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κωδίκων του ΙΜΟ. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την ένδειξη της πίεσεως των δεξαμενών, της πίεσεως των χώρων συγκρατήσεως και των χώρων μεταξύ των διαφραγμάτων και των πιέσεων στις καταθλίψεις των συμπιεστών. Οι δείκτες πίεσεως μπορούν να συνδέονται με τα συστήματα διακοπής ή συναγερμού. Βασική αρχή είναι η διασφάλιση ότι εργάζονται σωστά και ότι οι πιέσεις στο σύστημα διατηρούνται μέσα στα όρια της σχεδιάσεως.

#### 1. Μανόμετρα.

Τα μανόμετρα είναι σωλήνες σχήματος U μερικώς γεμάτοι με υγρό και όταν και οι δυο πλευρές του σωλήνα είναι ανοικτές στην ατμόσφαιρα, το υγρό σε κάθε πλευρά θα βρίσκεται στην ίδια στάθμη. Όταν η πίεση που πρόκειται να μετρηθεί συνδέεται στη μια πλευρά του σωλήνα, το υγρό εκτοπίζεται και βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος από την άλλη πλευρά. Η διαφορά αυτή του ύψους παρέχει ένα άμεσο μέτρο της πίεσεως (π.χ. mm υδραργύρου, ίντσες νερού) ή μπορεί να μετατρέπεται άμεσα σε άλλες μονάδες. Το ένα άκρο του σωλήνα δεν είναι ανάγκη να είναι ανοικτό στον αέρα. Αυτό μπορεί να συνδέεται σε ένα άλλο σημείο του συστήματος για την ένδειξη των διαφορετικών πιέσεων.

Κάθε υγρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφόσον είναι κατάλληλο για την απαιτούμενη εργασία. Τα κατάλληλα μανόμετρα συνήθως τοποθετούνται με ολισθαίνουσες κλίμακες για ακριβή μηδενισμό και μεταβλητό περιοριστή στον πυθμένα των σωληνώσεων, για την αποφυγή αντιθλίψεων. Αν οι αναγνώσεις είναι μακρινές και σε ασφαλή από αέρια περιοχή, η άμεση επαφή με τις εξατμίσεις του φορτίου θα αποφεύγεται με τη χρήση ενός ενδιάμεσου ουδέτερου αερίου (π.χ. αζώτου).

#### 2. Σωλήνες Bourdon.

Είναι όργανα μέτρησεως της πίεσεως με την κίνηση ενός σπειροειδούς ή ελικοειδούς σωλήνα, που είναι απευθείας ανάλογη προς την ασκούμενη πίεση. Η κίνηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση ενός δείκτη, τον έλεγχο μιας βάνας πίεσεως αερίου ή για την αλλαγή μιας μεταβλητής αντίστασης. Ο δείκτης κινείται για τοπικές αναγνώσεις. Η άλλη μέθοδος είναι για έμμεσες μετρήσεις. Επειδή για το μανόμετρο η έμμεση ανάγνωση μπορεί να είναι αναγκαία για την αποφυγή συνδέσεως μεταξύ ασφαλών και επικίνδυνων περιοχών, τα συστήματα πίεσεως αερίων χρησιμοποιούν αέρα ή αδρανές αέριο, συνήθως σε κλίμακα από 0,21-1,05 ( $\text{kg/cm}^2$  3-15 psig), που καταλήγει σε δείκτη πίεσεως, καταγραφέα πίεσεως ή καταχωρητή στοιχείων.



### Μηχανισμοί παρακολούθησης της θερμοκρασίας

Τα αισθητήρια θερμοκρασίας τοποθετούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του IMO κατά τρόπο, που να είναι δυνατή η παρακολούθηση των θερμοκρασιών του φορτίου και της κατασκευής, γύρω από το σύστημα του φορτίου. Η γνώση της θερμοκρασίας του φορτίου είναι βασική, επειδή οι δεξαμενές έχουν μια ελάχιστη θερμοκρασία, κάτω από την οποία δεν είναι δυνατόν να ψυχθούν. Η θερμοκρασία του χάλυβα γύρω από τη δεξαμενή φορτίου πρέπει να παρακολουθείται, για να διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει βλάβη στη μόνωση, η οποία να προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας του χάλυβα του σκάφους. Αυτό θα μπορεί να ανιχνευθεί γρήγορα και να αναληφθεί η κατάλληλη ενέργεια.

Πολύ σπουδαίο είναι επίσης να υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησεως των θερμοκρασιών στο σύστημα φορτίου κατά τις εργασίες ψύξεως και θερμάνσεως, για την εξασφάλιση, ότι αποφεύγονται ανασφαλείς θερμικές τάσεις. Είναι συνηθισμένο κάθε μια από τις δεξαμενές του πλοίου να διαθέτει επιπλέον αισθητήρια, έτσι ώστε οι προβλεπόμενες αποκλίσεις της θερμοκρασίας να μπορούν να επιβεβαιώνονται κατά τις αρχικές δοκιμές.

#### 1. Θερμόμετρα υγρού-ατμού.

Τα θερμόμετρα αυτά βασίζονται στη διαστολή του υγρού σε ένα πολύ λεπτό ή τριχοειδή σωλήνα. Το υγρό διαστέλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία και η ανάγνωση της θερμοκρασίας γίνεται σε μία κλίμακα ανάλογη με το μήκος της στήλης του υγρού.

Τα συστήματα τριχοειδούς σωλήνα υγρού σφραγίζονται. Τα πιο συνηθισμένα υγρά που χρησιμοποιούνται είναι ο υδράργυρος, η αιθανόλη ή το ξυλόλιο. Τα θερμόμετρα υδραργύρου δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε φορτία αμμωνίας. Βασικό είναι να διασφαλίζεται ότι η στήλη του υγρού είναι συνεχής. Αν αυτή διασπάται, τότε η μέτρηση δεν είναι ακριβής.

#### 2. Θερμόμετρα με υγρό.

Οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν τη διαστολή του όγκου του υγρού, προκειμένου να δημιουργήσουν την κίνηση ενός τριχοειδούς σωλήνα τύπου Bourdon. Συνήθως ο σωλήνας κινεί ένα δείκτη (δηλαδή τοπική ανάγνωση), αλλά είναι δυνατόν να γίνει διάταξη και για μακρινές αναγνώσεις. Το σύστημα σφραγίζεται κάτω από σημαντική πίεση για την υπερνίκηση των επιδράσεων της τάσεως ατμών που προέρχεται από το υγρό.

#### 3. Διμεταλλικά θερμόμετρα.

Δύο μέταλλα με διαφορετικούς συντελεστές διαστολής συγκολλούνται μαζί και, όταν θερμαίνεται αυτή η **διμεταλλική ταινία**, λυγίζει λόγω της άνισης διαστολής. Αυτή η κίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατόπιση δείκτη κατά παρόμοιο τρόπο με το σωλήνα Bourdon.



#### 4. Θερμοστοιχεία.

Όταν προσφέρεται θερμότητα στη σύνδεση δύο ανόμοιων μετάλλων, τότε δημιουργείται μικρή ηλεκτρική τάση. Αυτή μπορεί να μετρηθεί και να δώσει μία ένδειξη της θερμοκρασίας. Συνήθως η τάση αυτή ανιχνεύεται ηλεκτρονικά και η ανάγνωση είναι μακρινή.

#### 5. Θερμόμετρα αντιστάσεως.

Η ηλεκτρική αντίσταση ορισμένων υλικών μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και η μεταβολή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι πολύ λεπτό σύρμα λευκόχρυσου (πλατίνα). Η μεταβολή της αντιστάσεως ανιχνεύεται συνήθως ηλεκτρονικά και οι αναγνώσεις γίνονται από μακριά.

#### Εξοπλισμός ανιχνεύσεως ατμών.

Ο εξοπλισμός ανιχνεύσεως των ατμών απαιτείται από τους κώδικες του ΙΜΟ έναν αριθμό λόγων, όπως η ανίχνευση των:

- Ατμών φορτίου στον αέρα, το αδρανές αέριο ή των ατμών άλλου φορτίου.
- Συγκεντρώσεων του αερίου στην ή κοντά στην περιοχή αναφλέξεως.
- Συγκεντρώσεων του οξυγόνου στο αδρανές αέριο, στους ατμούς του φορτίου ή σε κλειστούς χώρους.

#### 1. Ανιχνευτές υπέρυθρων.

Τα αέρια απορροφούν υπέρυθη ακτινοβολία και η αρχή αυτή χρησιμοποιείται σε μόνιμο εξοπλισμό για την ανίχνευση συγκεντρώσεων από 0-100%. Η υπέρυθη ακτινοβολία διέρχεται μέσω δυο σωληνώσεων, από τους οποίους ο ένας περιέχει αέριο γνωστής συγκεντρώσεως και ο άλλος το δείγμα, που πρόκειται να μετρηθεί. Η απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ανάλογη προς τη συγκέντρωση του αερίου και η έξοδος από τους δυο σωλήνες συγκρίνεται ηλεκτρονικά. Το ηλεκτρονικό σήμα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ερέθισμα ενός δείκτη μετρήσεως, ενός καταγραφέα ή άλλης παρόμοιας συσκευής.

Η βαθμονόμηση εξαρτάται από το δειγματιζόμενο αέριο.

#### 2. Μετρητές θερμικής αγωγιμότητας.

Μερικοί μόνιμοι ή φορητοί ανιχνευτές λειτουργούν με τη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας των δειγμάτων αερίου και ονομάζονται **μετρητές θερμικής αγωγιμότητας ή καθαρόμετρα**. Οι μετρητές αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση συγκεντρώσεων αερίου 0-100%. Ένας θερμαντήρας νήματος (πυρακτωμένο νήμα) χρησιμοποιείται σαν αισθητήριο στοιχείο. Όταν παρέχεται ισχύς, η θερμοκρασία του σταθεροποιείται σε μια τιμή, που εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του αερίου γύρω του. Αν αλλάζει η σύσταση του αερίου, τότε





μεταβάλλεται η θερμοκρασία του νήματος. Αυτή η θερμοκρασιακή αλλαγή έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως του νήματος, η οποία ανιχνεύεται από ένα μετρητή.

Το νήμα μπορεί να τοποθετείται έτσι, ώστε το δειγματιζόμενο αέριο να ρέει κατευθείαν πάνω σ' αυτό ή έτσι, ώστε το αέριο να διαχέεται σ' αυτό. Ο τύπος της απευθείας ροής ανταποκρίνεται πολύ ταχύτερα στις αλλαγές της συγκεντρώσεως, αλλά εξαρτάται από τους ρυθμούς της ροής. Ο τύπος που λειτουργεί με διάχυση παρέχει βραδύτερη ανταπόκριση, αλλά δεν είναι ευαίσθητος στη ροή. Πρέπει να σημειωθεί ότι σχεδόν κάθε μεταβολή στις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. στην τάση του νήματος πυρακτώσεως ή στο ρυθμό ροής του αερίου) θα μεταβάλλει τη θερμοκρασία του νήματος και η βαθμονόμηση εξαρτάται από το δειγματιζόμενο αέριο.

### 3. Ανιχνευτές καύσιμου αερίου.

Αυτός ο τύπος του εξοπλισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ορισμένων καυσίμων αερίων υδρογοναθράκων και χρησιμοποιεί ένα θερμαινόμενο νήμα από ειδικό μέταλλο για την καταλυτική οξείδωση του αερίου. Η χρησιμοποιούμενη αρχή είναι παρόμοια με εκείνη του μετρητή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά οι θερμοκρασίες του νήματος είναι υψηλότερες και η σειρά συγκεντρώσεων χαμηλότερη (συνήθως 0-100% του κατώτερου ορίου αναφλέξεως LFL). Ο εξοπλισμός λειτουργεί με τη μέτρηση της αντιστάσεως και είναι δυνατόν να είναι μόνιμος ή φορητός. Κατά την κατασκευή του νήματος πυρακτώσεως συνήθως γίνεται σ' αυτό ενεργοποίηση για την αύξηση της ευαισθησίας του. Οποσδήποτε, ο ενεργοποιημένος καταλύτης του νήματος μπορεί εύκολα να δηλητηριασθεί από υλικά, όπως η σιλικόνη, τα αλογονωμένα αέρια (π.χ. ψυκτικά, χλωριούχο βινύλιο), τα οξέα, το νερό, τα πετρελαιοειδή και ο μόλυβδος. Ειδικές προφυλάξεις είναι αναγκαίες, όπως χρησιμοποίηση φίλτρων στις γραμμές δειγματοληψίας, για τη συγκράτηση των δηλητηρίων μακριά από το νήμα.

Σε μερικά πλοία ο μόνιμος εξοπλισμός ανιχνεύσεως αερίου μπορεί να χρησιμοποιεί δείκτες καυσίμου αερίου, για τη μέτρηση από 0-100% του LFL και ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας ή υπερύθρων για συγκεντρώσεις LFL-100%.

Η βαθμονόμηση ενδεχομένως επηρεάζεται από τον δειγματιζόμενο ατμό. Αν διαφέρει από εκείνον που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι συντελεστές μετατροπής. Ο εξοπλισμός απαιτεί οξυγόνο για να λειτουργήσει και μπορεί να ανιχνεύσει καύσιμα αέρια σε ατμόσφαιρες αέρα και όχι σε ατμόσφαιρες αδρανούς αερίου. Αν πρέπει να δειγματοληφθεί μίγμα αδρανούς αερίου/καυσίμου αερίου, χρησιμοποιούνται είτε ανιχνευτές υπερύθρων, είτε μετρητές θερμικής αγωγιμότητας, ή το μίγμα θα πρέπει να αναμιχθεί με αέρα πριν από τη χρησιμοποίηση ενός ανιχνευτή καυσίμου αερίου.

Οι φορητοί ανιχνευτές καύσιμου αερίου χρησιμοποιούνται συχνά για τον έλεγχο.



#### 4. Δείκτες χημικής απορροφήσεως οξυγόνου.

Στο συνηθισμένο τύπο του δείκτη χημικής απορροφήσεως ένα δείγμα αναρροφείται διαμέσου ενός χημικού αντιδραστηρίου σε ένα γυάλινο σωλήνα. Το χημικό ανιχνεύσεως αποχρωματίζεται, αν υπάρχει ατμός. Το μήκος του αποχρωματισμού (το οποίο μπορεί να αναγνωσθεί στο σωλήνα ή σε μία βαθμονομημένη κλίμακα που τοποθετείται κατά μήκος του σωλήνα) δίνει ένα μέτρο της συγκεντρώσεως του ατμού. Οι δείκτες χημικής απορροφήσεως παρέχουν ακριβείς ενδείξεις της συγκεντρώσεως του ατμού, οποιαδήποτε κι αν είναι η περιεκτικότητα του οξυγόνου στο μίγμα. Σημαντικό είναι να διέρχεται διαμέσου του δείκτη ο σωστός όγκος δείγματος, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, διαφορετικά η μέτρηση δεν θα δείχνει ακριβώς τη συγκέντρωση μέσα στον εξεταζόμενο χώρο. Ένας πολύ μικρός όγκος δείγματος θα δίνει χαμηλή τιμή. Σε ορισμένα όργανα το μήκος του σωλήνα είναι κρίσιμος συντελεστής στην επίτευξη ορθής μετρήσεως. Η παρουσία δευτέρου αερίου μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις και να προκαλέσει ανακρίβειες. Σωλήνες χημικών ανιχνευτών είναι ειδικοί για ένα (ή μερικές φορές για περισσότερους από ένα) ειδικότερο χημικό ατμό. Αυτός ο ατμός ή οι ατμοί δεν απαιτείται να έχουν εύφλεκτες ή καύσιμες ιδιότητες. Οι σωλήνες σκόπιμα σχεδιάζονται για τη μέτρηση ακριβώς χαμηλών συγκεντρώσεων ατμών και πρέπει πάντοτε να χρησιμοποιούνται, όταν οι ατμοί χημικών ουσιών παρουσιάζουν σοβαρό κίνδυνο εισπνοής, π.χ. αμμωνία, χλωριούχο βινύλιο.

#### 5. Δείκτες οξυγόνου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι δεικτών οξυγόνου. Ορισμένοι είναι δείκτες χημικής απορροφήσεως που χρησιμοποιούν ειδικούς σωλήνες, άλλοι χρησιμοποιούν χημικά που διαλύουν το οξυγόνο από ένα δείγμα και άλλοι βασίζονται στο μαγνητισμό (παραμαγνητισμό) του οξυγόνου.

Αν οι σωλήνες δεικτών χρησιμοποιούνται, οι μετρήσεις δυνατόν να επηρεάζονται από την παρουσία χημικών ατμών. Ένας δείκτης, ο οποίος ίσως είναι αξιόπιστος για τη μέτρηση του περιεχόμενου οξυγόνου ενός χώρου μετά από πλήρη εξαερισμό, δυνατόν να μην είναι κατάλληλος για τον έλεγχο του περιεχόμενου οξυγόνου ενός μίγματος αέρα/αδρανούς αερίου/ατμών φορτίου. Πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή. Τα παραμαγνητικά όργανα μετρούν την εκτροπή ενός περιστρεφόμενου μαγνήτη σε ένα συμμετρικό ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο. Ο μαγνήτης είναι κλειστός θάλαμος, στον οποίο εισάγεται το δείγμα του αερίου. Η εκτροπή είναι ευθέως ανάλογη με τη συγκέντρωση του οξυγόνου. Μερικά άλλα αέρια, όπως τα οξείδια του αζώτου, έχουν συγκρίσιμες παραμαγνητικές ιδιότητες. Έτσι η τεχνική αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που δυνατόν να υπάρχουν τέτοια αέρια σε ποσότητα μεγαλύτερη από ίχνη. Διαφορετικά αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του οξυγόνου σε μίγματα των άλλων ατμών. Σε μία συσκευή απορροφήσεως υγρού ένα δείγμα γνωστού όγκου διέρχεται διαμέσου απορροφητικού υγρού και ο τελικός όγκος μετρείται σε μία κλίμακα που δείχνει το περιεχόμενο οξυγόνο του αρχικού δείγματος.



### 3.4 Συστήματα διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου

Το σύνολο των μηχανημάτων για τη διαχείριση του φορτίου ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και την ηλικία του πλοίου. Ορισμένα από τα βασικότερα μηχανήματα περιγράφονται και αναλύονται παρακάτω, καθώς και τα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου με τα οποία είναι εφοδιασμένα ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή και κυρίως ασφαλής λειτουργία και χρήση τους από τους επί του πλοίου αρμόδιους.

#### 1. Γεννήτρια παραγωγής αδρανούς αερίου

Τα περισσότερα πλοία LNG είναι εφοδιασμένα με γεννήτρια παραγωγής αδρανούς αερίου για την αδρανοποίηση του χώρου των δεξαμενών φορτίου, των δικτύων και σωληνώσεων αυτού καθώς και των κενών χώρων του πλοίου, όπου χρειάζεται η ατμόσφαιρα να είναι ελεύθερη αερίου μετά από πιθανή διαρροή. Συνήθως η χρήση της γίνεται πριν από περιόδους επιθεωρήσεων και επισκευών.

Η αρχή λειτουργίας της γεννήτριας αδρανούς αερίου στηρίζεται στην καύση πετρελαίου με χαμηλή περιεκτικότητα θείου και τον καθαρισμό και ξήρανση των εκτεμπόμενων καυσαερίων. Η καύση είναι μία χημική αντίδραση μεταξύ υδρογονάνθρακα και οξυγόνου με παράγωγα διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Το άζωτο που περιλαμβάνεται στον καιόμενο αέρα, παραμένει αναλλοίωτο. Έτσι το παραγόμενο αδρανές αέριο αποτελείται κυρίως από 85% άζωτο και 15% διοξείδιο του άνθρακα, καθώς το περιεχόμενο στα παράγωγα της καύσης νερό, αποβάλλεται μέσω συμπύκνωσης και απορρόφησης στον ξηραντήρα. Η διάταξη περιλαμβάνει γεννήτρια αζώτου, «πύργο» καθαρισμού καυσαερίων, δύο φυγόκεντρους ανεμιστήρες, μονάδα έγχυσης πετρελαίου, ενδιάμεση μονάδα ξήρανσης, τελική μονάδα ξήρανσης και τις διατάξεις ελέγχου των συστημάτων.

Ο αέρας καύσης τροφοδοτείται στον καυστήρα από δύο λοβοειδείς φυσητήρες. Η παρεχόμενη ποσότητα του αέρα μπορεί να ρυθμιστεί χειροκίνητα από το αντίστοιχο επιστόμιο. Αυτό πρέπει να είναι ρυθμισμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε η περιεκτικότητα του οξυγόνου στο αδρανές αέριο να είναι εντός των απαιτούμενων ορίων. Η πίεση του αέρα εποπτεύεται από δύο πιεσοστάτες για υψηλή και χαμηλή πίεση αντίστοιχα.

Το προς καύση πετρέλαιο τροφοδοτείται από την αντλία πετρελαίου, υπό σταθερή πίεση. Η ποσότητα καθορίζεται από δύο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες (μαγνητοδιακόπτες) οι οποίες ελέγχονται από τον Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (PLC) του συστήματος που είναι εγκατεστημένος στον τοπικό πίνακα ελέγχου. Η πίεση του παρεχόμενου καυσίμου ελέγχεται από τον αντίστοιχο πιεσοστάτη.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται σωστή καύση με συνεχή τροφοδότηση αέρα σε δεδομένη ποσότητα, η πίεση εντός της γεννήτριας θα πρέπει να διατηρείται σταθερή ελέγχοντας την πίεση της διοχετευόμενης ποσότητας του αδρανούς αερίου.

Αυτό επιτυγχάνεται από μία ρυθμιστική βαλβίδα η οποία ελέγχεται ως εξής:

- Η πίεση μετράται και μετατρέπεται από έναν αισθητήρα με κλίμακα εισόδου 0-400 mbar και εξόδου 4-20 mA.
- Το σήμα εξόδου συγκρίνεται από τον ελεγκτή με την επιθυμητή τιμή (250 mbar)
- Η έξοδος του ελεγκτή παραλαμβάνεται από το αισθητήριο θέσης του ενεργοποιητή της ρυθμιστικής βαλβίδας.

Ανάλογα με τη διαφορά της μετρούμενης με την επιθυμητή τιμή, παράγεται το αντίστοιχο σήμα Αναλογίας-Ολοκλήρωσης (PI) κλίμακας 4-20 mA το οποίο ενημερώνει το αισθητήριο θέσης της βαλβίδας ελέγχου.

Κατ' απαίτηση των νηογνομόνων η περιεκτικότητα σε οξυγόνο πρέπει να μετράται συνεχώς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αναλυτή ο οποίος ενημερώνει το χειριστή του συστήματος με οπτικοακουστικό συναγερμό σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του αδρανούς αερίου σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την επιθυμητή. Ο αναλυτής πρέπει να βαθμονομείται σε τακτά χρονικά διαστήματα.



Γεννήτρια παραγωγής αδρανούς αερίου



## 2. Γεννήτρια παραγωγής αζώτου

Τα περισσότερα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι εξοπλισμένα με δύο γεννήτριες παραγωγής αζώτου, εγκατεστημένες εντός του μηχανοστασίου για τη διοχέτευση αζώτου στους ενδιάμεσους χώρους της μόνωσης των δεξαμενών, στα στεγανωτικά παρεμβύσματα των συμπιεστών του αερίου (High Duty, Low Duty Compressors), στους ιστούς εξαέρωσης των δεξαμενών ως μέσο πυρόσβεσης και σε διάφορα μέρη των σωληνώσεων του φορτίου.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιλαμβάνει 78% Άζωτο, 21% Οξυγόνο και 1% άλλα αέρια. Η γεννήτρια αζώτου διαχωρίζει μέσω μεμβρανών τα διάφορα αέρια παράγοντας άζωτο σε συγκεκριμένη καθαρότητα. Η βασική αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στο ρυθμό διείσδυσης που για κάθε αέριο είναι διαφορετικός δίνοντάς του τη δυνατότητα να διαλύεται και να διαχέεται μέσω μεμβράνης. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει το διαχωρισμό των «ταχέων αερίων» όπως το οξυγόνο, από τα «βραδέα» όπως το άζωτο.

Συμπιεσμένος αέρας τροφοδοτείται στη γεννήτρια δια μέσω φίλτρων για την συγκράτηση σωματιδίων, ελαίου και συμπυκνωμάτων ώστε να προστατευθούν οι μεμβράνες. Έπειτα διέρχεται από ηλεκτρικό θερμαντήρα προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία στους 50°C. Ο θερμαντήρας ελέγχεται από θερμοστάτη προστατεύοντας τις μεμβράνες, καθώς αλλοιώνονται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 90°C.

Ο θερμασμένος αέρας οδηγείται μέσω πολλαπλής στις μεμβράνες όπου διαχωρίζεται στα συστατικά του.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται συνεχόμενη ροή στο σύστημα, το άζωτο περνά μέσα από βαλβίδα ελέγχου ροής. Η ρύθμιση της ροής γίνεται από Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (PLC) μέσω σημάτων από αισθητήρες πίεσης και ροής στις μεμβράνες.

Η γεννήτρια είναι εξοπλισμένη με αναλυτή οξυγόνου που εποπτεύει την περιεκτικότητα στο παραγόμενο άζωτο. Σε περίπτωση υπέρβασης της επιθυμητής τιμής, ενεργοποιείται ηχητικός συναγερμός. Εάν αυτή εξακολουθεί να αυξάνεται, απομονώνεται η βαλβίδα παροχής και ανοίγει η βαλβίδα απόρριψης. Με την επαναφορά της περιεκτικότητας σε οξυγόνο εντός των επιθυμητών τιμών, η θέση των βαλβίδων αντιστρέφεται και το σύστημα τροφοδοτεί ξανά άζωτο.



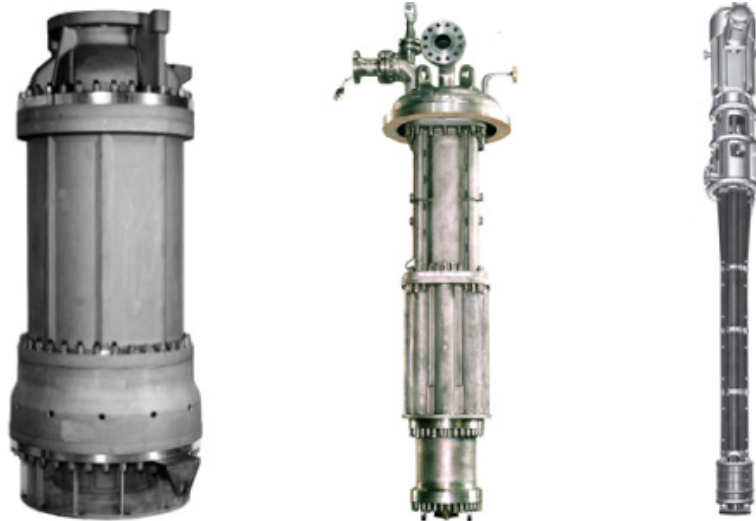
Γεννήτρια παραγωγής αζώτου

### 3. Αντλίες εκφόρτωσης και αντλίες ψεκασμού

Τα υγραεριοφόρα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου διαθέτουν εμβαπτιζόμενες ηλεκτρικές φυγοκεντρικές αντλίες φορτίου. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν δύο αντλίες που χρησιμοποιούνται για την εκφόρτωση του μεταφερόμενου υγροποιημένου φυσικού αερίου. Κάθε αντλία ελέγχεται από έναν ελεγκτή τύπου PID αναφορικά με το ηλεκτρικό φορτίο που καταναλώνει.

Οι αντλίες εκκινούνται και σταματούν από το Κέντρο Ελέγχου Φορτίου (Cargo Control Room).

Η αντλία ψεκασμού χρησιμοποιείται για την ψύξη των αγωγών πριν την εκφόρτωση, των δεξαμενών πριν την άφιξη στους σταθμούς φόρτωσης και για την απάντληση του φορτίου όταν η στάθμη του μέσα στη δεξαμενή είναι χαμηλή.



Αντλίες εκφόρτωσης υγροποιημένου φυσικού αερίου

#### 4. Συμπιεστές (High Duty, Low Duty)

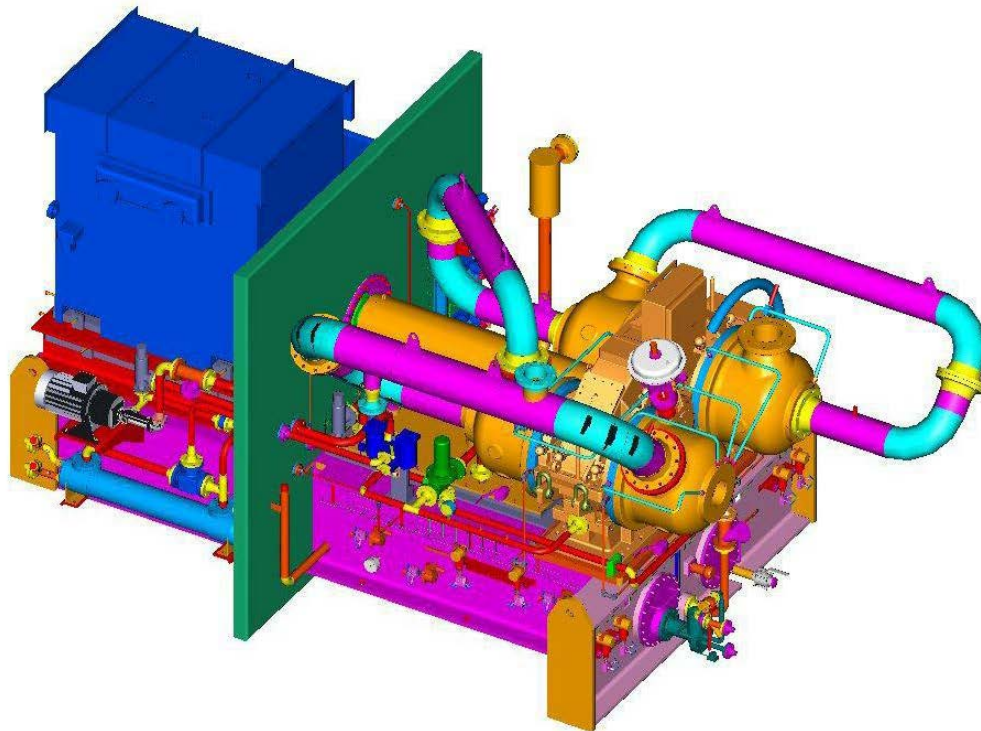
Προκειμένου οι αναθυμιάσεις του φορτίου που όπως ήδη αναφέρθηκε στα πρώτα υγραεριοφόρα απορρίπτονταν στην ατμόσφαιρα, να μπορούν να ελέγχονται, τα πλοία είναι εφοδιασμένα με κατάλληλους συμπιεστές.

Κατά τη φόρτωση, ο χώρος των δεξαμενών γεμίζει με υγροποιημένο αέριο, καταλαμβάνοντας τη θέση του αερίου που ήδη υπάρχει υπό ορισμένη πίεση. Το αέριο αυτό συμπιέζεται και οδηγείται στον τερματικό σταθμό ξηράς μέσω των συμπιεστών (High Duty). Η παροχή του αερίου ρυθμίζεται από τα μεταβλητής θέσης πτερύγια τα οποία βρίσκονται στην εισαγωγή του συμπιεστή.

Ο κινητήριος άξονας είναι εφοδιασμένος με αισθητήρα εγγύτητας για τον έλεγχο των κραδασμών ώστε να προκαλείται διακοπή λειτουργίας της μονάδας όταν τα επίπεδα δονήσεων είναι υψηλά.

Προκειμένου οι αναθυμιάσεις του φορτίου να μπορούν να καταναλωθούν στην προωστήρια εγκατάσταση, χρησιμοποιούνται συμπιεστές (Low Duty).

Ανάλογα με τις καταναλώσεις ενέργειας εξαρτάται και η παροχή του αερίου από τον συμπιεστή. Όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις για παραγόμενο έργο από τους κινητήρες, τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση του καυσίμου. Η παροχή του αερίου ρυθμίζεται από τα μεταβλητής θέσης πτερύγια τα οποία βρίσκονται στην εισαγωγή του συμπιεστή.



Συμπιεστής (Low Duty) 4 σταδίων

### 5. Θερμαντήρες εξαναγκασμένης εξάτμισης

Σε περίπτωση ανεπαρκών αναθυμιάσεων για καύση στην προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου, τα πλοία LNG είναι εξοπλισμένα με εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι προκαλούν εξαναγκασμένη εξάτμιση στο υγρό φυσικό αέριο. Οι θερμαντήρες διατηρούν την πίεση του αερίου εντός των δεξαμενών αυξάνοντας το ρυθμό των αναθυμιάσεων.



Θερμαντήρες εξαναγκασμένης εξάτμισης υγροποιημένου φυσικού αερίου



## 6. Σύστημα εποπτείας δεξαμενών

Προκειμένου να ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια η στάθμη του υγρού φυσικού αερίου εντός των δεξαμενών, χρησιμοποιούνται αισθητήρια στάθμης τύπου radar. Το σύστημα αποτελείται από τους αισθητήρες και από τη μονάδα επεξεργασίας σημάτων. Είναι σχεδιασμένο να μετρά το ύψος του υγρού ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν εντός της δεξαμενής. Το σήμα εκπέμπεται από το αισθητήριο εντός σταθερού αγωγού ο οποίος φέρει οπές ώστε να εξισορροπείται η πίεση με αυτή της δεξαμενής. Το ανακλώμενο σήμα επιστρέφει από την επιφάνεια του υγρού στον αισθητήρα. Δεδομένα που αφορούν τη βαθμονόμηση της μονάδας του ραντάρ αποθηκεύονται στη μνήμη του συστήματος και λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό της μετρούμενης στάθμης. Αυτή αποθηκεύεται στη μνήμη του συστήματος και η μέση στάθμη που αποδίδεται είναι η αριθμητική μέση τιμή των τελευταίων πέντε μετρήσεων σε διάστημα 15 δευτερολέπτων.

Διορθώσεις πραγματοποιούνται ανάλογα με τη διαγωγή του πλοίου που προκύπτει από το εγκλισιόμετρο υπολογιζόμενη από το σύστημα μέτρησης των βυθισμάτων του πλοίου ή εισάγοντας τα δεδομένα χειροκίνητα.



Αισθητήρας μέτρησης στάθμης τύπου ραντάρ



Μονάδα επεξεργασίας σήματος

Η μέτρηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με τη χρήση αισθητήριων αντίστασης. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο μειώνεται η μετρούμενη τιμή της αντίστασης. Ονομαστική αντίσταση κλίμακας 0-100 °C αντιστοιχεί σε κλίμακα 100 – 138.5 ohm. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται συμμορφώνονται με πρότυπα που απαιτούν απόκλιση 0.03 °C σε θερμοκρασία 0 °C.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ακρίβεια, κάθε αισθητήριο θερμοκρασίας βαθμονομείται. Πριν τη βαθμονόμηση όλοι οι αισθητήρες σταθεροποιούνται μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία από - 196°C έως και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι κάθε αισθητήρας ελέγχεται σε τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες -196°C , -70°C, 0°C και 100°C και εκδίδεται για κάθε αισθητήρα πιστοποιητικό βαθμονόμησης. Στη συνολική ακρίβεια του συστήματος λαμβάνονται υπόψιν μετατροπείς σημάτων, μικροεπεξεργαστές και άλλα μέρη του συστήματος.



Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας

Η μέτρηση της πίεσης πραγματοποιείται από αισθητήρες χωρητικότητας. Οι οπλισμοί είναι από χρυσό τοποθετημένοι εντός κεραμικού διαφράγματος και συνθέτουν τον πυκνωτή. Η ασκούμενη στο διάφραγμα πίεση μεταβάλλει τη χωρητικότητα του πυκνωτή και το μετρούμενο μέγεθος μετατρέπεται σε σήμα εξόδου από τον αισθητήρα. Κάθε δεξαμενή διαθέτει ένα αισθητήριο μέτρησης της πίεσης εγκατεστημένο στην κορυφή της και μόνο το κεραμικό διάφραγμα είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα της δεξαμενής.



Διάταξη αισθητήρα πίεσης

## 7. Σύστημα ανίχνευσης διαρροής αερίου

Ο κώδικας του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για την κατασκευή και εξοπλισμό πλοίων μεταφοράς αερίων, χαρακτηρίζει ως επικίνδυνες ζώνες τα ακόλουθα:

Χώροι στο ανοιχτό κατάστρωμα έως και 3.0 μέτρα από οποιοδήποτε στόμιο εκροής δεξαμενών, σωληνώσεων, επιστομίων του φορτίου καθώς και από εισόδους και ανοίγματα αερισμού για τους χώρους όπου εγκλείονται οι συμπιεστές του αερίου.

Χώροι στο ανοιχτό κατάστρωμα πάνω από την περιοχή του φορτίου και έως και 3.0 μέτρα εμπρός και πίσω από αυτή.

Όλο το δίκτυο των αγωγών του φορτίου και των δεξαμενών του.

Υπάρχουν δύο ανεξάρτητα συστήματα εποπτείας για την ανίχνευση ύπαρξης αερίου στους χώρους του πλοίου. Το ένα είναι μόνιμο και ελέγχει τους χώρους που είναι χαρακτηρισμένοι ως επικίνδυνες ζώνες ύπαρξης αερίου και το άλλο για τις μη επικίνδυνες.

Σε περίπτωση ανίχνευσης διαρροής αερίου σε κάποιο από τα σημεία δειγματοληψίας, ενεργοποιείται οπτικοακουστικός συναγερμός. Το σύστημα αποτελείται από πίνακα ελέγχου και αισθητήρες ανίχνευσης ύπαρξης μεθανίου στο εισαγόμενο δείγμα με τη χρήση υπερύθρων. Αέριο δείγμα αναρροφάται από 29 σημεία από την αντλία που βρίσκεται εντός του πίνακα ελέγχου και μετράται σε επί τοις εκατό ποσοστό το όριο χαμηλής εκρηκτικότητας του δείγματος.



Αισθητήρας ανίχνευσης μεθανίου σε αέριο δείγμα

## 8. Σύστημα επιστομίων απομακρυσμένου ελέγχου

Όλα τα επιστόμια που είναι απαραίτητα για τη διαχείριση του φορτίου και του έρματος κινούνται υδραυλικά.

Η υδραυλική μονάδα αποτελείται από δύο κύριες αντλίες και μία αντλία πλήρωσης και δημιουργεί πίεση στο δίκτυο των υδραυλικών επιστομίων περί τα 120 bar για την ενεργοποίησή τους. Κάθε αντλία επαρκεί να κινήσει τα επιστόμια που βρίσκονται στους βραχίονες για την φόρτωση και εκφόρτωση του πλοίου εντός 30 δευτερολέπτων. Η αντλία πλήρωσης είναι σχεδιασμένη να διατηρεί σταθερή την πίεση στο σύστημα όταν τα επιστόμια δεν λειτουργούν.

Στη διάταξη περιλαμβάνονται:

- Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που λαμβάνουν ηλεκτρικό σήμα από το κέντρο ελέγχου και κατευθύνουν το υδραυλικό έλαιο στον ενεργοποιητή του αντίστοιχου επιστομίου.
- Μειωτήρα ροής ώστε να ελέγχεται η ταχύτητα με την οποία κινείται το επιστόμιο, ρυθμίζοντας τη ροή του υδραυλικού ελαίου.

Τα επιστόμια είναι είτε δύο θέσεων (ανοιχτό-κλειστό), είτε πολλαπλών (ενδιάμεσων). Στην πρώτη περίπτωση δεν είναι απαραίτητο να παραμένει ενεργοποιημένη η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μέχρι το επιστόμιο να ολοκληρώσει τη διαδρομή. Προκειμένου να ελέγχεται η θέση, ο ενεργοποιητής του κάθε επιστομίου είναι εφοδιασμένος με διακόπτες στα δύο ακραία σημεία της διαδρομής του για τη θέση πλήρως ανοιχτό και πλήρως κλειστό.

Στην περίπτωση επιστομίου ενδιάμεσων θέσεων, όσο η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα παραμένει ενεργοποιημένη, το επιστόμιο κινείται. Ο ενεργοποιητής είναι εφοδιασμένος με ποτενσιόμετρο για τις ενδιάμεσες θέσεις και με διακόπτες για τις ακριανές όπως στην πρώτη περίπτωση. Το σήμα της μεταβλητής αντίστασης από το ποτενσιόμετρο, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό, 4-20 mA ώστε να ενημερώνεται ο χειριστής.



Επιστόμιο απομακρυσμένου ελέγχου

## 9. Σύστημα έκτακτης διακοπής λειτουργίας

Τα πλοία και οι τερματικοί σταθμοί υγροποιημένου φυσικού αερίου, είναι εφοδιασμένοι με συστήματα τα οποία σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης διακόπτουν τη λειτουργία των μηχανημάτων που εμπλέκονται στις διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Η ενεργοποίησή τους γίνεται είτε χειροκίνητα από σταθμούς που βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία στο πλοίο, είτε αυτόματα από τους εξής μηχανισμούς:

- Αισθητήρες τήξεως που λιώνουν σε θερμοκρασίες μεταξύ 98-104 °C
- Αισθητήρες υπέρβασης του ορίου στάθμης υγρού στις δεξαμενές
- Αισθητήρες μέτρησης της πίεσης των δεξαμενών.

Για λόγους ασφαλείας είναι απαραίτητη η επικοινωνία των συστημάτων έκτακτης διακοπής πλοίου και τερματικού σταθμού. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με οπτική ίνα, με πνευματικούς συνδέσμους ή ηλεκτρικά.



Σταθμός χειροκίνητης ενεργοποίησης συστήματος έκτακτης διακοπής

## 10. Μονάδα καύσεως αερίου (Gas Combustion Unit)

Τα πλοία με προωστήρια εγκατάσταση διάταξη ηλεκτροπρόωσης, προκειμένου να ελέγχουν την πίεση του αερίου εντός των δεξαμενών όταν οι απαιτήσεις για κατανάλωση είναι χαμηλές, διαθέτουν μονάδα καύσεως αερίου.

Στις εγκαταστάσεις αμοστροβίλου, αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας την αμοπαγωγή στους λέβητες και η περίσσεια ατμού που δεν καταναλώνεται απορρίπτεται στο κύριο ψυγείο (dumping).

Η αρχή λειτουργίας της μονάδας στηρίζεται σε αυτή ενός αμολέβητα με τη διαφορά ότι η παραγόμενη θερμότητα απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα, χωρίς να είναι εκμεταλλεύσιμη. Έτσι η μονάδα αποτελείται από καυστήρα διπλού καυσίμου, θάλαμο καύσεως, αντλία πετρελαίου για πιλοτική έγχυση, ανεμιστήρες τροφοδότησης καυσιγόνου αέρα και ανεμιστήρες απαγωγής καυσαερίων. [8]



Μονάδα καύσης αερίου πριν την εγκατάσταση στο χώρο μηχανοστασίου

### 3.5 Συστήματα πρόωσης

Οι προωστήριες 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 χρησιμοποιείται στην ναυτιλία σήμερα είναι ο κινητήρας Diesel . Ο κινητήρας Diesel διακρίνεται σε τετράχρονος και δίχρονος. Ο κύκλος λειτουργίας του είναι: Εισαγωγή, Συμπίεση, 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. *Συμπίεση.* 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. [11]

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (ή MEK) 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 αμοστροβίλος. Τα κύρια μέρη ενός αμοστροβίλου είναι η τροφοδοτική αντλία, ο λέβητας, ο αμοστροβίλος 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 αμοστροβίλο, διοχετεύεται ο παραγόμενος ατμός, εκτονώνεται και δίνει κίνηση στα περύγια 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.

Συνήθως, αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο το βαρύ πετρέλαιο(HFO) και αποστάγματά 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 τις μηχανές τους με αυτό και να το καταναλώνουν. [12]

Βασική προϋπόθεση για την εκλογή του συστήματος πρόωσης στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου με γνώμονα πάντα την ασφάλεια, είναι η ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται τις εκλυόμενες αναθυμιάσεις του φορτίου με τρόπο που να το καθιστά εμπορικά ανταγωνιστικό.





## 1. Ατμοστρόβιλοι

Οι ατμοστρόβιλοι ανήκουν στην κατηγορία των θερμικών κινητήριων μηχανών ή θερμοκινητήρες. Συγκαταλέγονται στις μηχανές εξωτερικής καύσεως και αποτελούνται από δύο βασικά μέρη. Το μέρος όπου συντελείται η καύση και παράγεται η θερμότητα, δηλαδή τον ατμολέβητα και το μέρος όπου η θερμότητα μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, δηλαδή το στρόβιλο.

Η διάταξη της εγκατάστασης πρόωσης ατμοστρόβιλου, περιλαμβάνει τον ατμολέβητα, τον ατμαγωγό κεκορεσμένου ατμού, τον υπερθερμαντήρα, τον ατμαγωγό υπέρθερμου ατμού, τον ατμοστρόβιλο υψηλής πίεσης, τον ατμοστρόβιλο χαμηλής πίεσης, τον εξατμιστικό αγωγό, τον συμπυκνωτή, την αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ψύξεως, την αντλία συμπυκνώματος, την εξαεριστική δεξαμενή, την τροφοδοτική αντλία, τον προθερμαντήρα και τον οικονομητήρα.

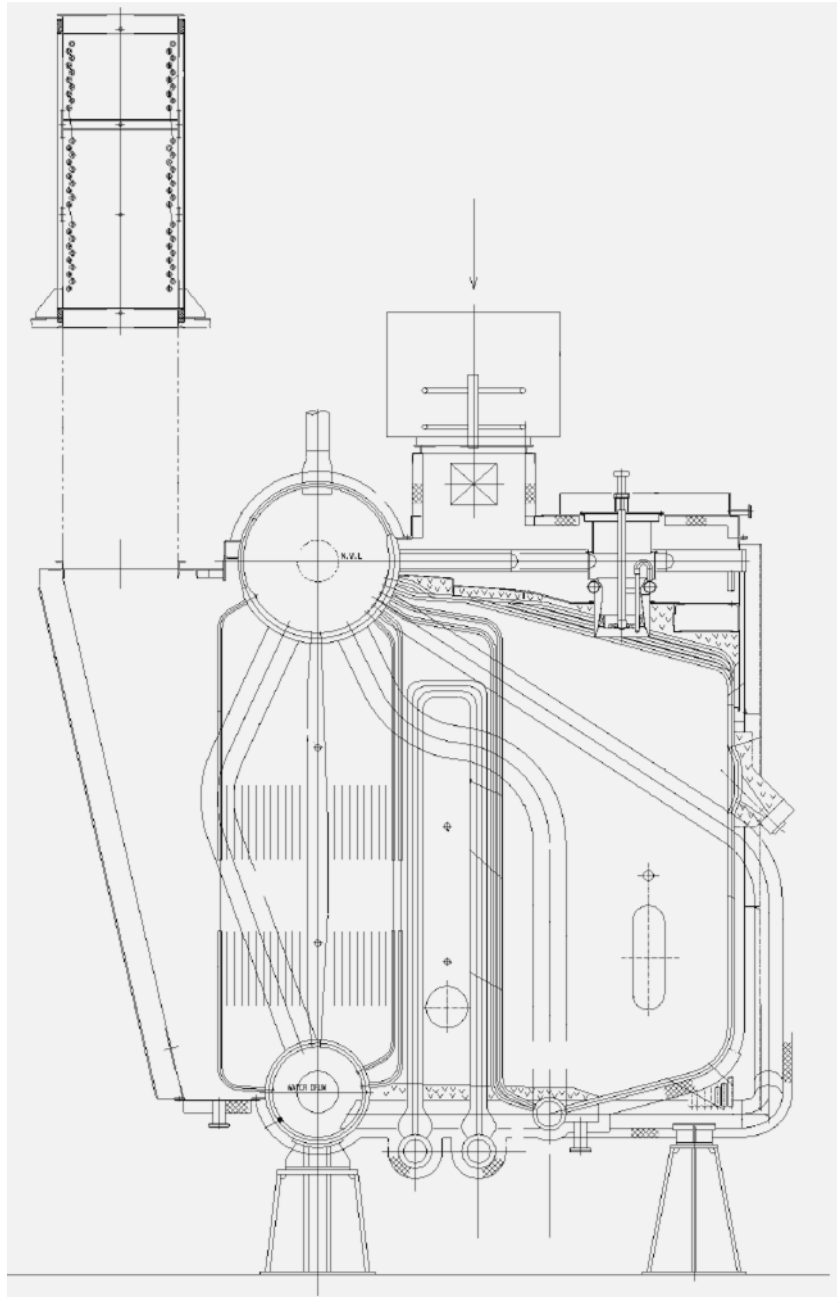
Οι ατμοστρόβιλοι ως προωστήριες εγκαταστάσεις και ηλεκτροπαραγωγές μονάδες, χρησιμοποιούνται στα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, λόγω της δυνατότητας καύσης των αναθυμιάσεων του φορτίου εντός των λεβήτων για την παραγωγή ενέργειας και τη διαχείριση της πίεσης του χώρου των δεξαμενών.

### Κύριος ατμολέβητας

Ο κύριος ατμολέβητας είναι τύπου “D” με δυνατότητα παραγωγής υπέρθερμου ατμού μέχρι και 61.500 kg/h, πίεσης 61,5 kg/cm<sup>2</sup> και θερμοκρασίας 515°C.

Αποτελείται από έναν ατμοϋδροθάλαμο και έναν υδροθάλαμο οι οποίοι συγκοινωνούν μεταξύ τους με συστοιχία κεκλιμένων αυλών. Η εστία στην οποία επιτελείται η καύση περιλαμβάνει τους καυστήρες πετρελαίου και αερίου.

Προκειμένου να διατηρείται η πίεση του παραγόμενου ατμού στα επιθυμητά επίπεδα, η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με μονάδα αυτομάτου ελέγχου καύσης η οποία είναι ενσωματωμένη στο κέντρο ελέγχου του μηχανοστασίου. Η μονάδα ρυθμίζει την παροχή του καυσίμου και του καυσιγόνου αέρα, ελέγχοντας τα περύγια στην αναρρόφηση του ανεμιστήρα τεχνητού ελκυσμού καθώς και τα επιστόμια του δικτύου καυσίμου.



Σκαριφηματική αναπαράσταση λέβητα τύπου “D”

Όταν υπάρχει ζήτηση ισχύος, ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται στον υπερθερμαντήρα από το ανώτερο τμήμα του θαλάμου. Η απομάκρυνση του ατμού μειώνει την πίεση με αποτέλεσμα να ατμοποιηθεί ένα τμήμα του νερού που περιέχεται στον ατμοϋδροθάλαμο. Η αναγκαία για την ατμοποίηση θερμότητα αποδίδεται ξανά στο νερό μέσω των αυλών του λέβητα, οι οποίοι επίσης απολήγουν στον ατμοϋδροθάλαμο. Έτσι, ο ατμοϋδροθάλαμος αποτελεί το σημείο αναμείξεως δύο κυκλοφοριών: μιας εσωτερικά στο λέβητα για τη μεταφορά ενέργειας από τα καυσάερια στο νερό και μιας δια μέσου του λέβητα για τη μετατροπή του νερού τροφοδοσίας σε ατμό.



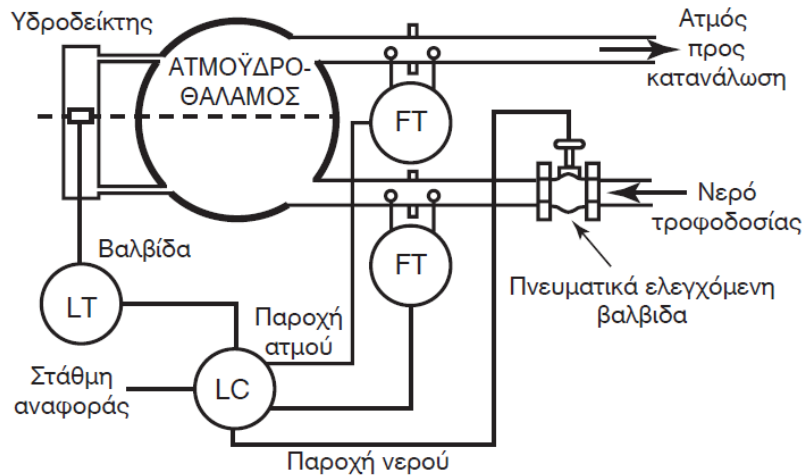
Για να επιτελεί τη λειτουργία του διαχωρισμού ο ατμοθάλαμος πρέπει να διατηρεί συνεχώς τη στάθμη του νερού σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο. Η ενδιάμεση αυτή στάθμη αντιστοιχεί στο μέσο του δοχείου ή γενικότερα σε κάποιο σημείο της γεωμετρίας του θαλάμου όπου η διαχωριστική επιφάνεια ατμού-νερού να είναι η μέγιστη δυνατή, έτσι ώστε να διευκολύνεται η γρήγορη αλλαγή φάσεως του νερού και επομένως η ταχεία αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας.

Εάν η στάθμη του νερού ανέβει υπερβολικά, υπάρχει ο κίνδυνος διοχετεύσεως υγρού στον υπερθερμαντήρα και στην κατανάλωση με αποτέλεσμα ανεπαρκή λειτουργία του υπερθερμαντήρα και ενδεχόμενες καταστρεπτικές συνέπειες στα ατμοκίνητα μηχανήματα. Εάν η στάθμη του νερού πέσει υπερβολικά, υπάρχει ο κίνδυνος κυκλοφορίας αερίου στους αυλούς του λέβητα με συνέπεια αναποτελεσματική μεταφορά θερμότητας ή και υπέρμετρη θερμική καταπόνηση και ζημιά στα στοιχεία ανταλλαγής θερμότητας του ατμοπαραγωγού. Επομένως η διατήρηση σταθερής στάθμης στο ατμοϋδροθάλαμο συμβάλλει:

- Στην αποδοτική εκμετάλλευση του λέβητα, με επίπτωση όχι μόνο στο χαμηλότερο κόστος καυσίμου, αλλά και στον περιορισμό της περιβαλλοντικής επιβαρύνσεως από τις εκπομπές καυσαερίων.
- Στην ασφαλή λειτουργία και τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

Το πνευματικό σύστημα ελέγχου της στάθμης του νερού στον ατμοϋδροθάλαμο περιλαμβάνει τα εξής:

- Αισθητήριο στάθμης. Πρόκειται για αναλογικό στοιχείο πίεσεως αέρα που συνδέεται μηχανικά στον πλωτήρα ενός υδροδείκτη. Η στήλη του υδροδείκτη συνδέεται υδραυλικά παράλληλα με τον ατμοϋδροθάλαμο και μεταφέρει τη θερμική κατάσταση του νερού και του ατμού χωρίς τις διαταραχές της στάθμης λόγω ατμοποίησης.
- Αισθητήρια παροχής όγκου του ατμού και του νερού. Συνήθως τα όργανα αυτά μετρούν την πτώση πίεσεως στις δύο πλευρές μιας ειδικά διαμορφωμένης στενώσεως. Η πτώση πίεσεως μετατρέπεται μηχανικά σε παροχή και μεταδίδεται στην έξοδο του οργάνου ως πίεση αέρα.
- Πνευματικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρυθμίσεως της παροχής του νερού τροφοδοσίας. Η βαλβίδα μετατρέπει το σήμα πίεσεως αέρα σε μετακίνηση της θέσεως ενός διαφράγματος που στραγγαλίζει ή απελευθερώνει τη ροή του νερού το οποίο προσάγει η καταθλιπτική αντλία τροφοδοσίας.
- Ελεγκτή στάθμης, ο οποίος εφαρμόζει το νόμο ελέγχου με στόχο τη διατήρηση της στάθμης στην επιθυμητή τιμή (στάθμη αναφοράς). [13]



*Πνευματικό σύστημα ελέγχου της στάθμης.*

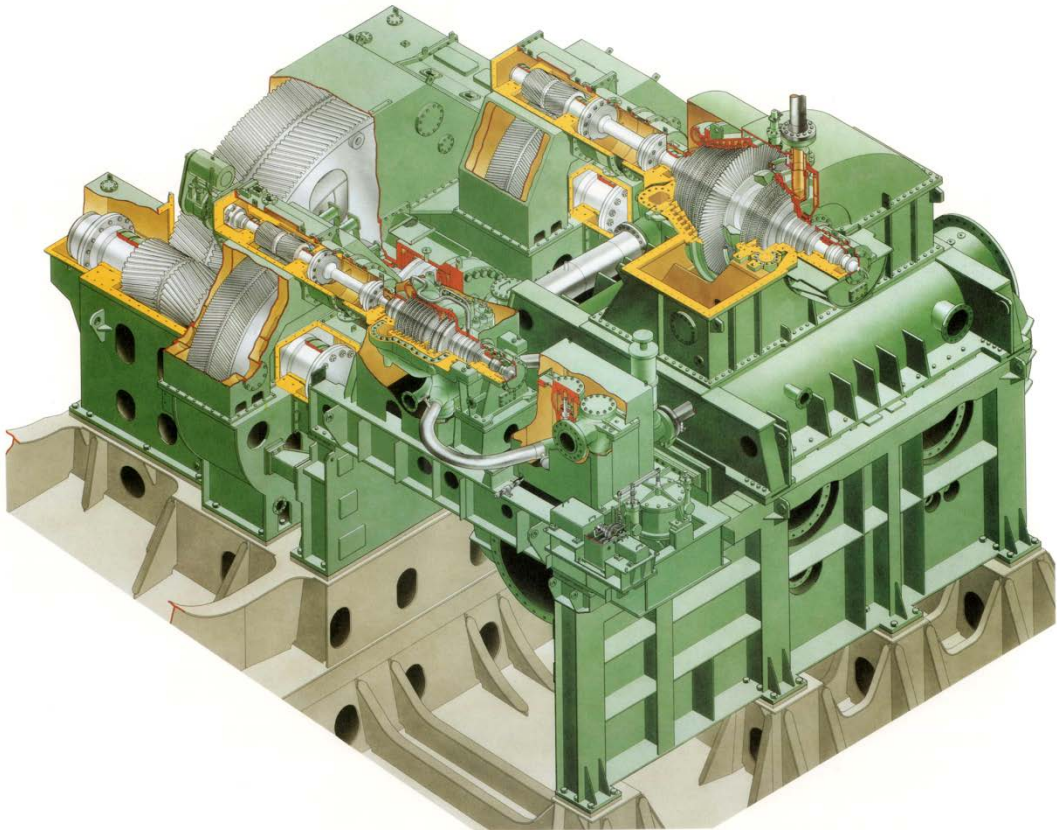
### **Ατμοστρόβιλος**

Η μονάδα προώσεως αποτελείται από έναν στρόβιλο δέκα σταδίων, υψηλής πίεσης, έναν οκτώ σταδίων χαμηλής πίεσης συνδυασμένο με στρόβιλο αναπόδισης, επιστόμιο ελιγμών, κύριο συμπυκνωτή και μειωτήρα στροφών. Η αποδιδόμενη ισχύς από τους στρόβιλους ελέγχεται από το επιστόμιο ελιγμών το οποίο κινείται από υδραυλικό σερβομηχανισμό.

Κατά τον πρόσω ελιγμό, υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στον υψηλής πίεσης στρόβιλο δια μέσω του επιστομίου ελιγμών και κατά την έξοδό του εισέρχεται στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Από εκεί καταλήγει στον κύριο συμπυκνωτή.

Κατά τον ελιγμό ανάποδα ο υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο αναπόδισης ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον χαμηλής πίεσης και από εκεί καταλήγει στον κύριο συμπυκνωτή.

Οι στροφές του έλικα ελέγχονται από το σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου που βρίσκεται στη γέφυρα και το κέντρο ελέγχου μηχανοστασίου αλλά και τοπικά μεταβάλλοντας τη θέση του επιστομίου ελιγμών.



Διάταξη αμοστροβίλου Υψηλής - Χαμηλής πίεσης και μειωτήρα στροφών

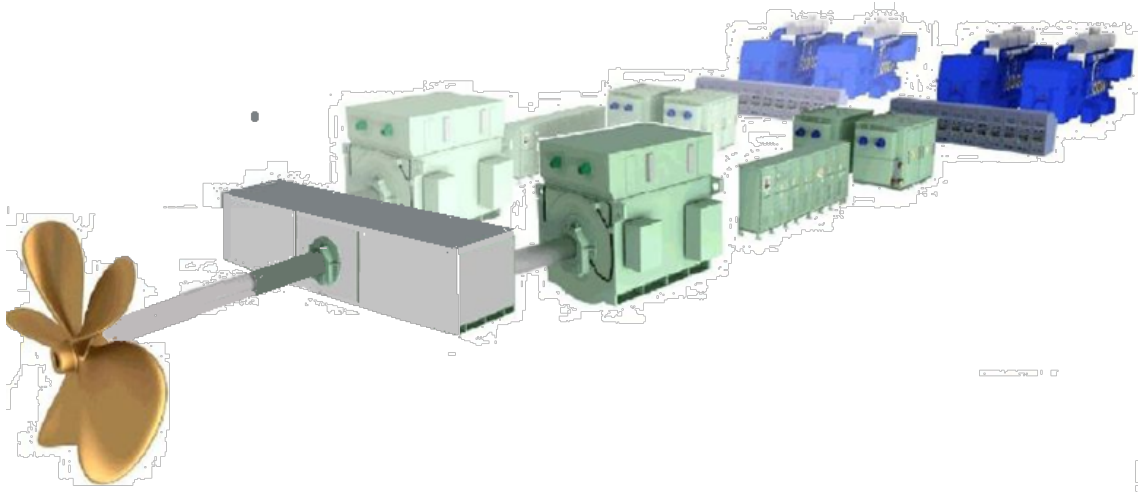
## 2. Ηλεκτροπρόωση

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης που με την πάροδο των χρόνων έχουν καθιερωθεί στη ναυτιλία είναι οι δίχρονες ή τετράχρονες πετρελαιομηχανές, υπερπληρούμενες στο σύνολό τους. Χρησιμοποιούνται για την πρόωση και την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των μηχανημάτων του πλοίου. Στα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, έχουν καθιερωθεί διατάξεις ηλεκτροπρόωσης λόγω της δυνατότητας της καύσης των αναθυμιάσεων του φορτίου από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (κινητήρας-γεννήτρια).

Η διάταξη της εγκατάστασης ηλεκτροπρόωσης, περιλαμβάνει τέσσερις τετράχρονες εννιάκύλινδρες ηλεκτρομηχανές, 9.000 kW η καθεμία σε διάταξη κυλίνδρων σε σειρά, οι οποίες παράγουν ρεύμα τάσης 6.600 V και τροφοδοτούν δύο ηλεκτρικούς ασύγχρονους κινητήρες για την πρόωση του πλοίου.

Οι ηλεκτρομηχανές μπορούν να είναι και διάταξης κυλίνδρων τύπου V. Σε αυτή την περίπτωση η εγκατάσταση αποτελείται από δύο τετράχρονες δωδεκακύλινδρες ηλεκτρομηχανές τύπου V, 11.700 kW η καθεμία και δύο τετράχρονες οκτακύλινδρες, 7.800 kW η καθεμία.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες περιστρέφουν την έλικα μέσω μειωτήρα στροφών.



Διάταξη εγκατάστασης ηλεκτροπρόωσης



Ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης

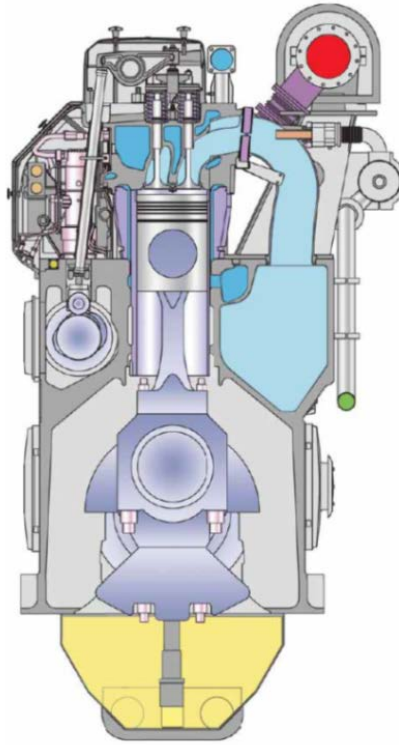


Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη αποτελούνται από τον κινητήρα (Μ.ΕΚ) και τη γεννήτρια. Ο κινητήρας είναι εξοπλισμένος με ενιαίο σύστημα αυτομάτου ελέγχου της κατασκευάστριας εταιρίας. Το σύστημα αυτό είναι ενσωματωμένο, αποτελούμενο από ανεξάρτητες μονάδες που συνιστούν τμήμα της όλης δομής, για την εποπτεία και τον έλεγχο, κατασκευασμένο να αντέχει σε διάφορες θερμοκρασίες και κραδασμούς.

Το σύστημα ελέγχει και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τοπικό περιβάλλον εργασίας για το χειριστή που περιλαμβάνει, τοπική απεικόνιση όλων των απαραίτητων μετρήσεων της μηχανής, ωρομετρητή και τοπικό πίνακα ελέγχου.
- Βασική προστασία του κινητήρα:
  - Πλήρως καλωδιωμένη προστασία για:
    - Υπερτάχυνση της μηχανής
    - Πίεση του λιπαντικού ελαίου
    - Θερμοκρασία νερού ψύξης
  - Διακοπή λειτουργίας
  - Κράτηση του κινητήρα σε έκτακτη ανάγκη
  - Συναγερμοί
  - Ελάττωση του φορτίου του κινητήρα
- Υψηλών επιδόσεων ηλεκτρονικούς ελεγκτές ταχύτητας και φορτίου
- Διαχείριση της εκκίνησης και της κράτησης της μηχανής
- Πλήρη διαγνωστικά εργαλεία και ολοκληρωμένους ελέγχους ρουτίνας
- Τεχνολογία ηλεκτρονικά ελεγχόμενης έγχυσης καυσίμου.
- Διαχείριση καυσίμου για τη λειτουργία σε αέριο (gas mode), πετρέλαιο (diesel mode) και την εφεδρική λειτουργία (backup mode).

Το σύστημα χρησιμοποιεί σύγχρονες τεχνολογίες διαύλων για την ασφαλή μετάδοση των σημάτων των αισθητήρων.

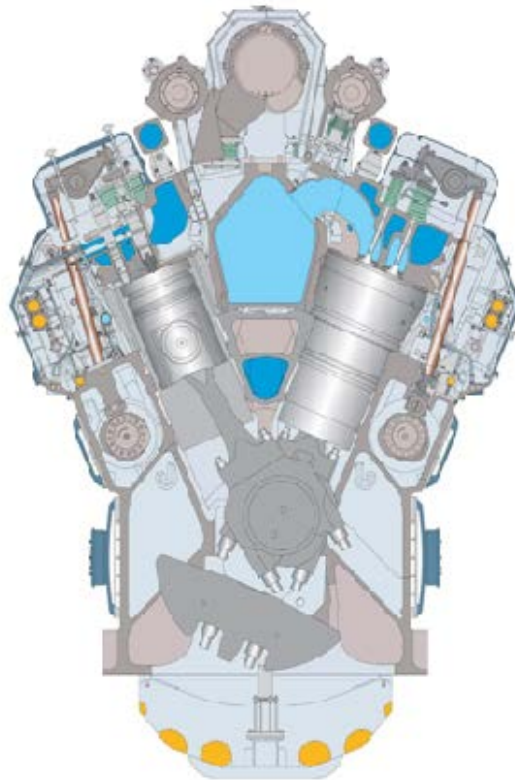


Κύρια 9-κύλινδρη ηλεκτρομηχανή σε τομή

Το ενιαίο σύστημα αυτομάτου ελέγχου περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τοπικό πίνακα ελέγχου τοποθετημένος εμπρός από τη μηχανή ο οποίος διαθέτει ηλεκτροδιακόπτες για τον τοπικό χειρισμό, και γραφικές απεικονίσεις μονάδων για την ανάγνωση των σημαντικότερων παραμέτρων του κινητήρα. Όλοι οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με το σύστημα αυτοματισμών και οι πληροφορίες που στέλνουν απεικονίζονται σε αυτό τον πίνακα.
- Κύρια μονάδα ελέγχου, η οποία διαχειρίζεται την εκκίνηση και την κράτηση του κινητήρα, την ταχύτητα περιστροφής, τα φορτία και τις λειτουργίες ασφαλείας.
- Μονάδα ελέγχου για την προστασία της μηχανής.
- Μονάδα διανομής ενέργειας που διαχειρίζεται το ηλεκτρικό ρεύμα που τροφοδοτεί τον κινητήρα.
- Μονάδες εισόδου και εξόδου, οι οποίες διαχειρίζονται τις μετρήσεις από τους αισθητήρες
- Μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων, που διαχειρίζεται την έγχυση του καυσίμου και την καύση μέσα στον θάλαμο ανά πλήθος τριών κυλίνδρων.
- Αισθητήρες
- Επιστόμια
- Εγχυτήρες καυσίμου





Κύρια 12-κύλινδρη ηλεκτρομηχανή σε τομή

### *Κύρια μονάδα ελέγχου*

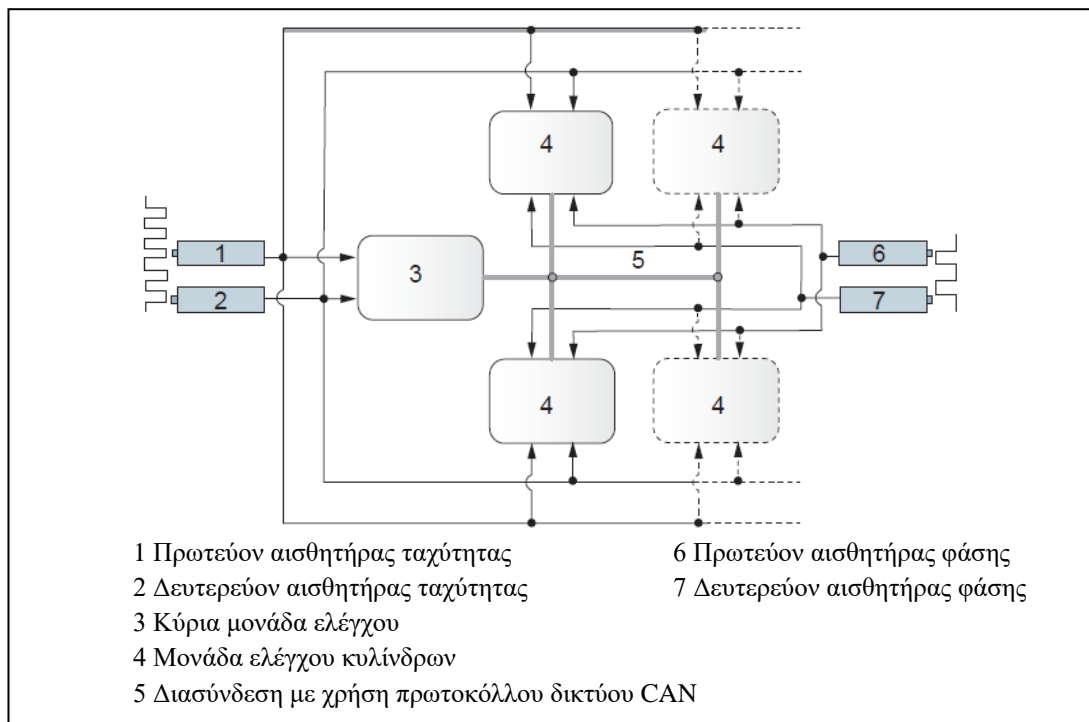
Η κύρια μονάδα ελέγχου είναι μία ευέλικτη μονάδα διαχείρισης δεδομένων, αποτελούμενη από μικροεπεξεργαστές. Διαθέτει διάφορα κανάλια αναλογικής και ψηφιακής μέτρησης (είσοδοι) καθώς και πληθώρα αναλογικών και δυαδικών εξόδων. Η κύρια εργασία που επιτελεί, είναι ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.

Ο ελεγκτής της ταχύτητας της μηχανής είναι πλήρως ενσωματωμένος στην κύρια μονάδα ελέγχου. Προκειμένου να εξασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία του ακόμη και στην περίπτωση αποτυχίας του ενός αισθητήρα ταχύτητας, χρησιμοποιεί και τους δύο αισθητήρες σε παράλληλη λειτουργία. Στον αλγόριθμο του ελέγχου της ταχύτητας, η επιθυμητή τιμή συγκρίνεται με τη μετρούμενη και η διαφορά τους αποτελεί την είσοδο του PID ελεγκτή. Η έξοδος από την κύρια μονάδα ελέγχου καθορίζει την απαιτούμενη θέση του ρυθμιστή στροφών του κινητήρα. Στη λειτουργία αερίου καυσίμου (gas mode), η απαιτούμενη διάρκεια έγχυσης υπολογίζεται και στέλνεται στη μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων.

Η μέτρηση της ταχύτητας είναι μία από τις πιο κρίσιμες μετρήσεις για τον κινητήρα. Χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων, για τη ρύθμιση της τροφοδοσίας καυσίμου ώστε να επιτυγχάνεται σταθερή λειτουργία της μηχανής.

Καθώς ο κύκλος λειτουργίας μίας τετράχρονης μηχανής αποτελείται από δύο πλήρεις περιστροφές του σφονδύλου (βολάν), οι αισθητήρες ταχύτητας δεν είναι αρκετοί για να μετρήσουν τη θέση (το χρόνο) που βρίσκεται ο κινητήρας σε δεδομένη στιγμή. Γι αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται και αισθητήρες για τον προσδιορισμό της φάσης μέσω ενός ημικυκλικού δίσκου στο άκρο του εκκεντροφόρου. Για τη μέτρηση της ταχύτητας, η κύρια μονάδα ελέγχου δεν χρησιμοποιεί τις μετρήσεις των αισθητήρων φάσης. Αυτοί, μαζί με τους αισθητήρες ταχύτητας χρησιμοποιούνται από τη μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων, για τον υπολογισμό του χρόνου έγχυσης του καυσίμου. Έτσι οι αισθητήρες ταχύτητας είναι συνδεδεμένοι και με τις δύο μονάδες, ενώ της φάσης συνδέονται μόνο με τη μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων.

Επάνω στο σφόνδυλο υπάρχει συγκεκριμένος αριθμών οπών. Η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής μετρείται, χωρίζοντας το πλήθος των οπών αυτών σε ίσα τμήματα συγκεκριμένου μήκους. Ο χρόνος της περιστροφής μετράται για κάθε τμήμα και επειδή η γωνία περιστροφής είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα.



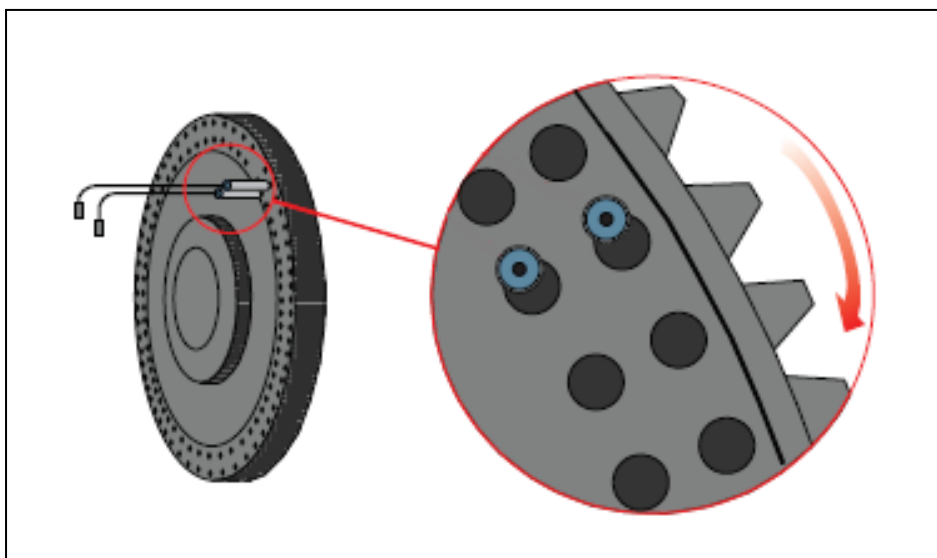
Απεικόνιση της διανομής σημάτων των αισθητήρων ταχύτητας και φάσης

Οι αισθητήρες παρέχουν μέτρηση με τη χρήση παλμών μέσα από τις οπές του σφονδύλου. Χρησιμοποιούνται επαγωγικοί αισθητήρες εγγύτητας τύπου-PNP, στους οποίους τροφοδοτείται συνεχές ρεύμα τάσης 24 V. Η έξοδός τους είναι μία αλληλουχία παλμών η τάση της οποίας παίρνει δύο τιμές, 0 V και 24 V.

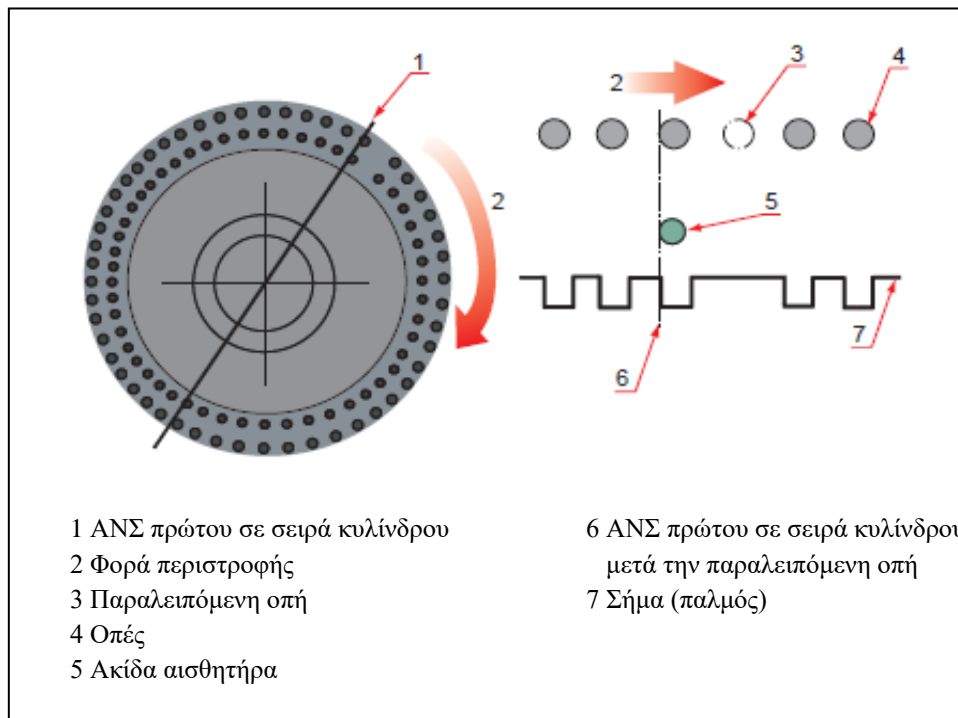


Αισθητήρας μέτρησης της ταχύτητας

Καθώς είναι απαραίτητος ο ακριβής προσδιορισμός της γωνιακής θέσης που βρίσκεται σε δεδομένη στιγμή ο σφόνδυλος, έχει παραληφθεί μία οπή ώστε η αλληλουχία των παλμών να διακόπτεται σε εκείνο το σημείο, κατά την πλήρη περιστροφή. Η θέση της παραλειπόμενης οπής είναι σε τέτοιο σημείο που η οπή που ακολουθεί να αντιστοιχεί στο Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) του πρώτου σε σειρά κυλίνδρου.



Θέση αισθητήρων ταχύτητας επάνω στο σφόνδυλο



Απεικόνιση αλληλουχίας παλμών

### Μονάδα ελέγχου για την προστασία της μηχανής

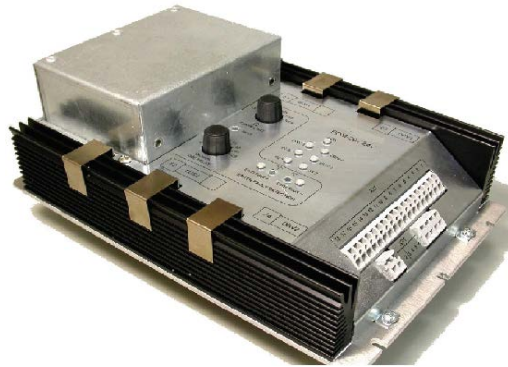
Προκειμένου να προστατεύεται ο κινητήρας από ζημιές που μπορεί να προκληθούν από συγκεκριμένες, είναι εξοπλισμένος με ξεχωριστή μονάδα ελέγχου που επιτηρεί συγκεκριμένες ενδεχόμενες δυσλειτουργίες, όπως είναι η υπερτάχυνση, η πτώση της πίεσης του λιπαντελαίου και η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως.

Η μονάδα διαθέτει ξεχωριστό αναλογικό αισθητήρα πίεσης του λιπαντικού ελαίου και διακόπτει τη λειτουργία της μηχανής όταν η πίεση είναι χαμηλή.

Η μονάδα διαθέτει ξεχωριστό αισθητήρα θερμοκρασίας του νερού ψύξεως και διακόπτει τη λειτουργία της μηχανής όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή.

### *Μονάδα διανομής ενέργειας*

Σκοπός της είναι να τροφοδοτεί με ηλεκτρικό ρεύμα όλο τον ηλεκτρικό εξοπλισμό του κινητήρα, να προστατεύει από μεταβολές της τάσης, αντιστροφή πολικότητας, βραχυκυκλώσεις και να επιτηρεί για σφάλματα γείωσης.



### *Μονάδες εισόδου και εξόδου*

Ο κεντρικός επεξεργαστής της μονάδα εισόδου/εξόδου, εκτελεί διαγνωστικούς ελέγχους στην ακεραιότητα του συστήματος καθώς και επεξεργασία σημάτων. Χρησιμοποιείται ως παραλήπτης δεδομένων από αναλογικά και δυαδικά σήματα.



### *Μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων*

Ο έλεγχος της έγχυσης του καυσίμου και μετρήσεις που αφορούν το θάλαμο καύσης επιτελούνται από τη μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων. Είναι μία ευέλικτη μονάδα διαχείρισης δεδομένων, αποτελούμενη από μικροεπεξεργαστές. Διαθέτει διάφορα κανάλια αναλογικής και ψηφιακής μέτρησης (είσοδοι) καθώς και πληθώρα αναλογικών και δυαδικών εξόδων. Επικοινωνεί με άλλες μονάδες ελέγχου με χρήση πρωτοκόλλου δικτύου CAN.

Προκειμένου να στέλνει σήμα εντολής για την έγχυση στο σωστό χρόνο, η μονάδα χρειάζεται ακριβείς πληροφορίες για την ταχύτητα περιστροφής και τη γωνιακή

θέση του κινητήρα. Αισθητήρες πίεσης του θαλάμου καύσης, θερμοκρασίας καυσαερίων καθώς και αισθητήρες κτυπήματος από μετακαύσεις συνδέονται με τη μονάδα και οι πληροφορίες αποστέλλονται και στην κύρια.

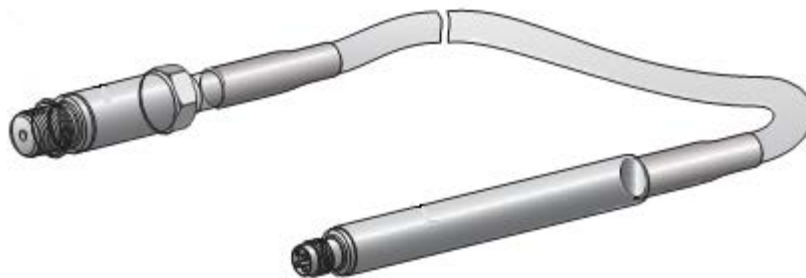
### *Αισθητήρες κτυπήματος από μετακαύσεις*

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε αέριο καύσιμο (gas mode), η αποτελεσματικότητα της καύσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από την ποιότητα καυσίμου και τη θερμοκρασία του αέρα πλήρωσης. Σε περίπτωση που κάποιος από αυτούς του παράγοντες ξεπεράσει συγκεκριμένα όρια, μπορεί να προκύψει κτύπημα (knocking) εντός του κυλίνδρου. Το κτύπημα είναι ανεξέλεγκτες καύσης με διάφορα μέτωπα φωτιάς μέσα στο θάλαμο που προκαλεί κύματα πίεσης.

Η μέτρηση των κτυπημάτων γίνεται με σήματα από πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσίμετρα και από μετρούμενες συχνότητες από τους αισθητήρες πίεσης. Τα επιταχυνσίμετρα και οι αισθητήρες πίεσης μετρούν ταυτόχρονα αλλά τα πρώτα χρησιμοποιούνται και ως εφεδρικά σε περίπτωση που αποτύχουν τα δεύτερα.



Επιταχυνσίμετρο πιεζοηλεκτρισμού



Αισθητήρας μέτρησης της πίεσης εντός του κυλίνδρου (πίεση καύσης)

### *Ισορρόπηση κυλίνδρων*

Ο χρόνος που η βαλβίδα κατάθλιψης αερίου στον κύλινδρο θα μείνει ανοιχτή, ώστε να ελέγχεται η ποσότητα του τροφοδοτούμενου καυσίμου, καθορίζεται για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά από τη Μονάδα ελέγχου των κυλίνδρων.

Η ισορρόπηση των κυλίνδρων επιτυγχάνεται είτε μέσω της πίεσης καύσης στον κάθε κύλινδρο, είτε μέσω των κτυπημάτων, είτε μέσω της θερμοκρασίας καυσαερίων.

### *Αυτόματα επιστόμια ρύθμισης θερμοκρασίας*

Σε όλα τα δίκτυα σωληνώσεων ρευστού που χρησιμοποιείται για την ψύξη ή τη λίπανση του κινητήρα είναι απαραίτητη η τοποθέτηση εναλλάκτη θερμότητας.

Προκειμένου να διατηρούνται οι επιθυμητές θερμοκρασίες του ρευστού σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή της μηχανής, είναι εγκατεστημένα αυτόματα επιστόμια τα οποία ρυθμίζουν την κατεύθυνση του ρευστού είτε προς τον εναλλάκτη (ψυγείο), είτε προς τον κινητήρα, παρακάμπτοντας τη διαδικασία της ψύξης.

Το σύστημα αποτελείται από τον αισθητήρα θερμοκρασίας, τον ελεγκτή PID και το επιστόμιο με τον ηλεκτρικό ενεργοποιητή.



Διάταξη ρυθμιστή θερμοκρασίας

Ο ενεργοποιητής κινείται από έναν επαγωγικό ηλεκτρικό κινητήρα μέσω αλυσίδας διπλής οδόντωσης. Περιλαμβάνει χειροκίνητη λειτουργία σε περίπτωση απώλειας ηλεκτρικής ισχύος και αυτόματη απεμπλοκή της με την επαναφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο ηλεκτροκινητήρας διαθέτει ενσωματωμένο διμεταλλικό διακόπτη ώστε να απομονώνεται η τροφοδότηση εάν η εσωτερική θερμοκρασία του ενεργοποιητή ξεπεράσει τους 150°C. Ακόμη διατίθενται διακόπτες προστασίας που παύουν την



παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στην περίπτωση που ο ενεργοποιητής φτάσει στα προκαθορισμένα όρια διαδρομής του.

### *Σύστημα ανίχνευσης νέφους ελαίου στο στροφαλοθάλαμο*

Προκειμένου να προστατεύεται ο κινητήρας από τις καταστροφικές συνέπειες της έκρηξης λόγω ενδεχόμενης αυτανάφλεξης νέφους ελαίου στο στροφαλοθάλαμο, είναι εφοδιασμένος με το κατάλληλο σύστημα ανίχνευσης. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει από ασφαλή απόσταση ελέγχου, όπως το κέντρο ελέγχου μηχανοστασίου (Engine Control Room), τις επικίνδυνες συγκεντρώσεις νέφους ελαίου λίπανσης στο στροφαλοθάλαμο. Από την κεντρική μονάδα ελέγχου, παρέχεται κάθε δυνατότητα οπτικής και αναφοράς πληροφόρησης ακριβούς χρόνου, των δειγματοληπτικών συγκεντρώσεων ελαίου, από τους ανιχνευτές που είναι τοποθετημένοι στο στροφαλοθάλαμο. Η κεντρική μονάδα ανιχνεύει την πραγματική θολότητα, μέσα σε ένα στροφαλοθάλαμο, σε διάταξη εν σειρά και επιτρέπει στους χειριστές να παρατηρούν και εάν είναι αναγκαίο, να επαναρυθμίζουν τα επίπεδα των σημάτων συναγερμού της υψηλής συγκέντρωσης νέφους ελαίου λίπανσης. Η μονάδα έχει επίσης την δυνατότητα μακροπρόθεσμης πληροφόρησης και γραφικής μορφής καταγραφή για περαιτέρω ανάλυση.

Η κεντρική μονάδα όπου βρίσκεται ο ανιχνευτής νέφους ελαίου (τύπου σκίασης με υπέρυθρες διόδους), είναι τοποθετημένη στο μέσον του κινητήρα κατά το διάμηκες και κάθε δείγμα που ελέγχεται, επιστρέφει πάλι στο στροφαλοθάλαμο με σωληνώσεις μικρότερης διαμέτρου από τις σωληνώσεις αναρρόφησης, δημιουργώντας κατάθλιψη της ροής των δειγμάτων αέρα, μέσα στη μονάδα, ώστε αυτά να παραμένουν χρονικά όσο χρειάζεται για την μέτρηση από τον αισθητήρα.

Η τοποθέτηση της κεντρικής μονάδας στο μέσον του κινητήρα κατά το διάμηκες, έχει το πλεονέκτημα ότι τα δείγματα φτάνουν σε αυτή σε βέλτιστο χρονικό διάστημα, το οποίο αυξάνει αρκετά την αξιοπιστία του συγκεκριμένου συστήματος.

Ο ανιχνευτής αποτελείται από δύο υπέρυθρες διόδους, εκ των οποίων η μία από αυτές λειτουργεί ως πομπός και η άλλη ως δέκτης. Όταν ένα δείγμα αέρα που εμπεριέχει σταγονίδια ελαίου, διέρχεται μεταξύ τους, απορροφάται μόνο ένα μέρος του υπέρυθρου φωτός, μειώνοντας έτσι την ποσότητα του φωτός που φθάνει στο δέκτη. Η επιλεγμένη μονάδα μέτρησης είναι επί τοις εκατό (%) αδιαφάνεια. Έτσι 0% σημαίνει πλήρη διαφάνεια, και το 100% πλήρη θολότητα και με τον τρόπο αυτό δίνεται η συνολική οπτική απορρόφηση από το νέφος ελαίου στο δείγμα του αέρα.

Στον ανιχνευτή της κεντρικής μονάδας που είναι τύπου σκίασης με υπέρυθρες διόδους, γίνεται μέτρηση της θολότητας των δειγμάτων του αέρα της ατμόσφαιρας του στροφαλοθαλάμου με μέτρηση των σταγονιδίων του νέφους ελαίου που έχουν διάμετρο περίπου 5  $\mu\text{m}$  και άνω.





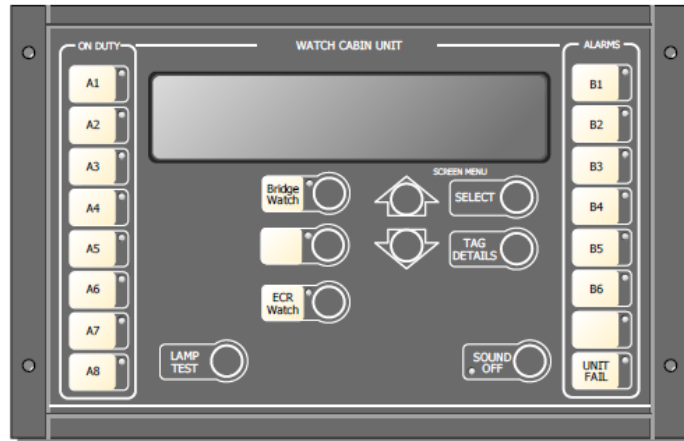
Σύστημα ανίχνευσης νέφους ελαίου στο στροφαλοθάλαμο

### *Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματοποίησης*

Όλα τα προαναφερθέντα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου τόσο για τη διαχείριση του φορτίου, όσο και για τον έλεγχο των προωστήριων εγκαταστάσεων και των βοηθητικών μηχανημάτων του πλοίου, συγκεντρώνονται σε ένα ενιαίο σύστημα προκειμένου να επιτυγχάνεται η μεταξύ τους διασύνδεση και να δίνεται στο χειριστή η δυνατότητα ολιστικού ελέγχου από συγκεκριμένα σημεία εντός του πλοίου όπως είναι το κέντρο ελέγχου μηχανοστασίου (Engine Control Room).

Το σύστημα περιλαμβάνει σταθμούς χειρισμού που αποτελούν ανεξάρτητες υπομονάδες και διαθέτουν αποθηκευτικά μέσα, στα οποία είναι εγκατεστημένες όλες οι παραμετροποιήσεις των συστημάτων ελέγχου. Ακόμη πραγματοποιούν καταγραφή των τιμών που αποστέλλονται από τα επιμέρους συστήματα και υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης γραφικών παραστάσεων για τον εντοπισμό διαταραχών στα εν λειτουργία μηχανήματα.

Στο σύστημα υπάρχουν συνήθως 7 σταθμοί χειρισμού που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω δικτύου Ethernet. Ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται (κέντρο ελέγχου μηχανοστασίου, κέντρο ελέγχου φορτίου, γέφυρα), μπορούν να χειριστούν συγκεκριμένες ομάδες μηχανημάτων και να αποσιωπήσουν συναγερμούς προειδοποίησης. Για τη λειτουργία «μη επανδρωμένου μηχανοστασίου» και «ανεπιτήρητου κέντρου ελέγχου φορτίου», υπάρχουν τοπικοί πίνακες ειδοποίησης συναγερμών σε κοινόχρηστους χώρους ενδιαίτησης και στις καμπίνες των αξιωματικών φυλακής.



Πίνακας ειδοποιήσεων συναγερμού

### *Σύστημα Διαχείρισης Αερίου*

Το σύστημα διαχείρισης αερίου φορτίου φροντίζει να διατηρεί την πίεση του χώρου των δεξαμενών, εντός των ορίων που προβλέπονται από τον κατασκευαστή. Ακόμη περιλαμβάνει λειτουργία προστασίας εάν η πίεση υπερβεί τα όρια.

Η πίεση των δεξαμενών φορτίου, ελέγχεται υπολογίζοντας τις φυσικές αναθυμιάσεις μέσω ελεγκτή PI. Ο ελεγκτής λειτουργεί κατά τρόπο ώστε όταν η πίεση ξεπερνάει την επιθυμητή τιμή, η έξοδος του ελεγκτή αυξάνεται. Ο συμπιεστής Low Duty ελέγχεται ώστε να διατηρεί την απαιτούμενη πίεση του αερίου που καταναλώνεται στους κινητήρες και τη μονάδα καύσης περίσσειας αερίου. Το επιστόμιο υπερπίεσης χρησιμοποιείται από το σύστημα διαχείρισης αερίου για να προστατεύει το δίκτυο και τους κινητήρες από απότομη αύξηση της πίεσης κατά την πτώση των καταναλώσεων.

Ο θερμοαντάρης εξαναγκασμένης εξάτμισης χρησιμοποιείται για να παράξει τεχνητές αναθυμιάσεις όταν δεν επαρκούν οι εκλυόμενες από το φορτίο.

Η μονάδα καύσης περίσσειας αερίου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πίεσης στις δεξαμενές φορτίου εάν για οποιοδήποτε λόγο δεν είναι δυνατή ή επαρκής η κατανάλωση των αναθυμιάσεων στους κινητήρες.

Σε περίπτωση που τα προαναφερθέντα συστήματα αποτύχουν, προκειμένου να προστατευθούν οι δεξαμενές από υπερβολική αύξηση της πίεσης, η διάταξη περιλαμβάνει ανακουφιστικό επιστόμιο που οδηγεί το αέριο σε ιστό.

### *Υπερπίεση*

Προκειμένου να προστατευθούν οι δεξαμενές από υπερπίεση λόγω αύξησης των φυσικών αναθυμιάσεων, το αέριο πρέπει να καταναλώνεται στους κινητήρες, να καίγεται στη μονάδα καύσης ή να εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα. Ο συμπιεστής Low Duty τροφοδοτεί τις μηχανές και τη μονάδα ώστε η πίεση να παραμένει σταθερή.



Σε περίπτωση που τα φορτία των μηχανών είναι χαμηλά άρα και οι απαιτήσεις σε καύσιμο, η πίεση θα αυξηθεί. Προκειμένου να αποφεύγεται αυτό, ενεργοποιείται η μονάδα καύσης περίσσειας αερίου.

#### *Υποπίεση*

Προκειμένου να προστατεύονται οι δεξαμενές από υποπίεση, οι κινητήρες μεταβαίνουν σε λειτουργία καυσίμου πετρελαίου. Ο θερμαντήρας εξαναγκασμένης εξάτμισης, ενεργοποιείται προκειμένου η πίεση στις δεξαμενές να αυξηθεί και οι μηχανές να επιστρέψουν στη λειτουργία καυσίμου αερίου.

Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με δύο ελεγκτές πίεσης με ρυθμιζόμενες τιμές αναφοράς. Η μέτρηση της πίεσης πραγματοποιείται από αισθητήρες που μετρούν μανομετρική και απόλυτη πίεση. Οι ελεγκτές διαθέτουν δύο τρόπους λειτουργίας ανάλογα την κατάσταση του πλου:

- Άφορτο, όπου ο ελεγκτής συγκρίνει τη μανομετρική πίεση με την τιμή αναφοράς
- Έμφορτο, όπου ο ελεγκτής συγκρίνει είτε την απόλυτη, είτε τη μανομετρική πίεση με την τιμή αναφοράς.

Ο αισθητήρας μανομετρικής πίεσης μετρά τη διαφορά των πιέσεων μεταξύ των δεξαμενών και της ατμόσφαιρας. Αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση επηρεάζεται από τυχόν αλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Ο αισθητήρας απόλυτης, μετρά την πίεση εντός των δεξαμενών χωρίς να επηρεάζεται από μεταβολές στην ατμοσφαιρική.

#### **4. Σύγκριση των εγκαταστάσεων αμμοστροβίλου και ηλεκτροπρόωσης**

Την τελευταία 20ετία ο μεταφερόμενος όγκος υγροποιημένου φυσικού αερίου, έχει τριπλασιαστεί από 70 εκατομμύρια τόνους / έτος το 1995, σε 250 εκατομμύρια τόνους / έτος το 2015. Η εξέλιξη στον τομέα της ναυπήγησης είναι λοιπόν αναπόφευκτη αφού η ζήτηση για μεταφορική ικανότητα συνεχώς αυξάνεται, με 170 νέες προσθήκες πλοίων LNG να εκκρεμούν στον ενεργό παγκόσμιο στόλο που αριθμεί 450.

Μέχρι και τη δεκαετία του 2000, οι στροβιλο-εγκαταστάσεις πρόωσης ήταν η μόνη λύση για την καύση των αναθυμιάσεων του φορτίου. Το 2001 παραγγέλθηκαν τα πρώτα πλοία ηλεκτροπρόωσης εφοδιασμένα με μεσόστροφες μηχανές εσωτερικής καύσης, διπλού καυσίμου. Οι νέες αυτές διατάξεις πρόωσης έδωσαν την δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου μέχρι και 40% έναντι των αμμοστροβίλων.

Το 2014 τα νεότευκτα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ήταν εφοδιασμένα με διάταξη ηλεκτροπρόωσης σε ποσοστό 90%.



Οι απαιτήσεις που προέκυψαν στην αγορά αερίου με την πάροδο του χρόνου, έδωσαν τη δυνατότητα εξέλιξης των κινητήρων διπλού καυσίμου στις κατασκευάστριες εταιρίες, παραγκωνίζοντας τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις ατμοστροβίλου.

*Πλεονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης έναντι στροβιλο-εγκατάστασης:*

- Αποδοτικότητα

Παρόλο που οι ατμολέβητες μπορούν να διαχειριστούν τις αναθυμιάσεις του φορτίου πιο εύκολα και κατασκευαστικά είναι πιο απλοί, η απόδοσή τους σε σχέση με την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου είναι χαμηλότερη απ' ό,τι στους κινητήρες Μ.Ε.Κ. Το ίδιο ισχύει και για τις καταναλώσεις σε πετρέλαιο. Οι σύγχρονες δεξαμενές φορτίου LNG περιορίζουν το ρυθμό αεριοποίησης του φορτίου σε ποσοστό 0,14% της χωρητικότητας της δεξαμενής, ανά ημέρα. Όταν οι απαιτήσεις για καύσιμο είναι υψηλές, όπως συμβαίνει στους ατμοστροβίλους, είτε καταναλώνεται πετρέλαιο το οποίο έχει υψηλότερο κόστος απ' ό,τι το φυσικό αέριο, είτε με τη μέθοδο της εξαναγκασμένης αεριοποίησης καταναλώνεται ποσότητα του φορτίου η οποία δεν θα είχε εξατμιστεί ως φυσικές αναθυμιάσεις.

- Εκπεμπόμενοι ρύποι

Η χαμηλή αποδοτικότητα και η ανάγκη για μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου καυσίμου στους στροβίλους έχει αρνητικές επιπτώσεις στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub>.

- Εφεδρική στην πρόωση

Καθώς τα πλοία με ηλεκτροπρόωση διαθέτουν τέσσερις γεννήτριες παραγωγής ρεύματος, δύο ηλεκτροκινητήρες και σε πιο πρόσφατες κατασκευές δύο έλικες, έχουν τη δυνατότητα να μην διακόπτουν τον πλού σε ενδεχόμενη βλάβη ακόμα και με χαμηλότερη ταχύτητα έως ότου αυτή αποκατασταθεί. Το ίδιο ισχύει και σε περιπτώσεις εργασιών συντήρησης. Έτσι το πλοίο δεν ακινητεί παραμένοντας εμπορικά εκμεταλλεύσιμο.

- Ευκολία επάνδρωσης

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσεως είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι σε όλους τους τύπους των εμπορικών πλοίων. Έτσι η εύρεση πληρωμάτων για την επάνδρωση των πλοίων με ηλεκτροπρόωση είναι πιο εύκολη απ' ό,τι στις στροβιλοεγκαταστάσεις.



- Χωροταξία  
Η διανομή της ενέργειας για πρόωση από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη στους ηλεκτρικούς κινητήρες γίνεται μέσω καλωδιώσεων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να περιορίζουν τους χώρους του μηχανοστασίου, μεγαλώνοντας τους χώρους αποθήκευσης του φορτίου.
- Δυνατότητα ελιγμών  
Οι εγκαταστάσεις αμμοστροβίλου υστερούν στη δυνατότητα ελιγμών σε σχέση με την ηλεκτροπρόωση λόγω των χαμηλών ταχυτήτων απόκρισης των θερμοδυναμικών φαινομένων στους λέβητες. Η χρήση σύγχρονων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου μειώνει σε αρκετό βαθμό την υστέρηση στην αποκατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας μετά από απότομους ελιγμούς, χωρίς όμως να της δίνει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

### *Πλεονεκτήματα στροβιλο-εγκατάστασης έναντι ηλεκτροπρόωσης:*

- Κόστος κατασκευής (κόστος κεφαλαίου)  
Οι διατάξεις ηλεκτροπρόωσης περιλαμβάνουν περισσότερα συνεργαζόμενα μηχανήματα από διαφορετικές κατασκευάστριες εταιρίες, καθιστώντας τους αμμοστροβίλους οικονομικότερη λύση πρόωσης.
- Κατανάλωση λιπαντελαίου  
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης διαθέτουν περισσότερα τριβόμενα μέρη και καθώς το λιπαντέλαιο είναι εκτεθειμένο στη διαδικασία της καύσης μέσα στους κυλίνδρους η κατανάλωσή του είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στους στροβίλους.
- Κόστος συντήρησης  
Οι στροβιλοεγκαταστάσεις λόγω της απλότητας της κατασκευής και λειτουργίας τους, έχουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης σε ανταλλακτικά και σε εργατοώρες.



## 5. Μοντέλα προσδιορισμού και πρόβλεψης των αλλαγών του υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά τη μεταφορά του.

### 1. Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού του ρυθμού εξάτμισης

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει ορισμένη συμπεριφορά ως φορτίο, με αποτέλεσμα να απαιτεί διαχείριση από τους επί του πλοίου και του τερματικού σταθμού αρμόδιους, προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατάστασή του ως προς την ποσότητα, θερμοκρασία και πίεση στις οποίες παραλαμβάνεται και παραδίδεται.

Το πλήρωμα πρέπει να συνεργάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η άρτια λειτουργία των μηχανημάτων που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Ο Πλοίαρχος Β' και ο Μηχανικός Φορτίου, υπό τις εντολές του Πλοίαρχου Α' και τις οδηγίες της Διαχειρίστριας Εταιρίας, ενεργούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πιέσεις και θερμοκρασίες του προς παράδοση φορτίου να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των τερματικών σταθμών παραλαβής. Ακόμη φροντίζουν για την προετοιμασία των δεξαμενών στις κατάλληλες πιέσεις και θερμοκρασίες για την φόρτωση του υγροποιημένου αερίου.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει προκειμένου να υπολογίζεται η ποσότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου που θα εξατμιστεί σε ένα δεδομένο πλού ώστε να αξιολογείται η κατασκευαστική αποτελεσματικότητα των δεξαμενών φύλαξης. Ακόμη, μέσα από την πρόβλεψη της εξατμιζόμενης ποσότητας, δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίο το πλήρωμα διαχειρίστηκε το φορτίο και τις θερμοδυναμικές του συμπεριφορές, καθώς και των επί του πλοίου συστημάτων και των βελτιώσεων αυτών. Τέλος η αξιολόγηση των παραπάνω, αποτελεί εργαλείο για τους εμπορικά ενδιαφερόμενους, όπως Ναυλωτές, καθώς δίνεται η δυνατότητα βελτίωσης ώστε το παραλαμβανόμενο φορτίο να έχει υποστεί τη χαμηλότερη δυνατή εξάτμιση ενώ ταυτόχρονα να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των τερματικών σταθμών παραλαβής σε πίεση και θερμοκρασία.

Οι κατασκευάστριες εταιρίες των δεξαμενών τύπου Μεμβράνης, έχουν υπολογίσει το ρυθμό εξάτμισης του υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσα στο χώρο της δεξαμενής, με τη χρήση μαθηματικού τύπου. Ο ημερήσιος ρυθμός εξάτμισης του φορτίου σε έμφορτη κατάσταση, θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,095% της ποσότητας που φορτώθηκε, υποθέτοντας τα εξής:

- Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος: +45°C
- Θερμοκρασία θάλασσας: +32°C
- Θερμοκρασία χώρου που περιβάλλει τις δεξαμενές: +5°C
- Φορτίο, καθαρό μεθάνιο με πυκνότητα 425 kg/m<sup>3</sup> και λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης 511 kJ/kg
- Σωληνώσεις φορτίου, άδειες.



Ο ρυθμός εξάτμισης υπολογίζεται από δεδομένα θερμοκρασίας και όγκου που καταγράφονται από τα παραπάνω περιγραφόμενα συστήματα επιτήρησης του φορτίου, και από δεδομένα πυκνότητας που προκύπτουν από τη χημική ανάλυση του υγροποιημένου αερίου. Ο μαθηματικός τύπος είναι ο εξής:

$$\text{B.O.R.} = \left( \frac{1}{C_T} \cdot \frac{(V_1 d_1 - V_2 d_2) L + c_p V_2 d_2 (T_2 - T_1)}{d_m L_m V_1 t} - \frac{C_1}{d_m L_m V_1 t} \right) \times 100 \quad [\%]$$

με συντελεστή διόρθωσης για τις συνθήκες εξωτερικής θερμοκρασίας:

$$C_T = (1 - \alpha_{air} (45 - T_{air})) \times (1 - \alpha_{sw} (32 - T_{sw})) \times (1 - \alpha_{cor} (5 - T_{cor}))$$

και συντελεστή διόρθωσης για τις συνθήκες θερμικής μόνωσης:

$$C_1 = \beta \cdot \frac{1.3}{2} \left[ (h_{secondary} (\Delta T_{hull} + \Delta T_{secondary})) + (h_{primary} \Delta T_{secondary}) \right]$$

Όπου:

$V_1$	( $m^3$ )	Όγκος φορτίου κατά τη φόρτωση
$V_2$	( $m^3$ )	Όγκος φορτίου κατά την εκφόρτωση
$d_1$	( $kg \cdot m^{-3}$ )	Πυκνότητα φορτίου κατά τη φόρτωση
$d_2$	( $kg \cdot m^{-3}$ )	Πυκνότητα φορτίου κατά την εκφόρτωση
$T_1$	( $^{\circ}C$ )	Θερμοκρασία φορτίου κατά τη φόρτωση
$T_2$	( $^{\circ}C$ )	Θερμοκρασία φορτίου κατά την εκφόρτωση
$L$	( $kJ \cdot kg^{-1}$ )	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του αεριοποιημένου φορτίου
$c_p$	( $kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )	Ειδική θερμότητα του φορτίου
$L_m$	( $kJ \cdot kg^{-1}$ )	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του μεθανίου
$d_m$	( $kg \cdot m^{-3}$ )	Πυκνότητα του μεθανίου
$t$	(days)	Χρόνος μεταξύ των μετρήσεων
$\alpha_{air}, \alpha_{sw}, \alpha_{cor}$		Ειδικός συντελεστής για κάθε πλοίο
$T_{air}$	( $^{\circ}C$ ) <sup>1</sup>	Μέση θερμοκρασία αέρα κατά τον πλοίο
$T_{sw}$	( $^{\circ}C$ ) <sup>1</sup>	Μέση θερμοκρασία θάλασσας κατά τον πλοίο
$T_{cor}$	( $^{\circ}C$ ) <sup>1</sup>	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντα χώρου δεξαμενών κατά τον πλοίο
$\beta$	( $kJ \cdot m^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )	Ειδικός συντελεστής για κάθε πλοίο
$h_{secondary}$	(m)	Πάχος δευτερεύουσας μόνωσης
$h_{primary}$	(m)	Πάχος δευτερεύουσας μόνωσης
$\Delta T_{hull}$	( $^{\circ}C$ )	Θερμοκρασιακή διαφορά του εσωτερικού της γάστρας κατά το τέλος της φόρτωσης και την αρχή της εκφόρτωσης
$\Delta T_{secondary}$	( $^{\circ}C$ )	Θερμοκρασιακή διαφορά της δευτερεύουσας μεμβράνης κατά το τέλος της φόρτωσης και την αρχή της εκφόρτωσης



Προκειμένου να εφαρμόζεται ο παραπάνω μαθηματικός τύπος, είναι απαραίτητη η καταγραφή των απαιτούμενων δεδομένων και το αποτέλεσμα προκύπτει με την ολοκλήρωση των πλόων από τη φόρτωση στην εκφόρτωση.

## 2. Χρήση νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη της εξαμιζόμενης ποσότητας

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν σήμερα ένα ισχυρό εργαλείο μοντελοποίησης σύνθετων προβλημάτων πρόβλεψης με μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών και πολλές αλληλεπιδράσεις. Η δομή και η λειτουργία των νευρωνικών δικτύων είναι εμπνευσμένα από τα βιολογικά νευρικά συστήματα. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από απλά στοιχεία που λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη. Όπως συμβαίνει και στη φύση, η λειτουργία του νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους τα επιμέρους στοιχεία του.

Η γενική αρχιτεκτονική των νευρωνικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα γράφημα, του οποίου οι κόμβοι κατανέμονται σε : α) ένα επίπεδο εισόδου, β) ένα επίπεδο εξόδου και ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα κρυμμένα επίπεδα. Κάθε ένας από τους κόμβους εισόδου αναπαρίσταται με μια ανεξάρτητη μεταβλητή. Κάθε κόμβος εισόδου συνδέεται με όλους τους κόμβους στο πρώτο κρυμμένο επίπεδο. Οι κόμβοι του κρυμμένου επιπέδου συνδέονται με τους κόμβους ενός άλλου κρυμμένου επιπέδου ή με κόμβους στο επίπεδο εξόδου. Οι κόμβοι στο επίπεδο εξόδου αναπαριστούν μια ή περισσότερες εξαρτημένες μεταβλητές. Οι κόμβοι του νευρωνικού δικτύου ονομάζονται νευρώνες, ενώ οι δεσμοί μεταξύ των κόμβων ονομάζονται συνάψεις. Σε κάθε σύναψη αντιστοιχεί ένα βάρος που ονομάζεται συναπτικό βάρος.

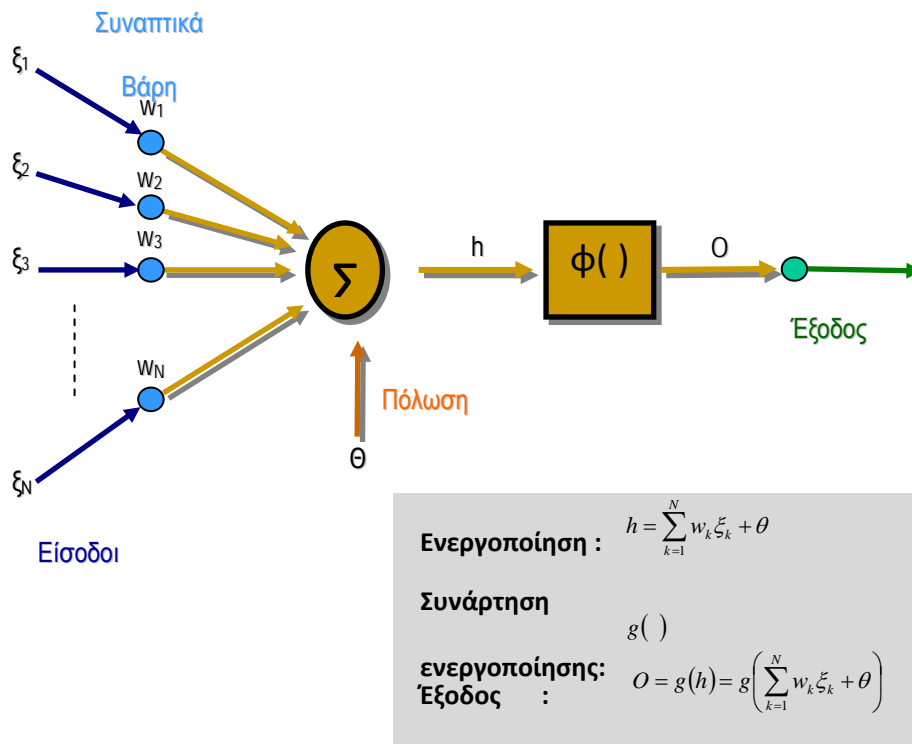
Η αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται από τον αριθμό των κόμβων, τον αριθμό των κρυμμένων επιπέδων και τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους. Ο αριθμός των κρυμμένων επιπέδων και νευρώνων και ενδεχομένως τα όρια μέσα στα οποία θα κυμαίνονται τα συναπτικά βάρη είναι στοιχεία που προσδιορίζονται στη φάση του σχεδιασμού του δικτύου.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, λοιπόν, είναι μοντέλα-πρότυπα επεξεργασίας πληροφοριών, τα οποία αποθηκεύουν γνώση για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος. Αποτελούν μια συσκευή επεξεργασίας, που υλοποιείτε είτε με τη μορφή ενός αλγορίθμου είτε με τη μορφή ηλεκτρονικών διατάξεων και ο σχεδιασμός τους είναι εμπνευσμένος από τη δομή και λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Η αληθινή δύναμη και το πλεονέκτημα των νευρωνικών δικτύων βρίσκονται στη δυνατότητά τους να αντιπροσωπεύσουν και τις γραμμικές και μη γραμμικές σχέσεις όπως και στη δυνατότητά τους να μάθουν αυτές τις σχέσεις άμεσα από τα στοιχεία που διαμορφώνονται.

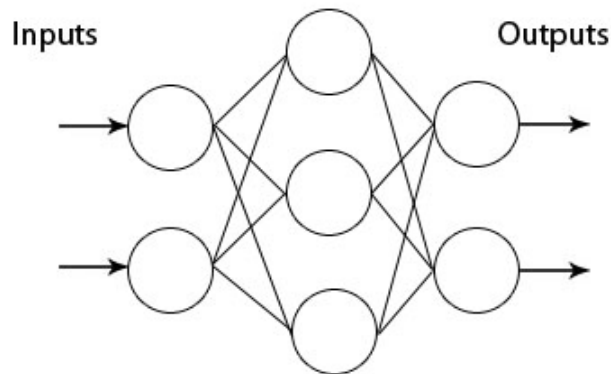


Τέλος ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι έχουν μεγάλη ανοχή σε βλάβες λόγω του παραλληλισμού τους και είναι σχεδιασμένα να είναι προσαρμοζόμενα ανάλογα με το είδος του προβλήματος. Η χρήση των νευρωνικών δικτύων έχει ακόμα στις μέρες μας αρκετά μειονεκτήματα όπως το ότι δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες για την ανάπτυξη ΤΝΔ για οποιαδήποτε εφαρμογή και δεν υπάρχει γενικός τρόπος για την ερμηνεία της εσωτερικής λειτουργίας του δικτύου. Επίσης τα παραδοσιακά γραμμικά πρότυπα είναι ανεπαρκή όταν πρόκειται για τη διαμόρφωση στοιχείων που περιέχουν μη γραμμικά χαρακτηριστικά. Τέλος η εκπαίδευσή τους μπορεί να είναι αρκετά δύσκολη ή αδύνατη και η ικανότητα γενίκευσης είναι δύσκολα προβλέψιμη.



Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου

Το πιο κοινό νευρωνικό πρότυπο δικτύων είναι το πολυστρωματικό perceptron (MLP-Multi Layer Perceptron). Αυτός ο τύπος νευρωνικού δικτύου είναι γνωστός ως εποπτευμένο δίκτυο επειδή απαιτεί μια επιθυμητή έξοδο προκειμένου να μάθει. Ο στόχος αυτού του τύπου δικτύου είναι να δημιουργηθεί ένα πρότυπο που να χαρτογραφεί σωστά την είσοδο στην έξοδο χρησιμοποιώντας τα ιστορικά στοιχεία έτσι ώστε το πρότυπο να μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για να παραγάγει την έξοδο όταν αυτή είναι άγνωστη.



Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας Πολυστρωματικού Perceptron (MLP)

Η μάθηση από τα παραδείγματα ή ιστορικά δεδομένα, είναι μία από τις δυνατότητες που καθιστά τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα την κατάλληλη προσέγγιση για την μοντελοποίηση του ρυθμού εξάτμισης του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα εποπτευόμενα νευρωνικά μοντέλα όπως είναι το γνωστό πολυστρωματικό perceptron [14], έχουν αποδείξει την ικανότητά τους να λύνουν προβλήματα εποπτευόμενης παλινδρόμησης σε πολλές εφαρμογές. Στη Χημεία και την Ηλεκτροχημεία πολλά προβλήματα έχουν λυθεί με τη χρήση νευρωνικών δικτύων, όπως διάκριση αισθητήρων βουτανίου και προπανίου για την ανίχνευση αερίου[15], πρόβλεψη των κοπώσεων σε γεννήτριες αερίου[16], αναγνώριση της χημικής αντίδρασης για μη γραμμικά δυναμικά συστήματα[17] ή στατική μοντελοποίηση ηλεκτροχημικής κυψέλης καυσίμου[18]. Η πιο κοινή εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι η πρόβλεψη. Συχνά χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των μετοχών χρηματιστηρίου ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί και για την πρόβλεψη ενεργειακών καταναλώσεων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παραδοσιακές προσεγγίσεις όπως είναι οι γραμμικές ή πολυωνυμικές μέθοδοι παλινδρόμησης μπορούν να παρέχουν λογικά αποτελέσματα για μοντέλα παλινδρόμησης. Παρόλα αυτά σε πραγματικές συνθήκες λόγω της ετερογένειας των δεδομένων και της μεγάλης διαστατικότητας των πληροφοριών, τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν καλύτερη προσέγγιση από τις παραδοσιακές στατιστικές τεχνικές.

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι παραπάνω αναφορές σχετικά με τα νευρωνικά δίκτυα και τη χρήση τους για την πρόβλεψη της ποσότητας υγροποιημένου φυσικού αερίου που θα εξατμισθεί σε έναν ολοκληρωμένο πλού, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή προσομοίωσης τεχνητών νευρωνικών δικτύων “Neuroph Studio”.

Πρόκειται για ένα ανοιχτό δωρεάν λογισμικό, που δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης κοινών αρχιτεκτονικών για νευρωνικά δίκτυα[19].

Παρουσιάστηκε αρχικά ως πτυχιακή εργασία και έπειτα ως μέρος διατριβής, ενώ το Σεπτέμβριο του 2008 έγινε πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα στο SourceForge. Μετά την αρχική διάθεση, συνέχισε να εξελίσσεται και πλέον χρησιμοποιείται για τη



διδασκαλία τεχνητών νευρωνικών δικτύων στο μάθημα «Έξυπνα Συστήματα» του τμήματος Επιστημών Οργάνωσης του Πανεπιστημίου του Βελιγραδίου[20].

Στόχος της μελέτης, ήταν η διδασκαλία του νευρωνικού δικτύου, ώστε να προβλέπει την ποσότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου που θα απομείνει στις δεξαμενές μετά την ολοκλήρωση του πλού από τη φόρτωση στην εκφόρτωση.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι για τη «μόρφωση» του δικτύου, προήλθαν από τα λιμάνια φόρτωσης υγροποιημένου φυσικού αερίου και ως έξοδοι από τα λιμάνια παράδοσης του φορτίου, αποτελώντας 11 ολοκληρωμένα ταξίδια.

Η διαδικασία μόρφωσης που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

1. Ομαλοποίηση των δεδομένων
2. Δημιουργία έργου Neuroph
3. Δημιουργία συνόλου εκπαίδευσης
4. Δημιουργία νευρωνικού δικτύου
5. Μόρφωση του δικτύου
6. Έλεγχος των αποτελεσμάτων
7. Αξιολόγηση του εύρους σφάλματος

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικές τιμές, είναι:

Είσοδοι:

- Ποσότητα υγρού φορτίου που παραλήφθηκε ( $m^3$ )
- Μέση θερμοκρασία φορτίου ( $^{\circ}C$ )
- Πίεση των δεξαμενών (mbar)
- Διάρκεια ταξιδιού (days)

Έξοδος:

- Ποσότητα υγρού φορτίου που παραδόθηκε ( $m^3$ )

Received quantity	Temperature	Pressure	Passage duration	Delivered quantity
162100	-162	90	10	160100
162300	-160	92	12	160000
162100	-161	95	22	158600
161800	-160	98	20	159300
162000	-159	100	25	158000
161000	-159	105	19	159900
161500	-160	110	17	160000
162100	-162	102	16	159600
161700	-161	108	19	158500
162000	-162	114	22	158200
161400	-159	91	13	160200

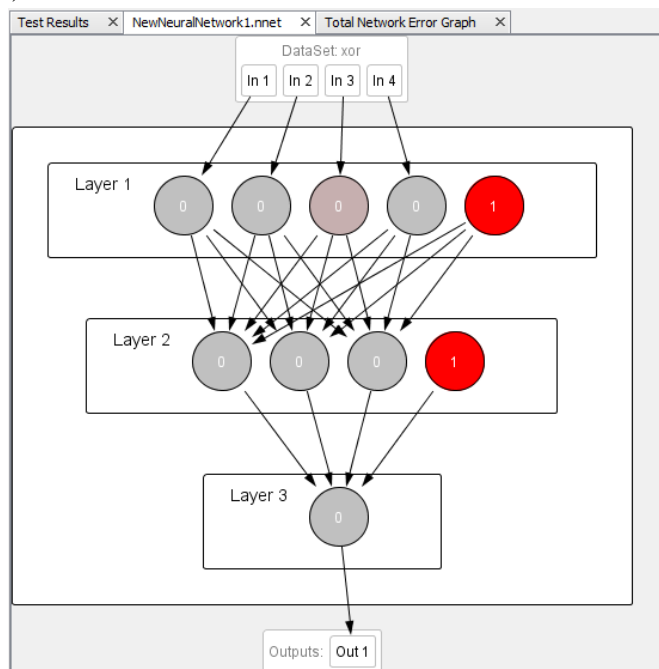
Για την ομαλοποίηση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος μαθηματικός τύπος:

$$B = (A - \min(A)) / (\max(A) - \min(A)) * (D - C) + C$$

Όπου B η τυποποιημένη τιμή, A η αρχική τιμή, D=1 και C=0 που προσδιορίζουν το εύρος τιμών που θα λάβουν οι αρχικές.

Received quantity	Temperature	Pressure	Passage duration	Delivered quantity
0.846153846	1	0	0	0.954545455
1	0.333333333	0.083333333	0.133333333	0.909090909
0.846153846	0.666666667	0.208333333	0.8	0.272727273
0.615384615	0.333333333	0.333333333	0.666666667	0.590909091
0.769230769	0	0.416666667	1	0
0	0	0.625	0.6	0.863636364
0.384615385	0.333333333	0.833333333	0.466666667	0.909090909
0.846153846	1	0.5	0.4	0.727272727
0.538461538	0.666666667	0.75	0.6	0.227272727
0.769230769	1	1	0.8	0.090909091
0.307692308	0	0.041666667	0.2	1

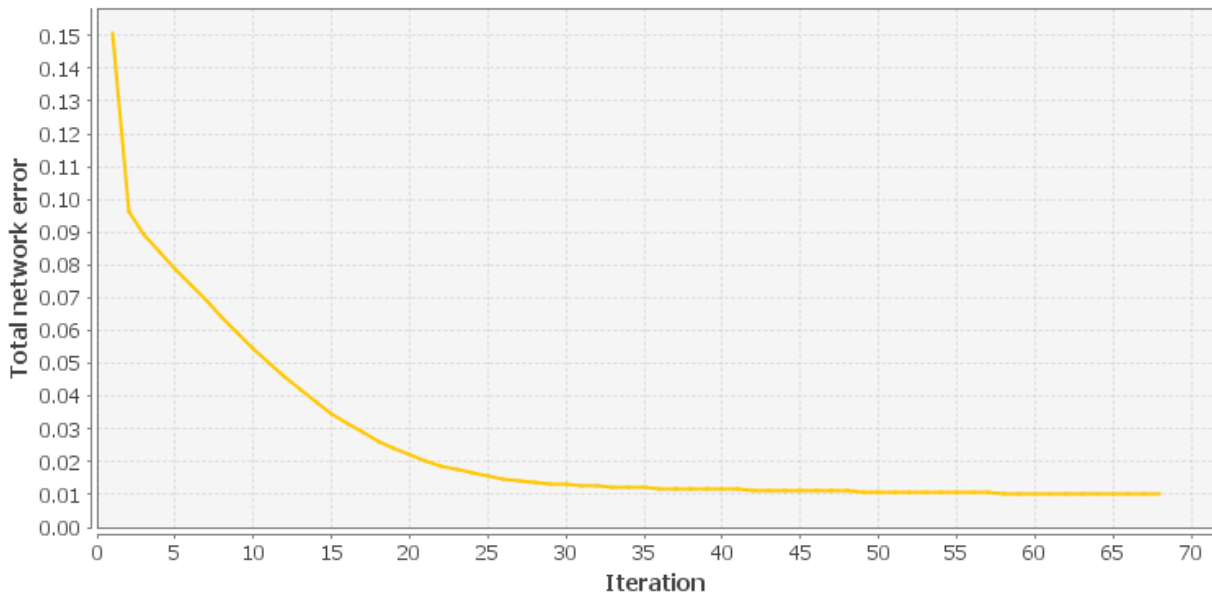
Μετά τη δημιουργία του έργου στο λογισμικό “Neuroph”, δημιουργήθηκε πολυστρωματικό perceptron αποτελούμενο από 4 νευρώνες εισόδου και 3 κρυφούς, με σιγμοειδή συνάρτηση μεταφοράς και κανόνα μόρφωσης ανάδραση (backpropagation).



Η «μόρφωση» του δικτύου πραγματοποιήθηκε με ρυθμό εκμάθησης 0.2 και μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0.01

Η εκπαίδευση του δικτύου ολοκληρώθηκε μετά από 67 επαναλήψεις και επιτεύχθηκε σφάλμα περίπου 0.01

## Total Network Error Graph



Μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, το δίκτυο ελέγχθηκε και έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

*Input: 0.8462; 1; 0; 0; Output: 0.9364; Desired output: 0.9545; Error: -0.0181;*  
*Input: 1; 0.3333; 0.0833; 0.1333; Output: 0.9058; Desired output: 0.9091; Error: -0.0033;*  
*Input: 0.8462; 0.6667; 0.2083; 0.8; Output: 0.1671; Desired output: 0.2727; Error: -0.1056;*  
*Input: 0.6154; 0.3333; 0.3333; 0.6667; Output: 0.4485; Desired output: 0.5909; Error: -0.1424;*  
*Input: 0.7692; 0; 0.4167; 1; Output: 0.054; Desired output: 0; Error: 0.054;*  
*Input: 0; 0; 0.625; 0.6; Output: 0.7445; Desired output: 0.8636; Error: -0.1192;*  
*Input: 0.3846; 0.3333; 0.8333; 0.4667; Output: 0.7193; Desired output: 0.9091; Error: -0.1898;*  
*Input: 0.8462; 1; 0.5; 0.4; Output: 0.5875; Desired output: 0.7273; Error: -0.1398;*  
*Input: 0.5385; 0.6667; 0.75; 0.6; Output: 0.4472; Desired output: 0.2273; Error: 0.2199;*  
*Input: 0.7692; 1; 1; 0.8; Output: 0.0657; Desired output: 0.0909; Error: -0.0252;*  
*Input: 0.3077; 0; 0.0417; 0.2; Output: 0.946; Desired output: 1; Error: -0.054;*  
**Total Mean Square Error: 0.014215168291875165**

Το πολυστρωματικό perceptron κατάφερε ακρίβεια πρόβλεψης σε ποσοστό από 78 έως 99,7 % και μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean square error, MSE) πολύ χαμηλό με μόλις 11 «παραδείγματα».

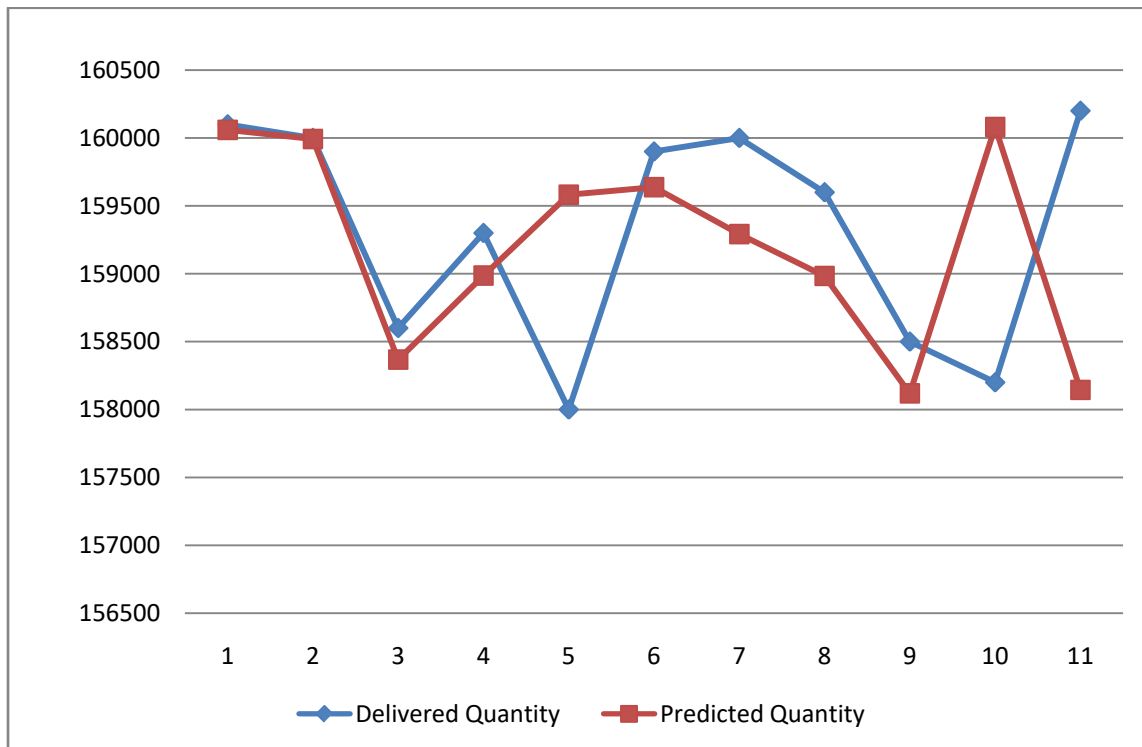
Εφαρμόζοντας τον παραπάνω τύπο λύνοντας ως προς A, έχουμε:

$$A = (((B - C) / (D - C)) * (\max(A) - \min(A))) + \min(A)$$

Οπότε:

Delivered Quantity	Predicted Quantity
160100	160060.08
160000	159992.76
158600	158367.62
159300	158986.7
158000	159582.46
159900	159637.9
160000	159292.5
159600	158983.84
158500	158118.8
158200	160081.2
160200	158144.54

Εισάγοντας τις παραπάνω τιμές σε γράφημα, έχουμε το ακόλουθο.



Γράφημα σύγκρισης ποσοτήτων που παραδόθηκαν-ποσοτήτων που προβλέφθηκαν



Οι τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης, κυμαίνονται σε συγκεκριμένα εύρη, και εξαρτώνται από τις δυνατότητες των τερματικών σταθμών. Ένας σταθμός παραλαβής μπορεί να έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις για πίεση και θερμοκρασία και εξαρτάται κυρίως από τη δυναμικότητα σε επανυγροποίηση.

Οι ποσότητες παραλαβής και παράδοσης κυμαίνονται σε συγκεκριμένα εύρη τιμών, καθώς τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πλοίων απαιτούν συγκεκριμένες στάθμες εντός των δεξαμενών. Οι περιεχόμενες ποσότητες πρέπει να είναι μέσα στα ανώτατα και κατώτατα όρια ώστε να αποφεύγεται μέσα στις δεξαμενές το φαινόμενο της ελεύθερης επιφάνειας.

Από τα αποτελέσματα που έδωσε η παραπάνω εφαρμογή γίνεται αντιληπτό ότι με μεγαλύτερο όγκο δεδομένων εισόδου-εξόδου θα προέκυπτε μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης. Ακόμα και σε περιπτώσεις πλόων όπου η θερμοδυναμική συμπεριφορά του αερίου θα επηρεαζόταν σε μεγαλύτερο βαθμό και από άλλους παράγοντες, όπως έντονους διατοιχισμούς του πλοίου, ενδεχόμενη απότομη αύξηση της πίεσης του φορτίου (rollover), ή ακόμη και αδυναμία καύσης λόγω πιθανών βλαβών σε κινητήρες ή/και μονάδα καύσεως αερίου (G.C.U), τα αποτελέσματα της πρόβλεψης θα είχαν ικανοποιητικό ποσοστό ακρίβειας.

Εξάλλου είναι γνωστό ότι η εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων καθίσταται αποτελεσματικότερη μέσω της επανάληψης έως ότου το ίδιο το δίκτυο επιτύχει το μικρότερο δυνατό σφάλμα ανά έξοδο αλλά και συνολικά.

Συγκρίνοντας τα δύο μοντέλα, διαπιστώνεται ότι το νευρωνικό δίκτυο εφαρμόζεται ευκολότερα, ενώ έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης. Αντίθετα το μαθηματικό μοντέλο απαιτεί την εισαγωγή πολλών δεδομένων σε καθημερινή βάση κατά τον πλού για να προσδιορίσει το ρυθμό που εξατμίστηκε το φορτίο, ως εργαλείο αξιολόγησης της αποδοτικότητας της μόνωσης των δεξαμενών.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αναλύθηκαν τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται στα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου. Αρχικά έγιναν ιστορικές αναφορές και ακολούθησε ανάλυση των σύγχρονων συστημάτων, αποδεικνύοντας ότι η τεχνολογική εξέλιξη κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες καθιστά το φυσικό αέριο ισχυρό «παίκτη» στον τομέα της ενέργειας παγκοσμίως. Το ενδιαφέρον των εταιριών διαχείρισης ενεργειακών πόρων οδηγεί τους κατασκευαστές των εμπλεκόμενων μερών της εξόρυξης, διακίνησης και αποθήκευσης του φυσικού αερίου, να ερευνούν και να εφαρμόζουν σύγχρονες τεχνολογίες ώστε να καθίστανται οι παραπάνω διαδικασίες αποτελεσματικότερες, ασφαλέστερες και πιο κερδοφόρες.

Με γνώμονα το χαμηλό κόστος και την προστασία του περιβάλλοντος και δεδομένου του εμπορικού ενδιαφέροντος, τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου θα εξελίσσονται, ενώ παράλληλα θα αποτελέσουν την κατευθυντήρια γραμμή για τη δημιουργία πλοίων διαφορετικών φορτίων, με καύσιμο το φυσικό αέριο.

Ήδη από τις αρχές του 2016 χτίζονται πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου εξοπλισμένα με τους παραδοσιακούς ναυτικούς κινητήρες με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ως καύσιμο, τις αναθυμιάσεις του μεταφερόμενου φορτίου.

Τα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου που εγκαθίστανται στα πλοία LNG είναι τα πιο σύγχρονα που χρησιμοποιούνται στον παγκόσμιο στόλο λόγω των υψηλών απαιτήσεων που επιβάλλει το φορτίο.

Ακόμη πραγματοποιήθηκε σύγκριση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων πρόωσης και αναλύθηκαν τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούν τα πλοία ηλεκτροπρόωσης τα οποία έχουν καθιερωθεί δεδομένης της αποδοτικότητας και των χαμηλών εκπεμπόμενων ρύπων.

Τέλος έγινε μελέτη προοπτικής χρήσης νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη της ποσότητας του φορτίου που εξατμίζεται από το λιμάνι φόρτωσης, στο λιμάνι παράδοσης, με τις ακόλουθες διαπιστώσεις.

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ισχυρό εργαλείο πρόβλεψης των αναθυμιάσεων στις δεξαμενές του πλοίου, καθώς λόγω της ετερογένειας στη σύνθεση του υγροποιημένου φυσικού αερίου και των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό εξάτμισης, είναι σχεδόν αδύνατος ο υπολογισμός με τη χρήση φυσικών μοντέλων της ποσότητας που θα απομείνει στο πλοίο κατά την ολοκλήρωση του πλού.

Σε κάθε περίπτωση και η εξέλιξη στο τομέα της πληροφορικής συμβάλλει στην καθιέρωση της χρήσης τέτοιων συστημάτων, καθώς εκτός από αποδοτικά, διατηρούν και χαμηλό κόστος. Εξάλλου πλέον η υπολογιστική δύναμη ακόμα και των οικιακής χρήσης υπολογιστών και η εξέλιξη λογισμικών ακόμα και ανοικτού κώδικα και ελεύθερης χρήσης αποτελεί δέλεαρ για τις επιχειρήσεις.

Ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι καθώς η ναυτιλία πρωτοστατεί στον τομέα μεταφοράς και δεδομένου ότι η φύση της διαδικασίας παραγωγής μεταφερόμενου έργου, απαιτεί μηχανισμούς με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια





και αποτελεσματικότητα σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος και φιλικότητα προς το περιβάλλον, τα σύγχρονα και συνεχώς εξελισσόμενα συστήματα εισάγονται από τη μία με αργούς ρυθμούς, αλλά από την άλλη με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

### **Προοπτικές – Δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης αλγορίθμων πρόβλεψης εξάτμισης με χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων**

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούν ένα νέο και συνεχώς αναπτυσσόμενο μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών, το οποίο χρησιμοποιείται σε ολοένα και αυξανόμενο εύρος δραστηριοτήτων.

Η μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα που τα διακρίνει, παρέχει την δυνατότητα, για την ανάπτυξη ενός μεγάλου πλήθους διαφορετικών αλγορίθμων για την επίλυση του ίδιου προβλήματος. Κάθε δε αναπτυσσόμενος αλγόριθμος διαθέτει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία του προσδίδουν διαφορετικές δυνατότητες.

Περαιτέρω προοπτικές ανάπτυξης των αλγορίθμων πρόβλεψης θα μπορούσαν να λαμβάνουν υπ' όψιν εκτός των ιστορικών στοιχείων και στοιχεία από το λοιπό εσωτερικό ή ακόμα και το εξωτερικό περιβάλλον του πλοίου.



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ Παπαευαγγέλου Τρ.1995, Ίδρυμα Ευγενίδου
- [2] [https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό\\_αέριο](https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο)
- [3] [https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό\\_αέριο](https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο)
- [4] Report on the Investigation of the Fire at the Liquefaction, Storage, and Regasification Plant of the East Ohio Gas Co, Cleveland, Ohio, October 29, 1944, US Department of the Interior, Bureau of Mines (1946)
- [5] R C Fooks, Natural Gas By Sea - The Development of a New Technology, 2nd ed, Witherby, London (1993).
- [6] The development of Liquefied Natural Gas Carriers – a marine engineering success, DR Cusdin, CEng, FIMarE President, The Institute of Marine Engineers, page 10
- [7] The development of Liquefied Natural Gas Carriers – a marine engineering success, DR Cusdin, CEng, FIMarE President, The Institute of Marine Engineers, page 11
- [8] Cargo Operating Manual for LNG/Cs
- [9] Machinery Operating Manual for Steam Turbine LNG/Cs
- [10] Machinery Operating Manual for D.F.D.E LNG/Cs
- [11] ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ Β' Κλιάνης Λ.- Νικολός Ι.- Σιδέρης Ι. 2003, Ίδρυμα Ευγενίδου
- [12] ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ Δανιήλ Γ.-Μιμηκόπουλος Κ. 1983, Ίδρυμα Ευγενίδου
- [13] ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΕΛΕΓΧΟ -ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ Βλαχογιάννης Ι.- Παπαχρήστου Δ.- Χαμηλοθώρης Γ. 2002 Ίδρυμα Ευγενίδου
- [14] Haykin S. Neural Networks: a Comprehensive Foundation. 2nd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (USA), 1999.
- [15] Morsi I. Discrimination between butane and propane in a gas mixture using semiconductor gas sensors and neural networks, Proc. IEEE Sensors Applications Symposium SAS 2008, 2008, 134–139.
- [16] Li F, Deng C, Song S, Duan J. Prediction of the Strains in Gas Generators Based on BP Neural Networks, Proc. Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application PACIIA '08, 2008, 23–26.
- [17] Al-Hiary H, Braik M, Sheta A, Ayesha A: Identification of a chemical process reactor using soft computing techniques, Proc. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE 2008, 2008, 845–853.
- [18] Hatti M, Tioursi M, Nouibat W. Static Modelling by Neural Networks of a PEM Fuel Cell, Proc. IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, 2006, 2121– 2126.
- [19] <http://neuroph.sourceforge.net/>
- [20] [http://neuroph.sourceforge.net/about\\_project.html](http://neuroph.sourceforge.net/about_project.html)