

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

**LNG TRANSPORTATION**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΣΧΟΙΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΡΓΥΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2014**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ  
LNG TRANSPORTATION**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: Αργύρης Γεώργιος**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σχοινάς Χρήστος**

**Ημερομηνία κατάθεσης: 3/4/2014**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2014**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Αυτή η εργασία διαπραγματεύεται τη διακίνηση του φυσικού αερίου σε υγρή μορφή με πλοία. Η αύξηση των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας και οι απαιτήσεις για καθαρότερη ενέργεια και βελτιωμένα καύσιμα, έχουν δημιουργήσει ανάγκες μεταφοράς του φυσικού αερίου σε υγρή μορφή (παράλληλα με εκείνη μέσω αγωγών). Σε υγρή μορφή μεταφέρεται μέσω ειδικών δεξαμενοπλοίων σε μεγάλες αποστάσεις από τους τόπους παραγωγής σε καταναλώτριες χώρες. Έχει αναπτυχθεί μία ιδιαίτερη τεχνολογία που περιγράφεται στην πτυχιακή αυτή και αφορά την υγροποίησή του, την φόρτωση και μεταφορά, και τέλος την εκφόρτωση σε τερματικούς σταθμούς. Τέλος θα γίνει και μικρή αναφορά στη μεταφορά με πλοία συμπιεσμένου φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση.

## ABSTRACT

---

This paper's main subject is the distribution of natural gas as liquid form with vessels. The increased energy needs of humanity for cleaner and improved fuels have created the need to transfer natural gas as liquid form (in step with that via pipeline). The liquefied natural gas is transported by special tankers in great distances from the extraction points to the consumption countries. This paper describes also the special technology that is developed for the liquefaction, loading, transportation and the unloading in terminals. At the end there are is a short report for the transportation of natural gas as compressed gas with vessels.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η ναυτιλιακή αγορά του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Liquefied Natural Gas - LNG) αποτελεί τα τελευταία χρόνια χωρίς αμφιβολία μια πολύ ενδιαφέρουσα περιοχή στις θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας, οι οποίες κυριαρχούν στην παγκόσμια ναυτιλία προϊόντων χύδην.

Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα. Στους ενεργειακούς κύκλους είναι γνωστό ότι το Φυσικό Αέριο (ΦΑ) θα αποτελέσει τον διάδοχο του πετρελαίου στον 21ο αιώνα και η Ναυτιλία, που αποτελεί την βάση του παγκόσμιου εμπορίου, καλείται να ανταποκριθεί στις νέες προκλήσεις.

Ενώ για πολλές δεκαετίες το εμπόριο ΦΑ είχε τοπικό χαρακτήρα και λάμβανε χώρα σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, οι οποίες ήταν απομονωμένες μεταξύ τους, η ανάπτυξη του εμπορίου LNG έχει συμβάλει ιδιαίτερα στην δημιουργία μιας παγκόσμιας ανταγωνιστικής αγοράς με αντιστοιχίες με εκείνη του πετρελαίου, αλλά και πολλές διαφορές.

Στη παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί μια θεώρηση των τάσεων στην αγορά LNG, πριν διατυπωθούν κάποιες εκτιμήσεις για την μελλοντική της πορεία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ

### ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

#### ΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥΣ

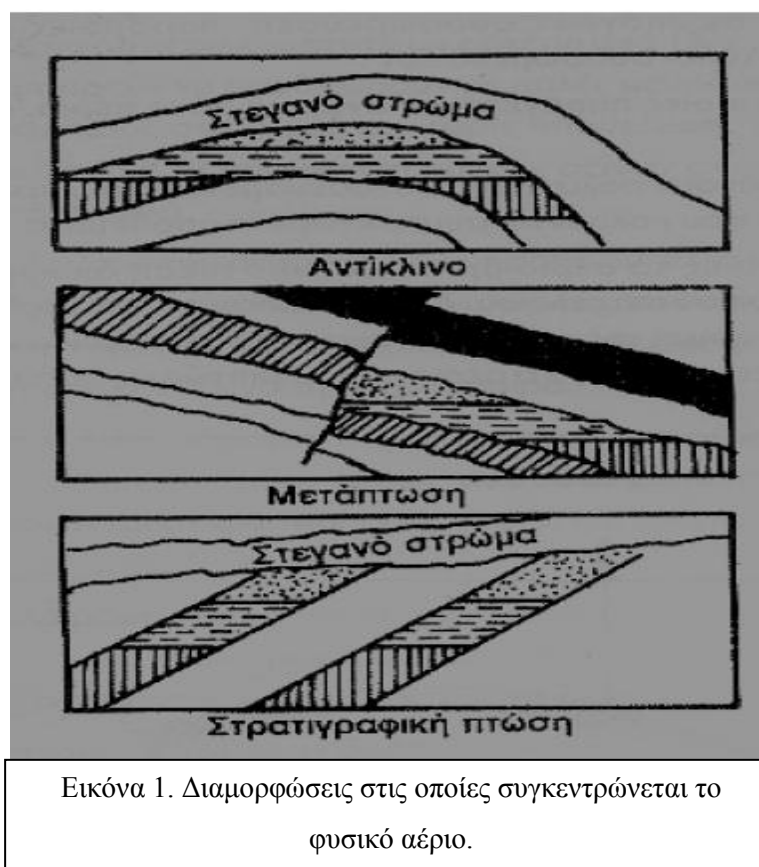
Το φυσικό αέριο δημιουργήθηκε πριν από πολλά εκατομμύρια χρόνια στους πυθμένες αβαθών θαλασσών από μεγάλες ποσότητες ύδατος, πλαγκτόν και άλλων μικροοργανισμών, την απουσία αέρα και υπό την επίδραση βακτηρίων.

Κατά τη διάρκεια γεωλογικών αιώνων το υλικό αυτό βυθίστηκε και καταπλακώθηκε από μεγάλα στρώματα γης.

Το αέριο που παράχθηκε κατά αυτόν τον τρόπο κατέφυγε στους πόρους του μητρικού στρώματος, όπου και συγκρατήθηκε προσωρινά.

Αργότερα, και κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες το αέριο αυτό μετακινήθηκε σε άλλες στρωματικές διαμορφώσεις, στις οποίες το βρίσκουμε και σήμερα.

Αυτές οι διαμορφώσεις προϋποθέτουν ένα πλήρως στεγανό στρώμα καλύψεως, το οποίο μπορεί να είναι ένα αντίκλινο, μια μετάπτωση ή μια στρατιγραφική πτώση. ( σχήμα 1)



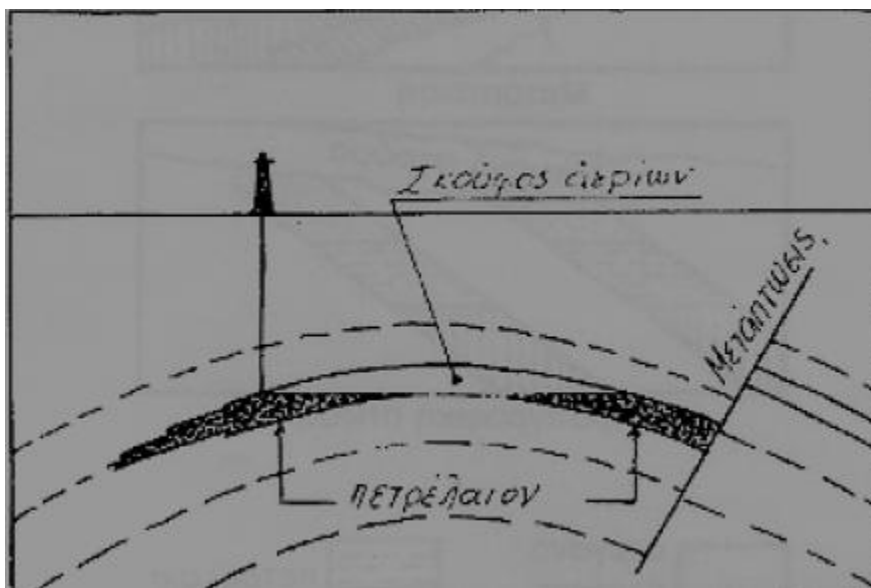
Τέτοιες διαμορφώσεις, που ερευνώνται με διάφορες μεθόδους, χαρακτηρίζονται ελπιδοφόρες, όσον αφορά την ύπαρξη αερίου.

## ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Το φυσικό αέριο κατά κύριο λόγο βρίσκεται σε υπόγειες συσσωρεύσεις, παρόμοιες με αυτές του φυσικού πετρελαίου.

Υπάρχουν τρεις τύποι τέτοιων συσσωρεύσεων:

- Συσσωρεύσεις από τις οποίες παράγεται οικονομικό μόνο αέριο, οι οποίες καλούνται μη συνδυασμένες.
- Συσσωρεύσεις που παράγουν πολύ αέριο συνοδευόμενο από μικρές ποσότητες ελαφρών υγρών υδρογονανθράκων, που καλούνται συμπυκνωμένα αποθέματα.
- Συσσωρεύσεις στις οποίες το αέριο βρίσκεται υπό πίεση διαλυμένο εντός των υγρών υδρογονανθράκων του φυσικού πετρελαίου. Όταν η ποσότητα των αερίων είναι αρκετά μεγάλη, καταλαμβάνει το ανώτερο τμήμα της συσσωρεύσης του πετρελαίου υπό μορφή "σκούφου" (gas – cap), όπως φαίνεται στο (σχήμα 2). Το αέριο στις περιπτώσεις αυτές καλείται συνδυασμένο.



Εικόνα 2. Σκούφος φυσικού αερίου (gas- cap).

Από το σκούφο δεν παράγεται ποτέ αέριο, γιατί η ενέργεια του αερίου αυτού, το οποίο βρίσκεται υπό πίεση, χρησιμοποιείται για την ευκολότερη άντληση του πετρελαίου από τα έγκατα της γης στην επιφάνεια.

Στις περιπτώσεις αυτές η παραγωγή αερίου εξαρτάται από την παραγωγή πετρελαίου, ενώ στην περίπτωση των μή συνδυασμένων αποθεμάτων η παραγωγή αερίου γίνεται κατά περίπτωση. Όταν τέλος εξαντληθεί η συσσωρεύση του πετρελαίου και δεν μπορεί να παραχθεί πετρέλαιο με οικονομικό τρόπο, τότε γίνεται παραγωγή αερίου από τον σκούφο.

## ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

### **Σύσταση**

Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή προέλευσής του.

Μία τυπική σύνθεση φυσικού αερίου δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	Min 85%
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Max 8,6%
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Max 3%
Βουτάνιο	Max 2%
Πεντάνια και άλλοι υδρογονάνθρακες	Max 1%
Άζωτο (N <sub>2</sub> )	Max 5%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	Max 3%

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 0,55. Σε περίπτωση διαρροής, διαχέεται και διαφεύγει άμεσα προς την ατμόσφαιρα (σε αντίθεση με το υγραέριο που είναι βαρύτερο από τον αέρα και σε περίπτωση διαφυγής συγκεντρώνεται χαμηλά).

Το φυσικό αέριο είναι άοσμο, αλλά κατά τη κατεργασία του προστίθεται μια ειδική ουσία με χαρακτηριστική οσμή ώστε να ανιχνεύεται σε περίπτωση διαφυγής.

Τα όρια αναφλεξιμότητας του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15%. Δηλαδή, η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του μίγματος (με αέρα) σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων.

Λόγω της σύστασής του κατά την καύση του έχει τη χαμηλότερη εκπομπή ρύπων από όλα τα συμβατικά καύσιμα. Επίσης, δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα συνεπώς δεν είναι τοξικό.

Για τα αέρια έχει οριστεί μια κατάσταση αναφοράς που καλείται “κανονική” κατάσταση (και στην οποία ανάγονται οι όγκοι τους) και η οποία είναι 0 °C για τη θερμοκρασία και 1,01325 bar για την πίεση. Ο όγκος ενός κυβικού μέτρου αερίου σε κανονική κατάσταση αποτελεί ένα “κανονικό κυβικό μέτρο” αερίου (1Nm<sup>3</sup>).

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Πρώτη προτεραιότητα κατά την εξαγωγή του φυσικού αερίου αποτελεί η απομάκρυνση του νερού, είτε αυτό βρίσκεται σε υγρή μορφή, είτε σε μορφή ατμού, ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός υδριτών κατά το πέρασμα του αερίου ρεύματος από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας αλλά και στον αγωγό μεταφοράς.

Οι υδρίτες είναι κρυσταλλικές ενώσεις νερού και αερίου που απαντώνται σε μορφή πάγου και φράζουν σωληνώσεις και εξαρτήματά τους. Γενικά, ο σχηματισμός των υδριτών εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, συνήθως όμως υδρίτες σχηματίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τέτοιες θερμοκρασίες είναι δυνατόν να παρατηρηθούν τοπικά κατά την εκτόνωση

του αερίου μέσα από βάνες ακόμα και όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι σημαντικά υψηλότερη από τη θερμοκρασία σχηματισμού τους.

Είναι, επομένως, αναγκαίο ακόμα και από την κεφαλή της γεώτρησης να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή του σχηματισμού υδριτών προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας και μεταφοράς του αερίου. Τα στάδια της επεξεργασίας του αερίου είναι:

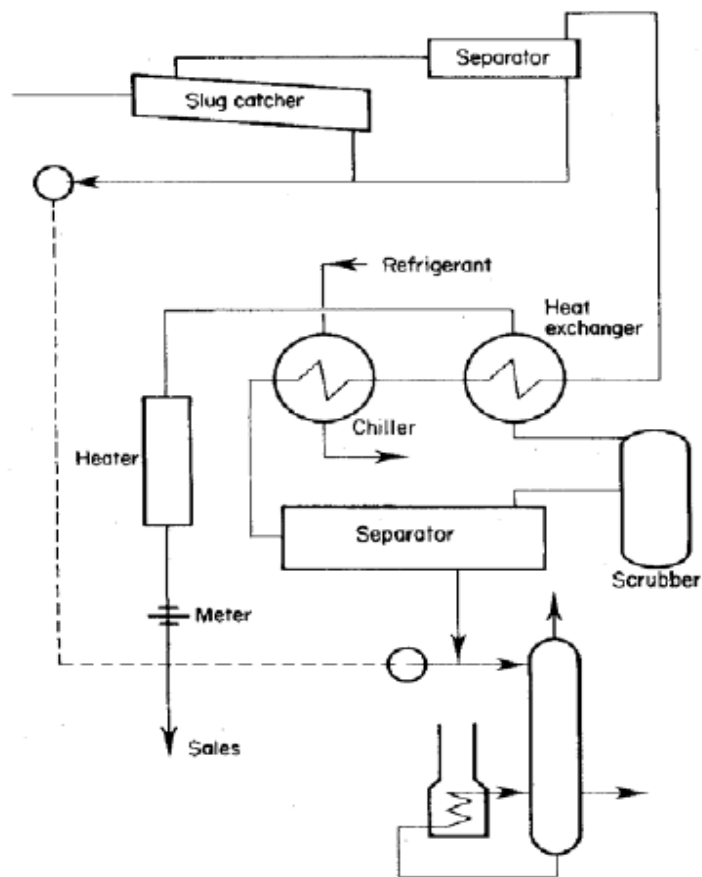
- Αφυδάτωση : κατά την διάρκεια της ξήρανσης (διέλευση του αερίου από ένα απλό διαχωριστή, στον οποίο διαχωρίζεται το ελεύθερο υγρό, και τη στήλη ξήρανσης) πραγματοποιείται και διαχωρισμός συμπυκνώματος υδρογονανθράκων. Ο διαχωρισμός του συμπυκνώματος ελαφρών υδρογονανθράκων από το νερό, πραγματοποιείται σχετικά εύκολα.
- Γλύκανση : ονομάζεται η διενέργεια απομάκρυνσης των όξινων αερίων από το φυσικό αέριο.

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ

Η επεξεργασία που απαιτείται για τη τήρηση των προδιαγραφών είναι μια απλή διεργασία ψύξης κατά την οποία το αέριο ψύχεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία και απομακρύνεται το παραγόμενο συμπύκνωμα. Ένα τυπικό διάγραμμα ροής για τη διεργασία αυτή φαίνεται στην εικόνα 3, το οποίο περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες:

- Το ρεύμα από τον αγωγό μεταφοράς διέρχεται αρχικά από διαχωριστή για την απομάκρυνση τυχόν συμπυκνώματος που μεταφέρεται μαζί με το αέριο. Μετά το στάδιο αυτό προστίθεται στο αέριο γλυκόλη για την αποφυγή σχηματισμού υδριτών λόγω ψύξης.
- Το αέριο ψύχεται αρχικά σε εναλλάκτη θερμότητας και στη συνέχεια σε μονάδα ψύξης με ψυκτικό είτε φρέον είτε λιγότερο αποτελεσματικό προπάνιο έως  $-18^{\circ}\text{C}$  περίπου.
- Το διφασικό μίγμα που προκύπτει από τη παραπάνω διεργασία διέρχεται από διαχωριστή. Το αέριο ρεύμα στην έξοδο από το διαχωριστή οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας που αναφέρθηκε προηγουμένως όπου θερμαίνεται, ψύχοντας ταυτόχρονα το αέριο που εισέρχεται στο σύστημα από τον αγωγό μεταφοράς. Στη συνέχεια θερμαίνεται περαιτέρω σε θερμαντήρα, και οδηγείται προς μέτρηση και μεταφορά. Το υγρό ρεύμα στην έξοδο του διαχωριστή, αποστάζεται δίνοντας γλυκόλη, νερό και συμπυκνώματα υδρογονανθράκων.





Εικόνα 3. Επεξεργασία στην ακτή.

## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Με τον όρο μεταφορά φυσικού αερίου εννοείται αφενός η διηπειρωτική και διεθνής μεταφορά του, αφετέρου η παράλληλη με την μεταφορά διανομή φυσικού αερίου σε μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές.

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα συστήματα μεταφοράς του φυσικού αερίου που επιλέγονται σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τα πολιτικά, γεωγραφικά και τεχνικά δεδομένα, είναι τα εξής :

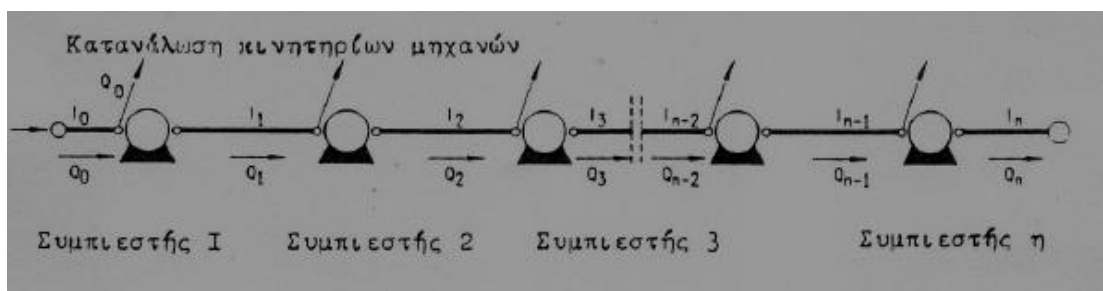
- Επίγεια δίκτυα μεταφοράς
- Υποθαλάσσια δίκτυα μεταφοράς
- Υγροποίηση και θαλάσσια μεταφορά

## ΕΠΙΓΕΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Το μεγαλύτερο ποσοστό των διακινούμενων ποσοτήτων αερίου διεθνώς μεταφέρεται μέσω χαλύβδινων πιεστικών δικτύων. Η αύξηση της ικανότητας μεταφοράς επιτυγχάνεται με την αύξηση της πίεσης στους αγωγούς.

Οι σύγχρονες γραμμές μεταφοράς λειτουργούν σε πίεση 67,5 ή 80 bar με προοπτική στο μέλλον να λειτουργούν στα 120 bar. Τα παρουσιαζόμενα όμως τεχνικά όρια στην διάμετρο των αγωγών μεταφοράς, εμφανίζονται και στην πίεση μεταφοράς με αποτέλεσμα τον περιορισμό της πίεσης λειτουργίας και την χρησιμοποίηση ενδιάμεσων σταθμών συμπίεσης.

Το μοντέλο ενός δικτύου μεταφοράς μοιάζει με μια αλυσίδα που αποτελείται από κομμάτια αγωγού μεγάλης διαμέτρου και ενδιάμεσους σταθμούς συμπίεσης (βλέπε εικόνα 4 )



Εικόνα 4. Μοντέλο ενός δικτύου μεταφοράς.

Μετά από υπολογισμούς διαπιστώθηκε ότι για διηπειρωτικά δίκτυα μεταφοράς απαιτείται ένας σταθμός συμπίεσης κάθε 100 με 400 km.

Οι αγωγοί μεταφοράς τοποθετούνται μέσα στο έδαφος σε βάθος 2 - 2,5m. Οι σωλήνες έχουν καθοδική προστασία με συνεχές ρεύμα και προστασία έναντι της σκουριάς.

Στα σημεία του δικτύου με το χαμηλότερο ύψος τοποθετούνται κατάλληλες διατάξεις απομάκρυνσης των συμπυκνωμάτων που δημιουργούν οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες. Το συνολικό μήκος των δικτύων σήμερα υπερβαίνει τα  $10^6$  km πιεστικών αγωγών.

## ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Μια ιδιαίτερη μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου πραγματοποιείται μέσω υποθαλάσσιων αγωγών.

Η υποθαλάσσια μεταφορά εφαρμόζεται σε δυο περιπτώσεις :

- Για τη σύνδεση πηγών που βρίσκονται σε θαλάσσιο χώρο με την ξηρά.
- Για την μεταφορά αερίου από μια πηγή που βρίσκεται στην ξηρά σε καταναλωτές στην απέναντι όχθη.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν υποθαλάσσιοι αγωγοί με μήκος 450 km (Βόρεια Θάλασσα) ενώ στο στάδιο της μελέτης βρίσκονται αγωγή με μήκος 1000 km. Το μεγαλύτερο βάθος συναντά ο αγωγός Τυνήσιας – Σικελίας και φθάνει τα 600 m.

Οι σταθμοί συμπίεσης που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των απωλειών πίεσης, κατασκευάζονται σε θαλάσσιες εξέδρες και η πίεση λειτουργίας τους φθάνει τιμές μέχρι και 150 bar.

## ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG δεν είναι τίποτα άλλο παρά το φυσικό αέριο των υπογείων κοιτασμάτων, το οποίο κάτω από ειδική επεξεργασία μεταβαίνει από την αέρια στην υγρή κατάσταση ( υγροποίηση ) με σκοπό τη μεταφορά του με ειδικά δεξαμενόπλοια.

Εκτεταμένα θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

## ΧΡΗΣΗ

Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών στο σπίτι, στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία.

### ❖ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Με τη συνεχή ανάπτυξη και βελτίωση της τεχνολογίας, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμένο κύκλο και η από κοινού παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού από τις υπάρχουσες ενεργειακές εγκαταστάσεις είναι οι καλύτερες δυνατές επιλογές από πλευράς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλή περιβαλλοντική επίπτωση.

### ❖ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η χρήση του φυσικού αερίου στη βιομηχανία μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Απευθείας θερμική χρήση, κυρίως από βιομηχανίες παραγωγής κατασκευαστικών υλικών.
- Έμμεση θερμική χρήση ,κυρίως από χημικές βιομηχανίες και βιομηχανίες χαρτιού, τροφίμων κ.α.
- Ως πρώτη ύλη, από τις βιομηχανίες αμμωνίας, μεθανίου, αιθυλενίου, προπυλενίου.

### ❖ ΣΤΟΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ευρέως στον εμπορικό τομέα κυρίως για θέρμανση, παραγωγή ζεστού νερού, στη μαγειρική, καθώς και σε άλλες εξειδικευμένες χρήσεις.

Εκτιμάται ότι μέχρι το 2020 η κατανάλωση αερίου από τον εμπορικό τομέα θα έχει αυξηθεί στο 33% της συνολικής κατανάλωσης αερίου από τα δίκτυα χαμηλής πίεσης.

## ❖ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

Στον οικιακό τομέα για:

- κεντρική θέρμανση πολυκατοικίας
- αυτόνομη θέρμανση μονοκατοικίας ή διαμερίσματος
- παροχή ζεστού νερού
- μαγείρεμα
- κλιματισμό

## ❖ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Η πρώτη χρήση του φυσικού αερίου στην μεταφορά καταγράφηκε ταυτόχρονα με την είσοδο των μηχανών εσωτερικής καύσης από τον τομέα της μεταφοράς.

Παγκοσμίως, υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη χρήση του αερίου για μεταφορά και ειδικότερα από τα μέσα μαζικής μεταφοράς, λόγω της οικονομίας που προσφέρει ως καύσιμο και της φιλικότητας του προς το περιβάλλον.

Αλλά και η χρήση του σε ιδιωτικά οχήματα συνεχώς αυξάνει. Μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων αναπτύσσουν με ταχείς ρυθμούς τη σχετική τεχνολογία για τη χρήση του αερίου ως υποκατάστατο και ανταγωνιστικό καύσιμο.

## ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΟΥ ΥΠΟΚΑΘΙΣΤΑ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Το φυσικό αέριο μπορεί να υποκαταστήσει όλα τα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα και μορφές ενέργειας.

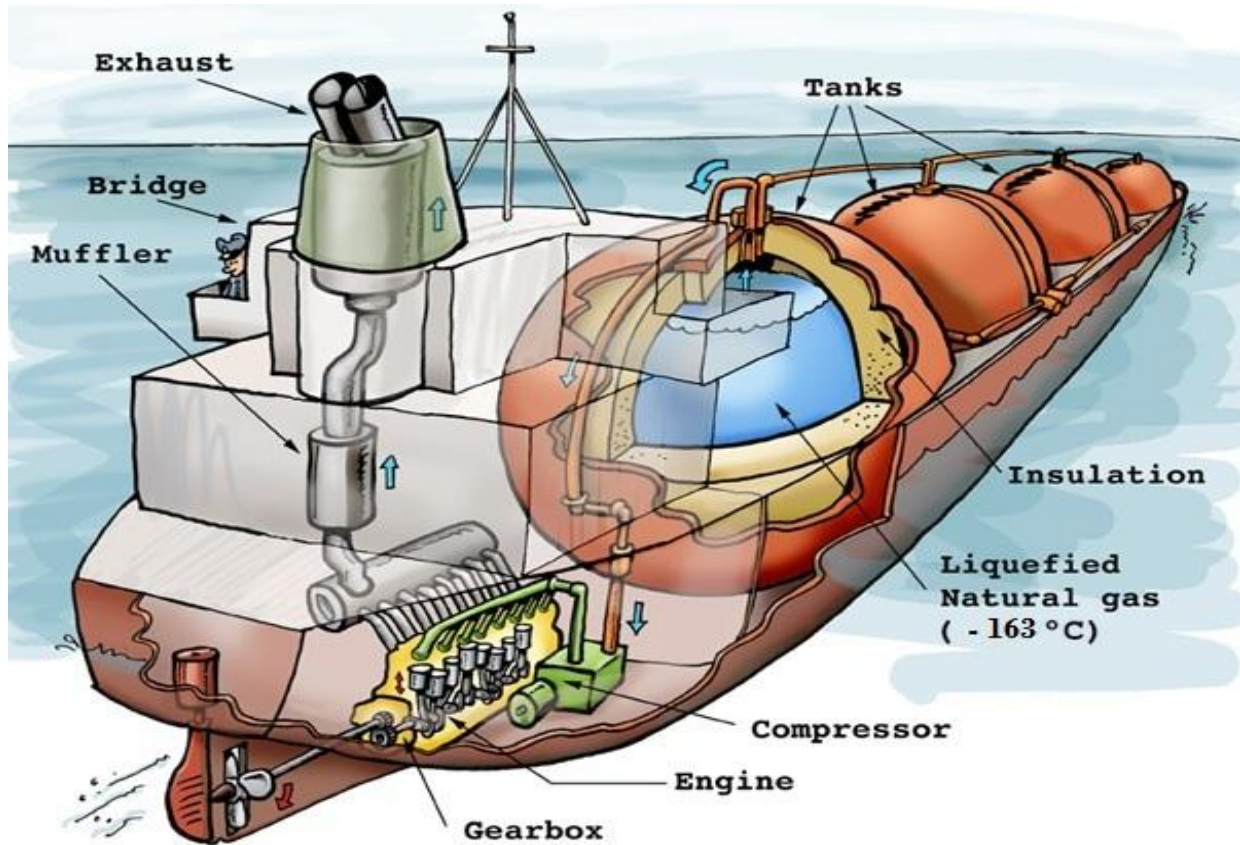
<b>ΧΡΗΣΗ</b>	<b>ΥΠΟΚΑΘΙΣΤΑΜΕΝΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ</b>
Θέρμανση χώρων (κεντρική ή αυτόνομη)	Πετρέλαιο Θέρμανσης & Ηλεκτρισμός
Παραγωγή ζεστού νερού	Ηλεκτρισμός & Πετρέλαιο Κίνησης
Παραγωγή ατμού	Πετρέλαιο Κίνησης & Μαζούτ
Μαγείρεμα-Ψήσιμο	Ηλεκτρισμός, Υγραέριο & Πετρέλαιο Κίνησης
Κλιματισμός (ψύξη- θέρμανση)	Ηλεκτρισμός
Βιομηχανικές χρήσεις	Μαζούτ, Πετρέλαιο Κίνησης & Υγραέριο

## ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΑΝ ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΛΟΙΩΝ

Σε συνεχή αναζήτηση για τη χρησιμοποίηση νέων μορφών ενέργειας λιγότερο ρυπογόνων για το περιβάλλον βρίσκεται και η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία. Στόχος ο περιορισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Στο πλαίσιο αυτό οι προσπάθειες έχουν στραφεί στη χρήση φυσικού αερίου ως καυσίμου στα πλοία. Πρόκειται για ένα από τα θέματα συζήτησης στη ναυτιλία «receiving a lot of attention», που έχουν με λίγα λόγια προσελκύσει την προσοχή της θαλάσσιας βιομηχανίας. Οι ειδικοί

επιμένουν ότι το LNG είναι το καύσιμο του μέλλοντος αν και είχε χρησιμοποιηθεί από ένα μικρό αριθμό πλοίων, τα λεγόμενα gas ships, για κάποιο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 5. Φυσικό αέριο σαν καύσιμο πλοίων.

Σήμερα όμως υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προτάσεων για την κατασκευή μηχανών πλοία που θα μπορούν να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως καύσιμο.

Σε πρώτη φάση το φυσικό αέριο θα χρησιμοποιηθεί στη ναυτιλία μικρών αποστάσεων και στα επιβατηγά πλοία.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης φυσικού αερίου για καύσιμο στα πλοία είναι ότι μειώνει σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα ρύπανσης.

Πολλές ναυτιλιακές εταιρείες, μελετάνε το θέμα πολύ σοβαρά για νέες ναυπηγήσεις πλοίων ώστε να γίνει η εγκατάσταση των ειδικών για LNG μηχανών από την αρχή και να μην χρειαστεί να τις μετατρέψουν στη συνέχεια, κίνηση που θα είναι υψηλού κόστους. Μάλιστα στον IMO υπάρχει κώδικας για τα chemical tankers τον οποίο τα επόμενα χρόνια θα τον τροποποιήσουν για να βάλουν διατάξεις για τα πλοία που θα κινούνται με φυσικό αέριο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΥΓΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΠΛΟΙΑ

### ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η μεταφορά του φυσικού αερίου γίνεται με τρεις τρόπους, με επίγειους αγωγούς, υποθαλάσσιους αγωγούς και με την υγροποίηση και την μεταφορά διά θαλάσσης.

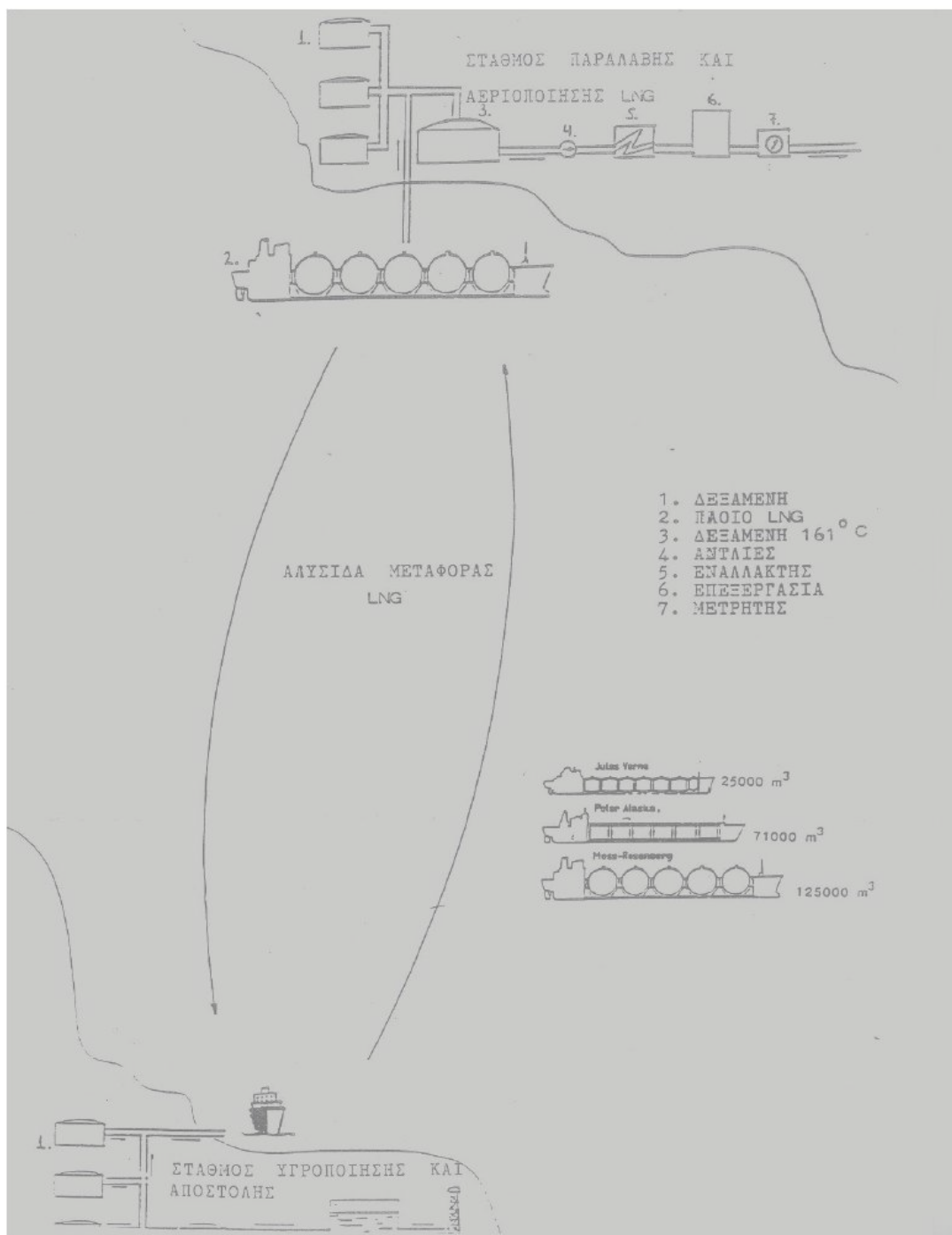
Η μεταφορά με δεξαμενόπλοια είναι απαραίτητη όταν το κοιτάσμα απέχει από τη κατανάλωση τόσο ώστε η μεταφορά με υποθαλάσσιους αγωγούς να είναι αδύνατη, ή οικονομικά ασύμφορη.

Τα ήδη υπάρχοντα υποθαλάσσια δίκτυα μεταφοράς παρουσίασαν με το χρόνο μια αύξηση στα μήκη τους αλλά η τεχνική εμπειρία γύρω από αυτά αφορά μόνο μικρά βάθη.

Για τους παραπάνω λόγους ξεκίνησαν προσπάθειες με στόχο τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου με πλοία, που είχαν ως αποτέλεσμα το 1959 να γίνει το πρώτο πειραματικό ταξίδι. Από το 1964 ξεκινά η συστηματική μεταφορά ποσότητας 25.000 m<sup>3</sup> μεταξύ Raze (Αλγερία) και Convey (Αγγλία) ενώ ταχύτατα δημιουργούνται και άλλοι θαλασσινοί δρόμοι μεταφοράς LNG.

Η χωρητικότητα των πλοίων μεταφοράς εξελίχθηκε σταδιακά και έτσι σήμερα ανέρχεται στα 125.000 m<sup>3</sup>.

Με την εξέλιξη των πλοίων περιορίστηκε το κόστος με αποτέλεσμα να μειωθεί και ο χρόνος εκφόρτωσης ακόμα και σε ένα 24ωρο. Στο παρακάτω σχέδιο παριστάνεται η αλυσίδα μεταφοράς LNG και τα σχετικά πλοία.



Εικόνα 6 . Διάγραμμα υγροποίησης και θαλάσσιας μεταφοράς του φυσικού αερίου.

## ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ

Λόγω της υψηλής κρίσιμης πίεσης του μεθανίου το LNG παράγεται οικονομικά με ψύξη και όχι με συμπίεση. Υπάρχει διαθέσιμη μια σειρά διεργασιών για εμπορική παραγωγή LNG.

Κοινή για όλες τις διεργασίες υγροποίησης φυσικού αερίου είναι η ανάγκη για προκατεργασία του αερίου τροφοδοσίας για την αφαίρεση των συστατικών που είτε θα πάγωναν είτε θα μπορούσαν να προκαλέσουν ρύπανση κατά την καύση του εξατμισμένου LNG.

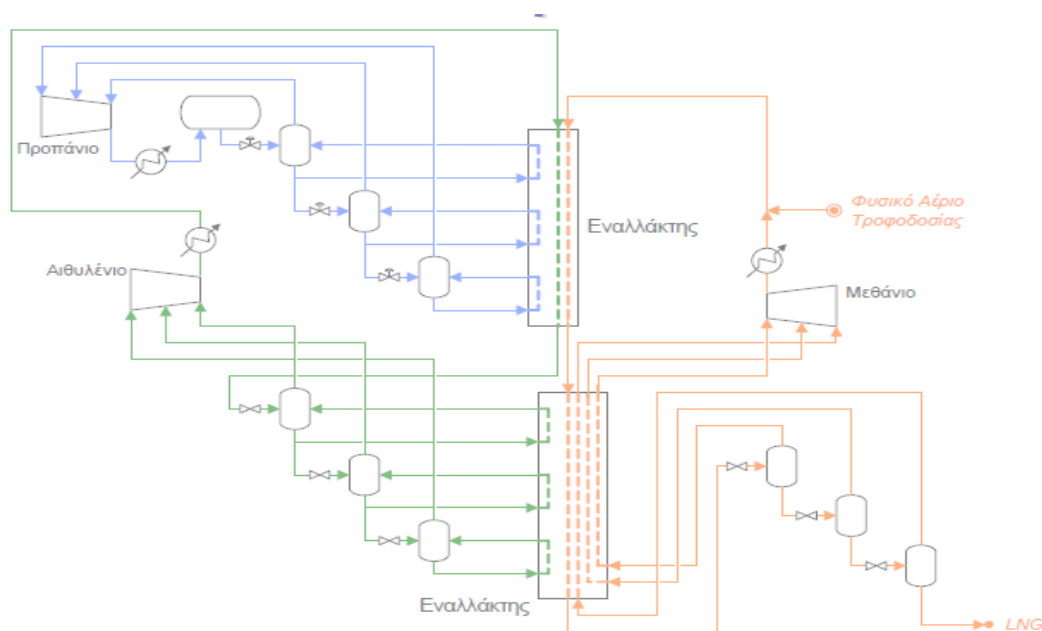
## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Η υγροποίηση φυσικού αερίου σε σταθμούς φόρτωσης μεγάλου μεγέθους πραγματοποιείται με εμφανή στόχο στην βέλτιστη απόδοση της διεργασίας. Η κλίμακα των λειτουργιών σημαίνει ότι η παραγωγή με την πιο μικρή εγκατεστημένη δυναμικότητα και την πιο μικρή κατανάλωση καυσίμων είναι η οικονομικά συμφέρουσα. Επειδή η θερμότητα που πρέπει να αφαιρεθεί από το φυσικό αέριο για να το ψύξει σε  $-163\text{C}^{\circ}$  απορρίπτεται τελικά στον αέρα ή το νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετά περίπλοκα συστήματα.

## ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΨΥΞΗΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Οι πρώτες διεργασίες υγροποίησης φυσικού αερίου χρησιμοποιούσαν συστοιχίες απλών ψυκτικών μονάδων σε σειρά (εικόνα 7). Κάθε ψυκτικό χρησιμοποιείται σε ξεχωριστό κλειστό κύκλο που παρέχει ψύξη σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές περιοχές. Τυπικά, χρησιμοποιούνται προπάνιο, αιθυλένιο και μεθάνιο για να παρέχουν μια ευρεία, ισορροπημένη σειρά ψύξης. Μετά από τη συμπίεση, τρία επίπεδα θερμοκρασιών για καθένα από τα τρία ψυκτικά διαμορφώνουν μια ακολουθία εννέα βαθμίδων. Κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας αντιστοιχεί σε μια προκαθορισμένη ελάττωση πίεσης ( στα δοχεία διαχωρισμού) για την εξάτμιση του ψυκτικού σε εναλλαγή θερμότητας με την τροφοδοσία φυσικού αερίου και ένα ξεχωριστό ρεύμα ψυκτικού που απαιτεί ψύξη. Με αυτόν τον τρόπο, αφαιρείται θερμότητα από το φυσικό αέριο σε διαδοχικά χαμηλότερες θερμοκρασίες δηλαδή, το ψυκτικό βράζει σε διαδοχικά χαμηλότερη πίεση. Η θερμότητα απορρίπτεται στον αέρα ή σε νερό μέσω θερμότερου ψυκτικού, συνήθως προπανίου και των ψυκτικών των συμπιεστών. Ο κύκλος ψύξης του μεθανίου είναι ανοικτός δεδομένου ότι συνδυάζεται με τη τροφοδοσία φυσικού αερίου και μετά από το τελικό στάδιο ελάττωσης πίεσης το υγρό μεθάνιο αποτελεί μέρος του παραγομένου υγροποιημένου φυσικού αερίου. Οι διεργασίες ψύξης σε σειρά επέτρεψαν τη χρήση ψυκτικών συστημάτων ενός συστατικού σε εποχές που δεν είχαν αναπτυχθεί τόσο καλά οι θερμοδυναμικοί συσχετισμοί και οι βάσεις δεδομένων θερμοδυναμικών ιδιοτήτων τόσο όσο είναι αυτή τη στιγμή. Επιπλέον, οι διεργασίες μπόρεσαν να γίνουν πολύ αποδοτικές με την αύξηση τόσο του αριθμού των ψυκτικών ουσιών που χρησιμοποιήθηκαν όσο και των βαθμίδων εξάτμισης κάθε ψυκτικού. Όμως αυτή η βελτίωση στην απόδοση έχει αυξημένες οικονομικές συνέπειες. Κάθε ψυκτικό απαιτεί συμπιεστή, μηχανισμό κίνησης, δοχεία και εναλλάκτες θερμότητας μαζί με τις απαραίτητες σωληνώσεις μόνωση και συστήματα έλεγχου. Κάθε πρόσθετο στάδιο εξάτμισης προσθέτει στον αριθμό των εναλλακτών θερμότητας και δοχείων και τον αριθμό των παραπλεύρων ρευμάτων που εισάγονται στο συμπιεστή.



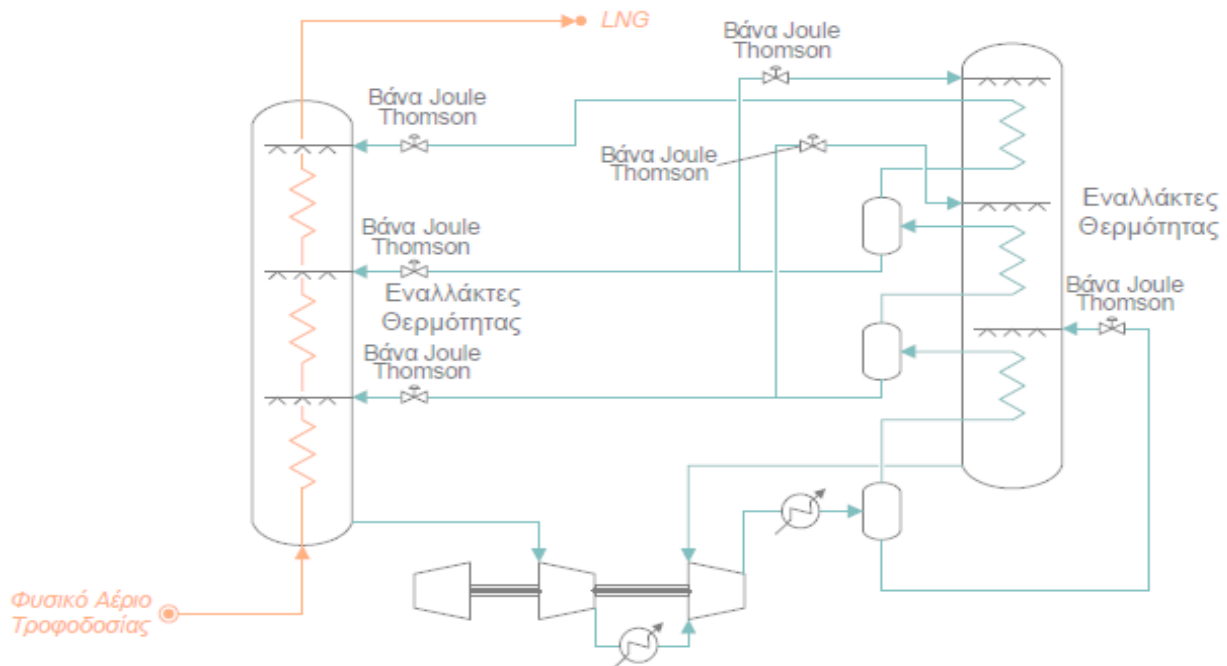


Εικόνα 7. Διεργασία υγροποίησης σε σειρά.

## ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΜΙΓΜΑ ΨΥΚΤΙΚΩΝ

Το πρόβλημα του συνθέτου σχεδιασμού, το σχετικά υψηλό κόστος επένδυσης, και οι περιορισμοί στα ενδιάμεσα στάδια της διαδικασίας υγροποίησης σε σειρά αντιμετωπίζονται με τις διεργασίες υγροποίησης με μίγμα ψυκτικών. Με την εξέλιξη του εξοπλισμού και των συστημάτων έλεγχου έγινε δυνατός ο συνδυασμός ψυκτικών σε έναν ψυκτικό κύκλο (εικόνα 8) . σε τέτοιες διεργασίες, γίνεται ένας συνδυασμός ψυκτικών όπως πεντάνιο, βουτάνιο, προπάνιο, αιθάνιο, μεθάνιο και άζωτο σε αναλογίες κατάλληλες για την καμπύλη ψύξης του προς υγροποίηση φυσικού αερίου. Το μίγμα ψυκτικών συμπυκνώνεται έπειτα, κατά μέρος με αέρα ή νερό και το υπόλοιπο σε χαμηλότερη θερμοκρασία με εναλλαγή θερμότητας με το ίδιο το μίγμα. Στην τελευταία περίπτωση, το εισερχόμενο αέριο ψυκτικού ψύχεται και συμπυκνώνεται σε ανυψωμένη πίεση κατά αντιροή με την εξαμιζόμενη υγρή φάση του μίγματος ψυκτικών, καθένα από τα όποια εκτονώνεται σε μια πολύ χαμηλή πίεση και, ως εκ τούτου, και θερμοκρασία. Η διεργασία με μίγμα ψυκτικών έχει αποδώσει καλά σε διάφορες εγκαταστάσεις και αντιπροσωπεύει μια απλοποίηση έναντι της διαδικασίας υγροποίησης σε σειρά. Εντούτοις, δεν είναι θερμοδυναμικά αρκετά αποδοτική, ώστε να είναι οικονομική σε σχέση με τις αυξανόμενες τιμές ενεργείας. Για να ανταποκριθεί στην καμπύλη ψύξης του βασικού αερίου τροφοδοσίας σε ένα ευρύ φάσμα, από τη θερμοκρασία του νερού ψύξης ή του αέρα, ως τη θερμοκρασία υγροποίησης , είναι απαραίτητοι συμβιβασμοί ως προς την σύνθεση του μίγματος ψυκτικών. Το ευρύ φάσμα των σημείων βρασμού για τα συστατικά του μίγματος ψυκτικών σημαίνει επίσης ότι μερικά από τα βαρύτερα συστατικά συμπιέζονται σε υψηλότερες πιέσεις από τις πραγματικά απαιτούμενες για τη συμπύκνωσή τους για να

εξασφαλιστεί συμπύκνωση των ελαφρύτερων, χαμηλότερων σημείων βρασμού συστατικών όπως το άζωτο και το μεθάνιο.



Εικόνα 8. Διεργασία υγροποίησης με μίγμα ψυκτικών.

## ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΜΙΓΜΑ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΨΥΞΗ

Στις αρχές της δεκαετίας του '70, αναπτύχθηκε μια τρίτη γενιά διεργασιών, με μίγμα ψυκτικών και προκαταρκτική ψύξη, από τον άμεσο συνδυασμό των άλλων δύο. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη διεργασία χρησιμοποιεί δύο χωριστά συστήματα ψύξης, έναν κύκλο ψύξης με προπάνιο σε σειρά, ακολουθούμενη από έναν κύκλο με μίγμα ψυκτικών που περιλαμβάνει προπάνιο, αιθάνιο, μεθάνιο και άζωτο ως συστατικά ( το Εικόνα 8 παρουσιάζει το διάγραμμα ψύξης για αυτή τη διεργασία). Ο κύκλος προπανίου ψύχει το φυσικό αέριο και χρησιμεύει ως ενδιάμεσο ψυκτικό για την απόρριψη θερμότητας από το τμήμα με το μίγμα ψυκτικών ουσιών προς τον αέρα ή το νερό ψύξης. Το τμήμα ψύξης με προπάνιο μπορεί να κατασκευαστεί από κοινό χάλυβα χαμηλότερου κόστους, ενώ το τμήμα χαμηλότερης θερμοκρασίας απαιτεί χάλυβες αργιλίου ή νικελίου. Κατά συνέπεια, το σπάσιμο της διεργασίας ψύξης στο στάδιο του προπανίου είναι συμβατό με την επιλογή οικονομικών υλικών. Τέλος, με τη μείωση του εύρους της ψύξης που πρέπει να επιτευχθεί από το μίγμα ψυκτικών ουσιών, μπορεί να βελτιστοποιηθεί η σύνθεσή του και να μειωθούν σημαντικά οι ενεργειακές απώλειες λόγω συμπίεσης.

Έχουν αναπτυχθεί πρόσθετα σχήματα διεργασιών που εμπίπτουν στην κατηγορία διεργασιών με μίγμα ψυκτικών και προκαταρκτική ψύξη. Εάν προστεθεί αιθάνιο στο ψυκτικό της προκαταρκτικής ψύξης για να ακολουθήσει μια διεργασία διπλού μίγματος ψυκτικών, η

θερμοκρασία προκαταρκτικής ψύξης μπορεί να μειωθεί σύμφωνα με τη λειτουργία του κύκλου και το ποσοστό του προστιθέμενου αερίου. Με αυτήν την διαδικασία το ψυκτικό φορτίο μπορεί να μετατοπιστεί μεταξύ των δύο κύκλων ψύξης, μία δυνατότητα που μπορεί να είναι χρήσιμη στην αντιμετώπιση αλλαγών στο αέριο τροφοδοσίας, ή αλλαγών στη διαθεσιμότητα ισχύος. Η αλλαγή στη διαθεσιμότητα ισχύος μπορεί να εμφανιστεί λόγω αλλαγών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που έχουν επιπτώσεις στην παραγόμενη ισχύ των ψυκτικών.

Μια άλλη διαδικασία με προκαταρκτική ψύξη έχει προταθεί για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλους με μίγμα ψυκτικών. Σε αυτήν την διαμόρφωση, η αποβαλλόμενη θερμότητα των αεριοστρόβιλων χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει αμμωνία και νερό σε έναν ψυκτική απορρόφησης αμμωνίας. Αυτό το σύστημα θα μπορούσε να αναλάβει το φορτίο της προκαταρκτικής ψύξης εξαλείφοντας την ανάγκη για δαπανηρούς συμπιεστές και μηχανισμούς κίνησης. Κανένα από αυτά τα δύο συστήματα δεν έχει εφαρμοστεί σε μια λειτουργική εγκατάσταση.

### ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΓΚΩΝ ΑΙΧΜΗΣ

Οι εγκαταστάσεις LNG κάλυψης αναγκών διαφέρουν από τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου σε διάφορα σημεία που έχουν επιπτώσεις στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων. Οι εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής είναι πολύ μικρότερες, λειτουργούν μόνο εποχιακά και βρίσκονται συχνά κοντά στο σημείο στο οποίο η πίεση στις γραμμές μεταφοράς αερίου μειώνεται και οι γραμμές διακλαδίζονται στα τοπικά συστήματα διανομής αερίου χαμηλότερης πίεσης. Η έμφαση κατά το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων αναγκών αιχμής δίνεται κυρίως στην ελαχιστοποίηση του κόστους εξοπλισμού και λιγότερο στην υψηλή θερμοδυναμική απόδοση. Έχουν χρησιμοποιηθεί επομένως όλοι οι κύκλοι υγροποίησης πολλαπλού μίγματος ψυκτικών σε μεγάλο ποσοστό στις εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής. Εάν είναι διαθέσιμος ένας τοπικός αγωγός διανομής σε μία πίεση ουσιαστικά κάτω από αυτήν του κύριου αγωγού μεταφοράς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαδικασίες εκτόνωσης για να εκμεταλλευτούν τη διαφορά πίεσης όπως φαίνεται στο εικόνα 8. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές, αλλά η αρχή αυτών των εγκαταστάσεων είναι να εκτονωθεί το αέριο εισόδου σχεδόν ισεντροπικά μέσω ενός στρόβιλου, μειώνοντας κατά συνέπεια γρήγορα τη θερμοκρασία και υγροποιώντας μερικώς το αέριο. Το υγρό στέλνεται για αποθήκευση, και το υπόλοιπο αέριο συμπιέζεται σε ένα συμπιεστή που συνδέεται μηχανικά και λαμβάνει κίνηση από το στρόβιλο εκτόνωσης. Αυτό το αέριο στέλνεται έπειτα στον αγωγό χαμηλότερης πίεσης για διανομή εκτός των εγκαταστάσεων.

## ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG είναι ένα σημαντικό μέρος και για τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου και για τις εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικό μέρος της επένδυσης των τερματικών εγκαταστάσεων παραλαβής LNG.

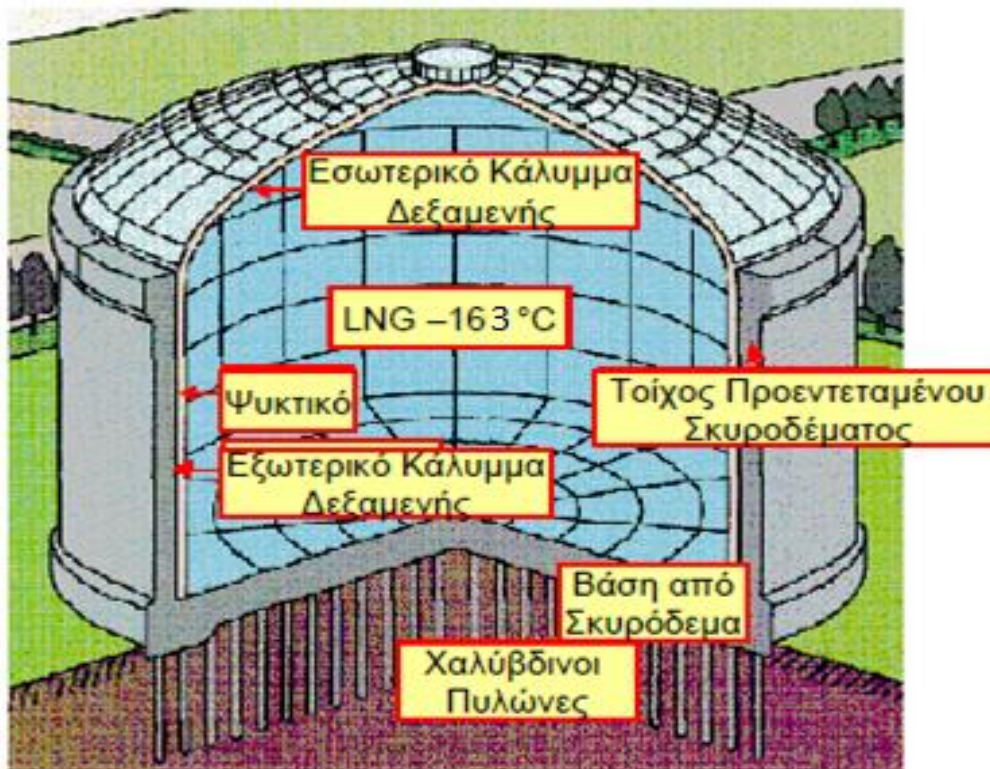
Ένα από τα πρώτα θέματα που τέθηκε στο σχεδιασμό των δεξαμενών LNG ήταν στην επιλογή καταλλήλων υλικών. Η αστοχία της δεξαμενής στο Cleveland Ohio το 1944 αποδόθηκε στη χρήση χάλυβα με 3,5% νικέλιο που έγινε εύθραυστο στη θερμοκρασία του LNG. Μετά από αυτό το συμβάν, μεγάλης κλίμακας προγράμματα έχουν αποδείξει την καταλληλότητα του χάλυβα με 9% νικέλιο, των ανοξείδωτων χαλύβων, και ορισμένων κραμάτων αργιλίου για κατασκευή δεξαμενών LNG. Οι δεξαμενές από κράματα αργιλίου είναι συνήθως περιορισμένου μεγέθους, επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αργιλίου είναι περίπου διπλάσιος από αυτό του χάλυβα. Σε μεγάλες δεξαμενές, τέτοια θερμική μετακίνηση κατά τη διάρκεια ψύξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία των δεξαμενών.

Τα σχέδια των δεξαμενών έχουν εξελιχθεί επίσης δεδομένου ότι έχουν εφαρμοστεί περισσότερο περίπλοκες αναλύσεις δεδομένων ασφαλείας στις εγκαταστάσεις LNG. Οι αρχικοί σχεδιασμοί προέβλεπαν μια εσωτερική κρυογονική δεξαμενή υγρού εντός μιας εξωτερικής δεξαμενής που περιείχε το σύστημα μόνωσης για την εσωτερική. Σε μερικά σχέδια η εξωτερική δεξαμενή περιέχει αέριο αζώτου που με τη σειρά της, ήταν συνδεδεμένη με μια δεξαμενή μεταβλητού όγκου ή με μεμβράνες, η οποία αντιστάθμιζε τις αλλαγές στον όγκο του αζώτου λόγω των αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αποφεύγοντας συμπίεση ή αποσυμπίεση της εξωτερικής δεξαμενής. Σε άλλα σχέδια, η στέγη της εσωτερικής δεξαμενής δεν ήταν στεγανή, αλλά μερικώς υποστλωμένη μόνωση, και η εξωτερική δεξαμενή χρησίμευε ως μια αποθήκη φυσικού αερίου. Και στα δύο σχέδια, οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονταν από κοινό ανθρακούχο χάλυβα άνθρακα και περιβάλλονταν από ένα χαμηλό ανάχωμα για τη συγκράτηση τις όποιας διαρροής LNG.

Αναλυτικές μελέτες έδειξαν ότι ο πρωταρχικός κίνδυνος ασφαλείας με μια διαρροή LNG είναι ο σχηματισμός μεγάλου νέφους ατμών του προϊόντος που μπορεί να παρασυρθεί, αναφλεγεί, και να προκαλέσει εκτεταμένη ζημιά. Τα επόμενα σχέδια ενσωμάτωσαν υλικά εξωτερικής δεξαμενής λιγότερο επιρρεπούς σε αστοχία στις κρυογονικές θερμοκρασίες και υψηλότερα αναχώματα χτισμένα πιο κοντά στις δεξαμενές. Αυτά τα μέτρα οδηγούν σε μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια για οποιαδήποτε διαρροή LNG από μια αστοχία δεξαμενών και επομένως ένα χαμηλότερο ρυθμό τροφοδοσίας του επακόλουθου νέφους ατμών.

Επιπρόσθετες μελέτες αναθεώρησαν τις συνέπειες μιας εξωτερικής προσβολής, όπως συντριβή αεροσκάφους, που οδηγεί σε αποτυχία δεξαμενής και την επίδραση μιας καταστροφικής

αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής στο περιεχόμενο της εξωτερικής δεξαμενής. Όλες αυτές οι μελέτες εστίασαν στην ανάγκη για την ασφαλέστερη συγκράτηση της εξωτερικής δεξαμενής. Τα προκύψαντα σχέδια δεξαμενών περιλαμβάνουν δεξαμενές διπλής ακεραιότητας δηλαδή, μια διαρροή υγρού από μια αστοχία της εξωτερικής δεξαμενής παραλαμβάνεται από μια δεύτερη ομοκεντρική δεξαμενή που είναι δομικά ανεξάρτητη από την πρώτη. Οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα. Τέλος, κατασκευάζονται αναχώματα ύψους όσο και η δεξαμενή για να προστατεύσουν τη δεξαμενή από εξωτερική ζημιά και για να βοηθήσουν στην υποθετική ασύμμετρη φόρτιση της εξωτερικής δεξαμενής ως αποτέλεσμα καταστροφής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής. Όπου η περιοχή είναι παρά πολύ μικρή για να επιτρέψει την πλήρη ανάπτυξη των αναχωμάτων, χρησιμοποιείται είτε κατασκευή δεξαμενής μέσα στο έδαφος, ή η πρόσθετη ενίσχυση της εξωτερικής δεξαμενής.



Εικόνα 8. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG ξηράς.



Εικόνα 9. Εσωτερικό Δεξαμενής LNG.



Εικόνα 10. Εσωτερικό δεξαμενής LNG.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΛΟΙΑ LNG

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το πρώτο πλοίο μεταφοράς LNG Methane Pioneer (5.034 τόνοι ) απέπλευσε από το Calcasieu ποταμό στην ακτή του κόλπου της Λουϊζιάνας στις 25-01-1959 με το πρώτο φορτίο υγροποιημένου φυσικού αερίου και έπλευσε προς το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου το φορτίο παραδόθηκε. Σήμερα, πλέον, γιγαντιαία πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου μεταφέρουν έως 266.000 m<sup>3</sup> σε όλο τον κόσμο. Μέχρι το τέλος του 2005 συνολικά 203 σκάφη είχαν κατασκευαστεί, εκ των οποίων 193 παραμένουν σε λειτουργία.

Η επιτυχία του Methane Pioneer προκάλεσε τη Shell να προχωρήσει στην κατασκευή δυο (2) ειδικών πλοίων μεταφοράς LNG, Methane Princess και Methane Progress. Τα πλοία ήταν εφοδιασμένα με ανεξάρτητες δεξαμενές φορτίου από αλουμίνιο και έτσι άρχισε το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου της Αλγερίας το 1964. Τα πλοία αυτά είχαν χωρητικότητα 27.000 m<sup>3</sup>.

Στα τέλη του 1969, προέκυψε ανάγκη για την εξαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Αλάσκα στην Ιαπωνία και το εμπόριο άρχισε. Δύο πλοία το καθένα χωρητικότητας 71.500 m<sup>3</sup> κατασκευάσθηκαν στην Σουηδία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 η αμερικανική κυβέρνηση ενθάρρυνε τα ναυπηγεία των ΗΠΑ για την κατασκευή πλοίων μεταφοράς LNG, και συνολικά χτίστηκαν 16 πλοία υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Τα τελευταία χρόνια, το μέγεθος και η χωρητικότητα των πλοίων μεταφοράς LNG έχει αυξηθεί σημαντικά. Από το 2005, η Qatar gas υπήρξε πρωτοπόρος στην ανάπτυξη των δύο νέων κατηγοριών πλοίων μεταφοράς LNG, που αναφέρονται ως Q-Glen και Q-Max. Κάθε πλοίο έχει μεταφορική ικανότητα μεταξύ 210.000 m<sup>3</sup> και 266.000 m<sup>3</sup> και είναι εξοπλισμένο με εγκατάσταση υγροποίησης.

### ΤΟ LNG ΠΛΟΙΟ ΩΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Το αεριοφόρο είναι ένα δεξαμενόπλοιο ειδικά κατασκευασμένο για την μεταφορά φυσικού αερίου.

Ειδικά στις μεταφορές αυτού του αερίου, χρησιμοποιείται ο όρος:

- LNG = Liquefied Natural Gas = Υγροποιημένο φυσικό αέριο.







Εικόνα 11-12-13. Πλοία μεταφοράς LNG.

Τα πρώτα αεριοφόρα πλοία ναυπηγήθηκαν στο τέλος της δεκαετίας του '50 και στις αρχές της δεκαετίας του '60. Τα πλοία αυτά LNG όπως επικράτησε τελικά να λέγονται είναι εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν συγκεκριμένα επικίνδυνα φορτία, τα οποία και χρειάζονται ειδικούς χειρισμούς και προφυλάξεις, τόσο κατά την φορτοεκφόρτωση όσο και κατά την μεταφορά τους.

Πέρα από αυτά, μια πολύ βασική και ουσιώδης διαφορά τους από τα κοινά δεξαμενόπλοια βρίσκεται ακριβώς στους χώρους του φορτίου. Οι δεξαμενές – αμπάρια των αεριοφόρων είναι ειδικά κατασκευασμένες για να μπορούν να δέχονται φορτία με πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Γι' αυτό κατασκευάζονται από ειδικά μέταλλα και κράματα νικελίου και χάλυβα ή ανοξείδωτου χάλυβα και κράματα αλουμινίου .



Εικόνα 14. Διάφορα πλοία LNG.

Επίσης, ο τύπος και ο τρόπος κατασκευής των δεξαμενών προβλέπεται από τους σχετικούς κανονισμούς του IMO, σύμφωνα με τους οποίους, αυτές μπορεί να είναι:

- **Ανεξάρτητες δεξαμενές**

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

Οι ανεξάρτητες δεξαμενές διακρίνονται σε τύπου «Α», με πρισματική διατομή, τύπου «Β», με σφαιρική κυρίως διατομή και τύπου «C», με κυλινδρική διατομή.

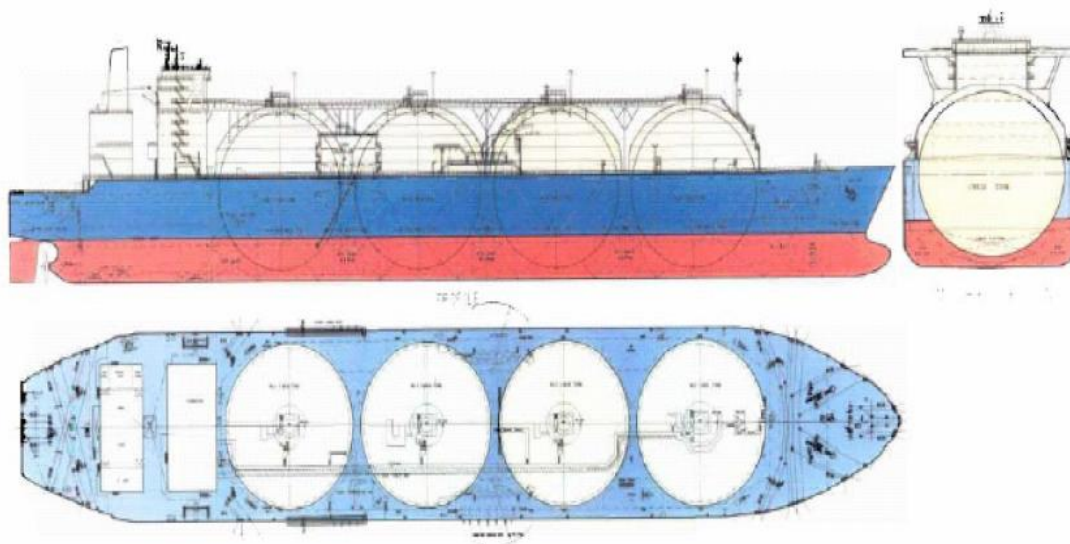
Επίσης ως ανεξάρτητες δεξαμενές θεωρούνται οι δεξαμενές τύπου Moss. Αυτό το σχέδιο ανήκει σε Νορβηγική ναυτιλιακή εταιρία, και είναι μια σφαιρική δεξαμενή. Τα περισσότερα σκάφη τύπου Moss έχουν τέσσερεις (4) δεξαμενές.



Εικόνα 15. Πλοίο τύπου MOSS.

Το εξωτερικό της δεξαμενής έχει ένα παχύ στρώμα από μονωτικό αφρό που είτε τοποθετούνται στο πάνελ, ή σε πιο μοντέρνα σχέδια που τηλιγεται η δεξαμενή. Πάνω σε αυτή τη μόνωση είναι ένα λεπτό στρώμα αλουμινίου που επιτρέπει στη μόνωση να διατηρεί στεγανές με μια ατμόσφαιρα αζώτου. Αυτή η ατμόσφαιρα ελέγχεται συνεχώς για μεθάνιο το οποίο θα σημαίνει μια διαρροή της δεξαμενής. Επίσης, το εξωτερικό της δεξαμενής ελέγχεται τακτικά σε διάστημα περίπου τριών μηνών.

Η δεξαμενή στηρίζεται γύρω από την περιφέρεια του ισημερινού δακτυλίου ο οποίος υποστηρίζεται σε ένα μεγάλο κυκλικό δακτύλιο που παίρνει όλο το βάρος της δεξαμενής κάτω στη δομή του πλοίου. Αυτός ο δακτύλιος επιτρέπει στη δεξαμενή να διαστέλλεται και να συστέλλεται κατά τη διάρκεια της ηρεμίας και της προθέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της ψύξης ή προθέρμανσης, η δεξαμενή μπορεί να συστέλλεται ή να διαστέλλεται περίπου δύο πόδια (60,96 cm).



Εικόνα 16. 137,000 m<sup>3</sup> MOSS TYPE LNG CARRIER.

- **Μεμβρανώδεις δεξαμενές.**

Το κέλυφος αυτών των δεξαμενών είναι σχετικά σύνθετο. Αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό τοίχωμα φτιαγμένο από κράμα σιδηρονικελίου. Η εξωτερική πλευρά καλύπτεται από ένα μονωτικό στρώμα πάχους 200 mm, φτιαγμένο συνήθως από περλίτη, στη συνέχεια από μια δεύτερη μεμβράνη ίδια με

την πρώτη και εξωτερικά πάλι από ένα ίδιο με το προηγούμενο μονωτικό στρώμα περλίτη.

Η ενισχυμένη μόνωση προορίζεται να

ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας από την δεξαμενή φορτίου και να προστατεύει το γύρω σκάφος από τυχόν διαρροή ψύξης.



Εικόνα 17. Πλοίο μεταφοράς LNG μεμβράνη μεταφοράς υγραερίου.

Οι δεξαμενές αυτού του τύπου δεν είναι αυτοσυγκρατούμενες, αλλά στηρίζονται πάνω στο σκάφος με διάφορα ισχυρά στηρίγματα. Η διατομή τους είναι πρισματική και μοιάζει αρκετά με τη διατομή αμπαριού ενός φορτηγού μεταλλευματοφόρου.

- **Ημιμεμβρανοειδής δεξαμενές.**

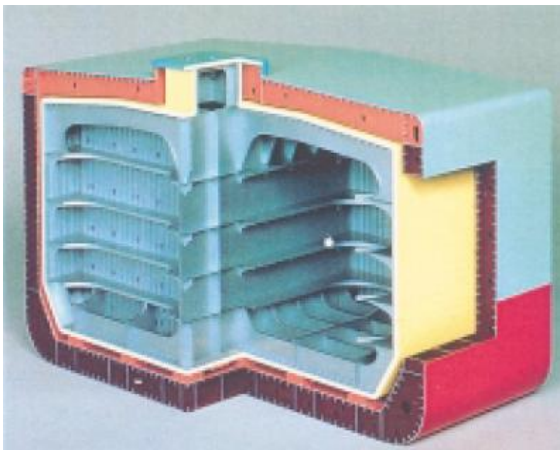
Αυτές αποτελούν μια παραλλαγή δεξαμενών τύπου μεμβράνης με τη διαφορά ότι αυτές είναι αυτοσυγκρατούμενες και το πρώτο τοίχωμά τους είναι λίγο λεπτότερο από το αντίστοιχο των δεξαμενών μεμβράνης. Η διατομή τους είναι αρμονική με επίπεδες πλευρές και ορθές γωνίες.

- **Ακέραιες δεξαμενές.**

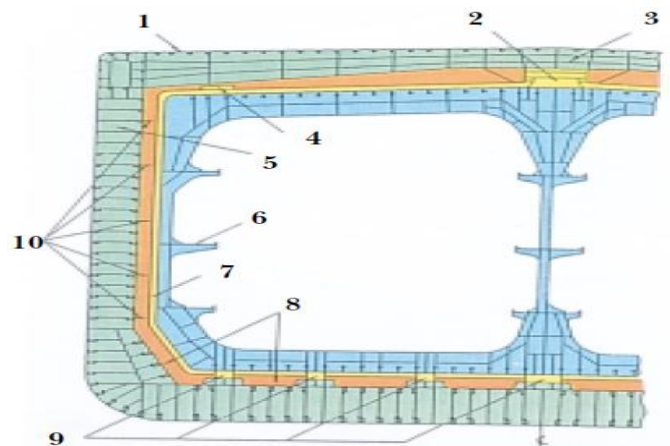
Οι δεξαμενές αυτές είναι ενσωματωμένες πάνω στο σκάφος, με τη διαφορά ότι γύρω από το κέλυφός τους υπάρχει πολύ ισχυρή μόνωση, για να ελαχιστοποιείται η απώλεια θερμότητας από τις δεξαμενές φορτίου, αλλά και για να προστατεύεται από την ψύξη του φορτίου, η κατασκευή του σκάφους γύρω από τη δεξαμενή.

Έχουν πρισματική διατομή, η οποία μοιάζει αρκετά με τη διατομή του αμπαριού ενός φορτηγού μεταλλευματοφόρου.

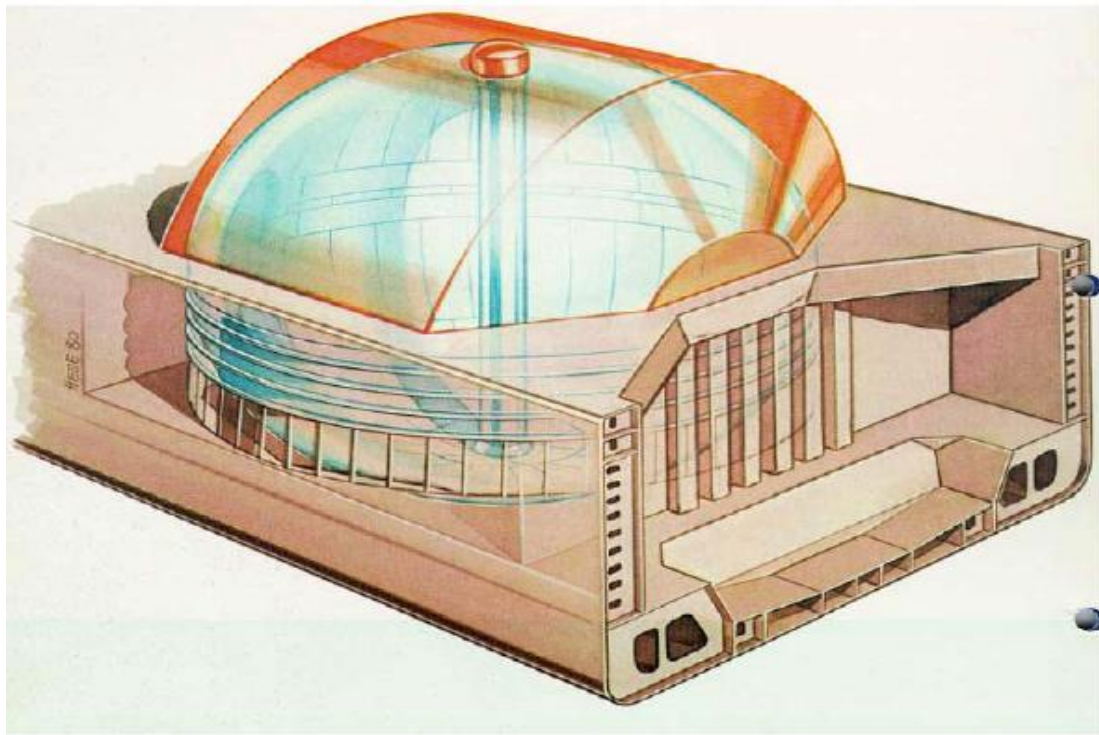
Τα αεριοφόρα πλοία διαθέτουν κανονικές δεξαμενές έρματος, όπως τα φορτηγά ξηρού φορτίου, δηλαδή, διπύθμενα, πλευρικές και πάνω δεξαμενές κτλ. Ειδικά οι πλευρικές δεξαμενές επικοινωνούν άμεσα με τα διπύθμενα, με τρόπο ώστε το πλοίο να έχει εσωτερικά και δεύτερο περίβλημα – κέλυφος, ίδιο με το εξωτερικό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



Εικόνα 18. Τμηματική παράσταση σκάφους ενός πλοίου LNG. Φαίνεται το εσωτερικό των δεξαμενών φορτίου, καθώς επίσης και το εξωτερικό περίβλημα αυτών.



Εικόνα 19. Σχηματική παράσταση μέσης τομής του σκάφους και των δεξαμενών φορτίου ενός πλοίου LNG. 1. Κατάστρωμα 2. Αντιδιατοχιστικοί διάταξη 3. Εγκάρσιο κατάστρωμα 4. Αντιπλευρική διάταξη 5. Δεξαμενή έρματος 6. Οριζόντιο δοκάρι 7. Μόνωση 8. Χώρος εισόδου 9. Ενίσχυση 10. Πέρασμα, διάδρομος.



Εικόνα 20. Σχεδιασμός δεξαμενής.

Τα φορτία των αεριοφόρων μεταφέρονται όλα σε υγροποιημένη κατάσταση, διότι έτσι ελαττώνεται ο όγκος τους, αλλά και σε διάφορες συνθήκες ανάλογα με το είδος κάθε φορτίου και κυρίως ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες με τις οποίες πρέπει να γίνεται η μεταφορά του κάθε φορτίου ή ομάδας φορτίων.

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

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

## ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ

---



### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

- Η εγκατάσταση ΥΦΑ πριν την άφιξη του πλοίου πρέπει να προβεί στις ακόλουθες ενέργειες για την ασφαλή διαχείριση της όλης διαδικασίας εκφόρτωσης.
- 48 ώρες πριν την άφιξη του πλοίου
  - Έλεγχος των βραχιόνων εκφόρτωσης
  - Έλεγχος του πύργου πρόσβασης στο πλοίο
  - Έλεγχος του συστήματος γάντζων πρόσδεσης
- 2 ώρες πριν την άφιξη του πλοίου
  - Μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα πρόσδεσης – κέντρο ελέγχου εγκατάστασης
  - Ρυθμίζεται η παροχή αζώτου προς τους βραχίονες
- Προετοιμασία για πρόσβαση στο πλοίο
- Σύσκεψη στο πλοίο πριν την εκφόρτωση
- Επικοινωνία πλοίου – εγκατάστασης
- Λίστα ασφάλειας πλοίου – εγκατάστασης
- Σύνδεση και προετοιμασία δύσκαμπτων βραχιόνων για την έγχυση ΥΦΑ.

Η σύνδεση, η αδρανοποίηση και το τεστ διαρροής των βραχιόνων πραγματοποιείται από το προσωπικό της εγκατάστασης

Πριν την σύνδεση των βραχιόνων το προσωπικό της εγκατάστασης ελέγχει ότι το πλοίο έχει τοποθετήσει όλα τα φίλτρα στην πολλαπλή του πλοίου όπου και θα γίνει η μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

- Αδρανοποίηση και δοκιμή διαρροών

Η αδρανοποίηση των βραχιόνων πραγματοποιείται με παροχή αζώτου από την εγκατάσταση και η διαδικασία αδρανοποίησης θεωρείται επιτυχής όταν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι μικρότερη του 1%. Ο έλεγχος διαρροών των βραχιόνων στο σημείο σύνδεσης με την πολλαπλή του πλοίου πραγματοποιείται με παροχή αζώτου από την εγκατάσταση. Ο έλεγχος γίνεται με τη χρήση σαπυνοδιαλύματος από το προσωπικό της εγκατάστασης.

- Μέτρηση φορτίου

Το πλοίο μετά την πλεύση στην προβλήτα της εγκατάστασης και καθ' όλη τη διάρκεια της εκφόρτωσης μπορεί να συνεχίζει να χρησιμοποιεί αέριο στον καυστήρα του. Η κατανάλωση του αερίου που καίγεται στον καυστήρα του πλοίου χρησιμοποιείται στην μέτρηση φορτίου που εγχύεται στην εγκατάσταση.

Η μέτρηση του φορτίου πραγματοποιείται όταν όλες οι βάνες του πλοίου προς τις δεξαμενές είναι κλειστές. Η μέτρηση του φορτίου πραγματοποιείται από το πρωτεύον σύστημα μέτρησης. Το δευτερεύον σύστημα μέτρησης της στάθμης των δεξαμενών του πλοίου και οι ογκομετρικοί πίνακες του πλοίου πρέπει να είναι στη διάθεση της εγκατάστασης σε κάθε ζήτηση για επιβεβαίωση των μετρήσεων.

- Ευθυγράμμιση δικτύου στη φάση των αερίων

Η μεταφορά αερίων από και προς το πλοίο πραγματοποιείται με τη διαφορά πίεσης, οποτεδήποτε ζητηθεί από το πλοίο η εγκατάσταση μπορεί να δεχτεί ή να αποστείλει αέριο, σύμφωνα με τις πιέσεις που επικρατούν στις δεξαμενές του πλοίου και της εγκατάστασης και έχουν συμφωνηθεί.

- Έλεγχος του συστήματος έκτακτης ανάγκης, ESD

Ο έλεγχος του ESD πραγματοποιείται σε θερμή κατάσταση των βραχιόνων, πριν από την ψύξη. Η ενεργοποίηση του συστήματος πραγματοποιείται χειροκίνητα δυο φορές, μια από το κέντρο έλεγχου του πλοίου και δεύτερη από το κέντρο ελέγχου της εγκατάστασης.

- Ψύξη βραχιόνων

Η ψύξη των βραχιόνων θα πρέπει να γίνει όπως έχει συμφωνηθεί στη σύσκεψη εγκατάστασης πλοίου. Η παροχή ΥΦΑ για την ψύξη δίνεται από το πλοίο χρησιμοποιώντας τις βοηθητικές αντλίες. Η εγκατάσταση ελέγχει το ρυθμό ψύξης των βραχιόνων.

Υπό κανονικές συνθήκες η ψύξη των βραχιόνων της εγκατάστασης, όταν επιτυγχάνονται οι συνθήκες πίεσης και ροής που έχουν ζητηθεί, διαρκεί περίπου 50 λεπτά, με ένα ρυθμό ψύξης 5°/m.

Η διαδικασία της ψύξης ολοκληρώνεται όταν η θερμοκρασία των βραχιόνων φτάνει στους -140C°.

- Έγχυση φυσικού αερίου

Η εγκατάσταση με το πέρας της ψύξης των βραχιόνων δίνει την έγκριση της στο πλοίο για την εκκίνηση των αντλιών εκφόρτωσης. Ο αριθμός των αντλιών, ο μέγιστος ρυθμός εκφόρτωσης και η συνολική ποσότητα έγχυσης έχουν συμφωνηθεί στη σύσκεψη πριν την έναρξη των εργασιών.

Το πλοίο όταν είναι έτοιμο για την εκκίνηση κύριων αντλιών παροχής ΥΦΑ ενημερώνει την εγκατάσταση. Οι αντλίες μπαίνουν σε λειτουργία μία – μία και μετά από την ενημέρωση του πλοίου και την έγκριση της εγκατάστασης με την αύξηση του ρυθμού εκφόρτωσης να γίνεται σταδιακά.

Το πλοίο ενημερώνει την εγκατάσταση όταν οι αντλίες του έχουν σταθεροποιηθεί στο μέγιστο ρυθμό εκφόρτωσης ή το ρυθμό εκφόρτωσης που έχει συμφωνηθεί. Η εγκατάσταση ελέγχει και επιβεβαιώνει το ρυθμό εκφόρτωσης από τα ροόμετρα που έχουν εγκατεστημένα στις γραμμές εκφόρτωσης της εγκατάστασης.

Κατά την διάρκεια της έγχυσης ΥΦΑ στην εγκατάσταση πραγματοποιείται δειγματοληψία ΥΦΑ για ανάλυση στο χημείο.

Το πλοίο ενημερώνει την εγκατάσταση όταν η ποσότητα του ΥΦΑ που παρέχεται στις δεξαμενές προς εκφόρτωση είναι 75%, 50%, 25%.

Το πλοίο ενημερώνει την εγκατάσταση όταν αρχίσει να μειώνει το ρυθμό εκφόρτωσης και να δίνει τον ακριβή αριθμό αντλιών που παραμένουν σε λειτουργία ή έχουν σταματήσει. Με το πέρας της έγχυσης και το σταμάτημα όλων των αντλιών ενημερώνει επίσης την εγκατάσταση.

Μετά το πέρας της έγχυσης ΥΦΑ το προσωπικό της εγκατάστασης ακολουθεί τη διαδικασία αποστράγγισης των βραχιόνων. Οι βραχιόνες της εγκατάστασης αποστάζουν προς το δοχείο περισυλλογής υγρού της εγκατάστασης και προς το πλοίο με πίεση αζώτου.

- Μέτρηση φορτίου

Η μέτρηση του φορτίου πραγματοποιείται μετά από την αποστράγγιση των βραχιόνων και εφόσον όλες οι βάνες του υγρού και του αερίου μεταξύ πλοίου και εγκατάστασης είναι κλειστές.

Ο καυστήρας του πλοίου συνεχίζει να λειτουργεί με αέριο και γίνεται καταγραφή του μετρητή τη χρονική στιγμή που λαμβάνεται η μέτρηση των δεξαμενών από το πρωτεύον σύστημα μέτρησης του πλοίου.

Η μέτρηση μετά από την εκφόρτωση γίνεται με την παρουσία τόσο του εκπροσώπου της εγκατάστασης όσο και του πλοίου.

- Απομάκρυνση των βραχιόνων της εγκατάστασης



Η εγκατάσταση ΥΦΑ ακολουθεί για την απομάκρυνση του πάγου των βραχιόνων τη μέθοδο της φυσικής απόψυξης, με την παροχή αζώτου εσωτερικά στο βραχίονα, χωρίς τη ρίψη νερού. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και απαιτεί περίπου 5 με 6 ώρες.

Μετά το πέρας της απομάκρυνσης των πάγων ελέγχεται η πλήρης αδρανοποίηση των βραχιόνων. Η αδρανοποίηση θεωρείται επιτυχής όταν η μέτρηση μεθανίου είναι μικρότερη από 1%.

Μετά τη μέτρηση του ποσοστού του μεθανίου μπορεί να γίνει αποσύνδεση και απομάκρυνση των βραχιόνων από την πολλαπλή του πλοίου και επαναφορά τους στην θέση αναμονής στην εγκατάσταση, εφόσον πρώτα ελεγχθεί και η συγκέντρωση του οξυγόνου ώστε να είναι μικρότερη από 1%.

- Τελευταίος απομακρύνεται ο βραχίονας των αερίων

Μετά το πέρας όλων των διαδικασιών, ο επικεφαλής της βάρδιας ενημερώνει το πλοίο και ρυθμίζονται όλες οι τελευταίες ενέργειες για την απομάκρυνση του πλοίου από την προβλήτα.

## ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ

Κάθε εισερχόμενος στην Εγκατάσταση ΥΦΑ και κατ' επέκταση στην προβλήτα, επιβεβαιώνει την ταυτότητά του στον φύλακα της πύλης με κατάλληλα έγγραφα, διαφορετικά δεν επιτρέπεται η είσοδος του.

Όλοι οι εισερχόμενοι/ εξερχόμενοι καταγράφονται σε ειδικό έντυπο όπου καταχωρείται η ώρα εισόδου / εξόδου και οι έλεγχοι που του έγιναν.

Το προσωπικό ασφαλείας της πύλης εισόδου ελέγχει όλα τα δέματα και τις επιστολές, χρησιμοποιώντας αν απαιτείται σύστημα ακτινών X.

Η είσοδος και η έξοδος πληρώματος και επισκεπτών του πλοίου δεν επιτρέπεται δια μέσου της εγκατάστασης ΥΦΑ. Το πλοίο θα πρέπει να χρησιμοποιεί θαλάσσια μέσα μεταφοράς (λάντζες) από και προς το πλησιέστερο λιμάνι.

Η πρόσβαση από και προς το πλοίο από την εγκατάσταση ΥΦΑ επιτρέπεται και εξαιρείται μόνο μετά από ειδική γραπτή άδεια του PFSO.

### ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ 1

εκτελείται η εκφόρτωση κανονικά, σύμφωνα με τη διαδικασία εκφόρτωσης.

Συνήθη μέτρα:

- Αποκλεισμός προβλήτας από οχήματα
- Απαγόρευση θερμών εργασιών στην περιοχή της προβλήτας
- Επιτήρηση θαλάσσιας ζώνης αποκλεισμού
- Έλεγχος πρόσβασης στην προβλήτα

## ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ 2

Η εκφόρτωση πραγματοποιείται κανονικά σύμφωνα με τις διαδικασίες εκφόρτωσης ΥΦΑ.

Επιπλέον μέτρα:

- Συντάσσεται D.O.S ( declaration of security)
- Το προσωπικό λειτουργίας μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό
- Δεν γίνονται εργασίες συντήρησης (θερμές-ψυχρές) μόνο επικουρικές εργασίες για την εκφόρτωση με ειδική άδεια
- Περιπολία σκάφους στη θαλάσσια ζώνη αποκλεισμού
- Αύξηση προσωπικού ασφαλείας
- Αύξηση της επιτήρησης CCTV
- Αυξημένες περιπολίες
- Η είσοδος επισκεπτών στην εγκατάσταση επιτρέπεται μόνο με άδεια του PFSO
- Συνεχής επαφές με Δημόσιες Αρχές, ανταλλαγή πληροφοριών και ενδεχόμενες κοινές δράσεις

## ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ 3

Εάν καθοριστεί επίπεδο ασφαλείας 3 πριν την άφιξη του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ, και για όσο διάστημα βρίσκεται εν ισχύ, δεν επιτρέπεται η προσέγγιση πλοίου στις εγκαταστάσεις ΥΦΑ.

Όταν το επίπεδο ασφαλείας 3 καθοριστεί κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, τότε πρέπει να :

- Σταματήσει η εκφόρτωση του πλοίου
- Γίνεται έκτακτη αποσύνδεση και άμεση απομάκρυνση του πλοίου
- Εκκένωση της εγκατάστασης με παραμονή ελάχιστου προσωπικού
- Ζητείται άμεσα η συνδρομή και συμμετοχή των Δημοσίων Αρχών, για έλεγχο και επιτήρηση: εναέριου, θαλάσσιου, υποθαλάσσιου χώρου.

## ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

---



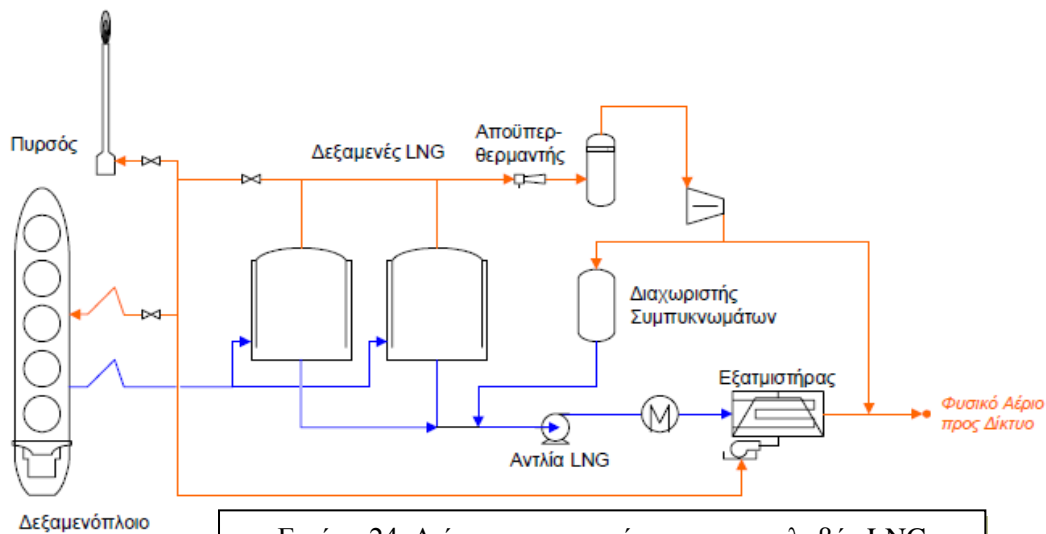
Εικόνα 22 : Τερματικός σταθμός.



Εικόνα 23 : Τερματικός σταθμός.

## ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ LNG

Οι εγκαταστάσεις παραλαβής LNG κατασκευάζονται για να παραλάβουν τις ποσότητες LNG που αποστέλλονται από τις εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου. Περιλαμβάνουν τις απαραίτητες λιμενικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις μεταφοράς, αποθήκευσης LNG, και όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εξάτμιση και συμπίεση του φυσικού αερίου, πριν αυτό αποσταλεί προς τον κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου ή τους τελικούς καταναλωτές (μονάδες βασικού φορτίου). Μια τυπική εγκατάσταση παραλαβής LNG φαίνεται στην εικόνα .



Εικόνα 24. Διάγραμμα εγκατάστασης παραλαβής LNG  
(κόκκινο – αέρια φάση, μπλε- υγρή φάση).

Οι γραμμές μεταφοράς LNG διατηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία με ανακυκλοφορία ποσότητας LNG από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Έτσι απάγεται η θερμότητα που εισέρχεται από το περιβάλλον στις γραμμές μεταφοράς.

Η αέρια φάση που εξατμίζεται μέσα στη δεξαμενή βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή φάση. Η περίσσεια οδηγείται μέσω του απούπερθερμαντή στο συμπιεστή, όπου και συμπιέζεται και οδηγείται στον αγωγό διασύνδεσης με τον κεντρικό αγωγό ή τους καταναλωτές. Η εξάτμιση του LNG πραγματοποιείται σε εναλλάκτες θερμότητας που λειτουργούν με θαλασσινό νερό ως θερμαντικό μέσο, καθώς και σε εξαεριστήρες, όπου καίγεται μέρος της αέριας φάσης από τις δεξαμενές αποθήκευσης, και από την παραγόμενη θερμότητα θερμαίνεται το ενδιάμεσο ρευστό που χρησιμοποιείται τελικά για την εξάτμιση. Οι εναλλάκτες θερμότητας με θαλασσινό νερό έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, αλλά υψηλό κόστος εγκατάστασης και έχουν σχετικά περιορισμένη δυναμικότητα σε σχέση με τους κλασσικούς εξαεριστήρες.

## ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια δημιουργία της σύγχρονης εποχής, και υπό αυτήν τη μορφή, έχει υποβληθεί σε πιο λεπτομερή διερεύνηση από τα παραδοσιακά καύσιμα όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το LNG είναι ότι είναι ένα ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας, είναι εύφλεκτο, και μπορεί να δημιουργήσει νέφη ατμών αρκετά πυκνά που να προκαλέσουν ασφυξία. Επειδή κανένα από αυτά δεν είναι πρόβλημα όταν το LNG περιέρχεται σε κατάλληλα σχεδιασμένες δεξαμενές αποθήκευσης, ή σωληνώσεις και εξοπλισμό, οι μελέτες ασφάλειας έχουν εστιάσει γενικά στις διαρροές LNG. Στις εγκαταστάσεις LNG, υπάρχουν εκτενή συστήματα ασφαλείας για να ανιχνεύσουν διαρροές αερίου, να ανιχνεύσουν και να αντιμετωπίσουν πυρκαγιές, και να ανιχνεύσουν καπνό. Πρόληψη και συγκράτηση διαρροών είναι αυτονόητη κατά το σχεδιασμό εγκαταστάσεων, ιδιαίτερα δεξαμενών αποθήκευσης επειδή αυτές περιέχουν τη μεγαλύτερη ποσότητα LNG.

Εάν μια διαρροή LNG αναφλεγεί, σύντομα αόφτου εμφανιστεί, εμφανίζεται φωτιά δεξαμενής. Αυτή η πυρκαγιά είναι βεβαίως πρόβλημα, αλλά εγκλωβίζεται σε μια εγκατάσταση επανδρωμένη και εξοπλισμένη να αντιμετωπίσει τέτοιες έκτακτες ανάγκες. Μια μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι στην ίδια διαρροή μπορεί να δοθεί αρκετός χρόνος ώστε να εξατμιστεί και να διαμορφώσει ένα νέφος ατμών που μπορεί να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση πριν την ανάφλεξη. Διάφορες μεταβλητές όπως η φύση της επιφάνειας κάτω από τη διαρροή, τη ταχύτητα αέρα, και η παρουσία εμποδίων στο νέφος συμβάλουν στη μορφή και την κατεύθυνσή του. Μηχανικά, το σύννεφο σχηματίζεται καθώς το LNG βράζει πάνω από την επιφάνεια της διαρροής. Οι προκύπτοντες ατμοί είναι πολύ πιο κρύοι από τον αέρα και διαμορφώνουν αρχικά ένα πυκνό, νέφος που παραμένει σε χαμηλό ύψος. Δεδομένου ότι το νέφος αναμιγνύεται με τον αέρα και θερμαίνεται από το περιβάλλον του, αρχίζει να ανυψώνεται. Ο αέρας χρησιμεύει στο να προσθέσει την οριζόντια συνιστώσα στην κίνηση του νέφους. Δεδομένου ότι ο αέρας αναμιγνύεται με το φυσικό αέριο, το μίγμα γίνεται εύφλεκτο (δηλαδή, η σύσταση τοπικά είναι μεταξύ του άνω και του κάτω ορίου αναφλεξιμότητας του LNG). Τα όρια αναφλεξιμότητας ποικίλλουν με τη σύσταση του LNG, ιδιαίτερα με το ποσοστό του προπανίου. Αυτό το νέφος είναι έπειτα ενδεχομένως επικίνδυνο σε περιοχές πέρα από τα όρια των εγκαταστάσεων LNG.

Διάφορες δοκιμές μεγάλης κλίμακας έχουν καταδείξει ορισμένα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών νεφών ατμών LNG. Αυτές οι πυρκαγιές είναι πολύ γρήγορες καύσεις στις οποίες το μέτωπο φλόγας που κινείται μέσω του νέφους προηγείται ενός αδυνάτου, αποξευγμένου ωστικού κύματος. Υπάρχει ένας συνοδευτικός κίνδυνος ακτινοβολίας, αλλά όχι η πιεστική δύναμη ενός ωστικού κύματος που εμφανίζεται όταν εκτονώνονται μίγματα άλλων υδρογονανθράκων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΛΟΙΑ CNG

### CNG: ΤΟ ΕΠΟΜΕΝΟ ΒΗΜΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ;

Η προηγούμενη δεκαετία έχει δει το φυσικό αέριο να γίνεται ένας από τους σημαντικότερους πόρους ενέργειας, με την ζήτηση να αυξάνεται κατά 7.4% το 2011 μόνο. Ακόμα παρά αυτήν την τεράστια απαίτηση πολλά μικρότερα έθνη αγωνίζονται να εξασφαλίσουν το ικανοποιητικό φυσικό αέριο, χωρίς να μπορούν να ανταγωνιστούν με τις υψηλότερες τιμές στην Ασία ή χωρίς την υποδομή που απαιτείται για να δεχτούν τις σημαντικές παραδόσεις LNG στις ακτές τους. Εντούτοις, οι νέες τεχνολογίες μεταφοράς και αποθήκευσης στον κόσμο του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) μπορούν να προσφέρουν τις νέες απαντήσεις σε αυτό το αυξανόμενο πρόβλημα.

Η έννοια CNG δεν είναι νέα, αλλά οι τεχνολογικές πρόοδοι, οι υψηλές τιμές των καυσίμων, οι γεωπολιτικές εξελίξεις και η ανάγκη για πιο εύκαμπτες συμβάσεις ανεφοδιασμού, την έχουν φέρει πίσω στο επίκεντρο, κυρίως με σκοπό να παραλάβει το προσαραγμένο απόθεμα φυσικού αερίου. Αυτό το ζήτημα εν μέρει έχει λυθεί από τις πλωτές μονάδες υγροποίησης LNG, η ύπαρξη της πρώτης οφείλεται στη Shell στην ακτή της Αυστραλίας, με όνομα Prelude, αλλά οι μικρότερες πετρελαιοπηγές δεν είναι σαφώς ο στόχος εδώ, ούτε είναι κατάλληλες για εκμετάλλευση με υποθαλάσσιους αγωγούς.

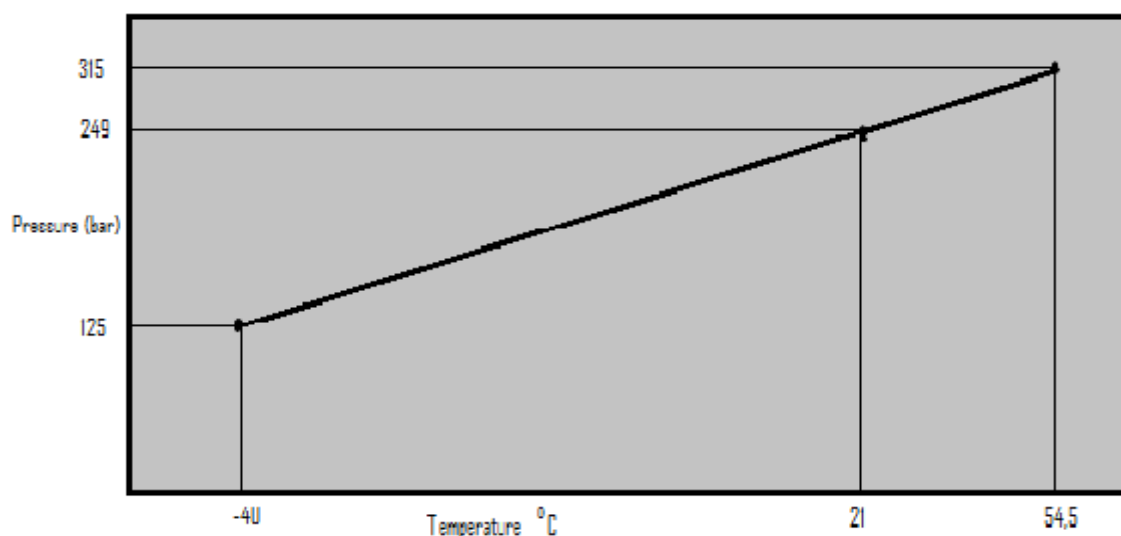
Αυτή η πρόοδος εμφανίζεται στη ταχεία ανάπτυξη οχημάτων φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο, ο οποία βασίζεται στη χρήση των μικρών δοχείων αποθήκευσης CNG στα αυτοκίνητα, τα λεωφορεία και τα φορτηγά. Αυτή η εφαρμογή CNG έχει αποδειχθεί ασφαλής και αξιόπιστη και είναι αποδεκτή από τις κοινότητες και τους ρυθμιστές. Η Διεθνής Ένωση για τα οχήματα φυσικού αερίου (IANGV) υποστηρίζει ότι 50 εκατομμύρια οχήματα CNG θα είναι στους δρόμους ως το 2020.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το υπόβαθρο, ήταν λογικό ότι η τεχνολογία θα προωθούνταν για τη μεταφορά των μεγάλων όγκων φυσικού αερίου σε μορφή CNG στις θάλασσες, ακριβώς όπως το υγρό πετρέλαιο και τα πετροχημικά για δεκαετίες με μεγάλα δεξαμενόπλοια. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, η εταιρεία φυσικού αερίου Κολούμπια ανέπτυξε ένα σύστημα CNG σε ένα μεταποιημένο πλοίο. Σε αυτό το πρωτότυπο πλοίο απονεμήθηκε πιστοποίηση κατηγορίας από το αμερικανικό γραφείο της ναυτιλίας και έγκριση από την Αμερικανική ακτοφυλακή για τις διαδικασίες στα Αμερικανικά νερά. Μετά από περίπου δώδεκα επιτυχή ταξίδια, που απέδειξαν την έννοια θαλάσσιων μεταφορών CNG, διαδικασίες έπαψαν λόγω της χαμηλής αξίας του φυσικού αερίου εκείνη τη στιγμή.

Εκτός από αυτές τις προηγούμενες χρήσεις πλοίων CNG, τα τμήματα φυσικού αερίου, όπως το προπάνιο, το βουτάνιο και τα διάφορα μίγματα LPG, συνήθως μεταφέρονται σήμερα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση και σε ψυχόμενα συστήματα αποθήκευσης με φορτηγίδες και δεξαμενόπλοια.

### CNG ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Οι δεξαμενές αποθήκευσης CNG συνήθως αποθηκεύονται στα 3600 psi (248,2bar) σε θερμοκρασία 70 F (21,1C). Εάν γίνει διακύμανση της θερμοκρασίας αναλόγως διακυμαίνεται και η πίεση.



Εικόνα 25. Διάγραμμα πίεσης – θερμοκρασίας.

Κατά την διάρκεια του γεμίσματος της δεξαμενής το αέριο αυξάνει την θερμοκρασία του όσο συμπιέζεται. Συνήθως οι σταθμοί γεμίζουν σε πίεση 3600 psi (248,2). Όμως οι δεξαμενές που γεμίζονται στα 3600 psi σε μια θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100 F (54,5C). Καθώς η θερμοκρασία πέφτει η πίεση μειώνεται. Σαν αποτέλεσμα η δεξαμενή καταλήγει με χαμηλότερη πίεση από την επιθυμητή. Για να αποφευχθεί αυτό υπάρχουν δυο προσεγγίσεις:

1. Οι δεξαμενές να γεμίζονται με αργούς ρυθμούς έτσι ώστε να προλαβαίνει να διοχετευτεί η επιπλέον θερμότητα στο περιβάλλον
2. Οι δεξαμενές γεμίζονται με πίεση μεγαλύτερη από την πίεση λειτουργίας ώστε με την αποβολή της επιπλέον θερμοκρασίας να γίνει πτώση πίεσης και να φτάσουν σε πίεση λειτουργίας.

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι δεξαμενές χωρίζονται σε 4 διαφορετικούς τύπους των οποίων ο σχεδιασμός εξαρτάται από το βάρος και το πόσο διατίθεται να πληρώσει ο αγοραστής. Όλοι οι τύποι δεξαμενών δεν έχουν διαφορές σε θέματα ασφαλείας και όλες πληρούν όλα τις προδιαγραφές ασφαλείας. Ο τύπος της δεξαμενής καθορίζει το πώς θα γίνει η διαχείριση της δεξαμενής και το πώς θα γεμιστεί.

### ΤΥΠΟΙ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

Ο τύπος 1: Είναι ένας ολοκληρωτικά φτιαγμένος από χάλυβα κύλινδρος. Δεν υπάρχει καμία κάλυψη, εκτός από το χρώμα, έξω από τον κύλινδρο. Αυτός είναι ο πιο κοινός τύπος κυλίνδρου και πιο φθηνός από τους τέσσερις. Είναι επίσης ο βαρύτερος.

Τύπος 2 : Είναι ένας μεταλλικός κύλινδρος (χάλυβας ή αργίλιο) μερικά τυλιγμένος. Το τύλιγμα αποτελείται συνήθως από γυαλί, ή ανθρακόνημα, που περιλαμβάνεται σε μια εποξική ή πολυεστερική ρητίνη. Αυτό το σχέδιο ζυγίζει λιγότερο από τον πρώτο τύπο και κοστίζει περισσότερο.

Τύπος 3 : Αυτός ο τύπος κυλίνδρου είναι πλήρως τυλιγμένος με το ίδιο είδος υλικού που χρησιμοποιείται για το μερικό τύλιγμα ενός τύπου 2. Αυτός ο τύπος κυλίνδρου είναι από αργίλιο συνήθως. Είναι ελαφριότεροι και ακριβότεροι από τον τύπο 1 ή τύπο 2.



Εικόνα 26 . Τύποι δεξαμενών αποθήκευσης.

Τύπος 4 : Αυτός ο τύπος κυλίνδρου είναι πλήρως τυλιγμένος με το ίδιο είδος υλικού που χρησιμοποιείται για το μερικό τύλιγμα ενός τύπου-κύλινδρος 2. Αυτός ο τύπος κυλίνδρου είναι κατασκευασμένος από πλαστικό, είναι πολύ ελαφρύς και ο ακριβότερος.





Εικόνα 27 . Τύπος δεξαμενής αποθήκευσης ( τύπος 4).

Όλοι οι κύλινδροι CNG κατασκευάζονται για να παρακρατήσουν μέχρι 1.25 φορές την πίεση λειτουργίας που έχουν σχεδιαστεί και περιλαμβάνουν τις βαλβίδες και άλλες συσκευές ασφαλείας για να αποτρέψουν τη διαρροή.

#### ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

- Υδραυλική δοκιμή: διεξάγεται με νερό αντί για αέριο (το νερό έχει πιο εύκολο κύκλο πίεσης). Κατά τη δοκιμή εάν η δεξαμενή αποτύχει πρέπει να υπάρξει διαρροή και όχι σχάση της δεξαμενής.
- Υδραυλική δοκιμή σε χαμηλές θερμοκρασίες: Η δεξαμενή ψύχεται στους  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  καθώς υπόκειται σε δοκιμή υψηλής πίεσης και μετά θερμαίνεται στους  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  με αύξηση της πίεσης.
- Δοκιμή με ελεύθερη πτώση:





Το τεστ έγινε σε μια άδεια δεξαμενή 4<sup>ου</sup> τύπου είναι δύσκολο να επιβεβαιωθεί ζημιά με οπτικό έλεγχο. Κατά την διάρκεια της υδραυλικής δοκιμής η δεξαμενή στο σημείο κρούσης δημιούργησε ρήγμα.



- Δοκιμή σε φωτιά: Για να διασφαλιστεί ότι η δεξαμενή θα απελευθερώσει ομαλά όλο το αέριο πριν φτάσει σε σημείο σχάσης.



- Δοκιμή σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες: Οι δεξαμενές τοποθετούνται σε μπάνιο από αλάτι για τον δρόμο, όπως επίσης δοκιμάζονται σε διάφορες συγκεντρώσεις διαλυτών. Ταυτόχρονα γίνεται γέμισμα και άδειασμα με υδραυλική δοκιμή για την εξομοίωση πραγματικών συνθηκών.

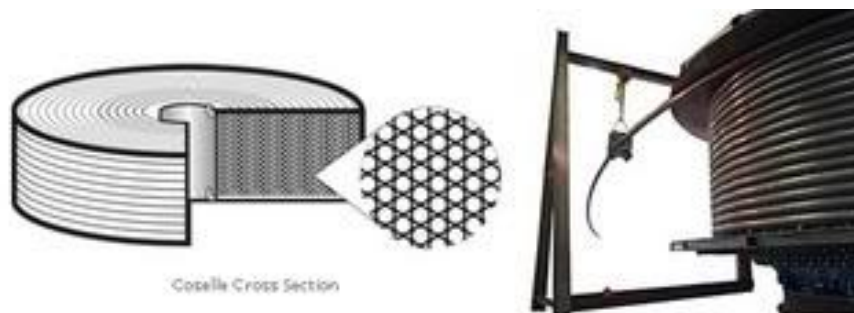


## ΤΑ ΠΛΟΙΑ CNG

Ποιός όμως αναπτύσσει τα σκάφη CNG; Και τι είδους οι καινοτόμες τεχνολογίες στρέφονται; Πέντε διαφορετικές επιχειρήσεις αναπτύσσουν ενεργά την έννοια: SeaNG, Trans Ocean Gas, και η Floating Pipeline Company, όλες από τον Καναδά, η Knutsen OAS Company της Νορβηγίας σε συνεργασία με Det Norske Veritas και Europipe GmbH, και αμερικάνικη εταιρία EnerSea Transport. Τρεις βασικές έννοιες αποθήκευσης αερίου εξετάζονται: (1) η αποθήκευση του συμπιεσμένου αερίου σε Coselles - μεγάλες σπείρες του σωλήνα που τυλίγονται στα κυλινδρικά εμπορευματοκιβώτια αποθήκευσης, (2) χρησιμοποιώντας τα συσσωρευμένα δοχεία πίεσης (κύλινδροι) που έγιναν από τα ελαφριά συνθετικά υλικά, (3) κινητά εμπορευματοκιβώτια αποθήκευσης που περιέχουν τμήματα σωλήνων, ή σύνθετων δοχεία πίεσης χάλυβα, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ένα συνηθισμένο εμπορευματοκιβώτιο και μπορούν να συνδυαστούν στις συνδυασμένες αλυσίδες μεταφορών (τρένα και φορτηγά μετά από την παράδοση με το σκάφος). Έχει μια προσεκτικότερη ματιά σε αυτές τις έννοιες.

### Σύστημα Coselle

Η SeaNG προσφέρει μια λύση για τη θαλάσσια μεταφορά του φυσικού αερίου πέρα από τις αποστάσεις που κυμαίνονται από 200 έως 2000 χιλιόμετρα. Τα σκάφη CNG του στηρίζονται στο «σύστημα Coselle» που είναι βασισμένο στον κουλουριασμένο σωλήνα. Το σκάφος Coselle CNG της SeaNG είναι το πρώτο σκάφος CNG παγκοσμίως που έχει λάβει πλήρη έγκριση τυπου.



Το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Coselle χρησιμοποιεί μια νέα μορφή τεχνολογίας για να περιέχει το συμπιεσμένο φυσικό αέριο. Απλά, είναι μια μεγάλη σπείρα σωλήνα που τυλίγεται σε ένα κυλινδρικό εμπορευματοκιβώτιο αποθήκευσης. Χαρακτηριστικά, δέκα μίλια της μικρής διαμέτρου, υψηλής αντοχής σωλήνας κουλουριάζονται σε μια πλεκτή δομή, αποκαλούμενη “carousel”. Αυτό το “carousel” παρέχει την υποστήριξη και την προστασία για τη μεταφορά και τη συσσώρευση των Coselles. Το όνομα «Coselle» προέρχεται από μια συστολή των

λέξεων «coil» και «carousel» και είναι ένας μοναδικός όρος βιομηχανίας που αναπτύσσεται μια δεκαετία πριν.

Το μέγεθος ενός Coselle μπορεί να κυμανθεί από 15 έως 20 μέτρα στη διάμετρο και 2.5 έως 4.5 μέτρα στο ύψος, και μπορεί να ζυγίσει περίπου 550 τόνους. Ένα ενιαίο Coselle φέρνει περίπου 3.0 εκατομμύριο τυποποιημένα κυβικά πόδια (mmscf) του φυσικού αερίου, ανάλογα με τις διαστάσεις Coselle, και τη θερμοκρασία αερίου, την πίεση και τη σύνθεση. Το Coselles συνδέεται με μια ιδιότητα πολλαπλή και ένα σύστημα ελέγχου.

Το πλήρες σύστημα παράδοσης Coselle CNG αποτελείται από ένα σκάφος που συνδυάζεται με τη φόρτωση και το ξεφόρτωμα των εγκαταστάσεων. Το αέριο συμπιέζεται σε ένα τερματικό φόρτωσης (χερσαίο ή παράκτιο) και φορτώνεται σε ένα σκάφος CNG. Το σκάφος ταξιδεύει έπειτα στο τερματικό εκφόρτωσης (χερσαίο ή παράκτιο) όπου το αέριο αποσυμπιέζεται και παραδίδεται στην αγορά.

Τα σκάφη Coselle CNG σχεδιάζονται για την ασφαλή και αποδοτική μεταφορά του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) σε Coselles. Κάθε Coselle μεταφέρει 3 mmscf περίπου αερίου και μπορεί να στοιβαχθεί στο κατάστρωμα ή αμπάρια ενός πλοίου. Αυτά τα στοιβαγμένα Coselles συνδέονται έπειτα μαζί και χρησιμοποιήσουν ένα σύστημα που επιτρέπει την ασφαλή και αποδοτική φόρτωση και την εκφόρτωση αερίου.



Το μέγεθος του σκάφους καθορίζεται καλύτερα από την άποψη της ικανότητας μεταφοράς του. Η SeaNG έχει αναπτύξει διάφορα σχέδια σκαφών, που περιλαμβάνουν:

- Πλοίο 16 Coselle που μεταφέρει το mmscf περίπου 50 του αερίου.
- Πλοίο 84 Coselle που μεταφέρει το mmscf περίπου 250 του αερίου.
- Πλοίο 108 Coselle που μεταφέρει το mmscf περίπου 325 του αερίου.
- Πλοίο 144 Coselle που μεταφέρει το mmscf περίπου 450 του αερίου.

Τα σκάφη Coselle CNG μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο που προέρχεται από το φορτίο τους, με την επακόλουθη οικονομική απόδοση και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Ο στόλος θα ρυθμιστεί από τη SeaNG σε συνεργασία με έναν κορυφαίο διεθνή χειριστή σκαφών. Τα σκάφη είναι επίσης ιδιαίτερα ευχέριστα, έχοντας τη δίδυμη προώθηση από πίσω και ένα bow thruster και δεν απαιτούν τη βοήθεια ρυμουλκών να εισέλθουν σε λιμάνια ή να δέσουν στις αποβάθρες φορτοεκφόρτωσης.

Το Coselle μπορεί επίσης να φορτωθεί επάνω σε φορτηγίδες. Εντούτοις κάθε φορτηγίδα θα απαιτούσε ένα συνοδευτικό ρυμουλκό στο λιμάνι για να συμμορφωθεί με τις τυποποιημένες απαιτήσεις των λιμενικών αρχών και της διεθνούς πρακτικής. Δεδομένου ότι δεν θα υπήρχε καμία αποδοτικότητα που κερδίζεται από την κατοχή λιγότερων ρυμουλκών από φορτηγίδες εκεί θα πρέπει αναλογα με τις περιστάσεις να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα φορτηγίδων-ρυμουλκών.

### Knutsen OAS Shipping

Η Knutsen OAS Shipping της Νορβηγίας συνεργάστηκε με τον Det Norske Veritas (DNV), έναν από τους κύριους εμπειρογνώμονες στο σχέδιο σκαφών, το σχέδιο σωληνώσεων και την αξιολόγηση της ασφάλειας στον κόσμο, και με Europipe GmbH, η κορυφαία Γερμανική επιχείρηση επεξεργασίας σωληνώσεων στον κόσμο να αναπτύξει μια παρόμοια έννοια που αποτελείται από τους σωλήνες που εσωκλείστηκαν στα κυλινδρικά εμπορευματοκιβώτια, αλλά που δεν τυλίχτηκαν όπως μια σπείρα. Σε αυτήν την ιδέα το CNG αέριο αποθηκεύεται διά την κανονική πίεση στους κάθετους κυλίνδρους επί του σκάφους. Η έννοια είναι βασισμένη σε διάφορα διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Το σύστημα των «διατηρημένων σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση φυσικών αερίων (PNG) δεν θα απαιτήσει την περίπλοκη επεξεργασία για να διατηρήσει το αέριο που αποθηκεύεται στο σύστημα συγκράτησης. Λόγω της λειτουργίας κάτω από τις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες, καμία απομόνωση δεν θα απαιτηθεί για να αποτρέψει τη θέρμανση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Οι κάθετοι κύλινδροι θα προετοιμαστούν σύμφωνα με τρεις κύριες αρχές:

1. το σχέδιο, η υλική επιλογή και το εξεταστικό καθεστώς για τον κύλινδρο είναι σύμφωνα με τον αναγνωρισμένο παράκτιο κώδικα σωληνώσεων DNV-OS-F101 (παρόμοιο με ISO/DIS 13623)
2. Οι άκρες των κυλίνδρων που σχεδιάζονται σύμφωνα με το διεθνή κώδικα αερίου (IGC) αλλά με ένα ελάχιστο πάχος τοίχων όχι μεγαλύτερο από το τοίχος κυλίνδρων και
3. όλο το υλικό που χρησιμοποιείται για τη διοχέτευση με σωλήνες συγκράτησης φορτίου, τη διοχέτευση με σωλήνες καταστρωμάτων φορτίου, τις βαλβίδες και τις συναρμολογήσεις είναι NV 316 ή παρόμοιος, συμμορφωμένος με τις απαιτήσεις για

την έρευνα και την πιστοποίηση κατασκευής που δίνονται από τους κανονικούς κανόνες για την ταξινόμηση των πλοίων.

Το ίδιο το σκάφος είναι απλό σχέδιο. Κάποια ειδική διαρύθμιση απαιτείται για να εξασφαλίσει τη μέγιστη ασφάλεια και τη λειτουργία για τη νέα απαίτηση.

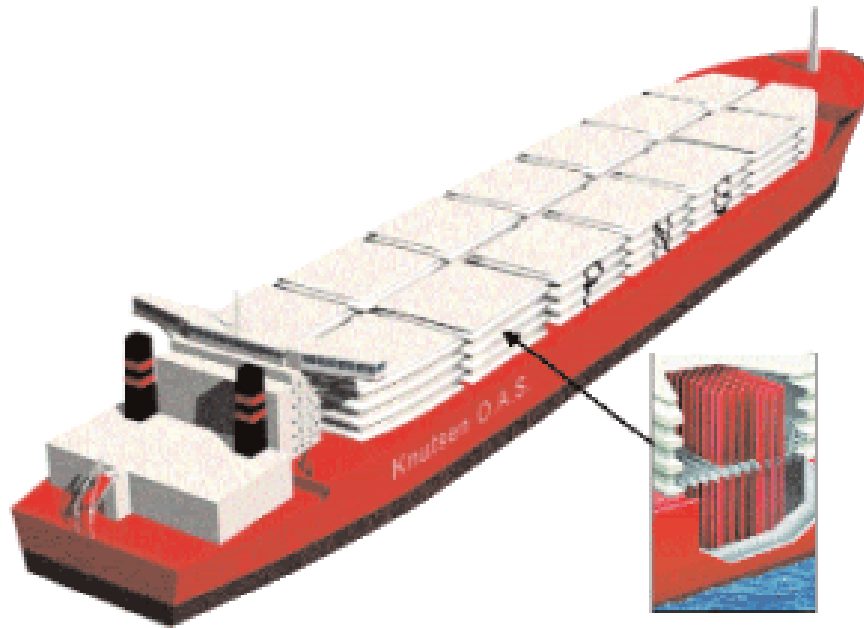
Η Knutsen OAS Shipping έχει συνεργαστεί μαζί με Europipe GMBH στη Γερμανία για να είναι κατάλληλο το σύστημα συγκράτησης σύμφωνα με τους νέους κανόνες που εκδίδονται από τον DNV.



Πλήρης - κύλινδρος δοκιμής κλίμακας.

Η Europipe δούλεψε μαζί με το ερευνητικό κέντρο Mannesmann ώστε το σύστημα συγκράτησης να είναι κατάλληλο και να εγκριθεί από τον DNV σύμφωνα με τους νέους κανόνες της. Αυτό είναι ένα επίτευγμα που αποδεικνύει ότι CNG μέσω της λύσης Knutsen PNG θα μπορούσε να γίνει μια πραγματικότητα. Η Europipe έχει εκτελέσει ήδη μια δοκιμαστική παραγωγή των X-80 σωλήνων και των άκρων των κυλίνδρων σύμφωνα με τους κανόνες προδιαγραφών PNG και DNV. Αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή προσόντων. Και το τεστ φθορας και η δοκιμή έκρηξης έχουν εκτελεσθεί. Το τεστ φθοράς θα εξασφαλίσει μια διάρκεια ζωής μεταφορέων PNG 40 ετών βασισμένη σε 50 φορτοεκφορτώσεις το χρόνο. Η δοκιμή έκρηξης έλεγξε ότι η ικανοποιητική ικανότητα έκρηξης παραμένει στον κύλινδρο ακόμα και μετά από μια έκθεση 40 ετών.

Η Knutsen OAS Shipping έχει εκτελέσει το αρχικό σχέδιο σκαφών με την συμμετοχή του DNV και την ανεξάρτητη ναυτική πείρα αρχιτεκτόνων. Τα σκάφη έχουν συζητηθεί με αρκετά από τα σημαντικότερα ναυπηγεία. Η συμμετοχη ναυπηγείων και της Europipe για το περιέχον σύστημα έχει δώσει στη Knutsen τη δυνατότητα να διατιμήσει τα σκάφη σε ένα λεπτομερές επίπεδο απαραίτητο προκειμένου να είναι σε θέση να καθορίσει το κόστος της μονάδας για τη μεταφορά του φυσικού αερίου με τα σκάφη PNG.



Μερικοί διαφορετικοί τύποι σκαφών έχουν εξεταστεί όπως το παράκτιο σκάφος PNG φορτοεκφορτοσης και το από σταθμό σε σταθμό σκάφος PNG.

Το παράκτιο σκάφος φορτοεκφόρτωσης είναι βασισμένο στην εμπειρία της ίδιας της Knutsen με παρόμοια λειτουργία για το πετρέλαιο. Το σκάφος μπορεί να εφαρμόσει το γνωστό καταδυμένο σύστημα φόρτωσης πυργίσκων (STL) από τα προηγμένα συστήματα παραγωγής και φόρτωσης (APL). Άλλοι τύποι παράκτιων συστημάτων φόρτωσης εξετάζονται επίσης και σχεδιάζονται λεπτομερώς και η δοκιμή για συνδυασμένο παράκτιο/χερσαίο σύστημα φορτοεκφόρτωσης βρίσκεται σε εξέλιξη.

Διάφορα μεγέθη σκαφών έχουν εξεταστεί από μικρά PNG με την ικανότητα μεταφοράς αερίου κάτω από 2-4MMSm<sup>3</sup> σε μεγάλα PNG με την ικανότητα μεταφοράς περισσότερο από 30MMSm<sup>3</sup>.

Ένα μεγάλο σε μέγεθος PNG είναι σε θέση να ταξιδέψει με μια ταχύτητα 17.5 κόμβων και είναι πολύ κατάλληλο για τους μεγάλους όγκους ή/και τις μεγάλης απόστασης παραδόσεις αερίου μέχρι 3.000 ναυτικά μίλια (NM). Ομοίως, τα μικρότερα σκάφη μπορούν να χτιστούν σύμφωνα με τους όγκους και τις αποστάσεις που απαιτούνται.

Η μεταφορά αερίου που χρησιμοποιεί τα σκάφη PNG μπορεί να είναι συνεχής εάν ένα ελάχιστο τριών σκαφών παρέχεται για τη μεταφορά αερίου από την πηγή αερίου στο αέριο που λαμβάνει το μέρος. Περισσότερα σκάφη μπορούν να προστεθούν σύμφωνα με τη ζήτηση στην αγορά, αποφεύγοντας το υψηλό αρχικό δασμολόγιο που συνδέεται παραδοσιακά με άλλα συστήματα λόγω της χαμηλής χρήσης.



Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η ποιότητα αερίου που θα μπορούσε να μεταφερθεί στους μεταφορείς PNG είναι πολύ παρόμοια με τις ιδιότητες αερίου που επιτρέπονται στα συστήματα σωληνώσεων. Στην πραγματικότητα, ακόμα και το πλουσιότερο αέριο θα μπορούσε να μεταφερθεί στους μεταφορείς PNG έναντι των σωληνώσεων, που δίνουν στους μεταφορείς PNG ένα πλεονέκτημα σύγκριτικά με τα LNG και ακόμη και προς τις σωληνώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις.

Έναντι των παραδοσιακών αλυσίδων LNG, μια αλυσίδα PNG δεν θα απαιτούσε τις εγκαταστάσεις αποθηκευσης, ρευστοποίησης και αεριοποίησης. Αυτό θα έκανε το PNG μια νέα εναλλακτική για ορισμένους όγκους/αποστάσεις όπου LNG θεωρήθηκε προηγουμένως μόνη επιλογή. Οι περιπτωσιολογικές μελέτες δείχνουν ότι για τις αποστάσεις μέχρι 3,000nm το PNG θα μπορούσε να είναι οικονομικότερο από LNG.

Το PNG προσφέρει μια περιβαλλοντικά ενδιαφέρουσα λύση. Το σκάφος θα μπορούσε να τροφοδοτηθεί με καύσιμα χρησιμοποιώντας το φυσικό αέριο, ευνοϊκά καύσιμα έναντι των βαριών μαζούτ που χρησιμοποιήθηκαν κανονικά στη ναυτιλία – μειώνοντας τις εκπομπές των οξειδίων αζώτου, το διοξείδιο του άνθρακα, το θείο και τη σκόνη στο περιβάλλον. Οι συνολικές ζητήσεις ενέργειας είναι πολύ λιγότερες για το PNG έναντι LNG, ενώ το PNG, έναντι της σωλήνωσης, είναι πολύ παρόμοιο ή καλύτερο. Λόγω του βαριού συστήματος συγκράτησης, η απαλλαγή νερού έρματος δεν θα απαιτούταν. Για μερικά εμπόρια, αυτό θα μπορούσε να είναι ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντολογικό θέμα.

Ως τμήμα της ανάπτυξης κανόνα, DNV εκτέλεσε μια αξιολόγηση του κινδύνου και ασφάλειας, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μεταφορά PNG είναι τόσο ασφαλής ή ακόμα και ασφαλέστερη από τη συγκρίσιμη LNG μεταφορά – ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί όταν καθιερώνονται οι λύσεις μεταφορών αερίου.

Επειδή η παράδοση PNG εκτελείται με το φυσικό αέριο στην αέρια φάση, η εκφόρτωση θα μπορούσε να είναι μακριά από τον υπάρχοντα πληθυσμό. Η εκφόρτωση θα μπορούσε ακόμη και να εκτελεσθεί παράκτια σε κάποια απόσταση από την ακτή και να διοχετευθεί με σωλήνες στην ακτή. Για μερικές περιοχές, αυτό θα μπορούσε να είναι ένα πλεονέκτημα λόγω της πολιτικής κινδύνου ή της κοινωνικής αναταραχής.

Το σκάφος PNG λειτουργεί στην πλήρη πίεση στις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα συγκράτησης δεν μπορεί να υποστεί αύξηση της πίεσης λόγω της θερμότητας που παραλαμβάνεται από το περιβάλλον. Απλοποιεί επίσης τη ρύθμιση σωληνώσεων και ελαχιστοποιεί τις διαστάσεις διοχέτευσης με σωλήνες και βαλβίδες και την πολυπλοκότητα των συστημάτων. Αυτό συμβάλλει πάλι σε μια αυξανόμενη ασφάλεια.

Ο μεταφορέας PNG είναι βασισμένος στα γνωστά στοιχεία τεχνολογίας που τακτοποιούνται διαφορετικά. Το σκάφος είναι ένας συνδυασμός ενός συνηθισμένου βυτιοφόρου αργού πετρελαίου και ενός σκάφους εμπορευματοκιβωτίων ενώ το σύστημα συγκράτησης βασίζεται στις

συνηθισμένες αρχές επεξεργασίας σωληνώσεων. Το διαχειριζόμενο σύστημα φορτίου είναι μικρό στη διάμετρο με το υλικό και την εκτίμηση πίεσης που είναι γνωστή στη ναυτιλία και την ανοικτής θαλάσσης βιομηχανία.

## ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΟΧΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ

### Trans Ocean Gas

Trans Ocean Gas είναι ο μόνος υπερασπιστής CNG στον κόσμο που θα χρησιμοποιήσει τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά δοχεία πίεσης (FRP) για να μεταφέρει CNG με το σκάφος επειδή, η Trans Ocean Gas είναι κύριος των δικαιωμάτων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας σε αυτήν την μέθοδο μεταφοράς CNG.

Τα δοχεία πίεσης FRP έχουν αποδειχθεί ασφαλή και αξιόπιστα μέσω των κρίσιμων εφαρμογών στο αεροδιάστημα, στη εθνική ασφάλεια, κατά το παράκτιο πετρέλαιο και τη βιομηχανία φυσικού αερίου, και το πιο σημαντικό στη δημόσια τη μεταφορά. Η χρήση των δοχείων πίεσης FRP υπερνικά όλες τις ανεπάρκειες των προτεινόμενων χάλυβινων. Η μεθοδος της Trans Ocean Gas που χρησιμοποιεί FRP δοχεία πίεσης είναι:

- Χαμηλο Βαρος (1/3 του χάλυβα)
- Αντιδιαβρωτικό (θερμοπλαστικός κυλινδρος)
- Ασφαλές από τη ρήξη (διαρροή πριν από την έκρηξη)
- Ιδιαίτερα αξιόπιστο (πιθανότητα της αποτυχίας  $<10e-5$ )
- Ανθεκτικός στις υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες (- 80C) και
- Πολύ καλή σχέση οικονομίας/απόδοσης

Το σύστημα συγκράτησης CNG της Trans Ocean Gas κατασκευάζεται στις μορφοματικές κασέτες για την ευκολία της εγκατάστασης και πρόσδεσης. Το σύστημα κασετών κρατά τα πολυάριθμα μπουκάλια FRP κάθετα, με τη σύνδεση των πολλαπλών και στην κορυφή και στο κατώτατο σημείο κάθε κασέτας. Τα σχεδιασμένα πλαίσια κασετών χάλυβα βοηθούν στην απομόνωση του συστήματος συγκράτησης αερίου από τις υδροδυναμικές μετακινήσεις και τις δονήσεις.

Το σύστημα κασετών επιτρέπει επίσης 100 τοις εκατό οπτικής επιθεώρησης ενώ βρίσκεται σε χρήση και την αφαίρεση των συμπυκνωμένων υγρών φυσικού αερίου σε οποιοδήποτε σημείο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Για να εξασφαλίσουν συνοχή των αντιδιαβρωτικών μπουκαλιών FRP, οι πολλαπλές και το δίκτυο σωληνώσεων μέχρι την πρώτη βαλβίδα απομόνωσης κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας το διπλό ανοξείδωτο ατσάλι.

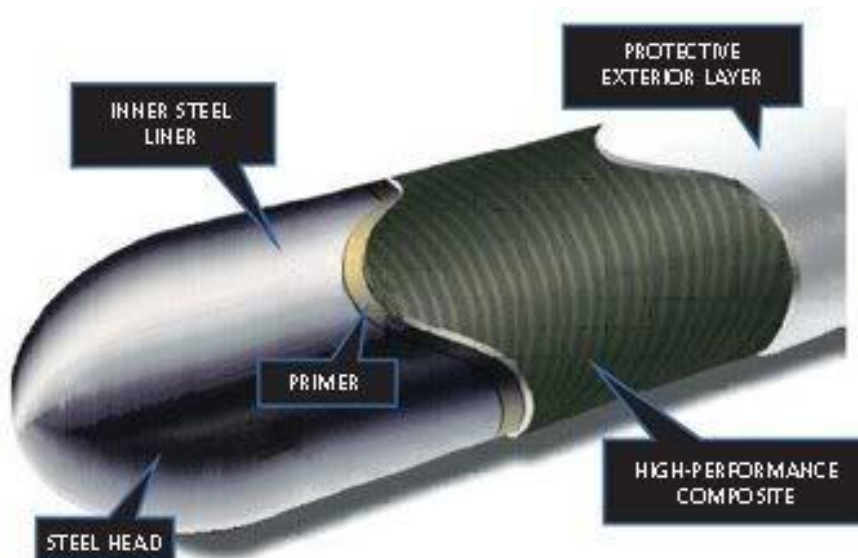
Η Trans Ocean Gas σκοπεύει να κατασκευάσει τα συστήματα συγκράτησης FRP του στον Ατλαντίκ του Καναδά. Η Trans Ocean Gas θα χορηγήσει άδεια και θα μισθώσει τα συστήματα CNG της σε ιδιοκτήτες εγκαταστάσεων αερίων και τις οντότητες που επιθυμούν να μεταφέρουν

μαζικά CNG. Αυτό θα επιτρέψει σε πολλές χώρες και ιδιοκτήτες εγκαταστάσεων αερίων να μεταφέρουν οικονομικά το προσαραγμένο απόθεμα φυσικού αερίου τους στις νέες και υπάρχουσες θέσεις για οικονομική ανάπτυξη. Σχετικά λίγη υποδομή θα απαιτηθεί για να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτήν την νέα πηγή ενέργειας μέσω της λύσης CNG της Trans Ocean Gas.

Δεδομένου ότι το CNG της Trans Ocean Gas είναι ιδιαίτερα εξελικτικό, ένα ευρύ φάσμα των ποσοστών παραγωγής αερίου θα αποδειχθεί βιώσιμο. Τα νέα ή υπάρχοντα σκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν CNG χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Trans Ocean Gas. Οι ιδανικότεροι τύποι για να μεταφέρουν της μοναδες FRP CNG είναι αυτοι μεταφορών εμπορευματοκιβωτίων. Τα υπάρχοντα σκάφη που μετατρέπονται στους μεταφορείς FRP CNG θα έχουν καλά βραχυπρόθεσμα οικονομικά (π.χ., για τα προγράμματα με έναν κύκλο της ζωής 10 ετών). Εντούτοις, για τα προγράμματα CNG με τους πιο μακροχρόνιους όρους μισθώσεων, τα νέα σκάφη μπορούν να αποδειχθούν οικονομικώς πιο αποδοτικά. Η Trans Ocean Gas αναπτύσσει επίσης μια φορηγίδα-προσανατολισμένη για το Κόλπο του Μεξικού και άλλες περιοχές του κόσμου που έχουν τα σχετικά καλοκάγαθα θαλάσσια περιβάλλοντα.

### Floating Pipeline Company

Η Floating Pipeline Company Incorporated επίσης χτίζει τα ελαφριά σύνθετα ενισχυμένα δοχεία πίεσης, που είναι γνωστά από την εμπορική φίρμα Gas Transport Modules (GTMs), με άδεια από την TransCanada PipeLines Limited.



Αυτά τα GTMs θα χρησιμοποιηθούν σε ποικίλους τρόπους μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των ωκεανοπόρων σκαφών, για τη μεταβίβαση του φυσικού αερίου, των υγρών φυσικού αερίου και των ειδικών αερίων.

Μια βιομηχανική εγκατάσταση 120.000 τετραγωνικών ποδιών έχει στηθεί στο Port of Saint John, στο New Brunswick, στον Καναδά με σκοπό την κατασκευή GTMs και την εξόπλιση των σκαφών, των φορηγίδων, των αυτοκινηταμαξών και των οδικών ρυμουλκών.

Η τεχνολογία GTM αποτελείται από το τύλιγμα ενός χαλύβδινου κυλίνδρου με ένα υάλου, μειώνοντας το βάρος ενός συμβατικού δοχείου πίεσης χάλυβα μέχρι και 40% υπονοώντας ότι το βάρος αυτό μπορεί να κερδηθεί σε αέριο μέχρι 40% περισσότερο. Αυτό προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος μεταφοράς καθώς επίσης και οφέλη στην ασφάλεια ρήξης, τη δύναμη, το χρόνο ζωής και την προστασία από την διάβρωση.

Η χρήση GTMs στα πλοία έχει λάβει «την έγκριση τύπου» από τον νηογνώμονα Lloyds και πλήρης έγκριση του σχεδίου των πλοίων θα γίνει όταν προσδιοριστεί το κάθε πρόγραμμα. Στο σύστημα GTM, ένας αριθμός πλοίων πηγαινοέρχεται μπρος-πίσω μεταξύ των περιοχών φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Το CNG παρέχεται από έναν συμπιεστή στο πλοίο μέσω των συνδέσεων υψηλής φόρτωσης και η διαδικασία θα είναι παρόμοια με την πλήρωση μιας δεξαμενής CNG σε αυτοκίνητο, σε μια μεγαλύτερη κλίμακα όμως. Στην πράξη, ανά πάσα στιγμή θα υπάρχει ένα πλοίο που ελλιμενίζεται επί του τόπου φόρτωσης και ενός επί του τόπου εκφόρτωσης. Επί του τόπου φόρτωσης δεδομένου ότι ένα πλοίο πλησιάζει στο μέγιστο φορτίο του με πίεση περίπου 3000 psig, ένα δεύτερο σκάφος θα προσορμιστεί και θα συνδεθεί έτσι ώστε όταν το πρώτο σκάφος είναι πλήρες, μια άνευ διακοπής μεταστροφή γίνεται στο δεύτερο σκάφος έτσι ουσιαστικά ο συνεχούς ροής διατηρείται. Έτσι το πρώτο σκάφος ξεκινά για την περιοχή εκφόρτωσης. Επί του τόπου εκφόρτωσης, ένα σκάφος συνδέεται ήδη με έναν σταθμό αποσυμπίεσης και ενδεχομένως σε ένα σταθμός συμπίεσης, το αέριο θα ρέει είτε ασυμπιεστο είτε συμπιεσμένο με σταθερό ρυθμό στο σύστημα παράδοσης. Όταν το δεύτερο σκάφος φθάνει, αγκυροβόλιο και αυτό συνδέεται με το σύστημα παράδοσης έτσι ώστε όταν φθάνει το σκάφος που είναι προς το παρόν εκεί στην ελάχιστη πίεση του περίπου 150 psig, μια άνευ διακοπής μεταστροφή μπορεί να γίνει στο πλήρες σκάφος και η σταθερή ροή διατηρείται. Το κενό σκάφος είναι έπειτα αποσυνδεδεμένο και ξεκινά για την περιοχή φόρτωσης και πλήρωση.

## ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΩΛΗΝΩΝ ΧΑΛΥΒΑ

### EnerSea Transport

Τέλος, η EnerSea Transport έχει αναπτύξει το αποκαλούμενο σύστημα συγκράτησης φορτίου «VOTRANS», που αποτελείται από πολλά μπουκάλια CNG που γίνονται από μεγάλης διαμέτρου τμήματα σωλήνων χάλυβα. Οι ενόητες δεξαμενών CNG διαμορφώνονται με ομάδες αυτών των μπουκαλιών CNG από κοινού. Αυτή η ρύθμιση είναι εγγενώς εξελικτική και παρέχει τη διαχωρισμένη αποθήκευση αερίου.



Το VOTRANS βελτιστοποιεί την πίεση και τη θερμοκρασία για να επιτύχει τις βελτιωμένες αποδοτικότητες αποθήκευσης που είναι 60% 100% μεγαλύτερες από άλλες έννοιες CNG. Η χαμηλότερη λειτουργούσα πίεση επιτρέπει στην EnerSea να μειώσει το πάχος τοίχων των σωλήνων, με αυτόν τον τρόπο που αυξάνει τον όγκο του αερίου που αποθηκεύεται ανά τόνο του χάλυβα ταυτόχρονα μειώνοντας το συνολικό βάρος του σκάφους. Η χαμηλότερη πίεση επίσης πολύ μειώνει τη συμπίεση και τις σχετικές απαιτήσεις καυσίμων για τη φόρτωση σκαφών CNG. Το αέριο μεταφέρεται σε και από αυτούς τους σωλήνες χρησιμοποιώντας την ιδιόκτητη διαδικασία μετατοπίσεων αερίου EnerSeaís, η οποία είναι ουσιαστικά μια ισόθερμη και ισοβαρή διαδικασία. Άλλα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι:


Η υψηλή χρήση του φορτίου λόγω μιας μεγαλύτερης απόδοσης εκκένωσης του συστήματος συγκράτησης που οδηγεί στους χαμηλότερους υπολειπομένους όγκους αερίου (1% ή λιγότερο) για το ταξίδι της επιστροφής που σε σύγκριση περίπου με 10% με τα συστήματα υψηλής διαφυγής.

Προσαρμόζει ένα ευρύ φάσμα της σύνθεσης αερίου, συμπεριλαμβανομένου του πλούσιου και σχετικού αερίου

Η προηγμένοι ενοργάνωση και οι έλεγχοι παρέχουν τις ιδιαίτερα αξιόπιστες και περιττές ικανότητες ελέγχου και διαχείρισης

Οι δυναμικές προσομοιώσεις διαδικασίας που ολοκληρώνονται από τις παγκόσμιας ποιότητας ομάδες εφαρμοσμένης μηχανικής επικυρώνουν τα γερά διαχειριζόμενα σχέδια

συγκράτησης του αερίου φορτίου. Η EnerSea Transport λέει ότι το VOTRANS θα ικανοποιήσει ή θα υπερβεί όλα τα εφαρμόσιμα κριτήρια σχεδίου μεταφορών αερίου. Η καρδιά της βασισμένης σε πλοία θαλάσσιας υπηρεσίας μεταφορών αερίου της EnerSea είναι ο μεταφορέας αερίου VOTRANS της. Το V800 σκάφος κατηγορίας επεξηγεί τις βασικές προδιαγραφές του VOTRANS .



VOTRANS V800			
700 MMscf (Leh) - 800 MMscf (Pac) Capacity			
Length, LOA	300.0 m	Full load displacement	120,300 mt
Length, LBP	291.0 m	Lightship displacement	62,500 mt
Beam	50.0 m	Gas Cargo Weight (Gross)	19,600 mt
Hull Depth	27.4 m	Deadweight	40,600 mt
Full Load Draft	10.3 m	Service Speed	18 knots
Lightship Draft	7.5 m	Crew	36

Η EnerSea έχει αναπτύξει μια σειρά κατηγοριών μεγέθους σκαφών, συμπεριλαμβανομένου V600 και του V1000 για τις μικρότερες και μεγαλύτερες ανάγκες μεταφορών, αντίστοιχα, για να παρέχουν στους πελάτες μια βέλτιστη λύση παράδοσης αερίου. Αυτά τα σκάφη μπορούν να προσαρμοστούν περαιτέρω για να καλύψουν με βεβαιότητα τις μοναδικές και απαιτητικές απαιτήσεις των τομέων ενός προγράμματος, όπως η συγκεκριμένη ικανότητα, η σύνθεση αερίου, το κράτος θάλασσας, και τα ποσοστά φόρτωσης και ξεφορτώματος. Το σχέδιο των σκαφών σχεδιάστηκε για να εξασφαλίσει ότι το σκάφος θα μπορούσε να κατασκευαστεί και το σύστημα συγκράτησης φορτίου θα μπορούσε να εγκατασταθεί εξ ολοκλήρου στην ξηρά. Αυτό επιτρέπει επίσης στο σκάφος να ελλιμενίζεται στους πολυάριθμους λιμένες παγκοσμίως για επιθεώρηση και συντήρηση. Το σκάφος έχει σχεδιαστεί στους κανόνες κατηγορίας ABS για τα θαλάσσια συστήματα του σκάφους και την δομή και ενώ το σύστημα συγκράτησης φορτίου έχει σχεδιαστεί βάση τους κανόνες κατηγορίας API, ABS, και τους κώδικες IGC ανάλογα με την περίπτωση. Τα συστήματα φόρτωσης και ξεφορτώματος φορτίου έχουν σχεδιαστεί για να συμμορφωθούν με τον IMO, τον API και τις οδηγίες και τους κανόνες ABS όπως είναι εφαρμόσιμοι. Η EnerSea δούλεψε στενά με τους συνεργάτες της “K” Line, HHI, την Paragon Engineering, και Alan C. McClure Associates για να αναπτύξει το σχέδιο σκαφών και την προδιαγραφές σκαφών.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

---

Το LNG είναι μια εξειδικευμένη αγορά και η πιο ταχέως αναπτυσσόμενη στις θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας. Σε σχέση με την συγγενική αγορά του πετρελαίου διαφοροποιείται σημαντικά, καθώς παρουσιάζει περιορισμένη ρευστότητα και δεν αναμένεται στο ορατό μέλλον να φτάσει σε αντίστοιχα επίπεδα ώριμου ανταγωνισμού. Οι ρυθμοί ανάπτυξης της αγοράς LNG και το σταδιακό άνοιγμά της σε νέους παίκτες με την υιοθέτηση πιο ευέλικτων όρων λειτουργίας την τοποθετεί στις πιο υποσχόμενες θέσεις της παγκόσμιας ναυτιλίας. Στο νέο αυτό δυναμικό περιβάλλον διεκδικούν την θέση τους οι μεγάλοι παραδοσιακοί παίκτες των θαλασσιών μεταφορών ενέργειας, οι ανεξάρτητες εταιρείες δεξαμενοπλοίων. Οι μεγάλες ενεργειακές και ναυτιλιακές εταιρείες παγκοσμίως συνεργάζονται με ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια για τον σχεδιασμό και βελτιστοποίηση των στρατηγικών και επιχειρησιακών τους κινήσεων. Φυσικά το ενδιαφέρον στρέφεται στην παγκόσμια υπερδύναμη του χώρου, την Ελληνική Ναυτιλία και τις ευκαιρίες που διανοίγονται γι' αυτή. Οι Έλληνες πλοιοκτήτες έχουν ήδη εισέλθει στην αγορά, αλλά σίγουρα όχι ακόμα στο μέγεθος που τους αναλογεί. Το ύψος των επενδύσεων σε πλοία LNG είναι υψηλό και σχετικά λίγοι μεγάλοι παίκτες έχουν το προνόμιο να εισέλθουν σε αυτή. Η εκτίμησή μας είναι ότι, στο ορατό μέλλον, η λειτουργία της αγοράς θα έχει ολιγοπωλιακά χαρακτηριστικά. Για την βελτιστοποίηση επιχειρησιακών επιλογών (π.χ. σχεδιασμός δρομολογίων) προσφέρονται πολλά εργαλεία της επιχειρησιακής έρευνας, όπως ο μαθηματικός προγραμματισμός κ.α.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

[www.chebeague.org/fairwinds/risks.html](http://www.chebeague.org/fairwinds/risks.html)

[www.liquefiedgascarrier.com/Liquefied-Natural-Gas-Carriers.html](http://www.liquefiedgascarrier.com/Liquefied-Natural-Gas-Carriers.html)

[www.faqs.org/patents/app/20100162939](http://www.faqs.org/patents/app/20100162939)

[www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/documents/CEE\\_INTRODUCTION\\_TO\\_LNG\\_FINAL.pdf](http://www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/documents/CEE_INTRODUCTION_TO_LNG_FINAL.pdf)

[www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/documents/CEE\\_INTRODUCTION\\_TO\\_LNG\\_FINAL.pdf](http://www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/documents/CEE_INTRODUCTION_TO_LNG_FINAL.pdf)

[www.fluxys.com/en/about%20natural%20gas/Ing/Ing.aspx](http://www.fluxys.com/en/about%20natural%20gas/Ing/Ing.aspx)

[www.risk-support.co.uk/LNG%20transport.htm](http://www.risk-support.co.uk/LNG%20transport.htm)

<http://www.kerdos.gr/oldarticles.aspx?artid=1180235>

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF\\_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF)

<http://www.teekay.com/business/gas/compressed-natural-gas/default.aspx>

<http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/09/quick-look-at-cng-ships.html>

<http://enersea.com/understanding-cng/>

<http://www.coselle.com/resources/news/cng-next-step-natural-gas-transportation>

<http://www.truckinginfo.com/channel/equipment/article/story/2012/07/where-to-put-all-those-cng-tanks.aspx>

<http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/vehicle-fuel-storage/>



## Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	3
Πρόλογος	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ	
ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	5
Τα κοιτάσματα και η εκμετάλλευσή τους	5
Οι συσσωρεύσεις του φυσικού αερίου	6
Συστατικά και ιδιότητες του φυσικού αερίου	7
Επεξεργασία φυσικού αερίου	7
Επεξεργασία φυσικού αερίου στην ακτή	8
Μεταφορά φυσικού αερίου	9
Συστήματα μεταφοράς	9
Επίγεια μεταφορά	10
Υποθαλάσσια μεταφορά	10
Υγροποίηση και θαλάσσια μεταφορά	11
Χρήση	11
Ανταγωνιστικά καύσιμα που υποκαθιστά το φυσικό αέριο	12
Φυσικό αέριο σαν καύσιμο πλοίων	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Μεταφορά Φ.Α σε υγρή κατάσταση με πλοία	
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ	14
ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ	15
Διαδικασίες υγροποίησης σταθμούς φόρτωσης	16
Διεργασίες ψύξης σε σειρά	16
Διεργασίες με μίγμα ψυκτικών	17
Διεργασία με μίγμα ψυκτικών και προκαταρκτική ψύξη	18
Διεργασία υγροποίησης αναγκών αιχμής	19
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πλοία LNG	
Ιστορική αναδρομή	23
Το LNG πλοίο ως ναυπηγική κατάσταση	23
Ανεξάρτητες δεξαμενές	26
Μεμβρανώδεις δεξαμενές	27
Ημιμεμβρανοειδής δεξαμενές	28

Ακέραιες δεξαμενές	28
ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ	
Διαδικασία διαχείρισης φορτίου	30
Θέματα ασφαλείας κατά την εκφόρτωση	33
ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	35
Εγκαταστάσεις παραλαβής CNG	36
Θέματα ασφαλείας	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΛΟΙΑ. CNG	
CNG : Το επόμενο βήμα στη μεταφορά φυσικού αερίου	38
CNG επιρροή της θερμοκρασίας	39
Τεχνολογία δεξαμενών αποθήκευσης	40
Τύποι δεξαμενών	40
Δοκιμές των δεξαμενών αποθήκευσης	41
ΤΑ ΠΛΟΙΑ CNG	44
ΣΥΣΤΗΜΑ COSELLE	44
KNUTSEN OAS SHIPPING	46
ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΟΧΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ	50
Trans Ocean Gas	50
Floating Pipeline Company	51
ΤΜΗΜΑΤΑ ΣΩΛΗΩΝ ΧΑΛΥΒΑ	53
EnerSea Transport	53
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56