

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

1 Κεφάλαιο: Υδρογονάνθρακες

- 1.1 Γενικά
- 1.2 Ταξινόμηση υδρογονανθράκων
- 1.3 Φυσικό αέριο
- 1.4 Υγραέριο
- 1.5 Οι διαφορές με το φυσικό αέριο και οι κίνδυνοι από διαρροή
- 1.6 Ευελιξία μεταφοράς και χρήσεων

2 Κεφάλαιο: Διάφοροι τύποι πλοίων μεταφοράς

- 2.1 Ιστορικό
- 2.2 Πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου L.N.G.
- 2.3 Πλοία μεταφοράς υγραερίων L.P.G.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φόρτωση-Εκφόρτωση

- 3.1 Παραγωγική Διαδικασία
- 3.2 Φόρτωση-Εκφόρτωση-Μεταφορά
- 3.3 Σωληνώσεις
- 3.4 Ηλεκτροστάσιο
- 3.5 Αντλία Φορτίου

4 Κεφάλαιο: Βιβλιογραφία

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

Ζαφειρούδης Δημήτριος
Σχολή Πλοιάρχων, ΑΕΝ Μακεδονίας
dimitris_zafeiroudis@hotmail.com

Πρόλογος

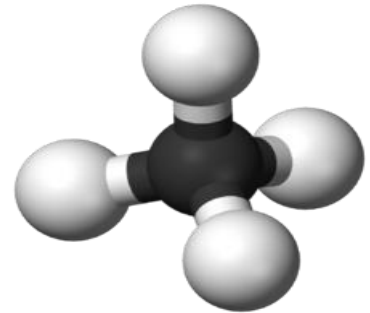
Το φυσικό αέριο εμφανίστηκε με την ανακάλυψη του πρώτου κοιτάσματος πετρελαίου (Πενσυλβάνια, ΗΠΑ, 1859), τα δε υγραέρια με την ανακάλυψη της διύλυσης του φυσικού πετρελαίου λίγο καιρό αργότερα. Από τα πρώτα προβλήματα που προέκυψαν μετά την βιομηχανική αξιολόγηση της χρησιμότητάς τους, ήταν η δυνατότητα μεταφοράς τους σε μεγάλες ποσότητες. Έτσι η χρησιμοποίησή τους εξακολουθούσε να είναι περιορισμένη γιατί δεν υπήρχε τρόπος μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Η μέθοδος μεταφοράς με αγωγούς, για το φυσικό αέριο, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1920. Αρχές της δεκαετίας του 1950 ξεκίνησε η μεταφορά του σε υγρή μορφή από τη θάλασσα, με το πρώτο πλοίο μεταφοράς LNG, το Methane Pioneer. Το 2010 η κατανάλωση φυσικού αερίου ξεπέρασε την κατανάλωση άνθρακα, ενώ η πρόβλεψη είναι ότι το 2030 το φυσικό αέριο θα καλύπτει το ¼ των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Η χρήση φυσικού αερίου έχει θετικά αποτελέσματα στο περιβάλλον. Η καύση του δημιουργεί τη μικρότερη ρύπανση σε σχέση με τα λοιπά συμβατικά καύσιμα, συμβάλλει περιορισμένα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού παράγει μικρότερες κατά 30% ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τα υγρά καύσιμα και δεν προκαλεί όξινη βροχή, καθώς δε περιέχει θείο. Τα κοιτάσματα του φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κέντρα καταναλώσεως. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρονται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία. Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναπτυχθούν τόσο η σύσταση όσο και λεπτομέρειες μεταφοράς. Σε ότι αφορά τα υγραέρια η επίδρασή τους στο περιβάλλον είναι παρόμοια με αυτήν του φυσικού αερίου, είναι τεχνητά αέρια καύσιμα (αποτελούν προϊόν της απόσταξης του αργού πετρελαίου), οι ποσότητές τους είναι πολύ μικρότερες του φυσικού αερίου και μεταφέρονται πάντοτε σε υγρή μορφή είτε δια ξηράς

είτε δια θαλάσσης. Κατά την υγροποίηση ο όγκος του φυσικού αερίου μειώνεται κατά 600 φορές, ενώ των υγραερίων κατά 270. Συνεπώς, σε συγκεκριμένο όγκο δεξαμενών, μπορούμε να μεταφέρουμε πολύ περισσότερη μάζα προϊόντος. Αυτός είναι και ο λόγος που μεταφέρονται τα προϊόντα αυτά σε υγρή φυσική κατάσταση, όταν η μεταφορά τους γίνεται με πλοία. Τέλος θα απαντηθούν μερικά ερωτήματα όπως τι είναι υδρογονάνθρακες τι είναι αέριοι υδρογονάνθρακες, τι χρησιμότητα έχουν, ποιο είναι οι τρόποι μεταφοράς τους, πως μεταφέρετε δια θαλάσσης το L.N.G., πως μεταφέρετε δια θαλάσσης το L.P.G., ποιες κατηγορίες πλοίων μεταφέρουν τους υδρογονάνθρακες, ποια η προοπτική για τη μεταφορά τους, πως φορτώνουν και ξεφορτώνουν και ποιοι κανονισμοί ισχύουν για αυτά.

1 Κεφάλαιο: Υδρογονάνθρακες

4.1 Γενικά

Υδρογονάνθρακες ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις, που το μόριό αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (H) και άνθρακα (C). Ενδεχομένως στο μόριό τους να περιέχονται και άλλα στοιχεία, σε μικρά ποσοστά, όπως θείο (S), βανάδιο, νάτριο (Na) κ.ά. Έχουν γενικό χημικό τύπο C_xH_y . Οι μονοσθενείς ρίζες, που προκύπτουν από ένα μόριο υδρογονάνθρακα αν του αφαιρέσουμε ένα άτομο υδρογόνου, έχουν γενικό τύπο C_xH_{y-1} και ονομάζονται υδροκαρβύλια. Τα αλκένιο, τα αλκένια, τα αλκίνια, τα αλκαδιένια, τα κυκλοαλκάνια και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι μερικοί διαφορετικοί τύποι υδρογονανθράκων. Οι υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται, από τους ανθρώπους στη Γη, βρίσκονται στα φυσικά αποθέματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου σε υπόγεια ή υποθαλάσσια κοιτάσματα. Σε κάθε κοιτάσμα συνυπάρχει το αργό πετρέλαιο με το φυσικό αέριο σε αναλογίες τυχαίες, που ποικίλουν από κοιτάσμα σε κοιτάσμα. Το όλο κοιτάσμα βρίσκεται σε ισχυρή πίεση λόγω του φυσικού αερίου. Το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο δημιουργήθηκαν πριν περίπου 400 με 500 εκατομμύρια χρόνια, από την αποσύνθεση θαλάσσιων, κυρίως ζώων και φυτών που θάφτηκαν κάτω από διαδοχικές στοιβάδες λάσπης. Η αρχική προϋπόθεση για μια τέτοια γένεση πετρελαίου είναι μια ρηχή θάλασσα με νερά πλούσια σε ζώα και φυτά, από μικροσκοπικά μέχρι μεγάλα. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι ότι πεθαίνοντας οι οργανισμοί, βουλιάζουν στο βυθό και



Εικόνα 1.1

Μόριο του μεθανίου, του απλούστερου υδρογονάνθρακα. Οι άσπρες σφαίρες παριστούν άτομα υδρογόνου και η μαύρη το άτομο του άνθρακα.

θάβονται σε λάσπη. Το οξυγόνο στο βυθό πρέπει να είναι περιορισμένο ώστε η αποσύνθεση των οργανισμών να είναι αργή. Με το πέρασμα του χρόνου, λάσπη και πηλός, κάθονται πάνω σ' αυτές τις αποθέσεις, δημιουργώντας τεράστιες πιέσεις. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες χημικές διεργασίες μετατρέπουν τους οργανισμούς σε πετρέλαιο και αέριο. Το αργό πετρέλαιο στη σύνθεσή του περιέχει περίπου 1000 διαφορετικούς μεταξύ τους υδρογονάνθρακες με αριθμό ατόμων άνθρακα στο μόριό τους από 3 μέχρι 80. Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπάνιο και βουτάνιο, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, ήλιο και υδρόθειο.

4.2 Ταξινόμηση υδρογονανθράκων

Τα κύρια συστατικά του πετρελαίου είναι οι τρεις ομάδες υδρογονανθράκων:

- οι κεκορεσμένοι με δομή απλής αλυσίδας
- οι ναφθένες με δομή κεκορεσμένου κλειστού δακτυλίου
- οι αρωματικοί ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με δομή κλειστού δακτυλίου.

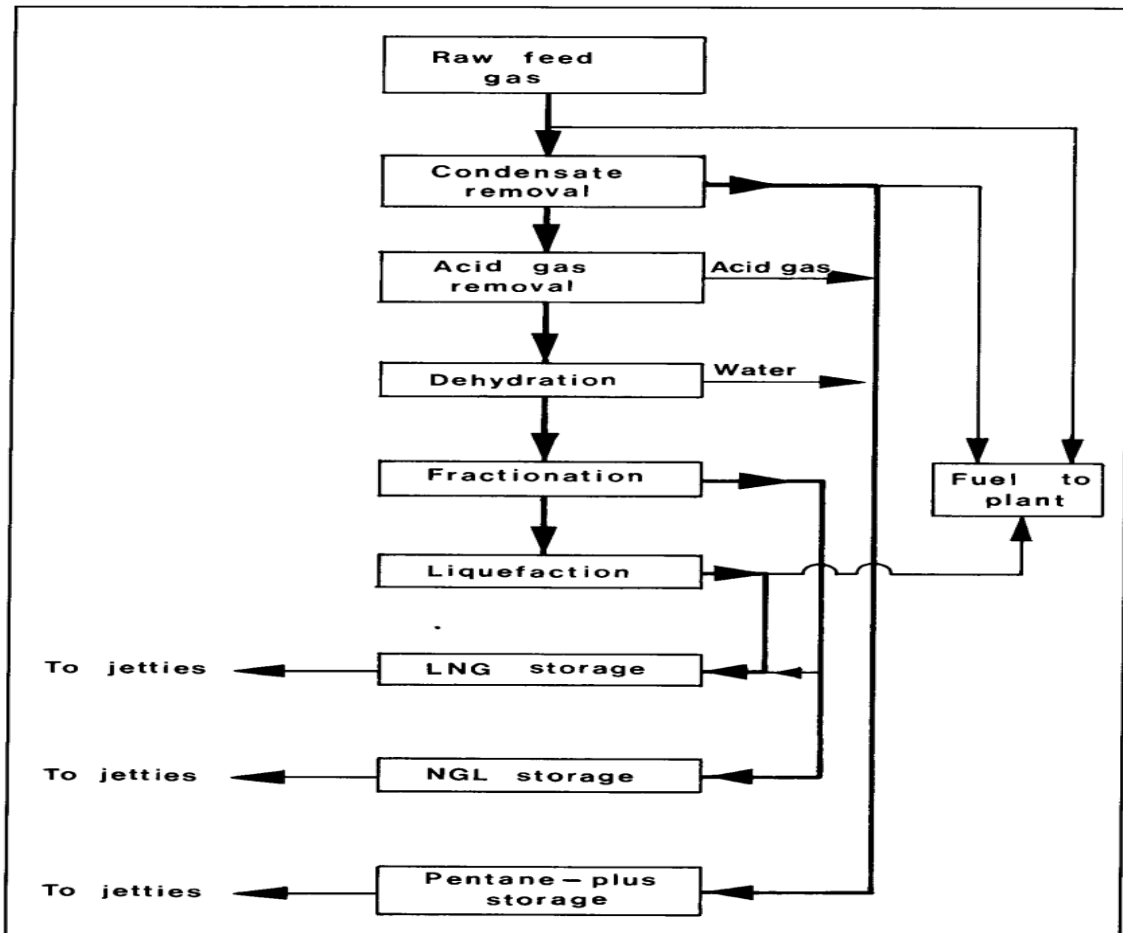
Εκτός απ' αυτά το πετρέλαιο περιέχει σε μικρές ποσότητες οξυγόνο, σε μορφή ιδίως ναφθениκών οξέων, άζωτο και θείο που βρίσκεται είτε σε ελεύθερη μορφή, είτε σαν συστατικό οργανικών ενώσεων. Στα περισσότερα πετρέλαια υπάρχει επίσης και χλωριούχο νάτριο.

Η ποιότητα και οι ιδιότητες των προϊόντων της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου, εξαρτώνται από την αρχική σύνθεση του αργού.

4.3 Το φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα: έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή τα υγρά καύσιμα παράγωγα του αργού πετρελαίου, έχει σημαντικά λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα, μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας, μηδενικές εκπομπές προϊόντων καύσεως θείου και μηδενικές εκπομπές στερεών σωματιδίων.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



Εικόνα 1.3

Τυπικό διάγραμμα ροής υγροποίησης LNG

Υγροποιείται υπό ατμοσφαιρική πίεση (1 bar) σε θερμοκρασία -162°C (-260°F). Έχει επιλεγεί να διατηρείται υγροποιημένο σε αυτές τις συνθήκες ώστε να μην υπάρχουν πιέσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης του πλοίου και δημιουργούν δομικές καταπονήσεις σε αυτές. Τα μίγματά του με τον αέρα αναφλέγονται σε συγκεντρώσεις περίπου 4-16%. Τα όρια αυτά αναφλεξιμότητας δεν είναι ευρέα και συνεπώς, δεν θεωρείται ιδιαίτερα εκρηκτικό αέριο.

Χρήσεις φυσικού αερίου

- Αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου.
- Καύσιμο οχημάτων (οικολογικά οχήματα). Προς το παρόν μικρή χρήση λόγω αδυναμιών στην ανάπτυξη δικτύων τροφοδοσίας.

- Οικιακή χρήση (μαγειρική, θέρμανση κ.α.)
- Εκτεταμένη βιομηχανική χρήση. Τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου που ευνοούν τη χρήση του στον βιομηχανικό τομέα είναι κυρίως τα εξής:
 - Είναι εφικτή η συνεχής παροχή καυσίμου. Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει απρόσκοπτη λειτουργία και αποδεσμεύει κεφάλαια που σε άλλες περιπτώσεις απαιτούνται για τη διατήρηση αποθεμάτων και αποθηκευτικών χώρων
 - Έχει μειωμένες, σε σχέση με άλλα καύσιμα, εκπομπές ρύπων. Έτσι η χρήση του συμβάλλει στο καθαρότερο περιβάλλον και στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και μειώνει επιβαρύνσεις από πρόστιμα και ρήτρες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.
 - Έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος διαχείρισης καυσίμου και συντήρησης
 - Αυξημένη ενεργειακή απόδοση και οικονομία
 - Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων
 - Ευχέρεια χειρισμού και ελέγχου
- Επειδή τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από νερό (υδρατμούς), καθίσταται εύκολα δυνατή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων (διαδικασία συμπύκνωσης), με αποτέλεσμα την αύξηση (πάνω από 20%) της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από δεδομένη ποσότητα καυσίμου - σημαντικό πλεονέκτημα για τον τελικό καταναλωτή αφού μπορεί να εξυπηρετήσει την εγκατάστασή του με λιγότερο καύσιμο.

1.4 Υγραέρια

Ο όρος **υγραέριο** αναφέρεται σε οποιοδήποτε προϊόν αποτελείται κατά βάση από μίγμα κάποιων από τους ακόλουθους υδρογονάνθρακες: προπάνιο, προπένιο (προπυλένιο), κανονικό βουτάνιο, ισοβουτάνιο, ισοβουτυλένιο, βουτένιο (βουτυλένιο) και αιθάνιο. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί είναι σε συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες αέρια, τα οποία συνήθως υγροποιούνται υπό πίεση για τη μεταφορά και αποθήκευση. Πρακτικά, σαν υγραέρια αναφέρουμε σήμερα μίγματα κυρίως προπανίου-βουτανίου. Τα υγραέρια υγροποιούνται εύκολα σε περίπου 10 bar πίεση και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το *υγροποιημένο αέριο πετρελαίου*, γνωστό και με τον αντίστοιχο διεθνή όρο **LPG** (ελ - πι -τζι), σύντμηση του *liquified petroleum gas*, αποτελείται από ελαφρά κλάσματα αργού πετρελαίου, τα οποία είναι αέρια όταν βρίσκονται υπό συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Τα αέρια αυτά

κλάσματα υδρογονανθράκων διαχωρίζονται από τα υγρά κλάσματα κατά τη διύλιση που γίνεται στο αργό και οδεύουν προς δεξαμενές αποθήκευσης προς άλλες χρήσεις, ενώ τα υγρά κλάσματα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υγρών καυσίμων (ντίζελ, βενζίνη κ.ο.κ.). Επίσης ο όρος LPG αναφέρεται στα κλάσματα που αφαιρούνται από το φυσικό αέριο προτού αυτό οδεύσει προς κατανάλωση. Τα κλάσματα αυτά είναι υγρά όταν είναι υπό



Εικόνα 1.7

φιάλες υγροποιημένου προπανίου

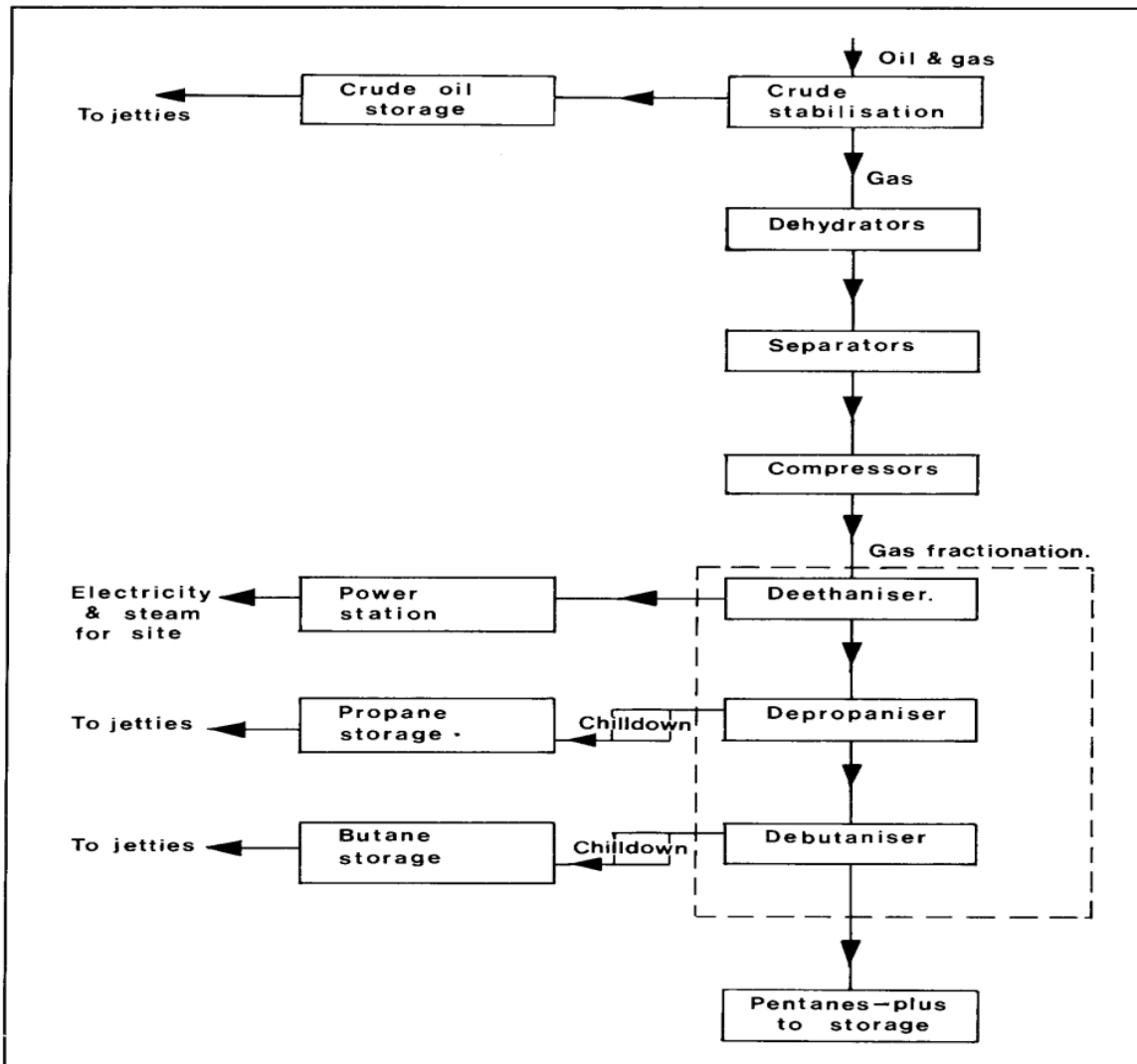
υψηλή πίεση. Ουσιαστικά δηλαδή το LPG είναι μίγμα προπανίου και βουτανίου το οποίο είτε προέρχεται από αργό είτε προέρχεται από την ξήρανση του φυσικού αερίου. Η αναλογία προπανίου-βουτανίου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εποχή, πιο πολύ προπάνιο το χειμώνα, πιο πολύ βουτάνιο το καλοκαίρι. Συνήθως προστίθεται σε μικρή αναλογία κάποιο συστατικό με πολύ ισχυρή οσμή ώστε να είναι εύκολα ανιχνεύσιμες τυχόν διαρροές. Είναι ένα ιδιαίτερα εύφλεκτο προϊόν (όπως όλοι οι υδρογονάνθρακες) και επιπλέον όταν είναι υγροποιημένο υπό πίεση υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης από απότομη εκτόνωση (δες BLEVE). Ως εκ τούτου, ισχύουν αυστηρές προδιαγραφές και κανονισμοί για τον χειρισμό, αποθήκευση και διάθεση του. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο, και θεωρείται πιο "καθαρό" από τους υγρούς υδρογονάνθρακες διότι έχει μεγαλύτερη αναλογία υδρογόνου-άνθρακα και άρα μικρότερες εκπομπές CO₂. Το LPG χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σαν καύσιμο αυτοκινήτων το 1912 στις ΗΠΑ, αλλά αυτή η χρήση του έφθασε στην Ευρώπη με τη λήξη του Β' παγκοσμίου πολέμου. Πρώτες η Ιταλία και η Ολλανδία εισήγαγαν τη χρήση του LPG στην αυτοκίνηση στις αρχές της 10ετίας του 1950. Ακολούθησε η Γαλλία στο τέλος της 10ετίας του 1970, αν και στην Ευρώπη έγινε δημοφιλές για την αυτοκίνηση μόλις στο τέλος της 10ετίας του 1990.

Οικολογικά οφέλη από την χρήση του:

- Λιγότερο CO κατά 20-60%
- Λιγότερα οξείδια του αζώτου 12-40%
- Λιγότεροι άκαυστοι υδρογονάνθρακες 30-60%
- Δεν παράγονται κατά την καύση του προϊόντα μολύβδου και θείου.

Στην Ελλάδα LPG παράγουν και τα διυλιστήρια των ΕΛΠΕ και τα διυλιστήρια Μότορ Όιλ, αλλά μεγάλο τμήμα του καταναλώνεται επί τόπου για τις ανάγκες θέρμανσης των φυσικών και χημικών διεργασιών των διυλιστηρίων, καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και το υπόλοιπο διατίθεται στην ελληνική αγορά ή εξάγεται.

1.5 Οι διαφορές με το φυσικό αέριο και οι κίνδυνοι από διαρροή



Εικόνα 1.7

Τοπικό διάγραμμα ροής παραγωγής βουτανίου και προπανίου

Το υγραέριο ή LPG δεν πρέπει να συγχέεται με το φυσικό αέριο που είναι κυρίως μεθάνιο. Επίσης δεν πρέπει σε καμία περίπτωση το υγραέριο να συγχέεται με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση υγροποιείται σε θερμοκρασία στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η συνήθης πρακτική είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο να ψύχεται σε αυτή τη πολύ χαμηλή θερμοκρασία και σε ατμοσφαιρική πίεση (ή ελαφρά αυξημένη κατά κάποια μικρά κλάσματα της ατμοσφαιρικής) για αποθήκευση και μεταφορά σε

ειδικές κρυογενικές δεξαμενές. Σε τυχόν περίπτωση αστοχίας ή ατυχήματος και διαρροής του προϊόντος δεν υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος από απότομη εκτόνωση, καθόσον τουλάχιστον το προϊόν βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Αντίθετα το υγραέριο είναι κυρίως προπάνιο, βουτάνιο και υγροποιείται σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία. Η συνήθης πρακτική είναι να υγροποιείται σε μια πίεση που μπορεί να είναι από περίπου 2 bar στους 20 °C για καθαρό βουτάνιο έως και 22bar (περίπου 22 φορές η ατμοσφαιρική, δηλαδή μια σχετικά υψηλή πίεση) στους 55 °C για καθαρό προπάνιο. Τούτο έχει σαν συνέπεια ότι σε περίπτωση αστοχίας υλικού, ατυχήματος κλπ, με τόσο σοβαρή διαρροή ώστε η πίεση εντός του δοχείου απότομα να εξισωθεί με την ατμοσφαιρική, μπορεί να συμβεί εκτεταμένη καταστροφική εκτόνωση. Οι εκρήξεις αυτού του τύπου είναι πολύ επικίνδυνες διότι δεν χρειάζεται να υπάρξει ανάφλεξη για να συμβούν, αλλά αρκεί η απότομη ατμοποίηση του υγρού, και διότι ολόκληρη η δεξαμενή, όσο μεγάλη κι αν είναι αυτή, μπορεί να διαρραγεί εκρηκτικά και αν υπάρξει τέτοιου είδους έκρηξη σε δεξαμενή θα εκτονωθεί αναπόφευκτα όλο το περιεχόμενο υγρό. Τέτοια ατυχήματα έχουν συμβεί σε κάποιες περιπτώσεις, όπως το 2009 στο Viareggio της Ιταλίας.

1.6 Ευελιξία μεταφοράς και χρήσεων

Το υγραέριο μεταφέρεται παντού με ευκολία υπό πίεση, σε υγρή μορφή, αποθηκεύεται σε φιάλες και σε δεξαμενές διαφόρων μεγεθών και χρησιμοποιείται για οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις.

Χρησιμοποιείται ευρύτατα και για την κίνηση οχημάτων Autogas και θεωρείται το σημαντικότερο εναλλακτικό καύσιμο για τη χρήση αυτή σε όλη την Ευρώπη. Το υγραέριο (LPG) είναι το καύσιμο που μπορεί να καλύψει πρακτικά όλες τις ενεργειακές ανάγκες, δηλαδή :

- Θέρμανση και ψύξη εσωτερικών και εξωτερικών χώρων
- Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης
- Μαγείρεμα
- Ατμοπαραγωγή, ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή
- Ειδικές αγροτικές, εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις
- Φωτισμό
- Κοπή μετάλλων
- Συγκολλήσεις
- Αυτοκίνηση

5 Κεφάλαιο: Διάφοροι τύποι πλοίων μεταφοράς

5.1 Ιστορικό

1912: Κατασκευή πρώτου εργοστασίου υγροποίησης φυσικού αερίου στη West Virginia

1914: Ο Godfrey Cabot κατασκευάζει και κατοχυρώνει με ευρεσιτεχνία, μικρό σκάφος μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, αποδεικνύοντας ότι η δια θαλάσσης μεταφορά του προϊόντος αυτού είναι τεχνικά εφικτή.

1959: Το Methane Pioneer, τροποποιημένο φορτηγό σκάφος, μεταφέρει 5000 m³ LNG από Lake Charles στο UK, αποδεικνύοντας στην πράξη τη δυνατότητα μαζικής μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου.



Εικόνα 2.1

Methane Pioneer

1964: Τα πλοία Methane Princess & Methane Progress, 27.400 m³, είναι τα πρώτα εμπορικά πλοία μεταφοράς LNG κάνοντας δρομολόγια μεταξύ Αλγερίας και Ηνωμένου Βασιλείου.



Εικόνα 2.1

Methane Princess και Methane Progress

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

1969: Τα πλοία τύπου μεμβράνης, μεταφοράς υδροποιημένου φυσικού αερίου, Polar Alaska και Arctic Tokyo, 75.500 m³, ξεκινούν δρομολόγια μεταξύ Αλάσκας και Τόκιο.

1971: Η Kvaerner αναπτύσσει σφαιρικές δεξαμενές τύπου Moss χωρητικότητας 88.000 m³.

1975: Με την κατασκευή του BEN FRANKLIN στη Γαλλία, χωρητικότητας 120.000 m³, γίνεται για πρώτη φορά υπέρβαση των 100.000 m³.

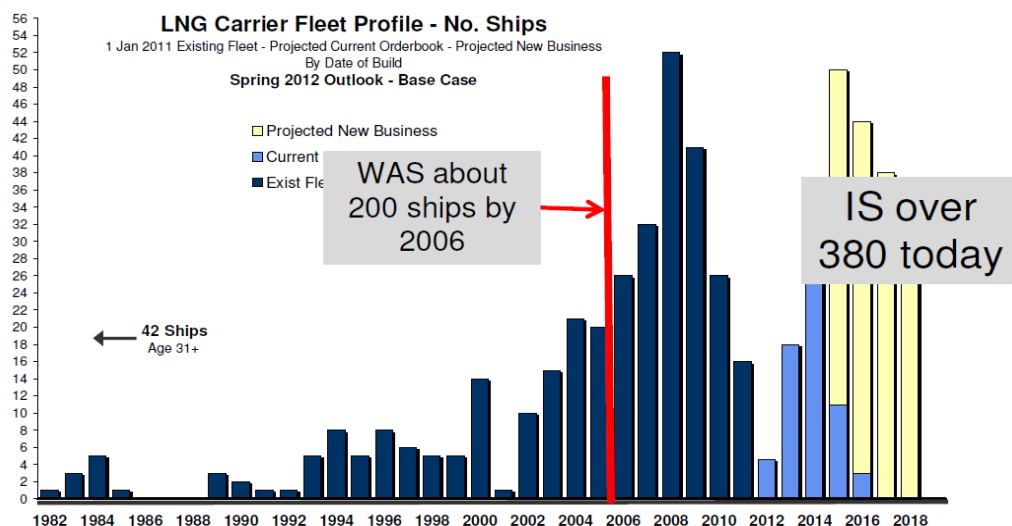
1979: Δημιουργείται η Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO), με σκοπό να προωθήσει την ασφαλή και αξιόπιστη χρήση των αεριοφόρων πλοίων και τερματικών σθμών.

1993: Τα πλοία Polar Eagle και Arctic Sun, χωρητικότητας 83.500 m³, με δεξαμενές πρισματικού τύπου της IHI, ξεκινούν δρομολόγια μεταξύ Αλάσκας και Τόκιο.

Εικόνα 2.1 Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου πλοίων LNG.

LNG Carrier Fleet Age Profile

Existing Fleet...Current Orderbook...Projected New Business



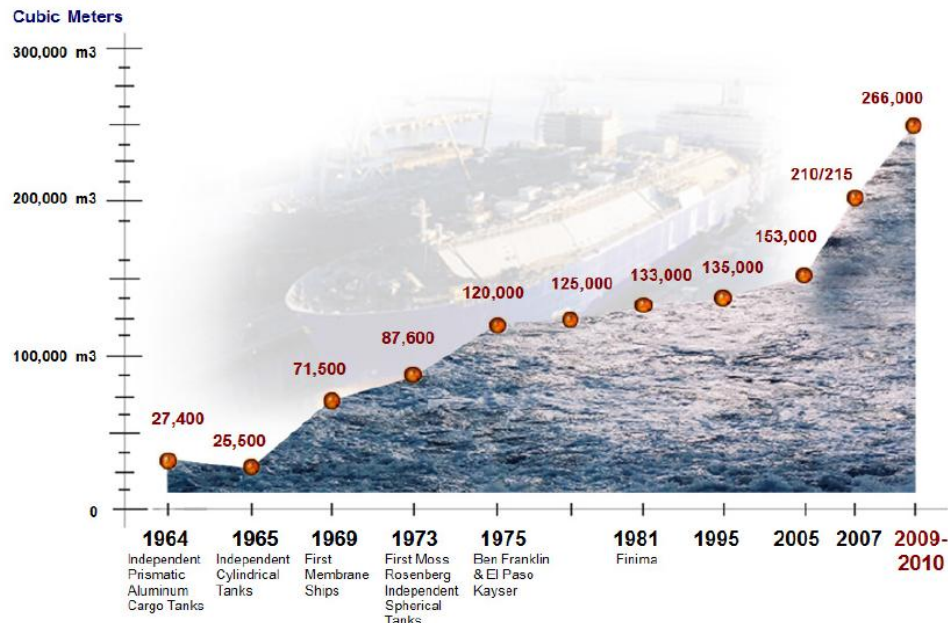
ABS

Source: Clarksons.com

19

Εικόνα 2.1
Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου πλοίων LNG.

• Evolution in LNG Carrier Size



Εικόνα 2.2
Εξέλιξη παγκόσμιου στόλου πλοίων LNG κατά χωρητικότητα

2.2 Πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου L.N.G.

Το φυσικό αέριο, ένα καθαρό, μη τοξικό καύσιμο, είναι σήμερα η τρίτη σπουδαιότερη πηγή ενέργειας στον κόσμο, μετά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Επειδή το αέριο σε υγροποιημένη μορφή καταλαμβάνει 600 φορές λιγότερο όγκο, η θαλάσσια μεταφορά LNG έχει νόημα από εμπορική άποψη εάν μεταφέρεται σε υγροποιημένη μορφή υπό ατμοσφαιρική πίεση. Δημιουργείται μια μεγάλη πρόκληση στη μηχανική, κυρίως επειδή πρέπει να μεταφερθεί σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από τα LPG, στους -162°C . Η πρόκληση αυτή αντιμετωπίστηκε με επιτυχία και σήμερα κατασκευάζονται και μεταφέρουν με ασφάλεια το πολύτιμο αυτό ενεργειακό προϊόν, πλοία διαφόρων τύπων, που περιγράφονται στη συνέχεια.

Τα συστήματα αποθήκευσης φορτίου (Cargo containment systems) είναι ολοκληρωμένες μηχανολογικές διατάξεις για την αποθήκευση του φορτίου και περιλαμβάνει το καθένα από αυτά:

- Τη δεξαμενή φορτίου (cargo tank)
- Το δευτερεύον τοίχωμα (secondary barrier) αν υπάρχει
- Τη σχετική θερμική μόνωση (thermal insulation)
- Διάφορες κατασκευές για την υποστήριξη και λειτουργία των ανωτέρω

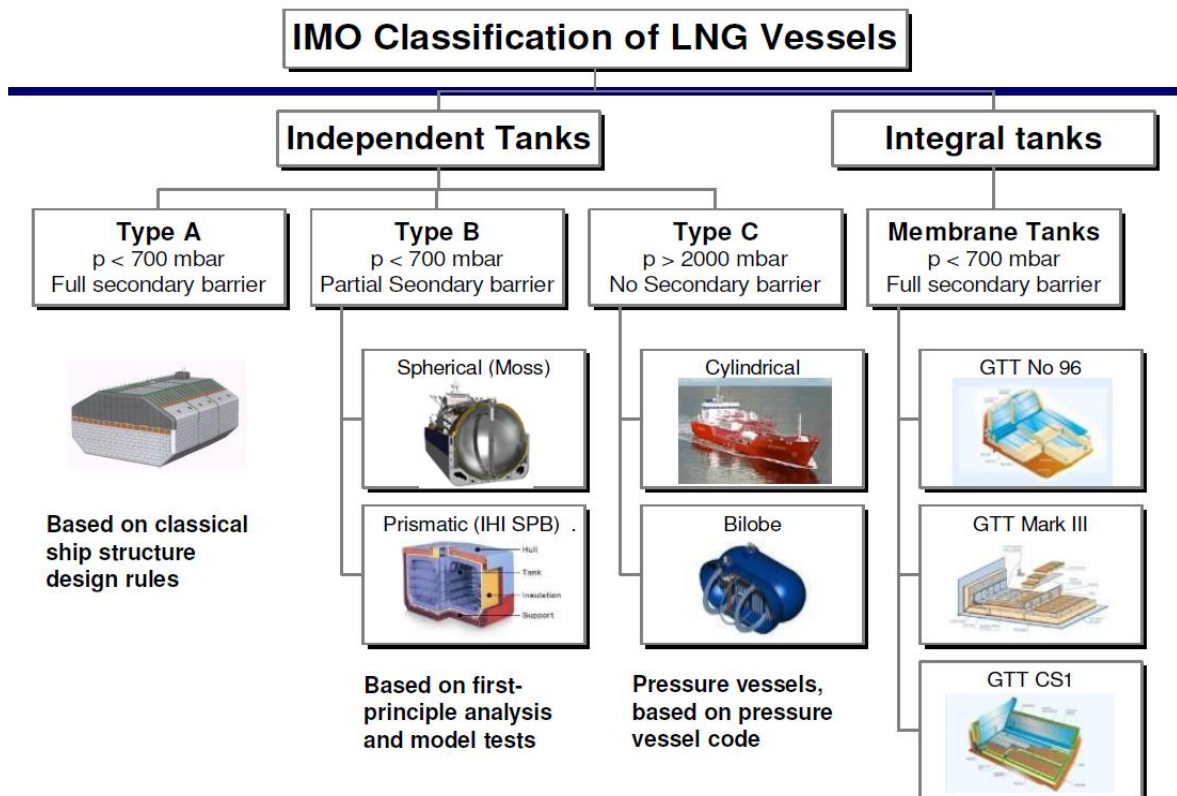
Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

Οι βασικοί τύποι δεξαμενών που χρησιμοποιούνται στα αεριοφόρα πλοία είναι δυο ειδών, ανεξάρτητες και ενιαίες (Independent and Integral).

Οι ανεξάρτητες δεξαμενές είναι τελείως αυτόνομες, δεν αποτελούν δομικό τμήμα του πλοίου, και δεν συμβάλλουν στην καταπόνηση του **hull**.

Ο IGC Code Chapter 4 (para. 4.2.4) καθορίζει τρεις διαφορετικούς τύπους δεξαμενών για τα αεριοφόρα πλοία:

- Type A
- Type B
- Type C



Sources: Moss Maritime, IHI, TGR, GTT.

Δεξαμενές τύπου A

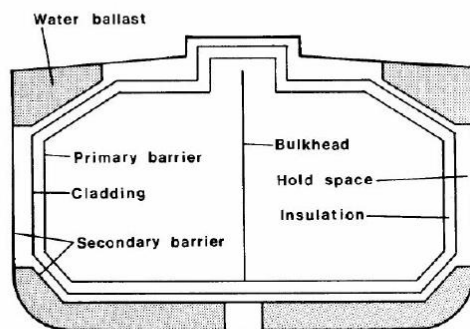
Κατασκευάζονται κυρίως από επίπεδες επιφάνειες. Είναι ανεξάρτητες πρισματικές δεξαμενές που απαιτούν εσωτερική ακαμψία. Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στο χώρο των ατμών, για αυτού του τύπου δεξαμενές, είναι 0,7 barg. Είναι εξωτερικά μονωμένες με αφρό. Απαιτεί δευτερεύον τοίχωμα. Αυτού του τύπου οι δεξαμενές συναντώνται κυρίως σε LPG πλοία.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

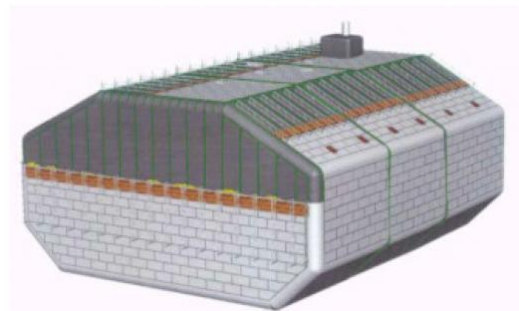


Ο IGC Code απαιτεί το εφεδρικό τοίχωμα να είναι ικανό να δεχθεί διαροή της κύριας δεξαμενής για μια περίοδο 15 ημερών (IGC 4.7.4)

ΔΕΞΑΜΕΝΗ τύπου A – TYPE A Tank



Based on classical
ship structure
design rules



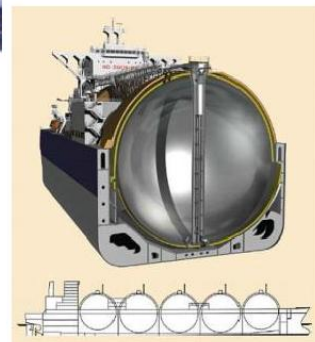
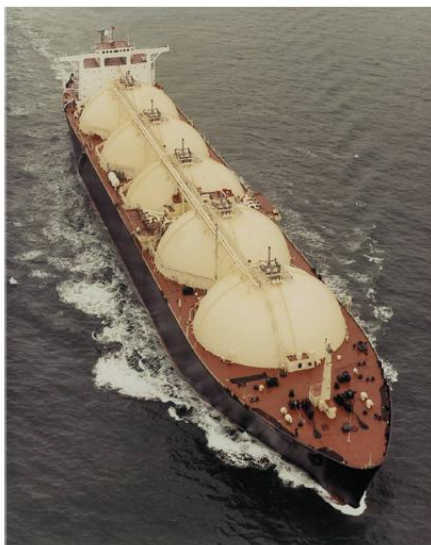
Δεξαμενές τύπου B

Μπορεί να είναι με επίπεδες επιφάνειες, ή σφαιρικού τύπου. Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση στο χώρο των εξατμίσεων 0,7 barg. Συναντώνται στα LNG carriers. Οι δεξαμενές είναι εξωτερικά μονωμένες με αφρό.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

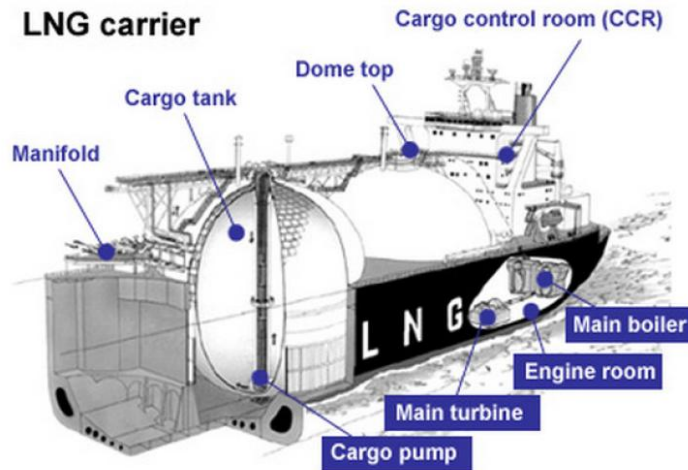


Λόγω ενισχυμένης κατασκευής, μια δεξαμενή τύπου Β απαιτεί ένα μικρό δευτερεύοντα συλλέκτη, σε μορφή δίσκου περισυλλογής. Η πλέον συνήθης κατασκευή δεξαμενών τύπου Β είναι η σφαιρική δεξαμενή, γνωστή και ως Moss Rosenberg, Kvaerner Moss, ή απλώς Moss.



Type B: Spherical Tanks – MOSS

- General layout of ship



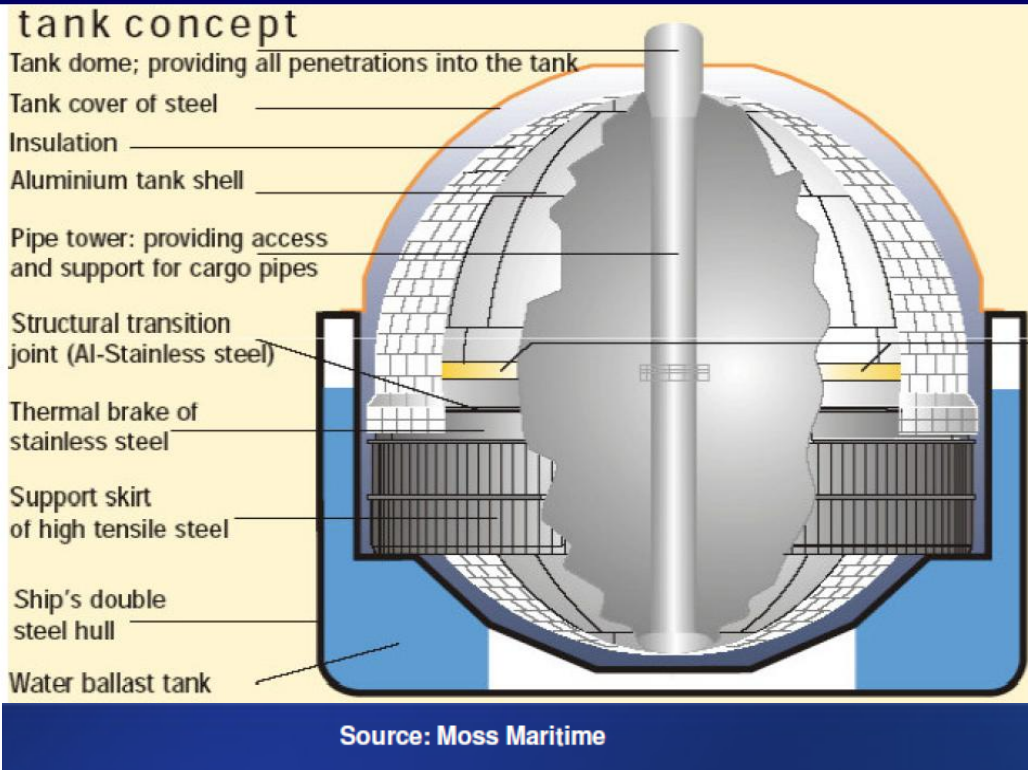
Source: Mitsui O.S.K. Lines

Υπάρχουν δεξαμενές τύπου Β πρισματικής μορφής σε LNG πλοία. Η πρισματική δεξαμενή τύπου Β έχει το πλεονέκτημα της μέγιστης εκμετάλλευσης του όγκου του πλοίου.

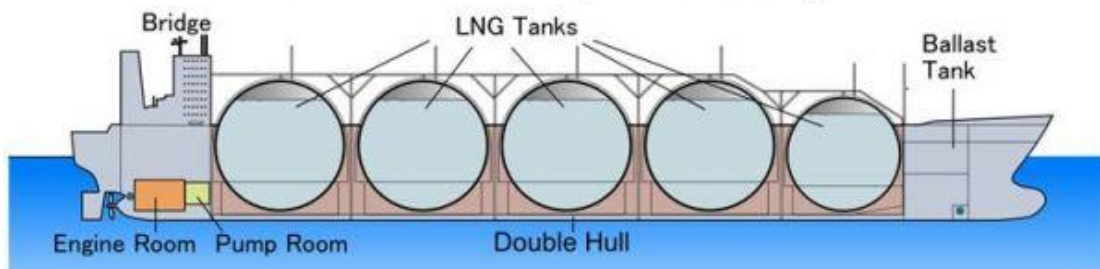
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ MOSS

- Οι χώροι μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού κύτους (inner and outer hull), χρησιμοποιούνται για ballast και προστατεύουν τις δεξαμενές στην περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης.
- Δεν απαιτείται εφεδρική δεξαμενή, κυρίως λόγω της σφαιρικής κατασκευής, που παρέχει μεγάλη ασφάλεια έναντι ρωγμών, ή αστοχίας κατασκευής.
- Στην περίπτωση ρωγμής στο υλικό της δεξαμενής, ακόμα και πολύ μικρή διαρροή LNG μέσα στη μόνωση, εντοπίζεται από τους ανιχνευτές αερίου.
- Η λεκάνη υποδοχής (drip pan), που είναι εγκατεστημένη ακριβώς κάτω από κάθε δεξαμενή, είναι εφοδιασμένη με αισθητήρες θερμοκρασίας, που ανιχνεύουν άμεσα την παρουσία LNG.

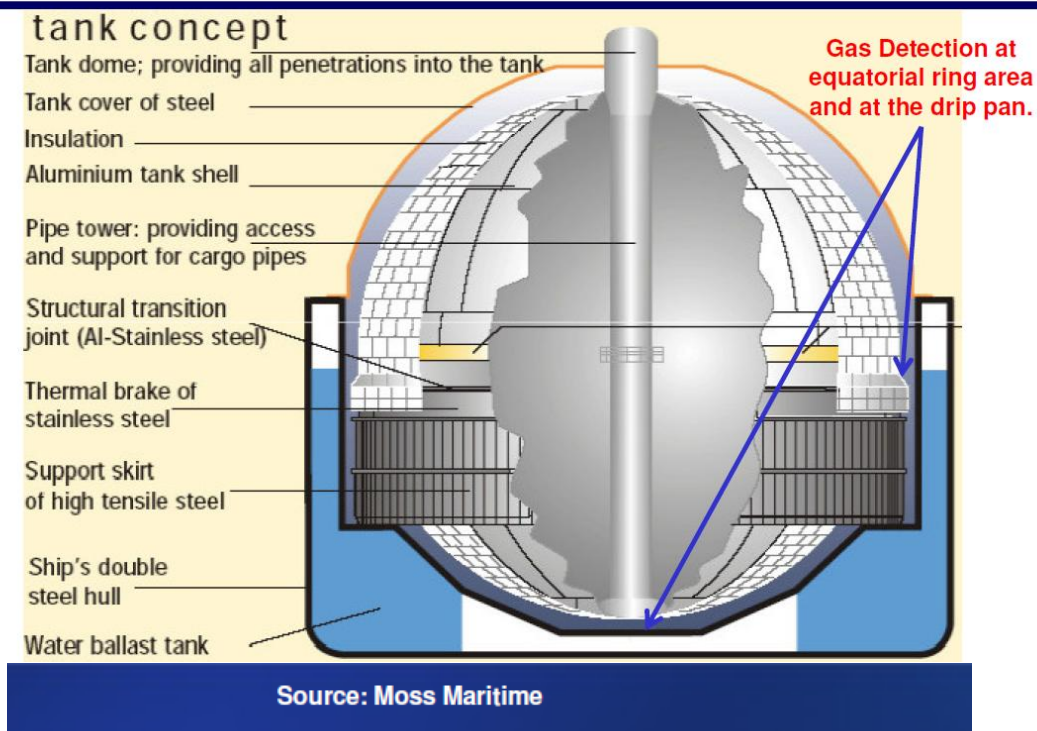
Moss Type LNG Containment System



LNG tanker (side view)



Moss Type LNG Containment System



Type B: Prismatic Tanks – IHI SPB

- Self-supporting, Prismatic, Independent Type B tank (IHI SPB)
- Strong and robust system, but expensive
- So far only 2 ships built (ABS class)
- Cargo tank material
 - Aluminium
 - Stainless steel
 - 9% Ni Steel

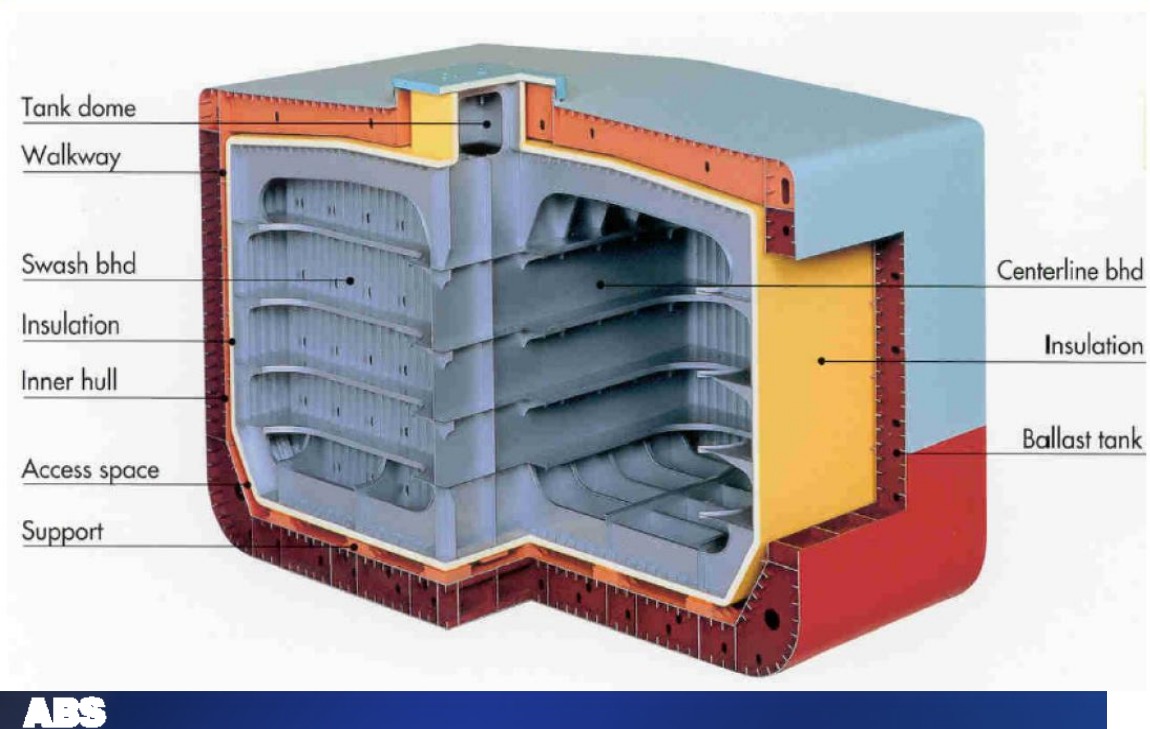


ABS

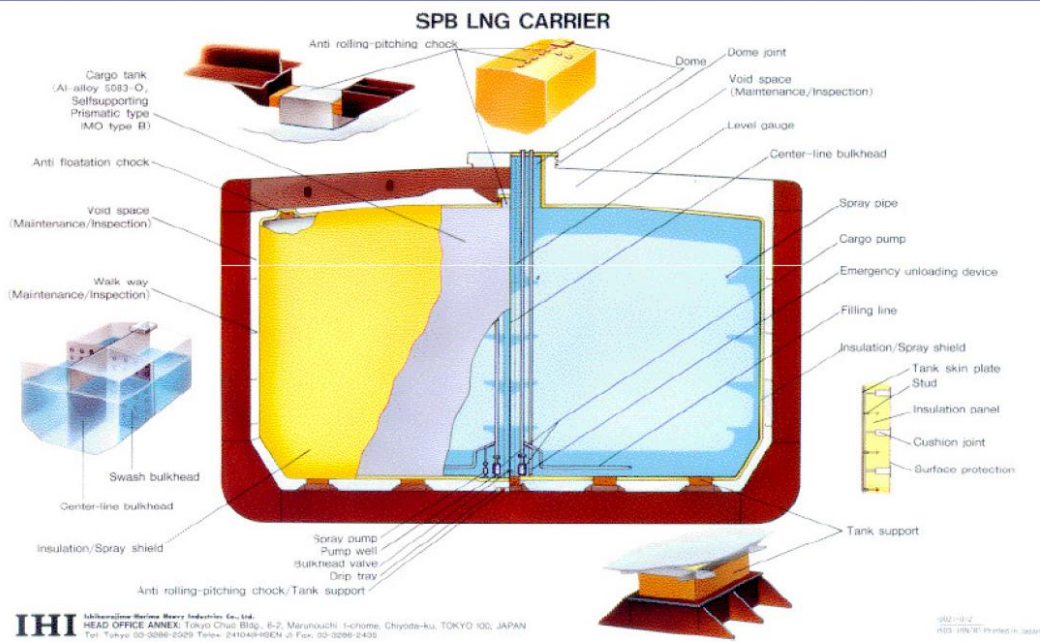
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ IHI SPB

- Περιορίζει τα sloshing loads (να αποδοθεί σε ναυτική ορολογία), έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να γεμίσει πλήρως (can be used partially filled).
- Πλεονεκτεί για φορτία ευκαιρίας (cargoes of opportunity).
- Η σχετικά επίπεδη επιφάνεια επιτρέπει την φόρτωση και εκφόρτωση από πλωτές εγκαταστάσεις LNG.
- Μπορεί εύκολα να κατασκευασθεί για να ταιριάζει στις διαστάσεις του πλοίου (Hull).

IHI SPB System (Self-Supporting Prismatic Type B)



IHI SPB System



ABS

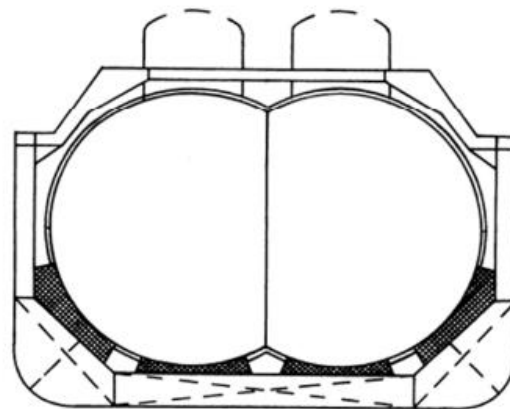
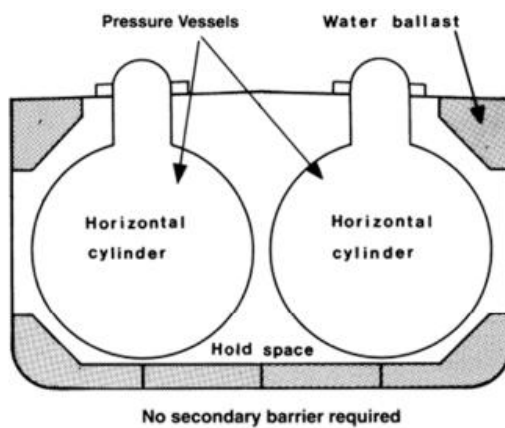
ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΤΥΠΟΥ C

- Κυλινδρικές ή σφαιρικές δεξαμενές σχεδιασμένες για πιέσεις άνω των 2 barg.
- Σχεδιασμένες και κατασκευασμένες σύμφωνα με τους κώδικες για συμβατικά σκάφη με πίεση.
- Κατάλληλες για μικρά LNG ή LPG πλοία.
- Κυρίαρχη επιλογή για πλοία που χρησιμοποιούν σαν καύσιμο LNG.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



- Μπορούν να εγκατασταθούν κάθετα ή οριζόντια
- Εύκολα υπόκεινται σε ακριβή ανάλυση καταπόνησης
- Σχετικά ανεπαρκής αξιοποίηση του όγκου του κύτους. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί με τεμνόμενες bilobe δεξαμενές.



Type C Concepts: World's Largest Bilobe-Liquid Gas Storage Tanks

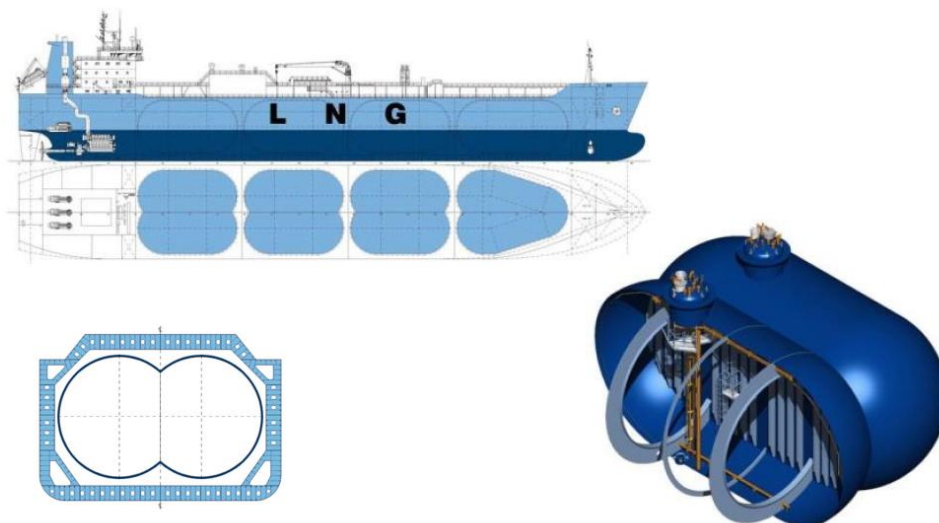


9,686 m³ bilobe Type C LNG tanks building at Sinopacific for Denmark's Evergas

Source: Maritime Propulsion, Feb 2014

Independent Tanks: Type C – Bilobe

- Bilobe tanks being considered for 20-30,000 m³ size ships



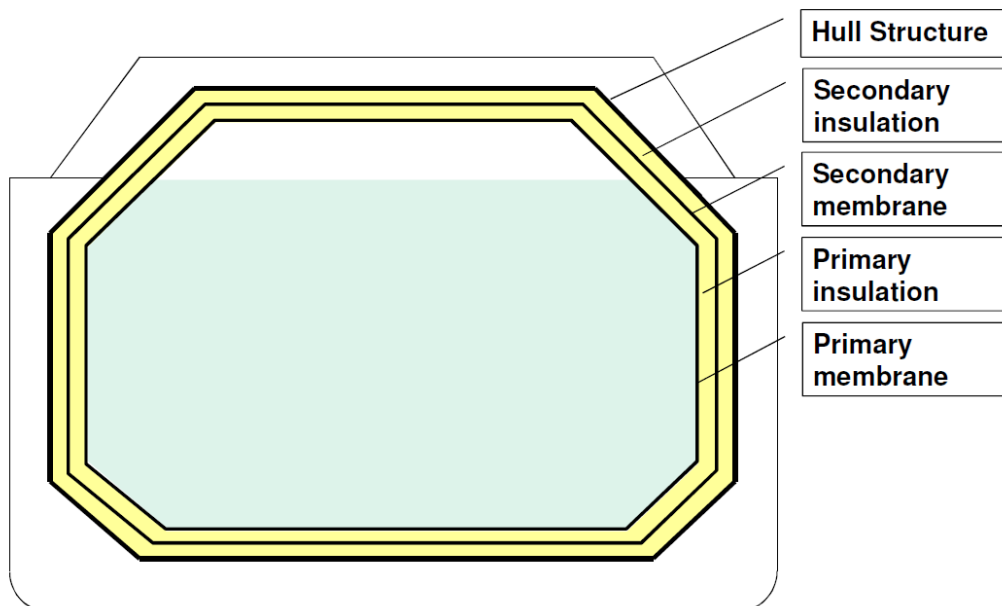
Source: TGE Marine Gas Engineering

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ – MEMBRANE TANKS

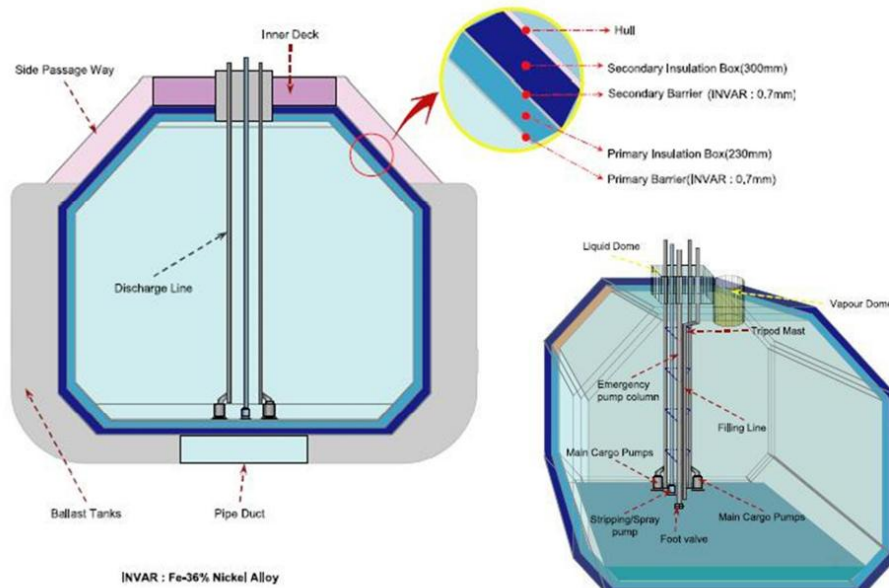
Κατασκευάζονται με πολύ λεπτό πρωτεύον τοίχωμα, μεμβράνη 0,7 έως 1,5 mm (IGC 4.2.2 επιτρέπει μέχρι 10mm), το οποίο υποστηρίζεται μέσω της μόνωσης. Οι δεξαμενές δεν είναι δομικά αυτοδύναμες, αλλά υποστηρίζονται σε σχέση με τα φορτία που δέχονται από το εσωτερικό τοίχωμα του σκάφους (inner hull). Οι δεξαμενές μεμβράνης πρέπει πάντα να έχουν ένα δευτερεύον τοίχωμα, το οποίο εξασφαλίζει την ασφάλεια του όλου συστήματος σε περίπτωση διαρροής της μεμβράνης. Η θερμική συστολή ή διαστολή γίνεται χωρίς υπερφόρτιση του τοιχώματος της μεμβράνης.



Membrane Tanks: Principle

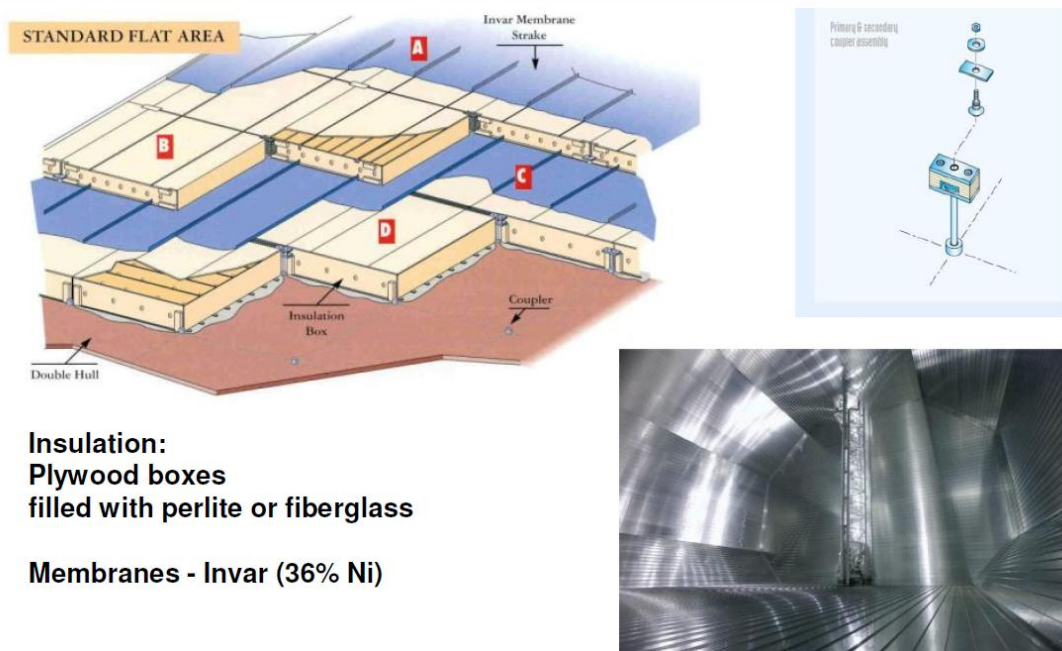


Membrane Tanks: Principle



ABS

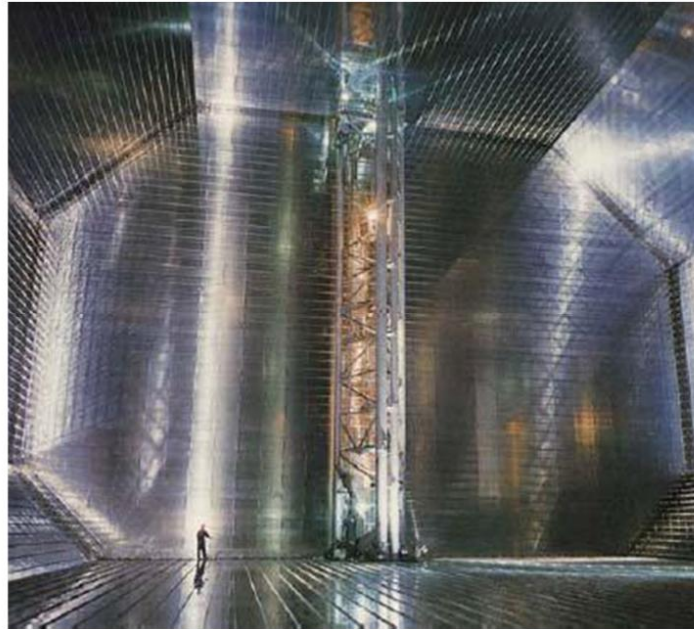
Membrane Tank: GTT No. 96



ABS

Source: GTT

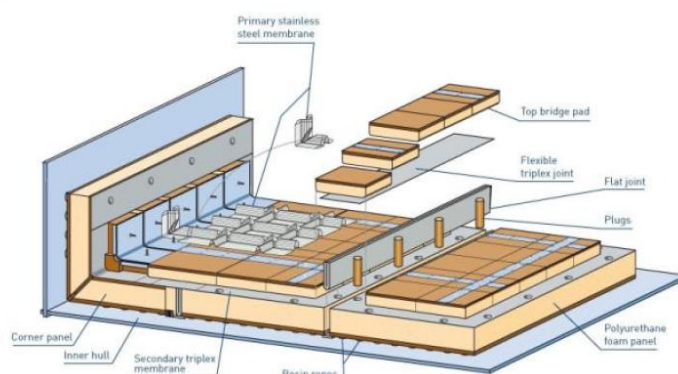
Membrane Tank: GT No. 96



ABS

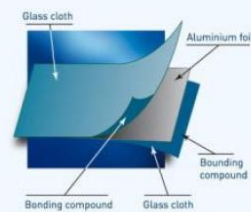
Source: GTT

Membrane Tanks: GTT Mark III



Stainless steel membrane

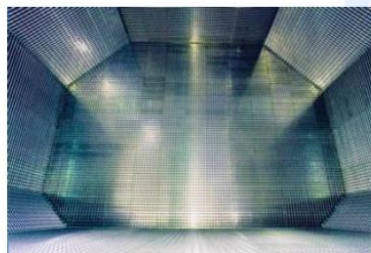
Triplex membrane



Insulation:
Reinforced Polyurethane

Primary Membrane:
Corrugated SUS 304

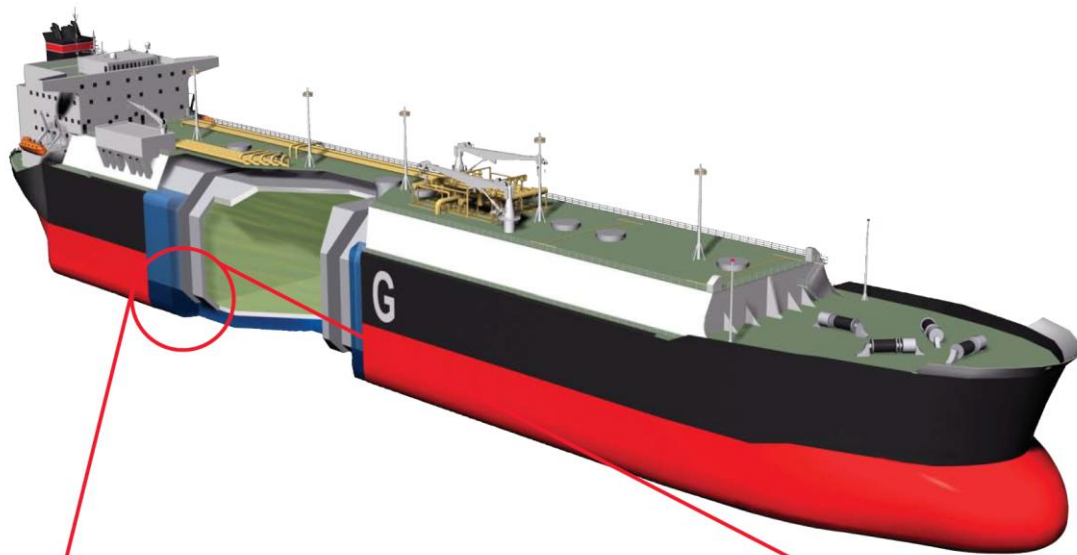
Secondary Membrane:
Glued "triplex"



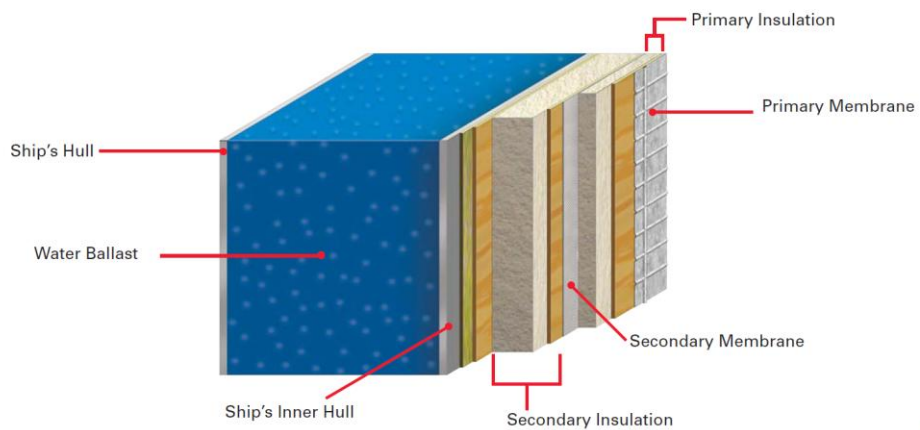
ABS

Source: GTT

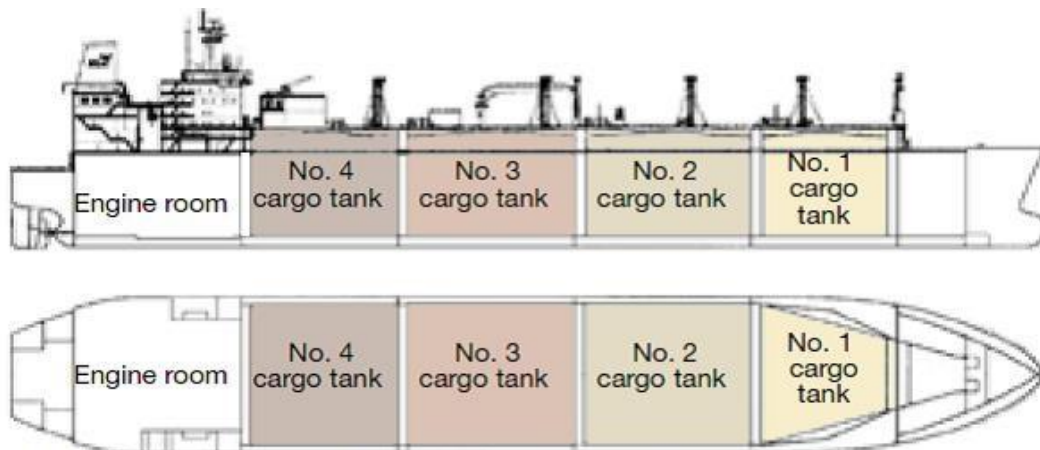
Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των
διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



**A Cross-Section of the LNG Ship's Hull and Containment System –
In Total More Than Six Feet in Width.**



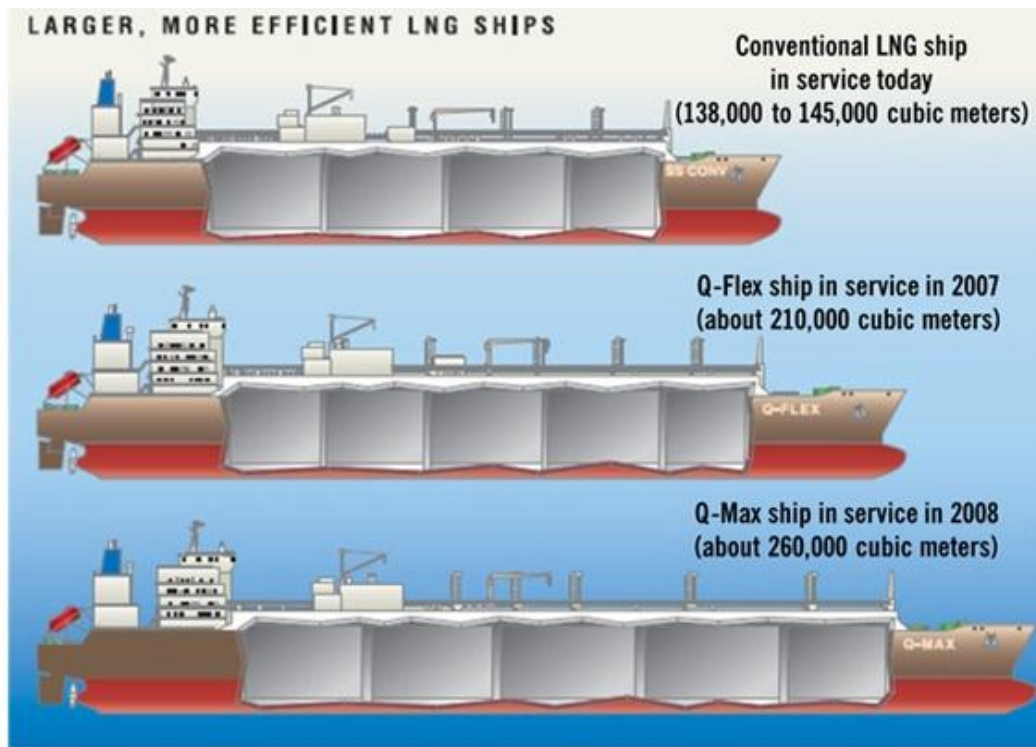
Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



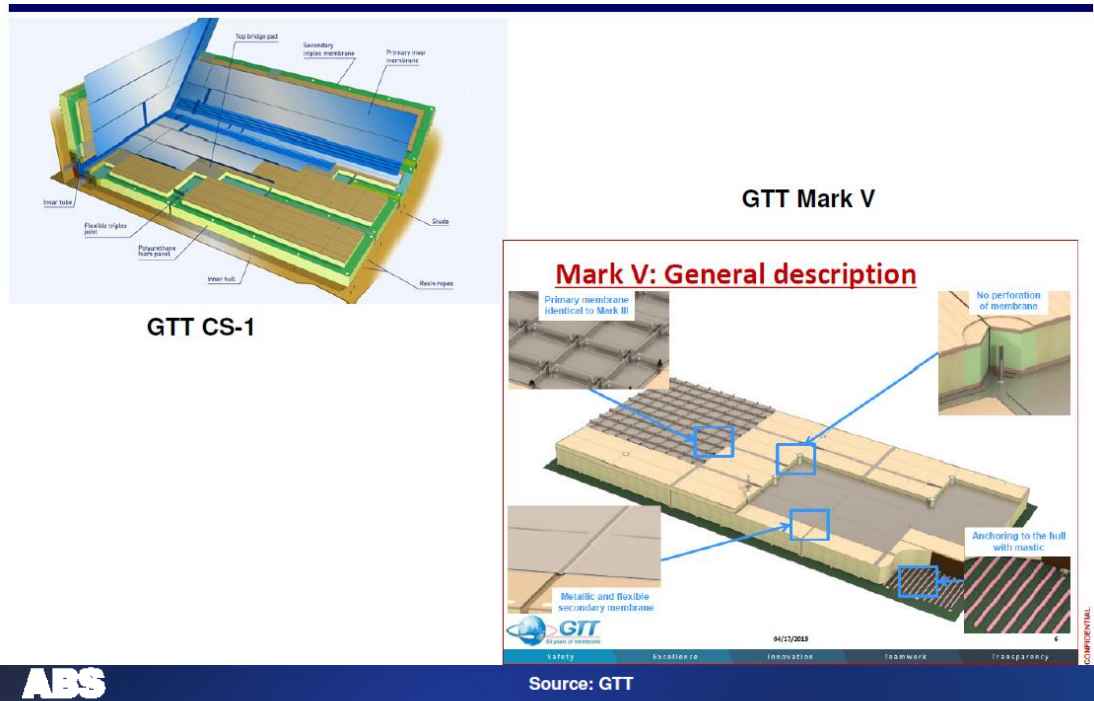
A. Membrane-type LNG carrier generally is arranged as the drawings above indicate



B. S/S Sestao-Knutsen can deliver its payload of nearly 1 million bbl of LNG in less than 16 hours



Other Membrane Tank Designs

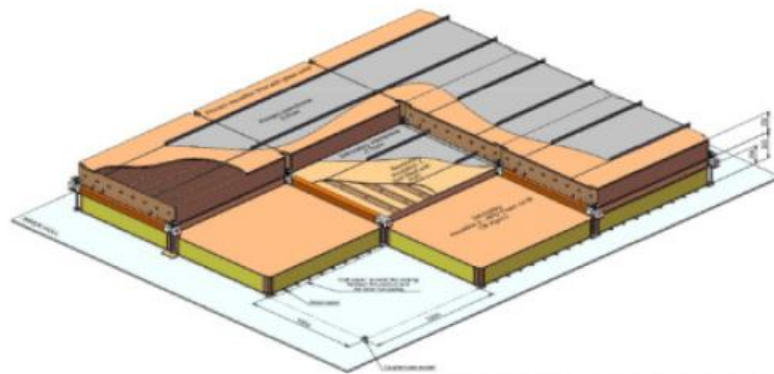
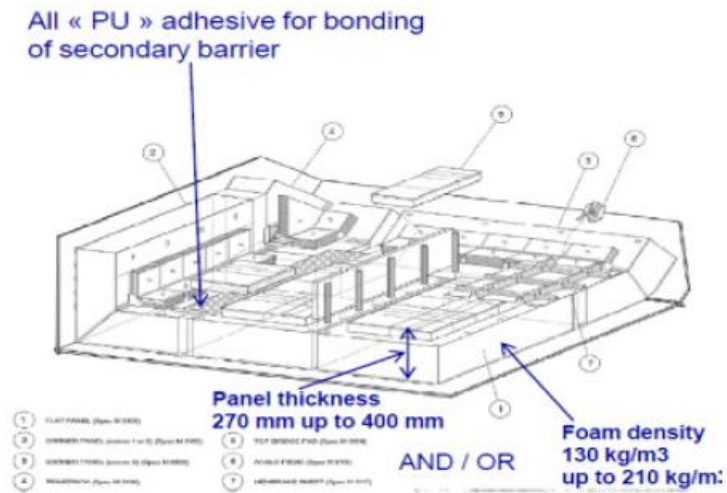


GTT Membrane Systems

Μικρότερος βαθμός εξάτμισης φορτίου (Lower Boil-Off Rate)

- **MARK III Flex**
 - Αυξημένο πάχος μόνωσης από 270 έως 400 mm
BOP < 0.1 %
- **No. 96 Evolution**
 - Χρήση άλλων μονωτικών υλικών, όπως υαλονήματα No 96 GW
 - Τροποποιήσεις στα τοιχώματα της μόνωσης, χρήση αφρού πολυουρεθάνης.
BOP περίπου 0.1 %

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



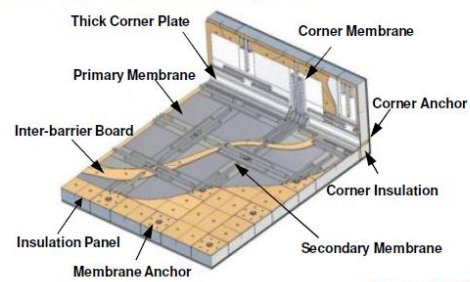
ΝΕΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΞΕΛΙΧΘΕΙ

Samsung SCA-W/S Membrane System



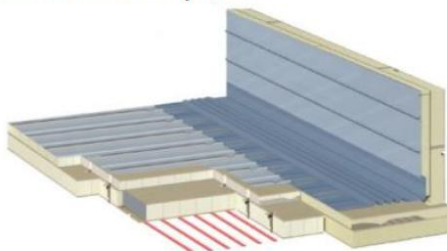
Source Samsung H.I.

KOGAS KC-1 Membrane System



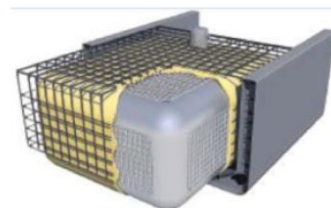
Source KOGAS

Hyundai Membrane System



Source Hyundai H.I.

WAVEspec FPS (NASSCO)



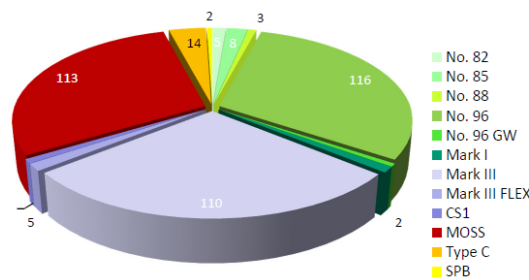
Source Tradewinds/WAVEspec

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

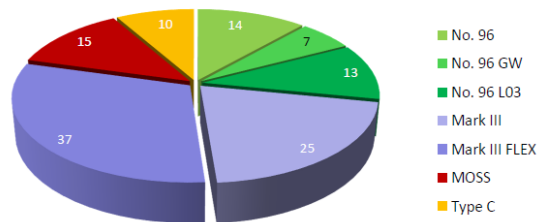
Μέγιστη αξιοποίηση του διατιθέμενου χώρου για φορτίο.
Απεριόριστη ορατότητα για πλοήγηση (unrestricted navigation visibility)

Trends for Containment System Status November 2013

Fleet by Containment system



Orderbook by Containment system



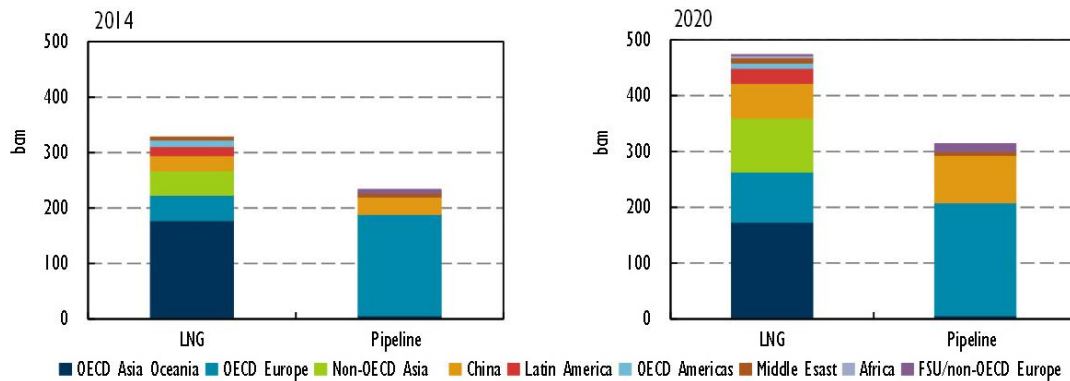
Η μεταφορά του Φ.Α. σήμερα και η τάση για τα επόμενα χρόνια

Υπάρχει ισχυρή διεύρυνση του Φ.Α. στην ενεργειακή αγορά και οι ενδείξεις είναι ότι η μεταφορά του θα αυξηθεί δυναμικά στο μέλλον. Για το 2030 η IEA (International Energy Agency) προβλέπει η μεταφορά του να τετραπλασιασθεί σε σχέση με το 2000. Οι κύριοι προορισμοί είναι η Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία.

Σήμερα η μεταφορά μέσω αγωγών γίνεται σε ποσοστό 75% του συνολικά μεταφερόμενου φυσικού αερίου. Αυτό αναμένεται να μειώνεται σταδιακά και να κυμανθεί μεταξύ 63 και 69%, καθώς η μεταφορά με πλοία αυξάνεται σημαντικά και με ταχύτερους ρυθμούς απ'ότι η μεταφορά μέσω αγωγών. Κάθε τρόπος μεταφοράς έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε ότι αφορά οικονομικές, περιβαλλοντικές παραμέτρους και ευελιξία. Το υγροποιημένο Φ.Α. (LNG) είναι γενικά πιό οικονομικό για μεταφορά του σε αποστάσεις άνω των 3.000 Km.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

Στο γράφημα που ακολουθεί φαίνεται η πρόβλεψη για την μεταφορά Φ.Α. είτε με αγωγούς είτε ως LNG μεταξύ 2014 και 2020 σε διάφορες περιοχές της γής. (IEA Medium Gas Market Report 2015). Το LNG συμμετέχει στο 65% αυτής της αύξησης.



Εικόνα 2.1

2.3 Πλοία μεταφοράς υγραερίων L.P.G.

Η μεταφορά των υγροποιημένων αερίων δια θαλάσσης άρχισε το 1934 όταν μια διεθνής επιχείρηση έθεσε σε λειτουργία δύο πλοία μικτού τύπου πετρελαιοφόρου/LPG. Τα πλοία αυτά, βασικά πετρελαιοφόρα, είχαν μετατραπεί σε μικρά, με δεξαμενές υψηλής πίεσης για τη μεταφορά LPG. Αυτό επέτρεψε τη μεταφορά αυτού του προϊόντος σε μεγάλες αποστάσεις. Τα LPG όχι μόνο είναι μη τοξικά, έχουν επίσης υψηλή θερμαντική ικανότητα και είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, τα από ία τα καθιστούν πολύ καθαρά και



Εικόνα 2.3

Πλοίο μεταφοράς L.P.G.

αποδοτικά κατά τον κάψιμο. Σήμερα τα περισσότερα διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση LPG διαθέτουν δύο ή τρεις οριζόντιες, κυλινδρικές ή σφαιρικές δεξαμενές και έχουν την ικανότητα μεταφοράς έως και 5.000 m³ όγκου. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια έχουν ναυπηγηθεί πλοία με σφαιρικές δεξαμενές, έως 10.000 m³, το καθένα από αυτά με πέντε σφαιρικές δεξαμενές. Παρά την πρόωρη σημαντική ανακάλυψη μεταφοράς φορτίων των υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση LPG, η μετακίνηση υγροποιημένων αερίων δια θαλάσσης άρχισε πραγματικά να αυξάνεται στις αρχές της δεκαετίας του '60 με την ανάπτυξη των κατάλληλων μετάλλων για τη συγκράτηση αυτών των υγροποιημένων αερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα πρώτα σκάφη που χρησιμοποιήσουν αυτήν την νέα τεχνολογία εμφανίστηκαν το 1961. Μετέφεραν αέρια σε ένα ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση/ημι-κατεψυγμένη κατάσταση (SP/SR). Από τα τέλη της δεκαετίας του '60 πλοία ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση/ πλήρως κατεψυγμένα (SP/FR) είχαν γίνει η επιλογή πλοιοκτητών με την παροχή υψηλής ευελιξίας στο χειρισμό φορτίου. Αυτού του τύπου τα πλοία, χρησιμοποιούν δεξαμενές κυλινδρικές ή σφαιρικές είτε της μορφής bi-lobe και έχουν την ικανότητα να φορτώσουν και να ξεφορτώνουν τα φορτία αερίου και στις κατεψυγμένες και στις διατηρημένες υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση εγκαταστάσεις. Ο υπάρχων στόλος των ημι-διατηρημένων υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοίων περιλαμβάνει μεγέθη από 3.000-22.000 m³. Η δεκαετία του '60 είδε επίσης μια άλλη σημαντική ανάπτυξη στην εξέλιξη μεταφορέων αερίου - η εμφάνιση του πρώτου fully refrigerated πλοίου, που χτίστηκε για να μεταφέρει τα υγροποιημένα αέρια σε χαμηλή θερμοκρασία. Το πρώτο πλοίο αυτής της κατηγορίας κατασκευάστηκε από ιαπωνικό ναυπηγείο, το 1962. Το πλοίο διατηρούσε τέσσερις πρισματικές διαμορφωμένες (σαν κουτιά) δεξαμενές κατασκευασμένες το 3% από χάλυβα νικελίου, επιτρέποντας τη μεταφορά των φορτίων σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο -48°C. Οι πρισματικές δεξαμενές επέτρεψαν στα πλοία αυτά να μεγιστοποιήσουν την μεταφορική τους ικανότητα, καθιστώντας τα κατά συνέπεια ιδιαίτερα κατάλληλα για τη μεταφορά μεγάλων όγκων φορτίων όπως LPG, αμμωνία και βινύλιο χλωριδίου για μεγάλες αποστάσεις. Σήμερα, κυμαίνονται από 20.000 έως 100.000 m³. Οι κύριοι τύποι συστημάτων συγκράτησης φορτίου που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα πλήρως κατεψυγμένα σκάφη είναι ανεξάρτητες δεξαμενές που έχουν άκαμπτη μόνωση αφρού. Παλαιότερα σκάφη μπορεί να έχουν ανεξάρτητες δεξαμενές γεμισμένα με μόνωση περλίτη. Στο παρελθόν έχουν υπάρξει μερικά πλήρως κατεψυγμένα σκάφη που ναυπηγούνται με ημι- μεμβράνη (semi-membrane) ή τις ακέραιες δεξαμενές και τις εσωτερικές δεξαμενές μόνωσης αλλά αυτά τα συστήματα έχουν διατηρήσει μόνο ελάχιστο ενδιαφέρον.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται

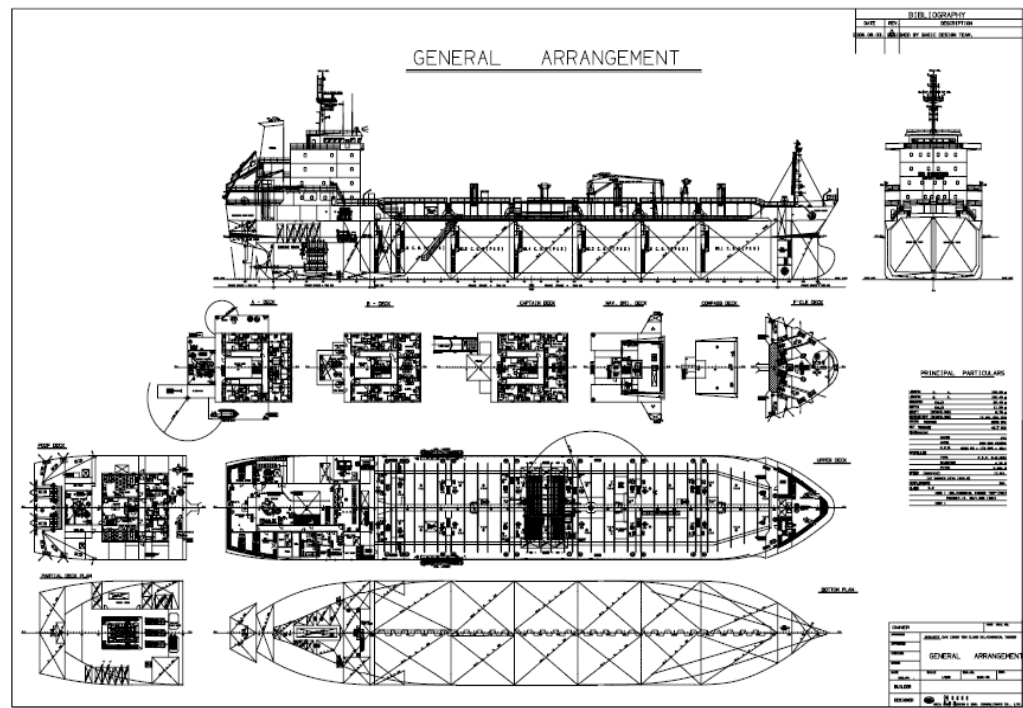
WORLD LPG FLEET OVERVIEW

Vessel Type		Number of Vessels	Orderbook	
			Vessels On Order	% of Fleet (# vessels)
>60,000 cbm Very Large Gas Carrier	Fully-Refrigerated	160	79	49.4%
40,000-59,999 cbm Large Gas Carrier	Fully-Refrigerated	21	3	14.3%
25,000-39,999 cbm Medium Gas Carrier	Fully-Refrigerated	65	35	53.9%
15,000-24,999 cbm Handysize Gas Carrier	Semi-Refrigerated Fully-Refrigerated	91	38	41.7%
5,000-14,999 cbm Small Gas Carrier	Semi-Refrigerated Pressurised	297	51	17.2%
<4,999 cbm Small Gas Carrier	Pressurised	671	36	5.4%

Source: Navigator Sept 2014

Εικόνα 2.3

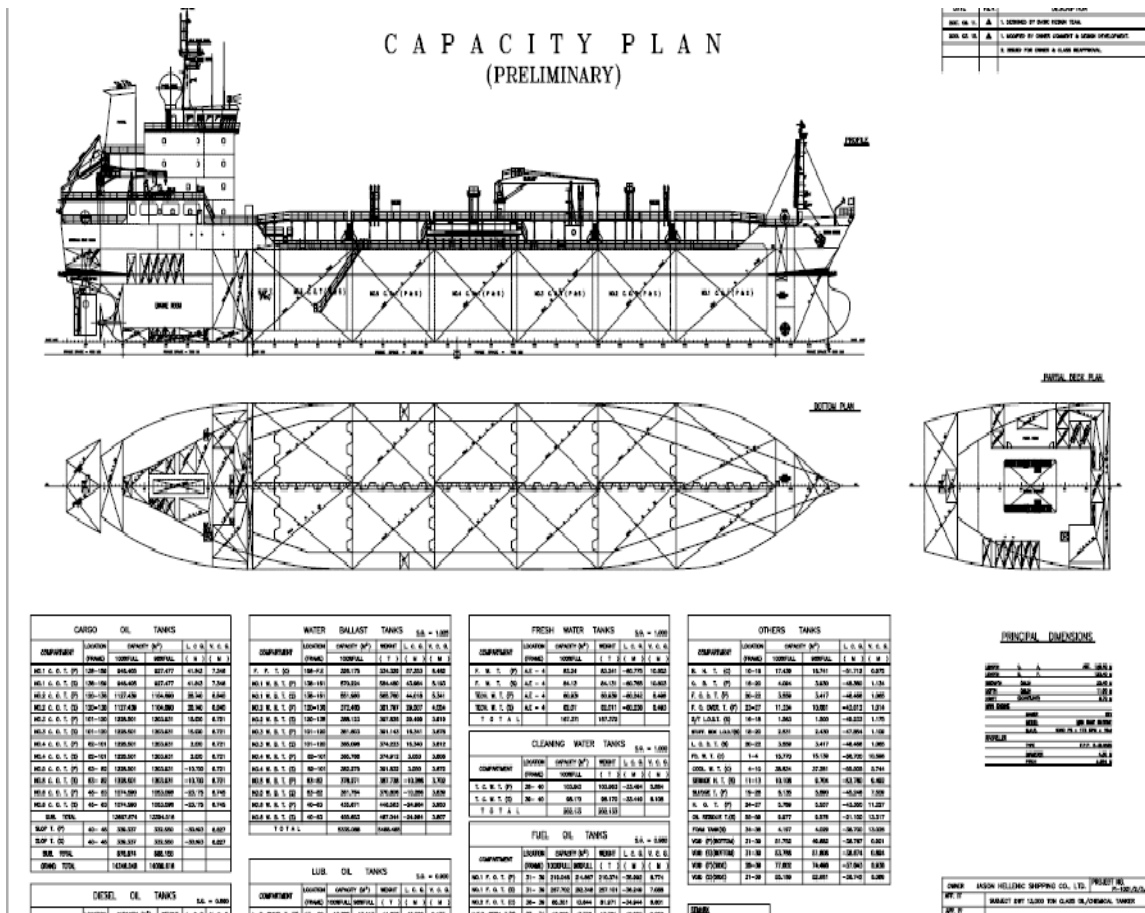
Παγκόσμιος στόλος L.P.G.



Εικόνα 2.3

General arrangement plan από L.P.G.

Διακίνηση αερίων υδρογονανθράκων δια θαλάσσης και χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων πλοίων που χρησιμοποιούνται



Εικόνα 2.3

Capacity plan από L.P.G.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φόρτωση-Εκφόρτωση

6.1 Παραγωγική Διαδικασία

Η διαδικασία παραγωγής-διανομής LNG είναι εξαιρετικά σύνθετη και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

Τροφοδοσία: Το φυσικό αέριο παραδίδεται μέσω αγωγών από το πεδίο εξόρυξης του, στη μονάδα υγροποίησης που βρίσκεται πλησίον της ακτογραμμής και διαθέτει εξειδικευμένες λιμενικές εγκαταστάσεις.

Υγροποίηση: Στη μονάδα υγροποίησης, το φυσικό αέριο υφίσταται διάφορες διαδοχικές επεξεργασίες:

Καθαρισμός: Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από το

φυσικό αέριο (επειδή στερεοποιούμενο μπορεί να προκαλέσει ζημιά στις εγκαταστάσεις υγροποίησης),

του υδρόθειου (H_2S) και των άλλων ενώσεων θείου.

Αφυδάτωση: Απομακρύνεται το νερό (H_2O) από το αέριο ώστε να προληφθεί ο σχηματισμός ένυδρων

αλάτων μεθανίου που εμποδίζουν τη λειτουργία των κρυογονικών εναλλακτών θερμότητας. Απομακρύνονται επίσης τα ίχνη του υδραργύρου (Hg), που είναι τοξικά και διαβρωτικά για τα κράματα που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Πρόψυξη: Το φυσικό αέριο ψύχεται σε μία θερμοκρασία περί τους $-30\text{ }^\circ\text{C}$.

Μια σειρά αποστακτήρων

(στις στήλες καθαρισμού) επιτρέπει την απομόνωση των βαρύτερων υδρογονανθράκων (προπάνιο και

βουτάνιο) που στη συνέχεια πωλούνται ως πρώτη ύλη στην πετροχημική βιομηχανία ή ως καύσιμα.

Υγροποίηση: Το αέριο συμπιέζεται, ψύχεται υπό σταθερή πίεση και στη συνέχεια εκτονώνεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται δύο ή τρεις φορές σε ειδικές ψυκτικές στήλες (αντλίες θερμότητας), από τις οποίες εξέρχεται το αέριο σε υγρή μορφή (LNG), σε θερμοκρασία $-161\text{ }^\circ\text{C}$ υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Η διαδικασία υγροποίησης απαιτεί σημαντική ποσότητα ενέργειας, αφού περίπου το 12% του παραδιδόμενου αερίου αποτελεί ιδιοκατανάλωση της μονάδας υγροποίησης, κυρίως για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας.

Αποθήκευση: Πριν τη φόρτωση, το LNG αποθηκεύεται υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση σε μεγάλες κατακόρυφες κυλινδρικές δεξαμενές (χωρητικότητας 65.000-150.000 m^3 η κάθε μία) δίπλα στο εργοστάσιο υγροποίησης. Οι δεξαμενές αυτές (που λειτουργούν όπως ένα μπουκάλι θερμός), είναι κατασκευασμένες από μέταλλο ή σκυρόδεμα, διαθέτουν διπλό τοίχωμα και προηγμένη θερμική μόνωση ώστε να διατηρούν το αέριο σε υγρή κατάσταση ($-161\text{ }^\circ\text{C}$) με ελάχιστη εξάτμιση. Υπενθυμίζεται ότι περίπου 600 m^3 φυσικού αερίου καταλαμβάνουν υπό κανονική πίεση, μόλις 1 m^3 σε υγρή κατάσταση. (υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση).

6.2 Φόρτωση-Εκφόρτωση-Μεταφορά

Από τον τερματικό σταθμό το υγροποιημένο φυσικό αέριο φορτώνεται σε ειδικά δεξαμενόπλοια (LNG Carriers) που έχουν θερμικά μονωμένες «αδιαβατικές» δεξαμενές, ώστε να κρατούν το αέριο σε υγρή κατάσταση ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ενέργειας (θερμότητας). Τα μεγαλύτερα σε λειτουργία πλοία LNG(τα "Q-MAX") μπορούν να μεταφέρουν περίπου 267.000 m³ υγροποιημένου φυσικού αερίου. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τηρούνται αυστηρότατα μέτρα ασφαλείας ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι (εξάτμιση, ανάφλεξη, μετατόπιση φορτίου, σύγκρουση με άλλα σκάφη, κ.τ.λ.). Στα πλέον σύγχρονα πλοία το μεθάνιο που εξατμίζεται στις αδιαβατικές δεξαμενές ανακτάται και χρησιμοποιείται για την προώθηση του σκάφους. Μόλις το σκάφος φτάσει στο προορισμό του, γίνεται η εκφόρτωση του LNG στις ειδικές εγκαταστάσεις υποδοχής του τερματικού σταθμού και η αποθήκευση του στις κρυογονικές δεξαμενές αποθήκευσης LNG, υπό συνθήκες παρόμοιες με αυτές των μονάδων υγροποίησης.

Επαναεριοποίηση: Κατά τη διαδικασία επαναεριοποίησης του LNG, αυξάνεται η θερμοκρασία του από -161 C° σε πάνω από 0° C, υπό υψηλή πίεση (μεταξύ 60 και 100 bar), μέσω της χρήσης εναλλακτών που θερμαίνονται με την απορροή θαλασσινού νερού ή με την καύση ενός μέρους του αερίου.

Διανομή: Το αέριο διοχετεύεται μέσω αγωγών σε εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, ενεργοβόρες βιομηχανικές μονάδες και στο δίκτυο διανομής προς τους τελικούς καταναλωτές, ενώ ενδέχεται κάποιες ποσότητες LNG να διοχετεύονται αυτούσιες στην αγορά με ειδικά τραίνα ή φορτηγά μεταφοράς LNG. Πριν από τη μεταφορά του αερίου μέσω αγωγών από το τερματικό προς τα δίκτυα διανομής, μπορεί να ρυθμίζεται η θερμοκρασία του αζία μέσω αλλαγών της περιεκτικότητας του σε άζωτο ή αναμειγνύοντας το με άλλα αέρια.

6.3 Σωληνώσεις

Όπως στα πλοία πίεσης, έτσι και στα πλοία πλήρους ψύξης, οι σωληνώσεις φορτίου διέρχονται μέσα από το θόλο κάθε δεξαμενής και καθεμιά έχει το δικό της προορισμό.

- Γραμμή υγρού. Αρχίζει από τον πυθμένα των δεξαμενών και φτάνει μέχρι τις κεντρικές λήψεις/manifolds υγρού στο κατάστρωμα. Έχει μεγάλη διάμετρο και χρησιμοποιείται κατά τη φόρτωση ή εκφόρτωση του υγρού φορτίου.
- Γραμμή ατμού. Αρχίζει από το θόλο των δεξαμενών και φθάνει μέχρι τις κεντρικές λήψεις/manifolds ατμού στο κατάστρωμα. Μέσα από αυτή

τη γραμμή οι συμπιεστές αναρροφούν ατμούς από και προς τις δεξαμενές για τους διάφορους χειρισμούς του φορτίου.

- Γραμμή ψεκασμού. Αρχίζει από το αντλιοστάσιο και φθάνει μέχρι τις δεξαμενές. Είναι μονωμένη και χρησιμεύει σε πολλές περιπτώσεις, όπως στην ψύξη των δεξαμενών, στην επανυγροποίηση του φορτίου, στην παραγωγή ατμών κ.λπ.
- Γραμμή ασφαλείας. Αρχίζει από το θόλο κάθε δεξαμενής και φθάνει στον ιστό εξαγωγής αερίων.
- Βοηθητικές γραμμές. ορισμένα πλοία πλήρους ψύξης εφοδιάζονται επιπρόσθετα και με βοηθητικές γραμμές. Μια βοηθητική γραμμή αρχίζει από την κορυφή των δεξαμενών. Μια δεύτερη αρχίζει από τον πυθμένα των δεξαμενών. Και οι δύο βοηθούν στις εργασίες εκκαθάρισης με ατμούς/Purging by vapours. Τρίτη γραμμή, διάτρητη με μικρές τρύπες, βοηθά στην ομοιόμορφη διανομή του αδρανούς αερίου, κατά τις εργασίες εκκαθάρισης με αδρανή αέρια/Purging by inert gas. Τέταρτη γραμμή, βοηθά στην αναρρόφηση των ατμών από τον πυθμένα των δεξαμενών, κατά την ελευθέρωση αερίων/gas freeing. Έτσι απομακρύνονται πολλοί θύλακες ατμών μεταξύ των σωλήνων, που θα παρέμεναν αν χρησιμοποιούσαν μόνο την γραμμή υγρού και ατμού κατά την ελευθέρωση αερίων. Τέλος, τα υγραεριοφόρα εφοδιάζονται και με μικρά σωληνάκια δειγματοληψίας ατμών. Όλες οι γραμμές συντηρούνται πριν και μετά από κάθε χρήση. Οι σωλήνες αποστραγγίζονται και καθαρίζονται (κυρίως οι φλάντζες τους από πάγο) προς αποφυγή προβλημάτων.

6.4 Ηλεκτροστάσιο

- Επάνω στο κατάστρωμα των πλοίων πλήρους ψύξης υπάρχει μια υπερκατασκευή που χωρίζεται σε τρεις θαλάμους. Οι θάλαμοι χωρίζονται με αεροστεγές διάφραγμα, που σε μερικά πλοία είναι διπλό, με κενό αέρος ενδιάμεσα. Ο ένας θάλαμος είναι το ηλεκτροστάσιο, ο δεύτερος των συμπιεστών ή LPG και ο τρίτος είναι ο θάλαμος ελέγχου.

Στο ηλεκτροστάσιο βρίσκονται οι ηλεκτρικοί πίνακες και οι ηλεκτροκινητήρες

για την κίνηση των διαφόρων μηχανημάτων, όπως:

- 1. συμπιεστών
- 2. ανεμιστήρων
- 3. εξαεριστήρων
- 4. αντλίας, για την κυκλοφορία θερμού νερού στο θερμαντήρα λιπαντικού του συμπιεστού. κ.λπ.

Το ηλεκτροστάσιο έχει θετική πίεση 1 Bar περίπου πάνω από την ατμοσφαιρική σε όλη τη διάρκεια της εκφόρτωσης, για να μην εισέλθουν εμπρηστικοί ατμοί. Στην είσοδο του ηλεκτροστασίου υπάρχει προθάλαμος με

πίεση αέρα, για να κάνει φράγμα αέρα και να παραμένει σταθερή η πίεση μέσα στο ηλεκτροστάσιο.

Το ηλεκτροστάσιο ελέγχεται από το μόνιμο ανιχνευτή αερίων/gas analyser.

6.5 Αντλία Φορτίου

- Παραστατικό σχεδιάγραμμα αντλίας τύπου βαθέως φρέατος (πομόνας), βρίσκεται στο σχέδιο.

- Τοποθεσία.

Η αντλία βαθέως φρέατος (πομόνα) βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής και ο κινητήρας της βρίσκεται ακριβώς από πάνω, στο θόλο της δεξαμενής.

- Κατασκευή.

Η πομόνα έχει τα εξής βασικά μέρη.

- 1. Τον κινητήρα, στο θόλο της δεξαμενής.
- 2. Τον άξονα, που μεταδίδει την κίνηση.
- 3. Την κυρίως αντλία, στον πυθμένα της δεξαμενής.
- 4. Τη σωλήνα, που διοχετεύει το υγρό προς το κατάστρωμα.
- 5. Πιεσόμετρα, θερμομέτρα, διακόπτες και λοιπά όργανα.
- Η αντλία αυτή είναι φυγόκεντρος με πίεση κατάθλιψης από 2 έως 9 bar. Αυτός ο τύπος αντλίας τείνει να αντικαταστήσει όλους τους άλλους τύπους, γιατί είναι πιο εύχρηστος και πιο ισχυρός.

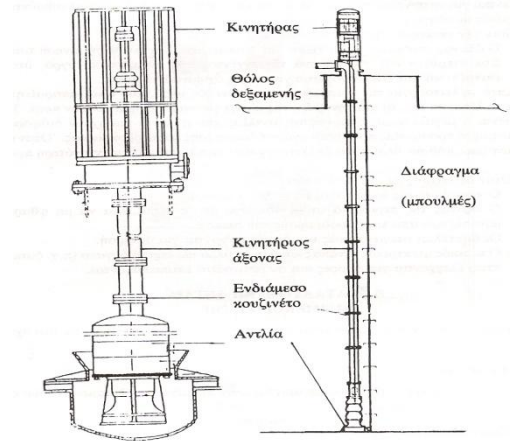
- Κίνηση.

- Ο κινητήρας της αντλίας αυτής συνήθως είναι υδραυλικός ή ηλεκτρικός φλογοστεγής. Βρίσκεται στο θόλο της δεξαμενής και η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα προς την αντλία, γίνεται με ένα μακρύ μεταλλικό άξονα που διαπερνά το θόλο της δεξαμενής και στρέφει τα πτερύγια της αντλίας στον πυθμένα.
- Η εκκίνηση της αντλίας γίνεται συνήθως με κλειστό το επιστόμιο κατάθλιψης, αλλά αυτό ποικίλλει από πλοίο σε πλοίο.

- Χρησιμότητα.

Χρησιμεύει σαν κύρια αντλία φορτίου. Παραλαμβάνει το υγρό φορτίο στον πυθμένα της δεξαμενής και το διοχετεύει προς το κατάστρωμα και στη στεριά.

- Αν κατά την εκφόρτωση η αντίθλιψη είναι μικρότερη από 9 bar η πομόνα έχει αρκετή δύναμη κατάθλιψης και στέλνει μόνη της το φορτίο στη στεριά, χωρίς να χρησιμοποιεί ενδιάμεσα ενισχυτική αντλία.
- Αν η αντίθλιψη είναι μεγαλύτερη από 9 bar, τότε η πομόνα τροφοδοτεί με υγρό φορτίο μία ενισχυτική αντλία στο κατάστρωμα και αυτή με μεγαλύτερη πίεση ωθεί το υγρό στη στεριά. Με λίγα λόγια η πομόνα ενεργεί όπως η πίεση στα πλοία πίεσης, αλλά έχει περισσότερα πλεονεκτήματα.



Εικόνα 3.7

αντλια τυπου βαθέως φρέατος

- Δε θερμαίνει το φορτίο, όπως συμβαίνει με τους συμπιεστές στα πλοία πίεσης.
- Έχει μεγαλύτερη ανυψωτική ικανότητα από την πίεση και έτσι κατασκευάζονται υψηλότερες δεξαμενές για να δέχονται περισσότερο φορτίο.

7 Κεφάλαιο: Βιβλιογραφία

<https://el.wikipedia.org>

<http://www.piraeusbankgroup.com/~media/Com/Downloads/Greek-Sectoral-Studies/2013/sectoral-LNG.pdf>

https://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/3047/austind_lng.pdf?sequence=3

<http://ecododonea.blogspot.gr/2014/03/blog-post.html>

http://www.diatexnon.gr/aerio_details.html

<http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2012/04/fisiko-aerio.pdf>

Gas Tankers Advance Course

Engine Management Concept for LNG Carriers

Gas Concentrations in the Insulated Spaces of Membrane LNG Carriers

Gas Tankers - Advanced Course

LNG and LPG Experience Matrix

LNG Transfer Arms and Manifold Draining, Purging and Disconnection Procedure

TGE-Guide for gases and chemicals

Types of Liquefied Gas Carriers

