



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

# ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ  
ΓΙΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ  
ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ, ΨΥΞΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG”



*ΕΥΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ  
Μ.Ν. 1024*

Επιβλέπων Καθηγητής: Β. Τσελέντης

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012  
ΑΘΗΝΑ

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Τσελέντη Βασίλειο, που πραγματικά με βοήθησε στην αποπεράτωση της διπλωματικής. Η βοήθεια που μου παρείχε ήταν πολύτιμη και χωρίς αυτήν δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διπλωματικής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας.

Τα αέρια του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> εκπέμπονται από τα πλοία και συντελούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι λεγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub>, τα οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), επηρεάζουν αρνητικά τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου. Οι ρύποι αυτοί είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την ατμοσφαιρική ρύπανση ειδικά στις πόλεις και αποτελούν απειλή για την ισορροπία του οικοσυστήματος αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Για τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία έχουν θεσπιστεί κανονισμοί στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 οι οποίοι τροποποιούνται συνεχώς, καθώς και διάφορες οδηγίες και κανονισμοί από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βέβαια δεν είναι μόνο οι κανονισμοί που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Το 2010, το φυσικό αέριο κάλυπτε το 24% της παγκόσμιας ενεργειακής αγοράς. Πλέον, το 30% του παγκόσμιου εμπορίου φυσικού αερίου μεταφέρεται, δια θαλάσσης, με τη μορφή LNG. Το Φυσικό Αέριο είναι μια βιώσιμη, σήμερα, λύση για τη μείωση των εκπομπών. Το ΥΦΑ είναι μια μορφή του ΦΑ η οποία είναι εύκολα και οικονομικά μεταφερόμενη και συμβάλλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, μέσω της μείωσης των ρύπων που εκλύονται σε σχέση με την καύση άλλων ορυκτών καυσίμων. Η δημιουργία όλο και περισσότερων τερματικών αποθήκευσης και αεριοποίησης, έχει ως αποτέλεσμα τη διακίνηση μεγαλύτερου μεταφορικού φορτίου ΥΦΑ αλλά και την εξέλιξη του στόλου των LNG. Η διεθνής Ναυτιλιακή κοινότητα λοιπόν, ακολουθώντας τα νέα δεδομένα, αύξησε σημαντικά τόσο το μέγεθος όσο και τη μεταφορική ικανότητα των LNG Carrier (Q-FLEX, Q-MAX).

Η φάση εκφόρτωσης αποτελεί ένα μέρος, όχι ασήμαντο όμως, στην εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του ΥΦΑ, ιδιαίτερα σήμερα που δημιουργούνται ολοένα και περισσότερα τερματικά. Εξετάζεται λοιπόν, η αλυσίδα του φυσικού αερίου (Εξόρυξη Επεξεργασία, Μεταφορά, Αποθήκευση-Επαναεριοποίηση και Κατανάλωση), ενώ εκτιμάται και μελετάται περιβαλλοντικά (αέρια, υγρά και στερεά απόβλητα), η φάση της εκφόρτωσης

ΥΦΑ-φόρτωσης απαερίων, των πλοίων LNG στον τερματικό σταθμό αποθήκευσης και αεριοποίησης της Ρεβυθούσας. Σκοπός είναι η ανάδειξη των περιβαλλοντικών προβλημάτων (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC άκαυστων υδρογονανθράκων, υγρών και στερεών αποβλήτων) τόσο στη Ν. Ρεβυθούσα, όσο και σε αντίστοιχης δυναμικότητας τερματικά, ενώ ταυτόχρονα μελετώνται βιβλιογραφικά μέτρα μείωσης αυτών.

## ABSTRACT

The climatic change constitutes an important problem of world scale that its negative consequences appear in our days. The gases of greenhouse, as dioxide of coal CO<sub>2</sub> and ozone O<sub>3</sub> that they are emitted by the ships, contribute negatively to the phenomenon of greenhouse. Moreover, the atmospheric pollutants like the SO<sub>2</sub> oxides NO<sub>x</sub>, particulate matters (PM), and volatile organic compounds VOCS, have a negative impact on the environment, as well as on people's health. Regulations, that are continuously modified, have been established for the reduction of ships' emissions, in the Annex VI of MARPOL 73/78, as well as various directives and regulations by the European Union. However, apart from the regulations, there are also certain technologies and methods that contribute in the reduction of emissions from the ships. In 2010, natural gas covered the 24% of the global energy market. More than 30% of world trade is transported by sea, in the form LNG. Natural gas is a sustainable solution for reducing emissions. LNG is a form of NG easily and economically transported and helps fight climate by reducing the pollutants emitted during the combustion of other fossil fuels. The creation of more and more storage and regasification terminals has resulted in a larger movement of LNG cargo and an evolution of the fleet of LNG. The international maritime community, therefore, following the new data, significantly increased both the size and capacity of the LNG Carrier (Q-FLEX, Q-MAX).

Due to the creation of more and more terminals, the unloading stage is a part, but not insignificant, in the assessment of the environmental footprint of LNG. In this study is examined the chain of natural gas (Extraction, Processing, Transportation, Storage and Regasification, consumption), while is estimated environmentally (gas, liquid and solid waste), the phase of LNG unloading- loading gases in LNG ships at Revithoussa terminal.

The aim of this study is to highlight the environmental problems (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, liquid and solid waste), both in Revithoussa Island and in relevant capacity terminals, suggesting literature measures in order to reduce them.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΥΦΑ) 10	10
1.1 Εισαγωγή .....	10
1.2 Περιγραφή Αλυσίδας Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG Process Chain).....	11
1.2.1 Φάση Εξόρυξης.....	11
1.2.2 Φάση Υγροποίησης .....	12
1.2.3 Φάση Μεταφοράς ΥΦΑ.....	13
1.2.4 Φάση Αποθήκευσης και Αεριοποίησης ΥΦΑ.....	37
1.2.4.1 Τερματικοί Σταθμοί .....	37
1.2.4.2 Πλωτή Μονάδα Αποθήκευσης και Αεριοποίησης ΥΦΑ (FSRU).....	40
1.3 Εγκαταστάσεις Παραλαβής ΥΦΑ ανά τον κόσμο.....	42
1.4 Τα Δέκα Μεγαλύτερα Σχέδια LNG στον Κόσμο .....	51
1.4.1 Σταθμοί Υγροποίησης Φυσικού Αερίου- LNG Liquefaction Plan.....	51
1.4.2 Σταθμοί Αεριοποίησης Φυσικού Αερίου- LNG Regasification Terminals.....	54
2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (Υ.Φ.Α.) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	58
2.1. Η ιστορία του φυσικού αερίου στην Ελλάδα και στον κόσμο .....	58
2.2 Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη Νήσο Ρεβυθούσα .....	59
2.2.1 Γεωγραφική θέση Τερματικού Σταθμού .....	60
2.2.2 Χρησιμότητα Τερματικού Σταθμού.....	61
2.3. Μελλοντικές Ενεργειακές Υποδομές.....	62

2.3.1	Γεωγραφική Θέση Σταθμού .....	63
3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ .....	64
3.1	Τυπική διαδικασία εκφόρτωσης ΥΦΑ.....	64
3.2	Διεργασίες κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης ΥΦΑ σε τερματικούς σταθμούς .....	73
3.3	Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης πλοίων LNG και φόρτωσης απαερίων.....	80
3.4	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα από χρήση και διακίνηση ΥΦΑ .....	84
4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ, ΨΥΞΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG.....	91
4.1	Γενικά .....	91
4.2	Δυναμικότητες Υφιστάμενης Εγκατάστασης ΥΦΑ .....	94
4.3	Δραστηριότητες της Υφιστάμενης Εγκατάστασης και Εφαρμοζόμενη Τεχνολογία....	95
4.4	Εκπομπές Αποβλήτων από τον Υφιστάμενο Τερματικό Σταθμό Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.....	105
4.4.1	Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα κατά τη φυσιολογική λειτουργία .....	107
4.4.1.1	<i>Εκπομπές καυσαερίων από τους εμβαπτισμένους αεριοποιητές καύσης ΦΑ (SCVs).</i> .....	108
4.4.1.2	<i>Προϊόντα καύσης από το Σταθμό Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. ....</i>	110
4.4.1.3	<i>Προϊόντα καύσης από τον πυρσό.....</i>	111

4.4.1.4	Εκπομπές αερίων ρύπων σε συνθήκες εκτάκτων καταστάσεων.....	112
4.4.2	Υγρά Απόβλητα.....	113
4.4.3	Στερεά Απόβλητα.....	114
4.4.4	Θόρυβος.....	114
4.4.5	Ανταλλαγή Έρματος.....	114
4.5	Προτάσεις για μέτρα αντιρρύπανσης κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης, φόρτωσης απαερίων και αεριοποίησης.....	114
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει αρχικά την παγκόσμια τεχνολογία του φυσικού αερίου περιγράφοντας την παγκόσμια και εγχώρια αλυσίδα του υγροποιημένου φυσικού αερίου (Εξόρυξη, Υγροποίηση, Μεταφορά, Αποθήκευση και Αεριοποίηση). Μέρος αυτής της διαδικασίας αποτελούν τα πλοία που εξυπηρετούν τους εν λειτουργία, υπό κατασκευή και μελλοντικούς σταθμούς αποθήκευσης και υγροποίησης τερματικούς σταθμούς.

Σημαντικές θεωρούνται οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ΥΦΑ. Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, έχει δύο ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πετρέλαιο ντήζελ και το μαζούτ. Εκτός του ότι παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του και συνεπώς επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας, αφετέρου οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου και του μαζούτ.

Η περιγραφή των διαδικασιών εκφόρτωσης του φορτίου και φόρτωσης των απαερίων στο LNG carrier, από τερματικό σταθμό περιγράφονται στην παρούσα διπλωματική, εκτιμώντας και καταγράφοντας τα απόβλητα (αέρια, υγρά, στερεά). Η παρουσίαση των εγκαταστάσεων που λαμβάνουν χώρα στην ολοκλήρωση της όλης διεργασίας αλλά και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα έως ότου το ΥΦΑ αεριοποιηθεί, συνεκτιμώνται και αναλύονται, παρουσιάζοντας προτάσεις και μέτρα για την ελαχιστοποίηση των ρύπων (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC άκαυστων υδρογονανθράκων) και των υγρών αποβλήτων.

### Δομή της εργασίας

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

1. Η παγκόσμια τεχνολογία υγροποιημένου φυσικού αερίου αναφέρεται, και αναλύεται η παλιά και η νέα αλυσίδα, καθώς και τα πλοία που την εξυπηρετούν.
2. Περιγράφονται οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ στην Ελλάδα, η χρησιμότητα τους, ο χρόνος εισαγωγής στον Ελλαδικό χώρο και η γενικότερη ιστορία του.
3. Περιγράφεται η γενική διαδικασία της εκφόρτωσης πλοίου LNG και φόρτωσης απαερίων από τον τερματικό για διατήρηση σταθερής πίεσης των δεξαμενών, και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αυτής.
4. Αναλύεται η παραπάνω διαδικασία στον τερματικό σταθμό της Ν. Ρεβυθούσας με ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ προτείνονται μέτρα αντιμετώπισης.
5. Αναφέρονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΥΦΑ)

#### 1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) κερδίζει διαρκώς έδαφος στη διεθνή αγορά, καθώς είναι ο πλέον οικονομικός τρόπος για την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου σε μακρινές αποστάσεις. Τόσο το μέγεθος όσο και η μεταφορική ικανότητα των LNG Carrier έχει αυξηθεί σημαντικά. Ήδη ο νέος τύπος Q-FLEX και Q-MAX μπορούν να μεταφέρουν 210.000 m<sup>3</sup> και 266.000 m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Το Μάρτιο του 2010 κυκλοφορούσαν 337 LNG Carrier και ήδη υπάρχουν 140 πλοία υπό παραγγελία (order book).

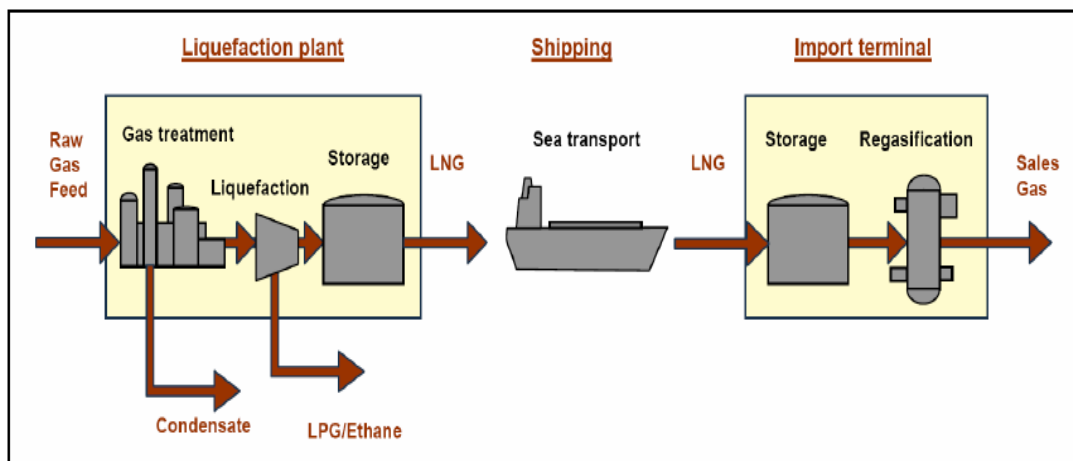
Σημαντικές θεωρούνται οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ΥΦΑ. Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, έχει δύο ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πετρέλαιο ντίζελ και το μαζούτ. Εκτός του ότι παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του και συνεπώς επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας, αφετέρου οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου και του μαζούτ. Παράλληλα, αντικαθιστά τα συμβατικά αέρια καύσιμα με άμεσο αντίκτυπο όχι μόνο στην κοινωνία αλλά και στην εθνική οικονομία κάθε χώρας.

Η ανάπτυξη και η δυναμική που εμφανίζουν τα τελευταία χρόνια τα έργα προσωρινής αποθήκευσης ΥΦΑ, τροφοδοτούνται από το γενικότερο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης που καθορίζει σε στρατηγικό επίπεδο τις επιλογές του σύγχρονου κόσμου και αποτελεί στόχο της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής για τα επόμενα χρόνια. Σκοπός είναι, προμήθεια φυσικού αερίου με υιοθέτηση όχι μόνο υψηλής τεχνολογίας και καινοτομίας, αλλά και ο σεβασμός στο περιβάλλον ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια.

Για την καλύτερη κατανόηση της αλυσίδας του ΥΦΑ, αλλά και για την αξιολόγηση της διαδικασίας της εκφόρτωσης ΥΦΑ και φόρτωσης απαερίων στις δεξαμενές των πλοίων LNG, γίνεται μία αναφορά της τεχνολογίας και της αλυσίδας του LNG .

## 1.2 Περιγραφή Αλυσίδας Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG Process Chain)

Η έννοια της Υγροποίησης περιγράφει τη διαδικασία της ψύξης του Φυσικού Αερίου σε  $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-259^{\circ}\text{F}$ ) και μετατροπή του σε υγρά μορφή. Από το 1964, η παραγωγή, εξαγωγή, εισαγωγή και διανομή του ΥΦΑ ακολουθεί μια σειρά διαδικασιών που απεικονίζονται στο Σχήμα 1.1



**Σχήμα 1.1:** Η αλυσίδα ΥΦΑ- Εξόρυξη, Επεξεργασία, Μεταφορά, Αποθήκευση-Επαναεριοποίηση και Κατανάλωση (The international group of lng importers, 2009)

### 1.2.1 Φάση Εξόρυξης

Η Εξόρυξη του φυσικού αερίου από την επιφάνεια της γης είναι το πρώτο βήμα της διαδικασίας. Η πλειοψηφία των προμηθειών εξαγωγής στον κόσμο είναι χώρες με μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου (15 χώρες όπου περιλαμβάνουν συνολικά 22 εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου στις αρχές του 2008). Οι χώρες αυτές περιλαμβάνουν την Αλγερία, Αυστραλία, Ινδονησία, Μαλαισία, Νιγηρία, το Κατάρ, το Τρινιντάντ, το Μπρουνέι, τη Νορβηγία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, την Αίγυπτο, τη Ρωσία και την Υεμένη να ανοίγει το πρώτο λειτουργικό εργοστάσιο παραγωγής υγροποιημένου φυσικού

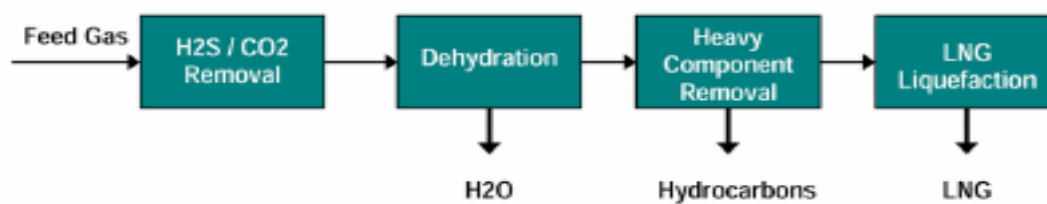
αερίου κατά τη διάρκεια του 2009. Άλλες χώρες μπορούν να παράγουν επίσης φυσικό αέριο για οικιακή χρήση, όπως οι ΗΠΑ, αλλά στερούνται επαρκούς εφοδιασμού για την εξαγωγή μεγάλης κλίμακας. Σε περιπτώσεις στις οποίες ο εγχώριος εφοδιασμός με φυσικό αέριο ανεπαρκής για να ανταποκριθεί στο εσωτερικό κάθε χώρας, η ζήτηση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι εισαγόμενη.

Στη φάση της εξόρυξης, μία ομάδα από ειδικούς γεωλόγους και γεωφυσικούς που έχει εντοπίσει εμπορικά βιώσιμες ποσότητες φυσικού αερίου, διενεργεί drilling και το επόμενο βήμα είναι η εξαγωγή του από το έδαφος και η επεξεργασία του. Το φυσικό αέριο που εξάγεται από το έδαφος ονομάζεται “FEED”. Αυτό περιέχει και πετρέλαιο το οποίο είναι άχρηστο και στέλνεται για καύση. Η τελική ποσότητα είναι ικανή για χρησιμοποίηση του ως ΥΦΑ.

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι το ακατέργαστο φυσικό αέριο πρέπει να καθαριστεί προτού καταναλωθεί. Συσχετίζεται με μια ποικιλία από άλλες ενώσεις και αέρια όπως αιθάνιο ( $C_2H_6$ ), προπάνιο ( $C_3H_8$ ), βουτάνιο ( $C_4H_{10}$ ), πεντάνια ( $C_5H_{12}$ ), υδρόθειο ( $H_2S$ ), διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το ήλιο ( $He$ ) και το άζωτο ( $N_2$ ), καθώς και πετρέλαιο (μίγμα  $C_xH_y$ ) και νερό ( $H_2O$ ), το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της παραγωγής πριν από την υγροποίηση. (The international group of lng importers 2009, σελ 2)

### 1.2.2 Φάση Υγροποίησης

Το Επόμενο στάδιο μετά της εξόρυξης είναι αυτό της επεξεργασία για ρευστοποίηση - υγροποίηση. Το δεύτερο βήμα λοιπόν στην αλυσίδα της διαδικασίας είναι ο καθαρισμός του φυσικού αερίου στο εργοστάσιο. Μια σειρά επεξεργασιών επιτρέπει το διαχωρισμό και την αφαίρεση των διαφόρων ξένων ουσιών του φυσικού αερίου πριν την υγροποίηση. Σκοπός είναι να φορτωθεί ως ΥΦΑ σε δεξαμενόπλοια (πλοία ή φορτηγά) και να παραδίδονται στον τελικό χρήστη με υψηλής ποιότητας χαρακτηριστικά (85% έως 99% μεθάνιο βαρύτεροι υδρογονάνθρακες και άλλες ουσίες που δεν αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της επεξεργασία).



**Σχήμα 1. 2:** Διαδικασία αφαίρεσης ενώσεων που βρίσκονται στο αέριο καθώς βγαίνει από το έδαφος, πριν την υγροποίηση (The international group of lng importers, 2009)

Πιο συγκεκριμένα, το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό εξάγονται στο προηγούμενο στάδιο της υγροποίησης, γιατί προκαλούν βλάβη στις εγκαταστάσεις υγροποίησης με κατάψυξη. Οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες από το μεθάνιο διαχωρίζονται και πωλούνται ως πρώτες ύλες στη βιομηχανία πετροχημικών ή σαν καύσιμο.

Μετά την επεξεργασία το φυσικό αέριο (αέριο) υποβάλλεται σε υγροποίηση στο εσωτερικό της εγκατάστασης. Μετατρέπεται σε υγρή μορφή και αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από μεθάνιο σε αυτό το σημείο. Για να αποκτήσει μέγιστη μείωση όγκου, το αέριο υγροποιείται μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας ψύξης που καθιστά δυνατή την ψύξη του αερίου σε θερμοκρασία περίπου  $-162\text{ C}$  ( $-259\text{ F}$ ). Σ' αυτό το σημείο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα μη διαβρωτικό υγρό, το οποίο είναι άχρωμο σαν το νερό, αλλά ζυγίζει περίπου το μισό του νερού. Ένας όγκος του υγροποιημένου φυσικού αερίου ισούται με 580 όγκους φυσικού αερίου σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ( $15,6\text{ C}/60\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) και ατμοσφαιρική πίεση. Αυτή η αναλογία του υγρού φυσικού αερίου (LNG) με το αέριο το καθιστά οικονομικά ελκυστικό για τη μεταφορά χύμα ποσοτήτων με πλοίο ή φορτηγό. (The international group of lng importers 2009, σελ 3)

### 1.2.3 Φάση Μεταφοράς ΥΦΑ

Το τρίτο στάδιο της αλυσίδας ΥΦΑ είναι η μεταφορά του στους καταναλωτές. Οι τρόποι μεταφοράς του είναι μέσω θάλασσας, με φορτηγά αλλά και με σιδηρόδρομο όπως στην Ιαπωνία. Για τη μεταφορά του ΥΦΑ σε μεγάλες αποστάσεις, προτιμάται η διά θαλάσσης με εξειδικευμένα LNG Carriers, όπου έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να περιέχουν το φορτίο κοντά σε ατμοσφαιρική πίεση και σε κρυογενική θερμοκρασία περίπου  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-259\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) (Σχήμα 3). Πλοία μεταφοράς LNG είναι ένα μείγμα συμβατικού τύπου πλοίου με

εξειδικευμένα υλικά και προηγμένα συστήματα για κρυογενική διαχείριση φορτίων. Οι δεξαμενές αποτελούνται από στρώματα ειδικής μόνωσης που απομονώνουν το φορτίο του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τη γάστρα του πλοίου, σε περίπτωση πρόσκρουσης ή ατυχημάτων, ενώ εξασφαλίζουν ελάχιστη απόσταση από τις πλευρές και το κάτω μέρος της γάστρας σύμφωνα με τους Διεθνείς Κώδικες Αερίου. Επιπλέον, αυτό το σύστημα μόνωσης περιορίζει το ποσό του ΥΦΑ, το οποίο μπορεί να εξατμίζεται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών ενώ το κάνει αυτόνομο μέσο αφού χρησιμοποιεί ως καύσιμο τα απαέρια του (boil-off). (The international group of lng importers 2009, σελ 4)

Σε ένα τυπικό ταξίδι, εκτιμάται ότι περίπου το 0,1% - 0,25% του φορτίου ΥΦΑ εξατμίζεται κάθε μέρα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της μόνωσης και την ταχύτητα του ταξιδιού. Σε ένα τυπικό ταξίδι, 20 ημερών μπορεί να εξατμιστεί το 2% - 6% του συνολικού όγκου του ΥΦΑ. Υπάρχουν τρεις τύποι δεξαμενοπλοίων ΥΦΑ:

- Σφαιρικού (Moss) σχεδιασμού - (44%), βλέπε εικόνα 1.1
- Σχεδιασμού μεμβράνης (51%), βλέπε εικόνα 1.2
- Διαρθρωτικού πρισματικού σχεδιασμού (5%), η διαφορά υφίστανται στη διατομή της δεξαμενής



**Εικόνα 1.1:** LNG Carrier –(Σφαιρικού Moss Σχεδιασμός) (Πηγή:The international group of lng importers, 2009)



**Εικόνα 1.2 :** Δεξαμενόπλοιο ΥΦΑ τύπου Q-MAX σχεδιασμού μεμβράνης με χωρητικότητα 266.000 m<sup>3</sup>  
(Πηγή :The international group of lng importers, 2009)

Η ζήτηση για υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ,σύμφωνα με εκτιμήσεις ειδικών αναλυτών, θα εκτοξευθεί τα επόμενα 20 χρόνια. Τα σενάρια αυξημένης ζήτησης τροφοδοτούν τους φόβους των εταιρειών συμβούλων για ενδεχόμενη έλλειψη χωρητικότητας. Ο τρέχων στόλος των πλοίων μεταφοράς LNG, αγγίζει τη μεταφορικής ικανότητας των 53 εκατ. κυβικών μέτρων.

Για να ανταποκριθεί στην αναμενόμενη εξέλιξη του όγκου του παγκοσμίου εμπορίου LNG, θα πρέπει η χωρητικότητα να αυξηθεί κατά 90 εκατ. κυβικά μέτρα δηλαδή από τα 360 πλοία που διαθέτει σήμερα ο στόλος να φτάσει τα 900 το 2030.Ουσιαστικά, ο αριθμός των πλοίων θα πρέπει να τριπλασιασθεί.

Το παγκόσμιο εμπόριο LNG θα αυξηθεί από 310 δισ. κυβικά μέτρα το 2011 στα 570 δισ. κυβικά μέτρα το 2020 και τα 880 δισ. κυβικά μέτρα το 2030. Η αύξηση θα οφείλεται κυρίως στην άνοδο των εισαγωγών από Κίνα και Ινδία. Οι δυο υπό ανάπτυξη χώρες θα αυξήσουν τις εισαγωγές τους τόσο από το Κατάρ όσο και την Αυστραλία. Χώρες που κάνουν ιδιαίτερη χρήση (εισαγωγή και εξαγωγή) είναι η Αυστραλία, το Βέλγιο, η Βραζιλία, η Κίνα, η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Κορέα, η Νορβηγία, η Πορτογαλία, η Τουρκία, το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ.

Η εξέλιξη του στόλου των LNG φαίνεται στον παρακάτω πίνακα όπου παραθέτει όλα τα πλοία μεταφοράς LNG, πάνω από 10.000 m<sup>3</sup> που βρίσκονται σε λειτουργία ή υπό κατασκευή, ταξινομημένα ανά χώρα κατασκευής, ναυπηγείο και αριθμό κύτους (όσο



μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός τόσο ανεβαίνει η φήμη του ναυπηγείου). Με μπλε σημειώνονται τα υποκατασκευή.

**Πίνακας 1.1:** Πλοία μεταφοράς Lng, εν λειτουργία και υπο κατασκευή (Πηγή: Shipbuilding history)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΧ

Country of Build	Shipbuilder	Hull #	Ship Name	Shipowner	Delivery	Flag	Power Plant	HP	Speed (knots)	No of Tanks	Capacity (cu.m.)	Price (\$mm)
Belgium	Boelwerf	1487	Methania	Distrigas	Oct-78	Belgium	Steam	45	19.0	5	131,235	
China	Hudong Zhonghua	1308	Dapeng Sun	China LNG Shipping	Apr-08	China	Steam			4	147	200
China	Hudong Zhonghua	1309	Dapeng Moon	China LNG Shipping	Jul-08	China	Steam			4	147	200
China	Hudong Zhonghua	1320	Min Rong	China LNG Shipping	Feb-09	China	Steam			4	147	
China	Hudong Zhonghua	1378	Min Lu	China LNG Shipping	Aug-09	China	Steam			4	147,1	160
China	Hudong Zhonghua	1379	Dapeng Star	China LNG Shipping	Dec-09	China	Steam			4	147,1	160
China	Hudong Zhonghua	1621		China LNG Shipping	Oct-12	China	Steam			4	147,1	
China	Hudong Zhonghua	1670A		Mitsui OSK Lines	2015		SDR			4	172	
China	Hudong Zhonghua	1671A		Mitsui OSK Lines	2015		SDR			4	172	
China	Hudong Zhonghua	1672A		Mitsui OSK Lines	2015		SDR			4	172	
China	Hudong Zhonghua	1673A		Mitsui OSK Lines	2016		SDR			4	172	
Finland	Kvaerner-Masa	1330	Mubaraz	National Gas Shipping	Jan-96	Liberia	Steam	40,25	19.5	4	137	250
Finland	Kvaerner-Masa	1331	Mraweh	National Gas Shipping	Jun-96	Liberia	Steam	40,25	19.5	4	137	250
Finland	Kvaerner-Masa	1332	Al Hamra	National Gas Shipping	Jan-97	Liberia	Steam	40,25	19.5	4	137	250
Finland	Kvaerner-Masa	1333	Umm Al Ashtan	National Gas Shipping	May-97	Liberia	Steam	40,25	19.5	4	137	250
France	Atlantique	25G	Bebatik	Brunei Shell Tankers	Oct-72	Brunei	Steam	20,8	18.3	6	75,1	
France	Atlantique	26A	LNG Lagos	Bonny Gas Transport	Dec-76	Bermuda	Steam	34	18.5	6	122	52

France	Atlantique	26B	LNG Port Harcourt	Bonny Gas Transport	Sep-77	Bermuda	Steam	34	20.0	6	122	52
France	Atlantique	26G	Mourad Didouche	SNTM-Hyproc	Jul-80	Algeria	Steam	34	20.0	5	126,13	112
France	Atlantique	26L	Ramdane Abane	SNTM-Hyproc	Jul-81	Algeria	Steam	34	20.0	5	126,13	112
France	Atlantique	30E	Puteri Intan	M.I.S.C.	Aug-94	Malaysia	Steam	36,3	21.0	4	130,405	260
France	Atlantique	30F	Puteri Delima	M.I.S.C.	Jan-95	Malaysia	Steam	36,3	21.0	4	130,405	260
France	Atlantique	30G	Puteri Nilam	M.I.S.C.	Jun-95	Malaysia	Steam	36,3	21.0	4	130,405	260
France	Atlantique	30H	Puteri Zamrud	M.I.S.C.	May-96	Malaysia	Steam	36,3	21.0	4	130,405	260
France	Atlantique	30I	Puteri Firuz	M.I.S.C.	May-97	Malaysia	Steam	36,3	21.0	4	130,405	260
France	Atlantique	32M	GDF Suez Global Energy	GDF Suez	Dec-06	France	DFDE	31	16.0	4	74,1	
France	Atlantique	32N	Provalys	GDF Suez	Nov-06	France	DFDE	46		4	153,5	227
France	Atlantique	32P	Gaselys	GDF Suez/NYK	Mar-07	France	DFDE	46		4	153,5	227
France	Dunkerque	290	Sunrise	Dynacom	Dec-77	France	Steam	45	19.0	5	129,299	50
France	Dunkerque	302	Tenaga Dua	M.I.S.C.	Aug-81	Malaysia	Steam	45	20.0	5	130	120
France	Dunkerque	303	Tenaga Tiga	M.I.S.C.	Dec-81	Malaysia	Steam	45	20.0	5	130	120
France	La Ciotat	290	Belanak	Brunei Shell Tankers	Jul-75	Brunei	Steam	20,8	18.3	5	75	
France	La Ciotat	302	Mostefa Ben Boulaid	SNTM-Hyproc	Aug-76	Algeria	Steam	32,4	18.5	6	125,26	
France	La Seyne	1399	Bilis	Brunei Shell Tankers	Mar-75	Brunei	Steam	20,8	18.3	5	77,731	
France	La Seyne	1400	Bubuk	Brunei Shell Tankers	Oct-75	Brunei	Steam	20,8	18.3	5	77,67	
France	La Seyne	1401	Isabella	Chemikalien Seetransport	Apr-75	Liberia	Steam	23	18.0	5	35,5	
France	La Seyne	1402	Annabella	Chemikalien Seetransport	May-75	Liberia	Steam	23	18.0	5	35,5	
France	La Seyne	1414	Larbi Ben M'Hidi	SNTM-Hyproc	Jun-77	Algeria	Steam	36	19.5	5	129,767	112
France	La Seyne	1415	Bachir Chihani	SNTM-Hyproc	Feb-79	Algeria	Steam	36	19.5	5	129,767	112
France	La Seyne	1429	Tenaga Lima	M.I.S.C.	Sep-81	Malaysia	Steam	45	20.0	5	130	120
Germany	HDW	84	Gandria	Golar LNG	Oct-77	N.I.S.	Steam	40	20.0	5	125,82	55

Italy	Genova Sestri	5910	LNG Portovenere	LNG Shipping spa	Jun-96	Italy	Steam	12,5	16.5	4	65	200
Italy	Genova Sestri	5911	LNG Lerici	LNG Shipping spa	Mar-98	Italy	Steam	12,5	16.5	4	65	200
Japan	IHI Chita	3015	Polar Spirit	Teekay LNG	Jun-93	Liberia	Steam	21	18.5	4	89,88	184
Japan	IHI Chita	3016	Arctic Spirit	Teekay LNG	Dec-93	Liberia	Steam	21	18.5	4	89,88	184
Japan	Kawasaki Sakaide	1334	WilPower	Awilco LNG	Aug-83	Japan	Steam	40	19.3	5	125,7	125
Japan	Kawasaki Sakaide	1340	Koto	J3 Consortium	Jan-84	Japan	Steam	40	19.3	5	125,199	120
Japan	Kawasaki Sakaide	1410	Northwest Shearwater	Northwest Shelf Shipping	Sep-91	Bermuda	Steam	23,3	18.5	4	127,5	180
Japan	Kawasaki Sakaide	1427	LNG Flora	J3 Consortium	Mar-93	Japan	Steam	32	19.3	4	127,705	
Japan	Kawasaki Sakaide	1438	Shahamah	National Gas Shipping	Oct-94	Liberia	Steam	39	19.5	5	135,496	271
Japan	Kawasaki Sakaide	1440	Surya Aki	MCGC International	Feb-96	Bahamas	Steam	12	18.5	3	19,474	101
Japan	Kawasaki Sakaide	1445	Al Rayyan	J4 Consortium	Mar-97	Japan	Steam	32,8	19.5	5	135,358	250
Japan	Kawasaki Sakaide	1446	Al Wakrah	J4 Consortium	Dec-98	Japan	Steam	32,8	19.5	5	135,358	250
Japan	Kawasaki Sakaide	1470	Al Biddah	J4 Consortium	Nov-99	Japan	Steam	32,8	19.5	5	135,279	250
Japan	Kawasaki Sakaide	1520	Energy Frontier	Tokyo LNG Tankers	Sep-03	Japan	Steam	32,8	19.5	4	147,599	
Japan	Kawasaki Sakaide	1521	Energy Advance	Tokyo LNG Tankers	Mar-05	Japan	Steam	32,8	19.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1527	Fuji LNG	Aletheia Owning	Mar-04	Japan	Steam	32,8	19.5	4	149,172	150
Japan	Kawasaki Sakaide	1532	Arctic Voyager	K Line	Apr-06	N.I.S.	Steam	36,6	18.5	4	140	165
Japan	Kawasaki Sakaide	1534	Lala Fatma N'Soumer	Algeria Nippon Gas	Dec-04	Japan	Steam	32,8	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1540	Energy Progress	Mitsui OSK Line	Nov-06	Japan	Steam	36,6	18.5	4	145	150

Japan	Kawasaki Sakaide	1545	LNG Dream	Osaka Gas	Sep-06	Japan	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1562	Nizwa LNG	Oryx LNG Carriers	Dec-05	Japan	Steam	36,6	18.5	4	145	150
Japan	Kawasaki Sakaide	1587	Neva River	K Line	Dec-07	Japan	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1588	LNG Ebisu	Pioneer Navigation	Dec-08	Bahamas	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1591	LNG Barka	Osaka Gas	Dec-08	Panama	Steam	36,6	18.5	4	153	
Japan	Kawasaki Sakaide	1592	LNG Jupiter	Osaka Gas	Nov-08	Panama	Steam	36,6	18.5	4	153	
Japan	Kawasaki Sakaide	1593	Sun Arrows	Maple LNG Transport	Sep-07	Japan	Diesel	13,9	18.1		19,1	
Japan	Kawasaki Sakaide	1600	Energy Navigator	Tokyo LNG Tankers	Mar-08	Japan	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1611	Energy Confidence	Tokyo LNG Tankers	Mar-09	Panama	Steam	36,6	19.5	4	153	
Japan	Kawasaki Sakaide	1625	Taitar No. 2	NYK Line	Dec-09	Liberia	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1626	Taitar No. 4	NYK Line	Oct-10	Liberia	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Kawasaki Sakaide	1664	Energy Horizon	Tokyo LNG Transport	Aug-11	Japan	Steam	36,6	18.5	4	177	
Japan	Kawasaki Sakaide	1665		Tokyo Gas	Oct-13	Japan	Steam	36,6	18.5	4	177	
Japan	Koyo Dock	2258	Trinity Arrow	K Line	Mar-08	Japan	Steam	40	19.5	4	154,2	
Japan	Koyo Dock	2260	Trinity Glory	K Line	Dec-08	Panama	Steam	40	19.5	4	154	
Japan	Koyo Dock	2263	GDF Suez Point Fortin	Trinity LNG	Feb-10	Panama	Steam	40	19.5	4	154,2	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	1870	WilEnergy	Awilco LNG	Oct-83	Japan	Steam	40	19.3	5	125,5	132
Japan	Mitsubishi Nagasaki	1889	Echigo Maru	J3 Consortium	Aug-83	Japan	Steam	40	19.3	5	125,568	125
Japan	Mitsubishi Nagasaki	1890	Wilgas	Awilco LNG	Jul-84	Japan	Steam	40	19.3	5	125,6	120

Japan	Mitsubishi Nagasaki	1996	Northwest Sanderling	Northwest Shelf Shipping	Jun-89	Australia	Steam	23,3	18.5	4	127,5	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2000	LNG Swift	J3 Consortium	Sep-89	Japan	Steam	23,3	18.5	4	127,5	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2011	Ekaputra	Humpuss Consortium	Jan-90	Liberia	Steam	26,7	17.5	5	136,4	178
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2041	Northwest Seaeagle	Northwest Shelf Shipping	Nov-92	Bermuda	Steam	23,3	18.5	4	127,5	216
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2061	LNG Vesta	Tokyo Gas Consortium	Jun-94	Japan	Steam	32	19.3	4	127,547	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2062	Dwiputra	Humpuss Consortium	Mar-94	Bahamas	Steam	32	19.3	4	127,386	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2067	Ish	National Gas Shipping	Nov-95	Liberia	Steam	35,1	19.5	5	137,54	271
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2074	Northwest Stormpetrel	Northwest Shelf Shipping	Dec-94	Australia	Steam	23,3	18.5	4	127,5	240
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2089	Al Khor	J4 Consortium	Dec-96	Japan	Steam	32,8	19.5	5	137,354	250
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2090	Al Wajbah	J4 Consortium	Jun-97	Japan	Steam	32,8	19.5	5	137,354	250
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2091	Doha	J4 Consortium	Jun-99	Japan	Steam	32,8	19.5	5	137,354	250
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2117	Al Jasra	J4 Consortium	Jul-00	Japan	Steam	32,8	19.5	5	137,1	250
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2148	Golar Mazo	Golar/Chinese Pet.	Jan-00	Liberia	Steam	29	19.8	5	135,225	245
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2157	LNG Jamal	Osaka Gas/J3 Cons.	Oct-00	Japan	Steam	36,4	19.5	5	135,333	200
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2162	Sohar LNG	Oman Gas/MOL	Oct-01	Malta	Steam	36,4	19.5	5	137,248	200
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2163	Abadi	Brunei Shell Tankers	Jun-02	Brunei	Steam	29	19.0	5	135	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2165	Puteri Intan Satu	M.I.S.C.	Dec-01	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2169	Puteri Nilam Satu	M.I.S.C.	Sep-03	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2172	Galea	Shell Shipping	Oct-02	Singapore	Steam	29	19.9	5	134,425	165

	Nagasaki											
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2173	Gallina	Shell Shipping	Mar-03	Singapore	Steam	29	19.9	5	134,425	165
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2176	Pacific Notus	Pacific LNG Shipping	Sep-03	Bahamas	Steam	29	19.0	5	137,006	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2177	Puteri Firuz Satu	M.I.S.C.	Sep-04	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	179
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2183	Gemmata	Shell Shipping	Mar-04	Singapore	Steam	29	19.9	5	138,104	165
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2184	Arctic Princess	Hoegh LNG/MOL	Jan-06	N.I.S.	Steam	29	19.0	4	147,2	165
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2185	Arctic Lady	Hoegh LNG/MOL	May-06	N.I.S.	Steam	29	19.0	4	147,2	165
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2187	Pacific Eurux	LNG Marine Transport	Mar-06	Bahamas	Steam	29	19.0	4	137	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2215	Ibri LNG	Oman Gas/MOL	Jul-06	Japan	Steam	29	19.0	4	147,2	150
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2219	Alto Acrux	LNG Marine Transport	Mar-08	Bahamas	Steam	36,5	19.5	4	147,2	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2220	Seri Bakti	M.I.S.C.	Apr-07	Malaysia	Steam	30	19.5	4	152,3	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2221	Seri Begawan	M.I.S.C.	Dec-07	Malaysia	Steam	30	19.5	4	152,3	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2222	Seri Bijaksana	M.I.S.C.	Feb-08	Malaysia	Steam	30	19.5	4	152,3	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2223	Seri Balhaf	M.I.S.C.	Sep-08	Malaysia	DFDE	30	19.5	4	152	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2224	Seri Balquis	M.I.S.C.	Dec-08	Malaysia	DFDE	30	19.5	4	152	180
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2229	Grand Elena	Sovcomflot/NYK Line	Oct-07	Japan	Steam	32	19.5	4	147,2	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2230	Grand Aniya	Sovcomflot/NYK Line	Jan-08	Japan	Steam	32	19.5	4	147,2	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2235	Cygnus Passage	Cygnus LNG Shipping	Jan-09	Panama	Steam	36,5	19.5	4	145,4	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2236	Pacific Enlighten	LNG Marine Transport	Mar-09	Panama	Steam	32	19.5	4	145	

Japan	Mitsubishi Nagasaki	2241	Taitar No. 1	NYK Line	Oct-09	Liberia	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2242	Taitar No. 3	NYK Line	Jan-10	Liberia	Steam	36,6	18.5	4	145	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2289		LNG Marine Transport	May-14	Liberia	Steam	36,6	18.5	4	145,4	244
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2295		Osaka Gas/MOL	2014		Steam			4	155	
Japan	Mitsubishi Nagasaki	2296		Osaka Gas/MOL	2015		Steam			4	155	
Japan	Mitsui Chiba	1230	Senshu Maru	J3 Consortium	Feb-84	Japan	Steam	40	19.3	5	125	125
Japan	Mitsui Chiba	1250	Wakaba Maru	J3 Consortium	Apr-85	Japan	Steam	40	19.3	5	125	120
Japan	Mitsui Chiba	1351	Northwest Swallow	J3 Consortium	Nov-89	Japan	Steam	23,3	18.5	4	127,5	180
Japan	Mitsui Chiba	1352	Northwest Snipe	Northwest Shelf Shipping	Sep-90	Australia	Steam	23,3	18.5	4	127,5	216
Japan	Mitsui Chiba	1370	Northwest Sandpiper	Northwest Shelf Shipping	Feb-93	Australia	Steam	23,3	18.5	4	127,5	216
Japan	Mitsui Chiba	1390	Al Khaznah	National Gas Shipping	Jun-94	Liberia	Steam	35,1	19.5	5	135,496	271
Japan	Mitsui Chiba	1392	Ghasha	National Gas Shipping	Jun-95	Liberia	Steam	35,1	19.5	5	137,514	271
Japan	Mitsui Chiba	1411	Al Zhubarah	J4 Consortium	Dec-96	Japan	Steam	32,8	19.5	5	137,573	250
Japan	Mitsui Chiba	1412	Broog	J4 Consortium	May-98	Japan	Steam	32,8	19.5	5	135,466	250
Japan	Mitsui Chiba	1432	Zekreet	J4 Consortium	Dec-98	Japan	Steam	32,8	19.5	5	135,42	
Japan	Mitsui Chiba	1506	Puteri Delima Satu	M.I.S.C.	Apr-02	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	180
Japan	Mitsui Chiba	1507	Puteri Zamrud Satu	M.I.S.C.	Jan-04	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	179
Japan	Mitsui Chiba	1561	Dukhan	J4 Consortium	Oct-04	Japan	Steam	32,8	19.5	4	135	170
Japan	Mitsui Chiba	1562	Puteri Mutiera Satu	M.I.S.C.	Apr-05	Malaysia	Steam	36,4	19.5	4	137,1	179
Japan	Mitsui Chiba	1564	Arctic Discoverer	K Line	Jan-06	Bahamas	Steam	29	19.0	4	140	165
Japan	Mitsui Chiba	1681	Grand Mereya	Primorsk/MOL/K Line	May-08	Japan	Steam	32,1	19.5	4	147,2	



Japan	NKK Tsu	136	Aman Bintulu	Perbadanan/NYK Line	Oct-93	Malaysia	Steam	7,5	15.0	3	18,928	80
Japan	NKK Tsu	150	Aman Sendai	Perbadanan/NYK Line	May-97	Malaysia	Steam	7,5	15.0	3	18,928	
Japan	NKK Tsu	153	Aman Hakata	Perbadanan/NYK Line	Nov-98	Malaysia	Steam	7,5	15.5	3	18,8	
Japan	NKK Tsu	192	Surya Satsuma	MCGC International	Oct-00	Japan	Steam	10,6	16.5	3	23,096	
Japan	Universal	55	Cheikh El Mokrani	Med. LNG Tpt. Corp.	Jun-07	Liberia	Steam			4	75,5	160
Japan	Universal	88	Cheikh Bouamama	Med. LNG Tpt. Corp.	Jul-08	Liberia	Steam			4	75,5	160
Korea	Daewoo	2202	SK Summit	SK Shipping	Aug-99	Panama	Steam	40	20.5	4	138	219
Korea	Daewoo	2203	K. Acacia	Korea Line	Jan-00	Panama	Steam	40	20.5	4	138,017	219
Korea	Daewoo	2204	K. Freesia	Korea Line	Jun-00	Panama	Steam	40	20.5	4	135,256	219
Korea	Daewoo	2205	Hispania Spirit	Teekay LNG	Sep-02	Spain	Steam	38,1	19.5	4	140,5	150
Korea	Daewoo	2206	Excalibur	Exmar/Excelerate	Oct-02	Belgium	Steam	36	19.0	4	138,2	145
Korea	Daewoo	2207	BW Suez Boston	BW Gas	Jan-03	N.I.S.	Steam	38,1	19.5	4	138,059	150
Korea	Daewoo	2208	Excelsior	Exmar	Jan-05	Belgium	Steam	36	19.0	4	138	210
Korea	Daewoo	2209	Galicia Spirit	Teekay LNG	Jul-04	Liberia	Steam	32,4	19.5	4	140,624	152
Korea	Daewoo	2210	Disha	Petronet LNG Ltd.	Jan-04	Malta	Steam	38,1	19.5	4	136,026	158
Korea	Daewoo	2211	Raahi	Petronet LNG Ltd.	Dec-04	Malta	Steam	36	19.5	4	136,026	155
Korea	Daewoo	2212	BW Suez Everett	BW Gas	Jun-03	N.I.S.	Steam	38,1	19.5	4	138,028	155
Korea	Daewoo	2213	Excel	Exmar/MOL	Sep-03	Belgium	Steam	36	19.0	4	138,106	145
Korea	Daewoo	2214	Northwest Swan	Northwest Shelf Shipping	Mar-04	Australia	Steam	38,1	19.5	4	138	
Korea	Daewoo	2215	Methane Princess	Golar LNG	Aug-03	U.K.	Steam	38,1	19.5	4	138	165
Korea	Daewoo	2216	Golar Arctic	Golar LNG	Dec-03	Singapore	Steam	32,4	19.5	4	140,648	160
Korea	Daewoo	2217	Berge Arzew	BW Gas	Jul-04	N.I.S.	Steam	38,1	19.5	4	138,088	160
Korea	Daewoo	2218	Excellence	GKFF Ltd.	May-05	Belgium	Steam	36	19.0	4	138	210
Korea	Daewoo	2219	LNG Pioneer	Mitsui OSK Line	Jul-05	Luxembourg	Steam	36	19.5	4	138	165
Korea	Daewoo	2221	LNG River	BW Gas	Nov-04	Bermuda	Steam	38,1	19.5	4	145,914	160

			Orashi									
Korea	Daewoo	2222	LNG Enugu	BW Gas	Oct-05	Myanmar	Steam	38,1	19.5	4	145	160
Korea	Daewoo	2223	LNG Oyo	BW Gas	Dec-05	Bermuda	Steam	38,1	19.5	4	140,5	160
Korea	Daewoo	2224	LNG Benue	BW Gas	Mar-06	Bermuda	Steam	38,1	19.5	4	145,7	160
Korea	Daewoo	2226	Golar Grand	Golar LNG	Jan-06	U.K.	Steam	38,1	19.5	4	145,7	151
Korea	Daewoo	2227	Rasgas Asclepius	Kristen Navigation	Jul-05	Bermuda	Steam	38,1	19.5	4	145	151
Korea	Daewoo	2228	Umm Bab	Kristen Navigation	Nov-05	Bermuda	Steam	38,1	19.5	4	145	151
Korea	Daewoo	2229	LNG Lokoja	BW Gas	Dec-06	Bermuda	Steam	36,8	19.5	4	148,3	151
Korea	Daewoo	2230	LNG Kano	BW Gas	Jan-07	Bermuda	Steam	36,8	19.5	4	148,3	151
Korea	Daewoo	2231	LNG Ondo	BW Gas	Sep-07	Bermuda	Steam	36,8	19.5	4	148,3	151
Korea	Daewoo	2232	LNG Imo	BW Gas	Jun-08	Bermuda	Steam	36,8	19.5	4	148,3	151
Korea	Daewoo	2233	Stena Blue Sky	StenaBulk	Jan-07	Taiwan	Steam	36,8	19.5	4	145,7	157
Korea	Daewoo	2234	Golar Maria	Golar LNG	Jun-06	U.K.	Steam	36,8	19.5	4	145,7	151
Korea	Daewoo	2235	Simaisma	Kristen Navigation	Jul-06	Greece	Steam	36,8	19.5	4	145,7	151
Korea	Daewoo	2236	Iberica Knutsen	Knutsen OAS	Oct-06	N.I.S.	Steam	36,8	19.5	4	138	
Korea	Daewoo	2237	Excelerate	Exmar/Excelerate	Oct-06	Belgium	Steam	36,8	19.5	4	138	200
Korea	Daewoo	2238	Al Marrouna	Teekay LNG	Nov-06	Bahamas	Steam	36,8	19.5	4	151,7	
Korea	Daewoo	2239	Al Areesh	Teekay LNG	Jan-07	Qatar	Steam	36,8	19.5	4	151,7	
Korea	Daewoo	2240	Al Daayen	Teekay LNG	Apr-07	Bahamas	Steam	36,8	19.5	4	151,7	
Korea	Daewoo	2241	Tangguh Towuti	Sovcomflot/NYK Line	Oct-08	Cyprus	Steam	36,8	19.5	4	145,7	161
Korea	Daewoo	2242	Tangguh Batur	Sovcomflot/NYK Line	Dec-08	Cyprus	Steam	36,8	19.5	4	145,7	163
Korea	Daewoo	2243	Al Jassasiya	Kristen Navigation	May-07	Greece	Steam	36,8	19.5	4	145,7	151
Korea	Daewoo	2244	Maran Gas Coronis	Kristen Navigation	Jun-07	Greece	Steam	36,8	19.5	4	145,7	
Korea	Daewoo	2245	Al Ruwais	ProNav Ship Mgmt.	Nov-07	Germany	DRL	50,75	19.5	4	210,1	215
Korea	Daewoo	2246	Al Safliya	ProNav Ship Mgmt.	Nov-07	Germany	DRL	50,75	19.5	4	210,1	215
Korea	Daewoo	2247	Duhail	ProNav Ship Mgmt.	Jan-08	Germany	DRL	50,75	19.5	4	210,1	215

Korea	Daewoo	2248	Al Ghariya	ProNav Ship Mgmt.	Jan-08	Germany	DRL	50,75	19,5	4	210,1	215
Korea	Daewoo	2249	Al Aamriya	J5 Consortium	Mar-08	Marshall I.	DRL	50,75	19,5	4	210,1	235
Korea	Daewoo	2250	Al Oraiq	J5 Consortium	Apr-08	Marshall I.	DRL	50,75	19,5	4	210,1	235
Korea	Daewoo	2251	Murwab	J5 Consortium	May-08	Marshall I.	DRL	50,75	19,5	4	210,1	235
Korea	Daewoo	2252	Fraiha	J5 Consortium	Sep-08	Marshall I.	DRL	50,75	19,5	4	210,1	235
Korea	Daewoo	2253	Umm Al Amad	J5 Consortium	Sep-08	Marshall I.	DRL	50,75	19,5	4	210,1	235
Korea	Daewoo	2254	Explorer	Exmar/Excelerate	Mar-08	Belgium	Steam	36,8	19,5	4	150,9	250
Korea	Daewoo	2255	Al Ghuwairiya	QGTC	Aug-08	Marshall I.	DRL		19,5	5	261,7	290
Korea	Daewoo	2256	Lijmiliya	QGTC	Jan-09	Marshall I.	DRL		19,5	5	261,7	290
Korea	Daewoo	2257	Al Samriya	QGTC	Dec-08	Marshall I.	DRL		19,5	5	261,7	290
Korea	Daewoo	2258	BW GDF Suez Paris	BW Gas	Aug-09	N.I.S.	DFDE	36,8	19,5	4	162,4	213
Korea	Daewoo	2259	BW GDF Suez Brussels	BW Gas	Aug-09	N.I.S.	DFDE	36,8	19,5	4	162,4	213
Korea	Daewoo	2260	K. Jasmine	Korea Line	Mar-08	Panama	Steam	36,8	19,5	4	145,7	197
Korea	Daewoo	2261	K. Mugungwha	Korea Line	Nov-08	Panama	Steam	36,8	19,5	4	151,8	197
Korea	Daewoo	2263	Express	Exmar/Excelerate	May-09	Belgium	Steam	36,8	19,5	4	150,9	
Korea	Daewoo	2264	Al Shahaniya	QGTC	Feb-09	Liberia	DRL	50,75	19,5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2265	Al Sadd	QGTC	Mar-09	Liberia	DRL	50,75	19,5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2266	Onaiza	QGTC	Apr-09	Liberia	DRL	50,75	19,5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2267	Barcelona Knutsen	Knutsen OAS	Apr-10	Spain	DFDE	36,8	19,5	4	173,4	238
Korea	Daewoo	2268	Stena Crystal Sky	StenaBulk	Jun-11	Panama	DFDE	36,8	19,5	4	171,8	230
Korea	Daewoo	2269	Sevilla Knutsen	Knutsen OAS	May-10	N.I.S.	DFDE	36,8	19,5	4	173,4	238
Korea	Daewoo	2270	Exquisite	Exmar	Oct-09	Belgium	Steam	36,8	19,5	4	150,9	
Korea	Daewoo	2271	Expedient	Exmar	Apr-10	Belgium	Steam	36,8	19,5	4	150,9	
Korea	Daewoo	2272	Exemplar	Exmar	Sep-10	Belgium	Steam	36,8	19,5	4	150,9	
Korea	Daewoo	2273	Arkat	Brunei Shell Tankers	Feb-11	Brunei	DFDE	36,8	19,5	4	148	238
Korea	Daewoo	2274	Valencia Knutsen	Knutsen OAS	Oct-10	Spain	DFDE	36,8	19,5	4	173,4	238

Korea	Daewoo	2275	Ribera del Duera Knutsen	Knutsen OAS	Nov-10	N.I.S.	DFDE	36,8	19.5	4	173,4	238
Korea	Daewoo	2277	Amali	Brunei Shell Tankers	Jul-11	Brunei	DFDE	36,8	19.5	4	148	238
Korea	Daewoo	2278	Stena Clear Sky	StenaBulk	Jun-11	Panama	DFDE	36,8	19.5	4	171,8	230
Korea	Daewoo	2280	Sonangol Sambizanga	Sonangol Shipping	Oct-11	Bahamas	Steam			4	160,5	213
Korea	Daewoo	2281	Sonangol Etosha	Sonangol Shipping	Nov-11	Bahamas	Steam			4	160,5	213
Korea	Daewoo	2282	Sonangol Benguela	Sonangol Shipping	Dec-11	Bahamas	Steam			4	160,5	213
Korea	Daewoo	2283	Al Khattiya	QGTC	Oct-09	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2284	Al Kharaana	QGTC	Oct-09	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2285	Al Dafna	QGTC	Oct-09	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2286	Al Nuaman	QGTC	Dec-09	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	210,1	
Korea	Daewoo	2288		Maran Gas	Jul-13		DFDE		19.5	4	155,9	
Korea	Daewoo	2289		Awilco LNG	Aug-13	N.I.S.	DFDE		19.5	4	155,9	
Korea	Daewoo	2290		Awilco LNG	Nov-13	N.I.S.	DFDE		19.5	4	155,9	
Korea	Daewoo	2291		Maran Gas	Jun-14		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Daewoo	2292		Maran Gas	Jun-15		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Daewoo	2295		Maran Gas	2014		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Daewoo	2296		Maran Gas	2015		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Daewoo	2297		Cardiff Marine	2013		DFDE		19.5	4	159,8	212
Korea	Daewoo	2298		Cardiff Marine	2013		DFDE		19.5	4	159,8	212
Korea	Daewoo	2400		Cardiff Marine	2014		DFDE		19.5	4	159,8	212
Korea	Daewoo	2401		Cardiff Marine	2014		DFDE		19.5	4	159,8	212
Korea	Daewoo	2402		Excelerate	2014		DFDE		19.5	4	173,4	
Korea	Daewoo	2405		Maran Gas	2015		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Daewoo	2406		Maran Gas	2015		DFDE		19.5	4	155,9	220
Korea	Hanjin H.I.	16	Hanjin Pyeong Taek	Hanjin Shipping	Sep-95	Panama	Steam	28	19.0	4	130,6	235

Korea	Hanjin H.I.	54	Hanjin Muscat	Hanjin Shipping	Jul-99	Panama	Steam	38,9	20,3	4	138,2	219
Korea	Hanjin H.I.	61	Hanjin Sur	Hanjin Shipping	Jan-00	Panama	Steam	38,9	20,3	4	138,333	219
Korea	Hanjin H.I.	62	Hanjin Ras Laffan	Hanjin Shipping	Jul-00	Panama	Steam	38,9	20,3	4	138,214	219
Korea	Hanjin H.I.	192	STX Kolt	STX Panocean	Nov-08	Panama	DFDE	36,8	19,5	4	145,7	
Korea	Hanjin H.I.	193	STX Frontier	STX Panocean	May-10	Panama	DFDE	36,8	19,5	4	153	
Korea	Hyundai	760	Hyundai Utopia	Hyundai MM	Jun-94	Panama	Steam	26,7	18,5	4	125,182	250
Korea	Hyundai	761	YK Sovereign	SK Shipping	Dec-94	Panama	Steam	26,7	18,5	4	127,125	290
Korea	Hyundai	853	Hyundai Greenpia	Hyundai MM	Nov-96	Panama	Steam	39	20,3	4	125	290
Korea	Hyundai	1073	Hyundai Technopia	Hyundai MM	Jul-99	Panama	Steam	39	20,3	4	135	219
Korea	Hyundai	1074	Hyundai Cosmopia	Hyundai MM	Jan-00	Panama	Steam	39	20,3	4	135	219
Korea	Hyundai	1156	Hyundai Aquapia	Hyundai MM	Mar-00	Panama	Steam	39	20,3	4	135	219
Korea	Hyundai	1157	Hyundai Oceanpia	Hyundai MM	Jul-00	Panama	Steam	39	20,3	4	135	219
Korea	Hyundai	1295	LNG Rivers	Bonny Gas Transport	Jun-02	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	137,2	160
Korea	Hyundai	1296	LNG Sokoto	Bonny Gas Transport	Aug-02	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	137,2	160
Korea	Hyundai	1429	LNG Bayelsa	Bonny Gas Transport	Feb-03	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	137,5	160
Korea	Hyundai	1460	Golar Viking	Golar LNG	Jan-05	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	138,83	162
Korea	Hyundai	1469	LNG Akwa Ibom	Bonny Gas Transport	Nov-04	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	141	170
Korea	Hyundai	1470	LNG Adamawa	Bonny Gas Transport	Jun-05	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	141	170
Korea	Hyundai	1471	LNG Cross River	Bonny Gas Transport	Sep-05	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	141	170
Korea	Hyundai	1472	LNG River Niger	Bonny Gas Transport	May-06	Bermuda	Steam	31,5	19,8	4	141	170
Korea	Hyundai	1719	Ob River	Lance Shipping	Jul-07	Marshall I.	Steam	39	19,5	4	150	
Korea	Hyundai	1728	Grace Acacia	Algaet Shipping	Jan-07	Japan	Steam	40	19,8	4	150	170

Korea	Hyundai	1729	Grace Barleria	Swallowtail Shipping	Oct-07	Japan	Steam	40	19.8	4	150	170
Korea	Hyundai	1730	Grace Cosmos	Alghunt Shipping	Mar-08	Japan	Steam	40	19.8	4	150	170
Korea	Hyundai	1734	Clean Force	Seacrown Mariti	Jan-08	Marshall I.	Steam	39	19.5	4	150	
Korea	Hyundai	1748	Clean Energy	Pegasus Shipholding	Mar-07	Marshall I.	Steam	39	19.5	4	150	
Korea	Hyundai	1754	Neo Energy	Tsakos Navigation	Feb-07	Liberia	Steam	40	19.8	4	150	
Korea	Hyundai	1777	British Emerald	BP Shipping	Jun-07	Isle of Man	DFDE	54,25	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai	1778	British Ruby	BP Shipping	Jul-08	Isle of Man	DFDE	54,25	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai	1779	British Sapphire	BP Shipping	Sep-08	Isle of Man	DFDE	39	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai	1780	Tangguh Hiri	Teekay LNG	Nov-08	IOM	DFDE	39	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai	1791	Al Gattara	Overseas Shipholding	Nov-07	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	216,2	216
Korea	Hyundai	1792	Al Gharaffa	Overseas Shipholding	Sep-08	Marshall I.	DRL	50,75	19.5	4	216,2	216
Korea	Hyundai	1862	Al Thumama	J5 Consortium	Jan-08	Japan	DRL	50,75	19.5	4	216,2	234
Korea	Hyundai	1863	Al Sahla	J5 Consortium	Apr-08	Japan	DRL	50,75	19.5	4	216,2	234
Korea	Hyundai	1875	Al Utouriya	J5 Consortium	Sep-08	Panama	DRL	50,75	19.5	4	215	234
Korea	Hyundai	1876	Abdelkader	Cleopatra Shipping	Oct-09	Panama	DFDE	39	19.5	4	177	205
Korea	Hyundai	1903	Hyundai Ecopia	Hyundai M.M.	Nov-08	Panama	Steam	39	19.5	4	145	
Korea	Hyundai	1908	Mesaimmer	QGTC	Mar-09	Liberia	DRL	50,75	19.5	4	216,2	
Korea	Hyundai	1909	Al Kharaitiyat	QGTC	May-09	Liberia	DRL	50,75	19.5	4	216,2	
Korea	Hyundai	1910	Al Rekayyat	QGTC	Jun-09	Liberia	DRL	50,75	19.5	4	216,2	
Korea	Hyundai	2548	FSRU	Hoegh LNG	2013		DFDE					
Korea	Hyundai	2549	FSRU	Hoegh LNG	2014		DFDE					
Korea	Hyundai	2550	FSRU	Hoegh LNG	2014		DFDE					
Korea	Hyundai	2556		Dynagas	2013		DFDE				155	200
Korea	Hyundai	2557		Dynagas	2014		DFDE				155	200
Korea	Hyundai	2558		Dynagas	2013		DFDE				155	200
Korea	Hyundai	2565		Dynagas	2014		DFDE				160	200

Korea	Hyundai	2566		Dynagas	2015		DFDE				160	200
Korea	Hyundai	2567		Dynagas	2015		DFDE				160	200
Korea	Hyundai	2571		BW Gas	2014		DFDE				164	200
Korea	Hyundai	2572		BW Gas	2015		DFDE				164	200
Korea	Hyundai	2580		Dynagas	2014		DFDE				160	200
Korea	Hyundai	2584		Oman Shipping Company	2014		DFDE				162	
Korea	Hyundai	2606		Brunei Gas Carriers	2014		DFDE				155	
Korea	Hyundai	2612		Tsakos Energy	2015		DFDE				162	
Korea	Hyundai Samho	S297	British Diamond	BP Shipping	Sep-08	Isle of Man	DFDE	39	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai Samho	S298	Tangguh Sago	Teekay LNG	Mar-09	IOM	DFDE	39	19.5	4	155	185
Korea	Hyundai Samho	S324	Ben Badis	Nefertiti Shipping	Oct-09	Panama	DFDE	39	19.5	4	177	235
Korea	Hyundai Samho	S624		Maran Gas	2013		DFDE					
Korea	Hyundai Samho	S625		Maran Gas	2014		DFDE					
Korea	Hyundai Samho	S626		Maran Gas	2014		DFDE					
Korea	Hyundai Samho	S627		Maran Gas	2014		DFDE					
Korea	Hyundai Samho	S658		Golar LNG	Jun-14		DFDE					250
Korea	Hyundai Samho	S659		Golar LNG	Sep-14		DFDE					250
Korea	Hyundai Samho	S660		Golar LNG	Dec-14		DFDE					250
Korea	Hyundai Samho	S661		Golar LNG	Mar-15		DFDE					250
Korea	Samsung	1207	SK Supreme	SK Shipping	Jan-00	Panama	Steam	39,5	20.3	4	138,2	219
Korea	Samsung	1258	SK Splendor	SK Shipping	Mar-00	Panama	Steam	39,5	20.3	4	138,375	219
Korea	Samsung	1259	SK Stellar	SK Shipping	Dec-00	Panama	Steam	39,5	20.3	4	138,375	219

Korea	Samsung	1380	British Trader	BP Shipping	Dec-02	Isle of Man	Steam	39,5	20,1	4	138	160
Korea	Samsung	1381	British Merchant	BP Shipping	Apr-03	Isle of Man	Steam	39,5	20,1	4	138	160
Korea	Samsung	1405	SK Sunrise	SK Shipping	Sep-03	Panama	Steam	39,5	20,3	4	138,306	160
Korea	Samsung	1406	Fuwairit	Peninsular LNG	Jan-04	Luxembourg	Steam	39,5	20,2	4	138	163
Korea	Samsung	1416	British Innovator	BP Shipping	Jul-03	Isle of Man	Steam	39,5	20,1	4	138	160
Korea	Samsung	1425	Milaha Ras Laffan	Teekay/Marubeni	Mar-04	D.I.S.	Steam	39,5	20,6	4	138,5	165
Korea	Samsung	1428	Methane Kari Elin	GasLog Logistics	Jun-04	Bermuda	Steam	39,5	20,1	4	138,2	164
Korea	Samsung	1440	Lusail	Peninsular LNG	May-05	Luxembourg	Steam	39,5	20,1	4	138	160
Korea	Samsung	1441	Al Thakhira	Peninsular LNG	Sep-05	Luxembourg	Steam	39,5	20,6	4	145	160
Korea	Samsung	1442	Al Deebeel	Peninsular LNG	Dec-05	Bahamas	Steam	39,5	20,6	4	145	160
Korea	Samsung	1502	Seri Alam	M.I.S.C.	Oct-05	Malaysia	Steam	39,5	19,0	4	138	
Korea	Samsung	1503	Seri Amanah	M.I.S.C.	Mar-06	Malaysia	Steam	33,8	19,0	4	145	
Korea	Samsung	1536	Salalah LNG	Oman Gas/MOL	Dec-05	Japan	Steam	21,35	19,5	4	147	150
Korea	Samsung	1553	Methane Rita Andrea	GasLog Logistics	Mar-06	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	160
Korea	Samsung	1554	Methane Jane Elizabeth	GasLog Logistics	Jun-06	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	160
Korea	Samsung	1555	Methane Lydon Volney	GasLog Logistics	Sep-06	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	160
Korea	Samsung	1562	Milaha Qatar	Teekay/Marubeni	Apr-06	D.I.S.	Steam	39,5	20,6	4	145,5	165
Korea	Samsung	1563	LNG Borno	NYK Line	Aug-07	Japan	Steam	39,5	19,8	4	149,6	181
Korea	Samsung	1564	LNG Ogun	NYK Line	Aug-07	Japan	Steam	39,5	19,8	4	149,6	181
Korea	Samsung	1573	Ibra LNG	Oman Gas/MOL	Jul-06	Japan	Steam	39,5	19,5	4	147	
Korea	Samsung	1585	Methane Shirley Elizabeth	GasLog Logistics	Apr-07	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	155
Korea	Samsung	1586	Methane Heather Sally	GasLog Logistics	Jul-07	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	155
Korea	Samsung	1587	Methane Alison Victoria	GasLog Logistics	Aug-07	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	155
Korea	Samsung	1588	Methane Nile	GasLog Logistics	Dec-07	Bermuda	Steam	39,5	20,2	4	145	155



			Eagle									
Korea	Samsung	1589	Seri Anggun	M.I.S.C.	Nov-06	Malaysia	Steam	33,8	19.0	4	145	171
Korea	Samsung	1590	Seri Angkasa	M.I.S.C.	Feb-07	Malaysia	Steam	33,8	19.0	4	145	171
Korea	Samsung	1591	Seri Ayu	M.I.S.C.	Oct-07	Malaysia	Steam	33,8	19.0	4	145	171
Korea	Samsung	1594	Ejnan	J4 Consortium	Feb-07	Japan	Steam	39,5	20.0	4	145	153
Korea	Samsung	1605	Tembek	Overseas Shipholding	Nov-07	Marshall I	DRL	50,75	19.5	4	216,2	229
Korea	Samsung	1606	Al Hamla	Overseas Shipholding	Feb-08	Marshall I	DRL	50,75	19.5	4	216,2	229
Korea	Samsung	1607	Maersk Methane	Teekay/Marubeni	Mar-08	Singapore	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	
Korea	Samsung	1608	Marib Spirit	Teekay/Marubeni	May-08	Marshall I.	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	
Korea	Samsung	1619	Tanggung Foja	K Line	Jul-08	Panama	DFDE	35,6	20.0	4	155	
Korea	Samsung	1620	Tanggung Jaya	K Line	Nov-08	Panama	DFDE	35,6	20.0	4	155	
Korea	Samsung	1625	Arwa Spirit	Teekay/Marubeni	Sep-08	Marshall I.	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	
Korea	Samsung	1626	Magellan Spirit	Teekay/Marubeni	Sep-08	D.I.S.	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	
Korea	Samsung	1632	Woodside Donaldson	Teekay/Marubeni	Oct-09	Singapore	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	215
Korea	Samsung	1633	Meridian Spirit	Teekay/Marubeni	Jan-10	D.I.S.	DFDE	35,6	19.5	4	165,5	215
Korea	Samsung	1634	Tanggung Palung	K Line	Mar-09	Panama	DFDE	35,6	20.0	4	155	
Korea	Samsung	1641	GasLog Savannah	GasLog Logistics	May-10	Liberia	DFDE	35,6	19.5	4	155	192
Korea	Samsung	1642	GasLog Singapore	GasLog Logistics	Jul-10	Liberia	DFDE	35,6	19.5	4	155	192
Korea	Samsung	1643	Al Huwaila	Teekay LNG	May-08	Qatar	DRL	50,75	19.5	4	217	240
Korea	Samsung	1644	Al Kharsaah	Teekay LNG	May-08	Qatar	DRL	50,75	19.5	4	217	240
Korea	Samsung	1645	Al Shamal	Teekay LNG	Jun-08	Qatar	DRL	50,75	19.5	4	217	240
Korea	Samsung	1646	Al Khuwair	Teekay LNG	Jul-08	Qatar	DRL	50,75	19.5	4	217	240
Korea	Samsung	1675	Mozah	QGTC	Oct-08	Qatar	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1676	Umm Slal	QGTC	Nov-08	Qatar	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1677	Bu Samra	QGTC	Dec-08	Qatar	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1686	Aseem	K Line	Nov-09	Panama	DFDE	35,6	19.5	4	155	225

Korea	Samsung	1688	GDF Suez Neptune	Hoegh LNG/MOL	Dec-09	Liberia	DFDE	35,6	19.5	4	145	290
Korea	Samsung	1689	GDF Suez Cape Ann	Hoegh LNG/MOL	Jan-10	Liberia	DFDE	35,6	19.5	4	145	290
Korea	Samsung	1694	Al Mayeda	QGTC	Feb-09	Liberia	DRL		19.5	5	266	290
Korea	Samsung	1695	Mekaines	QGTC	Feb-09	Liberia	DRL		19.5	5	266	290
Korea	Samsung	1696	Al Ghashamiya	QGTC	Mar-09	Liberia	DRL	50,75	19.5	4	216	
Korea	Samsung	1697	Al Mafyar	QGTC	Apr-09	Liberia	DRL		19.5	5	266	290
Korea	Samsung	1726	Al Bahiya	QGTC	Jan-10	Liberia	DRL	50,75	19.5	5	216	
Korea	Samsung	1745	Methane Julia Louise	GasLog Logistics	Apr-10	Bahamas	DFDE	35,6	19.5	4	170	
Korea	Samsung	1746	Methane Patricia Camila	GasLog Logistics	Oct-10	Bahamas	DFDE	35,6	19.5	4	170	
Korea	Samsung	1751	Shagra	QGTC	Nov-09	Liberia	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1752	Zarga	QGTC	Mar-10	Liberia	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1753	Aamira	QGTC	May-10	Liberia	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1754	Rasheeda	QGTC	Aug-10	Liberia	DRL		19.5	5	266	
Korea	Samsung	1810	Soyo	Mitsui/NYK/Teekay	Aug-11	Bahamas	DFDE		19.5	4	160,4	
Korea	Samsung	1811	Malanje	Mitsui/NYK/Teekay	Sep-11	Bahamas	DFDE		19.5	4	160,4	
Korea	Samsung	1812	Lobito	Mitsui/NYK/Teekay	Oct-11	Bahamas	DFDE		19.5	4	160,4	
Korea	Samsung	1813	Cubal	Mitsui/NYK/Teekay	Jan-12	Bahamas	DFDE		19.5	4	160,4	
Korea	Samsung	1858	Methane Becki Anne	GasLog Logistics	Sep-10	Bahamas	DFDE	35,6	19.5	4	170	
Korea	Samsung	1859	Methane Mickie Harper	GasLog Logistics	May-10	Bahamas	DFDE	35,6	19.5	4	170	
Korea	Samsung	1920		Chevron	2013		DFDE		19.5	4	160	198
Korea	Samsung	1921		Chevron	2014		DFDE		19.5	4	160	198
Korea	Samsung	1941		Chevron	2015		DFDE		19.5	4	160	
Korea	Samsung	1942		Chevron	2015		DFDE		19.5	4	160	
Korea	Samsung	1946	GasLog Shanghai	GasLog Logistics	Feb-13	Liberia	DFDE		19.5	4	155	
Korea	Samsung	1947		GasLog Logistics	Mar-13	Liberia	DFDE		19.5	4	155	

Korea	Samsung	2016		GasLog Logistics	May-13		DFDE				165	
Korea	Samsung	2017		GasLog Logistics	Jul-13		DFDE				165	
Korea	Samsung	2021		Golar LNG	Sep-13		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2022		Golar LNG	2013		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2023		Golar LNG	2013		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2024		Golar LNG	2014		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2026		Golar LNG	2013		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2027		Golar LNG	2014		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2031	FSRU	Golar LNG	Sep-13		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2041		GasLog Logistics	2014		DFDE				165	
Korea	Samsung	2042		GasLog Logistics	2014		DFDE				165	
Korea	Samsung	2043		GasLog Logistics	2014		DFDE				165	
Korea	Samsung	2044		GasLog Logistics	2014		DFDE				165	
Korea	Samsung	2045		Thenamaris	Sep-13		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2046		Thenamaris	2014		DFDE				160	200
Korea	Samsung	2047		Golar LNG	2014		DFDE				160	
Korea	Samsung	2048		Golar LNG	2014		DFDE				160	
Korea	Samsung	2049		Thenamaris	2015		DFDE				160	201
Korea	Samsung			StenaBulk	2014		DFDE	19.5	4		160	
Korea	Samsung			StenaBulk	2015		DFDE	19.5	4		160	
Korea	STX Shipbuilding	3008	Castillo di Santisteban	Elcano	Aug-10	Liberia	DFDE	35,6	19.5	4	173,6	
Korea	STX Shipbuilding	1670		Alpha Tankers	Feb-15		DFDE		19.5	4	160	197
Korea	STX Shipbuilding	1910	Velikiy Novgorod	SovComFlot	2013		DFDE		19.5	4	170,2	200
Korea	STX Shipbuilding	1911	Pskov	SovComFlot	2014		DFDE		19.5	4	170,2	200
Korea	STX Shipbuilding	1912		SovComFlot	2015		DFDE		19.5	4	170,2	200

Korea	STX Shipbuilding	1913		SovComFlot	Jan-16		DFDE		19.5	4	170,2	200
Norway	Moss Stavanger	196	Norman Lady	Methane Carriers	1973	N.I.S.	Steam	30	18.0	5	87,6	30
Norway	Moss Stavanger	198	Hilli	Golar LNG	Dec-75	U.K.	Steam	40	19.5	6	126,227	
Norway	Moss Stavanger	199	Gimi	Golar LNG	Dec-76	U.K.	Steam	40	19.5	6	126,277	
Spain	IZAR Puerto Real	87	Castillo de Villalba	Elcano	Nov-03	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138	223
Spain	IZAR Puerto Real	103	Cadiz Knutsen	Knutsen OAS	Jun-04	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138,826	171
Spain	IZAR Puerto Real	105	Madrid Spirit	Teekay LNG	Jan-05	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138	171
Spain	IZAR Sestao	319	Catalunya Spirit	Teekay LNG	Mar-03	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138	223
Spain	IZAR Sestao	321	Bilbao Knutsen	Knutsen OAS	Jan-04	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138	209
Spain	IZAR Sestao	331	Sestao Knutsen	Knutsen OAS	Nov-07	Spain	Steam	38,1	19.5	4	138	
Sweden	Kockums	516	SCF Polar	Sovcomflot	1969	Singapore	Steam	20	18.3	5	71,5	21
Sweden	Kockums	517	SCF Arctic	Sovcomflot	1969	Singapore	Steam	20	16.5	5	71,5	21
Sweden	Kockums	559	LNG Bonny	Bonny Gas Transport	Dec-81	Bermuda	Steam	40,8	20.0	5	133	118
Sweden	Kockums	564	LNG Finima	Bonny Gas Transport	Jan-84	Bermuda	Steam	40,8	20.0	5	133	118
U.S.	GD Quincy	41	LNG Aquarius	Hanochem Shipping	Jun-77	Indonesia	Steam	43	20.4	5	126,3	82
U.S.	GD Quincy	42	LNG Aries	BGT Ltd.	Dec-77	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,3	111
U.S.	GD Quincy	44	LNG Gemini	Patriot Shipping	Sep-78	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,3	109
U.S.	GD Quincy	46	LNG Capricorn	BGT Ltd.	Jun-78	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,3	109
U.S.	GD Quincy	47	LNG Leo	Patriot Shipping	Dec-78	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,4	108
U.S.	GD Quincy	48	LNG Taurus	BGT Ltd.	Aug-79	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,3	107
U.S.	GD Quincy	49	LNG Virgo	Patriot Shipping	Dec-79	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,4	111
U.S.	GD Quincy	50	LNG Libra	Hoegh LNG	Apr-79	Marshall I.	Steam	43	20.4	5	126,4	108
U.S.	GD Quincy	53	LNG Edo	Bonny Gas Transport	May-80	Bahamas	Steam	43	20.4	5	126,5	131

U.S.	GD Quincy	54	LNG Abuja	Bonny Gas Transport	Sep-80	Bahamas	Steam	43	20.4	5	126,5	133
U.S.	Newport News	608	LNG Delta	Shell Bermuda	May-78	Isle of Man	Steam	40,56	18.5	6	126,5	99
U.S.	Newport News	609	Galeomma	Shell Shipping	Dec-78	Singapore	Steam	40,56	18.5	6	126,54	89
U.S.	Newport News	610	Matthew	Suez LNG Shiping	Jun-79	Bahamas	Steam	40,56	18.5	6	126,54	88

## 1.2.4 Φάση Αποθήκευσης και Αεριοποίησης ΥΦΑ

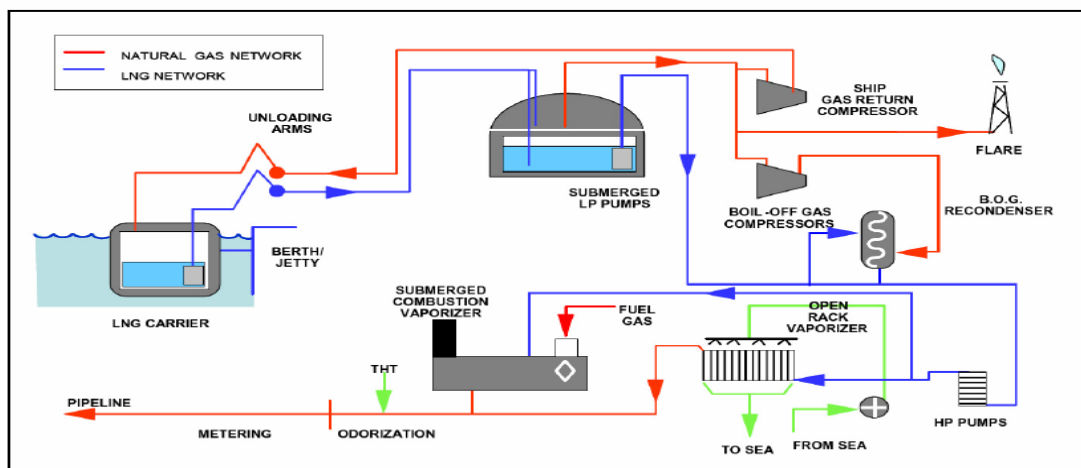
### 1.2.4.1 Τερματικοί Σταθμοί

Το τελευταίο στάδιο πριν την κατανάλωση είναι η αποθήκευση του και η επαναεριοποίηση του. Εισάγεται η έννοια του *τερματικού σταθμού, θαλάσσιες ή υπεράκτιες εγκαταστάσεις*, όπου και θα συζητηθεί εκτενέστερα στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το πλοίο LNG εκφορτώνει σ' ένα τερματικό σταθμό ή σε πλωτό πλοίο γνωστό ως (FLNG), όπου το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται πριν να υποστεί επαναεριοποίηση και έπειτα μετατρέπεται σε αέρια μορφή. (Markus Brokhof 2011, σελ 7)

Υπάρχουν διαφορετικά σχέδια τερματικών σταθμών ΥΦΑ, αλλά η όλη διαδικασία είναι παρόμοια. Ένα τυπικό διάγραμμα ροής με τις διαδικασίες ΥΦΑ που διενεργούνται σε ένα τερματικό σταθμό φαίνεται στο Σχήμα 5. Τα κύρια στοιχεία εξοπλισμού είναι:

1. Δεξαμενές Αποθήκευσης
2. Βραχίωνες Εκφόρτωσης
3. Κρυογενικοί Αγωγοί
4. Δεξαμενές Αποθήκευσης
5. Αντλίες Χαμηλής Πίεσης
6. Συμπιεστές Απαερίων (Boil –off gas Compressors) και Επανασυμπικνωτής απαερίων και ΥΦΑ
7. Υψηλής Πίεσης Αντλίες
8. Αεροποιητές

Τα Αέρια της εξάτμισης είναι ο ατμός που παράγεται πάνω από την επιφάνεια του φορτίου λόγω της εξάτμισης του ,το οποίο προκαλείται είτε από διείσδυση θερμότητας είτε από πτώση της πίεσης.



**Σχήμα 1.3:** Διαδικασίες ΥΦΑ που διενεργούνται σε ένα τερματικό σταθμό (Πηγή :The international group of lng importers , 2009)

Οι εργασίες εκφόρτωσης ΥΦΑ γίνονται με ειδικά σχεδιασμένους βραχίονες για να μεταφέρουν φορτίο με ασφάλεια από το πλοίο προς τις δεξαμενές. Όταν το πλοίο LNG είναι αγκυροβολημένο τότε οι βραχίονες φόρτωσης σταδιακά ψύχονται στους  $-162\text{C}$  ( $-259\text{F}$ ) πριν από την έναρξη της εκφόρτωσης ΥΦΑ. Οι βραχίονες εκφόρτωσης είναι σε θέση να αντέξουν τη διαστολή και τη συστολή που προκύπτει από αλλαγές στη θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, αυτοί είναι εξοπλισμένα με έκτακτης ανάγκης συστήματα.

Μετά την εκφόρτωση του ΥΦΑ, αυτό μεταφέρεται μέσω κρυογενικών αγωγών στις ειδικά μονωμένες δεξαμενές αποθήκευσης. Υπάρχουν τρία είδη εγκαταστάσεων ΥΦΑ. Οι τερματικοί σταθμοί που βρίσκονται στη στεριά, οι υπεράκτιοι τερματικοί και οι peak-shaving facilities. Επίσης ένας τερματικός έχει συνήθως δύο ή περισσότερες δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου, δεξαμενές οι οποίες μπορεί να είναι είτε υπόγειες είτε υπέργειες. Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι σχεδιασμένες να διατηρούν το υγρό σε χαμηλή θερμοκρασία και να ελαχιστοποιούν το ποσό της εξάτμισης. Το τμήμα ΥΦΑ που εξατμίζεται ονομάζεται boil off gas, δηλαδή «απαέρια εξάτμισης».

Η θερμοκρασία μέσα στη δεξαμενή, παραμένει σταθερή, εάν η πίεση διατηρείται σταθερή, επιτρέποντας έτσι τα αέρια εξάτμισης να ξεφύγουν από τη δεξαμενή. Αυτό το αέριο συλλαμβάνεται και: α) στέλνεται στον επανασυμπικνωτή (recondenser) ή β) στέλνεται πίσω στο πλοίο μεταφοράς LNG για να διατηρηθεί η πίεση κατά την εκφόρτωση του ή γ) σε ειδικές περιπτώσεις ή καταστάσεις, αποστέλλεται στο flare. Η μονάδα αποθήκευσης

σχεδιάζεται με μια δυνατότητα εξαερισμού, με σκοπό την απόλυτη προστασία από τον κίνδυνο της υπερπίεσης που οδηγεί στο φαινόμενο “**Rollover**”. Το ΥΦΑ "ανατρέπεται" λόγω ταχείας απελευθέρωσης ατμών από τη δεξαμενή αποθήκευσης, που οφείλεται στη διαστρωμάτωση των αερίων. Η δυνατότητα για ανατροπή προκύπτει όταν δύο στρωματοποιημένα επίπεδα διαφορετικών πυκνότητων (λόγω των διαφορετικών συνθέσεων του ΥΦΑ) υπάρχουν σε μια δεξαμενή. Για την αποφυγή του φαινομένου, ειδικά εργαλεία γνωστά ως πυκνόμετρα, χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν την εξέλιξη των στρωμάτων μέσα στη δεξαμενή.

Εν συνεχεία, το ΥΦΑ αποστέλλεται στους αεροποιητές/vaporizers το οποίο θερμαίνεται και επανααεροποιείται. Τα αέρια εξάτμισης συμπυκνώνονται και στέλνονται και αυτά στους αεροποιητές. Οι κύριοι τύποι αεροποιητών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ΥΦΑ, με εμπορική ονομασία είναι:

- Open Rack Vaporisers (θαλασσινό νερό για εξάτμιση ΥΦΑ)
- Submerged Combustion Vaporisers (φυσικό αέριο για εξάτμιση ΥΦΑ)
- Intermediate Fluid Vaporisators (φυσικό αέριο, θαλασσινό νερό και ενδιάμεσο υγρό όπως προπάνιο)
- Ambient Air Vaporisers (θερμότητα αέρα για εξάτμιση ΥΦΑ)

Τέλος, ο θερματικός σταθμός μετρά την ποσότητα φυσικού αερίου που αποστέλλεται έξω για κατανάλωση (**send-out to pipeline**). Το φυσικό αέριο παραδίδεται μέσω αγωγών απευθείας στους πελάτες για βιομηχανική ή οικιακή χρήση.



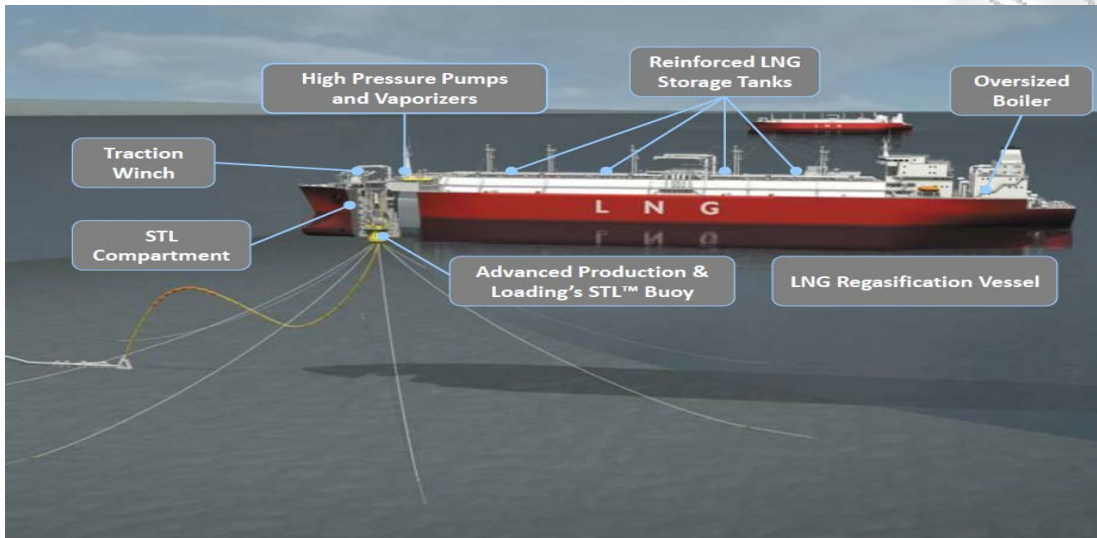
#### 1.2.4.2 Πλωτή Μονάδα Αποθήκευσης και Αεριοποίησης ΥΦΑ (FSRU)

Η αύξηση του κόστους των χερσαίων εγκαταστάσεων υγροποιημένου φυσικού αερίου, η έλλειψη κατάλληλων χώρων για λειτουργία αυτών, η έλλειψη μεγάλων παράκτιων κοιτασμάτων φυσικού αερίου, έχει οδηγήσει στην αντικατάσταση των χερσαίων τερματικών. Η μονάδα FSRU παρέχει μια αξιόπιστη παροχή ενέργειας, ενώ συγχρόνως αποτελεί το νέο βασικό σημείο στη σύγχρονη αλυσίδα ΥΦΑ σε αντικατάσταση των τερματικών αεριοποίησης. Η Πλωτή Αποθήκη και Μονάδα Αεριοποίησης ΥΦΑ (Πλοίο FSRU), αποτελείται:

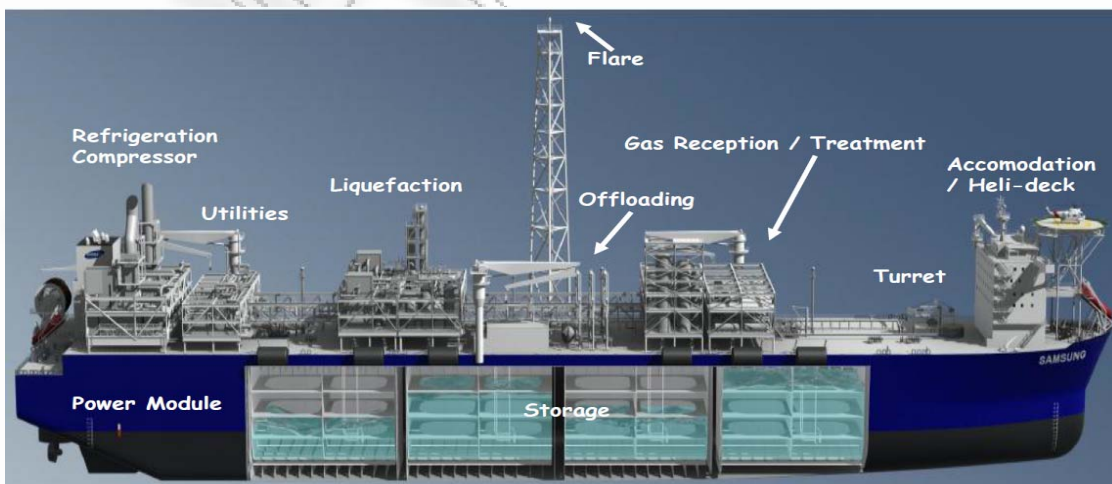
- Δεξαμενές Αποθήκευσης ΥΦΑ
- Βραχίονες Εκφόρτωσης
- Κρυογενικοί Αγωγοί
- Δεξαμενές Αποθήκευσης
- Αντλίες Χαμηλής Πίεσης
- Συμπιεστές Απαερίων (Boil –off gas Compressors) και Επανασυμπικνωτής απαερίων και ΥΦΑ
- Υψηλής Πίεσης Αντλίες
- Μόνιμο αγκυροβόλιο του πλοίου FSRU.
- Εύκαμπτοι σωλήνες
- Πολλαπλής Εισαγωγής Τέρματος Αγωγού (Pipeline End Manifold ή PLEM), με την οποία συνδέονται οι εύκαμπτοι σωλήνες με υποθαλάσσιο αγωγό φυσικού αερίου.

Τα πλεονεκτήματα μιας πλωτής μονάδας αποθήκευσης (FSRU) αποτελούν τη βελτίωση και την πρόοδο στην τεχνολογία υγροποίησης χάρη στον απλό σχεδιασμό (Turboexpander base), την ευκολία λειτουργίας, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Συγχρόνως, συμβάλει στο μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα αφού

μειώνονται δραστικά τα αέρια που καίγονται στον πυρσό. Παράλληλα, μειώνεται το συνολικό κόστος του έργου και το ρίσκο από ότι οι χερσαίες εγκαταστάσεις τερματικών.



Εικόνα 1.3 :Πλοία FSRU (Πηγή: Ευθυμιάδης, 2012)

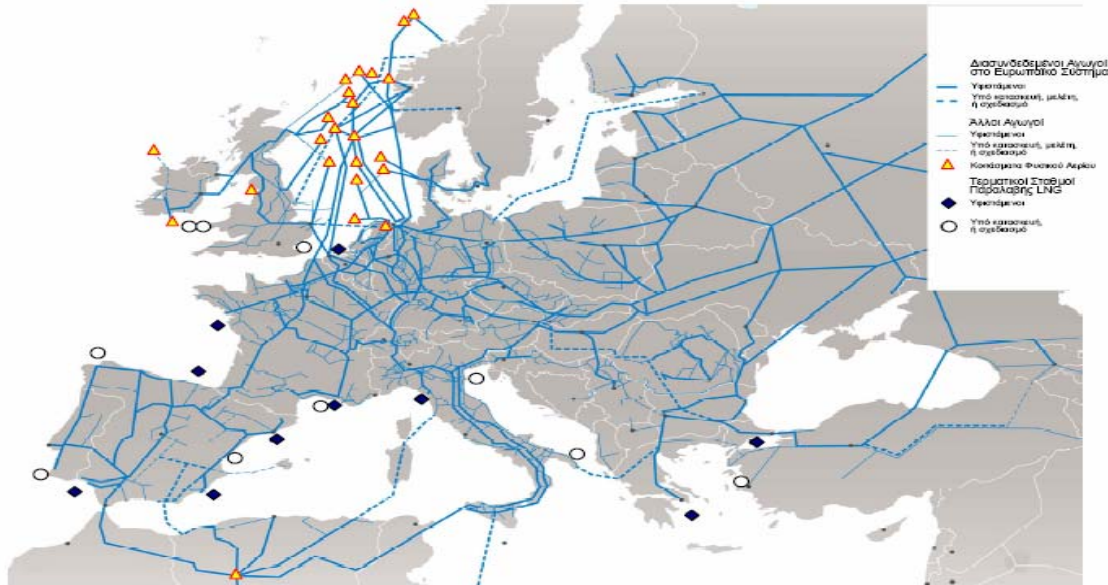


**Εικόνα 1.4 :**Τυπικό Σχέδιο FSRU (Πηγή DNV,2012)

Αντίθετα, η τεχνολογία (turboexpander) έχει αποδειχθεί ότι είναι βέλτιστη σε μικρότερες παράκτιες εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου, ως εκ τούτου η ικανότητα των εγκαταστάσεων είναι περιορισμένη. Η ένταξη, ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη γάστρα των FSRU για να επιτευχθεί η διασύνδεση με υποθαλάσσιους αγωγούς είναι επίσης μια πρόκληση στο σχεδιασμό. Οι απαιτήσεις ασφαλείας είναι αυστηρότερες από ό, τι για τις χερσαίες εγκαταστάσεις υγροποίησης, όπως και ο εξοπλισμός ενώ τα κριτήρια της διάταξης είναι περιορισμένα λόγω διαθεσιμότητας χώρου. ( Richard Whitehead , 2012)

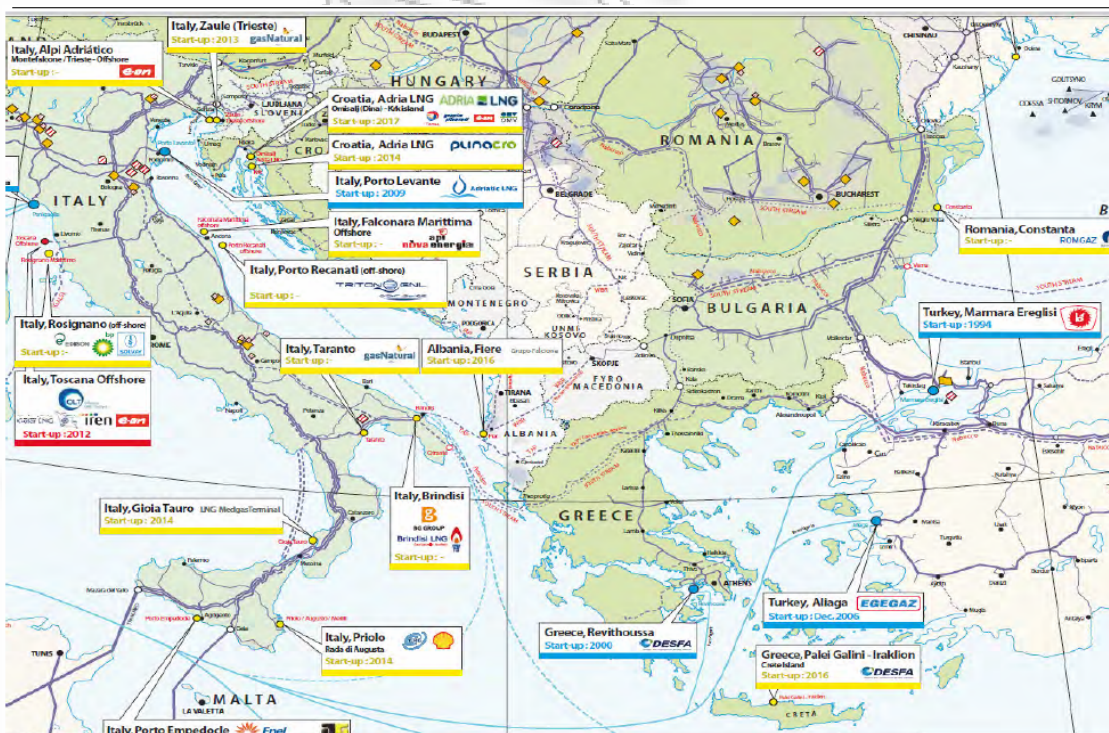
### 1.3 Εγκαταστάσεις Παραλαβής ΥΦΑ ανά τον κόσμο

Περισσότερο από το 50% των παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές. Για παράδειγμα το μεγαλύτερο μέρος του αερίου που χρησιμοποιείται στη Δυτική Ευρώπη παράγεται στη Σιβηρία ή στη Βόρεια Θάλασσα. Οι παραγωγοί παράγουν και αποστέλλουν το αέριο από τα πεδία παραγωγής ως τα σύνορα των χωρών στις οποίες χρησιμοποιείται. Οι εισαγωγείς αγοράζουν το αέριο σε αυτά τα σημεία στο πλαίσιο μακροχρόνιων συμβάσεων και μεταπωλούν το καύσιμο στις τοπικές εταιρίες διανομής καθώς επίσης και σε βιομηχανικούς χρήστες και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται άμεσα με το σύστημα διανομής. Το ευρωπαϊκό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



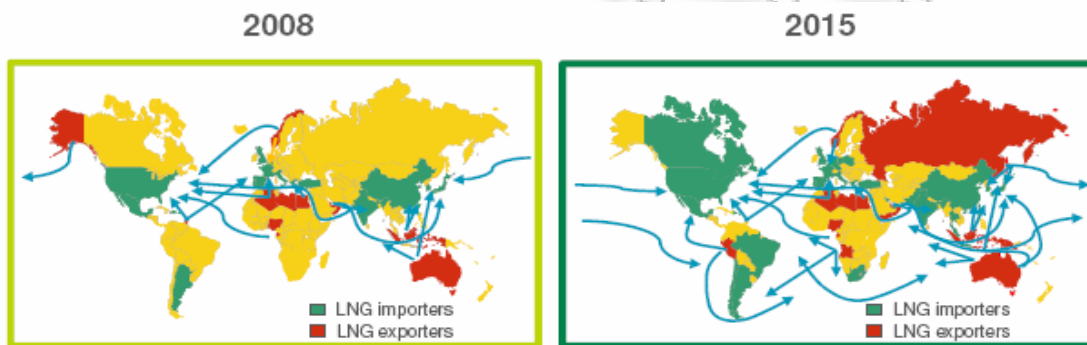
Εικόνα 1.5: Ευρωπαϊκό Σύστημα Μεταφοράς και Διανομής Φυσικού Αερίου (Πηγή DNV, 2012)

Στη νοτιοανατολική Ευρώπη υφίστανται τρεις τερματικοί εισαγωγής φορτίου ΥΦΑ όπου ο πρώτος βρίσκεται στην Ελλάδα και ονομάζεται Ρεβυθούσα, ο δεύτερος και ο τρίτος στην Τουρκία με ονομασίες Μαρμαρά και Αλιάγα αντίστοιχα. Η ζήτηση για φυσικό αέριο, η συμφωνημένη προσφορά και το Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες εναλλακτικές λύσεις (αγωγούς μεταφοράς) θα παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και υλοποίηση των Τερματικών όπως Ceyhan, Adria και στο Ηράκλειο.



**Εικόνα 1.6:** Υφιστάμενοι και υπό σχεδιασμό Τερματικοί Σταθμοί ΥΦΑ στη Νοτιοανατολική Ευρώπη (Πηγή :DNV, 2012)

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση. Επομένως η ζήτηση για θέρμανση διαφοροποιείται μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Οι εγκαταστάσεις διανομής είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μπορούν να χειριστούν τις μεταβολές των φορτίων. Από το αέριο που κυκλοφορεί στη διεθνή αγορά, το 75% μεταφέρεται με αγωγούς και το 25% με δεξαμενόπλοια. Παγκοσμίως αναμένεται αύξηση των χωρών που θα εξάγουν ΥΦΑ κατά 25% ενώ προβλέπεται ραγδαία αύξηση της τάξης των 75% των τερματικών που θα εισάγουν ΥΦΑ, σύμφωνα με την πρόσφατη έρευνα του LNG Journal.



**Εικόνα 1. 7:** Ραγδαία Αναπτυσσόμενη Αγορά ΥΦΑ ανά τον κόσμο (Πηγή: Whitehead Richard ,2012)

Παρακάτω αναφέρονται οι παγκόσμιοι τερματικοί υγροποίησης (LNG Liquefaction Plants) και αεριοποίησης (LNG Regasification Terminals) ΥΦΑ που είναι ήδη σε λειτουργία αλλά και υπό κατασκευή, όπως επίσης και τα μελλοντικά project που θα είναι σε λειτουργία μετά το 2015.

**Πίνακας 1.2:** Τερματικοί υγροποίησης (LNG Liquefaction Plants) (Πηγή : LNG NEW PROJECT LISTINGS, 2012)

ΕΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ
Adgas LNG PLANT ( UAE)	Angola LNG PLANT(Angola)	Abadi LNG PLANT (Indonesia)

Algeria(Algeria)	Donggi- Senoro (Indonesia)	Arrow (Australia)
Arun (Indonesia)	Gladstone (Australia)	Australia Pacific (Australia)
Atlantic (Trinidad and Tobago)	Gordon (Australia)	Baltic (Russia)
Bontag (Indonesia)	Iran (Iran) <i>έχει ανασταλεί</i>	Bonaparte (Australia)
Brunei (Brunei)	Pluto (Australia)	Brass (Nigeria)
Damietta(Egypt)	PNG (Papua New Guinea)	Browse (Australia)
Darwin (Australia)	Queensland Curtis (Australia)	Delta Caribe (Venezuela) <i>έχει ανασταλεί</i>
EG (Equatorial Guinea)	Wheatstone (Australia)	Fisherman's Landing (Australia)
Egyptian (Egypt)		Gulf (Papua, New Guinea)
Kenai (Alaska, USA)		Iohthys (Australia)
Marsa el Brega (Libya)		Kitimat (Canada)
MLNG Satu (Malaysia)		Olokola (Nigeria)
MLNG DUA (Malaysia)		Pars (Iran) <i>έχει ανασταλεί</i>
MLNG Tiga (Malaysia)		Persian (Iran) <i>έχει ανασταλεί</i>
Nigerian (Nigeria)		Prelude (Australia)
Nordic Skangass (Norway)		Sabine Pass (USA)
North West Shelf (Australia)		Scarborough Pilbara (Australia)
Oman and Qalhat (Oman)		Shtokman (Russia)
Peru (Peru)		Sunrise (Australia)
Qatargas I (Qatar)		Yamal (Russia)

Qatargas II (Qatar)		
Qatargas III(Qatar)		
Rasgas I (Qatar)		
Rasgas II(Qatar)		
Rasgas III(Qatar)		
Sakhalin (Russia)		
Snohvit (Norway)		
Tangguh (Indonesia)		
Yemen (Yemen)		

**Πίνακας 1.2:** Τερματικοί αεριοποίησης (LNG Regasification Terminals) (Πηγή : Markus Brokhof ,2011)

<b>ΕΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ</b>	<b>ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</b>	<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ</b>
Adriatic (Rovigo) LNG TERMINAL (Italy)	Dabhol LNG TERMINAL (Canada)	Adria LNG TERMINAL (Croatia)
Altamira (Mexico)	Dunkirk (France)	Bahia (Brazil)
Andres (Dominican Rep)	El Musel (Spain)	Boryeong (Korea)
Bahia Blanca GasPort (Argentina)	Hachinohe (Japan)	Cacouna (Canada) <i>έχει ανασταλεί</i>
Barcelona (Spain)	Hainan (China)	Calhoun (USA) <i>έχει ανασταλεί</i>
Bilbao (Spain)	Ishikari (Japan)	Canvey (UK) <i>έχει ανασταλεί</i>
Brunnsviksölme (Sweden)	Jieyang (China)	Corpus Christi (USA) <i>έχει ανασταλεί</i>

Cameron (USA)	Kita Kyushu (Japan)	East- Central Java (Indonesia)
Canaport (Canada)	Kochi (India)	Ennore (India)
Cartagena (Spain)	Livorno (Italy)	Gioia Tauro (Italy)
Chita I,II,III (Japan)	Naoetsu (Japan)	Hitachi (Japan)
Cove Point (USA)	Nusantara (Indonesia)	Ingleside Energy (USA) έχει ανασταλεί
Dahej (India)	Samcheok (S.Korea)	Jordan Cove (USA)
Dalian (China)	Sandong (China)	Lampung (Indonesia)
Dragon (UK)	Singapore (Singapore)	Levan (Albania)
Elba Island (USA)	Swinoujcie (Poland)	Le Havre (France) έχει ανασταλεί
Energia Costa Azul (Mexico)	Tianjin (China)	Mangalore (India) έχει ανασταλεί
Escobar GasPort (Argentina)	Zhejiang Nigbo (China)	Mashal (Pakistan)
Everett (USA)	Zuhai (Chian)	Mundra (India)
Fos Cavaou (France)		Port Dolphin Deep water (USA)
Fos Tonkin (France)		Porto Embedocle (Italy)
Free Port (USA)		Priolo (Italy)
Fujian (China)		Rabaska (Canada)
Fukuola (Japan)		Rosignano (Italy)
Futtsu (Japan)		Semangas (Albania)
Gate (Netherlands)		Shannon (Ireland)
Golden Pass (USA)		Shin-Sendai (Japan)
Guanabara (Brazil)		Sonora (Mexico)



Guangdong (China)		Sparrows (USA)
Gulf LNG Clean Energy (USA)		Tenerife (Canarie Isl. Spain)
Gwangyang (S. Korea)		Texada (Canada) έχει ανασταλεί
Hatsukaichi (Japan)		Trieste (Italy)
Hazira (India)		Vasiliko (Cyprus)
Himeji I, II (Japan)		Wilhelmshaven (Germany)
Huelva (Spain)		
Incheon (S. Korea)		
Isle of Grain (UK)		
Izmir (Turkey)		
Jebel Ali –Dubai (UAE)		
Jiangsu Rudong (China)		
Joetsu (Japan)		
Kagoshima (Japan)		
Kawago (Japan)		
Lake Charles (USA)		
Manzanillo ( Mexico)		
Marmara (Turkey)		
Mejillones (Chile)		
Mina Al-Ahmadi Gas Port (Kuwait)		
Mizushima (Japan)		
Montoir – Bretagne (France)		

Nagasaki Work (Japan)		
Negishi (Japan)		
Neptune Deepwater (USA)		
Niigata (China)		
Northeast Gateway		
Ohgishima(Japan)		
Oita (Japan)		
Panigaglia (Italy)		
Pecem (Brazil)		
Penuelas (Puerto –Rico)		
Pyeong Taek (S. Korea)		
Quintero (Chile)		
Rayong (Tailand)		
Reganosa (Spain)		
Revithoussa (Greece)		
Sabine Pass (USA)		
Sagunto (Spain)		
Sakai (Japan)		
Sakaide (Japan)		
Senbokuie I,II (Japan)		
Shanghai (China)		
Shin Minato Works (Japan)		

Sines (Portugal)		
Sodeshi (Japan)		
South Hook (UK)		
Sudegaura (Japan )		
Taichung (Taiwan)		
Teesside Gas Port (England)		
Tobada (Japan)		
Tongyeong (S. Korea)		
Yanai (Japan)		
Yokkaichi (Japan)		
Yokkaichi Works(Japan)		
Yung An (Taiwan)		
Zeebrugge (Belgium)		

## 1.4 Τα Δέκα Μεγαλύτερα Σχέδια LNG στον Κόσμο

Τα τελευταία χρόνια, το LNG κερδίζει διαρκώς έδαφος στη διεθνή αγορά, όπως έχουμε προαναφέρει καθώς είναι ο πλέον οικονομικός τρόπος για την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις. Μετά τις σημαντικές επενδύσεις που ολοκλήρωσε το Κατάρ την τελευταία πενταετία, την σκυτάλη παίρνουν αρκετοί ακόμα εξαγωγείς, αλλά και εισαγωγείς, με την δημιουργία νέων σταθμών υγροποίησης και αεριοποίησης.

### 1.4.1 Σταθμοί Υγροποίησης Φυσικού Αερίου- LNG Liquefaction Plan

#### Σταθμός Shtokman LNG

Τοποθετείται 600 χλμ βορειοανατολικά του Μουρμάνσκ της Ρωσίας. Στη θάλασσα του Μπάρεντς υφίσταται το κοιτάσμα Στόκμαν, όπου θα εγκατασταθεί ο σταθμός που υλοποιεί η Gazprom, η Total και η Statoil. Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως βάση για αποθήκευση του ρωσικού αερίου, ώστε να εξαγεται είτε μέσω αγωγών, είτε πλοίων. Η εκκίνηση του προγράμματος αναμένεται το 2017 με ετήσια χωρητικότητα 15 εκ. τόνων και δύο δεξαμενές.



**Εικόνα 1.8:** Σταθμός Shtokman LNG (Πηγή : Energia, 2012)

### Lake Charles Louisiana

Στο δέλτα του ποταμού Καλκασιέ της Λουιζιάνα, βρίσκεται η μονάδα Lake Charles, η οποία πρόκειται να επεκταθεί με το 2016. Με τον τρόπο αυτό, θα γίνει η τρίτη μονάδα LNG των ΗΠΑ με δυνατότητα εξαγωγών και εισαγωγών. Ο Ιδιοκτήτης είναι η BG Group/ETE, ενώ η ετήσια χωρητικότητα αγγίζει τους 15 εκ. τόννων με τρεις δεξαμενές.

### Yamal LNG Siberia

Βασισμένος στο ρωσικό κοιτάσμα Yuzhno-Tambeyskoye, με αποδεδειγμένα αποθέματα ύψους 1,26 τρις κ.μ., ο σταθμός Γιαμάλ αναμένεται να έχει παραγωγή 16,5 εκατ. τόνων ετησίως. Ο ιδιοκτήτης είναι η Novatek/Gazprom/Total και προβλέπεται εκκίνηση κατασκευής το 2016.

### Gorgon LNG

Ένα από τα ακριβότερα και πιο εξελιγμένα επενδυτικά σχέδια σήμερα παγκοσμίως, αποτελεί το Gorgon LNG και βρίσκεται 130 χλμ μακριά από τις ακτές της Αυστραλίας και σε μικρή απόσταση από τα μεγάλα κοιτάσματα που έχουν ανακαλυφθεί εκεί τα τελευταία

χρόνια. Ο Ιδιοκτήτης είναι η Chevron, Shell, και η ExxonMobil. Η εκκίνηση του σταθμού αναμένεται το 2014 με τέσσερις αποθήκες και χωρητικότητα: 20 εκατ. τόνων ετησίως



**Εικόνα 1.9:** Σταθμός Gorgon LNG (Πηγή : Energia, 2012)

### Olokola LNG

Ο σταθμός Olokola θα υλοποιηθεί στη Νιγηρία και θα αποτελέσει ουσιαστικά ένωση δύο υφιστάμενων ανταγωνιστικών σχεδίων. Το κόστος ανέρχεται σε 9,8 δις δολάρια μέχρι τώρα, ενώ το LNG που θα παράγεται εκεί θα εξυπηρετήσει τόσο την εγχώρια, όσο και την διεθνή αγορά. Ιδιοκτήτης αποτελεί η NNPC, Chevron, Shell, BG Group. Η εκκίνηση του αναμένεται το 2016 με δημιουργία τεσσάρων δεξαμενών και 20 εκατ. τόνων ετησίως.



**Εικόνα 1.10:** Σταθμός Olokola LNG (Πηγή : Energia, 2012)

#### 1.4.2 Σταθμοί Αεριοποίησης Φυσικού Αερίου- LNG Regasification Terminals

##### Τερματικό Joetsu

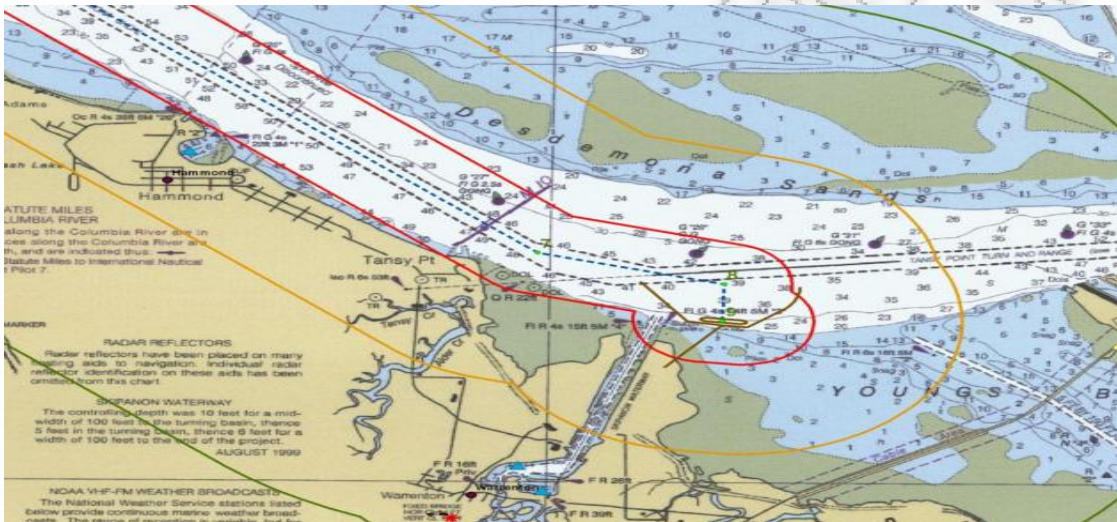
Το ιαπωνικό τερματικό Joetsu θα κατασκευαστεί στις ακτές της περιφέρειας Νιγκάτα και θα έχει χωρητικότητα  $360.000 \text{ m}^3$  και δύο δεξαμενές αποθήκευσης. Παράλληλα, θα είναι σε θέση να τροφοδοτεί την ευρύτερη περιοχή του Τόκιο. Ιδιοκτήτης αποτελεί η Teikoku Oil (Inpex) με έτος εκκίνησης το 2014.



**Εικόνα 1.11 :** Τερματικός Σταθμός Joetsu (Πηγή : Energia, 2012)

## Oregon LNG

Βρίσκεται στην χερσόνησο Σκίπανον της αμερικανικής πολιτείας του Όρεγκον και αναμένεται να είναι ένας από τους μεγαλύτερους σταθμούς των ΗΠΑ. Σύμφωνα με την εταιρεία, το τερματικό θα λειτουργεί ως ενδιάμεσος σταθμός, ενοικιάζοντας την δυνατότητα αεριοποίησης σε τρίτους. Επίσης, προβλέπεται η κατασκευή αγωγού μήκους 192 χλμ για την διασύνδεση του με το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου. Ο ιδιοκτήτης είναι η Oregon LNG, ενώ η χωρητικότητα του θα κυμαίνεται στα 480.000 m<sup>3</sup>.

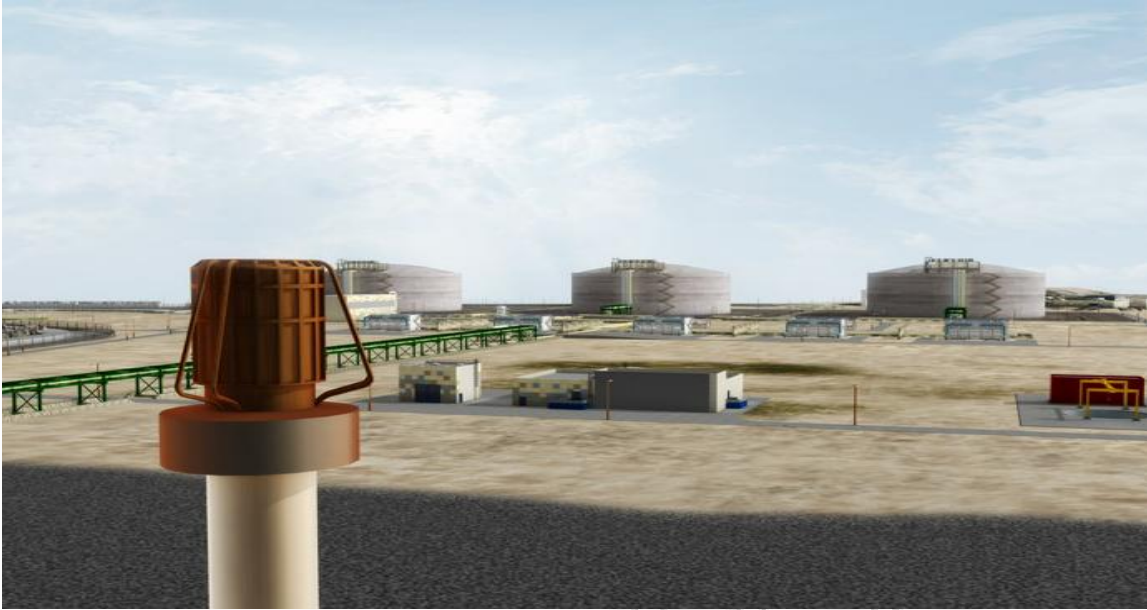


**Εικόνα 1.12:** Τερματικό Oregon (Πηγή : Energia, 2012)

## Τερματικό της Δουνκέρκης

Στα βόρεια της Γαλλίας και σε απόσταση 10 χλμ από τα σύνορα του Βελγίου, κατασκευάζεται το τερματικό της Δουνκέρκης με εκκίνηση το 2015 και χωρητικότητα 480.000 m<sup>3</sup>, το οποίο θα μπορεί να εξυπηρετήσει 80 πλοία LNG ετησίως και θα έχει δυνατότητα να καλύψει το 20% των αναγκών της Γαλλίας. Ιδιοκτήτης είναι η EDF, Fluxys, και η Total





**Εικόνα 1.13:** Φωτορεαλιστικό Τερματικό της Δουνκέρκης (Πηγή : Energia, 2012)

### Τερματικό Le Harve

Στο λιμάνι Άντιφερ της Νορμανδίας, όπου βρίσκεται το πετρελαϊκό κέντρο της Γαλλίας, ήδη εισάγεται το 20% των ποσοτήτων αργού που χρειάζεται η χώρα. Σύμφωνα με την Gaz de Normandie, το νέο τερματικό που θα τεθεί σε λειτουργία το 2014, θα δημιουργήσει ένα νέο σημείο εισόδου για τη γαλλική αγορά και θα ενισχύσει την ασφάλεια παροχής της Γαλλίας και της Ε.Ε με πρόσθετα 510.000 m<sup>3</sup>.



**Εικόνα 1.14:** Τερματικός Σταθμός Le Harve (Πηγή : Energia, 2012)

## Singapore LNG

Η εν λόγω μονάδα θα είναι η πρώτη της συγκεκριμένης ασιατικής χώρας και θα εγκατασταθεί στη νήσο Τζουρόνγκ. Σήμερα είναι ολοκληρωμένη κατά 80% και θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί 3 εκατ. τόνους LNG ετησίως, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση της χώρας από αγωγούς. Ο ιδιοκτήτης είναι η Singapore Energy Company, με έναρξη λειτουργίας το 2013 και τροφοδοσία 540.000 m<sup>3</sup> ετησίως.



**Εικόνα 1.15:** Φωτορεαλιστικό Τερματικό Σταθμού Singapore (Πηγή : Energia, 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (Υ.Φ.Α.) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Πρωταγωνιστικό ρόλο στην αγορά φυσικού αερίου της Μεσογείου και των Βαλκανίων ανέλαβε η Ελλάδα το 1999, με την πραγματοποίηση κατάλληλων επενδύσεων στον τομέα της ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στην κατασκευή του τερματικού σταθμού στη Νήσο Ρεβυθούσα.

#### 2.1. Η ιστορία του φυσικού αερίου στην Ελλάδα και στον κόσμο

Τα πρώτα στοιχεία που έχουμε για την ύπαρξη φυσικού αερίου έχουν καταγραφεί από αρχαιότατων χρόνων, το 6000 και το 2000 π.Χ. στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται το Ιράν.

Υπάρχουν μελετητές που αναφέρουν πως οι πρώτοι που έκαναν χρήση φυσικού αερίου οι Κινέζοι το 900 π.Χ. περίπου και το μετέφεραν με αγωγούς από μπαμπού.

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

Η μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου με αγωγούς αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1920 και αποτέλεσε ένα σημαντικό στάδιο στη χρήση του αερίου. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ακολούθησε μια περίοδος τεράστιας κατανάλωσης, που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Το 1960

η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ήταν 470 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και το 1979 ήταν 1,459 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το 1950 το φυσικό αέριο αποτελούσε το 12% της καταναλισκόμενης παγκοσμίως ενέργειας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε σε 14,6% το 1960 και σε 25% το 1980. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ) η κατανάλωση φυσικού αερίου θα υπερβεί την κατανάλωση άνθρακα μετά το 2010 και περί το 2030 θα καλύπτει το 1/4 των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών.

Το Φεβρουάριο του 1988 υπογράφεται η πρώτη διακρατική συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Αλγερίας, για τον εφοδιασμό της χώρας μας με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο. (ΔΕΠΑ, 2012)

## 2.2 Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη Νήσο Ρεβυθούσα

Ο Τερματικός Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Υ.Φ.Α.) Ρεβυθούσας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εθνικές υποδομές της χώρας μας. Συγκαταλέγεται στους δεκατρείς (13) αντίστοιχους σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου, που λειτουργούν σήμερα σε όλο το χώρο της Μεσογείου και της Ευρώπης. Ο Σταθμός είναι εγκατεστημένος στη νήσο Ρεβυθούσα, 500 μέτρα περίπου από την ακτή της Αγίας Τριάδας, στον κόλπο Πάχης Μεγάρων, 45 χλμ. δυτικά της Αθήνας.

Ο Σταθμός ΥΦΑ σχεδιάστηκε και λειτουργεί, σύμφωνα με τις αυστηρότερες προδιαγραφές ασφαλείας τόσο για τους εργαζομένους στο νησί όσο και για τους κατοίκους των γύρω περιοχών. Η τεχνολογία επεξεργασίας του υγροποιημένου φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται τηρεί αυστηρά την Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Η διατήρηση των υψηλών προδιαγραφών ασφαλείας και σεβασμού προς το περιβάλλον ελέγχονται και πιστοποιούνται διαρκώς από ανεξάρτητους φορείς, καθώς ο Σταθμός είναι πιστοποιημένος κατά τα πρότυπα OHSAS 18001 και ISO 14001.

Στα δέκα χρόνια λειτουργίας του έχουν παραληφθεί πάνω από 300 φορτία υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ), που φθάνουν στη Ελλάδα με δεξαμενόπλοια και αποθηκεύονται προσωρινά στις δύο δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 130.000 m<sup>3</sup> ΥΦΑ και στη συνέχεια, στις ειδικές εγκαταστάσεις αεριοποίησης του Σταθμού, το ΥΦΑ μετατρέπεται ξανά σε αέριο και τροφοδοτεί το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου.

Η εγκατάσταση ΥΦΑ κατέστη λειτουργική το έτος 2000. Το πρώτο πλοίο το οποίο προσέγγισε ήταν το CENTURY, που μετέφερε περίπου 30.000 m<sup>3</sup> υγροποιημένο φυσικό αέριο, αλγέρινης καταγωγής. Στις αρχές του 2008, ολοκληρώθηκε η φάση επέκτασης της εγκατάστασης με αποτέλεσμα την αύξηση της Δυναμικότητας Αεριοποίησης και την αύξηση της Δυναμικότητας έγχυσης του Φορτίου, από πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 4)

Ο Τερματικός Σταθμός ΥΦΑ αποτελεί ένα σπουδαίο ενεργειακό κεφάλαιο για την Ελλάδα, αφού παρέχει ασφάλεια ενεργειακής τροφοδοσίας, λειτουργική ευελιξία στο σύστημα μεταφοράς και αυξημένη δυνατότητα κάλυψης αιχμακίων απαιτήσεων της αγοράς Φυσικού Αερίου.

### 2.2.1 Γεωγραφική θέση Τερματικού Σταθμού

Η γεωγραφική θέση της ερημονησίδας Ρεβυθούσας βρίσκεται στον κόλπο των Μεγάρων στην περιοχή της Πάχης, με γεωγραφικές συντεταγμένες 37 57', 8'' γ πλάτος και 23 24' γ μήκος. Η έκταση της νησίδας είναι 150000 m<sup>2</sup>.



**Εικόνα 2.1.:** Γεωγραφική Θέση Ν Ρεβυθούσας (Πηγή Δ.Ε.Σ.Φ.Α. 2012)



**Εικόνα 2.2.:** Δορυφορική Εικόνα της θέσης του Τερματικού (Πηγή: Δ.Ε.Σ.Φ.Α., 2012 )

Η νησιωτική περιοχή της Πάχης, αποτελείται κυρίως από παραθεριστικές και λοιπές οικιστικές περιοχές με σημαντικό αριθμό εκτάσεων εξωαστικού πρασίνου. Δεν χαρακτηρίζεται ως δασική ή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, αλλά είναι μικτών χρήσεων γης. Στην ευρύτερη περιοχή οι κυριότερες χρήσεις γης αποτελούνται από υποδοχείς πρωτογενών δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα αγροτικές και πτηνοτροφικές εκτάσεις, καθώς και βιομηχανικές περιοχές. Οι τελευταίες εκτείνονται, κυρίως, κατά μήκος του δρόμου όπου ενυπάρχουν αποθηκευτικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια καθώς και στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Στις παράκτιες εκτάσεις, κατά μήκος του δρόμου, καθώς και στις κατοικημένες περιοχές (Μεγάλο Πεύκο, Πάχη και Αγία Τριάδα) υπάρχουν εξοχικές κατοικίες και τουριστικά καταλύματα. (ΔΕΣΦΑ, 2011).

### 2.2.2. Χρησιμότητα Τερματικού Σταθμού

Ο Τερματικός Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ) στη Νήσο Ρεβυθούσα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εθνικές υποδομές. Τον Οκτώβριο του 2007, η εταιρία ΔΕΣΦΑ πραγματοποίησε μια από τις σημαντικότερες επενδύσεις για την ενεργειακή υποδομή της χώρας, ολοκληρώνοντας την αναβάθμιση του 1<sup>η</sup> αναβάθμιση του Τερματικού Σταθμού ΥΦΑ, αυξάνοντας τη δυναμικότητα παραλαβής φορτίων αλλά και τη δυνατότητα αεριοποίησής του.

Ο Σταθμός μπορεί πλέον να υποδέχεται μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια και να παραλαμβάνει γρήγορα και αποτελεσματικά διπλάσιες ποσότητες αερίου. Η αδιάλειπτη δυναμικότητα αεριοποίησης τριπλασιάστηκε από 271 m<sup>3</sup> ΥΦΑ την ώρα πριν την αναβάθμισή του, σε 1.000 m<sup>3</sup> ΥΦΑ/h παρέχοντας του τη δυνατότητα να επεξεργάζεται τριπλάσιες ποσότητες υγροποιημένου φυσικού αερίου και να τροφοδοτεί το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς με 5,2 – 5,3 δις. m<sup>3</sup> ΦΑ ετησίως. Αυτή τη στιγμή, βρίσκονται σε διαδικασία ωρίμανσης οι μελέτες για τη 2 Αναβάθμιση του νησιού που θα έχει ως σκοπό

Ο Υφιστάμενος Τερματικός Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου λειτουργεί στη νήσο Ρεβυθούσα από το 1999. Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του μεταφερόμενου ΥΦΑ και την επαναεριοποίηση αυτού, ώστε να δοθεί στην κατανάλωση. Η εγκατάσταση Υ.Φ.Α. έχει σχεδιασθεί για να πραγματοποιεί τις εξής διαδικασίες:

- Έγχυση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου από πλοίο μεταφοράς
- Αποθήκευση ποσοτήτων Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στις δεξαμενές
- Επαναυγροποίηση των αερίων που προκύπτουν από φυσική εξάτμιση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στις δεξαμενές
- Άντληση και αεριοποίηση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου
- Έγχυση του Φυσικού Αερίου στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου

### 2.3. Μελλοντικές Ενεργειακές Υποδομές

Η Πλωτή Μονάδα Αεριοποίησης ΥΦΑ στην Αλεξανδρούπολη, που πρόκειται να κατασκευαστεί έως το 2015, θα αποτελέσει σημαντικό πυλώνα και αναπτυξιακό στόχο στην αύξηση του ενεργειακού δυναμικού της χώρας.

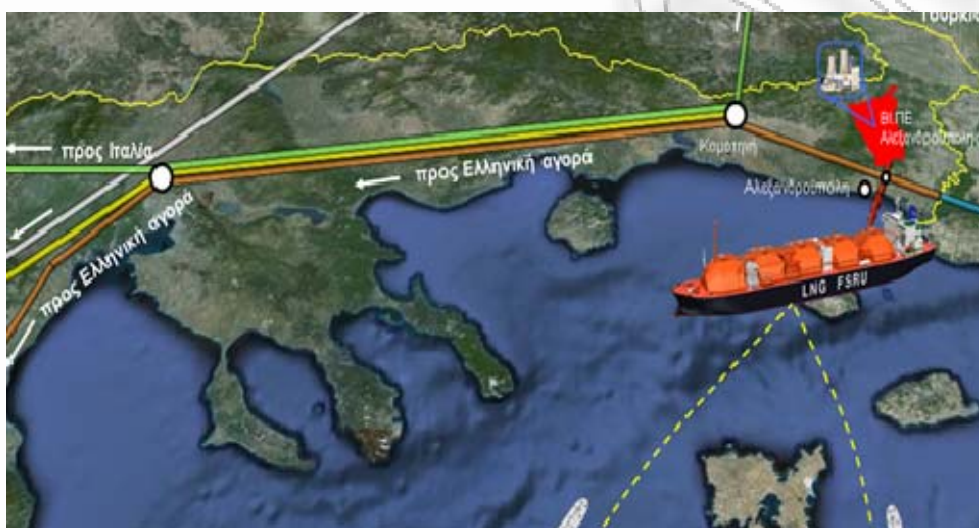
Ο υπεράκτιος πλωτός τερματικός σταθμός ΥΦΑ θα έχει ενσωματωμένη μονάδα αεριοποίησης –FSRU (Floating Storage and regasification) με μέση ωριαία δυναμικότητα αεριοποίησης φυσικού αερίου 300.000 Nm<sup>3</sup>/h, χωρητικότητα δεξαμενών 135.000m<sup>3</sup> και ετησία δυναμικότητα 2,6 δις m<sup>3</sup> φυσικού αερίου.

Επίσης εγκατάσταση και εκμετάλλευση τερματικού σταθμού LNG στη βιομηχανική περιοχή της Καβάλας. Το σκεπτικό είναι ότι ο αγωγός διασύνδεσης Ελλάδας – Βουλγαρίας

(IGB), που αναμένεται να λειτουργήσει το 2014, θα πρέπει να έχει εξασφαλισμένες ποσότητες αερίου, που θα πρέπει να προέλθουν τόσο από το Αζερμπαϊζάν, όσο και από LNG. (Capital. 2012)

### 2.3.1 Γεωγραφική Θέση Σταθμού

Ο υπεράκτιος πλωτός τερματικός σταθμός (FSRU), θα βρίσκεται στην περιοχή του Θρακικού Πελάγους, περί τα 22 km νοτιοδυτικά του λιμένα Αλεξανδρούπολης και 10 km από την ακτή της Μάκρης.



**Εικόνα 2.3.:** Εικόνα της θέσης του πλωτού Τερματικού (Πηγή: Ευθυμιάδης, 2012)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η τυπική διαδικασία εκφόρτωσης δεξαμενοπλοίων ΥΦΑ σε τερματικούς σταθμούς αεριοποίησης.

#### 3.1 Τυπική διαδικασία εκφόρτωσης ΥΦΑ

Τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς ΥΦΑ εφαρμόζουν την εξής διαδικασία αφίξεως πλοίου

1. Αναχώρηση από το λιμάνι φόρτωσης
2. Αναγγελία αναμενόμενου χρόνου άφιξης
3. Πρόσβαση στην εγκατάσταση/ διαδικασία αγκυροβολίας
4. Διαδικασία Πρόσδεσης /Απόσδεσης
5. Διαδικασία Διαχείρισης Φορτίου
6. Πέρασ εκφόρτωσης

Αναλυτικότερα για το κάθε στάδιο

#### Αναχώρηση από το λιμάνι φόρτωσης

Μετά την αναχώρηση από το λιμάνι φόρτωσης ή άλλο λιμάνι με προορισμό τον τερματικό εξαγωγής (αεριοποίησης), ο πλοίαρχος μέσω του πράκτορα του πλοίου, αποστέλλει με φαξ ή ηλεκτρονικά το όνομα του πλοίου, το λιμένα νηολογήσεως, το όνομα του πλοιάρχου, τον αναμενόμενο χρόνο άφιξης, την ολική χωρητικότητα του πλοίου σε GRT, το ολικό μήκος του πλοίου, το πρωαίο (πλώρη) και πρυμναίο (πρύμνη) βύθισμα του πλοίου κατά την άφιξη και κατά τον απόπλου, το πιστοποιητικό ποιότητας και ποσότητας του ΥΦΑ προς εκφόρτωση, τον αριθμό πληρώματος, το λιμάνι φόρτωσης και τέλος το λιμάνι στο οποίο έγινε η τελευταία προσέγγιση. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 6)

#### Αναγγελία αναμενόμενου χρόνου άφιξης

Η αναγγελία του αναμενόμενου χρόνου αφίξεως του πλοίου πραγματοποιείται από τον πράκτορα του πλοίου στον επικεφαλής της εγκατάστασης ΥΦΑ συνήθως 72, 24 και 12 ώρες πριν την άφιξη. Τουλάχιστον 24 ώρες πριν το αναμενόμενο χρόνο άφιξης του πλοίου ο SFSO (Ship Facility Security Officer) ειδοποιεί τον PFSO (Port Facility Security Officer) της εγκατάστασης στον οποίο προσδιορίζει το επίπεδο ασφάλειας που θα τηρήσει κατά τον ελλιμενισμό και την εκφόρτωση στην Εγκατάσταση ΥΦΑ. Ο PFSO απαντά και αποδέχεται ή επιβάλλει το επίπεδο ασφάλειας που θα τηρήσει η εγκατάσταση ΥΦΑ.

Το πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ εκτός των παραπάνω χρονικών διαστημάτων ενημερώνει τον επικεφαλής της εγκατάστασης ΥΦΑ, για οτιδήποτε μπορεί να αλλάξει τον αναμενόμενο χρόνο άφιξης πλοίου. Οι πλοίαρχοι οφείλουν να είναι ενήμεροι ότι το εκάστοτε Λιμενικό Σώμα της περιοχής, είναι η αρχή που έχει την αρμοδιότητα για κάθε θέμα που αφορά ασφάλεια, πιθανή ρύπανση από πετρελαιοειδή και ελευθεροκοινωνία, όπως αυτές οι αρμοδιότητες εφαρμόζονται περιλαμβάνονται στους Γενικούς Κανονισμούς του εκάστοτε Λιμένα-Τερματικού. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 7)

#### Πρόσβαση στην εγκατάσταση/ διαδικασία αγκυροβολίας

Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου και εφόσον οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν. Γενικά όλες οι λειτουργίες αγκυροβολίας και αποδέσεως εκτελούνται με τη βοήθεια ρυμουλκών –καβοδετικών, σύμφωνα με τους κανονισμούς της αρμόδιας λιμενικής αρχής στην περιοχή της εγκατάστασης ΥΦΑ. Αυτά καθορίζονται από τον πράκτορα του πλοίου.

Εφόσον ο πλοηγός έχει επιβιβαστεί στο πλοίο, τα ρυμουλκά, οι λέμβοι αγκυροβολίας βρίσκονται στη θέση τους, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία αγκυροβολισμού.

Για τη όλη διαδικασία αγκυροβολίας υπεύθυνοι είναι:

- Ο πλοίαρχος του δεξαμενόπλοιου
- Ο πλοηγός
- Ο υπεύθυνος της προβλήτας όπου επιτηρεί την όλη διαδικασία

Τέλος, το πλοίο παραβάλλεται στην προβλήτα υπό τις οδηγίες του πλοηγού και προσδένεται σύμφωνα με το σχέδιο πρόσδεσης το οποίο έχει καθορισθεί κατά τη διαδικασία συμβατότητας του πλοίου με την Εγκατάσταση ΥΦΑ. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 7)

#### Διαδικασία Πρόσδεσης/ Απόδεσης

Για τη διαδικασία πρόσδεσης /απόδεσης του πλοίου πρέπει να χρησιμοποιούνται λέμβοι με κατάλληλα εκπαιδευμένο πλήρωμα μαζί με συνεργείο αγκυροβολίας στην προβλήτα τα οποία φέρουν τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας.

Ο εξοπλισμός πρόσδεσης του πλοίου θα πρέπει να είναι σύμφωνος με ότι ορίζεται στο Mooring Equipment Guidelines, OCIMF 2008 (Οδηγίες Εξοπλισμός Ελλιμενισμού). Ο αριθμός των κάβων πρόσδεσης αλλά και η διάταξη αυτών καθορίζεται κατά τη διαδικασία έγκρισης της συμβατότητας του πλοίου με την προβλήτα. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 8)

#### Διαδικασία Διαχείρισης φορτίου

Η εγκατάσταση ΥΦΑ πριν την έναρξη του πλοίου πρέπει να προβεί στις ακόλουθες ενέργειες για την ασφαλή διαχείριση της όλης διαδικασίας εκφόρτωσης. Σε διάστημα 48 ωρών γίνεται έλεγχος των βραχιόνων εκφόρτωσης, του πύργου πρόσβασης στο πλοίο (gangway) και έλεγχος του συστήματος γάντζων πρόσδεσης. Δύο ώρες νωρίτερα μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα πρόσδεσης (Docking System) - κέντρο ελέγχου εγκατάστασης και ρυθμίζεται η παροχή αζώτου προς τους βραχιόνες (swivel joint). (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 8)

### **1 Προετοιμασία για πρόσβαση στο πλοίο**

Για την προετοιμασία πρόσβασης στο πλοίο το προσωπικό της εγκατάστασης εκτελεί τις παρακάτω ενέργειες:

- δίνεται στο πλοίο το καλώδιο της γείωσης, το οποίο συνδέεται από το πλήρωμα του πλοίου και ενεργοποιείται από τον χειριστή της προβλήτας.
- δίνεται το καλώδιο του ESD/επικοινωνιών (public, hot line) και συνδέεται από το πλήρωμα του πλοίου στην κατάλληλη θέση.

- δίνεται η μάνικα πυρκαγιάς από το πλοίο και συνδέεται με το δίκτυο πυρασφαλείας της Εγκατάστασης (όχι υπό πίεση).
- το πλοίο θέτει σε λειτουργία την κουρτίνα διαβροχής της εξωτερικής επιφάνειάς του στην περιοχή των βραχιόνων.
- τοποθέτηση της σκάλας πρόσβασης (gangway) της εγκατάστασης στο πλοίο, μετά και την σύμφωνη γνώμη του πλοίου.

## **2 Σύσκεψη στο πλοίο πριν την Εκφόρτωση**

Ο υπεύθυνος εκφόρτωσης, ο επικεφαλής της βάρδιας και ο καπετάνιος του πλοίου (or the chief officer) πραγματοποιούν σύσκεψη και καταγράφουν τις βασικές παραμέτρους, το σχέδιο εκφόρτωσης, τα θέματα ασφαλείας ή/και οποιαδήποτε άλλο θέμα μπορεί να έχει προκύψει.

Εν συνεχεία, ο καπετάνιος του πλοίου υπογράφει την πολιτική της εγκατάστασης για την ασφάλεια, την προστασία του περιβάλλοντος και των μέσων ατομικής προστασίας των εμπλεκόμενων στη διαδικασία εκφόρτωσης της εγκατάστασης. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 9)

## **3 Επικοινωνία πλοίου - εγκατάστασης**

Η Εγκατάσταση εφοδιάζει το πλοίο με φορητό ασύρματο UHF (walky talky-radio communication), μπαταρία και φορτιστή μπαταρίας. Η επικοινωνία μεταξύ πλοίου και εγκατάστασης επιτυγχάνεται σε UHF συχνότητες και ελέγχεται η λειτουργία. Συγχρόνως, εφεδρικό σύστημα επικοινωνίας μέσω ναυτικών συχνοτήτων VHF, πραγματοποιείται από το πλοίο με την εγκατάσταση κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 9)

## **4 Λίστα ασφαλείας πλοίου – εγκατάστασης**

Πραγματοποιείται ο έλεγχος της λίστας ασφαλείας του πλοίου, τσεκάρεται και συνυπογράφεται. Ο επανέλεγχος της λίστας γίνεται ανά 4 ωρο καθ'όλη τη διάρκεια της εκφόρτωσης στα θέματα τα οποία καθορίζονται από την ίδια τη λίστα. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 9)

## **5 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 τα απαραίτητα φίλτρα (strainers) στην πολλαπλή του πλοίου όπου και θα γίνει η μεταφορά του ΥΦΑ. Οι βραχίονες περιλαμβάνουν αυτούς που μεταφέρουν ΥΦΑ αλλά και ατμούς. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, προωθούνται στο πλοίο αέρια, για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών του πλοίου σταθερή και να καταλαμβάνουν τον κενό χώρο που δημιουργείται από την ποσότητα ΥΦΑ που μεταφέρεται στην εγκατάσταση. Η μεταφορά αερίων προς το πλοίο πραγματοποιείται με φυσική ροή και για αυτό το λόγο πρέπει να διατηρείται διαφορά πίεσης μεταξύ της εγκατάστασης και του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ.

Έτσι όλοι οι δύσκαμπτοι βραχίονες της εγκατάστασης είναι εφοδιασμένοι με υδραυλικό σύστημα QC/DC, με διπλές βάνες απομόνωσης και σύστημα γρήγορης αποσύνδεσης PERC, στην περίπτωση ατυχήματος. Μετά την σύνδεση των βραχιόνων γίνεται άνοιγμα των διπλών βανών (Double Valves) και οπλίζεται το σύστημα PERC. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 10)

## **6 Αδρανοποίηση Βραχιόνων 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 <1% κ.ο.

Ο έλεγχος διαρροών (leak test) 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. Ο έλεγχος θεωρείται επιτυχής όταν δεν υπάρχει διαρροή σε πίεση 1 barg για τους βραχίονες αερίων και 5 barg για τους βραχίονες ΥΦΑ.

## **7 Μέτρηση φορτίου (opening custody transfer)**

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

Η μέτρηση του φορτίου πραγματοποιείται όταν όλες οι βάνες του πλοίου προς την εγκατάσταση 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 είναι στη διάθεση της εγκατάστασης σε κάθε ζήτηση για επιβεβαίωση των μετρήσεων.

Γίνεται καταγραφή του μετρητή του αερίου προς τον καυστήρα του πλοίου, με την λήψη των σταθμών των δεξαμενών του πλοίου.

Η μέτρηση πριν από την εκφόρτωση γίνεται με την παρουσία τόσο του εκπροσώπου της εγκατάστασης όσο και του πλοίου και μπορεί να υπάρχει και τρίτο μέρος (επιθεωρητής) για την επιβεβαίωση της μέτρησης και την μέτρηση του φορτίου. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 11)

## **8 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 αέρια, σύμφωνα με τις πιέσεις που επικρατούν στις δεξαμενές του πλοίου και της εγκατάστασης. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 11)

## **9 Έλεγχος του συστήματος έκτακτης ανάγκης, ESD (warm)**

Ο έλεγχος του ESD πραγματοποιείται σε θερμή κατάσταση των βραχιόνων, πριν από την ψύξη. Η ενεργοποίηση του συστήματος πραγματοποιείται χειροκίνητα 2 φορές από το κέντρο ελέγχου του πλοίου και από το κέντρο ελέγχου της εγκατάστασης. Ο χρόνος απόκρισης των ESD βανών της εγκατάστασης συνήθως είναι 30sec. Μία φορά το χρόνο ή

όταν απαιτηθεί από το πλοίο πραγματοποιείται και ψυχρό ESD (cold ESD), μετά την ψύξη των βραχιόνων. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 11)

## **10 Έλεγχος και αποκατάσταση του ESD από το πλοίο και την εγκατάσταση. 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 βοηθητικές αντλίες (spray rumps). 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 5o C/min.

Η διαδικασία της ψύξης ολοκληρώνεται όταν η θερμοκρασία των βραχιόνων έχει μειωθεί στους -140oC. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 11)

## **11 Έγχυση ΥΦΑ**

Η εγκατάσταση με το πέρας της ψύξης των βραχιόνων δίνει την έγκρισή της στο πλοίο για την εκκίνηση των αντλιών εκφόρτωσης ΥΦΑ. Ο αριθμός των αντλιών, ο μέγιστος ρυθμός εκφόρτωσης και η συνολική ποσότητα έγχυσης ΥΦΑ, 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 μια - μια 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 είναι 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 παραμένει στις δεξαμενές προς εκφόρτωση είναι 75%, 50%, 25%.

Το πλοίο ενημερώνει την εγκατάσταση όταν αρχίζει να μειώνει το ρυθμό εκφόρτωσης και να δίνει τον ακριβή αριθμό αντλιών που παραμένουν ακόμη 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 βραχίονες της εγκατάστασης αποστραγγίζουν προς το δοχείο περισυλλογής υγρού της εγκατάστασης και προς το πλοίο με πίεση αζώτου. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 13)

## **12 Μέτρηση Φορτίου (closing custody transfer)**

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. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 14)

## **13 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 περί τις 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 <1% κ.ο. 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% κ.ο. Τελευταίος απομακρύνεται ο βραχίονας των αερίων. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 14)

## **14 Πέρας Εκφόρτωσης ΥΦΑ**



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

- Αποσύνδεση του καλωδίου επικοινωνιών από το πλοίο, επαναφορά στην εγκατάσταση (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 15)
- Απόσυρση του πύργου πρόσβασης στο πλοίο, όταν ζητηθεί από τον επικεφαλής βάρδιας. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 15)
- Αποσύνδεση του καλωδίου της Γείωσης από το πλήρωμα του πλοίου και επιστροφή στην εγκατάσταση. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 15)

Παρουσία του πλοηγού, του υπευθύνου προβλήτας της εγκατάστασης, των ρυμουλκών και του συνεργείου αποσύνδεσης κάβων, πραγματοποιείται η αποσύνδεση των κάβων του πλοίου σύμφωνα με το σχέδιο αποσύνδεσης και απομάκρυνσης του πλοίου από την προβλήτα. (ΔΕΣΦΑ 2011, σελ 15)

### 3.2 Διεργασίες κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης ΥΦΑ σε τερματικούς σταθμούς

#### I. Εκφόρτωση Πλοίων

Για την έγχυση ΥΦΑ από πλοία μεταφοράς στις δεξαμενές αποθήκευσης των τερματικών, υπάρχει κατάλληλο σύστημα βραχιόνων και γραμμών έγχυσης. Το σύστημα βραχιόνων αποτελείται από βραχίονες έγχυσης ΥΦΑ, και βραχίονες αερίων, για τη μεταφορά από και προς το πλοίο μεταφοράς. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, προωθούνται στο πλοίο αέρια, για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών του πλοίου σταθερή και να καταλαμβάνουν τον κενό χώρο που δημιουργείται από την ποσότητα ΥΦΑ που μεταφέρεται στην εγκατάσταση. Η μεταφορά αερίων προς το πλοίο πραγματοποιείται με φυσική ροή και για αυτό το λόγο πρέπει να διατηρείται διαφορά πίεσης μεταξύ της εγκατάστασης και του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ.

#### II. Αποθήκευση

Για την αποθήκευση του ΥΦΑ υπάρχουν δεξαμενές αποθήκευσης στους τερματικούς. Το ΥΦΑ αποθηκεύεται σε θερμοκρασία περίπου  $-160^{\circ}\text{C}$  και σε περίπου ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτές τις συνθήκες, στις δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ δημιουργούνται αέρια (κυρίως μεθάνιο και άζωτο) από φυσική εξάτμιση του ΥΦΑ. Για τη διατήρηση της πίεσης των δεξαμενών σε χαμηλά επίπεδα στην εγκατάσταση ΥΦΑ έχει προβλεφθεί σύστημα απομάκρυνσης και επανάκτησης των αερίων από τις δεξαμενές. Αυτό το σύστημα αποτελείται από συμπιεστές αερίου, τον επανασυμπυκνωτή αερίων και κατάλληλο δίκτυο σωληνώσεων.

Το σύστημα άντλησης και αεριοποίησης του αποθηκευμένου ΥΦΑ, αποτελείται από αντλίες χαμηλής πίεσης οι οποίες συνήθως είναι εμβαπτισμένες στις δεξαμενές αποθήκευσης και οδηγούν το αντλούμενο ΥΦΑ στον επανασυμπυκνωτή ή κατευθείαν στις αντλίες υψηλής πίεσης της εγκατάστασης. Ο επανασυμπυκνωτής (recondeser) λειτουργεί επίσης ως δοχείο αναρρόφησης των αντλιών υψηλής πίεσης. Οι αντλίες υψηλής πίεσης ανεβάζουν την πίεση του ΥΦΑ και το αποστέλλουν στους αεριοποιητές για αεριοποίηση. (Ασπροφός 2012, σελ 107)

Οι αεριοποιητές είναι εγκαταστάσεις που σκοπό έχουν να δώσουν την απαιτούμενη θερμότητα στο ΥΦΑ ώστε να αεριοποιηθεί. Το πιο σύνηθες σε τερματικούς είναι οι αεριοποιητές θαλασσινού νερού και οι αεριοποιητές καύσης ΦΑ. (Ασπροφός 2012, σελ 108)

### III. Επανασυμπύκνωση αερίων

Απαέρια δημιουργούνται στις υφιστάμενες δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ (κανονική λειτουργία εγκαταστάσεων) κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης του ΥΦΑ και στις σωληνώσεις του ΥΦΑ. Ο σχηματισμός των απαερίων στις δεξαμενές (φυσικό boil off) οφείλεται κυρίως στη μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον στις δεξαμενές, καθώς και στη λειτουργία των εμβαπτιζόμενων αντλιών ΥΦΑ μέσα στις δεξαμενές. Η ποσότητα αυτή των παραγόμενων αερίων ΦΑ μπορεί:

- Να επανασυμπυκνωθεί στον επανασυμπυκνωτή
- Να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στο σταθμό (π.χ. στους αεριοποιητές καύσης).
- Να καεί στον πυρσό ασφαλείας.

Κατά την κανονική λειτουργία ενός σταθμού μια από τις δυο πρώτες λύσεις υλοποιείται. Η τρίτη λύση χρησιμοποιείται μόνον σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Κατά την κανονική λειτουργία των εγκαταστάσεων, ένας παλινδρομικός συμπιεστής απαερίων χρησιμοποιείται μόνον. Ένας ακόμα συμπιεστής χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης του πλοίου. Υπό κανονικές συνθήκες, ο ρυθμός παραγωγής ατμών ΥΦΑ είναι μεγαλύτερος από τον όγκο του υγρού, που αφαιρείται συνεχώς από τις δεξαμενές για την τροφοδότηση πιθανόν δικτύων .

Σε περίπτωση που ο ρυθμός τροφοδότησης των εν γένει δικτύων είναι πολύ μεγάλος, τότε δεν απαιτείται επαναυροποίηση των ατμών ΥΦΑ, αλλά αντίθετα απαιτείται πρόσθετη παραγωγή αερίων, που επιτυγχάνεται αυτόματα λόγω της μείωσης της πίεσης εντός των δεξαμενών που προκαλεί ο μεγάλος ρυθμός τροφοδότησης του αγωγού. (Ασπροφός 2012, σελ 106)

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης ενός πλοίου αφ' ενός μεν πρόσθετα ποσά αερίων ΥΦΑ παράγονται στη διαδικασία εκφόρτωσης, αφ' ετέρου δε λόγω πλήρωσης των δεξαμενών τα

υπάρχοντα ποσά αερίων μέσα στις δεξαμενές πρέπει να απομακρυνθούν για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών σταθερή.

Σε κανονική λειτουργία, τα συμπιεσμένα απαέρια αποστέλλονται στον επανασυμπυκνωτή, όπου υγροποιούνται και στη συνέχεια αποστέλλονται στους αεριοποιητές για να τροφοδοτήσουν το εκάστοτε δίκτυο. Σε περιπτώσεις υψηλών ποσών απαερίων και σε έκτακτες περιπτώσεις τα παραγόμενα αέρια αν δεν μπορούν να διαχειριστούν αποστέλλονται στον πυρσό προς καύση. (Ασπροφός 2012, σελ 110)

Ο πυρσός ασφαλείας είναι απαραίτητος για την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων. Στον πυρσό οδηγούνται τα απαέρια από τις δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ και τις βαλβίδες ανακούφισης. Προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ΦΑ στον πυρσό, το σύστημα του πυρσού είναι συνδεδεμένο με την ρυθμιστική βάνα πίεσης των δεξαμενών αποθήκευσης. Υπό κανονικές συνθήκες, όταν δηλαδή η πίεση των δεξαμενών δεν ξεπερνά το προβλεπόμενο όριο, τα απαέρια επαναυγροποιούνται. (Ασπροφός 2012, σελ 111) Όταν η πίεση στις δεξαμενές υπερβεί το όριο τότε ανοίγει η ρυθμιστική βάνα πίεσης και ένα μέρος των απαερίων οδηγούνται στον πυρσό. Σε περίπτωση που η ρυθμιστική βάνα πίεσης δεν ανοίξει, τότε ανοίγουν οι βαλβίδες ανακούφισης της δεξαμενής που αποτελούν και το σύστημα προστασίας του εξοπλισμού από υπερπίεση. (Ασπροφός 2012, σελ 112)

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας δεν παράγεται περίσσεια αερίων. Υπό τις συνθήκες αυτές οδηγείται στον πυρσό μόνο το ρεύμα ΦΑ που κυκλοφορεί στον σταθμό για να αποτρέψει την είσοδο αέρα στον εξοπλισμό.

Σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, η λειτουργία του σταθμού διακόπτεται και το boil - off των δεξαμενών οδηγείται στον πυρσό. Το σύστημα του πυρσού μπορεί να καλύπτει το σύνολο των απαερίων των δεξαμενών, που παράγονται σε μη κανονικές συνθήκες και σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης και θα μπορεί να καλύπτει τα αέρια που εκλύονται από τις βαλβίδες ανακούφισης σε έκτακτες τυχαίες περιστάσεις.

Στον πυρσό οδηγούνται απαέρια από τις παρακάτω μονάδες:

1. Τις δεξαμενές ΥΦΑ και τη γραμμή αερίων
2. Το δίκτυο του πυρσού (ασφαλιστικές βαλβίδες)
3. Το Knock-out Drum του συστήματος αερίου

Ο μέγιστος ρυθμός παραγωγής απαερίων στις δεξαμενές εμφανίζεται κάτω από έκτακτες συνθήκες, όπως με το φαινόμενο **Roll over**. Για την εμφάνιση αυτού του φαινομένου θα πρέπει να δημιουργηθούν στο αποθηκευμένο ΥΦΑ στρώματα προϊόντος διαφορετικών πυκνοτήτων. Αυτό μπορεί να προκληθεί από την κακή διαχείριση του αποθηκευμένου και του εγχυόμενου ΥΦΑ από το πλοίο κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης ή σε ορισμένες περιπτώσεις από το ίδιο το υλικό το οποίο τείνει να διαστρωματωθεί ειδικά αν το ποσοστό του περιεχομένου αζώτου είναι πολύ μεγάλο  $>3\%$ . Στην περίπτωση που εμφανιστεί διαστρωμάτωση τότε τα επιμέρους στρώματα έχουν διαφορετική ικανότητα εξάτμισης και άρα αποκτούν διαφορετικές θερμοκρασίες. Η διαφορετική ικανότητα εξάτμισης οδηγεί στην μείωση της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ των στρωμάτων και στην εξίσωση τους. Την στιγμή που εξισώνονται οι πυκνότητες δημιουργείται μια αναστροφή των στρωμάτων και απότομη ανάμιξη τους, με αποτέλεσμα την υπερβολική παραγωγή αερίων. Η ποσότητα αυτή μπορεί να είναι είκοσι φορές μεγαλύτερη από εκείνη της κανονικής λειτουργίας. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου σε κάθε δεξαμενή βρίσκεται εγκατεστημένο σύστημα παρακολούθησης της πυκνότητας και της θερμοκρασίας καθ' όλο το ύψος του αποθηκευμένου ΥΦΑ της δεξαμενής.

Εφόσον η παραγωγή απαερίων υπερβαίνει την δυναμικότητα του συστήματος επανασυμπύκνωσης (recondenser) και την ιδιοκατανάλωση, το πλεόνασμα αερίων ΥΦΑ καίγεται στον πυρσό ασφαλείας. Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όταν υπερβαίνεται και η δυναμικότητα του πυρσού, λειτουργεί το σύστημα εκτόνωσης προς την ατμόσφαιρα. Για την αποφυγή εμφάνισης του φαινομένου **Roll over** παρακολουθείται η τυχόν έναρξη διαστρωμάτωσης και εξουδετερώνεται έγκαιρα με ανακυκλοφορία του περιεχομένου της δεξαμενής.

#### *IV Αντληση και αεριοποίηση*

Το ΥΦΑ από τις δεξαμενές αποθήκευσης αντλείται σε εγκαταστάσεις αεριοποίησης και σε αέρια φάση τροφοδοτεί το εκάστοτε σύστημα. Η πίεση ΦΑ στην είσοδο του δικτύου θα πρέπει να υπερκαλύπτει τις πτώσεις πίεσεως του δικτύου. Η υψηλή πίεση θεωρητικά, μπορεί να επιτευχθεί είτε κατά την άντληση του ΥΦΑ πριν τους αεριοποιητές με αντλίες υψηλής πίεσης, ή με συμπίεση από αεριοσυμπιεστές στην αέρια φάση. Η μέσω αντλιών

επίτευξη της προτιμάται γενικά για οικονομικούς λόγους γιατί η ενέργεια που απαιτείται για τη συμπίεση ΦΑ (σε αέρια φάση) είναι 30 φορές περίπου μεγαλύτερη. Παρακάτω γίνεται αναφορά για αεριοποίηση μέσω αντλιών υψηλής πίεσης. (Ασπροφός 2012, σελ 147)

## 1. Σύστημα Αντλησης

Η άντληση του ΥΦΑ από τις δεξαμενές και η τροφοδότηση του στο σύστημα αεριοποίησης επιτυγχάνεται σε δύο στάδια:

- A. με εμβαπτιζόμενες στις δεξαμενές αντλίες χαμηλής πίεσης και
- B. με αντλίες υψηλής πίεσης σε σειρά.

Με τις χαμηλής πίεσης εμβαπτιζόμενες αντλίες επιτυγχάνεται πίεση εξόδου στα 10-15 περίπου barg, ενώ με τις υψηλής πίεσης αντλίες το ΥΦΑ συμπιέζεται στην μέγιστη πίεση των 82-90 barg. Οι εμβαπτιζόμενες αντλίες προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια στις εγκαταστάσεις, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον, γιατί εξαλείφονται οι κίνδυνοι μεγάλης διαρροής ΥΦΑ από διαρροή στις σωληνώσεις σύνδεσης των δεξαμενών αποθήκευσης, μια και αυτές εξέρχονται από την οροφή των δεξαμενών. (Ασπροφός 2012, σελ 130)

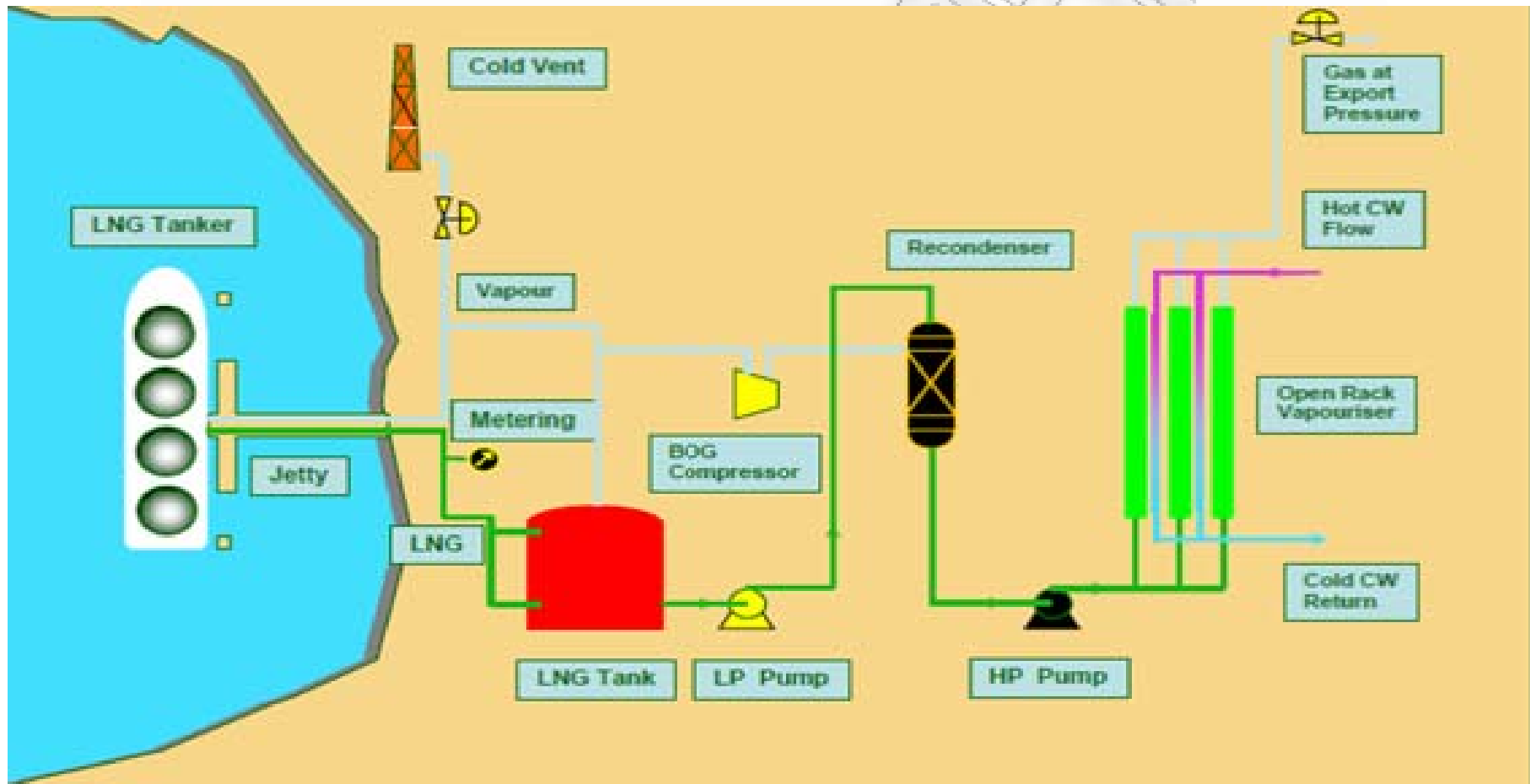
Το ΥΦΑ μετά τις αντλίες χαμηλής πίεσης διέρχεται από τον επανασυμπυκνωτή (recondenser) των απαερίων ΥΦΑ, όπου συμπυκνώνονται αυτά, αν απαιτείται, ή από την γραμμή παράκαμψης του επανασυμπυκνωτή. Ο επανασυμπυκνωτής επιπλέον λειτουργεί και ως δοχείο τροφοδότησης των αντλιών υψηλής πίεσης. Οι αντλίες υψηλής πίεσης, τροφοδοτούν τους αεριοποιητές και στη συνέχεια τα εκάστοτε δίκτυα μεταφοράς.

## 2. Σύστημα Αεριοποίησης

Οι αεριοποιητές είναι εγκαταστάσεις που σκοπό έχουν να δώσουν την απαιτούμενη θερμότητα στο ΥΦΑ, ώστε να αεριοποιηθεί και επιπλέον να θερμάνουν το παραγόμενο ΦΑ πριν την είσοδο του στα δίκτυα μεταφοράς. Υφίσταται οι αεριοποιητές θαλασσινού νερού, αεριοποιητές καύσης φυσικού αερίου αλλά και χρήσης θερμού νερού από μονάδες εσωτερικής καύσης.

Η μεταφερόμενη θερμότητα στο ΥΦΑ πρέπει να καλύψει τις ανάγκες για θέρμανσης του υγρού έως το σημείο βρασμού που λόγω αύξησης της πίεσης είναι πια υψηλότερο των  $-160^{\circ}\text{C}$ , εξάτμισης υγρού, υπερθέρμανσης του παραγόμενου ΦΑ στη θερμοκρασία που πρέπει αυτό να διοχετευθεί στα δίκτυα μεταφοράς.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα τυπικό απλοποιημένο διάγραμμα απεικόνισης των εγκαταστάσεων ΥΦΑ.



Σχήμα 3.1.: Απλοποιημένο διάγραμμα εγκατάστασης ΥΦΑ (Πηγή :Macleod Dixon LLP)



### 3.3 Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης πλοίων LNG και φόρτωσης απαερίων

Η βασική ουσία που λαμβάνει μέρος στην υπό εξέταση παραγωγική διαδικασία είναι το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) και το Φυσικό Αέριο (ΦΑ). Το ΦΑ είναι μίγμα αερίων υδρογονανθράκων αλλά αποτελείται κυρίως από Μεθάνιο. Το Φ.Α. δεν είναι καθαρή ουσία και τα ζητούμενα στοιχεία δίνονται από την ΚΥΑ 18187/272, όπως τροποποιήθηκε από την ΚΥΑ 77119/4607:

**Πίνακας 3.1:** Ταυτότητα Μεθανίου (CH<sub>4</sub>)

Χημική ονομασία	Μεθάνιο
Αριθμός CAS	-
Ονομασία UICPA	Μεθάνιο
Άλλες ονομασίες	-
Εμπειρικός τύπος	(CH <sub>4</sub> ) <sub>v</sub>
Σύνθεση της ουσίας	%C=74.88, %H=25.12
Βαθμός καθαρότητας	τουλάχιστον 86% (μέγιστος 96%)
Κυριότερα λοιπά συστατικά	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (μέχρι 8.5%)= αιθάνιο
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (μέχρι 3%)= προπάνιο
	N <sub>2</sub> (μέχρι 1.4%)=άζωτο

**Οι γενικές ιδιότητες του Φ.Α. (Μεθανίου) είναι οι παρακάτω:**

- Αχρωμο
- Άοσμο
- Μη τοξικό και μη διαβρωτικό αέριο
- Ανενεργός φωτοχημικά υδρογονάνθρακας
- Μη διαλυτό στο νερό

- Ελαφρότερο του αέρα (πάνω από - 100 °C)
- Αναφλέξιμο για την περιοχή των συγκεντρώσεων 5-15% κ.ο. στον αέρα.

Τα γενικά στοιχεία του Μεθανίου αναφέρονται παρακάτω

**Πίνακας 3.2.**:Γενικά στοιχεία Μεθανίου (Πηγή:ΔΕΣΦΑ, 2011)

Μοριακό βάρος	16.04
Πυκνότητα Υγρού (ατμ.Σ.Β. - 161.4 °C)	0.422 gr/cm <sup>3</sup>
Πυκνότητα Αερίου (0 °C, 1 Atm)	0.000717 gr/cm <sup>3</sup>
(15.6 °C, 1 Atm)	0.000680 gr/cm <sup>3</sup>
Ειδικό Βάρος ως προς το νερό	0.248
Ειδικό Βάρος ως προς τον αέρα	0.555
Κανονικό Σημείο Τήξης	-182.6 °C
Κανονικό Σημείο Βρασμού	-161.4°C
Τάση Ατμών	760 mm Hg
Κρίσιμη Πίεση (Pc)	45.8 atm
Κρίσιμη Θερμοκρασία (Tc)	-82.5 °C
Πυκνότητα (Pc)	0.162 gr/cm <sup>3</sup>

Ιξώδες Αερίου (20 °C, 760 mmHg)	0.011 cp
Ιξώδες Υγρού	0.1 cp
Θερμική Αγωγιμότητα υγρού (100 οK)	0.0092 kcal/m.hr. οK
Θερμική Αγωγιμότητα αερίου (300 οK)	0.0294 kcal/m.hr. οK
Ειδική θερμότητα αερίου Cp (15.6 °C)	0.526 cal/gr. °C
Ειδική θερμότητα αερίου Cv (15.6 °C)	0.402 cal/gr. °C
$\gamma=Cp/Cv(15.6^{\circ}C)$	1.307
Ειδική θερμότητα υγρού	0.835 cal/gr. °C
Λανθάνουσα θερμότητα τήξης	14.03 cal/gr
Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμ.(ατμ.Σ.Β. - 161.4 °C)	121.87 cal/gr

Τα Ειδικά Στοιχεία Μεθανίου ως αναφορά την *ευφλεκτικότητα*, τις *προσμίξεις*, τη *διαλυτότητα στο νερό*, την *αντίδραση* και την *εκρηξιμότητα* και τέλος την *τοξικότητα* αναφέρονται παρακάτω:

### A. Ευφλεκτικότητα

**Πίνακας 3.3.:**Ειδικά στοιχεία Μεθανίου (Πηγή:ΔΕΣΦΑ, 2011)

Όρια αναφλέξιμου μίγματος (% κ.ο. στον αέρα )	5-15
Κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας	0.034 kg/m <sup>3</sup> (5% κ.ο)
Ανώτερο όριο αναφλεξιμότητας	0.095 kg/m <sup>3</sup> (15% κ.ο)
Σημείο ανάφλεξης (Flash Point)	-188 °C
Σημείο ανάφλεξης (Closed Cup Flash Point)	Κάτω από 38 °C
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (SIT)	632 °C
Ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης	
Ταχύτητα Καύσης	0.390 m/s

### B. Προσμίξεις

**Πίνακας 3.4.:** Προσμίξεις (Πηγή:ΔΕΣΦΑ, 2011)

H <sub>2</sub> S	0,5 ppm κ.ο. (max)
Ολικό S	30 mg/Nm (max)
Μερκαπτάνες (CH <sub>3</sub> SH)	2,3 mg/Nm <sup>3</sup> (max)
N <sub>2</sub>	0,2- 1,4(%Mol)

### Γ. Διαλυτότητα στο νερό

Η διαλυτότητα του CH<sub>4</sub> στο νερό είναι 0.4 cm<sup>3</sup> σε 100 cm<sup>3</sup> νερό στους 20 °C.

### Δ. Αντίδραση, Εκρηξιμότητα

**Πίνακας 3.5.:** Αντίδραση, Εκρηξιμότητα μεθανίου (Πηγή: ΔΕΣΦΑ, 2011)

Θερμότητα σχηματισμού αερίου CH <sub>4</sub> (25 °C)	-17,889 kcal/mole
Ελεύθερη ενέργεια σχηματισμού αερίου CH <sub>4</sub> (25 °C)	-12,140 kcal/mole
Θερμότητα καύσης αερίου CH <sub>4</sub> (P=ct, 25 °C)	11954 cal/gr
(προϊόντα καύσης: H <sub>2</sub> O (αέριο), CO <sub>2</sub> (αέριο))	
Θερμότητα καύσης αερίου CH <sub>4</sub> (P=ct, 15,6 °C)	55549 KJ/kg

### Ε. Μη τοξικό

### ΣΤ. Μη ραδιενεργός ουσία

Τόσο το ΥΦΑ όσο και το ΦΑ δεν παρουσιάζει καμία τάση για αποσύνθεση. Δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες δευτερεύουσες αντιδράσεις τόσο κάτω από τις μέσες συνθήκες αποθήκευσης όσο και κάτω από δυσμενείς ή ανώμαλες συνθήκες. Για την καύση του ΦΑ απαιτείται παρουσία αέρα και εστία φωτιάς (ή σπινθήρας).

### 3.4 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα από χρήση και διακίνηση ΥΦΑ .

Η αλλαγή του κλίματος είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Ένα φαινόμενο στο οποίο οι θαλάσσιες μεταφορές και η ναυτιλία γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαίωσή του. Λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό ποσοστό αύξησης της θαλάσσιας κίνησης, είναι ουσιαστικό να αντιμετωπιστούν οι εκπομπές αερίων από τη ναυτιλία. Έντεκα χρόνια μετά την υιοθέτησή τους, το Παράρτημα VI της MARPOL αναθεωρείται. Σχέδιο τροποποιήσεων του Παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 εγκρίθηκε από την Υποεπιτροπή Χύδην Υγρών και Αερίων (BLG Sub-Committee) του IMO κατά τη διάρκεια της 12ης συνόδου στις 4 με 8 Φεβρουαρίου 2008.

Η αντικατάσταση ρυπογόνων καυσίμων με Φυσικό Αέριο συνεπάγεται πλήθος αθροιστικών και συνεργιστικών ωφελειών που συνδέονται με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπου οφείλεται η επιτάχυνση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη<sup>(1)</sup>. Η επιστημονική βιβλιογραφία διαθέτει εκτεταμένες αναφορές σχετικά με τα συγκριτικά οφέλη του Φυσικού Αερίου έναντι των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις πλέον καταξιωμένες, διεθνώς, αρχές οι οποίες υποστηρίζουν την παραπάνω επιχειρηματολογία. Η Υπηρεσία Ενέργειας των ΗΠΑ<sup>2</sup>, σε σχετική έκθεση του 2010 αναφέρει ότι εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογίες Φυσικού Αερίου παράγουν χαμηλότερους ρύπους συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες. Για την ακρίβεια, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μόνοι αξιοσημείωτοι ρύποι κατά τη φάση ηλεκτροπαραγωγής με χρήση φυσικού αερίου είναι τα οξείδια του αζώτου, και αυτά σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από άλλες τεχνολογίες. Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ, μάλιστα, στα πλαίσια της σύγκρισης με γεννήτριες που χρησιμοποιούν άνθρακα, αναφέρει ότι οι μέσες εκπομπές CO<sub>2</sub> από την καύση φυσικού αερίου είναι οι μισές, οι μέσες εκπομπές NO<sub>x</sub> πλησιάζουν το ένα τρίτο, ενώ οι μέσες εκπομπές SO<sub>x</sub> το 1%. Προσθέτει, μάλιστα, και σχόλια για την κατανάλωση υδατικών πόρων καθόλη τη γραμμή παραγωγής (από την εξόρυξη έως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) αναφέροντας ότι και σε αυτό τον τομέα το φυσικό αέριο υπερτερεί

<sup>1</sup> IPCC, 2007, *Climate Change 2007 Synthesis Report*, ανάκτηση από [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf), τελευταία πρόσβαση στις 18.08.2012

<sup>2</sup> Department of Energy, 2010 *DOE/NETL-2010/1397*, ανάκτηση από [http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/baseline\\_studies.html](http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/baseline_studies.html), τελευταία πρόσβαση 09-09-2012

περιβαλλοντικά έναντι των άλλων ορυκτών καυσίμων<sup>3</sup>. Τέλος, η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας στα πλαίσια της προετοιμασίας της συνάντησης του ΟΗΕ στο Cancun για την Κλιματική Αλλαγή κατέληξε ότι στην συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας το Φυσικό Αέριο καταλαμβάνει την τελευταία θέση σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.<sup>(4)</sup> Πέρα, από το φυσικό περιβάλλον, ευνοείται και το κοινωνικό περιβάλλον μέσω της μείωση των ρύπων και των καρδιαγγειακών, αναπνευστικών και δερματικών, κυρίως, ασθενειών που συνεπάγεται η ατμοσφαιρική ρύπανση.

**Πίνακας 3.6:** Περιβαλλοντική σύγκριση Φυσικού Αερίου και άλλων Ορυκτών Καυσίμων (Πηγή: EPA, 2011)

FUEL	POLLUTANT			Water Use
	CO <sub>2</sub> (lbs/MWh)	SO <sub>2</sub> (lbs/MWh)	Nox (lbs/MWh)	
Coal	2249	13	6	Μεγάλες ποσότητες για την απομάκρυνση των προσμίξεων σε ορυχεία, ατμό και ψύξη
Oil	1672	12	4	Μεγάλες ποσότητες για την παραγωγή ατμού και ψύξη
Natural Gas	1135	0.1	1.7	Ποσότητες που απαιτούνται για σκοπούς ψύξεως

**Πίνακας 3.7:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά την καύση διαφόρων ορυκτών καυσίμων (Πηγή IEA, 2010).

FUEL	gCO <sub>2</sub> /kWh
Lignite/ brown coal	940
Sub-bituminous coal	930
Patent fuel	880

<sup>3</sup> Environmental Protection Agency – EPA, ανάκτηση από <http://epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect>, τελευταία πρόσβαση στις 09.05.2012

<sup>4</sup> International Energy Agency, 2010 CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights, ανάκτηση από <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>, τελευταία πρόσβαση στις 09.05.2012

Bituminous coal	840
Crude oil	640
Natural gas	370

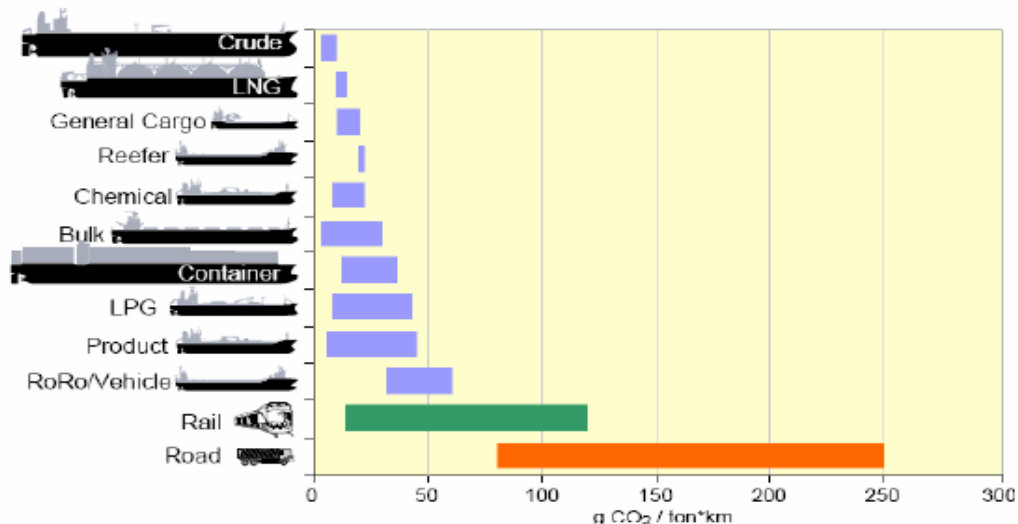
**Πίνακας 3.8:** Εκπομπές Ρύπων ανά Καύσιμο.

Ρυπαντής	Άνθρακας	Μαζούτ	Diesel	Φυσικό Αέριο
NO <sub>x</sub> (mg/MJ)	250	180	170	100
SO <sub>2</sub> (mg/MJ)	110	360	150	0.3
CO (mg/MJ)	80	15	15	10
Αιωρούμενα Σωματίδια (ppm/MJ)	460	115	10	2
Πηγή: OECD, <i>Greenhouse Gas Emissions</i> (1991)				

Η κύρια εκπομπή ρύπων από τα πλοία προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Η καύση γενικά ορίζεται ως μια εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο, η οποία συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη υπό μορφή θερμότητας ενέργεια, να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη. Κατά την καύση, η χημική ενέργεια του καυσίμου, μετατρέπεται σε θερμική, ενώ το οξυγόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή της, λαμβάνεται συνήθως από τον αέρα του περιβάλλοντος. Η καύση είναι μια χημική διαδικασία, κατά την οποία τα συστατικά του καυσίμου οξειδώνονται ταχύτατα από το οξυγόνο που περιέχει ο αέρας καύσης. Τα περισσότερα καύσιμα περιέχουν κυρίως άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και σε μικρότερες ποσότητες θείο (S).

Η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που παράγεται από τα πλοία είναι ανάλογη της κατανάλωσης καυσίμου και της περιεκτικότητας άνθρακα στα καύσιμα. Ενώ η τελευταία μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, η κατανάλωση καυσίμου δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής σε εκτιμήσεις μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με την έκθεση του IMO, ένας τόνος Marine Diesel Oil παράγει με την καύση του 3,09 kg CO<sub>2</sub>, ενώ ένας τόνος Heavy Fuel Oil 3,02 kg CO<sub>2</sub>. Στην περίπτωση των πλοίων LNG, θεωρήθηκε ότι το 45% της συνολικής ενέργειας

για το έμφορτο και υπό έρμα ταξίδι, προέρχεται από την καύση των απαερίων (boil off gas). Συνεπώς, η παραγωγή CO<sub>2</sub> από την καύση του LNG αντιστοιχεί στο 76% της παραγωγής CO<sub>2</sub> από τη χρήση Heavy Fuel Oil. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου έγινε σε διαφορετικές τύπους και μεγέθη πλοίων λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των πλοίων, τη μέση εγκατεστημένη ισχύ κύριων και βοηθητικών μηχανών, τις μέρες λειτουργίας, την ειδική κατανάλωση καυσίμου και τη φόρτιση των μηχανών.



**Σχήμα 3.2:** Σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του μεταφορικού έργου για διάφορα μέσα μεταφοράς (Πηγή: Arthur Bowring 2009)

Παράλληλα ο IMO είχε ζητήσει από την Intertanko (The International Association of Independent Tanker Owners) να του υποβληθεί μία έκθεση που να περιέχει την παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου για διάφορους τύπους πλοίων. Η Intertanko τέλος του 2007 παρέδωσε στον IMO μία έκθεση με τίτλο “Shipping, CO<sub>2</sub> and other emissions” που την σύνταξε ο T.J. Gunner. Η σύνταξη της αναφοράς αυτής έχει γίνει με στοιχεία που έχουν παρθεί από Νηογνώμονες, ιδιοκτήτες πλοίων και ναυπηγεία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κατηγορίες πλοίων, η ισχύς των μηχανών τους και η κατανάλωση Fuel Oil και Diesel Oil .



**Πίνακας 3.9:** Κατηγορίες πλοίων, η ισχύς των μηχανών τους και η κατανάλωση Fuel Oil και Diesel Oil (Πηγή: Arthur Bowring 2009)

Type	Average Main Engine (HP)	Assessed Total HFO Cons. Tonnes	Assessed Total MDO Cons. Tonnes
Bulk	10,367	51,936,915	3,871,826
Chem oil	7,433	9,156,778	911,831
Chemical tankers	4,120	4,806,625	596,544
Combination Carriers	9,395	747,965	60,826
Container	28,234	102,551,791	1,532,544
Crude tanker	19,415	42,700,898	1,075,507
Dry cargo	3,186	20,490,663	6,758,506
<b>Gas Tankers - LNG</b>	<b>36,175</b>	<b>15,675,000</b>	<b>69,120</b>
Gas Tankers - LPG	6,152	6,065,143	586,691
Miscellaneous	3,199	6,453,645	11,362,792
Offshore	5,788	12,437,179	11,606,587
Passenger/Ferry	11,526	27,219,205	12,407,722
Product tanker	5,455	23,103,134	1,617,961
Reefers	5,790	10,497,832	1,768,366
RoRo	9,994	16,453,818	2,510,122
Tanker unspecified	3,071	2,177,679	2,012,271
<b>Average</b>	<b>7,608</b>	<b>352,474,269</b>	<b>58,749,216</b>

**Πίνακας 3.10:** Κατηγορίες πλοίων, τόννοι CO<sub>2</sub> από καύσιμα, ποσοστιαίες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τύπο πλοίου (Πηγή: Arthur Bowring 2009)

Type	CO <sub>2</sub> from Bunker cons. Tonnes (x10 <sup>6</sup> )	% CO <sub>2</sub> emission per ship type
Bulk	168.8124	13.55
Chem oil	30.4697	2.45
Chemical tankers	16.3581	1.31
Comb. Carriers	2.4468	0.20
Container	314.4693	25.24
Crude tanker	132.2893	10.62
Dry cargo	82.7400	6.64
<b>Gas Tankers -</b>	<b>47.5570</b>	<b>3.82</b>

<b>LNG</b>		
Gas Tankers - LPG	20.1288	1.62
Miscellaneous	54.5486	4.38
Offshore	73.3730	5.89
Passenger/Ferry	120.4914	9.67
Product tanker	74.7710	6.00
Reefers	37.1627	2.98
RoRo	57.4403	4.61
Tanker unspecified	12.7856	1.03
<b>Grand Total</b>	<b>1245.8441</b>	<b>100</b>

Ο παραπάνω πίνακας περιλαμβάνει όλους τους τύπους πλοίων, την ισχύ των κυρίων μηχανών τους, την κατανάλωση σε Fuel Oil, την ηλεκτρική κατανάλωση, και φυσικά την κατανάλωση σε διοξείδιο του άνθρακα για κάθε πλοίο ξεχωριστά. Από τα στοιχεία που προκύπτουν φαίνεται ότι τα Containerships έχουν την μεγαλύτερη εκπομπή σε CO<sub>2</sub> που είναι 314.4693 tonnes (x106) ανά έτος και ακολουθούν τα Crude tankers με 132.2893 tonnes (x106). Τα Containerships λοιπόν έχουν το 25.24 % των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα όλων των πλοίων και ακολουθούν τα Crude tankers με ένα ποσοστό της τάξης του 10.62 %. Τέλος, τα LNG με 47.5570 tonnes, εκπέμπουν μόλις 3,82% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα όλων των πλοίων, αποδεικνύοντας τη φιλικότητα του καυσίμου.

Τα πλοία LNG λόγω του ότι χρησιμοποιούν όπως προαναφέρθηκε το 45% της συνολικής ενέργειας για το έμφορτο και υπό έρμα ταξίδι, το οποίο προέρχεται από την καύση των απαερίων του, έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη των εκπομπών οξειδίων θείου (SO<sub>2</sub>) καθώς και τη μείωση των σωματιδίων, του διοξειδίου του άνθρακα, (CO<sub>2</sub>) του μονοξειδίου (CO), αλλά και των άκαυστων υδρογονανθράκων, σε σχέση με τα άλλα συμβατικά πλοία.

Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), είναι ο μόνος ρύπος του οποίου η εκπομπή δεν μειώνεται σημαντικά με τη χρήση του υγροποιημένου, καθώς και ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) οφείλεται στο άζωτο που πάντα περιέχεται στον απαραίτητο για την καύση αέρα.

Η χρήση φυσικού αερίου συμβάλλει επίσης στον περιορισμό των μεταλλικών ρύπων. Στο πετρέλαιο υπάρχουν παραδείγματα χάρη ίχνη υδράργυρου, μολύβδου, βαναδίου και νικελίου, τα οποία δεν περιέχονται στο Φυσικό Αέριο.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω το LNG ως καύσιμο εναλλακτικό και φιλικότερο στο περιβάλλον σε σχέση με άλλα, έχει ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα τόσο από τη διακίνηση αλλά, και από τη χρήση του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ, ΨΥΞΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα εξετασθεί και αξιολογηθεί περιβαλλοντικά η εκφόρτωση ενός πλοίου LNG στον Τερματικό Σταθμό της Νήσου Ρεβυθούσας.

#### 4.1 Γενικά

Ο υφιστάμενος Τερματικός Σταθμός ΥΦΑ στη νήσο Ρεβυθούσα λειτουργεί από το 1999. Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του μεταφερόμενου ΥΦΑ και την αεριοποίησή αυτού, ώστε να δοθεί στη κατανάλωση. Ειδικότερα η εγκατάσταση ΥΦΑ Ρεβυθούσας του ΔΕΣΦΑ έχει σχεδιαστεί για να πραγματοποιεί διαδικασίες:

- έγχυσης ΥΦΑ από πλοίο μεταφοράς,
- αποθήκευσης ποσοτήτων ΥΦΑ,
- της επαναυγροποίησης των αερίων που προκύπτουν από φυσική εξάτμιση του ΥΦΑ στις δεξαμενές, άντλησης και αεριοποίησης του ΥΦΑ
- έγχυσης του φυσικού αερίου, στο ΕΣΜΦΑ.

Υπάρχει κατάλληλο σύστημα βραχιόνων και γραμμών έγχυσης, για την έγχυση ΥΦΑ από πλοία μεταφοράς στις δεξαμενές αποθήκευσης της εγκατάστασης ΥΦΑ. Το σύστημα βραχιόνων αποτελείται από 3 βραχίονες έγχυσης ΥΦΑ **Z3101A/B/C**, και έναν βραχίονα αερίων **Z3102**, για τη μεταφορά από και προς το πλοίο μεταφοράς. Ο μέγιστος ρυθμός εκφόρτωσης ΥΦΑ καθορίζεται στα 7.250 m<sup>3</sup>/h. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά την εκφόρτωση ενός πλοίου LNG, ο τερματικός σταθμός πάντα αεριοποιεί ΥΦΑ. (Πηγή: Ασπροφός 2012, σελ 104)

Για την αποθήκευση του ΥΦΑ στην εγκατάσταση ΥΦΑ υπάρχουν δύο δεξαμενές αποθήκευσης με συνολική χωρητικότητα 130.000 m<sup>3</sup>. Το ΥΦΑ αποθηκεύεται σε θερμοκρασία περίπου -160°C και σε περίπου ατμοσφαιρική πίεση.

Στις συγκεκριμένες συνθήκες, στις δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ δημιουργούνται αέρια (κυρίως μεθάνιο και άζωτο) από φυσική εξάτμιση του ΥΦΑ. Για τη διατήρηση της πίεσης

των δεξαμενών σε χαμηλά επίπεδα στην εγκατάσταση ΥΦΑ έχει προβλεφθεί σύστημα απομάκρυνσης και επανάκτησης των αερίων από τις δεξαμενές. Αυτό το σύστημα αποτελείται από συμπιεστές αερίου, τον επανασυμπυκνωτή αερίων και κατάλληλο δίκτυο σωληνώσεων. (Ασπροφός 1999, σελ 29)

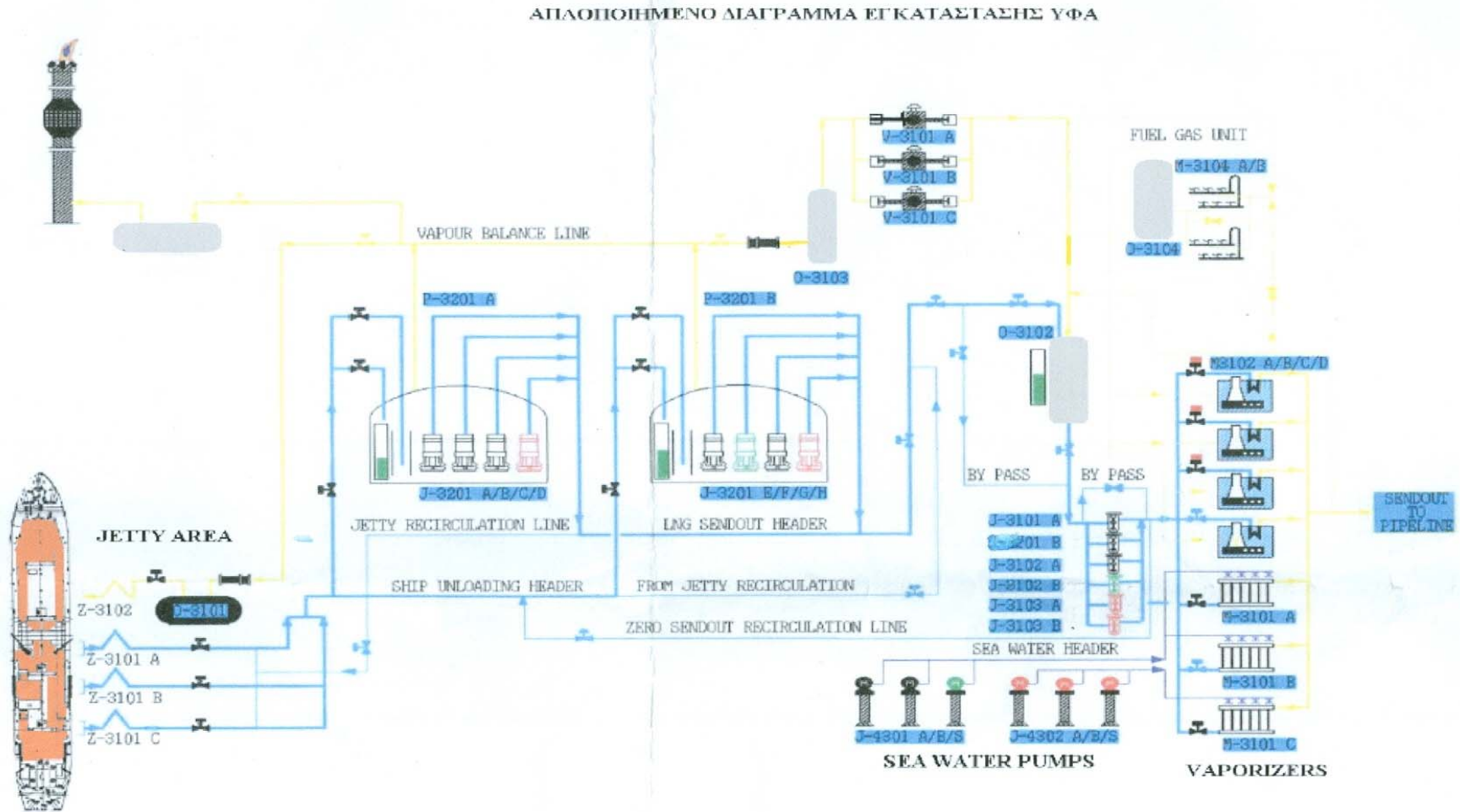
Το σύστημα άντλησης και αεριοποίησης του αποθηκευμένου ΥΦΑ αποτελείται από αντλίες χαμηλής πίεσης **J3201A/B/C/D/E/F/G/H**. Αυτές είναι εμβαπτισμένες στις δεξαμενές αποθήκευσης και οδηγούν το αντλούμενο ΥΦΑ στον επανασυμπυκνωτή ή κατευθείαν στις αντλίες υψηλής πίεσης της εγκατάστασης που διοχετεύουν το ΦΑ στο ΕΣΜΦΑ. Ο επανασυμπυκνωτής λειτουργεί επίσης ως δοχείο αναρρόφησης των αντλιών υψηλής πίεσης **J3101 A/B**, **J3102A/B** και **J3103A/B**. Οι αντλίες υψηλής πίεσης ανεβάζουν την πίεση του ΥΦΑ και το αποστέλλουν στους αεριοποιητές για αεριοποίηση.

Οι αεριοποιητές (**M-3101 A/B/C** και **M-3102 A/B/C/D**) είναι εγκαταστάσεις που σκοπό έχουν να δώσουν την απαιτούμενη θερμότητα στο ΥΦΑ ώστε να αεριοποιηθεί και επιπλέον να θερμάνουν το παραγόμενο ΦΑ σε θερμοκρασία τουλάχιστον 3,5°C πριν την είσοδο του στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΕΣΜΦΑ). (Πηγή: Ασπροφός 2012, σελ 100)

Η εγκατάσταση ΥΦΑ συνδέεται με το ΕΣΜΦΑ μέσω 2 υποθαλάσσιων αγωγών διαμέτρου 20" ο κάθε ένας και μήκους 510m και 620m, μέχρι την Αγία Τριάδα που αποτελεί σημείο εισόδου στο ΕΣΜΦΑ.



**Εικόνα 4. 1.:**Νήσος Ρεβυθούσα (Πηγή: Ασπροφός , 2012).



Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα Διεργασιών Υφιστάμενων Εγκαταστάσεων. (Πηγή: Ασπροφός , 2012)

#### 4.2 Δυναμικότητες Υφιστάμενης Εγκατάστασης ΥΦΑ

Οι δυναμικότητες της εγκατάστασης στη Νήσο Ρεβυθούσα είναι:

1. Σταθερός μέγιστος ρυθμός αεριοποίησης (Sustained Maximum Sendout Rate): **1.000 m<sup>3</sup>/h**.
2. Έκτακτος ρυθμός αιχμής αεριοποίησης (Peak Sendout Rate): **1.250 m<sup>3</sup>/h**.
3. Ελάχιστος ρυθμός αεριοποίησης (Minimum Sendout Rate): **85 m<sup>3</sup>/h**.
4. Ετήσια ποσότητα αεριοποίησης (Yearly Average Sendout Rate): **365 days x 24 h x 1000 m<sup>3</sup>/h**

**Πίνακας 4.1:** Βασικός εξοπλισμός της Υφιστάμενης εγκατάστασης ΥΦΑ. (Πηγή: Ασπροφός 2012, σελ 107)

Περιγραφή	Σύμβολο	Δυναμικότητα ανά εξοπλισμό	Πίεση Λειτουργίας
Αντλίες χαμηλής πίεσης	J3201A/B/C/D/E/F/G/H	200 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	12 barg
Αντλίες υψηλής πίεσης	J3101A/B	120 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	82 barg
	J3102A/B	220 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	82 barg
	J3103A/B	300 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	82 barg
Αεριοποιητές			
Μέσο θέρμανσης θαλασσινού νερό (ORV)	M-3101A/B	125 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	26-64 barg
	M-3101C	381m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	26-64 barg
Λουτρό νερού που θερμαίνεται από καυσαέρια της καύσης ΦΑ (SCV)	M-3102A/B	125 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	26-64 barg
	M-3102A/B	190 m <sup>3</sup> ΥΦΑ/h	26-64 barg
Κρυογενικοί Συμπιεστές ανάκτησης αερίων	V-3101A/B/C	4800 Kg/h	100 mbarg-7 barg
Αντλίες θαλασσινού νερού	J4101A/B/S	2035 m <sup>3</sup> /h	6 barg
	J4102A/B/S	3035 m <sup>3</sup> /h	6 barg

#### Μονάδα ΣΗΘΥΑ

Στην εγκατάσταση λειτουργεί από το 2009 μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού και Θερμότητας για την κάλυψη των απαιτήσεων της εγκατάστασης σε ηλεκτρική ισχύ. Η νέα μονάδα αποτελείται από 2 μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) 16 κυλίνδρων τύπου V, με

καύσιμο φυσικό αέριο και δύο ηλεκτρογεννήτριες 6,5MW έκαστη και παραγόμενη τάση 6000Volt.(Ασπροφός 2005, σελ 69)

#### 4.3 Δραστηριότητες της Υφιστάμενης Εγκατάστασης και Εφαρμοζόμενη Τεχνολογία

##### ➤ Εκφόρτωση Πλοίων

Η υφιστάμενη προβλήτα της εγκατάστασης μπορεί να υποδεχτεί μόνο ένα πλοίο κάθε φορά, με μέγιστο μήκος 290 μέτρα και μέγιστο βύθισμα 11,5 μέτρα. Η μέγιστη ποσότητα εκφόρτωσης των πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ στον σταθμό εξαρτάται από το διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο και δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη των 135.000m<sup>3</sup>. Αν λάβουμε υπόψη και την ελάχιστη μη αντλήσιμη ποσότητα που απαιτείται να παραμένει στις δεξαμενές, τότε το ποσό εγχυόμενης ποσότητας δεν ξεπερνά τις 120.000m<sup>3</sup>.

Ο ρυθμός εκφόρτωσης των πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ είναι συνολικά 7.250 m<sup>3</sup>/h μέσω τριών βραχιόνων εκφόρτωσης 2x12" και 1x16". Η εκφόρτωση με ρυθμό εκφόρτωσης 7.250 m<sup>3</sup>/h πραγματοποιείται και στις δυο δεξαμενές αποθήκευσης της εγκατάστασης ΥΦΑ, λόγω υδραυλικών περιορισμών του συστήματος εκφόρτωσης. (Ασπροφός 2012, σελ 189)

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης, προωθούνται στο πλοίο αέρια, για να διατηρηθεί η πίεση των δεξαμενών του πλοίου σταθερή και να καταλαμβάνουν τον κενό χώρο που δημιουργείται από την ποσότητα ΥΦΑ που μεταφέρεται στην εγκατάσταση. Η μεταφορά αερίων προς το πλοίο πραγματοποιείται με φυσική ροή και για αυτό το λόγο πρέπει να διατηρείται διαφορά πίεσης μεταξύ της εγκατάστασης και του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ. Εδώ να σημειωθεί ότι κατά την εκφόρτωση έχουμε πάντα αεριοποίηση.

Ο ρυθμός σχεδιασμού boil-off (για καθαρό μεθάνιο) λαμβάνεται ως εξής:

Μέγιστη τιμή: 0.25% του πλήρους περιεχομένου του πλοίου ανά ημέρα

Κανονική τιμή: 0.15% του πλήρους περιεχομένου του πλοίου ανά ημέρα.

Ο σχεδιασμός του συστήματος μεταφοράς αερίων του σταθμού βασίζεται σε πίεση κορεσμού 175 mbarg. Η δυναμικότητα του πυρσού του σταθμού είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει εκφόρτωση του ΥΦΑ με πίεση λειτουργίας 250 mbarg έτσι ώστε να



διευκολυνθεί η διέλευση των ατμών του ΥΦΑ από τη δεξαμενή στο πλοίο κατά την εκφόρτωση.

Η διαχείριση του boil-off του πλοίου όταν είναι ελλιμενισμένο μπορεί να γίνει είτε από το σταθμό είτε από το ίδιο το πλοίο μεταφοράς. Σε περιπτώσεις που το ελλιμενισμένο πλοίο δεν μπορεί να διαχειριστεί το δικό του boil-off, ο σταθμός είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να δέχεται αέρια από το πλοίο στην εγκατάσταση.

Ο χρόνος εκφόρτωσης του πλοίου καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον μέγιστο ρυθμό εκφόρτωσης και ένα περιθώριο 60 min για την έναρξη και τη διακοπή λειτουργίας των αντλιών του πλοίου. Η κυρίως φάση εκφόρτωσης ενός πλοίου έως ότου αδειάσει το φορτίο του, εκτιμάται σε 12 ώρες. (Ασπροφός 2012, σελ 190).

Το σύστημα εκφόρτωσης εκτός από τους βραχίονες αποτελείται και από ένα εκτεταμένο δίκτυο μονωμένων σωληνώσεων, βανών και ασφαλιστικών για την ασφαλή μεταφορά του ΥΦΑ από το πλοίο στις δεξαμενές της εγκατάστασης. Το δίκτυο σωληνώσεων μεταξύ των εκφορτώσεων διατηρείται σε ψυχρή κατάσταση με τη συνεχή ανακυκλοφορία μιας ποσότητας ΥΦΑ. Υγρό Φυσικό Αέριο από τις εγκαταστάσεις οδηγείται μέσω γραμμής ανακυκλοφορίας στην προβλήτα, περνά από τις γραμμές εκφόρτωσης τις οποίες ψύχει και μετά επιστρέφει είτε στις δεξαμενές αποθήκευσης, είτε στο σύστημα αεριοποίησης της εγκατάστασης.

Το σύστημα εκφόρτωσης επιτρέπει και την μεταφορά ΥΦΑ από τις δεξαμενές αποθήκευσης της εγκατάστασης στο πλοίο μεταφοράς με παροχή περίπου 800 m<sup>3</sup>/h, αλλά και των boil-off. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για άδειασμα των δεξαμενών αποθήκευσης της εγκατάστασης, είτε για την διεξαγωγή διαδικασιών όπως το **gassing up**<sup>5</sup> και **ψύξη**<sup>6</sup> των πλοίων είτε για τροφοδοσία καυσίμων στα LNG πλοία .

---

<sup>5</sup> διαδικασία εκτόπισης του αδρανούς αερίου των δεξαμενών του πλοίου ΥΦΑ με Φ.Α. Το Φ.Α. το οποίο είναι ΥΦΑ που, αεριοποιείται και θερμαίνεται, διοχετεύεται στις δεξαμενές του πλοίου από την Εγκατάσταση ΥΦΑ

<sup>6</sup> ΥΦΑ αποστέλλεται στις δεξαμενές του πλοίου μεταφοράς από ειδικό σύστημα ψεκασμού για ψύξη των δεξαμενών. Όταν ολοκληρωθεί η ψύξη των δεξαμενών πραγματοποιείται μερική φόρτωση των δεξαμενών του πλοίου με ΥΦΑ για την διατήρηση της ψύξης έως το λιμάνι φόρτωσης.

### ➤ Αποθήκευση στις Δεξαμενές της Εγκατάστασης της Ρεβυθούσας

Οι δεξαμενές της εγκατάστασης ΥΦΑ είναι διπλού κελύφους πλήρους περιβλήματος (full containment type). Το εσωτερικό κέλυφος είναι από ειδικό χάλυβα με 9% νικέλιο, κατάλληλο για κρυογενικές θερμοκρασίες. Η κάθε δεξαμενή της εγκατάστασης ΥΦΑ είναι χωρητικότητας  $65.000\text{m}^3$  εσωτερικής διαμέτρου 65,7 m και ύψους 22,8m. Η πίεση σχεδιασμού των δεξαμενών είναι 290 mbarg (4.2 psig). Η μέγιστη πίεση κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης είναι 250 mbarg.

Οι απώλειες θερμότητας για κάθε δεξαμενή αποθήκευσης δίνουν boil-off 0.075% την ημέρα με βάση καθαρό μεθάνιο και πλήρως γεμάτη δεξαμενή. Έτσι στην εγκατάσταση ΥΦΑ υπάρχει μια καθαρή παραγωγή αερίων  $\sim 2.500\text{Nm}^3/\text{h}$ . (Ασπροφός 2012, σελ 202)

Όλες οι συνδέσεις στις δεξαμενές έχουν γίνει μόνο από την οροφή. Εν τούτοις εσωτερικές σωληνώσεις επιτρέπουν την εκφόρτωση τόσο στο επάνω μέρος, όσο και στον πυθμένα της δεξαμενής. Η εκφόρτωση από το επάνω μέρος της δεξαμενής πραγματοποιείται κάθε φορά που το προς έγχυση ΥΦΑ είναι βαρύτερο από το ήδη αποθηκευμένο. Στην αντίθετη περίπτωση η έγχυση ΥΦΑ πραγματοποιείται από τον πυθμένα.

Κατά την εκφόρτωση του πλοίου, η αποθήκευση πραγματοποιείται και στις δυο δεξαμενές ( $2 \times 65.000\text{ m}^3$ ) και η τροφοδοσία προς αεριοποίηση μπορεί να πραγματοποιείται είτε από μία είτε και από τις δύο δεξαμενές, ανάλογα με την απαίτηση για αεριοποίηση.

Η κάθε δεξαμενή αποθήκευσης ΥΦΑ είναι εξοπλισμένη με τέσσερις εμβαπτισμένες αντλίες δυναμικότητας  $200\text{ m}^3/\text{h}$  έκαστη. Για την άντληση ΥΦΑ από τις δεξαμενές και την τροφοδοσία του συστήματος αεριοποίησης υπάρχουν οκτώ εμβαπτισμένες αντλίες και στις δύο δεξαμενές αποθήκευσης με μία τουλάχιστον εφεδρική αντλία σε κάθε δεξαμενή.

### ➤ Σύστημα Ανάκτησης Αερίων

Στην εγκατάσταση ΥΦΑ υπάρχουν τρεις (3) εγκατεστημένοι κρυογενικοί συμπιεστές αερίου για την ανάκτηση των παραγόμενων αερίων που προκύπτουν στις δεξαμενές της εγκατάστασης ΥΦΑ. Στόχος των κρυογενικών συμπιεστών είναι να οδηγούν τα παραγόμενα αέρια από τις δεξαμενές του σταθμού στον επανασυμπυκνωτή και τη

διατήρηση της πίεσης των δεξαμεμών στα επιτρεπτά επίπεδα λειτουργίας, έτσι ώστε να αποφευχθεί υπερπίεση τους. Επίσης, η απομάκρυνση των παραγόμενων αερίων διατηρεί την θερμοκρασία του ΥΦΑ σε χαμηλές θερμοκρασίες, αποβάλλοντας με αυτό τον τρόπο την θερμότητα που εισάγεται σε αυτή από τα τοιχώματα αλλά και τη λειτουργία των εμβαπτισμένων αντλιών. Η πίεση κατάθλιψης των συμπιεστών είναι σταθερή στα 7 barg.

Τα παραγόμενα αέρια οδηγούνται, με σειρά προτεραιότητας:

- Στο πλοίο (όταν πραγματοποιείται εκφόρτωση πλοίων), μέσω ελεύθερης ροής λόγω διαφοράς πίεσης
- Στον επανασυμπυκνωτή από τον/τους συμπιεστές
- Στο δίκτυο αερίου καυσίμου των εγκαταστάσεων
- Στον πυρσό μέσω ελεύθερης ροής για εκτόνωση των δεξαμεμών

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, χρειάζεται μόνο ένας συμπιεστής αερίων boil-off για την διαχείριση του boil-off από τις δύο δεξαμενές. Κατά την εκφόρτωση πλοίων μπορεί να απαιτηθεί και η λειτουργία και δεύτερου συμπιεστή.

Στην αναρρόφηση του συμπιεστή εγκαθίσταται συσκευή ψεκασμού ΥΦΑ (desuperheater). Επειδή οι συμπιεστές αερίου της εγκατάστασης είναι κρυογενικοί, σε περίπτωση που θερμά αέρια θερμότερα δηλαδή των  $-80^{\circ}\text{C}$ , φθάσουν στην αναρρόφηση του, τότε τα αέρια ψύχονται με τον ψεκασμό ΥΦΑ. Σκοπός αυτής της διεργασίας είναι η προστασία των κρυογενικών συμπιεστών από υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και την λειτουργία του με υψηλή απόδοση. (Ασπροφός 2012, σελ 203)

### ➤ Αντλίες ΥΦΑ Χαμηλής Πίεσης

Σε κάθε δεξαμενή αποθήκευσης υπάρχουν τέσσερις εμβαπτιζόμενες αντλίες για την άντληση και τροφοδοσία του συστήματος αεριοποίησης της εγκατάστασης ΥΦΑ.

Οι αντλίες ΥΦΑ χαμηλής πίεσης έχουν δυναμικότητα σχεδιασμού  $200\text{ m}^3/\text{h}$  ΥΦΑ η κάθε μια και πίεση κατάθλιψης περίπου  $236\text{ N/m}^2$ . Έχει προβλεφθεί η δυνατότητα λειτουργίας συγχρόνως και των 4 αντλιών. Ωστόσο για την επίτευξη της μέγιστης δυναμικότητας αεριοποίησης του σταθμού απαιτούνται συνολικά έξι αντλίες χαμηλής πίεσης. Σε αυτή την

περίπτωση επιλέγεται ο συνδυασμός τριών αντλιών από κάθε δεξαμενή έτσι ώστε να υπάρχει πάντα μια εφεδρική σε κάθε δεξαμενή.

Η λειτουργία των αντλιών χαμηλής πίεσης διατηρεί την αδιάλειπτη παροχή ΥΦΑ στο σύστημα αεριοποίησης αλλά και στις γραμμές εκφόρτωσης ώστε να διατηρούνται σε ψυχρή κατάσταση.

Σε περιόδους όπου στην εγκατάσταση δεν πραγματοποιείται αεριοποίηση και παροχή ΦΑ προς το ΕΣΜΦΑ, τότε οι αντλίες χαμηλής πίεσης διατηρούν μια μόνιμη ανακυκλοφορία στις σωληνώσεις της εγκατάστασης ώστε να τις διατηρούν σε ψυχρή κατάσταση. Η επιστροφή της ανακυκλοφορίας σε αυτή την περίπτωση γίνεται πίσω στις δεξαμενές.

#### ➤ Λειτουργία Επανασυμπυκνωτή

Ο επανασυμπυκνωτής σκοπό έχει να επανυγροποιεί, τα παραγόμενα αέρια ΥΦΑ στις δεξαμενές (boil off gases). Επίσης, λειτουργεί και ως δοχείο αναρρόφησης των αντλιών υψηλής πίεσης.

Ο επανασυμπυκνωτής είναι σχεδιασμένος ώστε να καλύπτει πλήρως την μέγιστη συμπιεζόμενη ποσότητα αερίου από τους συμπιεστές του συστήματος και να επιτρέπει την επανυγροποίησή τους.

Στον επανασυμπυκνωτή για να πραγματοποιηθεί η επαναυγροποίηση των αερίων που προέρχονται από τους συμπιεστές αερίων θα πρέπει να ικανοποιούνται διάφορες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η αναλογία αερίων και ΥΦΑ πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε να επιτυγχάνεται η διαδικασία της υγροποίησης. (Ασπροφός 2012, σελ 204)

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης ΥΦΑ, απαιτείται μια ελάχιστη τροφοδοσία υγρού ΦΑ  $85 \text{ m}^3/\text{h}$  στον επανασυμπυκνωτή ώστε να επανασυμπυκνώνεται όλος ο ατμός που παράγεται κατά την εκφόρτωση, που θεωρείται η δυσμενέστερη περίπτωση.

Η πίεση λειτουργίας του επανασυμπυκνωτή είναι 7.0 barg. Για τη διατήρηση της πίεσης στον επανασυμπυκνωτή θα πρέπει να λειτουργεί ένας εκ των κρυογενικών συμπιεστών ή στην περίπτωση που δεν λειτουργεί τότε πίεση από την sendout line διατηρεί την

επιθυμητή πίεση στον επανασυμπυκνωτή δεδομένου ότι αποτελεί και το δοχείο αναρρόφησης των αντλιών υψηλής πίεσης.

Ο επανασυμπυκνωτής και οι σωληνώσεις του έχουν σχεδιασθεί για μέγιστη παροχή 831 m<sup>3</sup>/h ΥΦΑ. Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυναμικότητα αεριοποίησης της εγκατάστασης, κατασκευάστηκε παρακαμπτήρια γραμμή του επανασυμπυκνωτή, με δυναμικότητα παροχής 420 m<sup>3</sup>/h (by pass of recondenser).

Παρακαμπτήρια γραμμή του επανασυμπυκνωτή, από την κατάθλιψη των αντλιών χαμηλής πίεσης απευθείας στην αναρρόφηση των αντλιών υψηλής πίεσης, δίνει τη δυνατότητα στο σταθμό να φθάνει σε μέγιστη δυναμικότητα αεριοποίησης των 1.250 m<sup>3</sup> /h ΥΦΑ. (Ασπροφός 2012, σελ 204)

#### ➤ Αντλίες ΥΦΑ Υψηλής Πίεσης

Υπάρχουν έξι αντλίες τροφοδοσίας υψηλής πίεσης — δύο χαμηλής παροχής 119 m<sup>3</sup>/h, δύο μέσης παροχής 220 m<sup>3</sup>/h και δύο υψηλής παροχής 300 m<sup>3</sup>/h. Οι αντλίες υψηλής πίεσης έχουν ως στόχο να ανεβάζουν την πίεση του υγρού σε επίπεδα ικανά ώστε το παραγόμενο αέριο μετά τους αεριοποιητές να έχει την απαιτούμενη πίεση ώστε να διοχετευτεί στο Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου χωρίς την περαιτέρω συμπίεση του.

Οι αντλίες υψηλής πίεσης έχουν διαφορετική ικανότητα παροχής αλλά καταθλίβουν στην ίδια πίεση στα 1896 m (ή περίπου 82 barg). Η ίδια πίεση κατάθλιψης τους βοηθά να μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα ή σε οποιοδήποτε συνδυασμό μεταξύ τους, έτσι ώστε να καλύπτεται η απαίτηση σε ρυθμό αεριοποίησης. (Ασπροφός 2012, σελ 205)

#### ➤ Αεριοποιητές

Οι αεριοποιητές της εγκατάστασης έχουν ως στόχο την αεριοποίηση του ΥΦΑ.

Στην Εγκατάσταση ΥΦΑ υπάρχουν δύο ειδών αεριοποιητές:

- Τρεις αεριοποιητές θαλασσινού νερού (ORV) με συνολική δυναμικότητα  $630 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Τέσσερις αεριοποιητές καύσης ΦΑ (SCV) με συνολική δυναμικότητα  $630 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- **Αεριοποιητές Θαλασσινού Νερού**

Οι αεριοποιητές θαλασσινού νερού (M-3101 A/B/C) είναι εναλλάκτες αντιρροής όπου χρησιμοποιούν ως θερμαντικό μέσο θαλασσινό νερό το οποίο αντλείται απευθείας από τη θάλασσα με τη βοήθεια αντλητικού συστήματος (αντλίες και σωληνώσεις). Το θαλασσινό νερό διοχετεύεται εξωτερικά σε κατάλληλο σύστημα σωληνώσεων εσωτερικά των οποίων διοχετεύεται το ΥΦΑ προς αεριοποίηση.

Η δυναμικότητα των αεριοποιητών θαλασσινού νερού είναι  $630 \text{ m}^3/\text{h}$  ΥΦΑ. Υπάρχουν 3 αεριοποιητές θαλασσινού νερού  $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{h}$ , με απαίτηση σε θαλασσινό νερό  $1850 \text{ m}^3/\text{h}$  και  $1 \times 381 \text{ m}^3/\text{h}$  με απαίτηση σε θαλασσινό νερό  $6100 \text{ m}^3/\text{h}$ . (Ασπροφός 2002, σελ 94)

- **Αεριοποιητές με καύση Φυσικού Αερίου**

Οι αεριοποιητές καύσης ΦΑ (M-3102 A/B/C/D) είναι εναλλάκτες λουτρού ύδατος στο οποίο βρίσκονται εμβαπτισμένοι οι σωλήνες που φέρουν το ΥΦΑ προς αεριοποίηση. Το λουτρό ύδατος θερμαίνεται από τα καυσαέρια της καύσης του ΦΑ που διοχετεύονται σε αυτό με κατάλληλο διαχυτήρα. Το λουτρό ύδατος αποτελεί το μέσο εναλλαγής θερμότητας μεταξύ των καυσαερίων και του ΥΦΑ. (Ασπροφός 2002, σελ 95)

Η δυναμικότητα των αεριοποιητών με καύση ΦΑ είναι  $630 \text{ m}^3/\text{h}$  ΥΦΑ. Υπάρχουν συνολικά 4 αεριοποιητές με καύση αερίου  $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{h}$  με απαίτηση σε θερμική ενέργεια 12 MW έκαστος και  $2 \times 190 \text{ m}^3/\text{h}$  με απαίτηση σε θερμική ενέργεια 19MW έκαστος. (ΔΕΣΦΑ 2005, σελ 95)

Μετά την κατασκευή και λειτουργία της μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού ΣΗΘΥΑ, πραγματοποιείται ανάκτηση της παραγόμενης θερμότητας από την μονάδα και η οποία χρησιμοποιείται για την αεριοποίηση του ΥΦΑ στους αεριοποιητές SCV. Η ανάκτηση πραγματοποιείται από εναλλάκτες που μεταφέρουν τη θερμότητα από τις ΜΕΚ σε ανεξάρτητο κύκλωμα νερού το οποίο οδηγείται στο λουτρό ύδατος των αεριοποιητών. Το ανεξάρτητο κύκλωμα νερού θεωρείται κλειστό κύκλωμα και το οποίο αποτελεί νερό

ψύξης για τις ΜΕΚ και μέσο θέρμανσης για την αεριοποίηση του ΥΦΑ. Η θερμότητα που ανακτάται από τις ΜΕΚ σε φορτίο λειτουργίας 100% (13MW) είναι περί τα 13MW και μπορεί να αεριοποιήσει περί τα 160m<sup>3</sup>/h ΥΦΑ. Η χρήση του θερμού νερού για την αεριοποίηση του ΥΦΑ αποτελεί προτεραιότητα στην αεριοποίηση του ΥΦΑ όταν λειτουργεί η μονάδα ΣΗΘΥΑ σε οποιοδήποτε φορτίο. (Ασπροφός 2002, σελ 95)

Οι αεριοποιητές καύσης μπορούν να λειτουργήσουν με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Με ζεστό νερό από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ, όπου συμβαίνει συνήθως
- Με συνδυασμό ζεστού νερού και καύση ΦΑ (εάν δεν επαρκεί η δυναμικότητα των αεριοποιητών θαλασσινού νερού)
- Μόνο με καύση ΦΑ (εάν δε λειτουργεί η μονάδα ΣΗΘΥΑ και ταυτόχρονα η δυναμικότητα αεριοποίησης των ORV δεν επαρκεί)

#### ➤ Μονάδες Βοηθητικών Παροχών

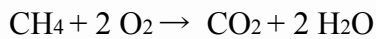
Οι μονάδες βοηθητικών παροχών είναι άμεσα συνδεδεμένες με την λειτουργία της όλης εγκατάστασης.

1. Σύστημα Πόσιμου Ύδατος
2. Σύστημα Πυρασφάλειας
3. Σύστημα Θαλασσινού Νερού (το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται σαν θερμαντικό μέσο για τρεις αεριοποιητές ΥΦΑ)
4. Σύστημα Νερού Ψύξης
5. Σύστημα Πεπιεσμένου Αέρος
6. Σύστημα Αζώτου
7. Σύστημα Καυσίμου Diesel
8. Σύστημα Επεξεργασίας Λυμάτων
9. Μονάδα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας ΣΗΘΥΑ με ΜΕΚ

#### ➤ Πυρσός

Ο πυρσός ασφαλείας είναι απαραίτητος για την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων. Λειτουργεί επί μονίμου βάσεως με μια μικρή φλόγα, η οποία προέρχεται από φυσικό αέριο. Η καύση του φυσικού αερίου στον αέρα ονομάζεται οξείδωση και περιλαμβάνει

την αντίδραση του οξυγόνου που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα με το καύσιμο. (ΔΕΣΦΑ 2002, σελ 100)



Τα βασικά προϊόντα είναι διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το νερό και θερμότητα. Η αντίδραση είναι εξώθερμη και παράγει στο περιβάλλον θερμική ενέργεια. Η καύση του μεθανίου είναι τέλεια.

Ο όρος τέλεια καύση σημαίνει ότι η αντίδραση που λαμβάνει χώρα κάτω από συνθήκες περίσσειας αέρα, έχει ως αποτέλεσμα να μετατρέπει το άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Η τέλεια καύση γίνεται κυρίως για μείωση εκπομπών και προστασία του περιβάλλοντος.

Υπό κανονικές συνθήκες, όταν δηλαδή το πλοίο ξεφορτώνει και η πίεση των δεξαμενών δεν ξεπερνά το προβλεπόμενο όριο, τα απαέρια επαναυδροποιούνται. Όταν η πίεση στις δεξαμενές υπερβεί το όριο, δηλαδή σε μη κανονική λειτουργία τότε ανοίγει η ρυθμιστική βάνα πίεσης και ένα μέρος των απαερίων οδηγείται στον πυρσό. Εκεί οδηγούνται τα απαέρια από τις δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ και τις βαλβίδες ανακούφισης. Προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ΦΑ στον πυρσό, το σύστημα του πυρσού είναι συνδεδεμένο με την ρυθμιστική βάνα πίεσης των δεξαμενών αποθήκευσης. Σε περίπτωση που η ρυθμιστική βάνα πίεσης δεν ανοίξει, τότε ανοίγουν οι βαλβίδες ανακούφισης της δεξαμενής που αποτελούν και το σύστημα προστασίας του εξοπλισμού από υπερπίεση.

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας δεν παράγεται περίσσεια αερίων. Υπό τις συνθήκες αυτές οδηγείται στον πυρσό μόνο το ΦΑ που κυκλοφορεί στον σταθμό για να αποτρέψει την είσοδο αέρα στον εξοπλισμό.

Σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, η λειτουργία του σταθμού διακόπτεται και το boil - off των δεξαμενών οδηγείται στον πυρσό. Το σύστημα του πυρσού μπορεί να καλύπτει το σύνολο των απαερίων των δεξαμενών, που παράγονται σε μη κανονικές συνθήκες και σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης και μπορεί να καλύπτει τα αέρια που εκλύονται από τις βαλβίδες ανακούφισης σε έκτακτες τυχαίες περιστάσεις.

Το σύστημα πυρσού περιλαμβάνει:



- Τα συστήματα ρύθμισης πίεσης
- Το Knock-out Drum του πυρσού (0-3105)
- Το σύστημα έναυσης/ανίχνευσης φλόγας (L-3101 A)
- Τον πυρσό (L-3101)

Στον πυρσό οδηγούνται απαέρια από τις παρακάτω μονάδες:

- Τις δεξαμενές ΥΦΑ (P-3201 A/B) και τη γραμμή αερίων
- Το δίκτυο του πυρσού (ασφαλιστικές βαλβίδες)
- Το Knock-out Drum του συστήματος αερίου (0-3104)

### ➤ Ηλεκτροδότηση

Ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται στο πεδίο από τη ΔΕΗ μέσω δύο 100% 7.7MW υποθαλάσσιων ηλεκτρικών καλωδίων με μέγιστη δυνατότητα παροχής 7.7MW. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στις εγκαταστάσεις από δύο μηχανές εσωτερικής καύσης ΦΑ ισχύος 7.7MW η κάθε μία.

Ηλεκτροδότηση της εγκατάστασης γίνεται επίσης με τροφοδοσία από το δίκτυο της ΔΕΗ μέσω υποθαλάσσιων αγωγών παροχής μέσης τάσης και υπάρχει εφεδρεία 100% της τροφοδοσίας αυτής.

Ο ΣΗΘΥΑ έχει την δυνατότητα να λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ αλλά και αυτόνομα αναλαμβάνοντας την τροφοδοσία του Τερματικού σταθμού ΥΦΑ σε πλήρη λειτουργία. Συνδέεται στον κεντρικό ζυγό ALB του υποσταθμού 3600 που είναι υπεύθυνος για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στον Τερματικό σταθμό ΥΦΑ. Σε περίπτωση ολικού black out την απαραίτητη ηλεκτρική τροφοδοσία του ΣΗΘΥΑ για την επανεκκίνηση του αναλαμβάνουν δύο EDG 2000 KVA έκαστη, η μια εφεδρική της άλλης. (Ασπροφός 2012, σελ 99)

#### 4.4 Εκπομπές Αποβλήτων από τον Υφιστάμενο Τερματικό Σταθμό Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Η βασική ουσία που λαμβάνει μέρος στην υπό εξέταση διαδικασία είναι το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) και το Φυσικό Αέριο (ΦΑ). Το ΦΑ όπως έχει αναφερθεί είναι μίγμα αερίων υδρογονανθράκων, αλλά αποτελείται κυρίως από Μεθάνιο. Τα πλεονεκτήματα του μεθανίου είναι:

1. η σχετικώς χαμηλή τιμή του ανά μονάδα όγκου ή θερμικού δυναμικού
2. οι χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>
3. οι ασήμαντες εκπομπές λεπτομερών τεμαχιδίων στην ατμόσφαιρα λόγω απουσίας ανοργάνων υλών (τέφρα) στο καύσιμο και
4. οι ελάχιστες ή απουσία εκπομπών SO<sub>2</sub>

Η τυπική σύσταση του ΥΦΑ που εκφορτώνεται στον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας είναι :

**Πίνακας 4.2:** Σύσταση ΥΦΑ που φθάνει στη Ρεβυθούσα. (Πηγή: ΔΕΣΦΑ 2002)

Συστατικά	Mol%
N <sub>2</sub>	0,86
C <sub>1</sub> .Μεθάνιο	92,09
C <sub>2</sub> .Αιθάνιο	6,23
C <sub>3</sub> .Προπάνιο	0,71
iC <sub>4</sub> .Ισό-Βουτάνιο	0,05
nC <sub>4</sub> .Κανονικό Βουτάνιο	0,06
C <sub>5</sub> .Πεντάνιο	0
Μοριακό Βάρος	17,26
Ειδικό Βάρος	0,449
Ιξώδες (cp)	0,136
Θερμοκρασία Αποθήκευσης	-160°C

Οι συνολικές πηγές αέριας ρύπανσης του στη διαδικασία εκφόρτωσης είναι οι εξής:

**Πίνακας 4.3:** Πηγές αέριας ρύπανσης τερματικού σταθμού ΥΦΑ κατά τη φάση εκφόρτωσης πλοίου (Πηγή: Ασπροφός 2012)

Πηγή	Ρύπος	Συχνότητα εκπομπής	Ρυθμός εκπομπής (kg/hr)	Σημειώσεις
Δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ	Φυσικό αέριο	Διακοπτόμενη	36031 (x2 δεξ.)	Μόνο σε περίπτωση υπερπίεσης
Εμβαπτιζόμενοι αεριοποιητές καύσης ΦΑ (SCVs)	Καυσαέρια (flue gas)	Συνεχής	12249	Οι SCVs ικανοποιούν την παροχή αιχμής (peak sendout rate)
Πυρσός	Προϊόντα καύσης	Διακοπτόμενη	5094	Συμπεριλαμβάνει τα απαέρια του οδηγού
Πιλότος Πυρσού	Καυσαέρια	Συνεχής	CO <sub>2</sub> : 560 NO <sub>x</sub> : 3 VOC: 2 Total: 565	
Πρόσκαιρες εκπομπές	Φυσικό αέριο, υδρογονάνθρακες, ατμοί	Διακοπτόμενη	5,71	
ΜΕΚ	Καυσαέρια	Συνεχής	89-92tn/hr	

#### 4.4.1 Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα κατά τη φυσιολογική λειτουργία

Κατά τη φυσιολογική λειτουργία της εκφόρτωσης οι εκπομπές αερίων ρύπων προβλέπονται από τους εμβαπτιζόμενους αεριοποιητές, το σύστημα πυρσού, και τη Μονάδα ΜΕΚ. Επίσης υπάρχουν και διαφυγούσες εκπομπές υδρογονανθράκων.

Υπό κανονικές Συνθήκες Λειτουργίας δεν υπάρχει συνεχής εκπομπή αερίων αποβλήτων διότι:

- Ο εγκατεστημένος πυρσός δεν καίει παρά μόνο ελάχιστες ποσότητες φυσικού αερίου από το σύστημα αερίου καυσίμου των εγκαταστάσεων, που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της φλόγας του πιλότου και τη διατήρηση θετικής πίεσης στους αγωγούς του πυρσού. Η κατανάλωση δεν προβλέπεται να υπερβαίνει στην περίπτωση αυτή τα  $250\text{Nm}^3/\text{hr}$ .
- Οι εγκατεστημένοι αεριοποιητές θαλασσινού νερού είναι επαρκείς για την κάλυψη της κανονικής ζήτησης σε φυσικό αέριο από το δίκτυο. Οι αεριοποιητές καύσης με φυσικό αέριο λειτουργούν μόνο στις περιπτώσεις αιχμών ζήτησης και εφόσον η συνολική ζήτηση από το δίκτυο με φυσικό αέριο υπερβεί τα  $630\text{m}^3/\text{hr}$  ισοδύναμου υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.
- Η Μονάδα Παραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας ΣΗΘΥΑ με μηχανές εσωτερικής καύσης και καύσιμο Φυσικό Αέριο με ειδική κατανάλωση καυσίμου  $8,5\text{KJ/KW}$  και συνολική ποσότητα καύσης περί τα  $3000\text{Nm}^3$  φυσικού αερίου. (Ασπροφός 2005, σελ 70)

##### 4.4.1.1 Πρόσκαιρες εκπομπές υδρογονανθράκων

Όλες οι επιμέρους εγκαταστάσεις αποτελούν εν δυνάμει σημεία διαρροών. Εξετάζοντας τις διαρροές αυτές συσσωρευτικά μπορούν να αποτελέσουν μια υπολογίσιμη ποσότητα διαφυγόντων υδρογονανθράκων στο περιβάλλον.

Τα σημεία διαρροών εντοπίζονται σε διάφορους τύπους εξοπλισμού και αγωγών, όπως βαλβίδες, αντλίες, συμπιεστές κλπ. Ο ρυθμός διαρροής κάθε εξοπλισμού ξεχωριστά είναι συνάρτηση του σχεδιασμού του, της παλαιότητάς του, της συντήρησής του κλπ. Σε τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ ο κυριότερος διαφυγόντας υδρογονάνθρακας είναι το μεθάνιο με μικρότερες απώλειες βαρύτερων ομόλογων αλκανίων στο ΥΦΑ. Αυτή η απώλεια

αέριων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα συμμετέχει στην αέρια ρύπανση της περιοχής και στην παγκόσμια, εφόσον το μεθάνιο είναι από τα βασικά θερμοκηπιακά αέρια.

#### 4.4.1.2 Εκπομπές καυσαερίων από τους εμβαπτισμένους αεριοποιητές καύσης ΦΑ (SCVs).

Σε περιόδους αιχμής (αεριοποίηση 1250m<sup>3</sup>/hr ΥΦΑ) χρησιμοποιούνται οι αεριοποιητές καύσης ΦΑ. Οι SCVs τροφοδοτούνται με αέριο καύσιμο ΦΑ που παράγεται στην εγκατάσταση είτε από αεριοποιούμενο ΥΦΑ από το σύστημα αποστολής Φυσικού Αερίου ή από boil-off αέριο από τις δεξαμενές αποθήκευσης. (ΔΕΣΦΑ 2002, σελ 108)

Μια τυπική ανάλυση των απαιριών από SCVs δίνεται στον παρακάτω πίνακα, βάσει στοιχείων παρόμοιων τερματικών σταθμών.

**Πίνακας 4.4:** Τυπική σύσταση καυσαερίων από SCV (Πηγή: Ασπροφός 2012, σελ 137)

Καυσαέρια	Συγκέντρωση (%κ.ο.)
N <sub>2</sub>	80,67
O <sub>2</sub>	3,55
CO <sub>2</sub>	9,25
NO <sub>x</sub>	<50ppm
CO <sub>2</sub>	<100ppm
Ατμός	Κεκορεσμένος
SO <sub>x</sub>	Ίχνη

Η σειρά λειτουργίας των αεριοποιητών δίνεται στον ακόλουθο πίνακα από όπου προκύπτει ότι για αεριοποίηση έως και 766,6 m<sup>3</sup>/hr Υ.Φ.Α δεν υπάρχουν καυσαέρια από τους SCVs αεριοποιητές διότι λειτουργεί μόνο ο ένας εκ των δυο καινούριων, ο οποίος και λειτουργεί με κυκλοφορία θερμού νερού και όχι με καύση φυσικού αερίου.(ΔΕΣΦΑ 2002, σελ 109)

Πίνακας 4.5: Πρόγραμμα Λειτουργίας Αεριοποιητών (Πηγή :ΔΕΣΦΑ 2002)

	<b>m<sup>3</sup>/hr</b>
<b><u>M-3102C</u></b> 186,7,5m <sup>3</sup> /hr (με κυκλοφορία θερμού νερού)	140
<b><u>M-3101A</u></b> 125m <sup>3</sup> /hr	265
<b><u>M-3101B</u></b> 125m <sup>3</sup> /hr	390
<b><u>M-3101C</u></b> 376,6m <sup>3</sup> /hr	766,6
<b><u>M-3102C</u></b> (σημ.1)	813,3
<b><u>M-3102A</u></b> 125m <sup>3</sup> /hr	938,3
<b><u>M-3102B</u></b> 125m <sup>3</sup> /hr	1063,3
<b><u>M-3102C</u></b> 186,7m <sup>3</sup> /hr	1250
Σημ.1: Σε αυτή τη περίπτωση τίθεται σε λειτουργία και η καύση φυσικού αερίου.	

Οι εκπομπές αερίων ρύπων από τους SCVs είναι σχετικά χαμηλές, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες των αερίων (της τάξης των 30°C) ελαχιστοποιούν τη δυνατότητα διασποράς της ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή, οδηγώντας σε χαμηλή ποιότητα ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος τοπικά εγγύς των SCVs – ειδικότερα σε περιπτώσεις σταθερών ατμοσφαιρικών συνθηκών.

#### Περιβαλλοντικά Οφέλη Εμβαπτιζόμενου Αεριοποιητή Καύσης (SCV)

Γενικά ο Εμβαπτιζόμενος Αεριοποιητής Καύσης (SCV) παρουσιάζει ένα συνδυασμό τεχνικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων, όπως η γρήγορη απόκριση, η υψηλή απόδοση, που επιτυγχάνεται με μέγιστη απελευθέρωση θερμότητας από το καύσιμο, με

συνολική θερμική απόδοση 90 – 99% λόγω άμεσης θέρμανσης του ύδατος και με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Έχει ευρεία εφαρμογή, εύκολη χρήση, πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων ρύπων και παρέχει ασφάλεια.

Ειδικότερα τα περιβαλλοντικά οφέλη συνίστανται στις χαμηλές εκπομπές NO<sub>x</sub>. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σταδιακή μίξη και καύση που πραγματοποιείται στον κεντρικό κώνο (central cone) στην πρωτογενή ζώνη καύσης του καυστήρα, σε συνδυασμό με έγχυση νερού στην κορυφή του καυστήρα για περαιτέρω μείωση των εκπομπών. Παράλληλα, παράγεται σταθερή φλόγα μικρού μεγέθους, λόγω των εγχυτήρων περιδίνησης (swirling nozzles) καυσίμου και αέρα καύσης, που επιτυγχάνουν γρήγορη και τέλεια καύση. (Πηγή MWKELLOGG 2004, σελ 250)

#### 4.4.1.3 Προϊόντα καύσης από το Σταθμό Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας.

Για την παραγωγή 15,5 MW ηλεκτρικής ενέργειας θα καταναλώνονται 2,61 tn/hr φυσικού αερίου. Η τυπική σύσταση των καυσαερίων από τις ΜΕΚ (με βάσει στοιχεία από παρόμοιους τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ) και αφού διασχίσουν τη στήλη ψεκασμού, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. (Ασπροφός 2005, σελ

**Πίνακας 4.6:** Τυπική σύσταση αερίων από ΜΕΚ (αφού έχουν διασχίσει τη στήλη ψεκασμού). (Πηγή Ασπροφός 2005)

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ
Θερμοκρασία Καυσαερίων	°C	15-20
Ταχύτητα Καυσαερίων	m/sec	>8
Ύψος καμινάδας	m/sec	20*+10,2
Διάμετρος καμινάδας	m/sec	0,91
CO <sub>2</sub>	tn/h	89-92,9
Νερό στα καυσαέρια	tn/h	0,98-1,03
Συγκέντρωση του O <sub>2</sub> στα καυσαέρια σε ξηρή βάση	mg/Nm <sup>3</sup>	167.750-168.650

SO <sub>2</sub> στα καυσαέρια (Παροχή)	Kg/h	0,18-0,20
NO <sub>2</sub> στα καυσαέρια (Παροχή)	Kg/h	35-40
Άκαυστοι HC στα καυσαέρια (Παροχή)	Kg/h	90-115
*Το ύψος της στήλης ψεκασμού είναι 20m και η καμινάδα θα τοποθετηθεί στην κορυφή της στήλης.		

#### 4.4.1.4 Προϊόντα καύσης από τον πυρσό

- Φυσιολογική λειτουργία της όλης διαδικασίας εκφόρτωσης

Το σύστημα του πυρσού και το σύστημα εκτόνωσης χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και την ασφαλή διάθεση των εκροών των βαλβίδων ελέγχου, των εξαερισμών, της αποστράγγισης, των εξοπλισμών θερμικών εκτονώσεων και ελέγχου εκτόνωσης πίεσης. Κατά τη φυσιολογική λειτουργία δεν παράγονται επιπλέον ατμοί ώστε να διοχετευθούν στο σύστημα του πυρσού, εκτός από μια μικρή ροή αδρανοποίησης για την αποφυγή εισόδου αέρα στο σύστημα. Οι απορροές εξαερισμού και εκτόνωσης οδηγούνται μέσω μιας μονής υπερυψωμένης καμινάδας πυρσού. Η παροχή καυσαερίων (ρυθμός σχεδιασμού) από το πυρσό εκτιμάται σε **2.090m<sup>3</sup>/h**, η εκπομπή των **NO<sub>x</sub> σε 31Kg/h** και των **VOC σε 21Kg/h**. (Ασπροφός 2012, σελ 174)

- Μη Φυσιολογική Λειτουργία

Οι εκπομπές αερίων του πυρσού προέρχονται από τη μη φυσιολογική λειτουργία και από απελευθερώσεις εκτάκτων αναγκών όταν καίγονται για π.χ. υπολείμματα υδρογονανθράκων που δεν μπορούν να απομακρυνθούν από τα συστήματα. Για τη διατήρηση του συστήματος αγωγών του πυρσού σε ασφαλή κατάσταση και για την αποφυγή εισόδου αέρα στο σύστημα, οι προσαγωγοί εκτόνωσης χαμηλής και υψηλής πίεσης καθαρίζονται συνεχώς με απαέριο. Η ροή αερίων καταλοίπων καίγεται στην κορυφή του πυρσού, όπου οι οδηγοί πυρσού είναι σε συνεχή λειτουργία.

Η υφιστάμενη καμινάδα του πυρσού έχει σχεδιασθεί με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους:



- μέγιστη παροχή αερίων υπό φυσιολογική λειτουργία: εκτόνωση δεξαμενής (36.000 kg/hr)
- εκτόνωση ενός αεριοποιητή: ικανότητα των νέων SVCs (127.400 kg/hr)
- εκτόνωση σχεδιασμού: ταυτόχρονη εξαέρωση από πολλούς αεριοποιητές (451.700 kg/hr)

Η συνεχής παροχή καύσης στο flare tip ανέρχεται σε 200 kg/hr.

Η καύση στον πυρσό για μία συνήθη pipe flare tip αφήνει 1% κ.β. υπόλειμμα του αερίου, που οδηγείται στον πυρσό ως VOC και σημαντική ποσότητα NO<sub>x</sub>, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα. (Ασπροφός 2012, σελ 175)

**Πίνακας 4.7:** Προϊόντα καύσης συστήματος πυρσού (παροχές σχεδιασμού-Design Rates (Πηγή: Ασπροφός 2012)

	Ρυθμός σχεδιασμού (kg/hr)	Προϊόντα καύσης (kg/hr)		
		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	VOCS
Φυσιολογικές Συνθήκες	2090	5852	31	21
Μέγιστες Φυσιολογικές Συνθήκες	36000	100800	540	360
Εκτόνωση ενός αεριοποιητή	127400	356720	1911	1274
Εκτόνωση Σχεδιασμού	451700	1264760	6776	4517

#### 4.4.1.5 Εκπομπές αερίων ρύπων σε συνθήκες εκτάκτων καταστάσεων

Διάθεση άκαυστου φυσικού αερίου (πχ. από τις βαλβίδες εκτόνωσης της δεξαμενής ΥΦΑ) στην ατμόσφαιρα υπό συνθήκες εκτάκτων καταστάσεων εφαρμόζονται όταν δεν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις που να είναι οικονομικά εφικτές σε συνάρτηση με τη σπανιότητα εμφάνισης των καταστάσεων αυτών ή όταν πρέπει να εξασφαλισθεί η ασφάλεια.

##### 1. Εκπομπές πυρσού σε συνθήκες εκτάκτων καταστάσεων.

Ο πυρσός έχει σχεδιασθεί για φορτίο **451.700 kg/hr**. Οι αγωγοί ισορροπίας ατμών των δεξαμενών ΥΦΑ έχουν διάμετρο 30’’ ώστε το φορτίο ατμών από τις δεξαμενές να οδηγείται στον πυρσό αποφεύγοντας το άνοιγμα των βαλβίδων εκτόνωσης. (Ασπροφός 2012, σελ 180)

## 2. Εκπομπές βαλβίδων εκτόνωσης

Όλες οι βαλβίδες εκτόνωσης απελευθερώνουν στο σύστημα του πυρσού με εξαίρεση τη βαλβίδα έκτακτης ανάγκης των δεξαμενών ΥΦΑ που απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες εκτάκτων περιστατικών ατμοί ΥΦΑ από τις δεξαμενές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω των βαλβίδων εκτόνωσης με παροχή περίπου **36031 kg/h**. (Ασπροφός 2012, σελ 180)

Φαινόμενα rollover στη δεξαμενή οδηγούν σε εκτονώσεις σημαντικής χρονικής διάρκειας. Βέβαια οι μηχανισμοί ελέγχου είναι τέτοιοι που ελαχιστοποιούν τις πιθανότητες τέτοιων φαινομένων. Η εκτόνωση των αεριοποιητών αναμένεται να είναι σπάνια εξ αιτίας της υψηλής καθορισμένης πίεσης (high set pressure) των βαλβίδων εκτόνωσής τους.

### 4.4.2 Υγρά Απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα που παράγονται από τη διαδικασία εκφόρτωσης είναι *μη ελαιώδη*.

Ως μη ελαιώδη απόβλητα θεωρείται μόνο το θαλασσινό νερό, που χρησιμοποιείται στους αεριοποιητές θαλασσινού νερού του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το νερό αυτό κυκλοφορεί σε κλειστό δίκτυο σωληνώσεων και υφίσταται χλωρίωση στην έξοδο των αντλιών, που είναι εγκατεστημένες στη θάλασσα.

Το νερό αυτό πριν απορριφθεί πίσω στη θάλασσα υφίσταται χημική κατεργασία για τον περιορισμό του υπολειπόμενου χλωρίου με προσθήκη θειώδους νατρίου. Το υπολειμματικό χλώριο που περιέχεται στο αποβαλλόμενο θαλασσινό νερό δεν υπερβαίνει το 0.5 ppm, σύμφωνα με τις ισχύουσες υγειονομικές διατάξεις και δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Σχετικά με τις επιπτώσεις που θα έχει η απόρριψη του ψυχρού χρησιμοποιημένου θαλασσινού νερού στη θάλασσα, πρέπει να σημειωθεί ότι :

Το απορριπτόμενο όμως θαλασσινό νερό επειδή έχει χρησιμοποιηθεί στους αεριοποιητές ΥΦΑ ως θερμαντικό μέσον, θα έχει πριν την απόρριψή του στη θάλασσα, θερμοκρασία κατά 5 έως 6°C χαμηλότερη από την θερμοκρασία της θάλασσας, που είναι η θερμοκρασία αναρρόφησης των αντλιών θαλασσινού νερού. (Ασπροφός 2012, σελ 190)

#### 4.4.3 Στερεά Απόβλητα

Από την όλη διεργασία δεν προκύπτουν στερεά απόβλητα

#### 4.4.4 Θόρυβος

Κατά τη φάση της εκφόρτωσης το επίπεδο θορύβου στην περίμετρο της εγκατάστασης είναι χαμηλότερο των 65dB(A). Σε απόσταση 1m από την πηγή του θορύβου, το επίπεδο δεν υπερβαίνει γενικά τα 85dB(A). Κύριες πηγές θορύβου αποτελούν οι αντλίες υψηλής πίεσης του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, οι φυσητήρες των αεριοποιητών καύσης και οι μηχανές εσωτερικής καύσης ΜΕΚ

#### 4.4.5 Ανταλλαγή Έρματος

Ανταλλαγή έρματος στην όλη διαδικασία δεν λαμβάνει χώρα. Αντιθέτως, το πλοίο προσλαμβάνει έρμα, αφού αδειάσει το φορτίο του, για να έχει σταθερότερη πλευση μέχρι τον επόμενο προορισμό του. Προκύπτει, σαφώς περιορισμένος κίνδυνος εισαγωγής ξενικών, χωροτακτικών ειδών ο οποίος περιορίζεται, στην προσκόλληση ειδών, και δει γλινών και οστρακοειδών, στο κήτος των δεξαμενοπλοίων.

#### 4.5 Προτάσεις για μέτρα αντιρρύπανσης κατά τη διάρκεια εκφόρτωσης, φόρτωσης απαερίων και αεριοποίησης

Η ευρωπαϊκή οδηγία, η οποία θέτει τα όρια των εκπομπών στην ατμόσφαιρα είναι η 99/30/ΕΕ. Τα όρια για κάθε ρύπο αναφέρονται παρακάτω:

**Πίνακας 4.8:** Συγκεντρωτικός πίνακας ορίων αέριων εκπομπών (Πηγή: Οδηγία 99/30/ΕΕ)

Οδηγία 99/30/ΕΕ			
Ρύπος	Τιμή ορίου (μg/m <sup>3</sup> )	Περίοδος αναφοράς	Έτος ισχύος
SO <sub>2</sub>	470	1h	2001
	440		2002
	350		2005
	125	24h	2005
NO <sub>x</sub>	290	1h	2001
	280		2002
	200		2010
	58	1 έτος	2001
	56		2002
	40		2010
PM <sub>10</sub>	70	1h	2001
	65		2002
	50		2005
	50		2010
	48	1 έτος	2001
	46		2002
	40		2005
	20		2010

Κατά τα διάρκεια εκφόρτωσης –φόρτωσης απαερίων, δεν υπερβαίνονται τα όρια της Ευρωπαϊκής Οδηγίας . Παρ' όλα αυτά όμως, για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών προτείνονται μέτρα για την πρόληψη , τον έλεγχο και τον περιορισμό των αποβλήτων (αέριων και υγρών) , τα οποία είναι :

1. Εγκατάσταση στον Πυρσό συσκευής συνεχούς μέτρησης και καταγραφής του όγκου/ ποσότητας των αερίων που διοχετεύονται προς καύση.
2. Η διοχέτευση αερίων στον πυρσό (ο έλεγχος δηλαδή των μη κανονικών συνθηκών λειτουργίας), να παρακολουθείται από τα ακόλουθα λειτουργικά στοιχεία, τα οποία πρέπει να καταγράφονται και να τηρούνται σε σχετικά αρχεία:

- Συνθήκες λειτουργίας της βάνας ελέγχου πίεσης, που βρίσκεται στη γραμμή εξισορρόπησης πίεσης των δεξαμενών. Συγκεκριμένα, να καταγράφονται η

πίεση της προαναφερόμενης γραμμής εξισορρόπησης, το άνοιγμα, ο χρόνος και η χρονική διάρκεια του ανοίγματος της βάνας ελέγχου της πίεσης και η ποσότητα των διαφυγόντων στον πυρσό αερίων.

- Τιμές της πίεσης στις δεξαμενές ΥΦΑ να είναι ίδια με αυτή της γραμμής εξισορρόπησης της πίεσης, καθώς και χρόνος και διάρκεια υπερπίεσης των δεξαμενών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.
- Εκτονώσεις των αεριοποιητών προς τον πυρσό σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να καταγράφεται ο χρόνος και η διάρκεια του ανοίγματος των ασφαλιστικών των αεριοποιητών προς τον πυρσό.
- Επιπρόσθετα, θα πρέπει να γίνεται και μηνιαίος υπολογισμός της ποσότητας των αερίων που διοχετεύονται στον πυρσό για καύση.

3. Έλεγχος ποιότητας και περιεκτικότητας του υγροποιημένου φυσικού αερίου του πλοίου, που εκφορτώνει στη Νήσο Ρεβυθούσα, για αποφυγή φαινομένων Roll-Over στις δεξαμενές.

4. Είναι απαραίτητο να ληφθούν υπ' όψη όλες οι απαραίτητες διαδικασίες ελαχιστοποίησης διαφυγόντων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, μέσω της σωστής συντήρησης και του διαρκούς ελέγχου του εξοπλισμού.

5. Πρέπει να πραγματοποιείται σωστή συντήρηση και έλεγχος των καυστήρων για τυχόν αυξημένα επίπεδα εκπομπών όπως επίσης και η σωστή τοποθέτηση των SCVs σε σημείο που να μην προξενεί προβλήματα η τοπική συσσώρευση του θυσάνου καυσαερίων στους εργαζόμενους.

6. Ο Εμβαπτιζόμενος Αεριοποιητής Καύσης (SCV) που λειτουργεί με χρήση θερμού νερού, εκπέμπει  $\text{NO}_x$  σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ παράλληλα συνδυάζει υψηλή ενεργειακή απόδοση με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σταδιακή μίξη και καύση που πραγματοποιείται στον κεντρικό κώνο (central cone) στην πρωτογενή ζώνη καύσης του καυστήρα, σε συνδυασμό με έγχυση νερού στην κορυφή του καυστήρα για περαιτέρω μείωση των εκπομπών.

7. Η προτεινόμενη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδα συμπαραγωγής, με χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης, ακολουθούμενες από στήλη ψεκασμού για την εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων, εξασφαλίζει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης για την Μονάδα, που συνεπάγεται τις χαμηλές εκπομπές ρύπων ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος (ηλεκτρικής ενέργειας). Οι

εκπομπές ρύπων είναι χαμηλές και η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι πολύ μικρότερη (15-20°C) σε σχέση με τη θερμοκρασία που θα είχαν τα καυσαέρια αν δε διέσχιζαν τη στήλη ψεκασμού (395-414o C). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι μικρότερες σε σχέση με άλλα συστήματα συμπαγωγής π.χ. αεριοστροβίλους. Οι εκπομπές SO<sub>2</sub> είναι μηδενικές λόγω της καύσης φυσικού αερίου. Απαραίτητο όμως είναι να γίνεται έλεγχος των εκπομπών. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ΜΕΚ έχουν ειδική σχεδίαση για καύση φυσικού αερίου με χαμηλά επίπεδα NO<sub>x</sub> (250mg/Nm<sup>3</sup>).

8. Ως αναφορά την παραγωγή των μη ελαιωδών αποβλήτων, δηλαδή το θαλασσινό νερό από τους αεριοποιητές, πριν απορριφθούν στη θάλασσα υφίστανται χημική κατεργασία για τον περιορισμό του υπολειπόμενου χλωρίου με προσθήκη θειϊκού νατρίου. Επειδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισαγόμενου στην εγκατάσταση και του απορριπτόμενου θαλασσινού νερού δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τους 7°C, θα πρέπει ο έλεγχος της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευμάτων να πραγματοποιείται με συσκευές συνεχούς μέτρησης και καταγραφής της θερμοκρασίας στην είσοδο και έξοδο του θαλασσινού νερού.

9. Θα πρέπει να εφαρμοστεί Σχέδιο περιβαλλοντικής διαχείρισης για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής προστασίας του περιβάλλοντος (συχνότητα καταγραφής αποβλήτων, χρόνος, δείκτες περιβάλλοντος, παράμετροι και στοιχεία)

10. Τέλος, σε περιπτώσεις που θεωρούνται έκτακτης ανάγκης (απελευθερώσεις στην ατμόσφαιρα), θα πρέπει να ενεργοποιείται το Αυτόματο Σύστημα Σταματήματος Εκτάκτου Ανάγκης (ESD System)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα όσα παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα

Το βασικό καύσιμο που λαμβάνει μέρος στην υπό εξέταση διαδικασία είναι το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) και τα απαέρια του. Το ΥΦΑ, όπως έχει αναφερθεί είναι μίγμα αερίων υδρογονανθράκων, αλλά αποτελείται κυρίως από Μεθάνιο. Τα πλεονεκτήματα του μεθανίου είναι:

1. η σχετικώς χαμηλή τιμή του ανά μονάδα όγκου ή θερμικού δυναμικού
2. οι χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>
3. οι ασήμαντες εκπομπές των (PM) στην ατμόσφαιρα λόγω απουσίας ανοργάνων υλών (τέφρα) στο καύσιμο και
4. οι ελάχιστες ή απουσία εκπομπών SO<sub>2</sub>

Η αυξημένη ανάγκη για μελλοντική εξασφάλιση των ενεργειακών αποθεμάτων, αλλά και η δημιουργία νέων τερματικών, προσέλκυσε πολλές παράκτιες χώρες στη θαλάσσια μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Συνεπώς, πολλά κράτη συμπεριέλαβαν αυτό το είδος μεταφοράς στην ενεργειακή ατζέντα τους, δημιουργώντας μακροπρόθεσμα συμβόλαια με ιδιοκτήτες υγραεριοφόρων ώστε να αποφύγουν τη συνεχή προμήθεια. Το μεγάλο μέγεθος σε απαιτήσεις είναι αυτό στο οποίο οφείλεται η άνοδος στη βιομηχανία των LNG πλοίων, η οποία οδήγησε στην κατασκευή των Q-max και Q-flex χωρητικότητας έως και 260.000m<sup>3</sup>.

Τα πλοία LNG λοιπόν, κατέχουν σημαντικό ρόλο στην αλυσίδα του υγροποιημένου φυσικού αερίου, αυτό της μεταφοράς, φόρτωσης και εκφόρτωσης σε ένα τερματικό σταθμό. Η διαδικασία της όλης εκφόρτωσης ΥΦΑ από την αρχή έως το πέρας και εξαρτωμένων των συνθηκών, έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή αέριων αποβλήτων και υγρών αποβλήτων (μη ελαιωδών). Στην παρούσα διπλωματική, περιγράφεται η διαδικασία στον τερματικό της Ν. Ρεβυθούσας και τα αποτελέσματα, τα οποία ισχύουν και σε αντίστοιχης δυναμικότητας τερματικά.

Κατά τη φυσιολογική λειτουργία της εκφόρτωσης οι εκπομπές αερίων ρύπων δεν είναι συνεχείς και προβλέπονται να είναι από τους εμβαπτιζόμενους αεριοποιητές, το σύστημα πυρσού, και τη Μονάδα ΜΕΚ. Επίσης υπάρχουν και διαφυγούσες εκπομπές υδρογονανθράκων από αγωγούς, βαλβίδες, αντλίες, συμπιεστές. Το φυσικό αέριο εκπέμπει σε σχέση με το μαζούτ 4700 φορές λιγότερο διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), 2 φορές λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), 3 φορές λιγότερους άκαυστους υδρογονάνθρακες και 1,7 φορές λιγότερα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Αντίστοιχα, σε σχέση με τον άνθρακα για παραγωγή ίσου ποσού ενέργειας, προκύπτει 43% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και 30% λιγότερο από το ντήζελ.

Η χρήση φυσικού αερίου συμβάλλει επίσης στον περιορισμό των μεταλλικών ρύπων. Στον άνθρακα και στο πετρέλαιο υπάρχουν παραδείγματα χάρη ίχνη υδράργυρου, μολύβδου, βαναδίου και νικελίου, τα οποία δεν περιέχονται στο Φυσικό Αέριο. Τα οξείδια του αζώτου, είναι ο μόνος ρύπος του οποίου η εκπομπή δεν μειώνεται σημαντικά με τη χρήση Φυσικού Αερίου, καθώς ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) οφείλεται στο άζωτο που πάντα περιέχεται στον απαραίτητο για την καύση αέρα.

Πιο συγκεκριμένα :

1. Η παροχή καυσαερίων (ρυθμός εκπομπής) από τον πυρσό (κεφ 4.3 & 4.4.1.3) εκτιμάται σε **2090 m<sup>3</sup>/h**, η εκπομπή των **NO<sub>x</sub> περίπου σε 31 Kg/h**, των **VOC σε 21 Kg/h** και των **CO<sub>2</sub> σε 5.802 Kg/h**. Η παραγωγή συνολικά του  $\text{CO}_2$  κατά το πρώτο εξάμηνο του 2012 στη Ρεβυθούσα ανήλθε στους **24.929 tn**. Η αντίστοιχη στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μαζούτ θα ήταν  $24.929 \times 2 = 49.858 \text{ tn CO}_2$ .
2. Από τη λειτουργία των αεριοποιητών θαλασσινού νερού, με μια πρώτη προσέγγιση δεν υφίστανται εκπομπές, διότι λειτουργούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια. Με έμμεσο τρόπο όμως, ενδέχεται να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής  $\text{CO}_2$  εξαιτίας κατανάλωσης αερίου στον ΣΗΘΥΑ (κεφ.4.2).
3. Για την παραγωγή 15,5 MW ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνονται 2,61 tn/hr φυσικού αερίου (κεφ. 4.2, 4.3, 4.4.1.2). Η τυπική σύσταση των καυσαερίων από τις ΜΕΚ είναι **SO<sub>2</sub> 0,18-0,20 kg/h**, **NO<sub>2</sub> 35-40 kg/h**, **VOC 90-115 kg/h** και **CO<sub>2</sub> 89-92,9 kg/h**. Αντίστοιχη παραγωγή με καύσιμο τον άνθρακα θα έδινε  $\text{SO}_2=73,33\text{kg/h}$ ,  $\text{NO}_2=100\text{kg/h}$ ,  $\text{CO}_2=216,046\text{ kg/h}$  και  $\text{VOC}=200\text{ kg/h}$ .



4. Για αεριοποίηση έως και 766,6 m<sup>3</sup>/hr Υ.Φ.Α δεν υπάρχουν καυσαέρια από τους SCVs αεριοποιητές (κεφ. 4.3 & 4.4.1.1), διότι λειτουργεί μόνο ο ένας εκ των δυο καινούριων, ο οποίος και λειτουργεί με κυκλοφορία θερμού νερού και όχι με καύση φυσικού αερίου.

Οι εκπομπές αερίων ρύπων σε συνθήκες εκτάκτων καταστάσεων προέρχονται από: τις εκπομπές πυρσού και τις εκπομπές βαλβίδων εκτόνωσης.

Πιο συγκεκριμένα:

1. Ο πυρσός έχει σχεδιασθεί για εκπομπές φορτίου ίσες με **451.700 kg/hr**, ο οποίος συνδέεται με τους αγωγούς ισορροπίας ατμών των δεξαμενών ΥΦΑ ώστε το φορτίο ατμών από τις δεξαμενές να οδηγείται απευθείας στον πυρσό.

2. Όλες οι βαλβίδες εκτόνωσης απελευθερώνουν στο σύστημα του πυρσού με εξαίρεση τη βαλβίδα έκτακτης ανάγκης των δεξαμενών ΥΦΑ που απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες εκτάκτων (φαινόμενα roll-over κεφ 3.2), περιστατικών, ατμοί ΥΦΑ από τις δεξαμενές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω των βαλβίδων εκτόνωσης με παροχή περίπου **36.031 kg/h**.

Τέλος, στην εργασία αυτή, αναφέρονται μέτρα τόσο για την αποτροπή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας (κεφ 4.5.), όσο και του εδάφους από τη λειτουργία σε κανονικές και ατυχηματικές συνθήκες, που στοχεύουν στην διατήρηση της αξιοπιστίας της διαδικασίας. Αναφέρεται, η σωστή συντήρηση και ο διαρκής έλεγχος του εξοπλισμού, το σχέδιο περιβαλλοντικής διαχείρισης για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής προστασίας του περιβάλλοντος, η εγκατάσταση μετρητών στον πυρσό ασφάλειας αλλά και η μέτρηση περιεκτικότητας του ΥΦΑ πριν την εκφόρτωση για αποφυγή φαινομένων roll over δεξαμενών. Το πιο σημαντικό όμως μέτρο, είναι η συνεχής παρακολούθηση των εγκαταστάσεων μέσω κατάλληλων διατάξεων, οι οποίες ελέγχουν την πίεση και τη διαρροή του αερίου στην ατμόσφαιρα σε όλα τα στάδια έως οτου αεριοποιηθεί το ΥΦΑ.. Τα ακόλουθα στοιχεία συνίσταται να ενσωματωθούν σε σύστημα παρακολούθησης εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου :

- Μέτρηση τυχόν εκπομπών ΠΟΕ (VOC)
- Μέτρηση τυχόν εκπομπών Μικροσωματιδίων (PM)

- Μέτρηση τυχόν εκπομπών SO<sub>2</sub>
- Μέτρηση τυχόν εκπομπών NO<sub>x</sub>
- Δείκτης δέσμευσης CO<sub>2</sub>

Σχετικά με την παραγωγή των μη ελαιωδών αποβλήτων (κεφ 4.4.2) , και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισαγόμενου στην εγκατάσταση και του απορριπτόμενου θαλασσινού νερού, προτείνονται συσκευές συνεχούς μέτρησης και καταγραφής της θερμοκρασίας στην είσοδο και έξοδο του θαλασσινού νερού. Στερεά απόβλητα κατά την όλη διαδικασία δεν υφίστανται, όπως επίσης και ακουστική όχληση.

Με βάση τα παραπάνω κατά τη διαδικασία της φάσης εκφόρτωσης-φόρτωσης απαερίων και ψύξης δεξαμενών πλοίων LNG, θεωρούνται μικρής σημασίας και επομένως δεν προσθέτουν επιβάρυνση στο ατμοσφαιρικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΣΠΡΟΦΟΣ ΑΕ (2012), Δραστηριότητες της Υφιστάμενης Εγκατάστασης και Εφαρμοζόμενη Τεχνολογία. Στο Ασπροφός επιμ, *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για τη 2η Αναβάθμιση του Τερματικού Σταθμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη Νήσο Ρεβυθούσα*. Αθήνα: Δεσφα, σελ 108-140

ΑΣΠΡΟΦΟΣ Α.Ε., (1999), *Φάκελος ασφαλείας για τις εγκαταστάσεις του τερματικού σταθμού ΥΦΑ Ρεβυθούσας*. Αθήνα, Ασπροφός

ΑΣΠΡΟΦΟΣ Α.Ε., (2005), *Μελέτη Σταθμού Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας 15.5MW στη Νήσο Ρεβυθούσα*. Αθήνα, Ασπροφός

ΔΕΣΦΑ (2011). Διαδικασίες εγκατάστασης ΥΦΑ , *REV 3*, σελ 6-15

ΔΕΣΦΑ Α.Ε., (2002) *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την Επέκταση του Τερματικού Σταθμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στη Νήσο Ρεβυθούσα*. Αθήνα, ΔΕΣΦΑ

Ευθυμιάδης (2012), *Ανεξάρτητο Σύστημα Φυσικού Αερίου (ΑΣΦΑ) Αλεξανδρούπολης*, Gastrade s.a.

*Οδηγία 1999/30/ΕΚ του συμβουλίου της 22ας Απριλίου 1999, σχετικά με τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολ/βδου, στον αέρα του περιβάλλοντος*

Arthur Bowring , (2009), “Can the global shipping industry increase its efficiency and reduce its contribution to global warming? Arthur Bowring explores the issues”, *China dialogue*

Hirose H, TKK, Development of Aboveground Storage Tank Designs in Japan, LNG Journal March/April 2002.

Shearer, Gordon, Tusiani, and Michael D. (2007), *LNG, a non-technical Guide*, Pennwell

Markus Brokhof (2011), “LNG Liquefaction Plan and LNG Regasification Terminals”, paper presented to the scientific meeting of the LNG Journal Athens, Athens, 24 February

Ministry of Environment and Local Government of New Brunswick, Canadian Environmental Assessment Agency, (2002), *Draft guideline for an environmental impact assessment of LNG receiving, storage and processing facility*. Scoping document of Ministry of the Environment and Local Government of the Province of New Brunswick in cooperation with the Canadian Environmental Assessment Agency, Canada

MWKELLOGG, (2004) *LNG terminal power integration –Basic engineering*. Revithousa Island, Greece, UK, Mwkello

Osifo Akhuemonkhan and Roberto Ruiperez Vara (2009), *US firm outlines its LNG terminal cool-down procedure at start-up*, IV International, a major player in LNG terminal projects, Baltimore, Maryland, February (1-4) 2009

Thermal Insulation for Subsea Pipelines, LNG Journal May/June 2002.

Whitehead Richard (2012), “LNG / Natural Gas Chain Development”, *Proceedings of the 1th CONGRESS IN - OIL & GAS SEMINAR*, DNV Piraeus

ΔΕΠΑ (2012), Ιστορία Φυσικού Αερίου. Ημερομηνία Πρόσβασης 20/7/2012 στη διεύθυνση [http://www.depa.gr/content/article/0020020\\_01001/12.html](http://www.depa.gr/content/article/0020020_01001/12.html)

ΔΕΣΦΑ (2012), 2<sup>η</sup> Αναβάθμιση Τερματικού Σταθμού στη Ν. Ρεβυθούσα. Ημερομηνία Πρόσβασης 20/7/2012 στη διεύθυνση <http://www.desfa.gr/default.asp?pid=170&la=1>

Κασίνης Σόλωνας (2011) , Φυσικό αέριο από την πηγή στην κατανάλωση , ΤΕΠΑΚ Ημερομηνία [http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/294638E46255B467C225786B0037A18B/\\$file/Presentation%20at%20TEPAK%20on%2005\\_04\\_2011%20\(Natural%20Gas%20-%20From%20source%20to%20consumption\).pdf?OpenElement](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/294638E46255B467C225786B0037A18B/$file/Presentation%20at%20TEPAK%20on%2005_04_2011%20(Natural%20Gas%20-%20From%20source%20to%20consumption).pdf?OpenElement)

Capital (2012), Σταθμός αεριοποίησης και μεταφόρτωσης LNG στην Καβάλα. Ημερομηνία Πρόσβασης 20/7/2012 στη διεύθυνση <http://www.shipfriends.gr/forum/topic/3496>

Energia (2012), “Τα Δέκα Μεγαλύτερα Σχέδια LNG στον Κόσμο”, *Energia*, 29 Φεβρουαρίου 2012. Ημερομηνία πρόσβασης 5/5/2012 στη διεύθυνση [www.energia.gr](http://www.energia.gr)

Environmental Protection Agency – EPA. Ημερομηνία πρόσβασης 9/9/2012 στη διεύθυνση <http://epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect>

International Energy Agency, (2010) CO2 EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights. Ημερομηνία πρόσβασης στις 9/9/2012 στη διεύθυνση <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>

ShipbuildingHistory, (2012). LNG CARRIERS IN SERVICE OR UNDER CONSTRUCTION. Ημερομηνία πρόσβασης 30/9/2012 στη διεύθυνση <http://shipbuildinghistory.com/today/highvalueships/lngactivefleet.htm>

LNG NEW PROJECT LISTINGS (2012). Ημερομηνία πρόσβασης 11/6/2012 στη διεύθυνση [http://www.mcilvainecompany.com/brochures/LNG\\_new\\_project\\_listings.htm](http://www.mcilvainecompany.com/brochures/LNG_new_project_listings.htm)

The international group of lng importers (2009), “LNG Process Chain”, LNG Information Paper No. 2, pp 1-8 , The international group of lng importers. Ημερομηνία πρόσβασης 10/5/2012 στη διεύθυνση [http://www.giignl.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/LNG\\_Safety/2%20%20LNG%20Process%20Chain%208.28.09%20Final%20HQ.pdf](http://www.giignl.org/fileadmin/user_upload/pdf/LNG_Safety/2%20%20LNG%20Process%20Chain%208.28.09%20Final%20HQ.pdf)