



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

“Εργαστήριο Διοικητικών Συστημάτων”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Τεχνοοικονομική Ανάλυση για την Αντικατάσταση της Μηχανής Πρόωσης
Επιβατηγού/Οχηματαγωγού Πλοίου από Diesel σε LNG”

ΠΛΑΝΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλειος Μουστάκης Καθηγητής

Στους γονείς μου και στον αδελφό μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μουστάκη Βασίλειο ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το παραπάνω θέμα της διπλωματικής εργασίας μου και με καθοδήγησε στην υλοποίησή της.

Επίσης ευχαριστώ τους: κ. Κουκλάκη Μιχάλη Τεχνικό Διευθυντή της ANEK, τον κ. Σταματόπουλο Άρη (MSc) από το Τεχνικό Τμήμα της Wartsila Ελλάδος/Κύπρου, τον κ. Καπετανάκη Ηλία (MSc) από το Τμήμα Προμηθειών της Onex Neorion Ship Yards καθώς και τον αδελφό μου Νικόλα Πλανάκη (PhD) Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό, για τη στήριξη τους σε αυτή την προσπάθειά μου τόσο με την παροχή σημαντικών δεδομένων όσο και με τη μετάδοση τεχνικών γνώσεων.

Στην συνέχεια οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Πέτρο και Άρτεμις για την υποστήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μου.

Τέλος δεν πρέπει να ξεχάσω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τις όμορφες στιγμές που ζήσαμε τα χρόνια των σπουδών μου και ιδιαίτερα τον κ. Κωνσταντίνο Μανιουδάκη Αντ/ρχο ΠΝ εα.

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων	6
Κατάλογος Πινάκων	8
Περίληψη	9
Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1 ^ο : Γενικές πληροφορίες για το LNG	12
1.1 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	12
1.2 Το LNG στη ναυτιλία	14
1.3 Περιβαλλοντικά οφέλη του LNG	16
1.4 Ναυτιλιακοί κινητήρες καύσης LNG	18
1.5 Δεξαμενές LNG	22
1.5.1 Πρισματικές δεξαμενές	23
1.5.2 Σφαιρικές δεξαμενές	23
1.5.3 Κυλινδρικές δεξαμενές	23
1.6 Σωληνώσεις LNG	24
1.7 Τροφοδοσία πλοίων με LNG	25
1.7.1 Τροφοδοσία με φορτηγό	26
1.7.2 Τροφοδοσία από δεξαμενές στο λιμάνι	27
1.7.3 Τροφοδοσία από πλοίο σε πλοίο	28
1.8 Κανονισμοί ασφάλειας	29
1.9 Σενάριο τιμών LNG και άλλων ναυτιλιακών καυσίμων	31
Κεφάλαιο 2 ^ο : Εφαρμογή στο πλοίο	34
2.1 Το πλοίο που θα γίνει η εφαρμογή της μελέτης	34
2.2 Περιγραφή της μετασκευής	38
2.2.1 Μηχανοστάσιο/Αλλαγές στους κινητήρες	38
2.2.2 Επιλογή δεξαμενής LNG	42
2.2.3 Το Κύκλωμα των σωληνώσεων στο πλοίο	46
2.2.4 Συστήματα ασφάλειας και πυρόσβεσης	48
2.3 Γενικές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία των κινητήρων ως κινητήρες DF	52
2.4 Η κατανάλωση του πλοίου πριν και μετά τη μετασκευή	54
2.5 Συνολικό κόστος της μετασκευής	57
Κεφάλαιο 3 ^ο : Οικονομική Ανάλυση	59

3.1 Μέθοδος της Παρούσας Αξίας (ΠΑ-PW)	60
3.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA-IROR).....	61
3.3 Λόγος Οφέλους Κόστους (B/C ratio)	62
3.4 Εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών στη περίπτωση του Olympic Champion	63
3.4.1 Εφαρμογή απλής μεθόδου αποπληρωμής χωρίς υπολογισμό του κόστους ευκαιρίας του κεφαλαίου (payback).....	65
3.4.2 Εφαρμογή μεθοδολογίας Παρούσας Αξίας (ΠΑ)	66
3.4.3 Εφαρμογή μεθοδολογίας Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA).....	67
3.4.4 Εφαρμογή μεθοδολογίας Οφέλους Κόστους (B/C ratio)	67
3.5 Συμπεράσματα οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης για τη μετασκευή του “Olympic Champion”	69
Συμπεράσματα.....	70
Παράρτημα μονάδων	71
Βιβλιογραφία - Πηγές.....	72

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1, άποψη πλοίου μετά την μετασκευή	11
Εικόνα 2, νήσος Ρεβυθούσας, πηγή: naftikachronika.gr , (16/03/2021)	13
Εικόνα 3, γράφημα ενεργών και υπό παραγγελία πλοίων με καύσιμό LNG, πηγή: dnv.com , (28/11/2020)	14
Εικόνα 4, MS Viking Grace, πηγή: Wikipedia.com , (14/12/2020)	15
Εικόνα 5, εικόνα που προβάλλει τον ενεργό στόλο των διαφόρων τύπων πλοίων, πηγή: marinetraffic.com , (15/03/2021)	16
Εικόνα 6, πηγή: wartsila.com , Dual fuel- P. Bodman	17
Εικόνα 7, τυπική διάταξη εγκατάστασης LNG σε πλοίο, πηγή: marine-service-noord.com , (10/12/2020)	18
Εικόνα 8, γράφημα πίεσης όγκου κύκλων ΟΤΟ/ DIESEL, πηγή: www.dnv.com , (25/12/2020)	19
Εικόνα 9, δίχρονος κινητήρας WinGD X72DF-2,1, πηγή: www.wingd.com , (10/03/2021) ..	20
Εικόνα 10, τετράχρονος κινητήρας διπλού καυσίμου MAN 51/60 DF, πηγή: www.man-es.com , (10/03/2021)	21
Εικόνα 11, τύποι δεξαμενών, πηγή: www.wartsila.com , (11/12/2020)	22
Εικόνα 12, σχέδιο σωλήνας διπλού τοιχώματος LNG	24
Εικόνα 13, γράφημα τροφοδοσίας LNG σε σχέση με τη διάμετρο της σωλήνας, πηγή: www.wartsila.com , (25/1/2021)	25
Εικόνα 14, TTS τροφοδοσία, πηγή: NYK demonstrates truck-to-ship LNG bunkering in Japan – Freight Waves , (22/01/2021)	26
Εικόνα 15, εγκαταστάσεις δεξαμενών σε λιμάνι, πηγή: wikipedia.com , (05/02/2021)	27
Εικόνα 16, STS ανεφοδιασμός LNG, πηγή: www.VesselFinder.com , (05/02/2021)	28
Εικόνα 17, σύστημα πυρόσβεσης σε πλοίο, πηγή: www.marineinsight.com , (05/03/2021)	30
Εικόνα 18, γράφημα τιμών LNG τελευταίας 10 ετίας, πηγή: www.macrotrends.net , (15/02/2021)	32
Εικόνα 19, γράφημα τιμών Crude Oil της τελευταίας δεκαετίας, πηγή: www.macrotrends.net , (15/02/2021)	33
Εικόνα 20, το πλοίο Olympic Champion της ANEK LINES, πηγή: www.marinetraffic.com , (24/02/2021)	34
Εικόνα 21, η ζεύξη των τεσσάρων μηχανών στο Olympic Champion, πηγή: GA plans, “Olympic Champion”	35
Εικόνα 22, τμήμα από το μηχανοστάσιο του Olympic Champion, πηγή: arxipelagos.com , (25/02/2021)	36
Εικόνα 23, το Olympic Champion κατά την διάρκεια δεξαμενισμού, πηγή: marinetraffic.com , (25/02/2021)	37
Εικόνα 24, αλλαγές πάνω στον κινητήρα κατά τη μετατροπή του σε DF, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021)	39
Εικόνα 25, βαλβίδες εισαγωγής φυσικού αερίου στον χώρο καύσης, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021)	40
Εικόνα 26, κυλινδροκεφαλή σε τομή, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021)	41

Εικόνα 27, πίσω όψη του πλοίου αν τοποθετηθούν στη πρύμνη οι δεξαμενές του LNG, χωρητικότητας 200m ³	43
Εικόνα 28, σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου με τις αλλαγές για την τοποθέτηση των δεξαμενών και των σωληνώσεων του LNG.....	44
Εικόνα 29, σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου με τις αλλαγές για την τοποθέτηση των δεξαμενών και των σωληνώσεων του LNG.....	45
Εικόνα 30, διάταξη δεξαμενής LNG, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021).....	47
Εικόνα 31, Wartsila Gas System, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021)	49
Εικόνα 32, Wartsila Gas System, πηγή: www.wartsila.com , (25/02/2021)	50
Εικόνα 33, ειδικά γάντια προστασίας από την πολύ χαμηλή θερμοκρασία των σωληνώσεων κατά τον ανεφοδιασμό του πλοίου, πηγή: www.hazchemsafety.com , (05/03/2021).....	51
Εικόνα 34, κινητήρας διπλού καυσίμου σε τομή, πηγή: www.wartsila.com , (05/03/2021).	53
Εικόνα 35, γράφημα αποπληρωμής χωρίς τον υπολογισμό του i	65
Εικόνα 36, οικονομικά αποτελέσματα για διάφορες τιμές του i	66
Εικόνα 37, γράφημα B/C ratio για διάφορες τιμές του "i"	68

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1, σύστασης φασικού αερίου, πηγή: wikipedia.com, 25/10/2020	12
Πίνακας 2, οι διαστάσεις των σωληνώσεων, πηγή: Wartsila	47
Πίνακας 3, αποτελέσματα των sea trials	54
Πίνακας 4, πίνακας καταναλώσεων W46C	55
Πίνακας 5, πίνακας καταναλώσεων μετά τη μετασκευή	55
Πίνακας 6, πίνακας καταναλώσεων μετά τη μετασκευή	56
Πίνακας 7, πίνακας καταναλώσεων μετά τη μετασκευή	56
Πίνακας 8, πίνακας που παρουσιάζει το συνολικό κόστος της επένδυσης για τη μετασκευή του “Olympic Champion”	58
Πίνακας 9, πίνακας συνολικών χρηματικών απαιτήσεων ετήσιας βάσης σε καύσιμα πριν και μετά την μετασκευή του “Olympic Champion”).....	64
Πίνακας 10, αποτελέσματα μεθοδολογίας Οφέλους Κόστους.....	68
Πίνακας 11, παράρτημα μετατροπής μονάδων	71

Περίληψη

Σε αυτή την εργασία επιχειρείται η τεχνοοικονομική μελέτη πάνω στη μετασκευή των μηχανών πρόωσης του πλοίου “Olympic Champion” της ANEK LINES, από μηχανές καύσης πετρελαίου σε μηχανές καύσης φυσικού αερίου. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι ο υπολογισμός των οικονομικών οφελών της επένδυσης που θα αποκομίσει η ναυτιλιακή εταιρεία από την εφαρμογή μιας τεχνολογίας η οποία είναι σύμφωνη με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, σε αντίθεση με τη συμβατική επιλογή κινητήρα πρόωσης του πλοίου “Olympic Champion”.

Η προσέγγιση του παραπάνω θέματος επιχειρείται μέσα από δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος αναφέρεται στην τεχνική διαδικασία της μετασκευής αναλύοντας τις τεχνικές διαφορές και τις ενεργειακές απαιτήσεις μεταξύ των δυο κατηγοριών μηχανών, της καύσης ναυτιλιακού πετρελαίου και της καύσης φυσικού αερίου, τις τεχνικές μεθόδους που ακολουθούνται με τον απαραίτητο εξοπλισμό που χρειάζεται καθώς και τις νέες ανάγκες που προκύπτουν για να έχει ως καύσιμο το φυσικό αέριο το πλοίο που εξετάζεται. Ο δεύτερος βασικός άξονας αφορά στην οικονομική ανάλυση της επένδυσης με τον υπολογισμό κατά προσέγγιση του συνολικού κόστους που απαιτείται, για τη μετασκευή που μελετάται, σε συνάρτηση με τις σημερινές τιμές των ναυτιλιακών καυσίμων. Ωστόσο η βασική συνισταμένη των πιο πάνω είναι η συμβατότητα της μετατροπής αυτής στο πλαίσιο μιας παγκόσμιας προσπάθειας για τη στροφή στην “πράσινη ναυτιλία”.

Η μελέτη και η ανάλυση των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών δεδομένων, που αφορούν στη μετασκευή των μηχανών πρόωσης του πλοίου “Olympic Champion” από μηχανές καύσης πετρελαίου σε μηχανές καύσης φυσικού αερίου, συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για μια αξιόπιστη διαδικασία με περιβαλλοντικό όφελος ενώ αποτελεί μια συμφέρουσα επένδυση της ANEK LINES.

Εισαγωγή

Η ναυτιλία είναι ένας από τους σημαντικούς τομείς που έχουν αναπτυχθεί στην Ελλάδα λόγω της ανάγκης μεταφοράς αγαθών και ατόμων από και προς τα νησιά μας καθώς και τον υπόλοιπο κόσμο. Ωστόσο για τη μετακίνηση και τη λειτουργία αυτού του μεγάλου στόλου απαιτούνται τεράστιες ποσότητες σε πετρέλαιο.

Λόγω της δραστηκής μείωσης των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου αλλά και το μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της εκπομπής καυσαερίων των πλοίων, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) θεσμοθέτησε νέους κανονισμούς που υποχρεώνουν τις εταιρείες να κάνουν χρήση εναλλακτικών καυσίμων ή να εγκαταστήσουν ειδικά φίλτρα για τη μείωση των παραπάνω επιπτώσεων.

Σε αυτό το πλαίσιο εκπονείται η παρούσα διπλωματική εργασία η οποία αφορά στη μετασκευή των τεσσάρων κύριων μηχανών πρόωσης του πλοίου “Olympic Champion”, της εταιρείας ANEK LINES, σε μηχανές καύσης φυσικού αερίου, μετασκευή που θα ωφελήσει τόσο την εταιρεία σε οικονομικό επίπεδο -αφού το φυσικό αέριο έχει πολύ πιο χαμηλή τιμή έναντι του πετρελαίου- αλλά και σε νομικό καθώς η λειτουργία του πλοίου συμμορφώνεται έτσι στους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς προάγοντας την οικολογική συνείδηση στην ελληνική ακτοπλοΐα.

Η εφαρμογή της χρήσης του φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο δεν είναι καινούρια αφού η μελέτη και ανάπτυξη ναυτικών μηχανών καύσης φυσικού αερίου έχει ξεκινήσει ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, ενώ αποτελεί τεχνολογία που προσφέρει μεγάλη ασφάλεια, οικονομία και οικολογία. Οι πρώτες μηχανές καύσης φυσικού αερίου χρησιμοποιήθηκαν σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και σε φορτηγά πλοία. Την τελευταία δεκαετία όμως έχει ξεκινήσει μια σημαντική στροφή και της επιβατηγού ναυτιλίας στη χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο.

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας γίνεται προσπάθεια παρουσίασης των στοιχείων που αφορούν στις ιδιότητες του φυσικού αερίου, στη χρήση του ως ναυτιλιακό καύσιμο καθώς και στον μηχανολογικό εξοπλισμό που απαιτείται στην εφαρμογή του: στις μηχανές καύσης φυσικού αερίου, στις δεξαμενές, στις σωληνώσεις, στους τρόπους τροφοδοσίας του στα πλοία καθώς και στα μέτρα ασφάλειας που πρέπει να τηρούνται για την αποφυγή ατυχημάτων. Επίσης εξετάζεται το σενάριο της τιμής του φυσικού αερίου σε σχέση με αυτό των άλλων καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, όπως και η συμβατότητά του ως καυσίμου για τη στροφή στην “πράσινη ναυτιλία”.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επιδιώκεται η εφαρμογή των παραπάνω στοιχείων στο πλοίο “Olympic Champion”. Δηλαδή μελετάται η τεχνική διαδικασία και ο νέος εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί στο συγκεκριμένο πλοίο ώστε να μετατραπούν οι μηχανές του σε μηχανές καύσης φυσικού αερίου, τα νέα συστήματα ασφάλειας και η συνεπαγόμενη εκπαίδευση του πληρώματος του μηχανοστασίου και όσων έχουν επαφή με το κύκλωμα του φυσικού αερίου. Γίνεται η περιγραφή – τεχνική και οικονομική -των νέων δεδομένων λειτουργίας του πλοίου μετά τη μετασκευή αλλά και η παρουσίαση του προϋπολογισμού για το κεφάλαιο που απαιτείται για αυτή την επενδυτική κίνηση από την πλευρά της ναυτιλιακής εταιρείας.

Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο με τη χρήση των κατάλληλων μεθόδων οικονομικής ανάλυσης επιχειρείται ο υπολογισμός της απαραίτητης περιόδου αποπληρωμής του κεφαλαίου το οποίο πρέπει να διατεθεί για την παραπάνω επένδυση και που οδηγεί στον έλεγχο βιωσιμότητάς της

για την εταιρεία. Αυτό προκύπτει από το κόστος της μετασκευής του “Olympic Champion” σε σχέση με τις χρηματικές απαιτήσεις των καταναλώσεων του πλοίου, πριν και μετά τη μετασκευή, σύμφωνα με τη διαφορά των τιμών μεταξύ των δύο ναυτιλιακών καυσίμων, φυσικού αερίου και πετρελαίου χαμηλού σε περιεκτικότητα σε Θείο (S).

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με το γενικό σχολιασμό των οικονομικών αποτελεσμάτων και των τεχνικών αλλαγών καταλήγοντας στο συμπέρασμα εάν, η μετασκευή που εξετάζεται, εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη αποτελεί και μια συμφέρουσα επενδυτική κίνηση της εταιρείας.

Οι πληροφορίες και τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από αντίστοιχα μηχανολογικά και οικονομικά βιβλία αλλά και από τα τεχνικά βιβλία που παρέχουν οι κατασκευαστές των ναυτιλιακών κινητήρων. Επίσης η σύγκριση του κόστους μεταξύ των δύο ναυτιλιακών καυσίμων βασίζεται σε δεδομένα για τις υπάρχουσες καταναλώσεις του πλοίου με αυτά που έχουμε από τις νέες καταναλώσεις που προκύπτουν μετά τη μετασκευή.



Εικόνα 1, άποψη πλοίου μετά την μετασκευή

Κεφάλαιο 1^ο:Γενικές πληροφορίες για το LNG

1.1 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το Φυσικό Αέριο (NG) βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα στη γη ή πολλές φορές συναντάται να συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου.

Είναι μείγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση και κυρίως αποτελείται από μεθάνιο. Είναι πολύ καθαρό, αόρατο, άοσμο, χωρίς προσμίξεις και θειούχα συστατικά, γεγονός που το κάνει να αποτελεί ένα καθαρό καύσιμο. Είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς καμία ιδιαίτερη επεξεργασία και κάνει μια τέλεια καύση στις ιδανικές για αυτό συνθήκες, ενώ αποτελεί το φιλικότερο προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον συμβατικό καύσιμο.

Η σύστασή του φυσικού αερίου μπορεί να διαφέρει ανάλογα την πηγή που εξορίζεται και οι βασικές προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2).

Πίνακας 1, σύστασης φυσικού αερίου, πηγή: wikipedia.com, (25/10/2020)

Μεθάνιο (CH ₄)	Min 85%
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	Max 8.6%
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	Max 3%
Βουτάνια	Max 2%
Πεντάνια και άλλοι υδρογονάνθρακες	Max 1%
Άζωτο (N ₂)	Max 5%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Max 3%

Κατά την επεξεργασία του φυσικού αερίου προστίθεται μια ειδική ουσία που του δίνει αυτή τη χαρακτηριστική οσμή ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περίπτωση διαρροής. Επίσης λόγω της πολύ χαμηλής πυκνότητας του 0,55 g/cm³ , σε περίπτωση διαρροής διαχέεται και διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα αφού είναι ελαφρύτερο από τον αέρα.

Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15%, δηλαδή η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων, ενώ λόγω της σύστασής του κατά την καύση του έχει τη χαμηλότερη εκπομπή ρύπων σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα. Επίσης, δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα συνεπώς δεν είναι τοξικό.

Η Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ) του φυσικού αερίου ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm³ φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

Η τιμή της ΑΘΔ δεν είναι σταθερή καθώς εξαρτάται από τη σύσταση του φυσικού αερίου, αλλά μια μέση τιμή ΑΘΔ είναι 11,5 kWh/Nm³.

Αντίστοιχα ως Κατωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm³ φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε αέρια

κατάσταση δηλαδή σε μορφή υδρατμών (οπότε έχει απορροφήσει ενέργεια) και είναι χαμηλότερη περίπου 10% από τη ΑΘΔ. Μια μέση τιμή ΚΘΔ είναι 10,4 kWh/Nm³.

Για τη μεταφορά και την αποθήκευση του φυσικού αερίου γίνεται υγροποίηση του αερίου στους -160 °C και έτσι έχουμε το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Όταν το φυσικό αέριο ψύχεται στους -160°C μεταπίπτει από την αέρια στην υγρή φάση και ο όγκος του μειώνεται σε σχέση κατά 600 φορές περίπου.

Το φυσικό αέριο υπάρχει σε μεγάλα αποθέματα που ήδη έχει διαπιστωθεί ότι επαρκούν τουλάχιστον 100 έτη σε χώρες όπως η Ρωσία, το Ιράν, το Κατάρ, το Ιράκ, η Νιγηρία, η Αλγερία, οι ΗΠΑ κ.ά. Στην Ελλάδα το LNG φτάνει μέσω αγωγών από τα Βαλκάνια ή με πλοία και αποθηκεύεται στις εγκαταστάσεις της νήσου Ρεβυθούσας στον Σαρωνικό κόλπο (εικόνα 2), ενώ παράλληλα έχει ξεκινήσει η κατασκευή ενός δεύτερου τερματικού σταθμού LNG στην Αλεξανδρούπολη.



Εικόνα 2, νήσος Ρεβυθούσας, πηγή: naftikachronika.gr, (16/03/2021)

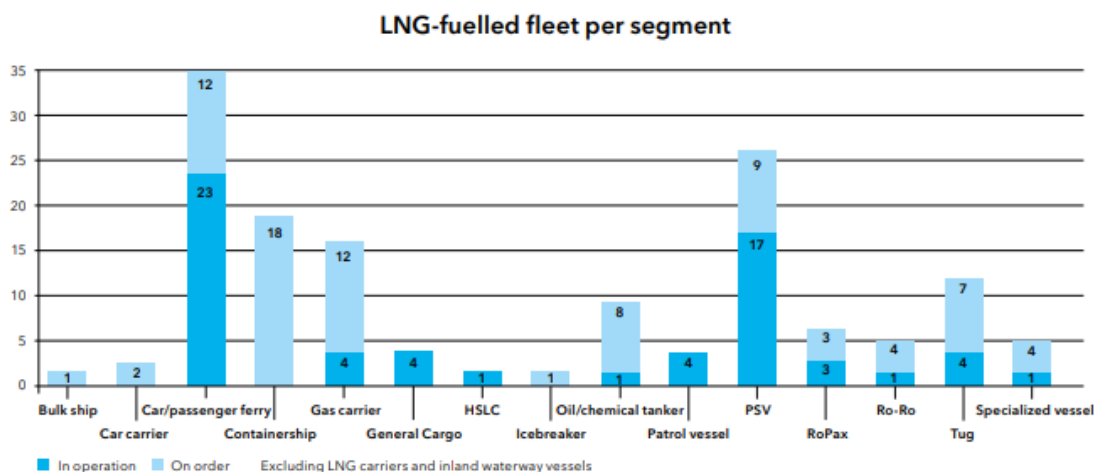
1.2 Το LNG στη ναυτιλία

Η πρώτη επαφή του LNG με στη ναυτιλία έγινε το 1959 με την πραγματοποίηση της πρώτης ασφαλούς μεταφοράς LNG από την Λουϊζιάνα στο Ηνωμένο Βασίλειο της Αγγλίας με το πλοίο “Methane Pioneer”.

Όταν αποδείχτηκε ότι το LNG μεταφέρεται με ασφάλεια, η ναυτική βιομηχανία κατασκευής πλοίων μεταφοράς LNG άρχισε να αναπτύσσεται, αφού μέχρι σήμερα έχουν γίνει περισσότερες από 80.000 μεταφορές φορτίων LNG σε όλο τον κόσμο που εκτείνονται σε περισσότερα από 160 εκατόμμυρια χιλιόμετρα.

Παράλληλα οι εταιρείες κατασκευής ναυτιλιακών κινητήρων ξεκίνησαν να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν ναυτιλιακούς κινητήρες καύσης LNG από το 1987, τεχνολογία που σήμερα προσφέρει ασφάλεια και οικονομία στα πλοία.

Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα στις μέρες μας να έχουμε περισσότερα από 70 πλοία καύσης LNG σε λειτουργία, ενώ παράλληλα έχουν παραγγελθεί να κατασκευαστούν περισσότερα από 81 πλοία που θα έχουν ως καύσιμο το LNG όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.



Εικόνα 3, γράφημα ενεργών και υπό παραγγελία πλοίων με καύσιμό LNG, πηγή: dnv.com, (28/11/2020)

Η χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο έχει πολύ μεγάλη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες καθώς ο νέος κανονισμός του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), για τη μείωση των ρυπογόνων ουσιών που εκπέμπουν τα πλοία (IMO 2020), προβλέπει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων με μηδενικούς ρύπους ή την τοποθέτηση ειδικών φίλτρων στις καμινάδες (scrubbers) έως το 2030. Παράλληλα ένας ακόμα πολύ καθοριστικός λόγος χρήσης του LNG ως καύσιμο είναι η χαμηλή τιμή που έχει σε σχέση με τα υπόλοιπα ναυτιλιακά καύσιμα.

Στην επιβατηγό ναυτιλία το LNG σαν καύσιμο ξεκίνησε να χρησιμοποιείται την τελευταία δεκαετία, με πρωτοπόρες τις Σκανδιναβικές χώρες, αφού από το 2014 συναντώνται νεότευκτα πλοία καύσης LNG από την Νορβηγική εταιρεία Viking Lines και την Σουηδική Rederi AB Gotland, ενώ ακολούθησαν οι Σουηδική Stena Lines και η Ισπανική Balearia με τη ναυπήγηση νεότευκτων συμβατικών Ro-Pax πλοίων αλλά και του πρώτου ταχύπλοου Ro-Pax πλοίου.

Επίσης οι παραπάνω εταιρείες εκτός από τη ναυπήγηση νέων πλοίων προχώρησαν και στη μετασκευή καραβιών που ήδη έχουν στην κατοχή τους.

Τα τελευταία χρόνια και ο Ιταλικός όμιλος Grimaldi επενδύει στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων και ειδικότερα στη χρήση LNG σε συνδυασμό με ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης του πλοίου, ενώ η AIDA Cruises προχώρησε στη ναυπήγηση δυο νεότευκτων υπερσύγχρονων κρουαζιερόπλοιων με μηχανές καύσης φυσικού αερίου.

Στην χώρα μας οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ακτοπλοΐα στρέφονται σε μια πιο άμεση λύση, για τη προσαρμογή στο νέο κανονισμό IMO 2020, στην τοποθέτηση των Scrubbers, σε αντίθεση με την ποντοπόρο ναυτιλία που επενδύουν συνέχεια στη χρήση του LNG ως καύσιμο.



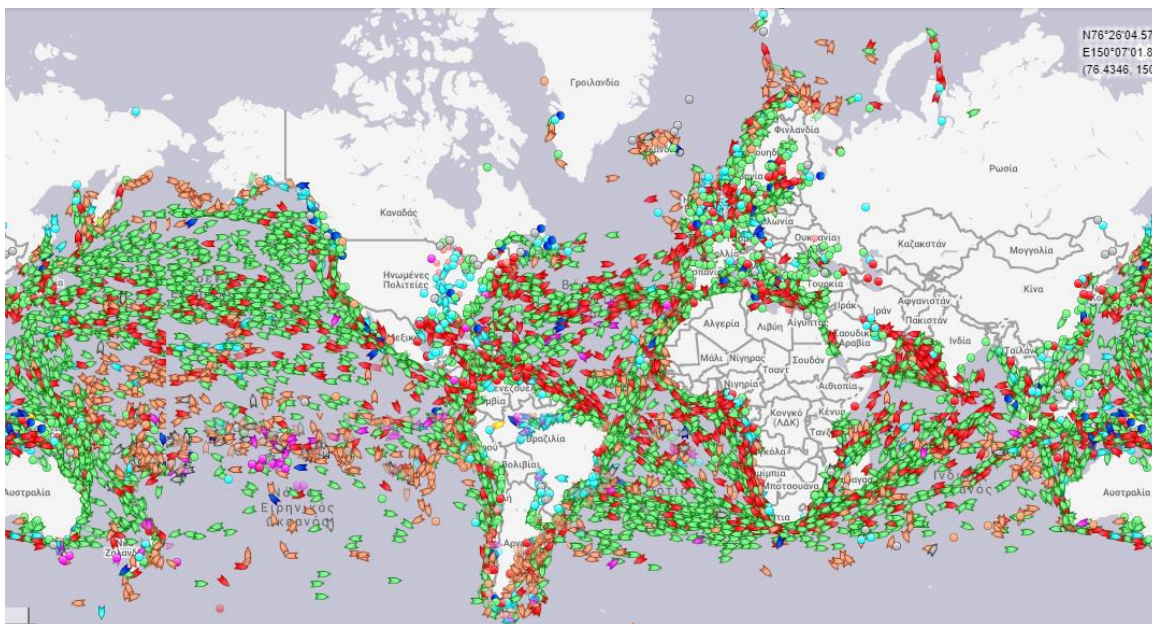
Εικόνα 4, MS Viking Grace, πηγή: Wikipedia.com, (14/12/2020)

1.3 Περιβαλλοντικά οφέλη του LNG

Από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα στις μέρες μας είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένας από τους κύριους παράγοντες που ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη είναι τα καυσαέρια και τα ρυπογόνα παράγωγα της καύσης πετρελαίου και των παραγώγων του.

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 5) φαίνεται ο ενεργός παγκόσμιος στόλος στις μέρες μας. Αν λοιπόν αναλογιστεί κανείς ότι η μέση κατανάλωση για κάθε ένα από τα παρακάτω πλοία είναι περίπου πέντε τόνους πετρελαίου την ώρα, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ναυτιλίας είναι τεράστιο.

Σε αυτό το σημείο, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) θεσμοθέτησε κάποιους νέους κανονισμούς που έχουν να κάνουν με τη στροφή στην πράσινη ναυτιλία. Έτσι όλες οι ναυτιλιακές εταιρείες για να μπορέσουν να συμμορφωθούν με τους νέους κανονισμούς θα πρέπει να στραφούν στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων που μετά την καύση τους δεν απελευθερώνουν στο περιβάλλον ρυπογόνα παράγωγα ή τη χρήση ειδικών φίλτρων που θα συγκρατούν τα ρυπογόνα παράγωγα που προέρχονται από την καύση του πετρελαίου.

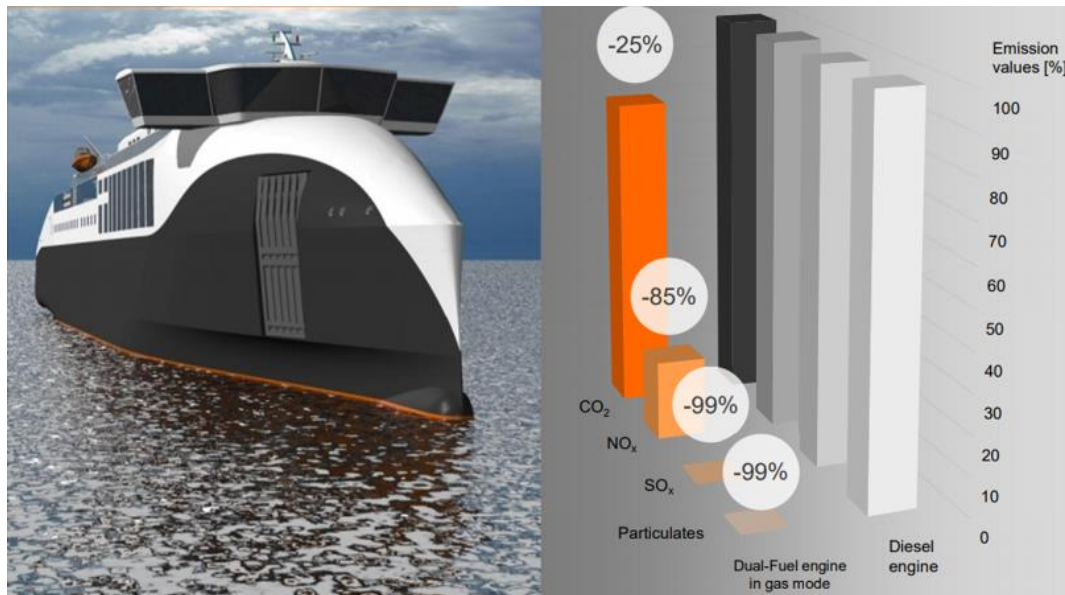


Εικόνα 5, εικόνα που προβάλλει τον ενεργό στόλο των διαφόρων τύπων πλοίων, πηγή: marinetraffic.com, (15/03/2021)

Σύμφωνα με τις μετρήσεις, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λόγω της σύστασης του φυσικού αερίου επιτυγχάνεται μια πάρα πολύ καλή καύση με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σημαντική μείωση των ρυπογόνων καυσαερίων που βγαίνουν στο περιβάλλον.

Με το LNG ως καύσιμο έχουμε 25% λιγότερο διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂), 85% μείωση στα Οξείδια του αζώτου (NO_x), 99% μείωση στα Οξείδια του θείου (SO_x) και 99% λιγότερα λοιπά παράγωγα που έχει η καύση του πετρελαίου.

Έτσι το LNG είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο με χαμηλούς ρύπους που συμμορφώνεται με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (IMO 2020).



Εικόνα 6, πηγή: wartsila.com, Dual fuel- P. Bodman

1.4 Ναυτιλιακοί κινητήρες καύσης LNG

Οι μεγαλύτερες εταιρείες κατασκευής ναυτιλιακών κινητήρων στον κόσμο είναι η Wartsila, η MAN, Rolls-Royce/MTU, Caterpillar και η Win-GD. Οι πέντε αυτές εταιρείες έχουν επενδύσει στη μελέτη και κατασκευή ναυτιλιακών κινητήρων καύσης LNG από το 1987 έχοντας αποκτήσει πλέον μεγάλη τεχνογνωσία.

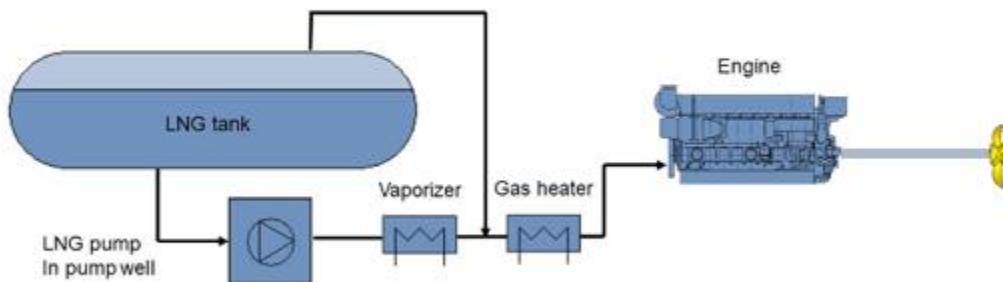
Οι κινητήρες καύσης LNG χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες τους δίχρονους και τετράχρονους κινητήρες και σε τρεις βασικές υποκατηγορίες:

1. Μηχανές πετρελαίου/αερίου (Gas-Diesel (GD) engines).
2. Μηχανές αερίου (Spark-ignition gas (SG) engines).
3. Μηχανές διπλού καυσίμου (Dual-fuel (DF) engines).

Πριν εξετασθεί κάθε υποκατηγορία ξεχωριστά πρέπει να δούμε τις βασικές διαφορές μεταξύ δίχρονων και τετράχρονων μηχανών σε συνδυασμό με τη χρήση του LNG ως καυσίμου, πιο αναλυτικά:

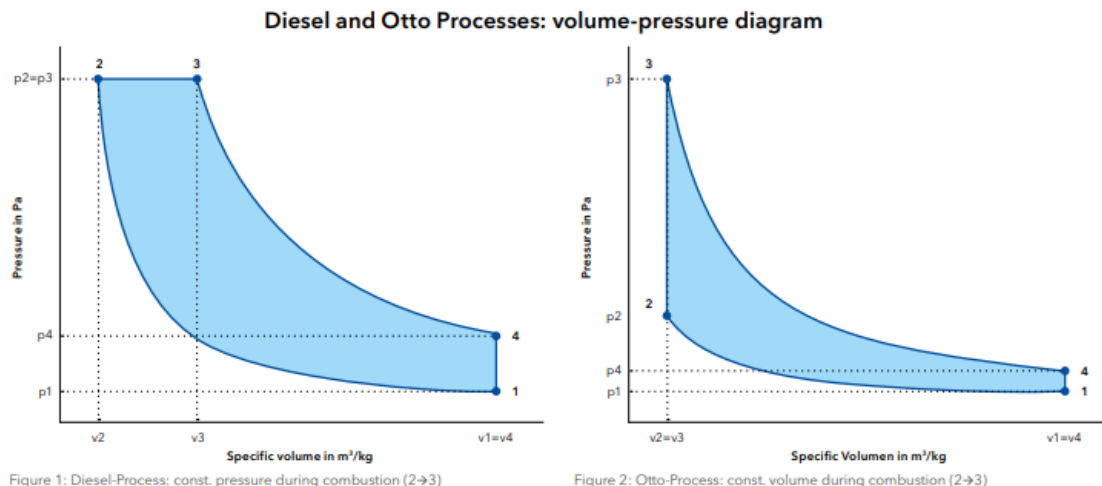
Οι τετράχρονοι κινητήρες έχουν ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: χαμηλή πίεση τροφοδότησης του κινητήρα με φυσικό αέριο, μίξη καυσίμου πριν την εισαγωγή του στον κύλινδρο και ανάφλεξη από το πετρέλαιο.

Οι δίχρονοι κινητήρες έχουν ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Υψηλή ή χαμηλή πίεση τροφοδότησης του κινητήρα με φυσικό αέριο, μίξη καυσίμου κατά τη διάρκεια της συμπίεσης και της καύσης, μίξη του καυσίμου μετά το τέλος της συμπίεσης και ανάφλεξη από το πετρέλαιο.



Εικόνα 7, τυπική διάταξη εγκατάστασης LNG σε πλοίο, πηγή: marine-service-noord.com, (10/12/2020)

Η πρώτη υποκατηγορία κινητήρων, οι GD κινητήρες, δεν έχουν ευρεία απήχηση καθώς λειτουργούν κάνοντας μίξη πετρελαίου και αερίου και η καύση γίνεται με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο Diesel, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.



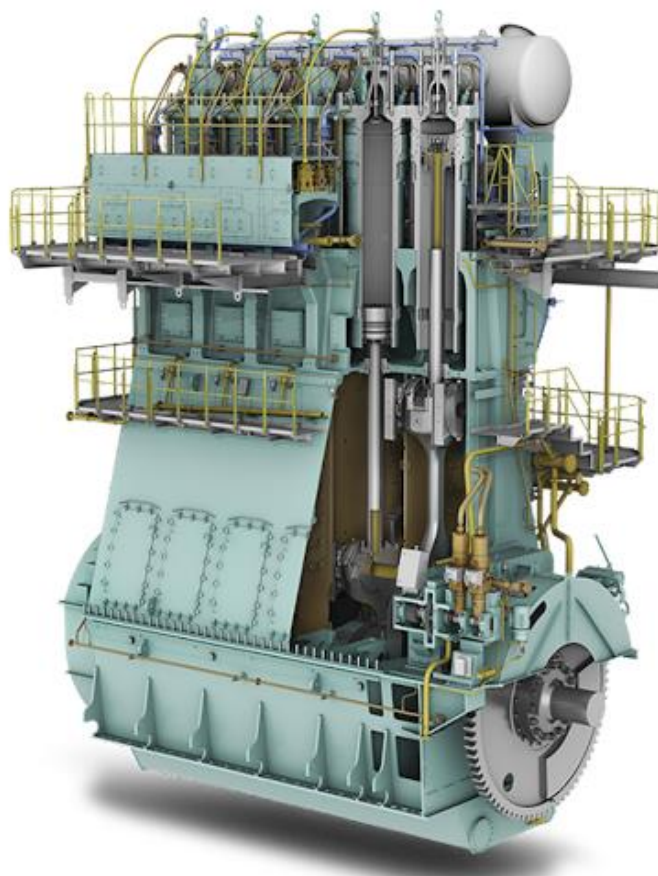
Εικόνα 8, γράφημα πίεσης όγκου κύκλων ΟΤΟ/ DIESEL, πηγή: www.dnv.com, (25/12/2020)

Το βασικό μειονέκτημα των παραπάνω κινητήρων είναι ότι το αέριο πρέπει να εισέρχεται στο χώρο καύσης σε πολύ υψηλές τιμές πίεσης.

Η δεύτερη υποκατηγορία κινητήρων, οι SG κινητήρες, χρησιμοποιούν ως μοναδικό καύσιμο το αέριο ενώ ο θερμοδυναμικός τους κύκλος είναι κύκλος ΟΤΤΟ, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.

Οι κινητήρες αυτής της τεχνολογίας δεν απαιτούν μεγάλη πίεση του αερίου κατά την είσοδο του αερίου στον χώρο καύσης.

Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι σε αυτόν τον τύπο κινητήρων δεν έχουμε μεγάλες ιπποδυνάμεις.



Εικόνα 9, δίχρονος κινητήρας WinGD X72DF-2,1, πηγή: www.wingd.com, (10/03/2021)

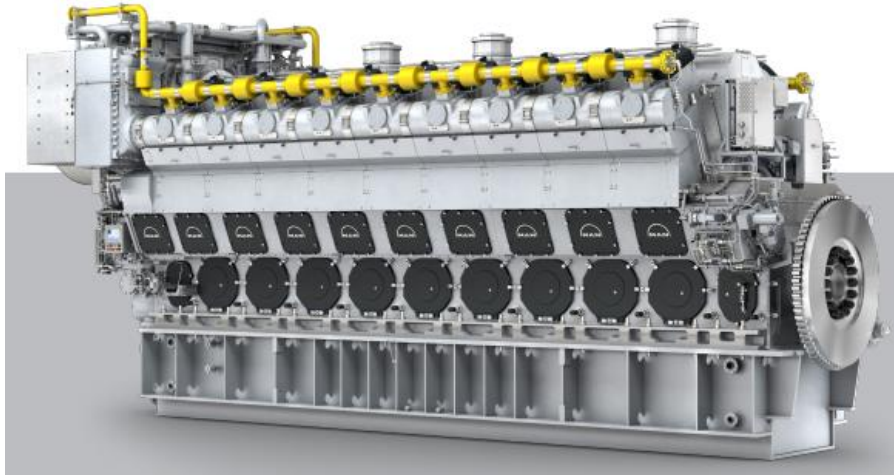
Η τελευταία υποκατηγορία, οι κινητήρες DF, είναι οι κινητήρες με τη μεγαλύτερη απήχηση στο χώρο της ναυτιλίας. Αυτοί οι κινητήρες έχουν τη δυνατότητα να δουλεύουν με δύο επιλογές καυσίμου, δηλαδή μπορούν να δουλεύουν με πετρέλαιο (diesel mode) σε θερμοδυναμικό κύκλο Diesel εικόνα (8) ή να δουλεύουν με αέριο (gas mode) σε θερμοδυναμικό κύκλο ΟΤΤΟ εικόνα (8).

Η τεχνολογία αυτή, προσφέρει μεγάλη ευελιξία σε ένα πλοίο καθώς αν προκύψει οποιοδήποτε πρόβλημα σε κάποιο σύστημα του LNG τότε το πλοίο θα μπορεί να συνεχίσει να ταξιδεύει κανονικά με πετρέλαιο.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής με αέριο (gas mode) δεν απαιτείται υψηλή πίεση στο αέριο, ενώ στο χώρο καύσης το μίγμα καυσίμου που εισέρχεται αποτελείται από: 99% αέριο σε χαμηλή πίεση και 1% πετρέλαιο το οποίο ονομάζεται καύσιμο οδηγός (pilot fuel) ώστε κατά τη συμπίεση να προσφέρει την ανάφλεξη που χρειάζεται το αέριο για να αναφλεχθεί αφού το πετρέλαιο κατά τη συμπίεσή του αναφλέγεται.

Τέλος, όπως μελετάται και στο επόμενο κεφάλαιο, όταν γίνει η εφαρμογή αυτή στο πλοίο “Olympic Champion”, το σύστημα DF μπορεί να εφαρμοστεί κατευθείαν σε κάποιες μηχανές καύσης

πετρελαίου εάν αυτές είναι συμβατές και το πλοίο να καίει LNG μετά από τις σχετικές μετατροπές χωρίς να χρειαστεί η αντικατάσταση του παλαιού κινητήρα.



**Εικόνα 10, τετράχρονος κινητήρας διπλού καυσίμου MAN 51/60 DF,
πηγή: www.man-es.com, (10/03/2021)**

1.5 Δεξαμενές LNG

Οι δεξαμενές για το LNG χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες, τις δεξαμενές που φέρουν τα πλοία μεταφοράς LNG (LNG bulk carrier) και τις δεξαμενές που είναι στα πλοία και έχουν ως καύσιμο το LNG.



Εικόνα 11, τύποι δεξαμενών, πηγή: www.wartsila.com, (11/12/2020)

Υπάρχουν αρκετοί τύποι δεξαμενών για την αποθήκευση του LNG στα πλοία. Η κατηγοριοποίηση στις δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στα πλοία γίνεται με βάση το σχήμα τους σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά τους.

Οι δεξαμενές κατηγοριοποιούνται σε:

1. Πρισματικές δεξαμενές
2. Σφαιρικές δεξαμενές
3. Κυλινδρικές δεξαμενές

Οι πρώτες δύο κατηγορίες δεξαμενών χρησιμοποιούνται κυρίως στα πλοία αποθήκευσης και μεταφοράς του LNG ενώ ο τελευταίος τύπος χρησιμοποιείται ως δεξαμενή καυσίμου για τα πλοία που έχουν ως καύσιμο το LNG.

1.5.1 Πρισματικές δεξαμενές

Οι πρισματικές δεξαμενές μπορούν να δεχτούν πίεση μέχρι 0,7 bar, χρειάζονται μεγάλο χώρο για να εγκατασταθούν στο πλοίο και η τροφοδοσία τους με LNG γίνεται από έξω. Έχουν χωρητικότητα πάνω από 5000 m³ αλλά έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής.

1.5.2 Σφαιρικές δεξαμενές

Οι σφαιρικές δεξαμενές μπορούν να δεχτούν πίεση μέχρι 1 bar, χρειάζονται μικρό χώρο για να εγκατασταθούν στο πλοίο και το κόστος τους είναι εξίσου υψηλό με αυτό των πρισματικών δεξαμενών ενώ έχουν χωρητικότητα πάνω από 5000 m³.

1.5.3 Κυλινδρικές δεξαμενές

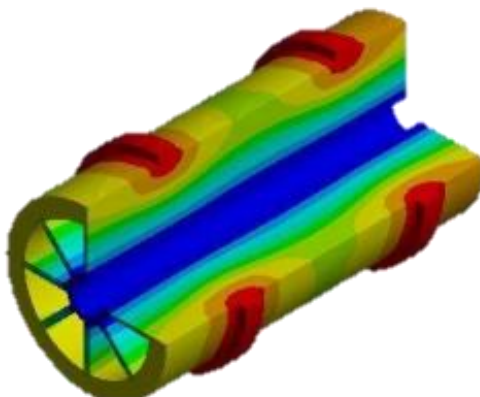
Οι Κυλινδρικές δεξαμενές είναι ίσως οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα πλοία που έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Μπορούν να δεχτούν μεγάλη πίεση, μέχρι 10 bar, έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τις σφαιρικές και τις πρισματικές δεξαμενές. Επίσης έχουν μικρότερη χωρητικότητα αφού αυτές φτάνουν μέχρι τα 1000 m³. Ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάστασή τους δεν είναι μεγάλος.

1.6 Σωληνώσεις LNG

Οι σωληνώσεις του LNG είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο ατσάλι τύπου A304L 40S και είναι διπλού τοιχώματος, ενώ μεταξύ των τοιχωμάτων, σύμφωνα με τα πρότυπα του IMO και του νηογνώμονα, υπάρχουν αισθητήρες ανίχνευσης διαρροής LNG αλλά και ένα σύστημα ανακύκλωσης αέρα με συχνότητα 30 φορές ανά ώρα.

Πιο αναλυτικά η σχεδίαση των σωληνώσεων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Τις σωληνώσεις του ανεφοδιασμού, δηλαδή οι σωλήνες που μεταφέρουν το LNG κατά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού προς τη δεξαμενή του πλοίου και πρέπει να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
 - Να είναι σχεδιασμένοι ώστε το εσωτερικό και το εξωτερικό τοίχωμα να αντέχουν σε πιέσεις τουλάχιστον 10 bar καθώς και θερμοκρασίες από $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως και $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Τις σωληνώσεις που μεταφέρουν το LNG από τη δεξαμενή του πλοίου προς τη μηχανή και πρέπει να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
 - Να είναι σχεδιασμένοι ώστε το εσωτερικό και το εξωτερικό τοίχωμα να αντέχουν σε πιέσεις από 5 έως 10 bar καθώς και θερμοκρασίες από $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως και $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



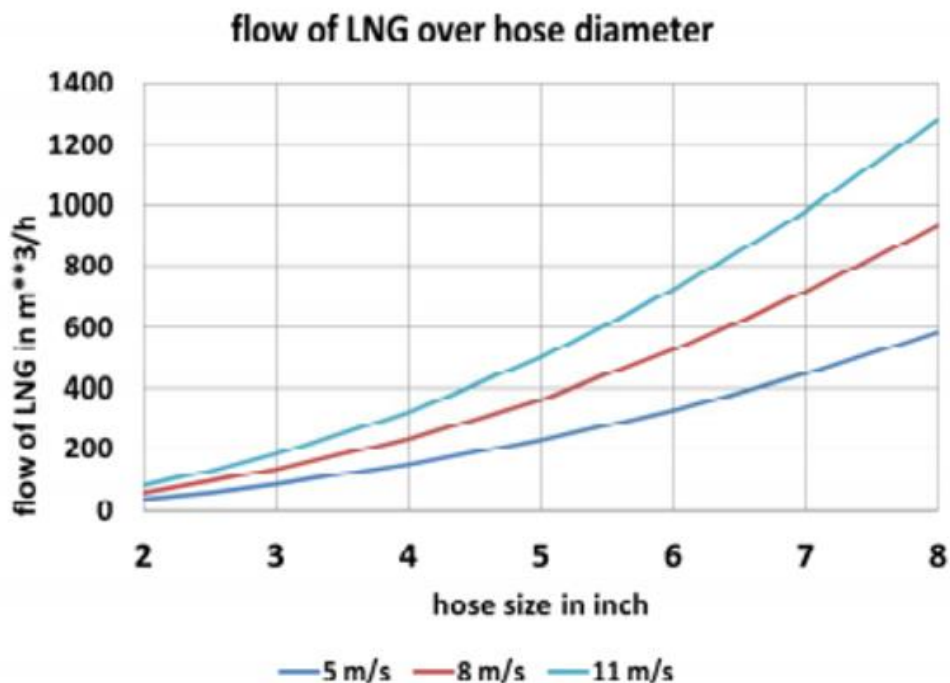
Εικόνα 12, σχέδιο σωλήνας διπλού τοιχώματος LNG

1.7 Τροφοδοσία πλοίων με LNG

Η τροφοδοσία των πλοίων με LNG αποτελεί μια διαδικασία που απαιτεί σωστούς χειρισμούς και μεγάλη ασφάλεια. Η διαδικασία ανεφοδιασμού πλοίων με LNG είναι πολύ πιο περίπλοκη σε σχέση με αυτή της τροφοδοσίας των πλοίων με πετρέλαιο.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι για τον ανεφοδιασμό των πλοίων με LNG:

- 1) Τροφοδοσία από φορτηγό στο λιμάνι (truck to ship-TTS)
- 2) Τροφοδοσία από δεξαμενές στο λιμάνι (terminal pipeline to ship)
- 3) Τροφοδοσία από άλλο πλοίο (ship to ship- STS)



Εικόνα 13, γράφημα τροφοδοσίας LNG σε σχέση με τη διάμετρο της σωλήνας, πηγή: www.wartsila.com, (25/1/2021)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 13) φαίνεται η παροχή LNG ανά ώρα σε σχέση με τη διάμετρο του σωλήνα τροφοδοσίας.

1.7.1 Τροφοδοσία με φορτηγό

Η τροφοδοσία ενός πλοίου με LNG από φορτηγό γίνεται με τη σύνδεση ενός σωλήνα από το φορτηγό στη δεξαμενή του πλοίου. Στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας οι σωληνώσεις της τροφοδοσίας καθορίζονται με τη βοήθεια αζώτου. Το προσωπικό που ασχολείται με τον ανεφοδιασμό του πλοίου με LNG πρέπει να έχει περάσει ειδική εκπαίδευση, αλλά και να φοράει τον κατάλληλο εξοπλισμό ασφαλείας. Η διαδικασία σύμφωνα με τους κανονισμούς απαιτεί την παρουσία τριών ανθρώπων, του πρώτου μηχανικού που επιβλέπει και συντονίζει τη διαδικασία και δύο μηχανικών έναν στο φορτηγό και έναν στο πλοίο. Αυτή η διαδικασία είναι η συνήθης διαδικασία έως σήμερα για τον ανεφοδιασμό πλοίων με LNG.



Εικόνα 14, TTS τροφοδοσία, πηγή: NYK demonstrates truck-to-ship LNG bunkering in Japan – Freight Waves, (22/01/2021)

1.7.2 Τροφοδοσία από δεξαμενές στο λιμάνι

Η τροφοδοσία ενός πλοίου με LNG από δεξαμενές στο λιμάνι γίνεται με την τοποθέτηση ενός σωλήνα από την εγκατάσταση που παρέχει το λιμάνι και συνδέεται με τη δεξαμενή του πλοίου. Προς το παρόν δεν υπάρχουν πολλές τέτοιες εγκαταστάσεις για ανεφοδιασμό των πλοίων, ενώ στη χώρα μας δεν υπάρχει καμία. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ πιο εύκολη και γρήγορη στην τροφοδοσία των πλοίων.



Εικόνα 15, εγκαταστάσεις δεξαμενών σε λιμάνι, πηγή: wikipedia.com, (05/02/2021)

1.7.3 Τροφοδοσία από πλοίο σε πλοίο

Η διαδικασία τροφοδοσίας πλοίου με πλοίο (STS) γίνεται με τη χρήση ενός σωλήνα που συνδέει τη δεξαμενή του πλοίου που μεταφέρει το LNG με τη δεξαμενή του άλλου πλοίου που θα ανεφοδιαστεί. Αυτή η διαδικασία είναι γρήγορη και πιο εύκολη από αυτή με το φορτηγό και ενώ οι πρώτες δοκιμές έγιναν με μεγάλη επιτυχία στις αρχές του 2019 είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Επίσης ο ανεφοδιασμός STS είναι μια μέθοδος γνώριμη για τα πληρώματα των πλοίων αφού κατά 99% των ανεφοδιασμών πετρελαίου γίνεται με αυτή.



Εικόνα 16, STS ανεφοδιασμός LNG, πηγή: www.VesselFinder.com, (05/02/2021)

1.8 Κανονισμοί ασφάλειας

Η ασφάλεια στα πλοία που έχουν ως καύσιμο το LNG εξαρτάται από μία σειρά διαφορετικών παραγόντων οι οποίοι πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να αποφευχθεί κάθε περίπτωση ατυχήματος στο πλοίο.

Οι διαδικασίες που διασφαλίζουν την ασφαλή και επιτυχημένη λειτουργία του πλοίου, με LNG ως καύσιμο, εξαρτώνται τόσο από τα τεχνικά στοιχεία όσο και από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν τέσσερις βασικούς τομείς:

- 1) **Κανονισμοί:** όλο το επιχειρησιακό περιβάλλον θα πρέπει να συμμορφωθεί με μια σειρά μέτρων ασφάλειας που προωθούν την ασφαλή τόσο του πλοίου όσο και των ανθρώπων που είναι πάνω σε αυτό. Οι κανονισμοί αυτοί περιγράφονται από τον IMO και τον νηογνώμονα και είναι οι εξής:
 - Διεθνής κώδικας ασφαλείας του IMO για πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης (IGF Code), MSC.391 (95), με ισχύ από 01/01/2017.
 - Οι κανόνες κατά το νηογνώμονα της Δανίας DNV GL για το αέριο ως καύσιμο πλοίου που περιγράφεται στο Μέρος 6, Κεφάλαιο 2, Τμήμα 5: Εγκαταστάσεις πλοίων με αέριο- με καύσιμο αέριο. Καθώς και στο Μέρος 6, Κεφάλαιο 5, Τμήμα 14: Πλοία με καύσιμο αέριο-αποθήκη αερίου DNV GL με συνιστάμενη πρακτική την RP-G105 σχετικά με την ανάπτυξη και λειτουργία πλοίων με καύσιμο LNG, και τεχνική προδιαγραφή ISO: ISO TS 18683.
- 2) **Κίνδυνος και ασφάλεια:** βασικοί παράγοντες του κινδύνου και της ασφάλειας του LNG είναι το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο μιας δεξαμενής LNG. Δηλαδή υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης, οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλου βαθμού εγκαύματα, οι διαρροές που μπορεί να οδηγήσουν σε ασφυξία κ.τ.λ.
- 3) **Αναφορά περιστατικών:** μέσω της αναφοράς και μελέτης περιστατικών που συμβαίνουν σε πλοία ή σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης LNG, θα μπορέσει να γίνει η ανάπτυξη νέων κανονισμών ασφάλειας ή η βελτίωση των ήδη υπαρχόντων κανονισμών που θα έχει να κάνει με τη σχεδίαση νέου εξοπλισμού ή την καλύτερη εκπαίδευση του προσωπικού.
- 4) **Εκπαίδευση:** η εκπαίδευση αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της αλυσίδας, αφού έχει να κάνει με τα άτομα που έρχονται σε επαφή, μεταφέρουν και παίρνουν κρίσιμες αποφάσεις για τα συστήματα λειτουργίας του LNG κυκλώματος. Απαιτείται συνεκπαίδευση των πληρωμάτων των πλοίων με τους οδηγούς των φορτηγών μεταφοράς LNG ή των υπαλλήλων των χερσαίων εγκαταστάσεων για να υπάρχει ένα κοινό σημείο επικοινωνίας, κοινός κώδικας ασφαλείας τόσο στη διαχείριση κάποιου απρόοπτου γεγονότος όσο και στη σωστή χρήση του απαραίτητου εξοπλισμού.

Στην εικόνα 17, φαίνεται ένα σύστημα πυρασφάλειας για καύσιμα όπως το LNG.



Εικόνα 17, σύστημα πυρόσβεσης σε πλοίο, πηγή: www.marineinsight.com, (05/03/2021)

Ωστόσο, με τη χρήση του LNG ως καυσίμου σε διαφορετικούς τύπους πλοίων, ειδικά σε αυτά που μεταφέρουν επιβάτες, κρουαζιερόπλοια ή RO-PAX, όπως και στην περίπτωση που εξετάζεται στη συνέχεια, σχεδιάζονται και μελετώνται όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι ώστε να παρθούν τα σχετικά μέτρα για την αποφυγή ατυχημάτων.

Παρακάτω περιγράφονται οι κύριοι παράγοντες πιθανών κινδύνων από το LNG:

- Πυρκαγιά, του προέρχεται από ανάφλεξη σε κάποιο σημείο διαρροής ή από έκρηξη.
- Ρωγμή σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος του LNG που προκαλεί διαρροή.
- Υπερπίεση του συστήματος μεταφοράς από θερμική διαστολή ή λόγω του συστήματος αεριοποιήσεως του LNG.
- Ανεπιθύμητη διαρροή χωρίς να γίνει αντιληπτή, προκαλώντας ασφυξία στους επιβάτες και στο πλήρωμα του πλοίου.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν τις κύριες πηγές κινδύνου και τα χειρότερα σενάρια που μπορεί να συμβούν. Όμως με την τήρηση και εφαρμογή όλων των κανόνων και μέτρων ασφάλειας, δηλαδή τη σωστή εκπαίδευση, το σωστό τεχνικό εξοπλισμό όπως τις βαλβίδες ασφάλειας, αισθητήρες διαρροής LNG κ.τ.λ., δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για ατύχημα. Σημειώνεται ότι από την αρχή που γίνεται η μεταφορά LNG με πλοία και από τότε που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα πλοία δεν έχει καταγραφεί κανένα σοβαρό ατύχημα.

1.9 Σενάριο τιμών LNG και άλλων ναυτιλιακών καυσίμων

Το σενάριο τιμών είναι βασισμένο στη συνεχή αύξηση των τιμών των καυσίμων λόγω της αυξημένης ζήτησης άλλα και του μεγάλου κόστους παραγωγής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς του IMO τα πλοία που δεν θα προβούν σε κάποια μετασκευή, είτε στη χρήση ειδικών φίλτρων στις καμινάδες (scrubbers), είτε στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων με χαμηλές εκπομπές καυσαερίων- επιβλαβή για το περιβάλλον- πρέπει να κάνουν χρήση του MDO(Marine Diesel Oil) ή του LSHFO (Low Sulphur Fuel Oil), που είναι ναυτιλιακά καύσιμα από πετρέλαιο, με τέτοια επεξεργασία ώστε να είναι χαμηλά σε περιεκτικότητα σε Θείο (S).

Κατόπιν αυτών εξετάζονται τα τρία καύσιμα- το HFO, το LNG και το MDO/LSHFO. Οι τιμές των παραπάνω καυσίμων, βάσει των οποίων στη συνέχεια της εργασίας θα γίνει η οικονομική ανάλυση για τη μετασκευή του πλοίου, είναι οι μέσες τιμές των καυσίμων την τελευταία δεκαετία, δηλαδή με αρχή το 2010.

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, οι τιμές των καυσίμων ορίζονται ως εξής:

- Το HFO στα 500 \$/t.
- Το MDO/LSHFO στα 600 \$/t .
- Το LNG στα 13 \$/MMBtu ή 0,0000123216 \$/kJ, περιλαμβάνοντας μικρού κόστους δαπάνες διανομής στα 4 \$/MMBtu.

Στα παραπάνω κόστη υποθέτουμε ότι οι δαπάνες διανομής δεν θα αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχετικά γραφήματα που απεικονίζουν τις τιμές του LNG και του HFO την τελευταία δεκαετία. Το MDO και το LSHFO ακολουθούν μια πορεία ίδια με του HFO αφού και τα τρία αποτελούν παράγωγα του αργού πετρελαίου (Crude Oil), εικόνες 18 και 19 αντίστοιχα.



Εικόνα 18, γράφημα τιμών LNG τελευταίας 10 ετίας, πηγή: www.macrotrends.net, (15/02/2021)



Εικόνα 19, γράφημα τιμών Crude Oil της τελευταίας δεκαετίας, πηγή: www.macrotrends.net, (15/02/2021)

Οι τιμές που απεικονίζονται στα δύο παραπάνω γραφήματα διαφέρουν με τις τιμές που αναφέρονται παραπάνω επειδή έχει γίνει αλλαγή στις μονάδες από \$/MMBTU σε \$/t ώστε να συμβαδίζει με αυτές που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία.

Κεφάλαιο 2ο: Εφαρμογή στο πλοίο

2.1 Το πλοίο που θα γίνει η εφαρμογή της μελέτης



Εικόνα 20, το πλοίο Olympic Champion της ANEK LINES, πηγή: www.marinetraffic.com, (24/02/2021)

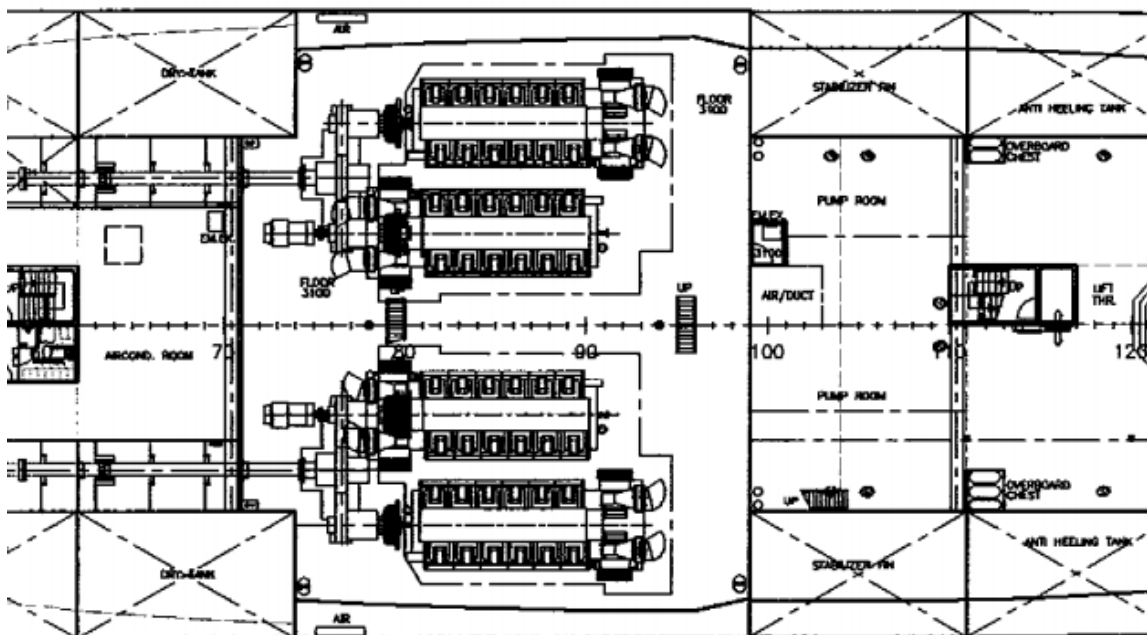
Η εφαρμογή της πιο πάνω μελέτης –η χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου- γίνεται στο πλοίο “OLYMPIC CHAMPION” της ANEK LINES. Η παραγγελία του OLYMPIC CHAMPION και του αδελφού πλοίου HELLENIC SPIRIT έγινε από την εταιρεία στο Νορβηγικό ναυπηγείο Fosen Mek. Verksterder AS Yard, ενώ η ναυπήγησή τους ολοκληρώθηκε στα μέσα του 2000 και 2001 αντίστοιχα.

Και τα δύο πλοία ήταν από τα πρώτα σύγχρονα πλοία που ήρθαν στην Ελληνική ακτοπλοΐα και σηματοδότησαν την αρχή για τη μετέπειτα στροφή των εταιριών προς τα γρήγορα συμβατικά πλοία, προσφέροντας έτσι ένα γρήγορο και άνετο ταξίδι έχοντας παράλληλα μεγάλες μεταφορικές ικανότητες.

Το OLYMPIC CHAMPION έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ολικό μήκος: 204,0 m
- Ολικό πλάτος: 25,80 m
- Βύθισμα: 6,75 m
- Ολική χωρητικότητα: 32.694,00/2000 GRT
- Λιμάνι νηολόγησης: Χανιά

Το πλοίο φέρει τέσσερις (4) κύριες μηχανές, Wartsila 12V46C, 500 (rpm) στροφών ανά λεπτό, που δουλεύουν σε ζεύγη ανά δύο, (εικόνα 21) δίνοντας στο πλοίο μια συνολική ιπποδύναμη των 50.400,00 kW που καταλήγουν σε δύο άξονες που φέρουν προπέλες μεταβλητού βήματος (controllable pitch propeller-CPP).



Επίσης το πλοίο διαθέτει τρεις (3) ηλεκτρομηχανές Wartsila 9L20W, με ισχύ 1.485,00 kw η καθεμία στις 1.000,00 (rpm) στροφές ανά λεπτό, που προσφέρουν την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ, ενώ κατά την ώρα του ταξιδιού, η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς προσφέρεται στο πλοίο από τις δύο αξονικές γεννήτριες (saft generators), με απόδοση 1.500,00 kW η κάθε μία που είναι συνδεδεμένες με τους δυο μειωτήρες ζεύξης των τεσσάρων μηχανών, διάταξη που απεικονίζεται στη εικόνα (εικόνα 21).

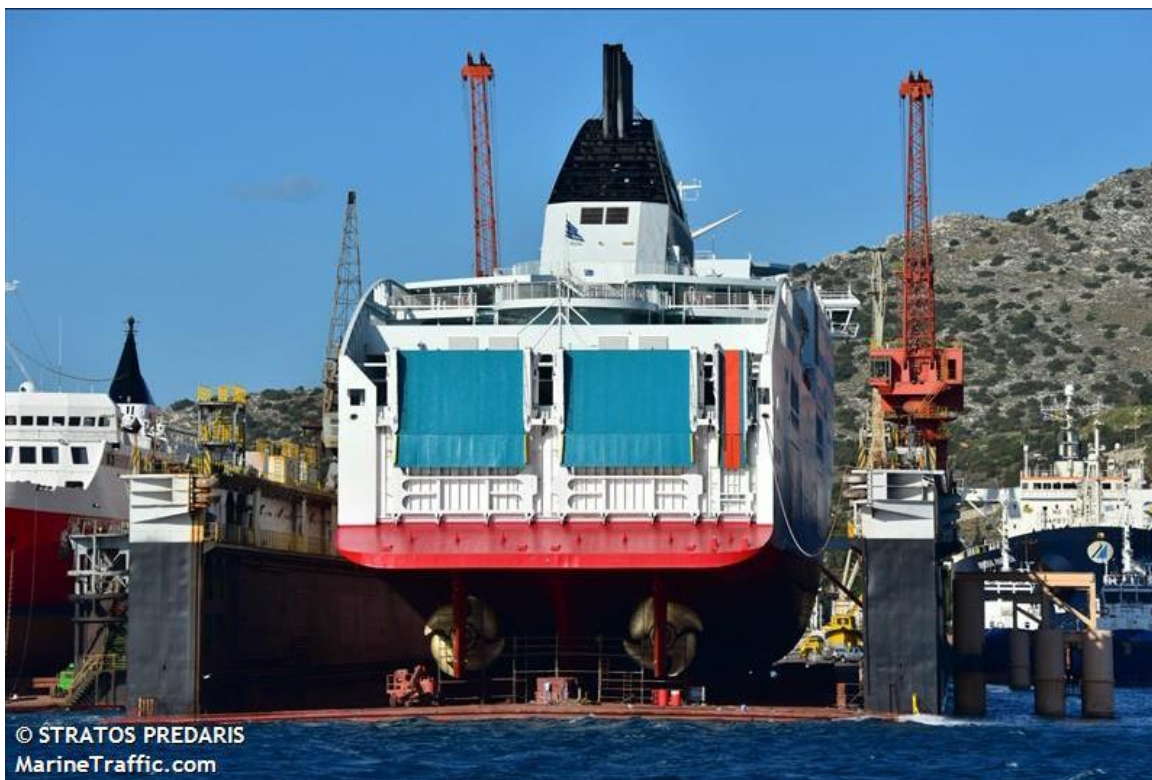


Εικόνα 22, τμήμα από το μηχανοστάσιο του Olympic Champion, πηγή:arxipelagos.com, (25/02/2021)

Το πλοίο διαθέτει μέσα στον εξοπλισμό του δύο ηλεκτροκινητήρες πλάγιας ώθησης στην πλώρη του (bow thrusters), με ισχύ 1.200,00 kW το καθένα, που βοηθάνε την εγκάρσια πρόωση του πλοίου και βελτιώνουν την ελικτικότητα του κατά την διαδικασία του κατάπλου και του απόπλου στα λιμάνια.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που διατίθενται, από τις δοκιμές που έγιναν στο πλοίο κατά την παραλαβή του (sea trials) αλλά και από τα δεδομένα της εταιρείας, το πλοίο μπορεί να αναπτύξει ταχύτητες 30 κόμβων την ώρα στο 100% της ισχύος των μηχανών, με 49.000 kW τελική ισχύ στους δύο άξονες, ενώ η υπεραστική ταχύτητα του πλοίου είναι στο 75% της ισχύος των μηχανών, δίνοντας μια ταχύτητα 27,5 κόμβων έχοντας κατανάλωση περίπου 7,5 τόνους πετρέλαιο την ώρα.

Τα δύο αδελφά πλοία εξυπηρετούν τις γραμμές της Αδριατικής συνδέοντας την Πάτρα και την Ηγουμενίτσα με λιμάνια της Ιταλίας όπως το λιμάνι της Αγκόνας και της Βενετίας, ενώ η εταιρεία κατά διαστήματα τα μεταφέρει στις γραμμές της Κρήτης, Πειραιάς-Ηράκλειο-Πειραιάς ή Πειραιάς-Χανιά-Πειραιάς.



Εικόνα 23, το Olympic Champion κατά την διάρκεια δεξαμενισμού, πηγή: [marinetraffic.com](https://www.marinetraffic.com), (25/02/2021)

2.2 Περιγραφή της μετασκευής

Η μετασκευή του πλοίου θα χωριστεί σε τέσσερις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα επιδιώκεται η ανάλυση στα μηχανολογικά μέρη που αλλάζουν πάνω στους τέσσερις κινητήρες κατά τη μετασκευή, στη δεύτερη ενότητα γίνεται η επιλογή των δεξαμενών αποθήκευσης LNG που τοποθετούνται στο πλοίο, στην τρίτη ενότητα αναφέρονται οι σωληνώσεις και γενικά το δίκτυο των εγκαταστάσεων του LNG και τα μέτρα ασφάλειας και πυρασφάλειας που πρέπει να έχει το πλοίο μετά τη μετασκευή.

Οι παραπάνω ενότητες και περιγραφές είναι σύμφωνα με τους τεχνικούς οδηγούς (manuals) που διατέθηκαν από την WARTSILA, την κατασκευάστρια εταιρεία των μηχανών που φέρει το πλοίο και αναλαμβάνει τη μετασκευή αυτών.

Σύμφωνα με την Wartsila οι μηχανές του OLYMPIC CHAMPION επιδέχονται μετασκευή και αυτή θα γίνει σύμφωνα με πακέτο που διαθέτει η εταιρεία το LNGPAC.

2.2.1 Μηχανοστάσιο/Αλλαγές στους κινητήρες

Το πλοίο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διαθέτει τέσσερις κύριες μηχανές πρόωσης 12V46C της εταιρείας WARTSILA, με ισχύ 12.600,00 kW η κάθε μία.

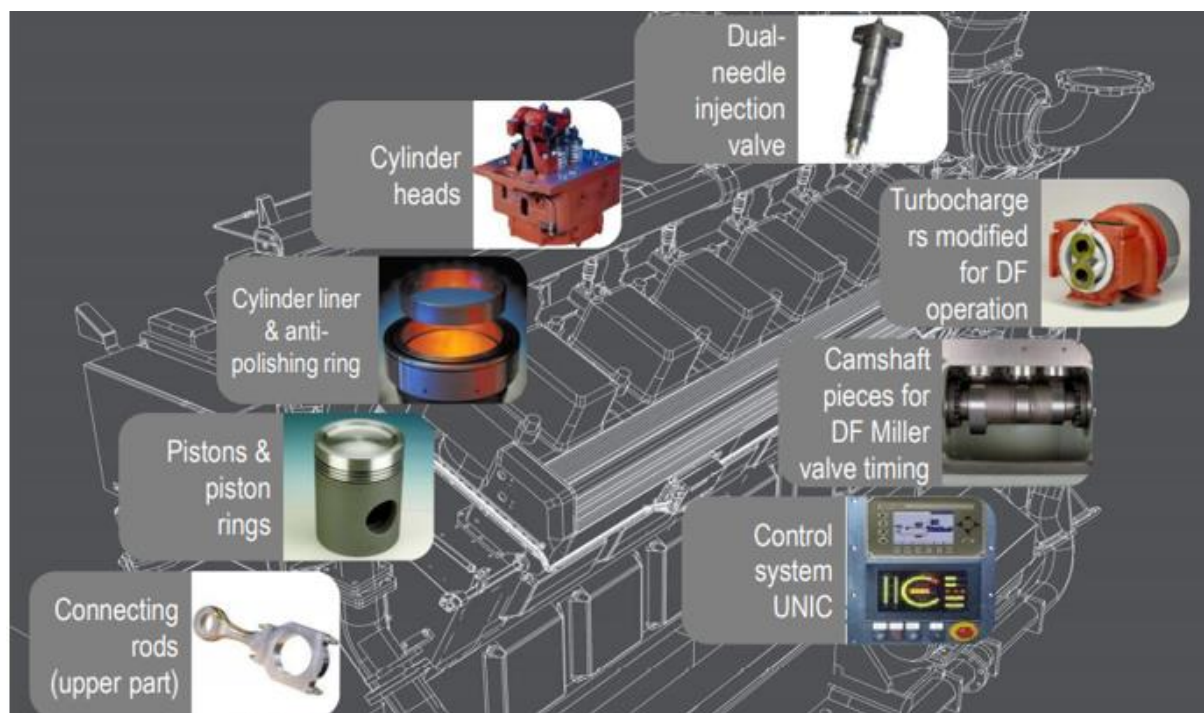
Οι κινητήρες αυτοί έχουν κατασκευαστεί ώστε να καίνε ναυτιλιακό πετρέλαιο HFO, έχουν όμως τη δυνατότητα να γίνεται και χρήση και άλλων τύπων ναυτιλιακών πετρελαίων.

Για τη μετασκευή των μηχανών σε μηχανές 12V50DF (dual fuel), δηλαδή μηχανές διπλού καυσίμου, όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο (1,4), θα πρέπει να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες.

Πρώτα αποσυναρμολοούνται οι μηχανές και μένει μόνο ο στροφαλοφόρος άξονας των μηχανών και το κύριο σώμα των μηχανών, ενώ πρέπει να αντικατασταθούν από το κάτω μέρος της μηχανής προς τα πάνω τα εξής:

1. Αλλαγή των χιτωνίων που περιβάλλουν τους κυλίνδρους της μηχανής.
2. Αλλαγή των διωστήρων που ενώνουν το έμβολο με το στροφαλοφόρο άξονα.
3. Αλλαγή των εμβόλων.
4. Αλλαγή στα δαχτυλίδια που εφαρμόζουν περιμετρικά των εμβόλων.
5. Τοποθέτηση νέων κύλινδρο-κεφαλών και αξόνων χρονισμού (εκκεντροφόρων).
6. Αντικατάσταση ψεκαστήρων πετρελαίου με ψεκαστήρες διπλής λειτουργίας (dual needle injection valve) ώστε να μπορούν, αν λειτουργούν σε diesel mode αλλά και κατά τη διάρκεια Gas mode, να προσφέρουν την ποσότητα του πετρελαίου (pilot fuel) που είναι απαραίτητη για την καύση του φυσικού αερίου.
7. Αλλαγή του στροβιλοσυμπιεστή εξάτμισης (turbocharge) με νέο (turbocharger modified for DF operation) που είναι σχεδιασμένος για μηχανές DF.
8. Τέλος θα γίνει αλλαγή στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της μηχανής (control system UNIC).

Στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 24) παρουσιάζεται το σχεδιάγραμμα της Wartsila σχετικά με τις αλλαγές που αναφέρονται για τη μετασκευή ενός κινητήρα σε κινητήρα διπλού καυσίμου.



Εικόνα 24, αλλαγές πάνω στον κινητήρα κατά τη μετατροπή του σε DF, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)

Η διαδικασία της μετασκευής των κινητήρων, όπως φαίνεται και παραπάνω, ξεκινάει με την αποσυναρμολόγηση των κινητήρων, δηλαδή την αφαίρεση των κύλινδρο-κεφαλών, των εκκεντροφόρων αξόνων, των εμβόλων, των διωστήρων καθώς και των περιφερειακών εξαρτημάτων όπως οι τελικές αντλίες και τα φίλτρα καυσίμου που εδράζονται πάνω στο σώμα των μηχανών. Τέλος αφαιρείται ο στροβιλοσυμπιεστής της εξάτμισης αλλά και όλες οι σωληνώσεις της εισαγωγής αέρα και καυσίμου των κινητήρων.

Στην συνέχεια μεγαλώνει η διάμετρος των κυλίνδρων, αφού από τα 460 mm διάμετρο κυλίνδρου οι μηχανές θα έχουν τα 500 mm διάμετρο κυλίνδρου, ενώ η διαδρομή που θα κάνουν τα έμβολα από το άνω νεκρό σημείο μέχρι το κάτω νεκρό σημείο θα παραμείνει η ίδια στα 580 mm.

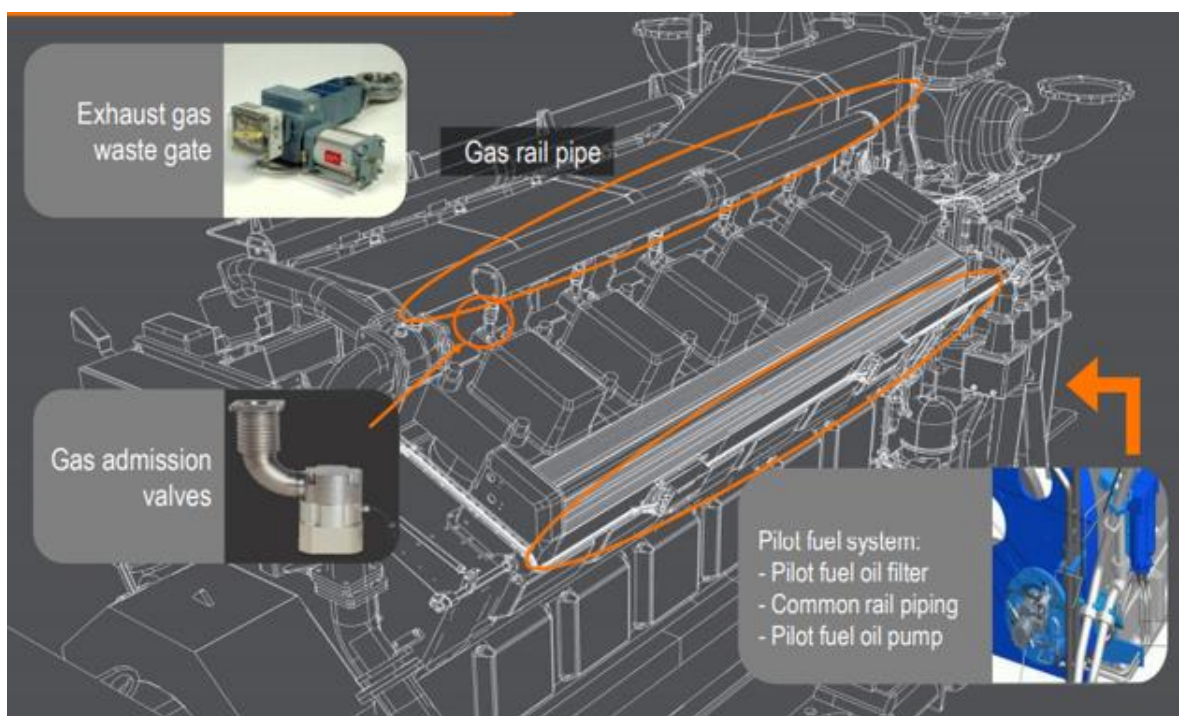
Αφού γίνει το άνοιγμα της νέας διαμέτρου στους κυλίνδρους των σωμάτων των κινητήρων στη συνέχεια γίνεται η τοποθέτηση των νέων χιτωνίων καθώς και η τοποθέτηση των νέων διωστηρίων και εμβόλων στους κινητήρες.

Μετά την παραπάνω διαδικασία τοποθετούνται οι νέες κύλινδρο-κεφαλές, οι οποίες διαθέτουν τέσσερις βαλβίδες ανά κύλινδρο, δύο βαλβίδες εισαγωγής και δύο βαλβίδες εξαγωγής και ένα μπέκ ψεκασμού πετρελαίου το οποίο διαθέτει δύο στόμια ψεκασμού. Με την τοποθέτηση των κύλινδρο-κεφαλών θα τοποθετηθούν και οι νέοι εκκεντροφόροι άξονες χρονισμού.

Στο τελικό στάδιο της μετασκευής τοποθετείται ο νέος στροβιλοσυμπιεστής της εξάτμισης, οι σωληνώσεις του πετρελαίου και του φυσικού αερίου καθώς και τα νέα τελικά φίλτρα και αντλίες καυσίμου, μια για το pilot fuel και μια για την περίπτωση που ο κινητήρας θα δουλεύει σε diesel mode.

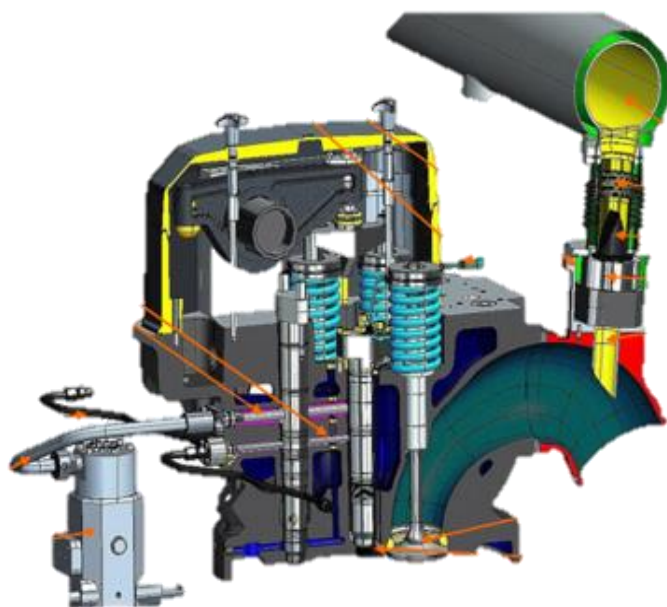
Βασική αλλαγή πάνω στους κινητήρες είναι η τοποθέτηση της σωλήνας φυσικού αερίου (gas rail pipe) πάνω στην εισαγωγή των κυλίνδρων που συνδέονται με τις βαλβίδες εισαγωγής φυσικού αερίου (gas admission valves), όπως φαίνεται στην εικόνα (εικόνα 25). Κατά την εισαγωγή αέρα στο θάλαμο καύσης, ανοίγουν οι βαλβίδες του φυσικού αερίου δημιουργώντας το φαινόμενο Venturi effect και εισάγεται το φυσικό αέριο στο θάλαμο καύσης.

Οι νέες καταναλώσεις και αποδώσεις των μηχανών, μετά τη μετασκευή, αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 25, βαλβίδες εισαγωγής φυσικού αερίου στον χώρο καύσης, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η νέα διάταξη που έχει η κυλινδροκεφαλή μετά τη μετασκευή, διακρίνοντας τόσο το νέο διπλό σύστημα ψεκασμού πετρελαίου στον κινητήρα όσο και το σύστημα εισαγωγής του φυσικού αερίου μέσα στο θάλαμο καύσης (εικόνα 26).



Εικόνα 26, κυλινδροκεφαλή σε τομή, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)

Τέλος, σύμφωνα με την Wartsila περισσότεροι από 178 κινητήρες της σειράς W46 έχουν μετασκευαστεί σε W50 DF μέχρι σήμερα ενώ έχουν γίνει πάνω από 415 μετασκευές κινητήρων σε κινητήρες DF, τόσο σε πλοία όσο και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

2.2.2 Επιλογή δεξαμενής LNG

Το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης του LNG δίνεται από την Wartsila με το LNGPAC™.

Το LNGPAC™ είναι ένα πλήρες σύστημα που έχει σχεδιάσει και αναπτύξει η Wartsila για πλοία που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LNG. Το LNGPAC™ χρησιμοποιείται για αποθήκευση του φυσικού αερίου καθώς και για την παροχή του αερίου από τη δεξαμενή στους κινητήρες, αφού συνδυάζει τη δεξαμενή με μια μονάδα διαχείρισης, αεριοποίησης, θέρμανσης και παροχής του καυσίμου.

Το πλήρες LNGPAC™ αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες- υποσυστήματα:

- Δεξαμενή αποθήκευσης LNG, συμπεριλαμβανομένου του χώρου σύνδεσης της δεξαμενής.
- Το σύστημα αεριοποίησης και θέρμανσης του υγρού φυσικού αερίου.
- Εξοπλισμό διαχείρισης και ελέγχου της παροχής του καυσίμου.
- Σύστημα ελέγχου της πίεσης του αερίου στο κύκλωμα.
- Την αντλία του καυσίμου που διοχετεύει το αέριο από τη δεξαμενή στους κινητήρες.

Σε μια γενική περιγραφή, το παραπάνω σύστημα αποτελείται από μια ανοξείδωτη κυλινδρική δεξαμενή (IMO: Type C) πάνω στη οποία είναι και το σύστημα διαχείρισης του φυσικού αερίου (tank connection space-TCS). Στο TCS συνδέονται όλες οι σωληνώσεις παροχής είτε προς τη δεξαμενή είτε από τη δεξαμενή προς του κινητήρες.

Το TCS περιλαμβάνει δύο πολύ σημαντικά συστήματα, το πρώτο είναι ένα σύστημα αεριοποίησης και θέρμανσης του φυσικού αερίου, δηλαδή από υγρή μορφή που έχει μέσα στη δεξαμενή μετατρέπεται σε αέρια, διαδικασία που επιτυγχάνεται από ένα σύστημα θέρμανσης, θερμικούς εναλλάκτες και αντλίες, ενώ η ψύξη που αντλεί ο εναλλάκτης χρησιμοποιείται στο σύστημα κλιματισμού του πλοίου.

Το δεύτερο σύστημα αποτελείται από ένα κύκλωμα αδρανούς κρυογόνου αερίου, συνήθως χρησιμοποιείται άζωτο, όπου κατά τη διαδικασία λειτουργίας του πλοίου όσο αδειάζει η δεξαμενή το σύστημα τη γεμίζει από πάνω με Άζωτο, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε επαφή του φυσικού αερίου με αέρα, για την αποφυγή τυχόν ανάφλεξης ή έκρηξης. Με το ίδιο αέριο γεμίζεται και το κύκλωμα των σωληνώσεων κατά τη διάρκεια που δε λειτουργούν οι μηχανές του πλοίου.

Παράλληλα μέσα στη μονάδα αυτή περιλαμβάνεται ένα σύστημα από αυτόματες αλλά και ελεγχόμενες βαλβίδες ασφάλειας και ένα δίκτυο αισθητήρων διαρροής, ώστε να υπάρχει μια πλήρη ασφάλεια κατά τη λειτουργία αλλά και μια πλήρη απεικόνιση του συστήματος ανά πάσα στιγμή προς τους μηχανικούς του πλοίου.

Το σύστημα αυτό αποτελεί μια μεγάλη επιτυχία για την Wartsila, καθώς έφτιαξε ένα πολύ καλά σχεδιασμένο και εργονομικό σύστημα αποθήκευσης και μονάδα διαχείρισης του LNG.

Στην εικόνα 27 απεικονίζεται η διάταξη του LNGPAC™ στο πλοίο “Olympic Champion ” αν οι δεξαμενές τοποθετηθούν στη πρύμνη του πλοίου.

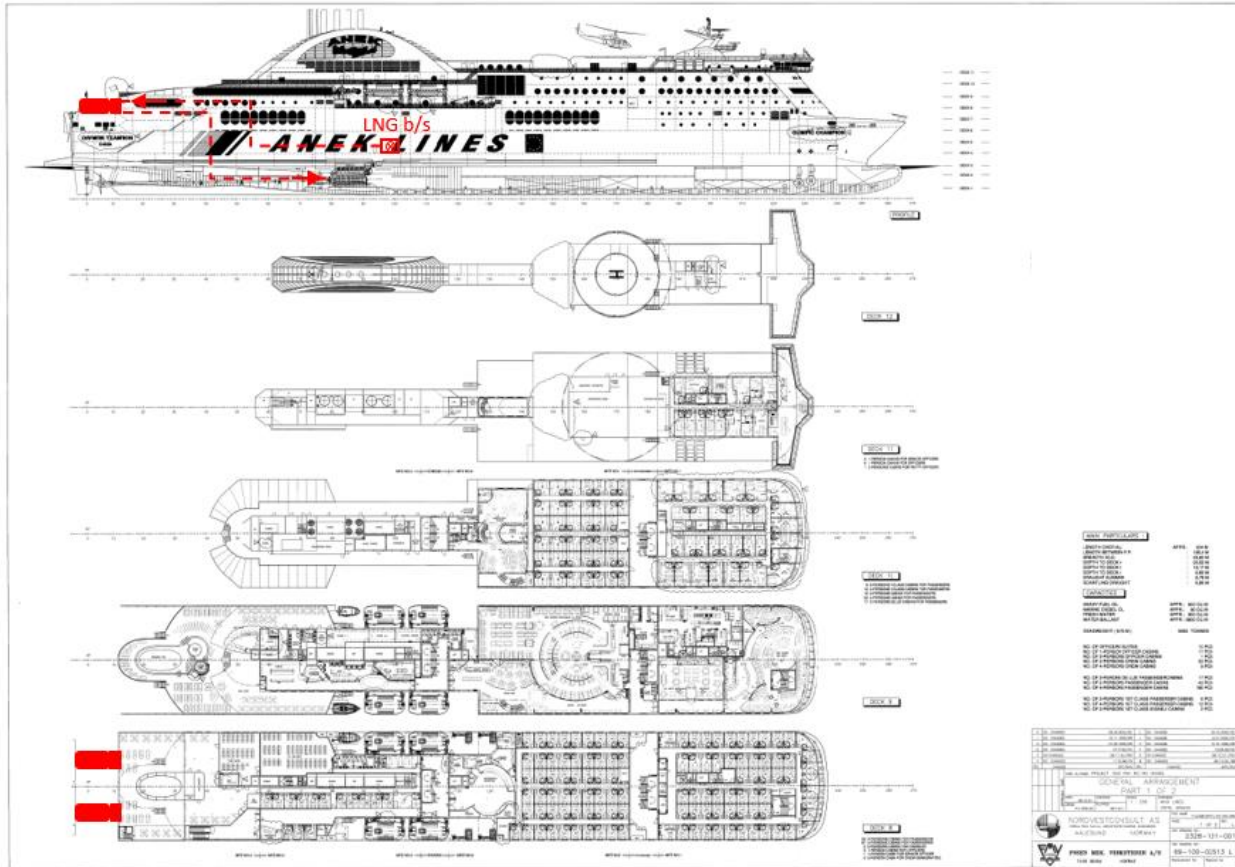


Εικόνα 27, πίσω όψη του πλοίου αν τοποθετηθούν στην πρύμνη οι δεξαμενές του LNG, χωρητικότητας 200m³

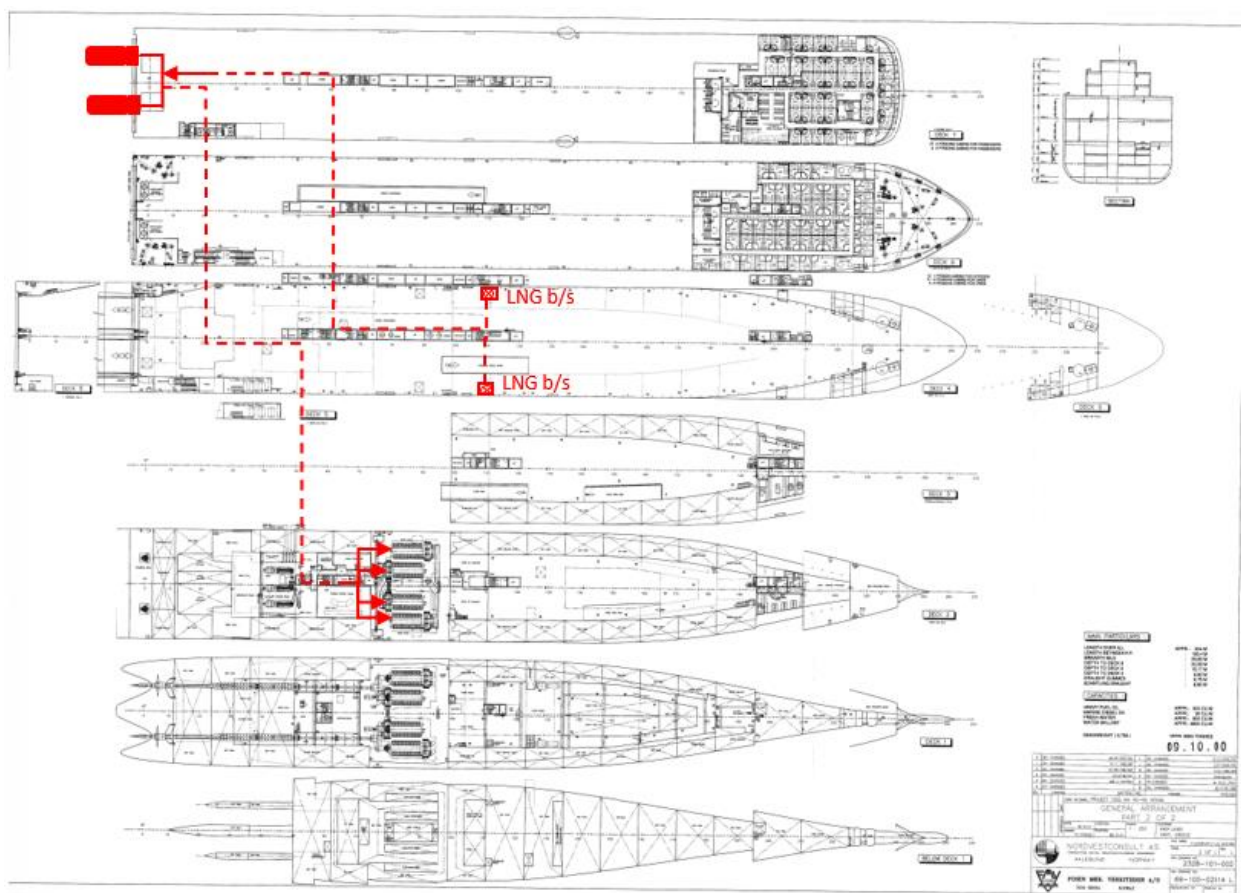
Το σύστημα LNGPAC™ η Wartsila το έχει τοποθετήσει από το 2016 σε πάνω από 20 πλοία διαφόρων τύπων μέχρι σήμερα. Για παράδειγμα το μεγαλύτερο μέχρι σήμερα RO-PAX πλοίο, που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το LNG το “VIKING GRACE”, έχει δύο συστήματα LNGPAC™ με δεξαμενές χωρητικότητας 200 m³ η κάθε μία.

Η τοποθέτηση του παραπάνω συστήματος στο “OLYMPIC CHAMPION” αποτελεί ίσως την πιο δύσκολη διαδικασία της μετασκευής. Αν κάνουμε την υπόθεση ότι θα τοποθετηθούν δύο ίδια συστήματα LNGPAC™ σαν του “VIKING GRACE”, ώστε να παρέχεται μια σχετικά μεγάλη αυτονομία στο πλοίο, θα χρειαστεί να γίνει μια νέα μελέτη ευστάθειας του πλοίου. Το σύστημα αυτό έχει πολύ μεγάλο βάρος και πρέπει ανάλογα με το σημείο που θα τοποθετηθεί να γίνει μια πλήρης μελέτη ευστάθειας ώστε να αλλάξουν τα δεδομένα στο σύστημα διαχείρισης των δεξαμενών έρματος ευστάθειας (water ballast tanks) του πλοίου.

Στις πιο κάτω εικόνες απεικονίζονται τα γενικά σχέδια του πλοίου, που περιλαμβάνουν την κάτοψη αλλά και την πλάγια όψη του με τις αλλαγές που θα έχει μετά τη μετασκευή.(εικόνα 28-29)



Εικόνα 28, σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου με τις αλλαγές για την τοποθέτηση των δεξαμενών και των σωληνώσεων του LNG



Εικόνα 29, σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου με τις αλλαγές για την τοποθέτηση των δεξαμενών και των σωληνώσεων του LNG

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχέδια οι δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν σε μια υπέρ-κατασκευή μεταξύ του deck 7 και του deck 8 στην πρύμνη του πλοίου, σημείο στο οποίο δεν επηρεάζεται καθόλου η μεταφορική του ικανότητα τόσο σε αυτοκίνητα και φορτηγά όσο και σε επιβάτες. Επίσης η εταιρεία μπορεί να επιλέξει οι δεξαμενές μαζί με τη μονάδα αεριοποίησης και ελέγχου να τοποθετηθούν στα κατώτερα καταστρώματα του πλοίου κοντά στο μηχανοστάσιο.

Η παρεχόμενη αυτονομία των δύο δεξαμενών των 200 m^3 η κάθε μία, σύμφωνα με την κατανάλωση που θα έχουν οι μηχανές, θα είναι περίπου 31 ώρες στο 80% της ισχύος των μηχανών με ταχύτητα 28,7 κόμβων (knots) ή 860 (nm) ναυτικών μιλίων, γεγονός που καθιστά το πλοίο ικανό να εκτελεί τα δρομολόγια προς την Ιταλία και την Κρήτη. Στην περίπτωση που τοποθετηθούν 2 δεξαμενές των 500 m^3 τότε θα έχει περίπου 80 ώρες αυτονομία στο 80% ή 2240 ναυτικά μίλια, ενώ στην περίπτωση τοποθέτησης μίας δεξαμενής 500 m^3 θα έχει αυτονομία περίπου 40 ώρες ή 1120 ναυτικών μιλίων. Η επιλογή του μεγέθους της δεξαμενής ή των δεξαμενών που τοποθετούνται εξαρτάται από την αυτονομία που επιθυμεί η εταιρεία, αλλά και το διαθέσιμο χώρο που υπάρχει στο πλοίο χωρίς να υπάρξει μείωση της μεταφορικής ικανότητάς του.

2.2.3 Το Κύκλωμα των σωληνώσεων στο πλοίο

Το κύκλωμα των σωληνώσεων που θα τοποθετηθούν στο OLYMPIC CHAMPTION, χωρίζεται στα εξής τέσσερα μέρη:

1. Δίκτυο σωληνώσεων ανεφοδιασμού
2. Δίκτυο από την δεξαμενή προς τον κινητήρα
3. Δίκτυο σωληνώσεων εξαερισμού
4. Δίκτυο σωληνώσεων Αζώτου

Το πρώτο δίκτυο, αποτελεί το δίκτυο ανεφοδιασμού του πλοίου. Σύμφωνα με την Wartsila οι σωληνώσεις αυτές πρέπει να είναι σωληνώσεις διπλού τοιχώματος από ανοξείδωτο ατσάλι και να είναι σχεδιασμένες για πιέσεις 10 bar και θερμοκρασίες από -165 °C έως +60 °C.

Ανάλογα το είδος των σωληνώσεων που τοποθετούνται, δηλαδή αν μεταξύ του εξωτερικού τοιχώματος και του εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα υπάρχει κενό ή σύστημα με αερισμό, τότε κατά τα πρότυπα του νηογνώμονα, τοποθετούνται οι απαραίτητοι αισθητήρες ώστε να βρεθούν τυχόν διαρροές φυσικού αερίου κατά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού.

Κατά τη μετασκευή του πλοίου τοποθετούνται δύο ή τρία δίκτυα σωληνώσεων που καταλήγουν στις δεξαμενές του φυσικού αερίου. Τοποθετείται ένα δίκτυο στη δεξιά και ένα δίκτυο στην αριστερή μεριά του πλοίου, δίπλα στους ήδη υπάρχοντες σταθμούς ανεφοδιασμού του πετρελαίου στο Deck 4, ώστε ανάλογα τον τρόπο που δένει το πλοίο στα λιμάνια να μπορεί να εξυπηρετήσουν τη διαδικασία του ανεφοδιασμού. Το τρίτο δίκτυο είναι προαιρετικό και μπορεί να βρίσκεται στην πρύμνη του πλοίου ώστε σε περίπτωση πρυμνοδέτησης του πλοίου να είναι δυνατός ο ανεφοδιασμός του.

Το δεύτερο δίκτυο σωληνώσεων, αφορά στη σύνδεση της δεξαμενής στην κύρια βαλβίδα ελέγχου του φυσικού αερίου (GVU). Σύμφωνα με τον κατασκευαστή πρέπει να είναι ανοξείδωτες σωληνώσεις διπλού τοιχώματος με αντοχή στα 10 bar πίεση και θερμοκρασίες από 0 °C έως και +60 C°. Με βάση τα πρότυπα του νηογνώμονα μεταξύ των δύο τοιχωμάτων τοποθετούνται αισθητήρες διαρροής φυσικού αερίου οι οποίες να είναι αεριζόμενες με 30 αλλαγές αέρα ανά ώρα.

Από την κεντρική βαλβίδα ελέγχου του φυσικού αερίου (GVU) μέχρι τους κινητήρες του πλοίου τοποθετούνται σωληνώσεις σχεδιασμένες για πιέσεις 5-6 bar και θερμοκρασίες από 0 °C έως και +60 C°, ενώ απαραίτητο είναι και πάλι να είναι αεριζόμενες καθώς και η τοποθέτηση κατάλληλων αισθητήρων για την εύρεση τυχών διαρροών.

Στο δίκτυο εξαερισμού τοποθετούνται σωληνώσεις αντοχής 5-10 bar πίεσης και θερμοκρασιών από -165 °C έως +60 °C, ενώ πρέπει να είναι σχεδιασμένες σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς της κλάσης.

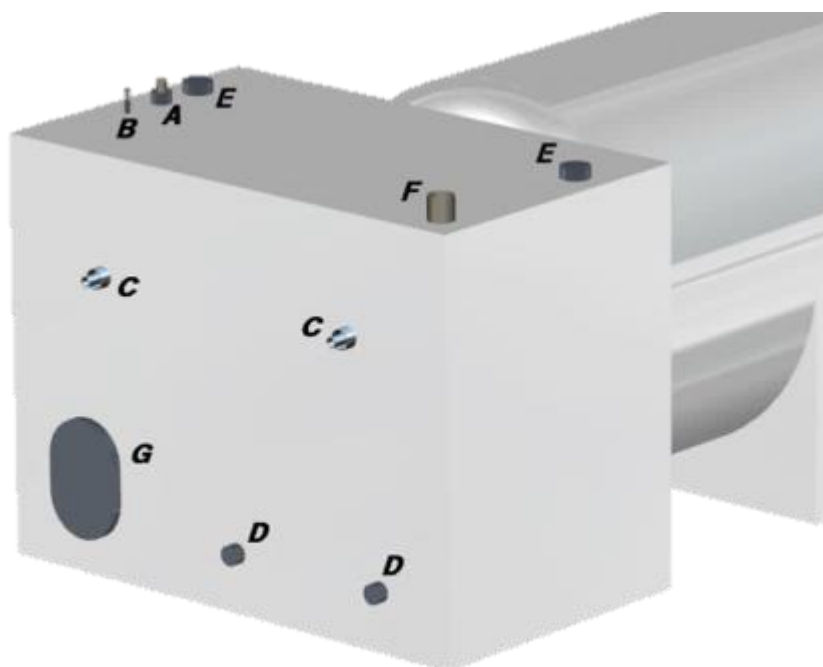
Παρακάτω παρουσιάζεται ο σχετικός πίνακας που περιγράφονται οι εσωτερικές και εξωτερικές διαστάσεις των σωληνώσεων διπλού τοιχώματος καθώς και τα πρότυπα κατασκευής κατά DN. (πίνακας 2)

Πίνακας 2, οι διαστάσεις των σωληνώσεων, πηγή: Wartsila

Pipe size	Inner pipe			Outer pipe		
DN	DN	NPS	Outer diameter (mm)	DN	NPS	Outer diameter (mm)
50	50	2	60,33	80	3	88,90
80	80	3	88,90	125	5	141,30
100	100	4	114,30	150	6	168,28
125	125	5	141,30	200	8	219,08

Τέλος, το δίκτυο του Αζώτου πρέπει να έχει σωληνώσεις σχεδιασμένες για πιέσεις 10 bar και για θερμοκρασίες από -165 °C έως +60 °C, καθώς αποτελεί ένα από τα κύρια συστήματα ασφάλειας του κυκλώματος.

Στην εικόνα 30 διακρίνονται τα σημεία στα οποία καταλήγουν ή ξεκινούν οι σωληνώσεις της δεξαμενής του φυσικού αερίου.



Εικόνα 30, διάταξη δεξαμενής LNG, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)

Όπου A-G είναι οι σωληνώσεις :

A= Ανεφοδιασμού

B=Αζώτου

C= Συστήματος θέρμανσης

D-F= Αερισμού

*G= Είσοδος για έναν συντηρητή/μηχανικό

Κατά τον καθαρισμό του δικτύου των ανοξειδωτων σωληνώσεων, συνιστάται να αποφευχθούν οι παρακάτω μέθοδοι καθώς θα προκαλέσουν ζημία στις σωληνώσεις:

- Καθαρισμός με οποιοδήποτε τύπο ατσαλιού εκτός από ανοξείδωτο.
- Αποφυγή χρήσης τριβείων ή οποιασδήποτε συσκευής λείανσης καθώς προκαλούν τοπική αύξηση της θερμοκρασίας και οδηγούν σε αστοχίες του μετάλλου.

Στην περίπτωση που χρειαστεί η απομάκρυνση κάποιας μεγάλης βρομιάς η Wartsila συνιστά τη χρήση αμμοβολής με καθαρή άμμο ή σφαιρών από γυαλί και στο τέλος να καθαριστεί η επιφάνεια με χρήση αέρα.

2.2.4 Συστήματα ασφάλειας και πυρόσβεσης

Τα νέα συστήματα ασφάλειας που πρέπει να λάβει η εταιρεία μετά τη μετασκευή του πλοίου, σύμφωνα με τον IMO και με τα πρότυπα του νηογνώμονα χωρίζονται σε τρεις βασικούς τομείς:

1. Μηχανολογικός εξοπλισμός και δίκτυο αισθητήρων διαρροής
2. Πυρόσβεση
3. Εκπαίδευση προσωπικού και απαραίτητος εξοπλισμός προσωπικού

2.2.4.1 Μηχανολογικός εξοπλισμός και δίκτυο αισθητήρων διαρροής

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός και το δίκτυο των αισθητήρων παρέχεται από την Wartsila κατά την τοποθέτηση του συστήματος LNGPAC™. Αυτός αποτελείται από ένα δίκτυο αισθητήρων διαρροής φυσικού αερίου και από ένα δίκτυο με βαλβίδες ασφάλειας που τοποθετούνται τόσο στη δεξαμενή όσο και στο υπόλοιπο κύκλωμα του φυσικού αερίου. Οι πληροφορίες αυτές συλλέγονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, που έχουν πρόσβαση οι μηχανικοί του πλοίου, ενώ σε έκτατες περιπτώσεις το ίδιο το σύστημα αποτρέπει κάποιο ανεπιθύμητο γεγονός.

Οι βαλβίδες ασφαλείας είναι βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης που σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ενεργοποιούνται με σκοπό να απελευθερώσουν την υπερβολική πίεση. Η πίεση στη δεξαμενή του LNG ή στις σωληνώσεις είναι πάρα πολύ υψηλή, με αποτέλεσμα σε περίπτωση υπερ-πίεσης, αν δεν ανακουφιστεί το σύστημα, να οδηγήσει σε έκρηξη ή σπάσιμο του δικτύου.

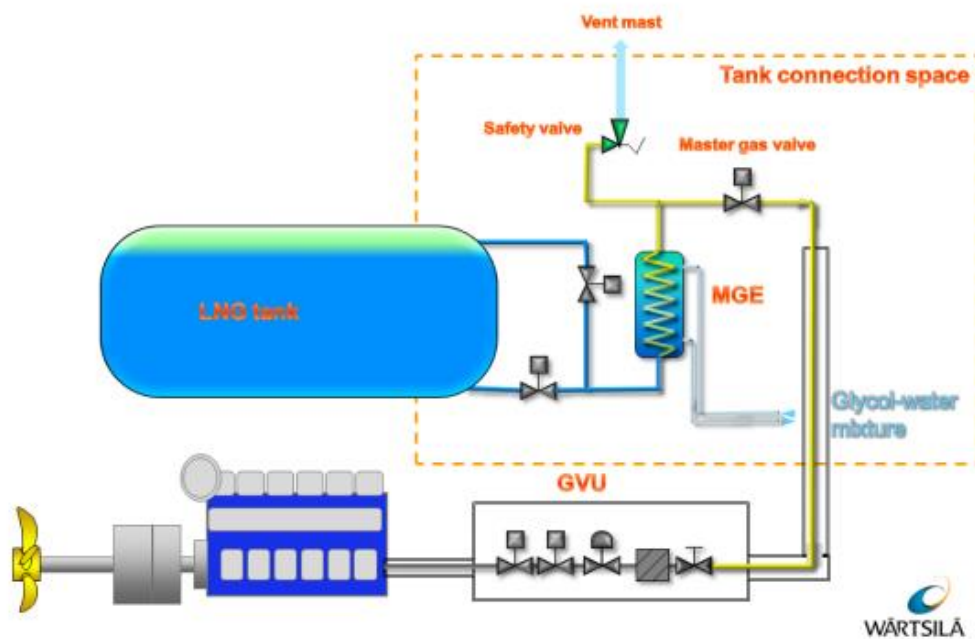
Στη δεξαμενή υπάρχουν δύο μεγάλες βαλβίδες ασφάλειας που είναι ικανές να εκτονώσουν την παραπάνω πίεση, που μπορεί να προκαλέσει η υψηλή θερμοκρασία κοντά στη δεξαμενή, από πιθανή φωτιά. Και στις δύο αυτές βαλβίδες υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της εκτόνωσης της πίεσης. Στο δίκτυο των σωληνώσεων ανεφοδιασμού υπάρχουν θερμικές βαλβίδες εκτόνωσης, ενώ στο σύστημα αεριοποίησης του υγρού φυσικού αερίου η Wartsila έχει τοποθετήσει μια

βαλβίδα ασφαλείας της οποίας το μέγεθος εξαρτάται από το ρυθμό αερίου που αεριοποιείται, με απώτερο σκοπό να ανακουφίσει το κύκλωμα σε περίπτωση μεγαλύτερης παραγωγής από την απαιτούμενη ζήτηση των μηχανών.

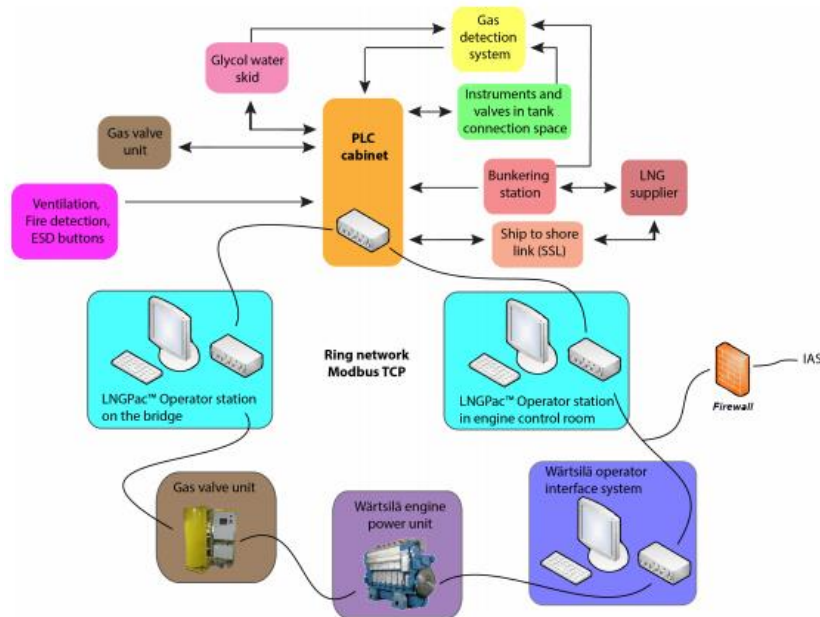
Η βαλβίδα της δεξαμενής έχει ρυθμιστεί να ανοίγει με βάση το σχεδιασμό πίεσης ατμών LNG (MARVS), ενώ οι υπόλοιπες βαλβίδες έχουν σχεδιαστεί να ανοίγουν σε πιέσεις από μεγαλύτερες των 5 bar και των 10 bar αντίστοιχα με την επιθυμητή πίεση που είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί το κάθε τμήμα του κυκλώματος του φυσικού αερίου.

Παράλληλα οι αισθητήρες διαρροής του φυσικού αερίου, όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι τοποθετημένοι τόσο στις σωληνώσεις όσο και σε χώρους του πλοίου.

Στην εικόνα 31 φαίνεται το κύκλωμα των βαλβίδων ασφαλείας που έχει η Wartsila και στην εικόνα 32 το σύστημα κεντρικού ελέγχου.



Εικόνα 31, Wartsila Gas System, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)



Εικόνα 32, Wartsila Gas System, πηγή: www.wartsila.com, (25/02/2021)

2.2.4.2 Πυρόσβεση

Για να αποφευχθούν φαινόμενα ανάπτυξης υψηλής θερμοκρασίας κοντά στις δεξαμενές του υγροποιημένου φυσικού αερίου, σύμφωνα με τον IMO, συνιστάται η χρήση ειδικού μονωτικού υλικού στη βάση και στο κατάστρωμα που θα τοποθετηθούν οι δεξαμενές κατά τα πρότυπα μόνωσης A-60.

Παράλληλα για την ασφάλεια των επιβατών και του πληρώματος πρέπει να αντικατασταθούν τυχόν παράθυρα που βλέπουν στις δεξαμενές με παράθυρα που ακολουθούν τα πρότυπα μόνωσης A-0.

Στη συνέχεια πρέπει να υπάρχει στις δεξαμενές, στο μηχανοστάσιο αλλά και στους χώρους του πλοίου που περνάνε οι σωληνώσεις του φυσικού αερίου ή του υγροποιημένου φυσικού αερίου, ένα σύστημα ψεκασμού πυρόσβεσης, σύμφωνα με τον κανονισμό του IMO A.123 (V) του 2012, συνδεδεμένο με φιάλες πυρόσβεσης διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂), ενώ η αντλία που παρέχει το διοξείδιο του άνθρακα στο κύκλωμα πρέπει να έχει ικανότητα παροχής 90 m³/h.

Τέλος στο σύστημα πυρόσβεσης τοποθετούνται επιπλέον ανιχνευτές πυρκαγιάς, τόσο στο χώρο των δεξαμενών, όσο και στους χώρους του πλοίου που περνάνε οι νέες σωληνώσεις του φυσικού αερίου και του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

2.2.4.3 Εκπαίδευση προσωπικού και απαραίτητος εξοπλισμός προσωπικού

Η εκπαίδευση του προσωπικού και η σωστή χρήση του εξοπλισμού ασφάλειας που διαθέτουν αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα ασφάλειας του πλοίου, αφού έχουν ως αποτέλεσμα την πρόβλεψη και αποφυγή πιθανών ατυχημάτων.

Καταρχάς οι αξιωματικοί/μηχανικοί και τα κατώτερα πληρώματα του πλοίου, που έρχονται σε επαφή με το σύστημα του φυσικού αερίου του πλοίου, πρέπει να εκπαιδεύονται από την Wartsila και να λάβουν τις απαραίτητες πιστοποιήσεις πάνω στα πλοία με καύσιμο το LNG. Πιστοποιήσεις που αφορούν τόσο τη συντήρηση, την επισκευή του συστήματος όσο και την αποφυγή ατυχημάτων.

Ο εξοπλισμός που πρέπει να φέρουν και να εκπαιδεύονται στην ορθή του χρήση οι μηχανικοί και το προσωπικό, οι οποίοι θα έρχονται σε επαφή με το σύστημα του LNG, πρέπει να είναι κατάλληλος για την αποφυγή εγκαυμάτων από τις πολύ χαμηλές αλλά και κατά μέρος υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα επιμέρους τμήματα του κυκλώματος.

Τέλος πρέπει στον εξοπλισμό τους να φέρουν φορητές συσκευές ανίχνευσης φυσικού αερίου, ώστε κατά τη συντήρηση ή επισκευή στο σύστημα του LNG να αποφευχθεί η περίπτωση ασφυξίας.



Εικόνα 33, ειδικά γάντια προστασίας από την πολύ χαμηλή θερμοκρασία των σωληνώσεων κατά τον ανεφοδιασμό του πλοίου, πηγή: www.hazchemsafety.com, (05/03/2021)

2.3 Γενικές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία των κινητήρων ως κινητήρες DF

Μετά τη μετασκευή των κινητήρων του πλοίου σε κινητήρες 50 DF το πλοίο συμμορφώνεται με τον κανονισμό IMO TIER III. Παράλληλα δεν υπάρχει αύξηση της ισχύος λόγω της μεγαλύτερης διαμέτρου εμβόλων αλλά μείωση κατά 7% της συνολικής ισχύος των μηχανών καθώς από 12.600,00 kW με μέγιστες στροφές 500 rpm, η κάθε μία από τις τέσσερις μηχανές που είναι εξοπλισμένο το Olympic Champion, πλέον θα είναι στα 11.700,00 kW η κάθε μηχανή με μέγιστες στροφές 500 rpm.

Η μηχανές θα μπορούν να δουλεύουν με δύο επιλογές λειτουργίας: με φυσικό αέριο (gas mode) ή με πετρέλαιο (diesel mode) με δυνατότητα καύσης τόσο HFO και MDO.

Κατά την εκκίνηση των μηχανών δεν είναι απαραίτητη η χρήση του πετρελαίου (diesel mode), αλλά μπορεί να γίνει απευθείας με λειτουργία φυσικού αερίου (gas mode). Αν κατά την εκκίνηση το σύστημα ελέγχου της μηχανής εντοπίσει κάποιο πρόβλημα στο pilot fuel ή στο σύστημα του φυσικού αερίου, τότε η εκκίνηση θα πραγματοποιείται με χρήση του πετρελαίου (diesel mode).

Η διαδικασία εκκίνησης για τους μηχανικούς του πλοίου παραμένει η ίδια, με αρχική διαδικασία την εξαέρωση των μηχανών και στη συνέχεια τη διαδικασία που ακολουθείται από το control room του πλοίου. Η κίνηση θα συνεχίσει να γίνεται με την εισαγωγή αέρα σε μεγάλη πίεση από τα αεριοφυλάκια που διαθέτει το πλοίο, ώστε να δοθεί κίνηση στα έμβολα των μηχανών και να ξεκινήσει η διαδικασία της εκκίνησης.

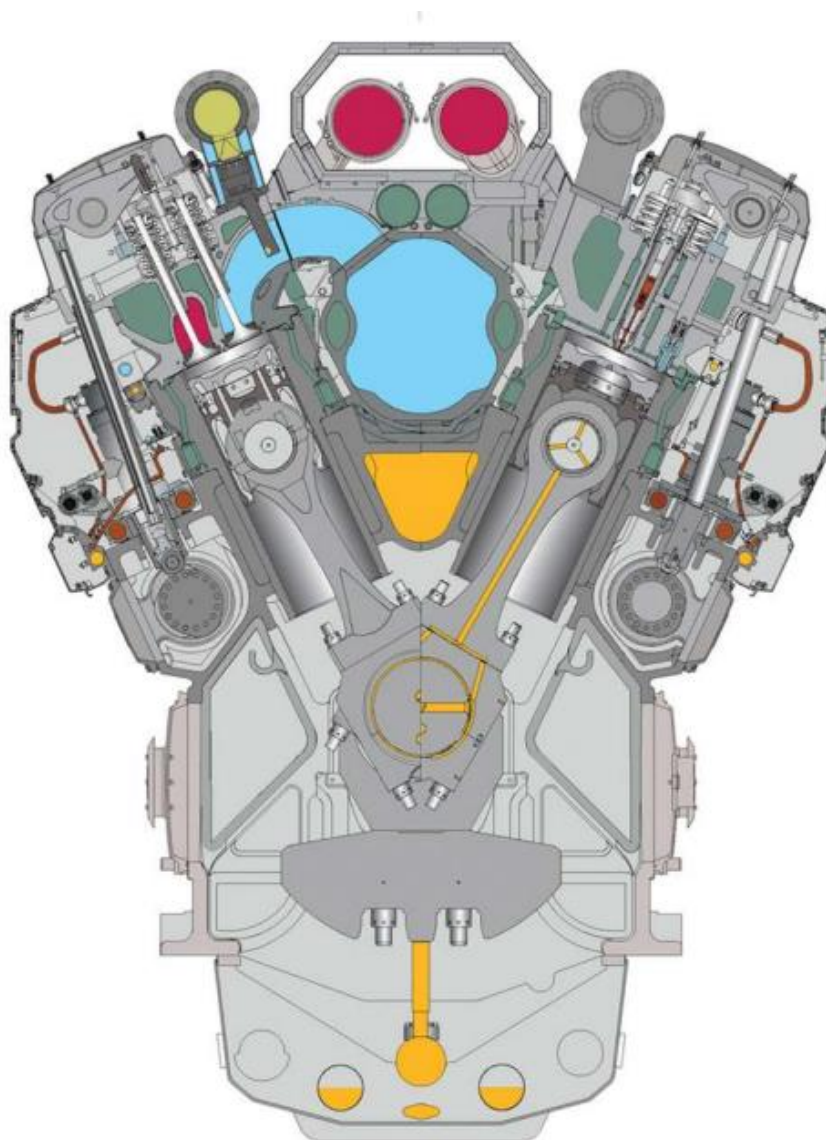
Σύμφωνα με την Wartsila η αλλαγή από πετρέλαιο (diesel mode) σε φυσικό αέριο (gas mode) γίνεται οποιαδήποτε στιγμή με το μόνο περιορισμό η μηχανή να βρίσκεται κάτω από το 80% του συνολικού φορτίου της. Αντίθετα η αλλαγή από φυσικό αέριο (gas mode) σε πετρέλαιο (diesel mode) γίνεται οποιαδήποτε στιγμή χωρίς να υπάρχει κανένας περιορισμός.

Σε περίπτωση που το σύστημα ελέγχου καταλάβει κάποια δυσλειτουργία σε μία από τις μηχανές, για παράδειγμα ένα από τα μπέκ του pilot fuel ή στην τροφοδοσία του φυσικού αερίου, τότε η μηχανή γυρίζει αυτόματα σε diesel mode χωρίς να επηρεαστεί καθόλου η λειτουργία της.

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα, αν μία ή δυο μηχανές έχουν κάποιο πρόβλημα στο κύκλωμα εισαγωγής φυσικού αερίου ή του pilot fuel, να μπορεί να συνεχίσει να δουλεύει σε ζεύγος με την άλλη μηχανή όμως με χρήση πετρελαίου (diesel mode). Την δυνατότητα αυτή τη δίνει η Wartsila αφού μετά την αεριοποίηση του φυσικού αερίου τοποθετεί ξεχωριστή βαλβίδα ελέγχου (GVU), για κάθε μια από τις μηχανές.

Τέλος κατά τη διαδικασία σβησίματος, οι μηχανές μπορούν να είναι σε Gas mode, όπως και κατά τη διαδικασία της εκκίνησης.

Στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 34) φαίνεται η τομή σε μία DF μηχανής διάταξης V, όπως αυτές που θα φέρει το Olympic Champion μετά τη μετασκευή.



Εικόνα 34, κινητήρας διπλού καυσίμου σε τομή, πηγή: www.wartsila.com, (05/03/2021)

2.4 Η κατανάλωση του πλοίου πριν και μετά τη μετασκευή

Ο υπολογισμός των νέων καταναλώσεων που θα έχει το Olympic Champion μετά τη μετασκευή των μηχανών σε 12V50 DF έγινε σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε από τα Sea Trials του πλοίου κατά την παραλαβή του, πίνακας 3, αλλά και με βάση τα δεδομένα της εταιρείας.

Σύμφωνα με την εταιρεία οι κύριες μηχανές του πλοίου σε ετήσια βάση δουλεύουν περίπου 5.000,00 ώρες και η υπηρεσιακή ταχύτητα είναι 27,5 ναυτικούς κόμβους στο 75% της ισχύος των μηχανών.

Πίνακας 3, αποτελέσματα των Sea Trials

RESULT OF SPEED TRIAL MESUREMENTS AT FOSEN MEK. VERKSTEDERR A/S YARD, C/F OLYMPIC CHAMPION							
RUN #	Engine Load (approx.) [%] MCR	Sailed Distance [m]	Elapse d Time [s]	Ship Speed [knots]	Propeller Shaft Power [kW]	Mean Ship Speed [knots]	Mean Shaft Power [kW]
1	75	4568	307	28.93	37400	28.77	37325
2	75	4458	303	28.61	37250		

Στον πίνακα 3 φαίνεται η ταχύτητα του πλοίου στο 75% της ισχύος των μηχανών, δηλαδή στα 37.800,00 kW, ότι είναι 28,7 ναυτικούς κόμβους. Η διαφορά αυτή με τα δεδομένα της εταιρείας προκύπτει πρώτον από την κατάσταση των υφάλων του πλοίου και δεύτερον ότι κατά την ώρα του ταξιδιού ενεργοποιούνται οι δυο Saft Generators, με αποτέλεσμα να μειώνεται η τελική ισχύς που καταλήγει στους προωθητήριους άξονες του πλοίου. Επίσης τα δεδομένα για τη παρούσα κατανάλωση που έχει το πλοίο διατέθηκαν από τα Shop Tests που έγιναν στις τέσσερις μηχανές κατά τη ναυπήγηση του πλοίου και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 4).

Πίνακας 4, πίνακας ειδικών καταναλώσεων W46C

<u>FUEL CONSUMPTION</u>		ME
		CPP Variable speed
		Diesel (HFO)
Fuel oil consumption at 100% load.	g/kWh	185.9
Fuel oil consumption at 85% load.	g/kWh	182.2
Fuel oil consumption at 75% load.	g/kWh	185
Fuel oil consumption at 50% load.	g/kWh	186.2

Οι νέες καταναλώσεις που θα έχει το πλοίο μετά τη μετασκευή, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 5, διατέθηκαν από την Wartsila. Ο πίνακας με τις νέες καταναλώσεις (πίνακας 5), χωρίζεται σε δύο μέρη, η αριστερή στήλη έχει την κατανάλωση όταν οι μηχανές θα δουλεύουν σε Gas Mode και αφορούν την κατανάλωση τόσο φυσικού αερίου όσο και πετρελαίου (pilot fuel), ενώ η δεξιά στήλη αφορά την κατανάλωση που θα έχουν οι μηχανές όταν θα δουλεύουν σε Diesel Mode.

Πίνακας 5, πίνακας ειδικών καταναλώσεων μετά τη μετασκευή

<u>FUEL CONSUMPTION</u>		ME	ME
		CPP Variable speed	CPP Variable speed
		Gas mode	Diesel mode
Total energy consumption at 100% load.	kJ/kWh	7460	-
Total energy consumption at 75% load.	kJ/kWh	7580	-
Total energy consumption at 50% load.	kJ/kWh	8080	-
Fuel gas consumption at 100% load.	kJ/kWh	7412	-
Fuel gas consumption at 75% load.	kJ/kWh	7511	-
Fuel gas consumption at 50% load.	kJ/kWh	7979	-
Fuel oil consumption at 100% load.	g/kWh	1.0	189
Fuel oil consumption at 75% load.	g/kWh	1.5	185
Fuel oil consumption at 50% load.	g/kWh	2.3	193

Όμως μετά τη μετασκευή, όπως ήδη έχει αναλυθεί, η ισχύς της κάθε μηχανής από 12.600,00 kW μειώνεται στα 11.700,00 kW. Για να γίνει η σύγκριση των καταναλώσεων, με βάση τα Sea Trials του Olympic Champion, οι υπολογισμοί της ισχύος που πρέπει να δουλεύουν οι κινητήρες μετά τη μετασκευή καθώς και οι καταναλώσεις που θα έχουν τόσο σε φυσικό αέριο όσο και σε πετρέλαιο- δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 6 και πίνακας 7)-, έγιναν με τη μεθοδολογία της γραμμικής παρεμβολής. Έτσι τα 37.800,00 kW ισχύος που απέδιδαν οι κινητήρες στο 75% πριν τη μετασκευή θα το αποδίδουν πλέον στο 80,75% της ισχύος τους.

Πίνακας 6, πίνακας ειδικών καταναλώσεων μετά τη μετασκευή

<u>FUEL CONSUMPTION</u>		ME	
		CPP Variable speed	
		Gas mode	Diesel mode
Fuel gas consumption at 80.75% load.	kJ/kWh	7488,2	-
Fuel oil consumption at 80.75% load.	g/kWh	1,385	185,9

Πίνακας 7, πίνακας ειδικών καταναλώσεων μετά τη μετασκευή

<u>FUEL CONSUMPTION</u>		ME	
		CPP Variable speed	
		Gas mode	Diesel mode
Fuel gas consumption at 80.75% load.	MMBTU/kWh	0.007097	-
Fuel oil consumption at 80.75% load.	g/kWh	1,385	185,9

Η μόνη διαφορά στους δύο πίνακες (πίνακες 6 και 7) είναι ότι η κατανάλωση του φυσικού αερίου αντί για kJ/kWh είναι σε MMBTU/kWh, μετατροπή που θα βοηθήσει στην οικονομική ανάλυση που θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Έτσι τα παραπάνω δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε ετήσια βάση το πλοίο θα έχει ανάγκες για 1.274.266,35 MMBTU/year φυσικό αέριο και 33.627,025 t/year MDO/LSHFO, όπου οι 248,68 t/year είναι για το Pilot Fuel και οι 33.378,345 t/year είναι για το Diesel Mode, με την παραδοχή ότι τις 250 από τις συνολικά 5000 ώρες της συνολικής λειτουργίας των μηχανών θα δουλεύουν σε Diesel Mode σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης του κυκλώματος του φυσικού αερίου.

Οι απαιτήσεις σε πετρέλαιο αυτή τη στιγμή του πλοίου είναι περίπου 36.500,00 t/year, ενώ αν υποθέσουμε ότι οι μηχανές του πλοίου μετά τη μετασκευή θα δουλεύουν και τις 5000 ώρες σε Diesel Mode οι απαιτήσεις σε πετρέλαιο θα είναι 35.135,1 t/year, ποσότητα που είναι μικρότερη από τη ποσότητα της συνολικής κατανάλωσης που έχουν οι μηχανές σήμερα σε πετρέλαιο.

2.5 Συνολικό κόστος της μετασκευής

Το συνολικό ποσό που απαιτείται για την πραγματοποίηση αυτής της μετασκευής στο “Olympic Champion”, έχει προκύψει μετά από την επαφή με τη πλοιοκτήτρια εταιρεία ANEK, την Wartsila αλλά και από την Onex Neorion Ship Yards και ανέρχεται στα 7.000.000,00€.

Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του κόστους αφορά τον κύριο μηχανολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, τα συστήματα ασφάλειας (βαλβίδες εκτονώσεις κλπ.) καθώς και τον εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για τη μετατροπή των μηχανών του πλοίου σε μηχανές διπλού καυσίμου (DF). Όλα τα παραπάνω παρέχονται από την Wartsila, ενώ μέσα στην τιμή περιλαμβάνονται οι επόπτες του έργου, οι μηχανικοί, τα εξειδικευμένα εργαλεία που θα χρειαστούν αλλά και ο έλεγχος που γίνεται κατά τη διαδικασία της μετασκευής και πριν τη παράδοση του πλοίου.

Παράλληλα, σύμφωνα με την αναλυτική λίστα των εργασιών που μας παρέιχε η Wartsila, ένα μεγάλο μέρος των εργασιών αλλά και κάποιων εξαρτημάτων, για παράδειγμα οι σωληνώσεις καθώς και η τοποθέτηση όλων των νέων εξαρτημάτων και συστημάτων προβλέπεται να πραγματοποιούνται σε ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη. Έτσι μετά από επαφή με την Onex Neorion Ship Yards, με μια σχετική περιγραφή των εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν στο ναυπηγείο, ένα κόστος που αντιπροσωπεύει τις εργασίες αυτές είναι 850.000,00€. Μέσα στο ποσό αυτό έχει προστεθεί και το ποσό του δεξαμενισμού για την ετήσια συντήρηση των υφάλων του πλοίου, διαδικασία που είναι ανεξάρτητη της μετασκευής των μηχανών του πλοίου, αλλά μπορεί να απαιτηθεί από τον εκάστοτε νηογνώμονα για λόγους πιστοποίησης.

Τέλος μέσα στο συνολικό κόστος της μετασκευής, έχουν προστεθεί και κάποια επιπλέον λοιπά έξοδα που ίσως απαιτηθούν από την εταιρεία αλλά και έξοδα για την πιστοποίηση της νέας κλάσης του πλοίου από τον νηογνώμονα.

Στον πίνακα 8, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα κόστη που αναφέρονται παραπάνω ενώ στο τέλος το γενικό σύνολο υπολογίζεται σε ευρώ και σε αμερικανικό δολάριο μετατροπή που θα βοηθήσει, στο επόμενο κεφάλαιο, στην οικονομική ανάλυση. Στην αρχή του πίνακα αναφέρεται το ποσό που αφορά την αγορά του LNGPAC™ από την Wartsila, στο επόμενο τμήμα του πίνακα παρουσιάζονται τμηματικά η τιμολόγηση του ναυπηγείου ανά εργασία και τέλος τα έξοδα προς το νηογνώμονα και τα λοιπά έξοδα της εταιρείας.

Πίνακας 8, πίνακας που παρουσιάζει το συνολικό κόστος της επένδυσης για τη μετασκευή του “Olympic Champion”

<u>Πίνακας Ανάλυσης Συνολικού Κόστους</u>		
<u>Wartsila</u>		
Προϊόν		Τιμολόγηση (€)
01	Kit μετασκευής (LNGPAC™)	6.000.000,00
<u>Έξοδα Ναυπηγείου</u>		
Εργασία		Τιμολόγηση εργασίας (€)
02	Μεταλλουργικές εργασίες τοποθετήσεως των δεξαμενών του LNG	40.000,00 (γερανός 140 t)
		60.000,00 (steelwork)
03	Τοποθέτηση σωληνώσεων LNG ανεφοδιασμού	180.000,00
04	Τοποθέτηση σωληνώσεων LNG από τις δεξαμενές στο μηχανοστάσιο	
05	Τοποθέτηση σωληνώσεων pilot fuel	80.000,00
06	Εργασίες στις μηχανές του πλοίου	60.000,00
07	Εργασίες στο χώρο του μηχανοστασίου	35.000,00
08	Δεξαμενισμός και ετήσια συντήρηση	280.000,00
09	Επέκταση του συστήματος πυρόσβεσης στο χώρο των δεξαμενών	80.000,00
10	Υπεύθυνος ασφαλείας για 30 μέρες	22.000,00
11	Έλεγχος κυκλώματος LNG	5.000,00
12	Λοιπά έξοδα ναυπηγείου	8.000,00
<u>Λοιπά Έξοδα Εταιρείας</u>		
Περιγραφή		Τιμολόγηση (€)
13	Έξοδα για νηογνώμονα και πιστοποιήσεις νέας κλάσης	100.000,00
14	Λοιπά έξοδα εταιρείας	50.000,00
Γενικό σύνολο σε €		7.000.000,00
Γενικό σύνολο σε \$ (USD)		8.419.390,00

Κεφάλαιο 3^ο: Οικονομική Ανάλυση

Όπως παρουσιάζεται στα προηγούμενα κεφάλαια, η ανάγκη για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των πλοίων, που θεσμοθετείται με τους νέους κανονισμούς του IMO, οδήγησε τις ναυτιλιακές εταιρείες στην εύρεση εναλλακτικών καυσίμων και διάφορων άλλων μεθόδων ώστε να υπακούν στους νέους αυτούς κανονισμούς. Σε αυτή την εργασία αναλύθηκε μία από τις λύσεις που μπορεί να προβεί η εταιρεία, που είναι η μετασκευή των μηχανών του πλοίου από πετρέλαιο να έχουν σαν καύσιμο το φυσικό αέριο. Η μετατροπή αυτή καλύπτει πλήρως τους νέους κανονισμούς, αφού το φυσικό αέριο και τα παράγωγα του μετά την καύση είναι πάρα πολύ χαμηλά έως μηδενικά και με πολύ χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Όμως μια τέτοια μετασκευή όπως αυτή στο Olympic Champion, που απαιτεί ένα μεγάλο κεφάλαιο για να πραγματοποιηθεί, θα πρέπει να εξετασθεί για να υπολογιστεί αν θα είναι συμφέρουσα προς την εταιρεία, καθώς και αν θα υπάρξει η αποπληρωμή της μετασκευής λόγω της μεγάλης διαφοράς της τιμής μεταξύ του φυσικού αερίου και του πετρελαίου.

Στις πρώτες ενότητες αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την οικονομική ανάλυση αυτής της επένδυσης, όπως η Μέθοδος της Παρούσας Αξίας (ΠΑ), ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης και ο Λόγος Οφέλους Κόστους.

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου γίνεται η οικονομική ανάλυση για την περίπτωση του Olympic Champion. Οι τιμές με τις οποίες γίνεται η ανάλυση αυτή, μας δόθηκαν από την Wartsila, εταιρεία που έχει κατασκευάσει τις μηχανές του πλοίου καθώς και αυτή που θα αναλάβει τη μετασκευή τους σε μηχανές DF. Οι τιμές των καυσίμων που υπολογίζονται οι καταναλώσεις σε ετήσια βάση είναι αυτές που αναφέρονται στο κεφάλαιο 1.9.

Τέλος στην αρχική επένδυση θα προστεθούν τα έξοδα του ναυπηγείου που θα αναλάβει τη μετασκευή, η τιμολόγηση μας δόθηκε από την Onex Neorion Ship Yards.

3.1 Μέθοδος της Παρούσας Αξίας (ΠΑ-PW)

Η μέθοδος της Παρούσας Αξίας (ΠΑ), είναι η πλέον αυτονόητη και προφανής μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα και όχι μόνο για τη λήψη οικονομοτεχνικών αποφάσεων.

Με τη μέθοδο αυτή μεταφέρουμε στο παρόν όλα τα οφέλη και τις δαπάνες, δηλαδή υπολογίζουμε την παρούσα αξία των καθαρών ταμειακών ροών που θα έχει στο μέλλον και το μεταφέρουμε στο σήμερα.

Η αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών γίνεται όλο και μικρότερη όσο απομακρυνόμαστε από το έτος της αρχικής επένδυσης. Με τον τρόπο αυτό εξηγείται γιατί οι επενδυτές που λειτουργούν με κριτήρια μεγιστοποίησης κέρδους προτιμούν την όσο το δυνατόν πιο γρήγορη απόσβεση του κεφαλαίου τους, δηλαδή όσο πιο νωρίς τους επιστραφεί το κεφάλαιο μαζί με την απόδοση του τόσο μεγαλύτερη αξία θα έχει.

Ο τύπος υπολογισμού της παρούσας αξίας είναι ο παρακάτω:

$$ΠΑ = \sum_{n=1}^N \frac{(B - C)}{(1 + i)^n} - C_0$$

Όπου:

- C_0 : Το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης
- $(B-C)$: Τα ετήσια καθαρά οφέλη, δηλαδή τα ετήσια έσοδα μείον τα έξοδα
- N : Χρονική διάρκεια της επένδυσης
- n : Χρονική περίοδος/έτος
- i : Κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου ή ο ελάχιστος επιθυμητός βαθμός απόδοσης

Αν η ΠΑ είναι θετική σημαίνει ότι οι μελλοντικές ταμειακές ροές είναι μεγαλύτερες από την αρχική δαπάνη επένδυσης, άρα η επένδυση είναι συμφέρουσα, αν είναι ίση με το μηδέν τότε οι μελλοντικές ταμειακές ροές είναι ίσες με την αρχική δαπάνη επένδυσης, άρα η επένδυση χαρακτηρίζεται ως αδιάφορη, ενώ στην περίπτωση που η ΠΑ βγει αρνητική τότε η επένδυση είναι μη συμφέρουσα, αφού η αρχική δαπάνη επένδυσης είναι μεγαλύτερη από τις ταμειακές εισροές στο μέλλον.

Η μεθοδολογία αυτή παρά την ευρεία χρήση που έχει, τόσο σε εταιρικό όσο και σε επενδυτικό επίπεδο, έχει και κάποια βασικά μειονεκτήματα, όπως:

1. Οι εκτιμώμενες ταμειακές ροές σπανίως συμπίπτουν με τα πραγματικά αποτελέσματα, αφού το οικονομικό περιβάλλον είναι αβέβαιο και μπορεί να έχει μεταβολές που να μη μπορούμε να τις προβλέψουμε.
2. Το κόστος ευκαιρίας (i), που χρησιμοποιείται, δίνεται από τον επενδυτή και δεν είναι πάντα σαφές, ενώ κατά τον υπολογισμό της ΠΑ παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια του οικονομικού ορίζοντα που έχουμε θέσει, γεγονός μη ρεαλιστικό για μακροχρόνιες επενδύσεις με υψηλό ρίσκο.

3.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA-IROR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης αποτελεί μια ακόμα μέθοδο αξιολόγησης μιας επένδυσης, καθώς με αυτή υπολογίζουμε το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου (i^*) που μηδενίζει την εξίσωση της παρούσας αξίας (ΠΑ) και στη συνέχεια το συγκρίνουμε με το επιθυμητό κόστος ευκαιρίας (i) που θέλει ο επενδυτής.

Έτσι σχεδιάζοντας τη συνάρτηση της ΠΑ και i συμπεραίνεται ότι είναι το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την ΠΑ, τότε το i αυτό είναι ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης, δηλαδή το κόστος κεφαλαίου που μέσα στον οικονομικό ορίζοντα που έχουμε θέσει θα επιστραφεί το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης χωρίς κανένα κέρδος ή ζημία.

Ο τύπος υπολογισμού του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης είναι ο παρακάτω:

$$\begin{aligned} \text{ΠΑ} &= 0 \\ &\Leftrightarrow \\ \sum_{n=1}^N \frac{(B - C)}{(1 + i^*)^n} - C_0 &= 0 \\ &\Leftrightarrow \\ \frac{(B - C)}{1} + \frac{(B - C)}{(1 + i)^1} + \dots + \frac{(B - C)}{(1 + i)^n} &= 0 \end{aligned}$$

Αν το i^* που υπολογίζουμε είναι μεγαλύτερο του i που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή $i^* > i$, τότε η επένδυση αξίζει και θα είναι επικερδής.

Παράλληλα βλέπουμε ότι είναι μια μεθοδολογία που μας βοηθάει στη λήψη μιας τεχνοοικονομικής/επενδυτικής απόφασης, αλλά ο υπολογισμός του EBA είναι άμεσα συνδεδεμένος με την ΠΑ, άρα είναι ένας δείκτης που έρχεται να επιβεβαιώσει το αποτέλεσμα που έχει προκύψει από την προηγούμενη μεθοδολογία.

3.3 Λόγος Οφέλους Κόστους (B/C ratio)

Η συγκεκριμένη μέθοδος μοιάζει με τη μεθοδολογία της Παρούσας Αξίας (ΠΑ). Υπολογιστικά αν πάρουμε την εξίσωση της ΠΑ, τότε μπορούμε να καταλήξουμε στο ζητούμενο λόγο. Μετατρέπουμε την εξίσωση της ΠΑ σε ένα κλάσμα με παρονομαστή το αρχικό κόστος της επένδυσης και στη συνέχεια εκφράζουμε τη συνθήκη αποδοχής μιας λύσης σύμφωνα με την οποία ο οριακός λόγος οφέλους/κόστους πρέπει να είναι μεγαλύτερος του ένα για να είναι μια επένδυση επικερδής ή ίσος με το ένα για να είναι μια επένδυση «αδιάφορη».

Η μαθηματική σχέση είναι:

$$ΠΑ = \sum_{n=1}^N \frac{(B - C)}{(1 + i)^n} - C_0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$ΠΑ = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{(B - C)}{(1 + i)^n}}{C_0} - 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{(B - C)}{(1 + i)^n}}{C_0} \geq 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\frac{B}{C} \geq 1$$

Η εφαρμογή του δεν πρόκειται να αλλάξει το αποτέλεσμα, αφού είναι μια διαφορετική διατύπωση της ΠΑ, όμως μπορεί να συμβάλει στη διαφοροποίηση εσφαλμένων εντυπώσεων για την επένδυση. Το πόσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος από το ένα δεν έχει σημασία, αρκεί να είναι μεγαλύτερος του ένα για να είναι μια επένδυση επικερδής.

3.4 Εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών στη περίπτωση του Olympic Champion

Ο υπολογισμός της αποπληρωμής της μετασκευής στο πλοίο Olympic Champion γίνεται με τις τρεις μεθόδους που αναλύονται στις προηγούμενες ενότητες, ενώ τα χρηματοοικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι αυτά που παρουσιάζονται στις ενότητες 1.9 (σενάριο τιμών), 2.4 (Σύγκριση καταναλώσεων πριν και μετά τη μετασκευή) καθώς και την ενότητα 2.5 (Συνολικό κόστος της μετασκευής).

Όπως αναφέρθηκε και στις αντίστοιχες ενότητες τα κόστη και τα δεδομένα διατέθηκαν από τις τρεις εταιρείες, την ANEK, την Wartsila και την Onex Neorion Ship Yards, ενώ το σενάριο των τιμών υπολογίστηκε με βάση τη μέση τιμή που είχε το κάθε ναυτιλιακό καύσιμο ξεχωριστά την τελευταία δεκαετία.

Παράλληλα οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τις εξής παραδοχές:

- Το 5% της ετήσιας συνολικής εργασίας των μηχανών του πλοίου μετά τη μετασκευή θα γίνεται σε Diesel mode.
- Το πλοίο πριν και μετά τη μετασκευή θα κάνει χρήση ναυτιλιακού πετρελαίου χαμηλό σε περιεκτικότητα σε Θείο (S) MDO/LSHFO.
- Ο οικονομικός ορίζοντας της επένδυσης ορίζεται στα 5 έτη.

Στο πίνακα 9 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνολικές χρηματικές απαιτήσεις σε καύσιμα ανά χρόνο πριν και μετά τη μετασκευή, ενώ στο τέλος του πίνακα αναφέρεται το συνολικό ετήσιο χρηματικό όφελος που θα έχει η εταιρεία μετά τη μετασκευή λόγω της διαφοράς τιμής των δυο ναυτιλιακών καυσίμων.

Πίνακας 9, πίνακας συνολικών χρηματικών απαιτήσεων ετήσιας βάσης σε καύσιμα πριν και μετά τη μετασκευή του “Olympic Champion”)

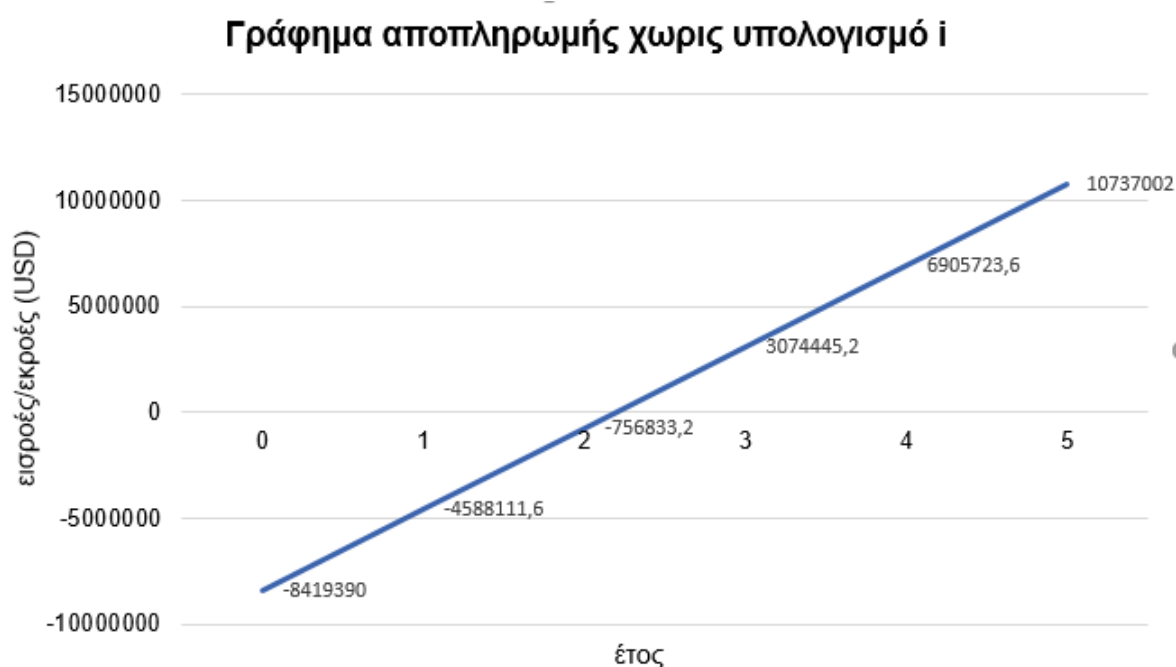
<u>Πίνακας συνολικών χρηματικών απαιτήσεων σε καύσιμα πριν και μετά τη μετασκευή σε ετήσια βάση</u>		
<u>Τιμές καυσίμων</u>		
HFO	\$/t	500
MDO/LSHFO	\$/t	600
LNG	\$/MMBTU	13
<u>Ώρες Εργασίας των μηχανών</u>		
Gas mode	h/year	4750
Diesel mode	h/year	250
<u>Συνολικές χρηματικές ετήσιες απαιτήσεις σε καύσιμα μετά τη μετασκευή</u>		
Gas mode	\$/year	16.714.668,60
Diesel mode	\$/year	1.054.053,00
Total (gas + diesel)	\$/year	17.768.721,60
<u>Συνολικές χρηματικές ετήσιες απαιτήσεις σε καύσιμα πριν τη μετασκευή</u>		
Diesel	\$/year	21.600.000,00
<u>Ετήσιο όφελος μετά τη μετασκευή</u>		
\$/year	3.831.278,40	

Οι μετατροπές των μονάδων καθώς και η ισοτιμία ευρώ δολαρίου, που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των χρηματικών απαιτήσεων σε καύσιμα ανά έτος έγιναν με βάση τον πίνακα (πίνακας 11) που βρίσκεται στο Παράρτημα μονάδων.

3.4.1 Εφαρμογή απλής μεθόδου αποπληρωμής χωρίς υπολογισμό του κόστους ευκαιρίας του κεφαλαίου (payback)

Σύμφωνα με την απλή μεθοδολογία αποπληρωμής της μετασκευής όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (εικόνα 35), η επένδυση είναι συμφέρουσα αφού με τον οικονομικό ορίζοντα στα πέντε έτη παρατηρείται ότι η αποπληρωμή θα γίνει σχεδόν στα δύο χρόνια μετά την επανέναρξη λειτουργίας του πλοίου με καύσιμο πλέον το φυσικό αέριο.

Οι υπολογισμοί και το γράφημα έγιναν με τη βοήθεια του Excel.



Εικόνα 35, γράφημα αποπληρωμής χωρίς τον υπολογισμό του i

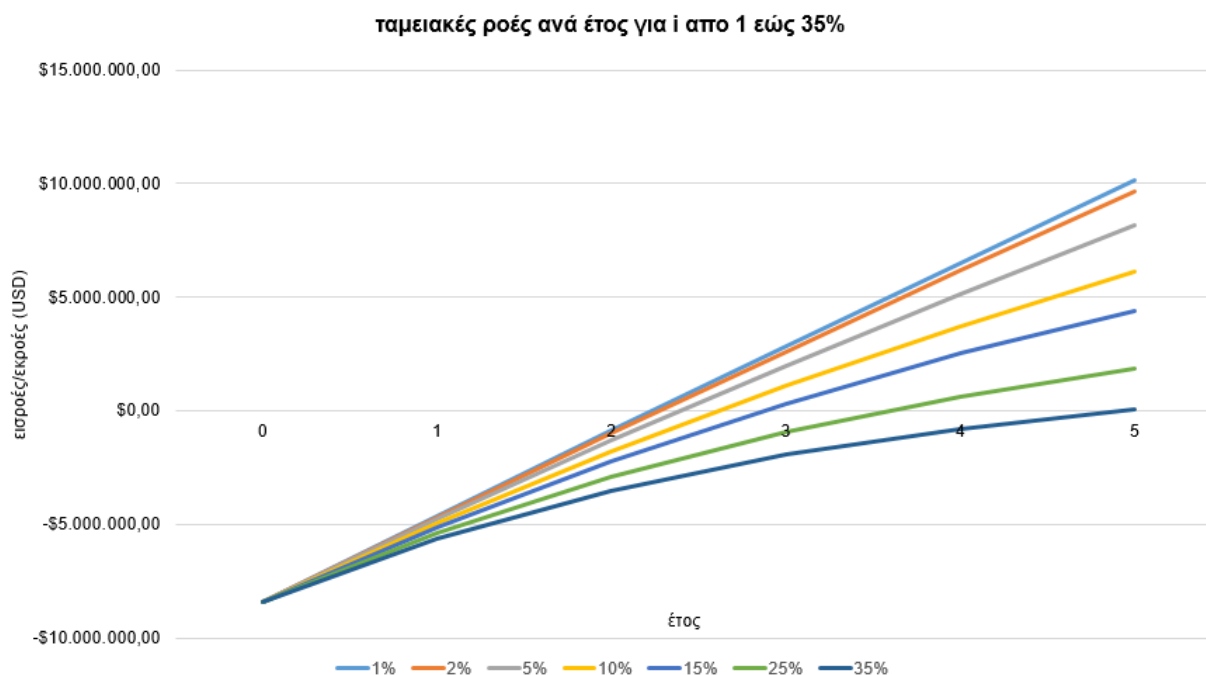
Η παραπάνω μεθοδολογία όμως δεν έχει μεγάλη έως καμία βαρύτητα στην τελική απόφαση της εταιρείας, αφού δεν λαμβάνει υπόψη καμία μεταβλητή στην αξία του χρήματος στο μέλλον, όπως είναι το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου που επιθυμεί η εταιρεία.

3.4.2 Εφαρμογή μεθοδολογίας Παρούσας Αξίας (ΠΑ)

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας της Παρούσας Αξίας έγινε με βάση τον οικονομικό ορίζοντα καθώς και με το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου το οποίο έχει τιμές 1%, 2%, 5%, 10%, 15%, 25% και 35% .

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 36), η επένδυση για τη μετασκευή του “Olympic Champion”, είναι συμφέρουσα για όλο το φάσμα των τιμών του κόστους ευκαιρίας του κεφαλαίου (i), μέσα στον οικονομικό ορίζοντα της πενταετίας.

Ποιο συγκεκριμένα οι τιμές του κόστους ευκαιρίας του κεφαλαίου (i), ξεκινούν από 1% έως 35%, γεγονός που βοηθάει την εταιρεία να μπορεί να έχει μια συνολική εικόνα της επένδυσης και σε ακραίες περιπτώσεις. Επίσης όπως είδαμε και στο 3.1, η ΠΑ αξία υπολογίζεται με δεδομένο ότι το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου παραμένει σταθερό ανά τα έτη έτσι με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές τιμές του i βοηθάει την εταιρεία στη λήψη της τελικής απόφασης.



Εικόνα 36, οικονομικά αποτελέσματα για διάφορες τιμές του i

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προέκυψαν με τη βοήθεια του Excel, βλέπουμε ότι η αποπληρωμή της επένδυσης λόγω της διαφοράς στην τιμή που έχουν τα δύο ναυτιλιακά καύσιμα, είναι από δυόμιση έτη για $i=1\%$ έως και τα πέντε έτη για $i=35\%$, όπου το 35% είναι και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της επένδυσης όπως φαίνεται και παρακάτω.

3.4.3 Εφαρμογή μεθοδολογίας Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA)

Μετά τον υπολογισμό του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA) της επένδυσης για τη μετασκευή του “Olympic Champion”, παρατηρείται ότι για την αρχική επένδυση των 8.419.390,00 \$ και ετήσιου οφέλους 3.831.278,40 \$, στον οικονομικό ορίζοντα των πέντε ετών, ο EBA είναι ίσος με 35,57%.

Ο υπολογισμός του EBA έγινε με τη χρήση του Excel, ενώ το αποτέλεσμα που προκύπτει, αποτελεί την τιμή της ευκαιρίας κόστους του κεφαλαίου (i^*), όταν η επένδυση αποπληρώνεται ακριβώς με το πέρας του οικονομικού ορίζοντα, χωρίς όμως να υπάρξει κανένα οικονομικό όφελος προς την πλευρά της εταιρείας.

Έτσι η εταιρεία πρέπει να συγκρίνει το επιθυμητό κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου που περιμένει να έχει αυτή η επένδυση και να είναι μικρότερος ή ίσος του 35,75%, σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν το $i > i^*$, η εταιρεία μετά το πέρας του οικονομικού ορίζοντα θα έχει σημειώσει ζημιές.

3.4.4 Εφαρμογή μεθοδολογίας Οφέλους Κόστους (B/C ratio)

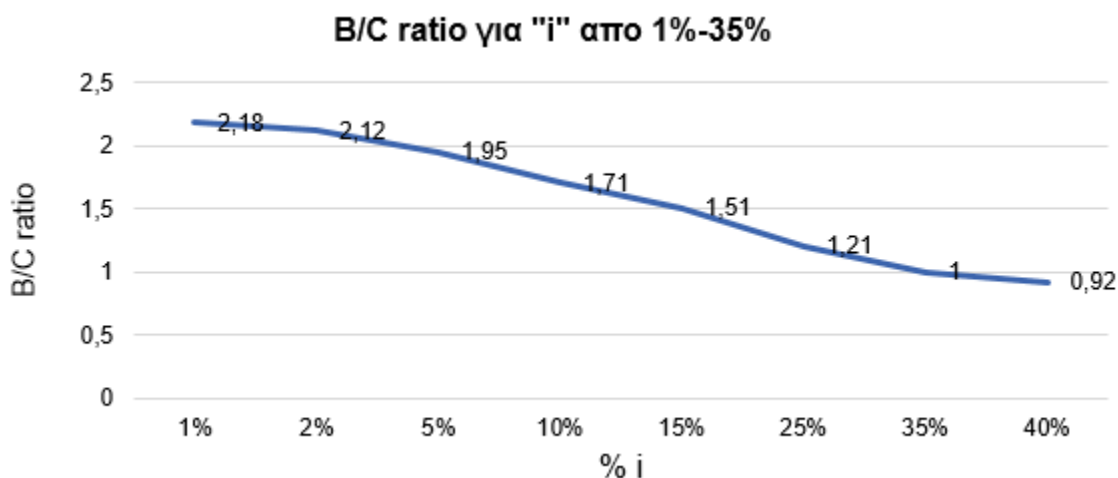
Όπως είδαμε και παραπάνω στην ενότητα 3.3, μια ακόμα τιμή που συμβάλει στην τελική λήψη της απόφασης για την επένδυση της μετασκευής του πλοίου “Olympic Champion”, είναι και ο Λόγος Οφέλους Κόστους, τιμή που πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του ένα ώστε η επένδυση να είναι ωφέλιμη για την επιχείρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει σημασία το πόσο παραπάνω του ένα είναι η τιμή που θα έχει ο Λόγος Οφέλους Κόστους.

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 10) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν από το Excel κατά τον υπολογισμό του Οφέλους Κόστους της επένδυσης για κόστη ευκαιρίας κεφαλαίου από 1% έως 40%. Η τιμή του κόστους ευκαιρίας κεφαλαίου 40% δίνεται για να γίνει γνωστό πως συνδέεται ο EBA με το Λόγο Οφέλους Κόστους.

Πίνακας 10, αποτελέσματα μεθοδολογίας Οφέλους Κόστους

<u>Λόφος οφέλους/κόστους</u>		
<u>Κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου (i)</u>		<u>B/C ratio</u>
1%	=	2,18
2%	=	2,12
5%	=	1,95
10%	=	1,71
15%	=	1,51
25%	=	1,21
35%	=	1,00
40%	=	0.92

Ενώ στο παρακάτω γράφημα (εικόνα 37) παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του Λόγου Οφέλους Κόστους με την αύξηση του κόστους ευκαιρίας του κεφαλαίου.



Εικόνα 37, γράφημα B/C ratio για διάφορες τιμές του "i"

Σε αυτό το γράφημα (εικόνα 37), φαίνεται πως μεταβάλλεται ο Λόγος Οφέλους Κόστους για i από 1% έως 40%, ενώ παρατηρείται εμφανώς ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα για i από 1% έως 35,57%, αφού ο Λόγος Οφέλους Κόστους είναι μεγαλύτερος ή ίσος του ένα, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές του i λαμβάνει μικρότερες τιμές από το ένα.

3.5 Συμπεράσματα οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης για τη μετασκευή του “Olympic Champion”

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης που αφορά τη μετασκευή των μηχανών “Olympic Champion” σε μηχανές DF, παρατηρούμε ότι πρόκειται για μια συμφέρουσα επιλογή της εταιρείας ώστε να μπορέσει να συμμορφωθεί με τους νέους κανονισμούς του IMO.

Αναλυτικότερα, μετά την εφαρμογή των μεθόδων αξιολόγησης μιας επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη και τις ακραίες περιπτώσεις, καταλήγουμε ότι για τιμές ευκαιρίας κεφαλαίου από 1% έως και 35,57% η επένδυση είναι συμφέρουσα και η αποπληρωμή της μετασκευής θα πραγματοποιηθεί μέσα στον οικονομικό ορίζοντα των πέντε ετών που ορίστηκε.

Παράλληλα, ένα ακόμα κριτήριο αποτελεί ότι και οι τρεις μεθοδολογίες συμφωνούν στο αποτέλεσμα αυτό.

Άρα η μετασκευή των μηχανών του πλοίου και η χρήση ως νέο ναυτιλιακό καύσιμο το LNG, εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη και τη συμμόρφωση της εταιρείας με τους νέους κανονισμούς, αποτελεί μια συμφέρουσα επένδυση, αφού η εταιρεία έχει μια ετήσια μείωση στα έξοδα για καύσιμα περίπου 18% .

Η παραπάνω οικονομική μελέτη αφορά στα οφέλη που θα έχει η εταιρεία από τη διαφορά κόστους που προκύπτει από τις νέες καταναλώσεις σε συνάρτηση με τη διαφορά της τιμής των δύο ναυτιλιακών καυσίμων. Στη συνέχεια η εταιρεία θα πρέπει να εξετάσει τυχόν άλλες ταμειακές ροές που μπορεί να προκύψουν από αυτή τη μετασκευή. Σημαντικό ρόλο στις ταμειακές ροές θα είναι η διαφήμιση για τη προτίμηση του πλοίου από το επιβατηγό κοινό λόγω του οικολογικού του χαρακτήρα καθώς και οι υψηλότερες ταχύτητες που θα μπορεί πλέον να αναπτύσσει δεδομένης της χαμηλότερης τιμής που έχει το φυσικό αέριο έναντι του πετρελαίου. Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η μεγάλη αύξηση της τιμής του πετρελαίου έχει ως αποτέλεσμα οι εταιρείες να έχουν μειώσει τις ταχύτητες των πλοίων για οικονομία καυσίμων.

Τέλος σημαντικός παράγοντας στο κόστος της επένδυσης αποτελεί και ο τρόπος που θα επιλέξει η εταιρεία να κάνει τη χρηματοδότηση της μετασκευής, δηλαδή από ίδια κεφάλαια, εσωτερικό δανεισμό ή εξωτερικό δανεισμό από κάποιο τραπεζικό όμιλο.

Συμπεράσματα

Η ανάλυση και η επεξεργασία όλων των δεδομένων που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι η μετασκευή του πλοίου “Olympic Champion” σε πλοίο που θα έχει ως καύσιμο το φυσικό αέριο, αποτελεί μια συμφέρουσα επένδυση για την εταιρεία καθώς, εκτός από τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη χαμηλή τιμή που έχει το φυσικό αέριο έναντι του ναυτιλιακού πετρελαίου, συμμορφώνεται και με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς του IMO με αποτέλεσμα να μειώνονται έως να μηδενίζονται οι δασμοί που θα επιβάλλονται στις εταιρείες ανάλογα με τα επιβλαβή καυσαέρια που θα εκπέμπουν τα πλοία τους.

Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά και ο απαραίτητος εξοπλισμός που χρειάζεται ένα πλοίο για να έχει ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Μια τεχνολογία που από τα τέλη του 1980 μέχρι σήμερα έχει εξελιχθεί και απλοποιηθεί, προσφέροντας αξιοπιστία και ασφάλεια στα πλοία. Παράλληλα μελετήθηκαν τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση του φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο, σε σχέση με το ναυτιλιακό πετρέλαιο, αφού το φυσικό αέριο αποτελεί ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο.

Επίσης έγινε η εφαρμογή των παραπάνω στο πλοίο “Olympic Champion”, όπου σε συνεργασία με την Wartsila, μελετήθηκε πως οι τέσσερις κύριες μηχανές πρόωσης του πλοίου θα μετασκευαστούν σε μηχανές διπλού καυσίμου (DF). Η μετασκευή αυτή αποτελεί μια “εύκολη” διαδικασία, αφού με την εφαρμογή ενός έτοιμου kit που προσφέρει η Wartsila, η μετασκευή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, και με την αξιοπιστία που προσφέρει η κατασκευάστρια εταιρεία. Παράλληλα έγινε ο υπολογισμός των νέων καταναλώσεων που θα έχει το πλοίο μετά τη μετασκευή, καθώς και τα νέα δεδομένα ασφάλειας που θα πρέπει να υιοθετήσει η εταιρεία. Τέλος υπολογίζεται προσεγγιστικά το συνολικό κόστος αυτής της μετατροπής, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κόστη που θα προκύψουν κατά τη μετασκευή.

Στο τελευταίο κεφάλαιο έγινε η οικονομική ανάλυση της επένδυσης με βάση τέσσερις μεθοδολογίες, που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η επένδυση αυτή θα έχει θετικό αποτέλεσμα σε βάθος μιας πενταετίας, αφού η αποπληρωμή της μετασκευής υπολογίστηκε να γίνει μεταξύ του δεύτερου έως του πέμπτου έτους μετά τη μετασκευή, ανάλογα με το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου που θα ζητηθεί από την εταιρεία.

Συμπερασματικά αποτελεί μια ιδανική περίπτωση που έχει διπλό χαρακτήρα, πρώτον το περιβαλλοντικό όφελος και τη συμβολή στην παγκόσμια στροφή για τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και δεύτερον τα οικονομικά οφέλη που θα έχει η εταιρεία με τη χρήση ενός οικονομικότερου ναυτιλιακού καυσίμου.

Παράρτημα μονάδων

Πίνακας 11, παράρτημα μετατροπής μονάδων

<u>Πίνακας μετατροπής μονάδων</u>		
1,00 kJ	=	9,4782*10 ⁻⁷ MMBTU
1,00 m ³ (Natural Gas)	=	0,035311 MMBTU (Natural Gas)
1,00 m ³ (Liquefied Natural Gas)	=	21,1866441 MMBTU (Liquefied Natural Gas)
1,00 grams	=	1*10 ⁻⁶ tones
1,00 €	=	1,20 \$ (USD)
1,00 knots	=	1,852 km/h
1,00 nautical miles	=	1852,00 meters

Βιβλιογραφία - Πηγές

- Βασίλης Σ. Μουστάκης, **“Πρακτικός Οδηγός Οικονομικής Ανάλυσης”**, εκδόσεις Τζίολα, 2018
- Ιωάννης Κ. Νικολός, Ιωάννης Α. Σιδέρης, Λαζάρου Χ. Κλιάνη, **“ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΣ”**, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2017, 2018
- Κωνσταντίνος Ζαπουνίδης, **“Βασικές Αρχές Χρηματοοικονομικού Μάνατζμεντ”**, εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2013
- Τ. Ζαραφωνίτης, **“Εισαγωγή στην Ναυπηγική και τη Θαλάσσια Τεχνολογία”**, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2005
- Jan Babiczm, **“WARTSILA ENCYCLOPEDIA OF SHIP TECHNOLOGY FROM A TO Z”**, Wartsila, 2015
- Ανδρονίκη Μπέκα, **“Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ LNG ΣΕ ΠΛΟΙΑ ΤΥΠΟΥ RO-PAX”**, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, 2014
- Χριστόφορος Μαρίνος, **“ΤΟ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ”**, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, 2019
- S CH Dimitrellou, E Strantzali, D N Pagonis, G A Livanos, **“RETROFIT OF A RO-RO PASSENGER FERRY TO OPERATE ON LMG FUEL: A GREENER AND SAFE SOLUTION FOR SHORT-SEA TRANSPORTATION”**, Department of Naval Architecture, University of West Attica, Greece 2020
- Ivan CK Tam, Arun Kr Dev, Chun Wee Ng, **“Engineering Design in Retrofitting LNG Fuel Tanks for Shipping in Combating Exhaust Emissions”**, Proceedings of the 4th World Engineers Summit 2019, Singapore, 28-29 Aug 2019
- Dr Evangelos Boulougouris, **“Case Studies about New-building and Retrofitting LNG Fueled Vessels”**, University of Strathclyde, Glasgow, 2020
- P. Bodman, **“THE DUAL FUEL TECHNOLOGY”**, Wartsila 2020
- Wartsila, **“LNG Shipping Solutions”**, Finland 2017
- wartsila.com, Ιστοσελίδα κατασκευαστή ναυτιλιακών κινητήρων
- Wartsila, **“Gas Systems, LNGPAC™ PRODUCT GUIDE”**, Finland 2013

- Dr Gerd-Michael Wuersig, **“IN FOCUS-LNG AS SHIP FUEL”**, DNV-GL, Germany 2015
- IMO, **“STUDIES ON THE FEASIBILITY AND USE OF LNG AS A FUEL FOR SHIPPING”**, London, 2016
- Frank Stuer-Lauridsen, Jesper B. Nielsen, Thomas Odgaard, Mikkel Birkeland, Claus Winter Graugaard, Lars Petter Blikom, Nuria Muro-Sune, Morten Andersen, Frederik Ovlisen, **“Natural gas for ship propulsion in Denmark – Possibilities for using LNG and CNG on ferry and cargo routes”**, Denmark 2010
- **DNV.com - DNV** , Ιστοσελίδα Νορβηγικού νηογνώμονά
- **www.anek.gr**, Ιστοσελίδα πλοιοκτήτριας εταιρείας του “Olympic Champion”
- **Βικιπαίδεια (wikipedia.org)**, Ιστοσελίδα ηλεκτρονικής εγκυκλοπαίδειας
- **www.naftikachronika.gr**, Ιστοσελίδα που ασχολείται με θέματα από τον χώρο της ναυτιλίας
- **www.arxipelagos.gr** , Ιστοσελίδα που ασχολείται με θέματα από τον χώρο της ναυτιλίας και της Ελληνικής Ακτοπλοΐας
- **MARINTEK REPORT/ FOSEN MEK. VERKSTEDER AS YARD: C/F “OLYMPIC SPIRIT” / “KRITI 3”**
- **www.safety4sea.com - SAFETY4SEA**, Ιστοσελίδα με θέματα ασφάλειας στα πλοία
- **www.shipandbunker.com**, Ιστοσελίδα με τιμές και στατιστικά για ναυτιλιακά καύσιμα

