

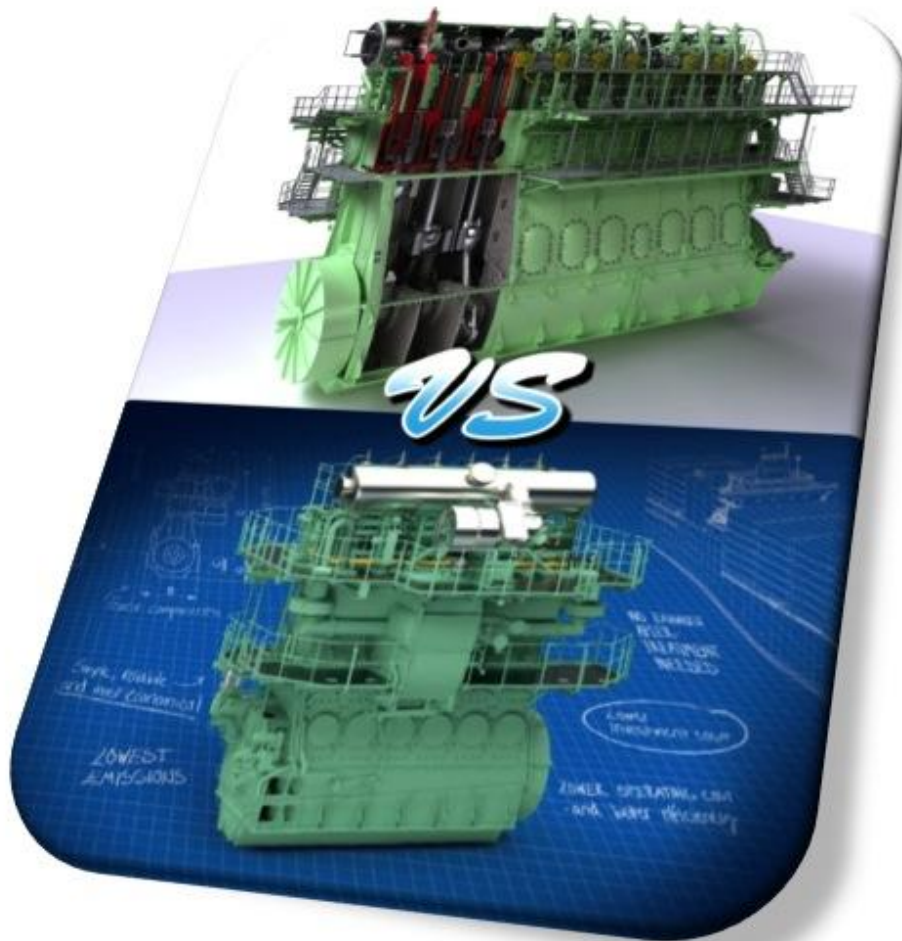
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΧΡΟΝΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ WARTSILA X-DF & MAN ME-GI



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ – 2016

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο πλαίσιο ολοκλήρωσης των σπουδών μου, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, πραγματοποιήθηκε η εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής μελέτης, με τίτλο “Συγκριτική αξιολόγηση δίχρονων μηχανών Wartsila X-DF και MAN ME-GI”.

Το θέμα που μου ανατέθηκε συνδέεται άμεσα με το αντικείμενο της πρακτικής μου άσκησης σε ναυτιλιακή εταιρεία που διαχειρίζεται πλοία LNG, από όπου προέρχεται ένας μεγάλος όγκος των πληροφοριών που χρησιμοποίησα για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με την εμπορική δυναμικών περιορισμών κ τις ανησυχίες της εθνικής νομοθεσίας TIER III, τη διαρροή άκαυστων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, την ατελή καύση και την αυθόρμητη καύση στον κύλινδρο λόγω λίπανσης. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τις διαθέσιμες επιλογές των κινητήρων που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην αγορά και θα αναφερθούμε στην αρχή λειτουργίας του κάθε τύπου κινητήρα (δίχρονος - τετράχρονος).

Θα ακολουθήσει ανάλυση των δύο εξεταζόμενων κινητήρων, η συγκριτική τους αξιολόγηση και τέλος τα συμπεράσματα.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

2. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Πρόλογος.....	3
2. Περιεχόμενα.....	4
3. Συμβολισμοί / Συντομογραφίες.....	5
4. Εισαγωγή	
4.1 Οι θαλάσσιες μεταφορές.....	7
4.2 Η αγορά των πλοίων τον 21ο αιώνα.....	7
4.3 Νέες τάσεις και εξελίξεις στο χώρο των μεταφορών.....	9
5. Εμπορική δυνητικών περιορισμών & ανησυχίες	
5.1 TIER III εθνικής νομοθεσίας.....	10
5.2 Διαρροή άκαυστων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα (Methane Slip).....	14
5.3 Αριθμός μεθανίου κ ατελής καύση (Methane number & "knocking" effect).....	16
5.4 Αυθόρμητη καύση στον κύλινδρο πετρελαίου λόγω λίπανσης.....	18
6. Συστήματα πρόωσης πλοίων	
6.1 Διαθέσιμοι κινητήρες.....	20
6.2 Αρχή λειτουργίας της τετράχρονης πετρελαιομηχανής.....	20
6.3 Αρχή λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής.....	20
6.4 Ευελιξία στην επιλογή καυσίμου.....	21
7. Wartsila X-DF	
7.1 Ανάλυση της μηχανής Wartsila X-DF.....	22
7.2 Κύκλος καύσης Otto.....	23
7.3 Pilot Fuel System για την X-DF.....	23
7.4 Παροχή αερίου και Συστήματα ελέγχου.....	24
7.5 Σύστημα σωληνώσεων αερίου.....	24
7.6 Σταθμός διαχείρισης αερίου (Gas Valve Unit).....	25
7.7 Βαλβίδες εισαγωγής αερίου (Gas Admission Valves).....	26
8. MAN ME-GI	
8.1 Ανάλυση της μηχανής MAN ME-GI.....	28
8.2 Κύκλος καύσης Diesel.....	28
8.3 Pilot Fuel System για την ME-GI.....	29
8.4 Παροχή αερίου και Συστήματα ελέγχου.....	30
8.5 Σύστημα σωληνώσεων αερίου.....	31
8.6 Σταθμός διαχείρισης αερίου (Gas Valve Train).....	32
8.7 Βαλβίδες έγχυσης αερίου (Gas Injection Valves).....	33
9. Συγκριτική αξιολόγηση	
9.1 Συμπίεστές αερίου.....	35
9.2 Πρωτόκολλα δοκιμών των κατασκευαστών.....	37
9.3 Χρονοδιάγραμμα κατασκευής από το ναυπηγείο.....	38
9.4 Απόδοση μηχανής και κριτήρια φορτίου / ταχύτητας.....	38
9.5 Κατανάλωση καυσίμου.....	41
9.6 Κόστος του λειτουργικού κύκλου ζωής.....	44
10. Συμπεράσματα.....	47
11. Βιβλιογραφία.....	51
12. Παραρτήματα.....	52

3. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ / ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

DFDE	Dual fuel diesel electric	Methane Slip	Name applied to hydrocarbons (methane) that may pass through a gas fuelled engine without being consumed during the combustion process
HHI	Hyundai heavy industries, Korea	Methane Number	Mathematically derived index applied to compositions of natural gas to indicate resistance to knocking
DSME	Daewoo shipbuilding and marine engineering, Korea	TFDE	Tri Fuel Diesel Electric
Wartsila	Wartsila, Switzerland	SHI	Samsung Heavy Industries, Korea
X-DF	X series Dual Fuel marine engine	RHBC	RHBC Global Technologies INC. Canada
DF	Dual Fuel	MAN	MAN Diesel&Turbo,Copenhagen
NBOG	Natural Boil Off Gas	ME-GI	M series Electronic control Gas Injection engine
BOR	Boil Off Rate	GAV	Gas Admission Valve (Wartsila)
Tier III	Third level of IMO emission standards and controls that apply to ships in Emission Control Areas	FBOG	Forced Boil Off Gas
ECA	Emission Control Areas	GCU	Gas Combustion Unit
PM	Particulate Matter	MEPC	IMO Marine Enviromental Protection Committee
NOx	Nitrogen Oxides	CH₄	Methane chemical symbol
LP2S	Low Pressure Two Stroke	CO	Carbon Monoxide
MDO	Marine Diesel Oil	SOx	Sulphur Oxides
FGHS	Fuel Gas Handling System	HP2S	High Pressure Two Stroke
GVU	Gas Valve Unit (Wartsila)	HFO	Heavy Fuel Oil
GI-ECS	Gas Injection Electronic Control System (MAN)	UNIC™	Wartsila proprietary Engine Control and Automation System
GVT	Gas Valve Train (MAN)	GVU-ED	Explosion Proof Gas Valve Unit (Wartsila)
FAT	Factory Acceptance Test - typically applies to specific critical equipment	ME-ECS	MAN proprietary Engine Control and Automation System
TAT	Type Approval Test - typically applies to software and control systems		
EGR	Exhaust Gas Recovery System		

GIV	Gas Injection Valve (MAN)	NMCR	Nominal Maximum Continuous Rating
OEM	Original Equipment Manufacturer	NCR	Normal Continuous Rating
TA-Luft	Broad ranging air pollution regulation established by the German Federal Government	CMCR	Contracted Maximum Continuous Rating (Wartsila)
SCR	Selective Catalytic Reduction System	FSRU	Floating Storage and Regasification Unit
Knocking	Name given to the occurrence of rapidrate pressure rise in a cylinder due to pre detonation of air-fuel mixture	LMMA	Lifecycle Maintenance Management Agreement
Lambda	Gas-to-air or air-to-fuel ratio	MCR	Maximum Continuous Rating
RCM	Reliability Centered Maintenance	SMCR	Specified Maximum Continuous Rating
ELA	Electrical Load Analysis	CSR	Continuous Service Rating (Wartsila)
		SFC	Specific Fuel Consumption

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.1 Οι θαλάσσιες μεταφορές

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν ένα ιδιαίτερα ευρύ πεδίο των γενικών μεταφορών ανθρώπων και φορτίων, που εκτελούνται με εμπορικά πλοία, η ιστορία των οποίων χάνεται στα βάθη των αιώνων. Ποσοστό 80-85% του παγκόσμιου εμπορίου διεξάγεται με πλοία. Η ναυπήγηση σκαφών από την εποχή του Ομήρου και η συνεχής εξέλιξη από το κουπί στο ιστίο, την εφεύρεση της πυξίδας, όπου επέτρεψε στους θαλασσοπόρους την ανακάλυψη νέων θαλάσσιων οδών και τόπων ανάπτυξης εμπορίου και στη συνέχεια η εφαρμογή του ατμού, της έλικας και της επιλογής του σιδήρου και του χάλυβα ως μέσον υλικού, έδωσαν μια εκπληκτική πρόοδο στις θαλάσσιες μεταφορές.

Η σύγχρονη ναυπηγική βιομηχανία, με την παράλληλη διάνοιξη διωρύγων, την βελτίωση των λιμενικών εγκαταστάσεων και την ίδρυση μεγάλων ναυτιλιακών εταιρειών, παρουσιάζει μια εκπληκτική άνοδο που όμοιά της δεν υφίσταται σε άλλους τομείς μεταφορών. Με τη σύγχρονη και ευρύτατη εξειδίκευση των τύπων των πλοίων το διεθνές εμπόριο πραγματοποιείται σε τεράστιες ποσότητες με το μικρότερο δυνατό κόστος. Για παράδειγμα η ανάγκη μεταφορών μεγάλων ποσοτήτων φορτίων ιδιαίτερα χύδην (χύμα) οδήγησε στη ναυπήγηση των φορτηγών μπαλκ καριερς, των φορτηγιδοφόρων, των εμπορευματοκιβωτιοφόρων (Κοντέινερς) αλλά και αυτών των δεξαμενοπλοίων, καθώς και άλλων πολλών, που συνεχίζουν με σταδιακή αύξηση μεγεθών. Οι άλλοτε, πριν μερικών δεκαετιών, υφιστάμενες διεθνείς γραμμές τακτικών (δρομολογίων) και ελεύθερων, στις μέρες μας φέρονται να έχουν υποστεί μεγάλο πλήγμα από τους παραπάνω εξειδικευμένους τύπους πλοίων. Σήμερα μόνο ιδιαίτερα ακριβά είδη μεταφέρονται με αεροπλάνα που όμως έχουν αυξήσει την μεταφορά προσώπων. Οι δε χερσαίες μεταφορές συνεχίζουν τη διακίνηση αγαθών σε επιμέρους μικρές ποσότητες αλλά και με αύξηση του επιβατηγού κοινού χωρίς όμως ιδιαίτερη ανάγκη εξειδικευμένων μέσων μεταφορών.

Θαλάσσιες μεταφορές που εκτελούνται με σταθερή περιοδικότητα μεταξύ λιμένων χαρακτηρίζονται γενικά θαλάσσιες συγκοινωνίες. Οι θαλάσσιες συγκοινωνίες διακρίνονται σε διεθνείς και εσωτερικές, (εντός της επικράτειας). Και οι μεν πρώτες αν επεκτείνονται σε ανοικτές θάλασσες, ωκεανούς χαρακτηρίζονται ποντοπόρες, οι δε δεύτερες εφαρμόζοντας ακτοπλοϊά κατά το μεγαλύτερο μέρος τους ονομάζονται ακτοπλοϊκές συγκοινωνίες.

4.2 Η αγορά των πλοίων τον 21ο αιώνα

Το παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο χωρίζεται σε δυο κύριες φάσεις-σχήματα. Αυτές είναι οι εξής:

- Το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί στην περίοδο που μπορεί να οριοθετηθεί από το τέλος του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου έως την εμφάνιση της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης που συνέβη το 1973.
- Το δεύτερο σχήμα αντιστοιχεί στην τριακονταετία ανάμεσα στην αρχή της κρίσης και στις αρχές, του τρέχοντος αιώνα. Σε όλη τη διάρκεια της μεταπολεμικής περιόδου και μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, οι κυρίαρχοι άξονες του σχήματος του θαλάσσιου εμπορίου σε γεωγραφικούς όρους ήταν αυτοί στην

κατεύθυνση Ανατολής – Δύσης και Δύσης – Ανατολής. Ήδη όμως διαμορφώνονταν ανισορροπίες στις ροές γενικών φορτίων. Η συνεχής αποβιομηχάνιση των ΗΠΑ και της Ευρώπης και η ανάπτυξη της μεταποιητικής δραστηριότητας των χωρών της Ασίας επέτεινε την ανισορροπία μεταξύ εξαγωγικών και εισαγωγικών ροών. Η ανάπτυξη των τεσσάρων ασιατικών βιομηχανικών περιοχών, (Κορέα, Ταϊβάν, Σιγκαπούρη, Χονγκ Κόνγκ) έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διαδικασία μετατόπισης του κέντρου βάρους τόσο της θαλάσσιας μεταφοράς ειδικά στα γενικά φορτία όσο και στη μετατόπιση της ναυτιλιακής και ναυπηγικής δραστηριότητας προς τις χώρες αυτές.

Η περίοδος που διανύουμε από τις αρχές του τρέχοντος αιώνα αποτελεί εξέλιξη του παραπάνω δεύτερου σχήματος που διαμορφώθηκε και κυριάρχησε ως τα τέλη του 20ου αιώνα. Αποτελεί όμως ταυτόχρονα και εποχή περαιτέρω αλλαγών στα ειδικά βάρη περιοχών που συμμετέχουν στο παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο. Είναι εμφανές ότι σχήματα θαλάσσιου εμπορίου αντιστοιχούν σε ποιοτικές αλλά και σε ποσοτικές διαφοροποιήσεις στη γεωγραφική διάρθρωση των θαλάσσιων μεταφορών. Σημαντικά χύδην φορτία, με μικρές μεταβολές των εξαγωγικών τους κέντρων, μετατοπίστηκαν από πλευράς κέντρου εισαγωγών προς την Ανατολή. Αυτό έγινε ιδιαίτερα εμφανές μέσα από την ανάδειξη της περιοχής της Κίνας σαν περιοχή ζήτησης ναυλώσεων στις αρχές του 21ου αιώνα. Ταυτόχρονα ο Ειρηνικός απέκτησε ακόμη μεγαλύτερη σημασία για τη θαλάσσια μεταφορά χάρη και στη γεωγραφική συνύπαρξη στα όρια του ενός μεγάλου εξαγωγικού πόλου χύδην ξηρών φορτίων όπως η Αυστραλία με νέους μεγάλους πόλους εισαγωγών παρόμοιων φορτίων. Οι τελευταίοι συμπλήρωσαν στην τρέχουσα περίοδο το ρόλο παραδοσιακότερων πόλων εισαγωγών χύδην φορτίων (υγρών και ξηρών) όπως η Ιαπωνία. Η μεγάλη αύξηση ροών όπως αυτές του σιδηρομεταλλεύματος μεταξύ Βραζιλίας και Κίνας δίνουν σήμερα τον τόνο σε κύριες ναυλαγορές.

Επιπλέον, σε κάθε περίπτωση στο σύγχρονο σχήμα των θαλάσσιων μεταφορών όπως αναδεικνύεται στην αρχή της δεύτερης δεκαετίας του 21ου αιώνα ο ρόλος της Κίνας και σε δεύτερο πλάνο ο ρόλος της Ινδίας, ως νέων πόλων του διεθνούς εμπορίου είναι καθοριστικά κυρίαρχος. Η γεωγραφική διάσταση του σχήματος διαφοροποιείται ανάμεσα στα γενικά και στα χύδην φορτία σε σχέση με την κατεύθυνση των ανισορροπιών εισαγωγών και εξαγωγών.

Θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει το σχήμα του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου σαν ένα συμμετρικά αντίστροφο σχήμα ροών όπου οι βιομηχανικές και ενεργειακές πρώτες ύλες συγκεντρώνονται προς τις χώρες της Ασίας όπου μετασχηματίζονται σε γενικά φορτία. Το σύστημα όμως αυτό δεν έχει γεωγραφική συμμετρία ως προς τις πηγές των χύδην πρώτων υλών και εκείνες της ζήτησης γενικών φορτίων.

Στα γενικά φορτία η εξαγωγική δραστηριότητα των τεσσάρων ασιατικών περιοχών της πρώτης φάσης του σχήματος, (Κορέα, Ταϊβάν, Σιγκαπούρη, Χονγκ Κόνγκ) συμπληρώνεται σήμερα από αυτήν των χωρών όπως η Ινδονησία, η Μαλαισία, οι Φιλιππίνες κ.α. αλλά κυρίως από την αλματώδη ανάπτυξη των εξαγωγικών δραστηριοτήτων της Κίνας. Πρόκειται ουσιαστικά για τη δημιουργία ενός σχήματος ακτινωτών ροών με κέντρο την Ασία προς τα διάφορα κέντρα εισαγωγών που περιλαμβάνουν τώρα και παλαιές εξαγωγικές περιοχές γενικών φορτίων.

Στα χύδην ξηρά φορτία οι τάσεις διαμορφώνονται και πάλι από τις ενεργειακές ανάγκες και τις κατευθύνσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης των περιοχών που αναδείχτηκαν στην παγκόσμια οικονομία. Είναι εντυπωσιακή σε αυτά τα πλαίσια η άνοδος των χύδην ξηρών φορτίων στο παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο που αποτυπώνεται στον πίνακα 4.2.1 μέσα από τη σημαντική αύξηση των σημαντικότερων από τα 5 κύρια χύδην ξηρά φορτία. (Stopford M. "Maritime Economics", 2008)

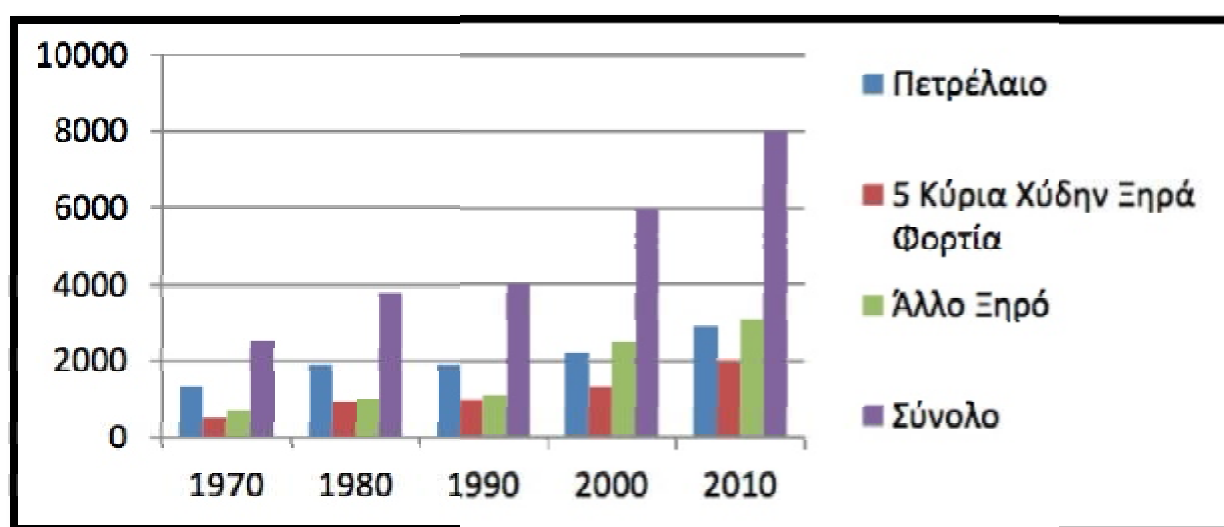
Πίνακας 4.2.1 Εξέλιξη Θαλάσσιου Εμπορίου 2000 & 2010

(σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους)

Χυδών Φορτία	2000	2010
Σιδηρομετάλλευμα	448	850
Γαιάνθρακες	520	785
Σιτηρά	264	325
Βωξίτης /Αλουμίνα	54	85
Φωσφάτα	30	27

Πηγή: Clarkson Research Studies (2010).

Διάγραμμα 4.2.2 Εξέλιξη Θαλάσσιου Εμπορίου 1970 - 2010



Πηγή: Clarkson Research Studies (2010).

4.3 Νέες τάσεις και εξελίξεις στο χώρο των μεταφορών

Στο χώρο της παροχής μεταφορικών υπηρεσιών έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια ριζική αναδιάρθρωση, η οποία συνοψίζεται σε πέντε βασικά σημεία:

- Μείωση του κόστους μεταφοράς.
- Βελτιστοποίηση της αξιοποίησης όλων των υπάρχοντων διαθέσιμων μέσων.
- Παροχή της βέλτιστης δυνατής ποιότητας υπηρεσίας στον πελάτη.
- Άμεση – συνεχής πληροφόρηση σε όλα τα στάδια.
- Συνεχής αναζήτηση νέων τρόπων και προοπτικών για απόκτηση πλεονεκτημάτων έναντι του ανταγωνισμού.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των νέων δεδομένων (τάσεις) όπως αυτά έχουν διαμορφωθεί στον τομέα των μεταφορών είναι:

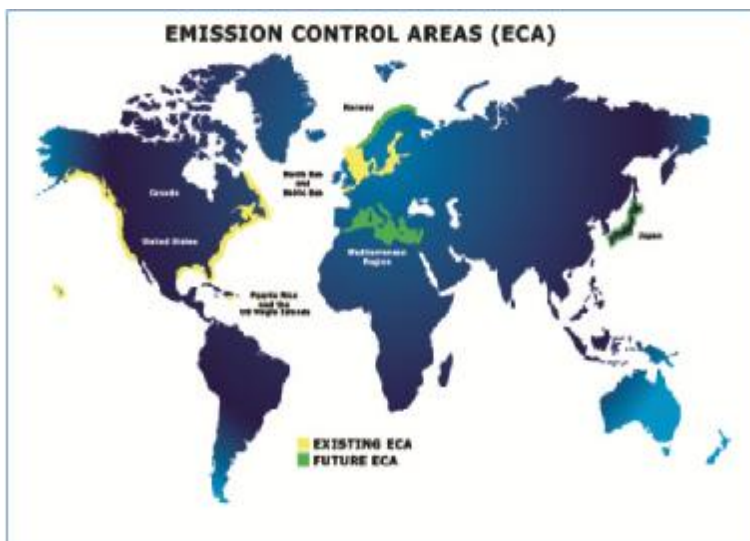
- Η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος, η οποία θα λειτουργεί πλέον ως ρυθμιστικός παράγοντας.
- Δημιουργία νέου πλέγματος παραγωγής-διάθεσης των μεταφορικών υπηρεσιών.

5. ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ & ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ

5.1 TIER III εθνικής νομοθεσίας

Τον Απρίλιο του 2014, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC 66), ενέκρινε τροποποιήσεις της MARPOL (CIMAC Paper - Use of LNG as Engine Fuel - December 2008), του κανονισμού 13, σχετικά με τα οξείδια του αζώτου (NOx) και την ημερομηνία για την εφαρμογή των προτύπων Tier III εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών (ΟΕΠ). Οι τροποποιήσεις προβλέπουν τα πρότυπα NOx του Tier III για να εφαρμοστεί σε ένα θαλάσσιο κινητήρα ντίζελ που είναι εγκατεστημένος σε ένα πλοίο που έχει κατασκευαστεί από την 1η Ιανουαρίου του 2016 και μετά και δραστηριοποιείται στην Βόρεια Αμερικανική περιοχή ελέγχου των εκπομπών ή στην περιοχή ελέγχου εκπομπών της Καραϊβικής Θάλασσας των ΗΠΑ, οι οποίες ορίζονται για τον έλεγχο των εκπομπών NOx. Επιπλέον, οι απαιτήσεις Tier III θα εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ όταν λειτουργούν σε άλλες περιοχές ελέγχου των εκπομπών που θα μπορούσε να επιλεγεί στο μέλλον για Tier III NOx. Tier III θα εφαρμόζονται σε πλοία που κατασκευάστηκαν μετά την ημερομηνία έγκρισης από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος ενός τέτοιου χώρου ελέγχου των εκπομπών, ή σε μεταγενέστερη ημερομηνία που ενδεχομένως καθορίζεται στην τροπολογία που ορίζει το NOx Tier III στην περιοχή ελέγχου των εκπομπών. Ως εκ τούτου, οι νέες κατασκευές πλοίων υποχρεούνται να συμμορφώνονται με τη νομοθεσία Tier III, όταν δραστηριοποιούνται σε καθορισμένες παράκτιες περιοχές.

Δύο σελτ των ποιοτικών απαιτήσεων των εκπομπών και των καυσίμων που ορίζονται στο CIMAC Paper - Use of LNG as Engine Fuel - December 2008: (1) παγκόσμιες απαιτήσεις, και (2) αυστηρότερες απαιτήσεις που ισχύουν για τα πλοία σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECA). Μια περιοχή ελέγχου των εκπομπών μπορεί να οριστεί για SOx και PM, ή NOx, ή όλους τους τρεις τύπους των εκπομπών από τα πλοία, με την επιφύλαξη πρόταση συμβαλλόμενου μέρους στο παράρτημα VI.



Οι υπάρχουσες περιοχές ελέγχου των εκπομπών περιλαμβάνουν:

- Βαλτική Θάλασσα (SOx)
- Βόρεια Θάλασσα (SOx)
- Βορείο Αμερική ΠΕΕ, συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων Αμερικανικών και Καναδικών ακτών (NOx και SOx)
- ΗΠΑ Καραϊβικής ΠΕΕ, συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και οι Αμερικανικές Παρθένοι Νήσοι (NOx και SOx)

συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και οι Αμερικανικές Παρθένοι Νήσοι (NOx και SOx)

Άλλες περιοχές που μπορεί να ενταχθούν για τον ορισμό των ΠΕΕ στο μέλλον να περιλαμβάνει τη Μεσόγειο, τη δυτική ακτή της Νορβηγίας, και παράκτιες περιοχές της

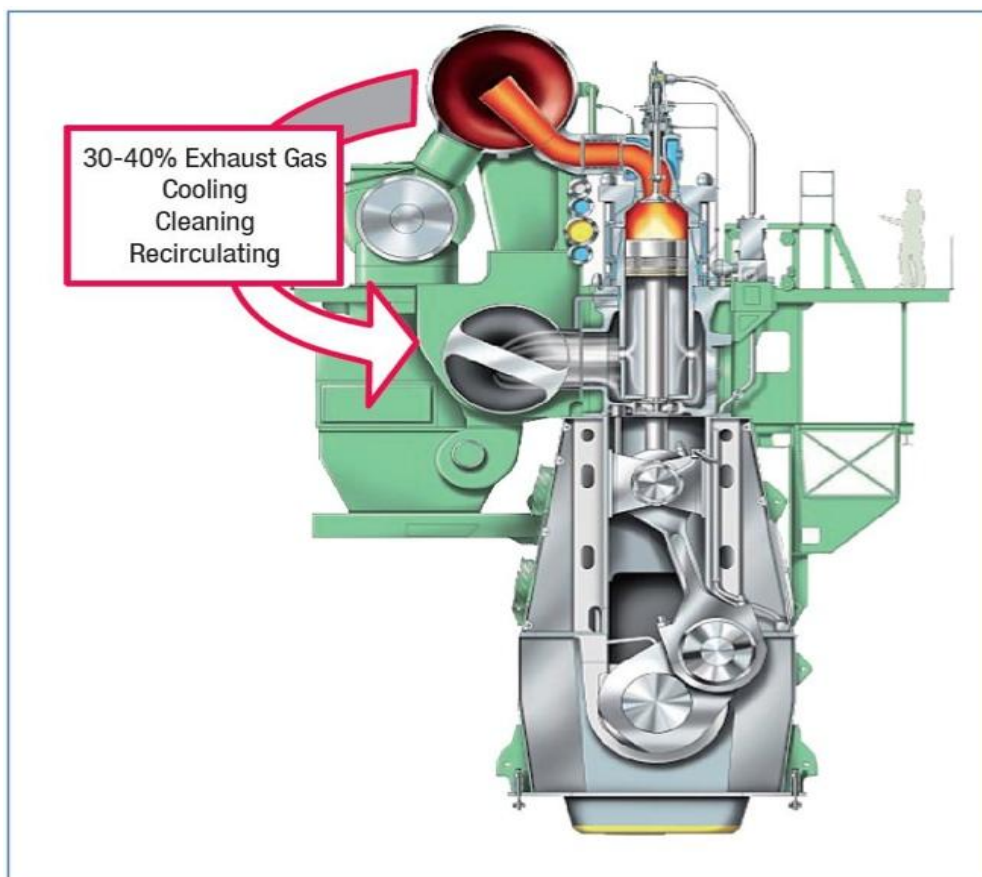
Ιαπωνίας.

Για τους σκοπούς της παρούσας επανεξέτασης μια περιοχή ελέγχου των εκπομπών (ECA) θεωρείται ότι απαιτούν συμμόρφωση Tier III - δηλαδή NO_x, SO_x και PM.

Κατά τη "λειτουργία σε αέριο" - που είναι με NBOG / FBOG ως πρωτογενούς καυσίμου και παροχή Marine diesel μόνο ως pilot fuel - τότε οι μηχανές Wartsila X-DF συμμορφώνονται πλήρως με τις απαιτήσεις του IMO Tier III. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαδικασία καύσης του κύκλου Otto παράγει καυσαέριο σε χαμηλότερες θερμοκρασίες που καταστέλλει την παραγωγή NO_x. Μια αρνητική πτυχή είναι ότι η διαδικασία καύσης του κύκλου Otto είναι εγγενώς λιγότερο αποτελεσματική σε σύγκριση με τον κύκλο Diesel από θερμοδυναμική άποψη.

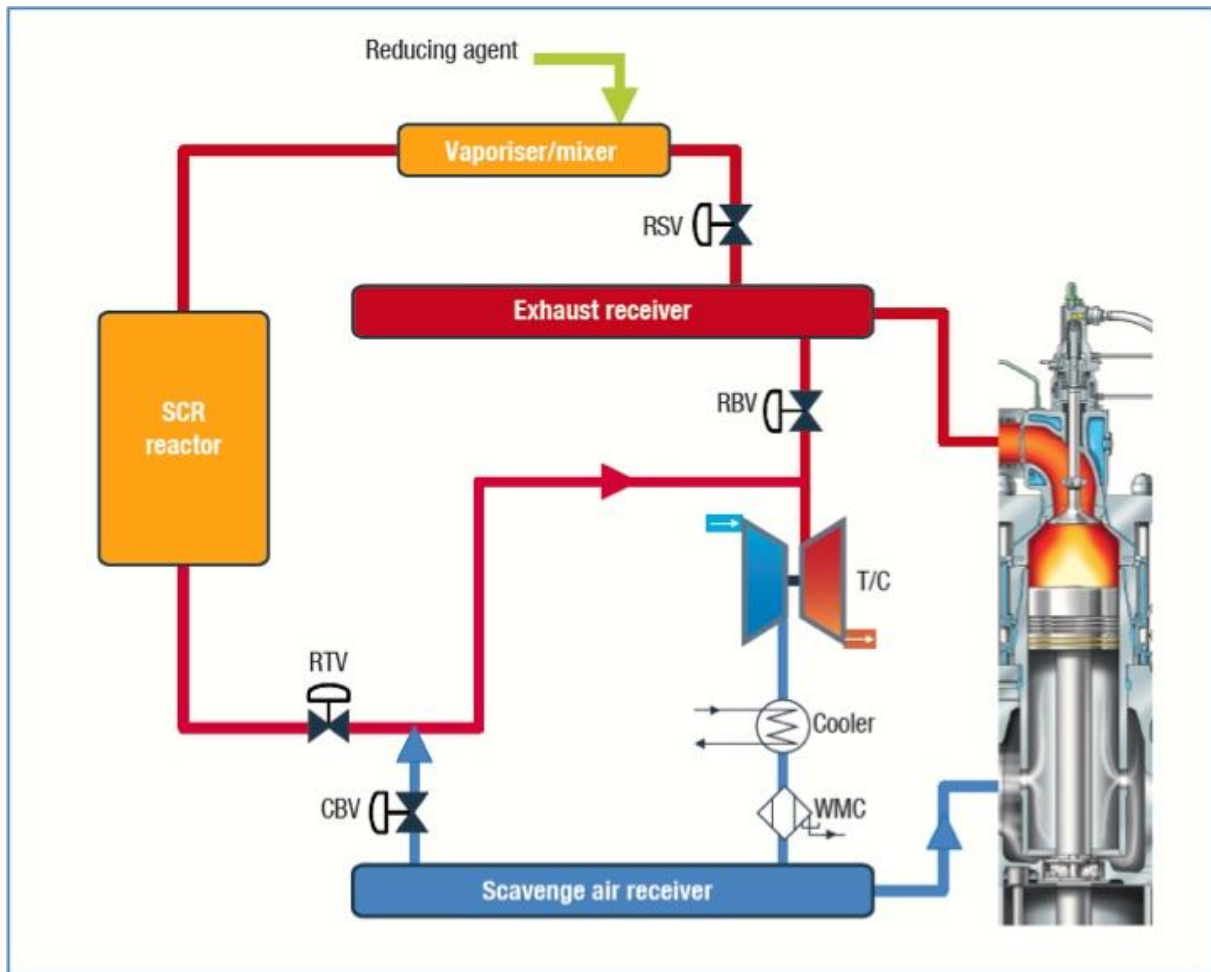
Από την άλλη πλευρά οι MAN κινητήρες ME-GI απαιτούν μείωση με τη μορφή καυσαερίων μετά τη θεραπεία, προκειμένου να μειωθεί η περιεκτικότητα των NO_x σε αποδεκτά επίπεδα Tier III. Η MAN προσφέρει δύο εναλλακτικές μεθόδους για να αντιμετωπίσει τη συμμόρφωση σε Tier III: το ένα είναι η επανακυκλοφορία των καυσαερίων (EGR) και το άλλο είναι Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (SCR).

Η μέθοδος EGR ψύχει και επανακυκλοφορεί μέρος του καυσαερίου και το τροφοδοτεί πάλι μέσα στο σύστημα αέρα, εκτοπίζοντας ένα μέρος του οξυγόνου στον αέρα με CO₂ από τα καυσαέρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των θερμοκρασιών καύσης και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τον ρυθμό παραγωγής NO_x. Υπάρχει ένα κόστος αποδοτικότητας σε αυτή τη διαδικασία, η οποία είναι συγκρίσιμη με την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας του Otto, αν και αυτό ισχύει μόνο όταν το σύστημα EGR είναι σε χρήση.



Εικόνα 5.1: Αρχή της διαδικασίας μείωσης NO_x EGR.

Η μέθοδος SCR χρησιμοποιεί μία χημική διεργασία στην οποία ένας καταλυτικός αντιδραστήρας είναι εγκατεστημένος στην πρόσληψη των καυσαερίων. Αμμωνία με τη μορφή ουρίας ή άνυδρης αμμωνίας εισάγεται εντός του αντιδραστήρα για να κινήσει τη χημική διαδικασία μετατροπής του NOx σε άζωτο και νερό.



Εικόνα 5.2: Αρχή της διαδικασίας μείωσης NOx SCR.

Ενώ και οι δύο μέθοδοι είναι αποτελεσματικές στην επίτευξη της μείωσης των NOx, υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε μία από αυτές:

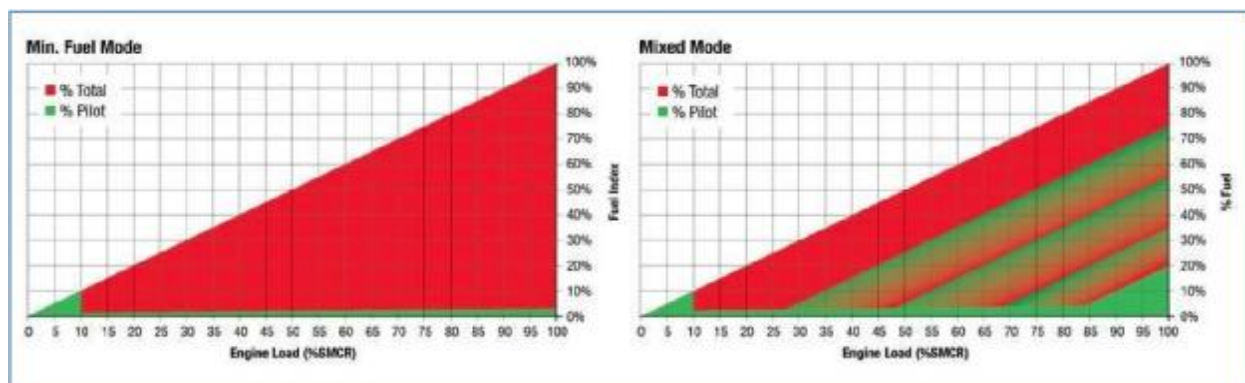
- Η SCR έχει συνήθως χαμηλότερο CAPEX και υψηλότερο OPEX από ό, τι το σύστημα EGR
- Αντίθετα, η EGR έχει υψηλότερη CAPEX και χαμηλότερο OPEX από ό, τι το σύστημα SCR
- Η MAN δήλωσε ότι αναπτύσσουν μία "ελαφριά" (χαμηλή συμβατότητα θείου) έκδοση του συστήματος EGR ειδικά για να εξυπηρετήσει τους Ιδιοκτήτες, οι οποίοι θα λειτουργούν μόνο στις ζώνες ελέγχου των εκπομπών για σχετικά σύντομες χρονικές περιόδους. Το "ελαφρύ" EGR θα είναι σχετικά απλό στο σχεδιασμό και με χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, ωστόσο, αυτή τη στιγμή η διαθεσιμότητα της εκλεπτυσμένης EGR δεν έχει επιβεβαιωθεί. Η στρατηγική πίσω από αυτή την εξέλιξη είναι η υπόθεση ότι η συμμόρφωση των SOx απαιτείται και στις περιοχές TIER III NOx κάτι που θα συνεχιστεί και στο μέλλον.

- Όταν μια καταλυτική χημική διαδικασία, το σύστημα SCR απαιτεί την εισαγωγή της αμμωνίας ως ένα αντιδραστικό παράγοντα. Η χημική διαδικασία είναι επίσης πολύ ευαίσθητη σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και, εάν αυτά δεν διαχειρίζονται και ελέγχονται προσεκτικά, υπερβολικές θερμοκρασίες στον αντιδραστήρα μπορεί να προκαλέσουν SOx και σε συνδυασμό με περίσσεια αμμωνίας να έχουμε σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό καθίζησης (για παράδειγμα, θειικό οξύ) στον αντιδραστήρα.

Όταν το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο, τόσο στη Wartsila X-DF όσο και στη MAN ME-GI είναι συμβατό με τις νομοθετικές απαιτήσεις του IMO TIER III και πληρεί τα όρια που ισχύουν σε θείο, τα οποία είναι παγκοσμίως 3,5% κατά μάζα, μειώνοντας σε 0,5% κατά μάζα το 2020 (υπόκεινται σε περαιτέρω αναθεώρηση του IMO) και 1% κατά μάζα σε SOx στις ζώνες περιοχής ελέγχου εκπομπών, μείωση σε 0,1% κατά μάζα από 1η Ιανουαρίου 2015. Σημειώνεται ότι το μαζούτ (HFO) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο καθώς η περιεκτικότητά του σε θείο είναι σύμφωνη - δεν υπάρχει εντολή από IMO να χρησιμοποιηθούν αποστάγματα καυσίμων. Αν το πετρέλαιο επί του πλοίου υπερβαίνει τα καθορισμένα όρια περιεκτικότητας σε θείο, τότε οι εναλλακτικές μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις εκπομπές θείου στα SOx των περιοχών ελέγχου εκπομπών και σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως με τη χρήση scrubber. Για παράδειγμα, αντί για τη χρήση του 1% των καυσίμων σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SOx, ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων ή κάποια άλλη τεχνολογική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό των εκπομπών SOx έως $\leq 6 \text{ gr/kWh}$.

Η MAN έχει δημοσιεύσει μια ολοκληρωμένη έρευνα ελέγχου εκπομπών που εστιάζει στη λειτουργία των δίχρονων κινητήρων θαλάσσης πλήρους φάσματος, συμπεριλαμβανομένων μηχανών διπλού καυσίμου. Ένα αντίγραφο περιλαμβάνεται στα προσαρτήματα για αναφορά (MAN Emission Project Guide (EGR-SCR)).

Οι κινητήρες της MAN ME-GI μπορούν να χρησιμοποιήσουν HFO ως pilot fuel. Το σύστημα ψεκασμού ME-GI επιτρέπει επίσης την ανάμιξη του υγραερίου ως καυσίμου και μαζούτ - δηλαδή το 30% του φυσικού αερίου και το 70% μαζούτ, ή 100% μαζούτ. Αυτό προσφέρει μια μεγάλη ευελιξία στη λειτουργία και μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα, αν, σε κάποια στιγμή στο μέλλον, οι σχετικές τιμές του φυσικού αερίου και μαζούτ αλλάξουν και η αξία του φορτίου LNG υπερβαίνει την τιμή του μαζούτ.



Εικόνα 5.3: MAN ME-GI Fuel Modes

Η Wartsila δήλωσε ότι αναπτύσσουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν μαζούτ ως pilot fuel όμως βλέπουν περιορισμένη αξία σε αυτό, λόγω των σχετικά μικρών ποσοτήτων που εμπλέκονται. Η Wartsila έχει δηλώσει ότι ο κινητήρας X-DF έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με μαζούτ ως εναλλακτικό πρωτογενούς καυσίμου αλλά σε αυτήν την κατάσταση λειτουργίας που απαιτούν μια μικρή ποσότητα της MDO ως pilot fuel εξακολουθεί να εφαρμόζεται, προκειμένου να διατηρήσει τα μπεκ ψεκασμού pilot fuel και τους χώρους προ-καύσης. Στη Wartsila εργάζονται επίσης για την δυνατότητα κοινής χρήσης καυσίμων για την σειρά X-DF των κινητήρων, που υποδεικνύει ότι αυτό είναι ουσιαστικά μια αναβάθμιση του λογισμικού για την αυτοματοποίηση UNIC™ τους και το σύστημα ελέγχου. Ισχυρίζονται ότι η κοινή χρήση καυσίμου έχει αποδειχθεί σε δοκιμή κινητήρα, στον κινητήρα δοκιμών τους, αλλά η αναβάθμιση του λογισμικού δεν είναι ακόμη διαθέσιμη για εμπορική παραγωγή.

5.2 Διαρροή άκαυστων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα (Methane Slip)

Η σύνθεση του φυσικού αερίου είναι κυρίως μεθάνιο και όταν ποσότητα άκαυστου αερίου καυσίμου (μεθάνιο) περνά μέσα από το σύστημα της εξάτμισης ενός κινητήρα είναι γνωστό ως «ολίσθηση μεθανίου». Το μεθάνιο αναγνωρίστηκε από το Πρωτόκολλο του Kyoto ως αέριο του θερμοκηπίου και ο συντελεστής του θερμοκηπίου μεθανίου είναι περίπου 23 φορές μεγαλύτερος από το διοξείδιο του άνθρακα. Συνεπώς, το μεθάνιο ολίσθησης θεωρείται σημαντική συμβολή στην "υπερθέρμανση του πλανήτη". Μια άλλη ανεπιθύμητη πτυχή του άκαυστου μεθανίου είναι η σύνδεσή του με την παραγωγή φορμαλδεύδης.

Το μεθάνιο ολίσθησης είναι ένα χαρακτηριστικό όλων των κινητήρων με αέριο καύσιμο, είτε στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία ή τους θαλάσσιους κινητήρες, ωστόσο κινητήρες φτωχής καύσης που χρησιμοποιούν τον κύκλο Otto είναι πιο επιρρεπείς σε ολίσθηση μεθανίου από τους κινητήρες άμεσης έγχυσης αερίου διότι το μείγμα αερίου / αέρα δεν καταναλώνεται πλήρως κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Υπάρχουν πιθανώς αρκετές πηγές άκαυστου μεθανίου σε ένα λειτουργικό, μερικές από τις οποίες αναφέρονται εδώ:

- Οι χώροι καύσης του κινητήρα απαιτούν ψύξη και οι απώλειες θερμότητας κοντά στα τείχη του χιτωνίου του κυλίνδρου μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση άκαυστου καυσίμου (μεθάνιο).
- Μέσα στο χώρο καύσης του κινητήρα, μπορεί επίσης να εντοπίσουμε περιοχές της απώλειας θερμότητας. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου χώρου είναι η περιοχή πάνω από την κορυφή του δακτυλίου εμβόλου, μεταξύ της επένδυσης του κυλίνδρου και το στέμμα του εμβόλου.
- Ελλιπής ή καθυστερημένη καύση, όπως διαλείψεις λόγω του πολύ φτωχού μίγματος (αναλογία αέρα-καυσίμου) κατά τις μεταβολές του φορτίου.

Η φορμαλδεύδη είναι ένα προϊόν της διαδικασίας καύσης του μεθανίου. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει κατατάξει τη φορμαλδεύδη ως καρκινογόνο ουσία. Η φορμαλδεύδη θα καεί, αλλά μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες - μεταξύ 800 και 900 ° C. Περιοχές που αναφέρονται παραπάνω είναι η κύρια πηγή εκπομπών φορμαλδεύδης (CIMAC Paper - Methane and Formaldehyde Emissions 201404).

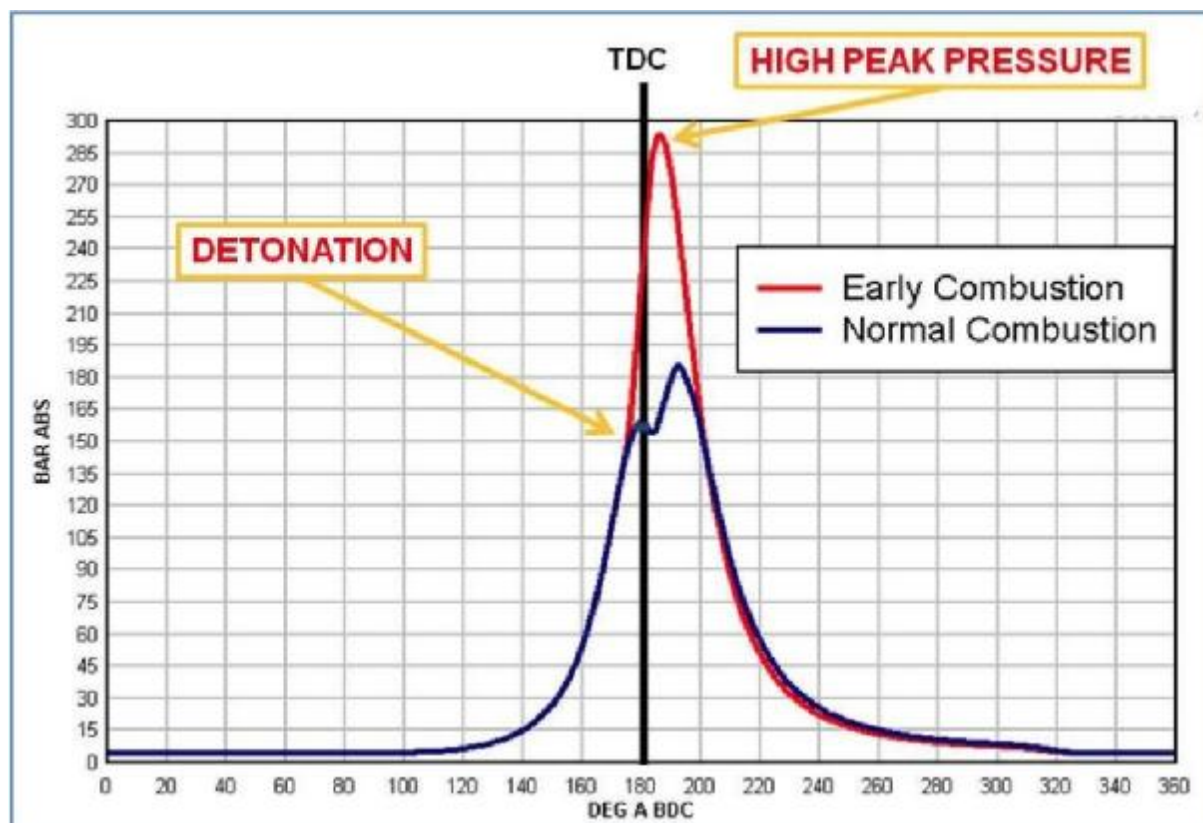
Από τη Wartsila έχουν δηλώσει ότι έχουν ασχοληθεί με ορισμένα από αυτά τα θέματα σε τετράχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου, για παράδειγμα, την τροποποίηση των κεφαλών του εμβόλου. Άλλοι μετριασμοί έχουν επιτευχθεί ρυθμίζοντας την εισαγωγή του φυσικού αερίου, pilot fuel και εξαγωγής, παραμέτρους χρονισμού βαλβίδων του συστήματος ελέγχου του κινητήρα και το σύστημα διαχείρισης του φυσικού αερίου. Παρόμοιες λύσεις τεχνολογίας θα πρέπει να εφαρμοστούν σε δίχρονους κινητήρες που τροφοδοτούνται με διπλό καύσιμο.

Μια άμεση έγχυση διπλού καυσίμου που τροφοδοτείται με τη χρήση του κύκλου ντίζελ δεν έχει τέτοια προβλήματα με μεθάνιο ολίσθησης, κυρίως επειδή το φυσικό αέριο εισάγεται πολύ αργότερα στον κύκλο του κινητήρα αφού ο αέρας έχει ήδη συμπιεστεί σε κάθε κύλινδρο και η καύση του καυσίμου αερίου είναι πιο διεξοδική. Στη MAN έχουν δηλώσει ότι οι εκπομπές μεθανίου από ένα κινητήρα ME-GI είναι πολύ μικρές - κατά τις πρόσφατες δοκιμές του κινητήρα 8L70ME-CGI για το έργο TOTE το υψηλότερο επίπεδο των άκαυστων υδρογονανθράκων που μετράται σε κατάσταση αερίου ήταν μικρότερη από 0,5 g / kWh σε 30% φορτίο του κινητήρα, μειώνοντας σε λιγότερο από 0,4 g / kWh σε υψηλότερα φορτία. Φορμαλδεΰδη δεν έχει ανιχνευθεί σε καυσαέρια.

Παρόλο που ο IMO δεν επιβάλλει ειδικά τους ρυθμιστικούς ελέγχους για το μεθάνιο ολίσθησης, όπως οι εκπομπές ρυθμίζονται για άλλες βιομηχανίες στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία, και ο IMO θα μπορούσε να αναμένεται ότι θα εξετάσει το ενδεχόμενο αναθεώρησης των προτύπων αυτών στο μέλλον. Η Γερμανία, για παράδειγμα, εισήγαγε την ρύθμιση TA-Luft που καλύπτει σταθερούς κινητήρες το 1986 και αναθεωρήθηκε από τον κανονισμό του 2002 με τα όρια εκπομπών για τα PM, CO, NOx και υπάρχουν διαφορετικά όρια για τους κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση (CI) και κινητήρες που αναφλέγονται με σπινθήρα (SI), συμπεριλαμβανομένου του φυσικού αερίου ως καύσιμο κινητήρων CI (διπλού καυσίμου ντίζελ με ανάφλεξη πιλότου). Το όριο TA-Luft για τη φορμαλδεΰδη είναι 60 mg / m³.

5.3 Αριθμός μεθανίου & ατελής καύση (Methane number & "knocking" effect)

Το χτύπημα "knocking" είναι ένα φαινόμενο που προκαλείται από την προ-έκρηξη ή αυτανάφλεξη του μίγματος αέρα-αερίου στον κύλινδρο ή κυλίνδρους η οποία δημιουργεί ένα ταχύ ρυθμό αύξησης της πίεσης μέσα στον κύλινδρο (ους). Ο ρυθμός αύξησης της πίεσης προκαλεί υψηλή πίεση αιχμής και παράγει το συνδεδεμένων χαρακτηριστικό θόρυβο "knocking".



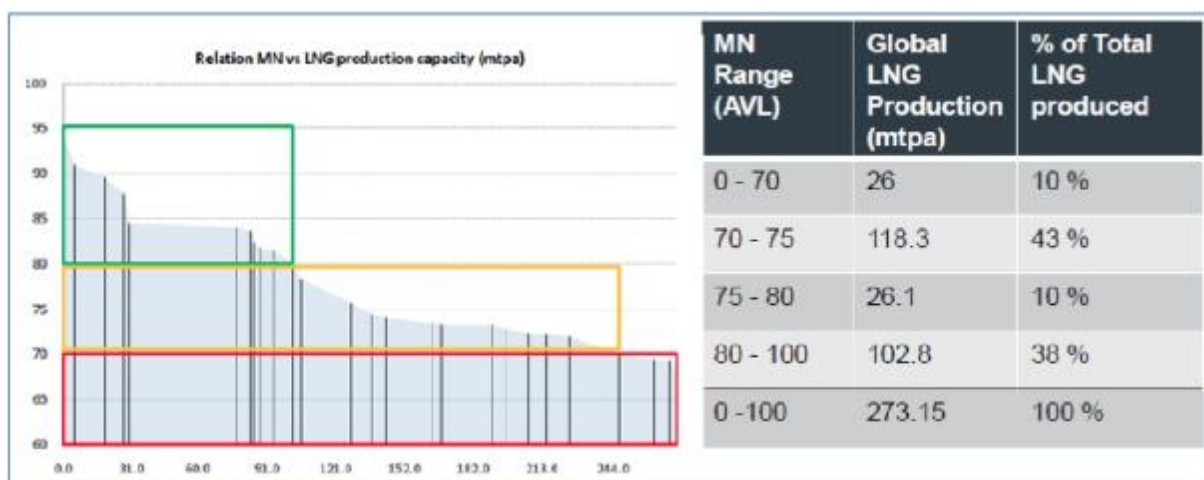
Εικόνα 5.4: Εικονογράφηση της προ-έκρηξης και του "knocking effect" σε έναν κύλινδρο

Η παρατεταμένη λειτουργία του κινητήρα με την εμφάνιση του "knocking effect" μπορεί να προκαλέσει αυξημένη φθορά σε σημαντικά εξαρτήματα του κινητήρα, οδηγώντας σε μείωση της διάρκειας ζωής και αυξημένο κόστος συντήρησης. Εάν δεν διορθωθεί, χτυπώντας θα μπορούσε να προκαλέσει θραύση δακτυλίου εμβόλου η οποία με τη σειρά της θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποτυχία καύσης και άκαυστο καύσιμο αέριο μεταναστεύει σε προσλήψεις εξάτμισης, δημιουργώντας τη δυνατότητα για δευτερεύουσα καύση. Στην χειρότερη περίπτωση, ακραίο ή επίμονο χτύπημα θα μπορούσε να προκαλέσει μια καταστροφική αποτυχία των κύριων εξαρτημάτων του κινητήρα - για παράδειγμα, το κύριο ρουλεμάν και οι στροφαλοφόροι άξονες. Η κατώτατη γραμμή είναι ότι το χτύπημα ("knocking" effect) πρέπει να αποφεύγεται.

Ο αριθμός μεθανίου είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει μια συγκεκριμένη ποιότητα του φυσικού αερίου ως καυσίμου, ειδικά καθώς σχετίζεται με μια τάση να χτυπήσει. Ο αριθμός μεθανίου (MN) μπορεί να συγκριθεί με τον αριθμό οκτανίων

της βενζίνης ως καυσίμου για τα αυτοκίνητα. Καθαρό μεθάνιο χρησιμοποιείται ως καύσιμο αναφοράς με ποσοτικοποιημένο αριθμό μεθανίου ίσο με 100, ενώ το καθαρό υδρογόνο έχει ένα MN ίσο με 0 (μηδέν). Εξ ορισμού, η σύνθεση του Φυσικού Αερίου είναι μεταβλητή, όπου παράγεται σε παγκόσμιο επίπεδο (CIMAC Paper - Use of LNG as Engine Fuel - December 2008).

Αναγνωρίζοντας την ποικιλομορφία στη σύνθεση του φυσικού αερίου, το διεθνές πρότυπο ISO 15403-1 αναπτύχθηκε το 2006, κυρίως για την αυτοκινητοβιομηχανία με την πρόθεση να παρέχουν στους κατασκευαστές, οι φορείς εκμετάλλευσης του οχήματος, και άλλους που εμπλέκονται στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας συμπιεσμένου φυσικού αερίου με πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων του συμπιεσμένου φυσικού αερίου για τα οχήματα. Ορισμένες πτυχές του ISO 15403 είναι εφαρμόσιμες για τη χρήση του φυσικού αερίου σε σταθερούς κινητήρες καύσης και θαλάσσιες μηχανές διπλού καυσίμου, ένα εκ των οποίων είναι η εφαρμογή του MN ως δείκτη. Δυστυχώς, δεν υπάρχει ακόμη συμφωνία σχετικά με μια ενιαία μεθοδολογία για τον υπολογισμό του δείκτη MN, η οποία οδηγεί στην εφαρμογή των "συντελεστών διορθώσεως" κατά την εφαρμογή των υπολογισμών. Ωστόσο, αναγνωρίζεται γενικά ότι η υψηλότερη παρουσία βαρύτερων υδρογονανθράκων στο φυσικό αέριο μειώνει τον δείκτη MN, ενώ μια υψηλότερη παρουσία αδρανών αερίων όπως αζώτου αυξάνει τον δείκτη MN.



Εικόνα 5.5: Σχέση MN vs χωρητικότητα παραγωγής LNG

Η εμπειρία στη λειτουργία τετράχρονων DFDE / TFDE θαλάσσιων κινητήρων, καθώς και η έρευνα από τους κατασκευαστές κινητήρων έχει διαπιστώσει ότι ένας αριθμός μεθανίου ίσος ή μεγαλύτερος από 80 ($MN > 80$) θεωρείται ένα πρακτικό όριο για την ασφαλή λειτουργία της χαμηλής πίεσης του κύκλου Otto κινητήρων διπλού καυσίμου. Οι κινητήρες του κύκλου Diesel υψηλής πίεσης μπορούν να καταναλώνουν το φυσικό αέριο με δείκτη MN μικρότερο από 80, γιατί η διαδικασία καύσης ντίζελ άμεσου ψεκασμού δεν είναι ευπαθή σε "knocking" effect.

Η εμπειρία στη λειτουργία τετράχρονων DFDE / TFDE θαλάσσιων κινητήρων, καθώς και η έρευνα από τους κατασκευαστές κινητήρων έχει διαπιστώσει ότι ένας αριθμός μεθανίου ίσος ή μεγαλύτερος από 80 ($MN > 80$) θεωρείται ένα πρακτικό όριο για την ασφαλή λειτουργία της χαμηλής πίεσης του κύκλου Otto κινητήρων διπλού καυσίμου. Οι κινητήρες του ντίζελ κύκλου υψηλής πίεσης μπορούν να καταναλώνουν το φυσικό αέριο με δείκτη MN μικρότερο από 80, γιατί η διαδικασία καύσης ντίζελ άμεσου ψεκασμού δεν είναι ευπαθή σε "knocking".

Όταν το natural boil-off gas (NBOG) χρησιμοποιείται ως πηγή καυσίμου αερίου, το εξατμισμένο αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (με μικρή περιεκτικότητα αζώτου) και ως εκ τούτου ο δείκτης MN βρίσκεται συνήθως μεταξύ 90-100. Αυτό το αέριο ως καύσιμο έχει υψηλή αντοχή σε "knocking". Όταν το forced boil-off gas (FBOG) χρησιμοποιείται ως πηγή καυσίμου, υγρό φυσικό αέριο τραβιέται μέσα από το φορτίο LNG, το κρυογονικό υγρό θα περιέχει πάντοτε ένα μείγμα άλλων υδρογονανθράκων το οποίο, εξαερώνεται μέσω ενός εξατμιστήρα και περνά στην αέρια φάση. Σε αυτή την κατάσταση ο δείκτης MN θα είναι χαμηλός - κάτω από το 80. Αυτό το μείγμα αερίου στη συνέχεια διέρχεται μέσω ενός Mist Separator που συμπυκνώνει τους βαρύτερους υδρογονάνθρακες, εκτρέποντάς τους πίσω στις δεξαμενές φορτίου, επιτρέποντας στα ελαφρύτερα άκρα να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο φυσικό αέριο. Και πάλι, η εμπειρία με τα λειτουργικά συστήματα τετράχρονων DFDE / TFDE έχει δείξει ότι μετά το πέρασμα μέσα από τον Mist Separator το MN του καυσίμου αερίου είναι συνήθως πάνω από το όριο του 80.

5.4 Αυθόρμητη καύση στον κύλινδρο πετρελαίου λόγω λίπανσης

Το λιπαντικό κυλίνδρων χρησιμοποιείται σε όλους τους μεγάλο διαμετρήματος δίχρονους κινητήρες ντίζελ πλοίων. Είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα φιλμ λίπανσης μεταξύ των κυλιόμενων επιφανειών των δακτυλίων του εμβόλου και του τοιχώματος του χιτωνίου του κυλίνδρου ενώ τα έμβολα παλινδρομούν μέσα στα χιτώνια. Πολλαπλά σημεία έγχυσης λιπαντικού κυλίνδρων βρίσκονται γύρω από την περιφέρεια των χιτωνίων. Η ποσότητα του λαδιού και η ακριβής χρονική στιγμή της έγχυσης ρυθμίζεται και ελέγχεται από το σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου του κινητήρα. Παρέχοντας τη βέλτιστη ποσότητα του λιπαντικού στο βέλτιστο χρόνο διαδρομής του εμβόλου θα διατηρήσει τις επιφάνειες εργασίας και θα παρατείνει τη διάρκεια ζωής της επένδυσης του κυλίνδρου. Η ανεπαρκής λίπανση του κυλίνδρου δεν θα παρέχει επαρκή λιπαντικό φιλμ, οδηγώντας σε γδαρσίματα, δακτυλίδι, θραύση εμβόλων και υπερβολική φθορά της επένδυσης. Αντιστρόφως πάρα πολύ λιπαντικό στον κύλινδρο μπορεί να προκαλέσει αποθέσεις άνθρακα να συσσωρευτούν στους χώρους καύσης, για κορώνες εμβόλων, και βαλβίδες εξαγωγής. Η υπερβολική λίπανση είναι επίσης σπάταλη και θα πρέπει να αποφεύγεται. Συσσώρευση υπερβολικών ποσοτήτων λιπαντικού στον κύλινδρο είτε στην εισαγωγή αέρα ή στη εξαγωγή καυσαερίων θεωρείται επίσης ένας πιθανός κίνδυνος πυρκαγιάς.

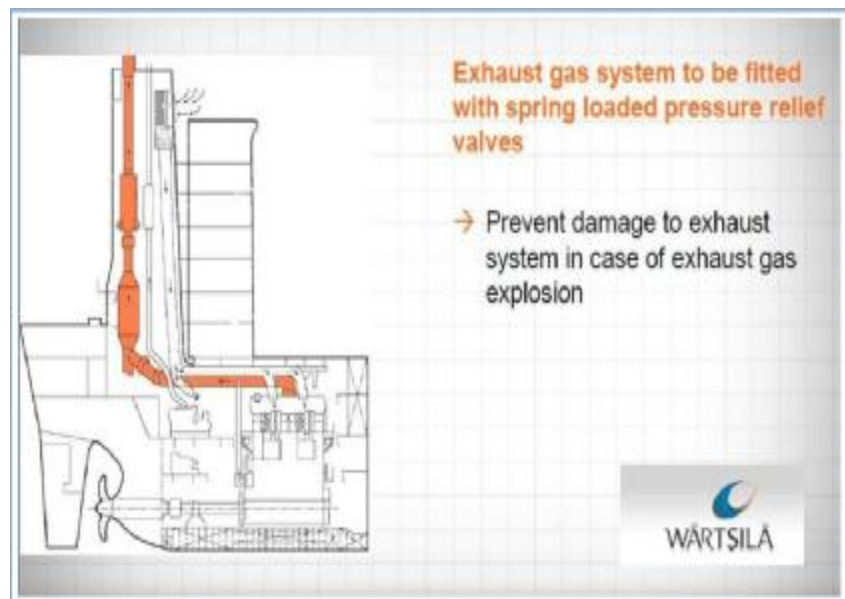
Πολλοί κατασκευαστές κινητήρων, συμπεριλαμβανομένων της Wartsila και της MAN, έχουν πραγματοποιήσει εκτεταμένες έρευνες για τη λίπανση του κυλίνδρου, ώστε να προσδιοριστεί στο βέλτιστο βαθμό η αντιστοιχία στις ποσότητες, τον τόπο και τη χρονική στιγμή της έγχυσης. Επιχειρησιακή εμπειρία και έρευνα έχουν καθορίσει ότι για μια μηχανή που λειτουργεί μια μικρή ποσότητα λιπαντικού εξατμίζεται στο θάλαμο καύσης και σε κάποιες περιπτώσεις τα μικροσκοπικά αυτά σταγονίδια ελαίου (λιπαντικού) μπορούν να αναφλεχθούν. Αυτό το φαινόμενο είναι μια σημαντική ανησυχία για τους κινητήρες που λειτουργούν με τον κύκλο Otto, επειδή το μείγμα αερίου/ αέρα συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο και η ανάφλεξη αυτών των σταγονιδίων ελαίου λιπαντικού μπορεί να προκαλέσουν την ανάφλεξη του μίγματος αερίου/ αέρα πριν από τη χρονομετρημένη ανάφλεξη του pilot fuel, πράγμα που θα οδηγήσει σε υψηλές πιέσεις αιχμής και στην εμφάνιση του "knocking effect" τα οποία, όπως προαναφέρθηκε, είναι επιζήμια για την απόδοση του κινητήρα.

Η Wartsila έχει δηλώσει ότι η προανάφλεξη λόγω των ατμών του ελαίου λιπαντικού δεν είναι πρόβλημα για τους κινητήρες τους, αναφέροντας ότι έχουν βιώσει τέτοιου είδους προβλήματα νωρίς στην εξέλιξη των κινητήρων DF και έχουν επιλυθεί με μια μικρορύθμιση

στο χρονισμό έγχυσης αερίου αλλά και στο χρονισμό του συστήματος λίπανσης του κυλίνδρου. Η Wartsila έχει εφαρμόσει κάποιες τεχνολογικές εξελίξεις στο παλμικό σύστημα λίπανσης (pulse lubrication system). Δυστυχώς όμως δεν είναι πρόθυμοι να μοιραστούν λεπτομέρειες σχετικά με αυτό το θέμα, διότι θεωρούν ότι οι πληροφορίες είναι εμπορικά ευαίσθητες.

Η MAN έχει και εκείνη επίσης εξελιγμένα συστήματα λίπανσης παλμών τα οποία κ έχει εφαρμόσει σε κινητήρες ME-GI και υποστηρίζουν ότι η εμφάνιση της προ-ανάφλεξης των σταγονιδίων του ελαίου λιπαντικού δεν είναι ένα επιχειρησιακό θέμα για τους κινητήρες διπλού καυσίμου υψηλής πίεσης του κύκλου Diesel, επειδή η χρονική στιγμή της έγχυσης του αερίου καυσίμου εμφανίζεται αργότερα στον κύκλο και ως εκ τούτου δεν είναι φυσικά διαθέσιμη για ανάφλεξη.

Η Wartsila έχει ενσωματώσει βαλβίδες ανακούφισης εκρήξεων στην εξάτμιση των X-DF κινητήρων τους και δίνει έμφαση σε αυτό, στις παρουσιάσεις της, ως παράγοντα ασφαλείας στο σχέδιό τους, ενώ η MAN έχει δηλώσει ότι δεν απαιτείται η εγκατάσταση βαλβίδων ανακούφισης επειδή είναι σίγουροι ότι δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος εμφάνισης εκρήξεων λόγω της πληρέστερης καύσης στη διαδικασία του κύκλου Diesel.



Εικόνα 5.6: Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων

6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ

6.1 Διαθέσιμοι κινητήρες

Οι κινητήρες που υπάρχουν στην αγορά είναι:

- Τετράχρονοι Diesel
- Δίχρονοι Diesel
- Τετράχρονοι Diesel διπλού καυσίμου (DFDE & TFDE LNG)
- Δίχρονοι Diesel διπλού καυσίμου (DFDE & TFDE LNG)

6.2 Αρχή λειτουργίας της τετράχρονης πετρελαιομηχανής

Η τετράχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις φάσεις και σε τέσσερις χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκλήρωσης ενός κύκλου λειτουργίας τετράχρονης (4-X) μηχανής αντιστοιχεί σε δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (720° γωνίας στροφάλου). Συνοπτικά οι φάσεις λειτουργίας της τετράχρονης πετρελαιομηχανής είναι οι εξής:

- Εισαγωγή,
- συμπίεση,
- καύση - εκτόνωση,
- εξαγωγή καυσαερίων.

6.3 Αρχή λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής

Η δίχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις μεν φάσεις (εισαγωγή, συμπίεση, καύση - εκτόνωση, εξαγωγή) αλλά, σε αντίθεση με την τετράχρονη, σε δύο χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ του άνω και κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκλήρωσης ενός κύκλου λειτουργίας δίχρονης (2-X) μηχανής αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360° γωνίας στροφάλου).

Η κλασική δίχρονη μηχανή δε χρησιμοποιεί γενικά βαλβίδες για να ελέγξει την εισαγωγή του αέρα και την έξοδο των καυσαερίων. (Οι σύγχρονες μεγάλης ισχύος δίχρονες πετρελαιομηχανές κατασκευάζονται πλέον με βαλβίδα εξαγωγής). Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου δεν καταλήγουν στο πώμα του κυλίνδρου αλλά στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, πλησίον του ΚΝΣ. Εκεί, μέσω κατάλληλων θυρίδων (οπών), εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επικοινωνούν με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι θυρίδες αυτές έχουν διαφορετικό ύψος και διαφορετική θέση, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως θυρίδες εισαγωγής ή εξαγωγής.

Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των θυρίδων (άρα και της ροής του αέρα και των καυσαερίων) πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, λίγο πριν το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά τις θυρίδες, επιτρέποντας τόσο τη ροή του αέρα από τον αγωγό εισαγωγής προς τον κύλινδρο όσο και των

καυσαερίων από τον κύλινδρο προς τον αγωγό εξαγωγής. Αντίθετα, καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ κλείνει σταδιακά τη θυρίδα εξαγωγής, στεγανοποιώντας τον κύλινδρο.

6.4 Ευελιξία στην επιλογή καυσίμου

Οι κινητήρες αυτοί, είναι διαθέσιμοι σε εκδόσεις:

- Diesel,
- διπλού καυσίμου (DFDE) και
- τριπλού καυσίμου (TFDE)

γεγονός που δίνει ένα μεγάλο εύρος στην επιλογή του κατάλληλου κινητήρα ανά τύπο πλοίου. Η τελευταία κατηγορία, του τριπλού καυσίμου, επιλέγεται κυρίως για πλοία που μεταφέρουν LNG.

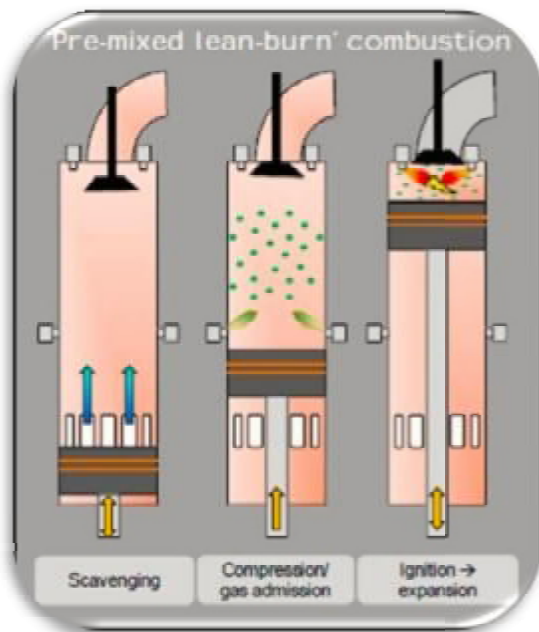
7. WARTSILA X-DF

7.1 Ανάλυση της μηχανής Wartsila X-DF

Η Wartsila ως εταιρεία καθιερώθηκε για πρώτη φορά το 1834 και είναι στον τομέα της οικοδόμησης θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ από το 1938. Αρχικά γνωστή ως κατασκευάστρια κινητήρων μέσης-υψηλής ταχύτητας, η Wartsila έγινε ένας σημαντικός παίκτης στην αργή ταχύτητα δίχρονων θαλάσσιων πετρελαιοκινητήρων με την απόκτηση του New Sulzer Diesel το 1996 και εξελίχθηκε στην εταιρεία που γνωρίζουμε σήμερα. Η Wartsila δηλώνει περισσότερα από 40 χρόνια εμπειρίας του διπλού καυσίμου του κινητήρα, που αρχίζει με την εγκατάσταση του Sulzer 7RND90M LP-DF στο LNG / C "Venator" το 1972.

Ο κινητήρας της Wartsila X-DF έχει αναπτυχθεί ειδικά για να ικανοποιήσει τη ζήτηση για μεγάλου διαμετρήματος δίχρονους κινητήρες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως καύσιμο, και αναφέρεται συχνά ως επιλογή για τη θαλάσσια βιομηχανία ως LP2S (χαμηλής πίεσης δίχρονος). Η Wartsila είναι εξοικειωμένη με κινητήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου υψηλής πίεσης. Η σειρά κινητήρων Flex Wartsila λειτουργούν με ένα σύστημα τροφοδοσίας πετρελαίου common rail που διατηρεί την πίεση του λαδιού μέχρι 1000 bar. Στη Wartsila έχουν επίσης μια σειρά από κινητήρες αερίου υψηλής πίεσης (Gas Diesel) στην οποία χρησιμοποιούν τον κύκλο καύσης ντίζελ. Οι μηχανές Wartsila 32GD εισήχθησαν για πρώτη φορά το 1987 και ήταν η πρώτη μηχανή φυσικού αερίου στο χαρτοφυλάκιο της Wartsila. Οι πρώτοι κινητήρες ντίζελ - φυσικού αερίου ήταν μέσης ταχύτητας τετράχρονοι κινητήρες και λειτουργούσαν μεταξύ 600 και 750 rpm. Είχαν αρχικά σχεδιαστεί για την πίεση του αερίου στα 250 bar αλλά αργότερα η Wartsila αύξησε την πίεση στα 350 bar με σκοπό να βελτιωθεί η απόδοση του κινητήρα. Η Wartsila έχει δηλώσει ότι αυτοί οι πετρελαιοκινητήρες αερίου λειτουργούν πολύ αξιόπιστα σε θαλάσσιες εγκαταστάσεις, ωστόσο αντιμετώπισαν ορισμένα επιχειρησιακά θέματα με τις συνδέσεις των σωλήνων και τις φλάντζες. Με τους προηγούμενους υψηλής πίεσης τετράχρονους κινητήρες GD είχαν επίσης προβλήματα με το σύστημα παροχής αερίου, κυρίως με τους συμπιεστές αερίου 3ου σταδίου. Παράλληλα η Wartsila είχε αναπτύξει χαμηλής πίεσης τετράχρονους κινητήρες μέσης ταχύτητας, αρχίζοντας από την εισαγωγή του 20DF στη δεκαετία του 1990. Υποστηρίζουν ότι έχουν πάνω από 1000 μηχανές μεσαίας ταχύτητας DF σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο και υποστηρίζουν ότι: «Η εμπειρία που αποκτήθηκε από την ανάπτυξη ενός κινητήρα μεσαίων στροφών είναι η βάση για την επιτυχία για τον δίχρονο διπλού καυσίμου». Η πετρελαιοκίνητη σειρά της Wartsila δίχρονων κινητήρων, "Flex" που προέρχονται από τις φημισμένες Sulzer RTA ντίζελ κινητήρες πλοίων. Ο σχεδιασμός του X-DF διπλού καυσίμου είναι μία περαιτέρω εξέλιξη.

7.2 Κύκλος καύσης Otto



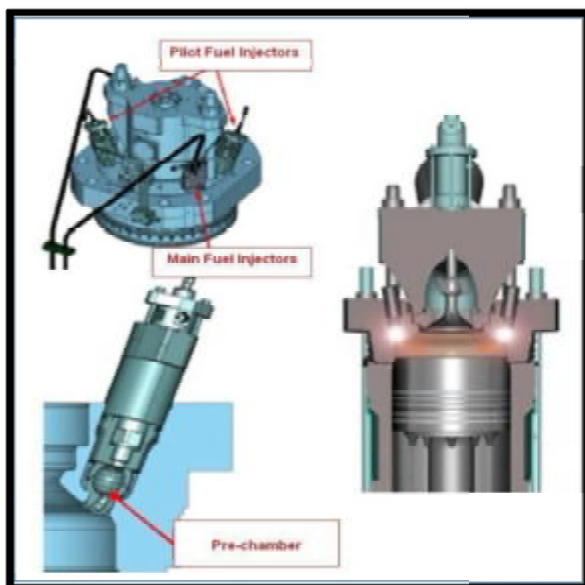
Η βάση του σχεδιασμού του κινητήρα Wartsila DF - δίχρονους και τετράχρονους - είναι η αρχή της καύσης του κύκλου Otto. Αυτό αναφέρεται επίσης ως κύκλος με "προ-αναμεμιγμένο" ή "φτωχό μείγμα".

X-DF Αρχές του κύκλου Otto:

- Προ-αναμεμιγμένο ή "φτωχό μείγμα" καύσης
- Εισαγωγή αερίου χαμηλής πίεσης στη μέση της διαδρομής
- Ανάφλεξη από το pilot fuel στον προθάλαμο

Η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ του κύκλου Otto και του κύκλου Diesel είναι ότι με τον κύκλο Otto το αέριο ως καύσιμο ψεκάζεται σε κάθε κύλινδρο του κινητήρα νωρίς στο χρόνο συμπίεσης και αναμιγνύεται με τον αέρα απαγωγής που έχει ήδη εισαχθεί. Αυτό το μείγμα αέρα-καυσίμου στη συνέχεια συμπιέζεται καθώς το έμβολο ολοκληρώνει την κίνηση του και η ανάφλεξη καθορίζεται από την χρονομετρημένη έγχυση του pilot fuel που ξεκινάει τη διαδικασία της καύσης.

Η πίεση στον κύλινδρο είναι σχετικά χαμηλή στο σημείο που εισάγεται το αέριο. Για το λόγο αυτό το μόνο απαραίτητο είναι να ρυθμίζει την πίεση εγχύσεως του αερίου περίπου στα 15 bar.



Εικόνα 7.2: Pilot Fuel

7.3 Pilot Fuel System για την X-DF

Ο σχεδιασμός του συστήματος Pilot Fuel βασίζεται στην εμπειρία της Wartsila στους τετράχρονους κινητήρες. Η τροφοδοσία καυσίμου γίνεται μέσω ενός συστήματος common-rail και σωληνώσεων έγχυσης πετρελαίου, ο χρονοσμός ελέγχεται ηλεκτρονικά μέσω του ελέγχου του κινητήρα και του συστήματος αυτοματισμού.

Οι κυλινδροκεφαλές ενσωματώνουν ένα «προθάλαμο» μετά από κάθε μπεκ ψεκασμού pilot fuel. Ο προ-θάλαμος είναι ουσιαστικά ένας «ενισχυτής» της πηγής ανάφλεξης

και η Wartsila υποστηρίζει ότι αυτοί οι προθάλαμοι διευκολύνουν την πληρέστερη καύση του μίγματος αέρα-καυσίμου-αερίου.

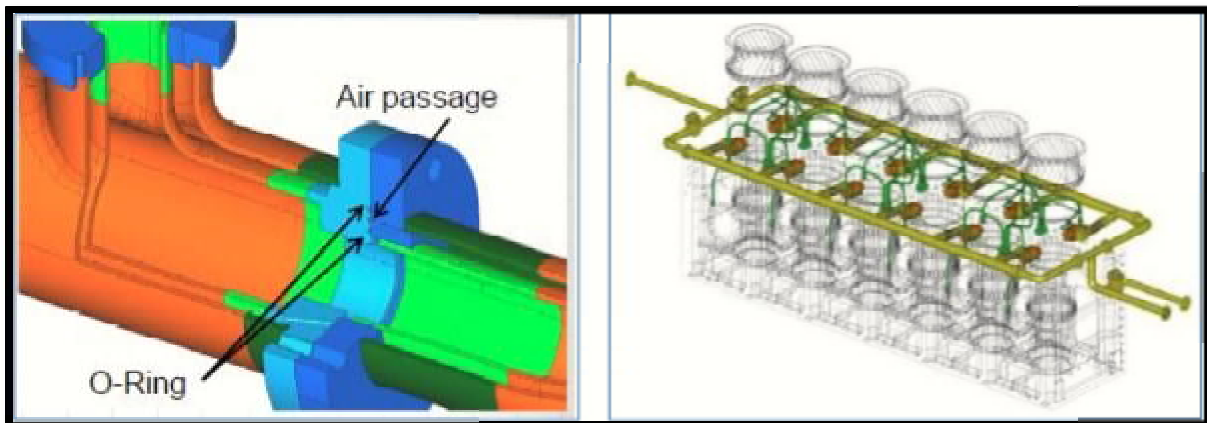
Η Wartsila έχει δηλώσει ότι, για πρακτικούς λόγους, για τους κινητήρες τους χρησιμοποιούν επί του παρόντος μόνο MDO ως pilot fuel, ωστόσο, έχουν δηλώσει την πρόθεσή τους να αναπτύξουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν HFO ως καύσιμο πιλότου σε κάποιο σημείο στο μέλλον.

7.4 Παροχή αερίου και Συστήματα ελέγχου

Το σύστημα χειρισμού του καυσίμου αερίου που συνδέεται με την πρόταση της Wartsila X-DF LP2S είναι ουσιαστικά η ίδια τεχνολογία που είναι σήμερα σε λειτουργία στα πλοία εξοπλισμένα με τετράχρονους κινητήρες DF, αλλά με αυξημένη χωρητικότητα του συμπιεστή. Η FGHS περιλαμβάνει κρουγονικές αντλίες, ψεκασθήρες, ομίχλη διαχωριστές, συμπιεστές για την παροχή καυσίμου αερίου υπό πίεση προς το σταθμό διαχείρισης αερίου (Gas Valve Unit). Η FGHS παρέχει αέριο σε πίεση 15 bar στους δίχρονους κινητήρες μέσω μιας Gas Valve Unit για κάθε κινητήρα και η κύρια διαφορά μεταξύ των τετράχρονων κινητήρων DF FGHS και των δίχρονων κινητήρων X-DF FGHS φέρουν οι συμπιεστές - ο εφοδιασμός των δίχρονων κινητήρων X-DF απαιτεί συμπιεστές 6ου σταδίου, σε σύγκριση με του 4ου σταδίου.

7.5 Σύστημα σωληνώσεων αερίου

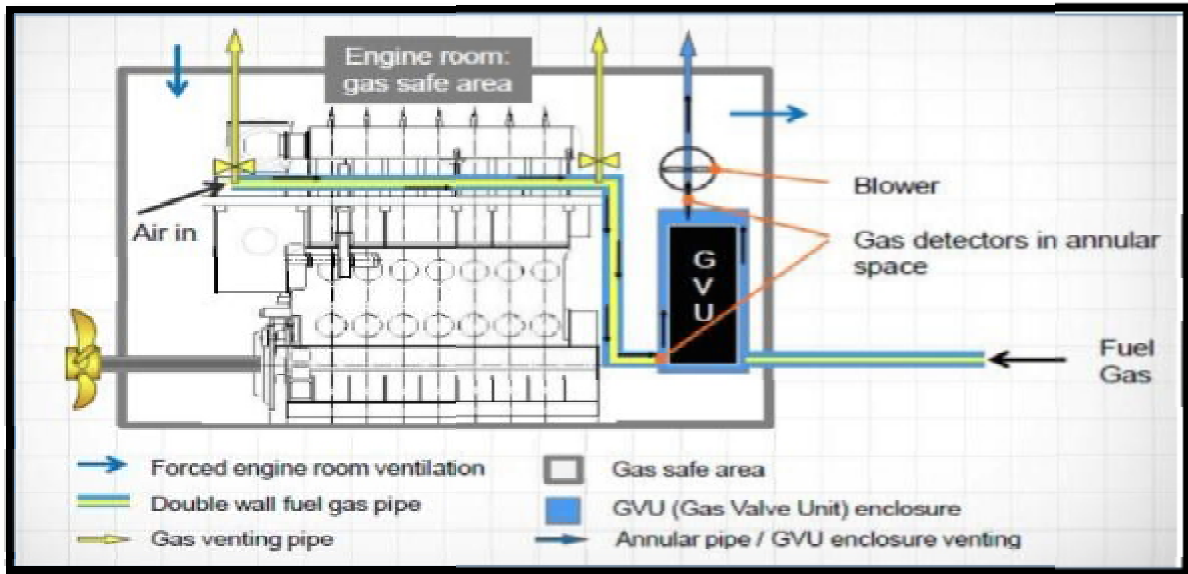
Το αέριο παραδίδεται μέσω ενός διπλού τοιχώματος συστήματος σωληνώσεων στο οποίο ο δακτυλιοειδής χώρος γύρω από το εσωτερικό του σωλήνα παροχής αερίου είναι υπό πίεση με παροχή σε όγκο 30 φορές ανά ώρα. Το σύστημα εξαερισμού παρακολουθείται για την παρουσία αερίου στο δακτυλιοειδή χώρο. Η ανίχνευση αερίων ενεργοποιεί έναν συναγερμό και η αυτοματοποίηση του κινητήρα και το σύστημα ελέγχου αλλάζει την παροχή καυσίμου από αέριο σε πηγή καυσίμου MDO.



Εικόνα 7.3: Wartsila X-DF σύστημα σωληνώσεων διπλού τοιχώματος.

Εικόνα 7.4: Διάταξη παροχής αερίου καυσίμου γύρω από έναν κινητήρα.

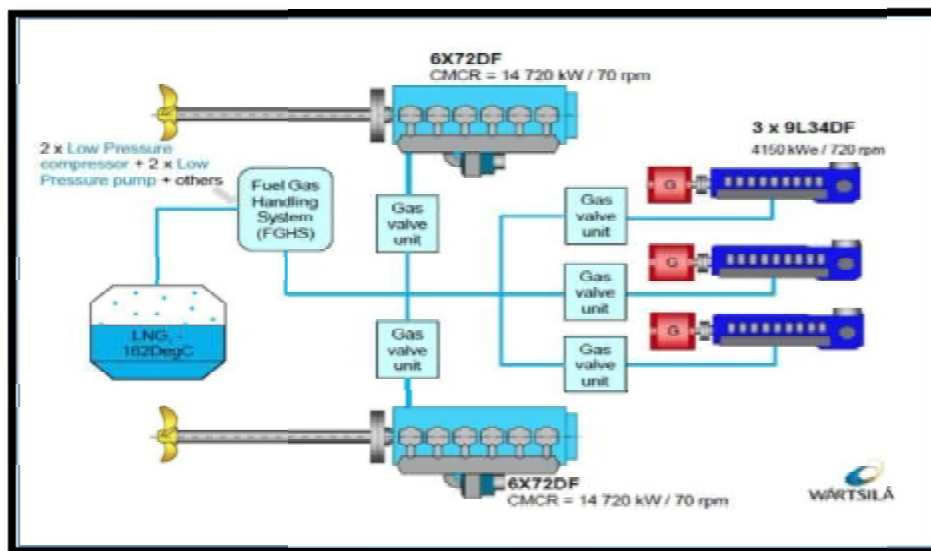
Λόγω του σχετικά (σε σχέση με το σύστημα της MAN) χαμηλή πίεση του αερίου που χρησιμοποιείται στο σύστημα της Wartsila, οι σωληνώσεις για την παροχή φυσικού αερίου προς τις μηχανές είναι μεγαλύτερης διαμέτρου, ώστε να επιτευχθεί η μάζα του αερίου που απαιτείται. Η σωλήνα παροχής αερίου της Wartsila X-DF γενικά κατασκευάζεται σε 105 χιλιοστά NB σε σύγκριση με τα 25mm NB για τη MAN ME-GI.



Εικόνα 7.5: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος εξαερισμού των σωληνώσεων αερίου και παρακολούθησης της Wartsila X-DF

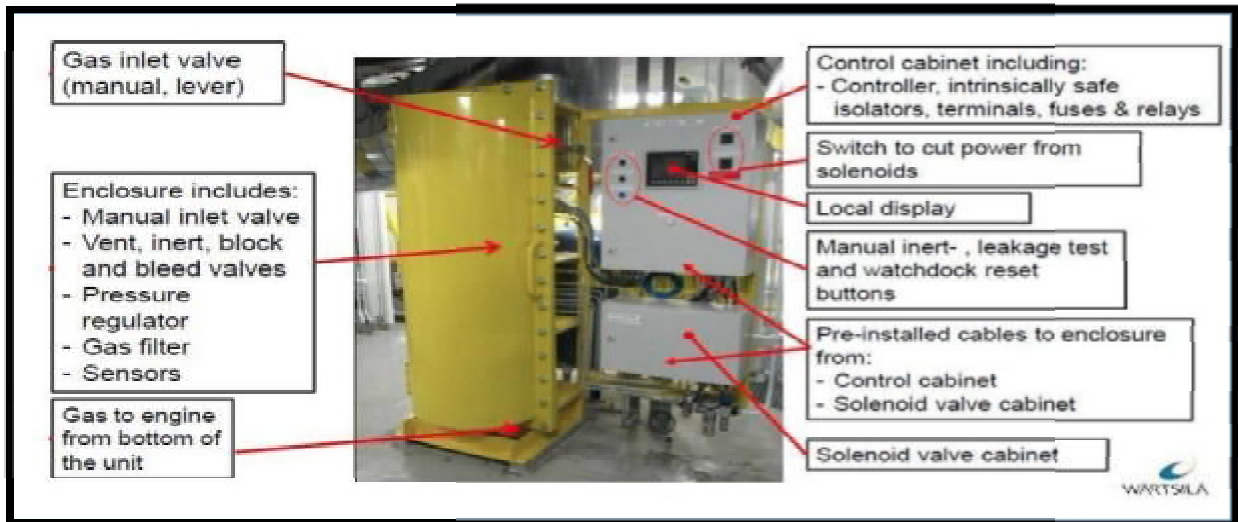
7.6 Σταθμός διαχείρισης αερίου (Gas Valve Unit)

Κάθε κινητήρας της Wartsila έχει ατομική Gas Valve Unit (GVU-EDTM), η οποία είναι εντελώς κλειστή και ουσιαστικά αποτελεί ως αναπόσπαστο μέρος του συστήματος διπλού τοιχώματος σωληνώσεων αερίου. Η GVU-ED στην πρόταση της Wartsila μπορεί να βρίσκεται είτε μέσα στο μηχανοστάσιο ή εξωτερικά.



Εικόνα 7.6: Σχηματική Διάταξη του συστήματος παροχής της Wartsila X-DF.

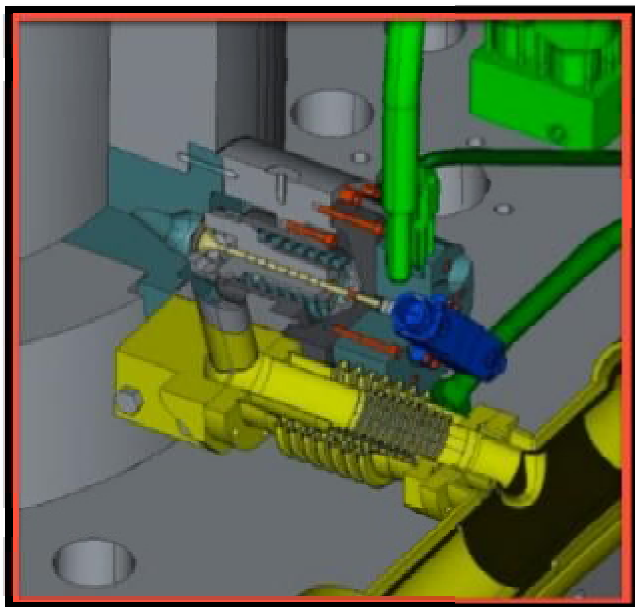
Μέσα στο σφραγισμένο περίβλημα είναι μια σειρά από βαλβίδες, ρυθμιστές και αισθητήρες που αποτελούν ουσιαστικό μέρος του συστήματος ασφαλείας του φυσικού αερίου, προστατεύοντας το μηχανοστάσιο και το προσωπικό από τυχαία έκλυση αερίων στο περιβάλλον.



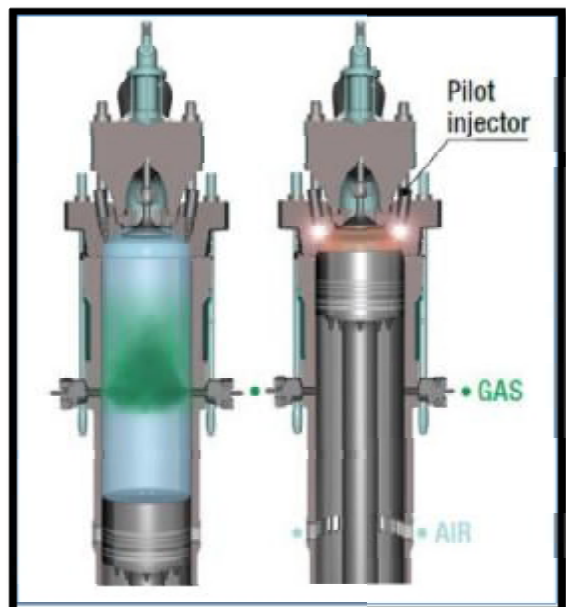
Εικόνα 7.7: Gas Valve Unit

7.7 Βαλβίδες εισαγωγής αερίου (Gas Admission Valves)

Υπάρχουν δύο Βαλβίδες Εισαγωγής Αερίου ανά κύλινδρο και λειτουργούν υδραυλικά από το σερβοσύστημα λαδιού το οποίο λειτουργεί επίσης τη βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων. Η χρονική στιγμή της εισαγωγής του αερίου ελέγχεται από το μηχανισμό της Wartsila UNIC™ (Unified Control) ελέγχου του κινητήρα και του συστήματος αυτοματισμού, η οποία διαχειρίζεται επίσης το χρονοισμό των βαλβίδων Pilot Fuel για την έγχυση καυσίμου και τις βαλβίδες της εξάτμισης, εκτός από την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας.



Εικόνα 7.8: Βαλβίδα εισαγωγής αερίου στον X-DF.



Εικόνα 7.9: Συμπύεση και ανάφλεξη Αερίου.

Σημειώνεται ότι η εισαγωγή του αερίου καυσίμου επιτυγχάνεται μέσω δύο Βαλβίδων Εισαγωγής Αερίου τοποθετημένες σε μία θέση πλησίον του μέσου του μήκους της επένδυσης του κυλίνδρου. Αυτό σημαίνει ότι τα χιτώνια της X-DF είναι διαφορετικό σχέδιο από ό,τι άλλα χιτώνια κυλίνδρων στο χαρτοφυλάκιο των κινητήρων της Wartsila. Όταν προτάθηκε στη Wartsila ότι η θέση της Βαλβίδας Εισαγωγής Αερίου ήταν μια ανησυχία, λόγω της πιθανότητας θερμομηχανικής συγκεντρώσεις τάσεων, η Wartsila απάντησε ότι είχαν ερευνήσει την ενσωμάτωση των Βαλβίδων Εισαγωγής Αερίου στα χιτώνια των κυλίνδρων και είχαν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις των τάσεων που εφαρμόζονται λόγω της σχετικά χαμηλής θέσης στην οποία τις τοποθετούν. Δυστυχώς δεν ήταν διαθέσιμες ακριβείς λεπτομέρειες για την αξιολόγηση του σχεδιασμού.

Η εμπειρία της Wartsila στους τετράχρονους κινητήρες στα DFDE / TFDE συστήματα πρόωσης έχει δείξει ότι Βαλβίδες Εισαγωγής Αερίου (GAVs) μπορεί να είναι προβληματικές, και η θραύση του ελατηρίου της βαλβίδας έγχυσης ήταν επίσης ένα θέμα. Η διαρροή από μία GAV θα μπορούσε να προκαλέσει το φυσικό αέριο να εισέλθει σε έναν κύλινδρο έξω από τον ακριβή χρονισμό που απαιτούνται για τη βέλτιστη καύση, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε υπερβολικές πιέσεις στην κορυφή της καύσης και να έχουμε ατελή καύση κ επομένως την εμφάνιση του "knocking effect" (αναφέρεται στη σελίδα). Η διαρροή σε μια GAV θα μπορούσε επίσης να είναι μια πιθανή αιτία, το φυσικό αέριο να βρεθεί στην περιοχή κάτω από το έμβολο το οποίο είναι μια πιθανή αιτία πυρκαγιάς ή έκρηξης. Οι αισθητήρες πίεσης του κυλίνδρου ενσωματώνονται στο UNIC™ ελέγχου του κινητήρα και αυτοματοποίησης του συστήματος για την παρακολούθηση και τη διαχείριση αυτού του πιθανού φαινομένου. Παρόμοιοι αισθητήρες ανίχνευσης αερίων έχουν εγκατασταθεί σε περιοχές κάτω από το έμβολο για να ανιχνεύσουν πιθανή παρουσία αερίου. Η ανίχνευση ενός εκ των δύο αυτών γεγονότων, θα ενεργοποιήσει ένα συναγερμό και αυτόματα θα αλλάξει το καύσιμο του κινητήρα από αέριο σε MDO ή HFO. Οι Βαλβίδες Εισαγωγής Αερίου (GAVs) των δίχρονων κινητήρων φαίνεται να είναι μια πιο δυναμική σχεδίαση και δεδομένου ότι η ταχύτητα λειτουργίας δίχρονου κινητήρα είναι πολύ πιο αργή από ό,τι η ταχύτητα λειτουργίας του τετράχρονου DFDE / TFDE κινητήρα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι η αποτυχία του ελατηρίου της βαλβίδας έγχυσης δεν θα ήταν ένα ζήτημα στην λειτουργία ωστόσο δεν υπάρχει καμία επιχειρησιακή δοκιμή να στηρίζει αυτή την υπόθεση.

8. MAN ME-GI

8.1 Ανάλυση της μηχανής MAN ME-GI

Η MAN Diesel & Turbo είναι ένας πολύ γνωστός κατασκευαστής μεγάλων κινητήρων ντίζελ για χρήση σε πλοία και σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και έχει τις ρίζες της στη Δανέζικη εταιρεία Burmeister και Wain η οποία εξαγοράστηκε από τη MAN το 1980. Η MAN B&W Diesel μετονομάστηκε σε MAN Diesel το 2006. Οι κινητήρες ME-GI που προέρχονται από την πολύχρονη σειρά ME MAN κινητήρων, που υπάρχουν στην παραγωγή / λειτουργία για περισσότερα από 10 χρόνια, και η MAN δηλώνει ότι υπάρχουν εκατοντάδες κινητήρες σε λειτουργία σε ολόκληρο τον κόσμο.

Η MAN επιδιώκει επίσης να ικανοποιήσει τη ζήτηση για μεγάλο διαμετρήματος δίχρονους κινητήρες αερίου ως καύσιμο και ο σχεδιασμός έγχυσης αερίου τους λειτουργεί σε υψηλότερη πίεση, που αναφέρεται ως η επιλογή για την HP2S. Στη MAN σήμερα έχουν συνολικά 52 κινητήρες ME-GI κατά παραγγελία για μια ποικιλία πλοιοκτητών, η οποία περιλαμβάνει 28 του τύπου G70ME-GI.

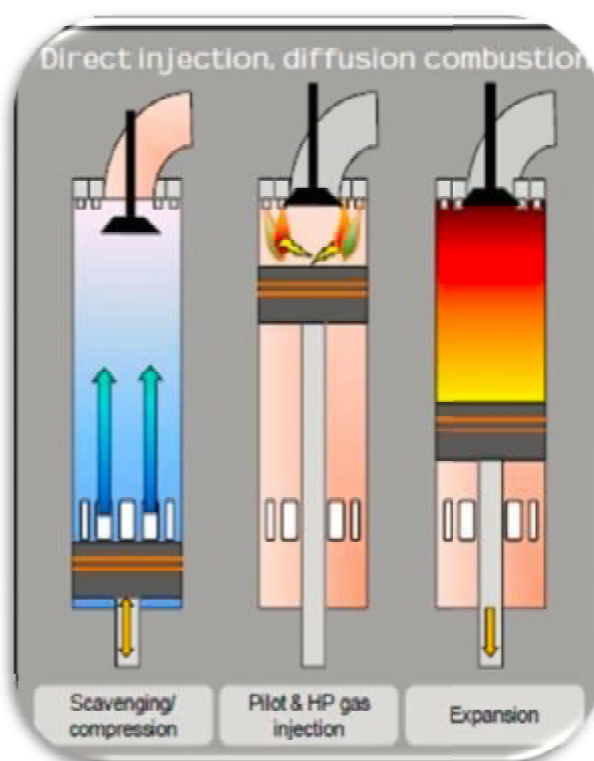
8.2 Κύκλος καύσης Diesel

Η βάση του σχεδιασμού της MAN ME-GI κινητήρα διπλού καυσίμου HP2S είναι η αρχή του κύκλου καύσης Diesel. Ο κύκλος Diesel χρησιμοποιείται εκτενώς για το πετρέλαιο ως καύσιμο κινητήρων σε εφαρμογές - πλοίων, βιομηχανικές, αυτοκίνητα, κλπ με το αέριο Diesel Cycle ως καύσιμο εγχέεται μέσα σε κάθε κύλινδρο του κινητήρα σε ακριβή χρόνο κοντά στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης, η οποία είναι η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ του κύκλου Otto και του κύκλου Diesel. Το Pilot fuel oil εγχέεται επίσης και στην ανάφλεξη του μίγματος αέρα-καυσίμου για να ξεκινήσει τη διαδικασία της καύσης.

ME-GI Αρχές του κύκλου Diesel:

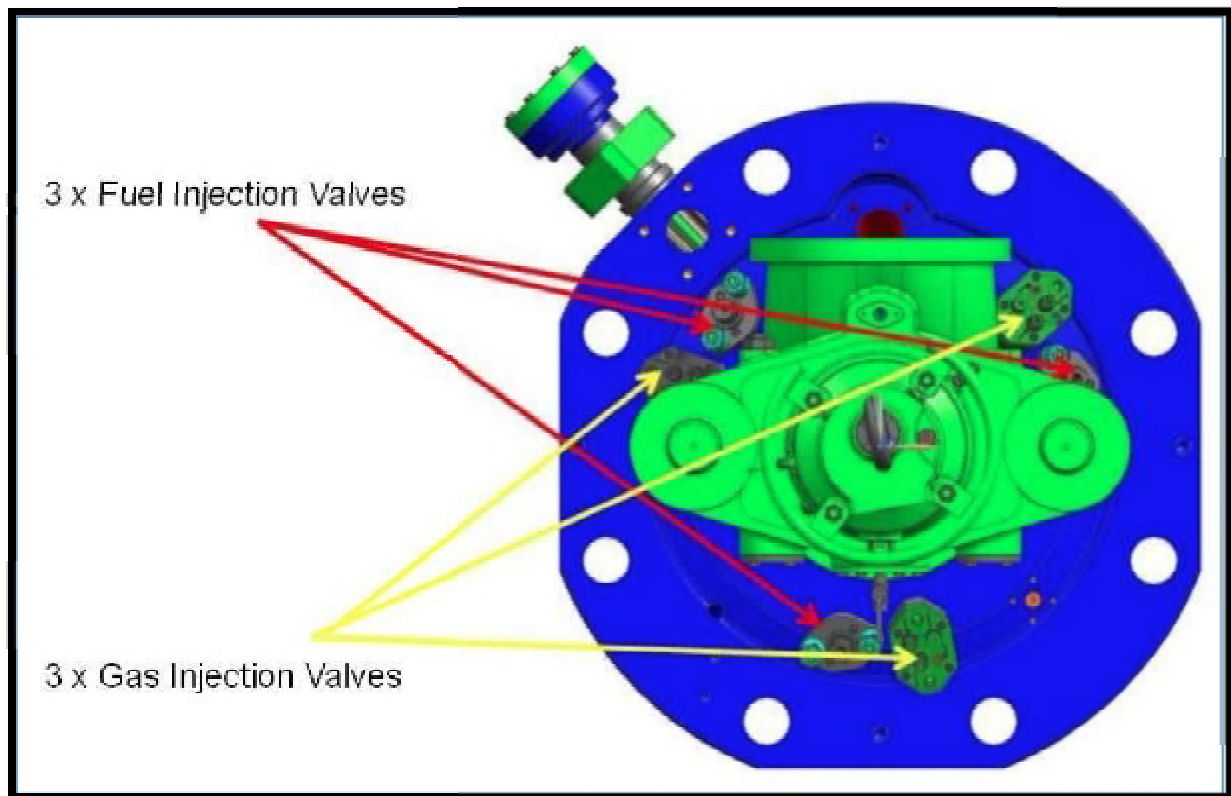
- Άμεση έγχυση αερίου
- Εισαγωγή φυσικού αερίου κοντά στο TDC
- Ανάφλεξη από το Pilot fuel oil

Η πίεση στον κύλινδρο είναι σχετικά υψηλή στο σημείο που εισάγεται το αέριο. Για το λόγο αυτό, η πίεση έγχυσης του αερίου πρέπει να ρυθμίζεται περίπου στα 300 bar, για να ξεπεραστεί η πίεση του πεπιεσμένου φορτίου αέρα εντός των κυλίνδρων.



8.3 Pilot Fuel System για την ME-GI

Το Pilot fuel στον κινητήρα ME-GI παραδίδεται μέσω συμβατικών μπεκ ψεκασμού καυσίμου. Το σύστημα pilot oil fuel είναι ουσιαστικά το ίδιο σύστημα που είναι σε ισχύ στους ήδη υπάρχοντες κινητήρες πετρελαίου ME που είναι σε λειτουργία. Ο χρονισμός του ψεκασμού ελέγχεται από τον ME-ECS αυτοματισμό του κινητήρα και το σύστημα ελέγχου του κινητήρα.



Εικόνα 8.2: Διάταξη των μπεκ καυσίμου και αερίου στην κυλινδροκεφαλή του ME-GI.

Ο κινητήρας ME-GI μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε HFO ή MDO ως pilot fuel.

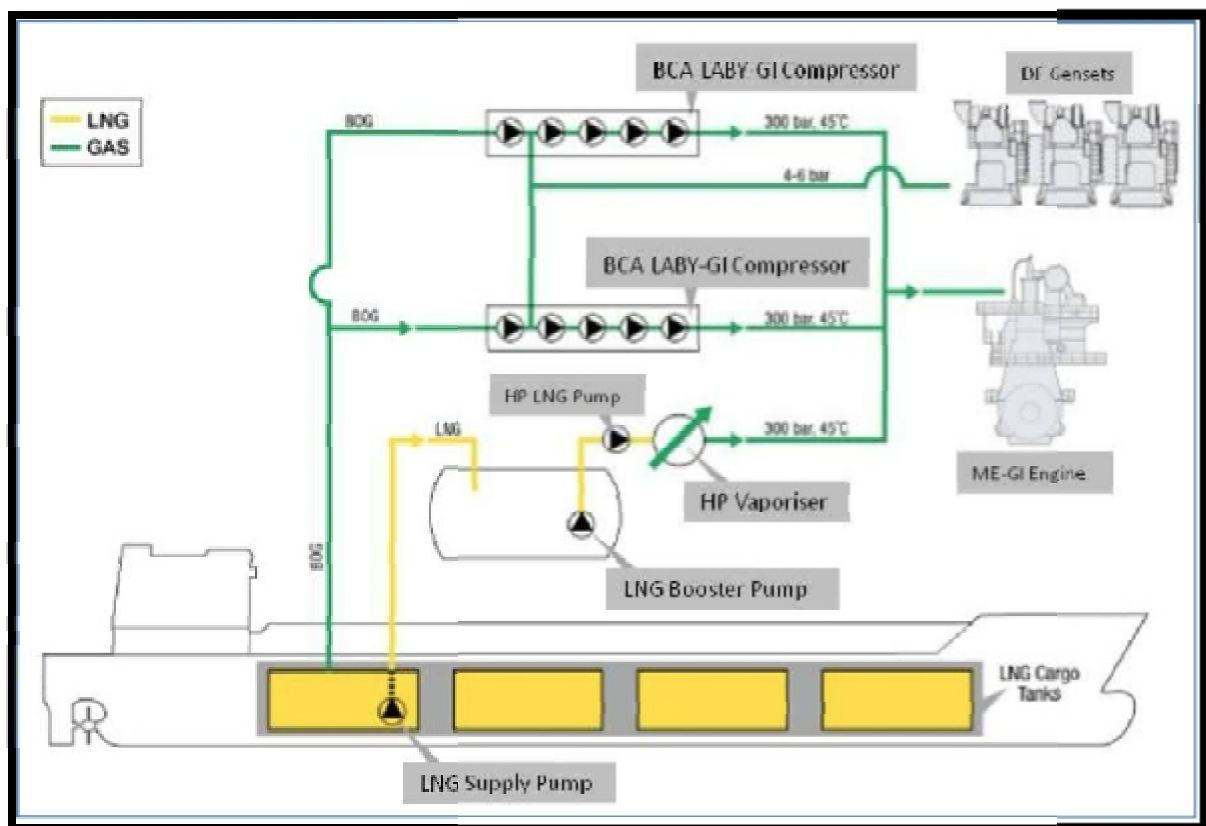
8.4 Παροχή αερίου και Συστήματα ελέγχου

Το σύστημα χειρισμού του αερίου καυσίμου που έχει επιλεγεί για την πρόταση της MAN ME-GI διαφέρει από τα συστήματα FGHS που προτείνονται για την X-DF και τους τετράχρονους DF κινητήρες από το γεγονός ότι λειτουργεί σε πίεση 300 bar. Αυτό σημαίνει ότι ο βοηθητικός εξοπλισμός που απαιτείται για την παροχή του αερίου σε υψηλότερη πίεση προσθέτει ένα βαθμό πολυπλοκότητας συν κάποια στοιχειώδη ηλεκτρικά φορτία. Το ακριβές ποσό των πρόσθετων ηλεκτρικών έχει εκτιμηθεί, αλλά δεν θα επικυρωθεί στην πραγματικότητα μέχρι να ολοκληρωθούν οι θαλάσσιες δοκιμές.

Το σύστημα διαχείρισης αερίου καυσίμου της MAN ME-GI περιλαμβάνει:

- HP συμπιεστές
- HP κρυογονικές αντλίες
- HP ψεκαστήρα / διαχωριστή

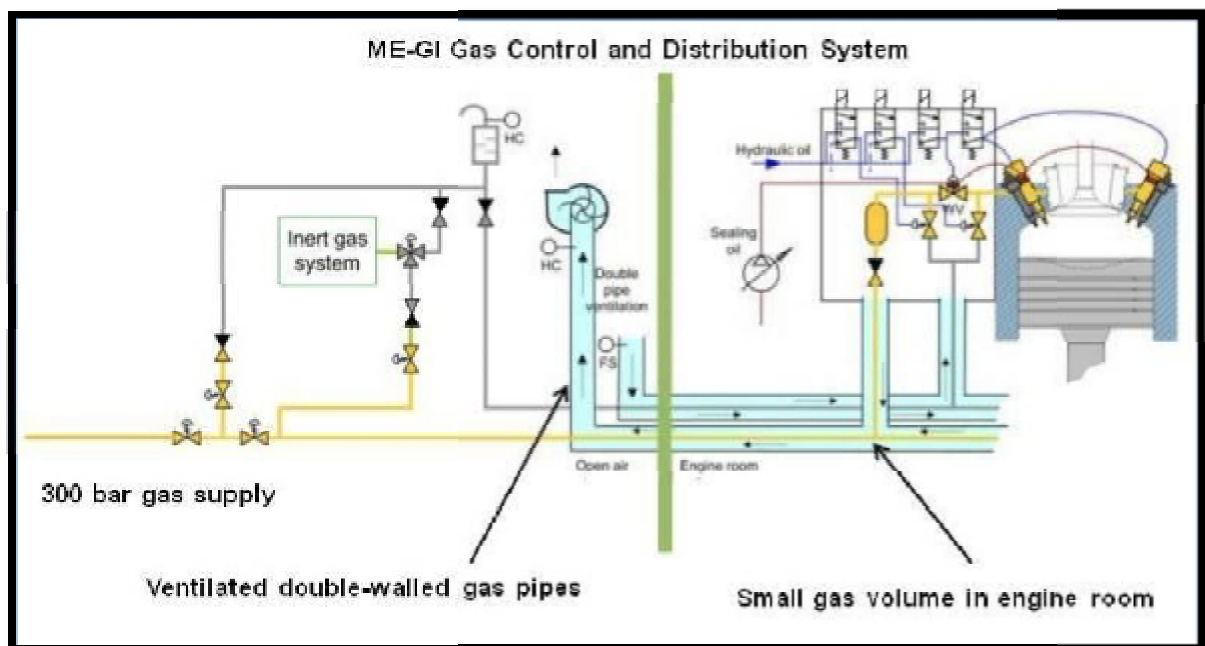
Όλα κατάλληλα σχεδιασμένα για την παράδοση του αερίου καυσίμου για τις μηχανές στα 300 bar ονομαστική πίεση.



Εικόνα 8.3: Σχηματική Γενική Διάταξη της Παροχής Αερίου της MAN ME-GI.

8.5 Σύστημα σωληνώσεων αερίου

Όπως και με το σχέδιο της Wartsila, έτσι και για το σχέδιο της MAN το αέριο καύσιμο παραδίδεται μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων διπλού τοιχώματος στο οποίο ο δακτυλιοειδής χώρος γύρω από το εσωτερικό του σωλήνα παροχής αερίου είναι υπό πίεση (ισοτιμία όγκου 30 φορές ανά ώρα) και παρακολουθείται για την παρουσία αερίου μέσα στο σύστημα εξαερισμού. Η ανίχνευση αερίων ενεργοποιεί έναν συναγερμό και το σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου του κινητήρα μαζί με το σύστημα ελέγχου αερίου ακαριαία διακόπτει την παροχή φυσικού αερίου, αλλάζει την τροφοδοσία του κινητήρα σε MDO / μαζούτ και καθαρίζει τις σωληνώσεις παροχής αερίου με άζωτο.

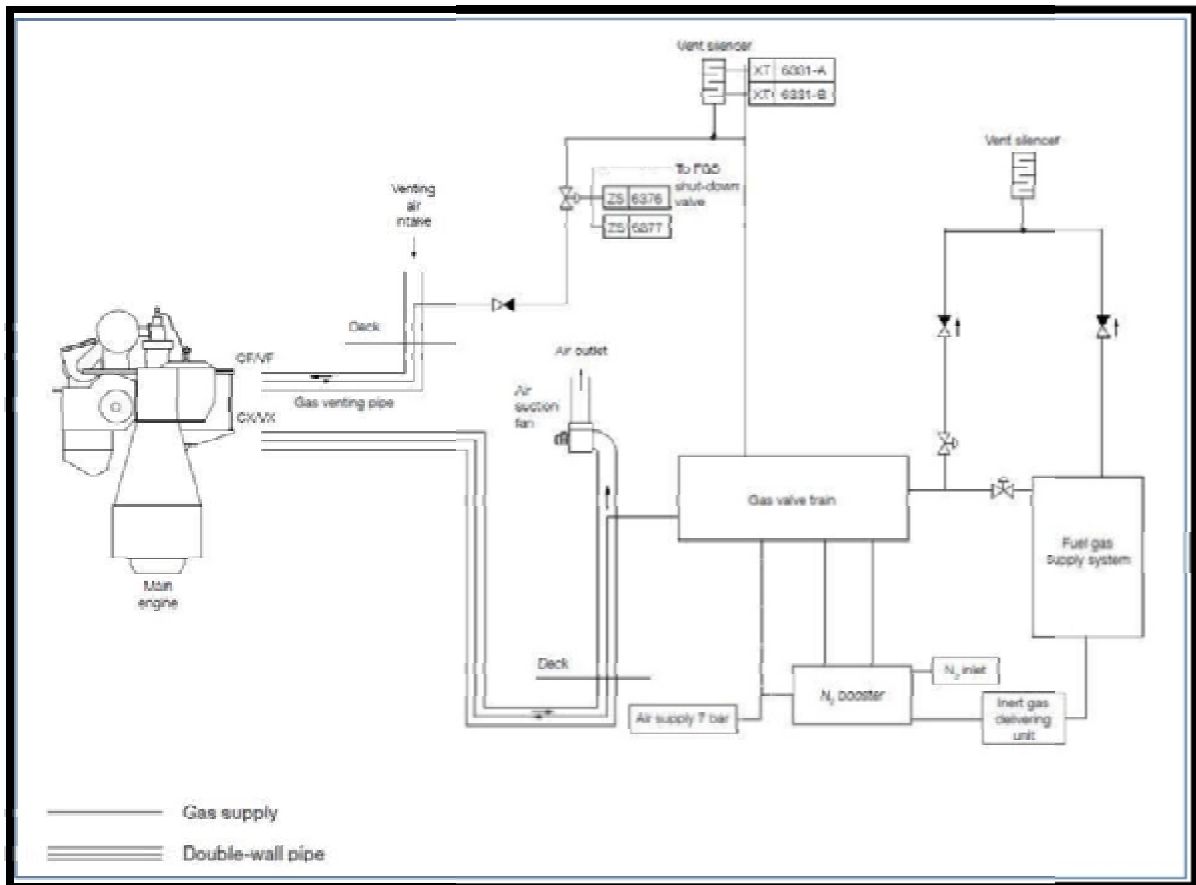


Εικόνα 8.4: ME-GI σύστημα ελέγχου του αερίου & διανομής.

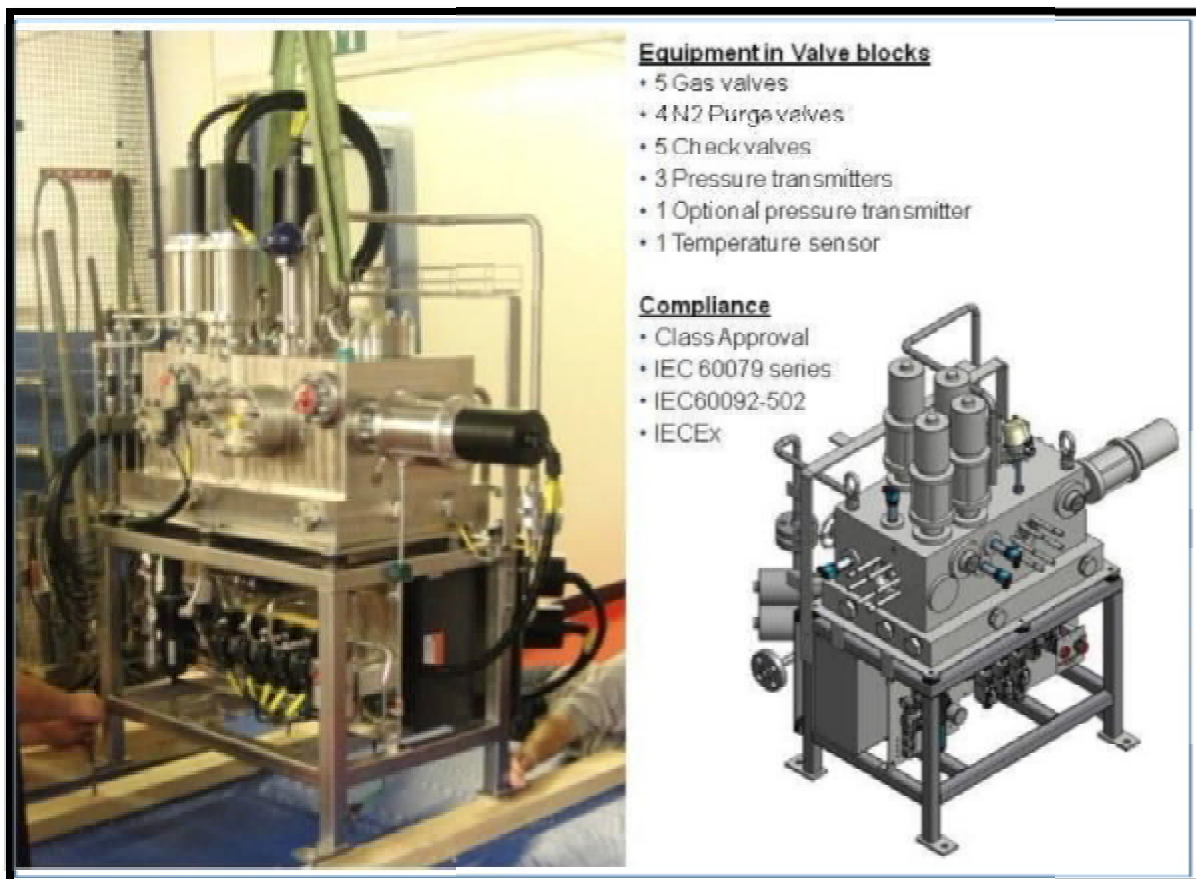
Η πίεση του αερίου στα 300 bar σημαίνει ότι ένας σωλήνας μικρότερης διαμέτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί - γενικά 25mm NB - αν και το πραγματικό μέγεθος των σωληνώσεων, θα καθοριστεί από τα Ναυπηγεία ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πτώσεις πίεσης σε όλο το σύστημα παροχής αερίου. Οι εσωτερικοί (προμήθειας) σωλήνες κατασκευάζονται σε διπλής όψης ανοξείδωτο χάλυβα ποιότητας EN1.4462 με σχεδιασμό για πίεση 330 bar. Η πίεση δοκιμής είναι 495 bar. Οι εξωτερικοί σωλήνες (αεριζόμενοι) που κατασκευάζονται από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα και είναι σχεδιασμένοι να αντέχουν 181 bar πίεση, ακόμη και αν το σενάριο των 181 bar που εφαρμόζεται στο εξωτερικό σωλήνα δεν θα μπορούσε να συμβεί στην πράξη λόγω της σχεδίασης ανοικτού άκρου του δακτυλιοειδούς εξαερισμού χώρων σε διπλού τοιχώματος σωλήνα.

8.6 Σταθμός διαχείρισης αερίου (Gas Valve Train)

Η Gas Valve Train (GVT) είναι η ορολογία της MAN για την πρωτογενή μονάδα ελέγχου του φυσικού αερίου - που ισοδυναμεί με τη Gas Valve Unit (GVU) της Wartsila - και όπως στη Wartsila, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα GVT σε κάθε κινητήρα, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων των γεννητριών. Η GVT για κινητήρες ME-GI έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με πεπιεσμένο φυσικό αέριο έως και 400 bar πίεση. GVT συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για εγκατάσταση είτε στο μηχανοστάσιο ή σε ειδικό χώρο (κλειστούς ή ανοιχτούς) έξω από το μηχανοστάσιο. Η MAN δήλωσε προτίμηση για τα GVTs να βρίσκονται έξω από το μηχανοστάσιο επειδή οι πρωτογενείς βαλβίδες απομόνωσης αερίου ενσωματώνονται στην GVT



Εικόνα 8.5: Σχεδιάγραμμα της Gas Valve Train της MAN ME-GI.



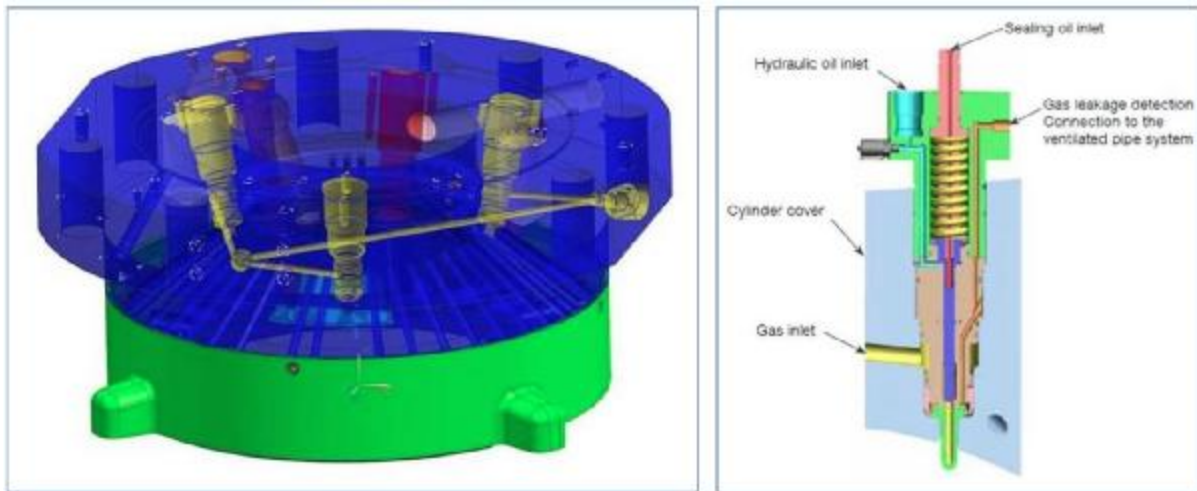
Εικόνα 8.6: MAN ME-GI Integral Gas Valve Train Arrangements

Βαλβίδες, ρυθμιστές και αισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε ένα ενιαίο μπλοκ (όπως φαίνεται) ή, εναλλακτικά, η MAN μπορεί να καθορίσει επιμέρους εξαρτήματα στα ναυπηγεία για τη συναρμολόγηση κατά παραγγελία GVTs.

8.7 Βαλβίδες έγχυσης αερίου (Gas Injection Valves)

Ο κινητήρας ME-GI έχει συνήθως τρεις βαλβίδες εισαγωγής αερίου που είναι τοποθετημένες στο κάλυμμα κάθε κυλίνδρου, και το αέριο διανέμεται μέσα στο κάλυμμα του κυλίνδρου μέσω ειδικών οπών που ενσωματώνονται για το σκοπό αυτό, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για πρόσθετες εξωτερικές σωληνώσεις. Τα μπεκ αερίου έχουν σχεδιαστεί από τη MAN και έχουν παρόμοιο σχέδιο με τα μπεκ ψεκασμού καυσίμου πετρελαίου, αν και με ακόμη λιγότερα εσωτερικά εξαρτήματα. Η MAN ισχυρίζεται ότι αυτές οι βαλβίδες έγχυσης αερίου έχουν εγκατασταθεί σε μια μηχανή αερίου στην σταθμού Chiba στην ανατολική ακτή της Ιαπωνίας με περισσότερες από 20.000 ώρες αξιόπιστης λειτουργίας. Η εγκατάσταση αυτή χαρακτηρίστηκε ως η πρώτη μεγάλου διαμετρήματος άμεσου ψεκασμού δίχρονου κινητήρα φυσικού αερίου στον κόσμο - μια MAN 12K80MC-GI - όταν εγκαταστάθηκε το 1994 προσφέροντας έως και 40 MW ισχύος στο εγχώριο δίκτυο για την Εταιρεία Ηλεκτρικής

Ενέργειας του Τόκιο. Αυτή η μηχανή έχει ήδη παροπλιστεί, ωστόσο κατά τη διάρκεια των χρόνων λειτουργίας της χρησιμοποιήθηκε για να δοκιμαστεί και να τελειοποιηθεί η τεχνολογία ψεκασμού αερίου υψηλής πίεσης (350 bar).



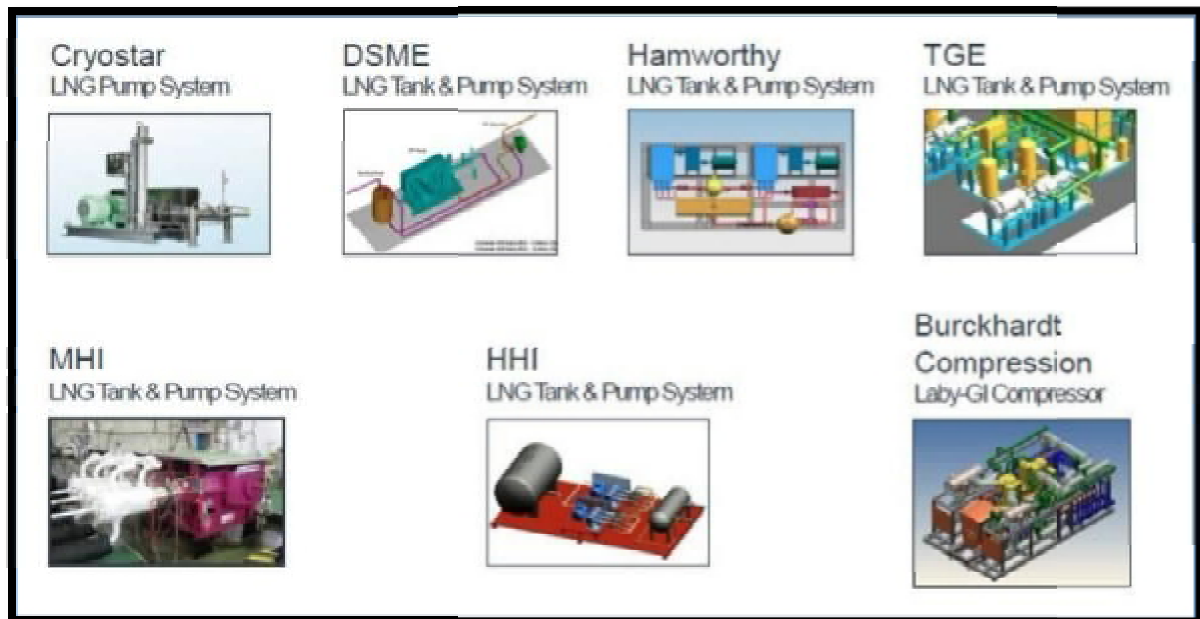
Εικόνα 8.7: Ενσωματωμένα μπεκ αερίου στην κυλινδροκεφαλή. **Εικόνα 8.8:** Βαλβίδα έγχυσης αερίου.

Όταν ρωτήθηκε συγκεκριμένα για θέματα στα ελατήρια της βαλβίδας του μπεκ αερίου, από τη MAN δήλωσαν ότι δεν έχουν δει οποιαδήποτε προβλήματα θραύσης με το ελατήριο της βαλβίδας κατά τη διάρκεια των 20.000 ωρών λειτουργίας στη Chiba. Περαιτέρω, η απλότητα του σχεδιασμού του Gas Injector προωθεί την ευκολία της συντήρησης και βαθμονόμησης επί του σκάφους, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί από το προσωπικό του πλοίου. Το πεδίο εφαρμογής της προμήθειας εξοπλισμού από τη MAN περιλαμβάνει ένα Opel Gas Tester το οποίο είναι παρόμοιο με μια τυπική διάταξη δοκιμής μπεκ ψεκασμού καυσίμου και το οποίο ενσωματώνει λειτουργίες ελέγχου για τον εντοπισμό τυχόν διαρροών αερίου εντός της έγχυσης κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

9. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

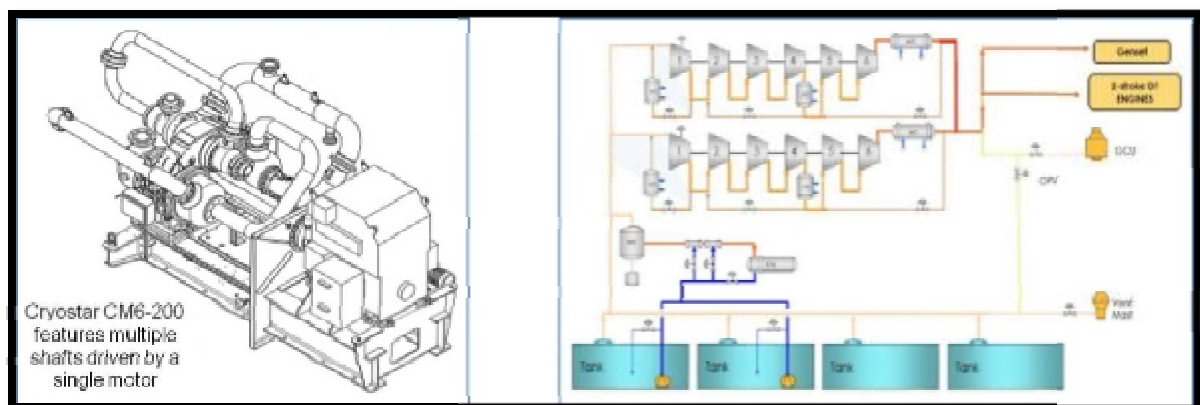
9.1 Συμπιεστές αερίου

Ένα βασικό συστατικό στην τροφοδοσία φυσικού αερίου ως καύσιμο είτε για τη Wartsila LP2S ή τον κινητήρα MAN HP2S είναι ο συμπιεστής αερίου και είναι διαθέσιμος από ένα περιορισμένο αριθμό κατασκευαστών.



Εικόνα 9.1: Pumps & Compressors

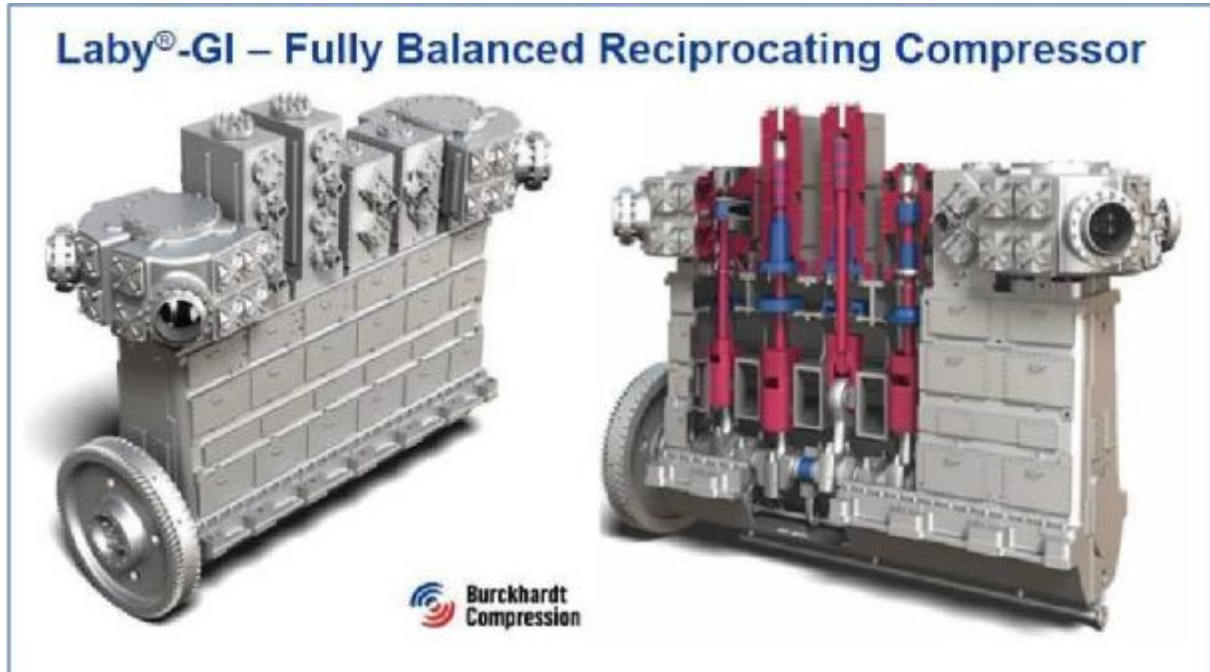
Η SHI προτείνει την επιλογή Wartsila FGHS και ενσωματώνουν τον Cryostar CM6200 έξι σταδίων φυγόκεντρο συμπιεστή φυσικού αερίου, η οποία είναι μια εξέλιξη του CM4 -200 τεσσάρων σταδίων συμπιεστή τους, παρόλο που αυτή τη στιγμή ο συμπιεστής έξι σταδίων δεν είναι σε εμπορική παραγωγή.



Ο συμπιεστής της Cryostar CM6-200 είναι ικανός να μεταφέρει ένα ρυθμό ροής έως 4.900 κιλά / ώρα σε 17 bar πίεση, η οποία είναι επαρκής για τις ανάγκες εφοδιασμού με αέριο

καύσιμο τον κινητήρα X-DF.

Άλλοι αεροσυμπιεστές που είναι διαθέσιμοι από κατασκευαστές όπως Burckhardt Compression που είναι επίσης κατάλληλα για την προμήθεια αερίου καυσίμου τόσο για τους Wartsila X-DF όσο και για τους MAN ME-GI κινητήρες.



Η MAN συνεργάζεται με την Burckhardt από το 2004 για την ανάπτυξη του συστήματος παροχής αερίου για τις HP2S ME-GI μηχανές θαλάσσης τους, πέραν των κοινών Floating Storage και Regasification Project Offshore. Η MAN δημοσίευσε ένα έγγραφο (Ref 5510-0063-03, επικαιροποιημένο το 2012) για την ανάπτυξη της ME-GI τους, η οποία είναι μια χρήσιμη πηγή αναφοράς (MAN ME-GI Paper 5510-0063-03). Η MAN έχει δηλώσει ότι δεν είναι υποχρεωμένοι να χρησιμοποιούν Burckhardt συμπιεστές στα GVT σχέδιά τους και επίσης μπορούν να συνεργαστούν με άλλους γνωστούς κατασκευαστές συμπιεστών, όπως Hamworthy (Ηνωμένο Βασίλειο), Κάμερον Συστήματα (Ιταλία) και Neuman & Esser (Γερμανία), εκτός από την Cryostar, για τα συστήματα εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Τελικά η επιλογή προμηθευτή θα αποτελέσει αντικείμενο διαπραγμάτευσης, ωστόσο, η θαλάσσια εμπειρία ορισμένων από αυτούς τους κατασκευαστές είναι περιορισμένη και θα πρέπει να θεσπίσουν τα διαπιστευτήρια τόσο με τους ιδιοκτήτες όσο και με τα Ναυπηγεία. Όπως πάντα υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνδέονται με μεμονωμένα σχέδια των κατασκευαστών και αυτό το συγκεκριμένο θέμα είναι άξιο βαθύτερης έρευνας.

9.2 Πρωτόκολλα δοκιμών των κατασκευαστών

Κατά τη στιγμή της γραφής τόσο η Wartsila όσο και η MAN ήταν σε θέση να πραγματοποιήσουν τις δοκιμές των αντίστοιχων LP2S τους και HP2S σύγχρονων δίχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου σε σταθμευμένα πρωτότυπα, αν εξαιρέσουμε τον "ηλικιωμένο" MAN MC-GI που λειτουργεί στη Chiba.

Η Wartsila έχει ένα RT-Flex 50 DF κινητήρα δοκιμών, σε μια εγκατάσταση στην Τεργέστη και έχει προσκαλέσει τους ιδιοκτήτες για να παρακολουθήσουν τον κινητήρα σε λειτουργία και να επανεξετάσουν τα UNIC συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου. Η Wartsila έχει ενημερώσει επίσης ότι η Diesel United - ένας από τους δικαιοδόχους τους στην Ιαπωνία - κατασκευάζουν ένα κινητήρα WX72DF ως μια μηχανή δοκιμής. Η κατασκευή έχει ήδη αρχίσει και το πρόγραμμα θα πρέπει να έχει αυτήν τη μηχανή έτοιμη να ξεκινήσει δοκιμές στις αρχές του 2016.

Η MAN είχε εγκαταστήσει μια μηχανή δοκιμής 4T50ME-X στο Κέντρο Ερευνών Diesel τους στην Κοπεγχάγη το 1992. Η μηχανή αυτή τροποποιήθηκε αργότερα για να προωθήσει την περαιτέρω ανάπτυξη του σχεδιασμού της ME-GI με έγχυση αερίου. Στη συνέχεια, είχαν μεγαλύτερο κινητήρα δοκιμής τον 8S70ME-GI που κατασκευάστηκε από την Hyundai και παρουσίασαν τον Νοέμβριο του 2012. Στην Ιαπωνία, η Mitsui κατασκεύασε ένα κινητήρα 6S70ME-GI τον Απρίλιο του 2013. Η MAN πρόσφατα παρέδωσε τον πρώτο δίχρονο κινητήρα διπλού καυσίμου για θαλάσσια χρήση. Αυτός ο κινητήρας 8L70ME-C-GI κατασκευάστηκε από τη Doosan Engine στην Κορέα και παραδόθηκε στο Ναυπηγείο της National Steel & Shipbuilding Company (NASSCO) στο Σαν Ντιέγκο, ΗΠΑ τον Ιούνιο του 2015. Νωρίτερα στη Doosan είχαν ολοκληρωθεί τα Factory Acceptance Tests του κινητήρα με την παρουσία του Ιδιοκτήτη, του Ναυπηγείου και των εκπροσώπων του Νηογνώμονα και επίσης δοκίμασαν το σύστημα παροχής αερίου καυσίμου της ME-GI στο εργοστάσιο της Changwon. Μετά από δύο μήνες εκτεταμένων δοκιμών, το σύστημα αερίου πέρασε τον έλεγχο από το American Bureau of Shipping (ABS) και την Ακτοφυλακή των Ηνωμένων Πολιτειών (USCG). Ο κινητήρας θα εγκατασταθεί στο πρώτο από τα δύο πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, 3.100 TEU, που θα διαχειρίζονται από την TOTE μεταξύ Φλόριντα και Πουέρτο Ρίκο. Τροφοδοτούμενα από LNG, αυτά τα "Jones Act" πλοία αναφέρονται ως "τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο".

Σε μια συνάντηση με τους ιδιοκτήτες τον Ιούλιο, η Wartsila δεσμεύτηκε στην «ενισχυμένη συνεργασία κατά την κατασκευή, ενισχυμένα πρωτόκολλα FAT για τις μηχανές XDF και συναφούς εξοπλισμού, καθώς και την εφαρμογή ενός ισχυρού καθεστώτος παρακολούθησης κατά τη λειτουργία" ώστε να επιλεγούν οι κινητήρες τους. Στη Wartsila έχουν κληθεί να παραδώσουν συγκεκριμένες λεπτομέρειες των πρωτοκόλλων δοκιμών και διαδικασίες ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τις διαδικασίες, μεθόδους ή πρωτόκολλα που να έχουν παραδοθεί από τη Wartsila.

Η MAN υπήρξε πιο συνεργάσιμη στην ανακοίνωση πληροφοριών και αναγνώρισε πως η ασφάλειά αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για τους πλοιοκτήτες και τους ναυλωτές των LNGC. Η MAN επίσης έχει δηλώσει τις καλύτερες προθέσεις στο να υποστηρίξει πλήρως τους ιδιοκτήτες, Ναυπηγεία και OEMs με αποκλειστικές υπηρεσίες διαχείρισης ώστε να επιλεγούν οι κινητήρες της, με ιδιαίτερη έμφαση στην παρακολούθηση της παραγωγής, Επιθεώρησης & Ελέγχου Ποιότητας από το προσωπικό που χρησιμοποιεί η MAN. Η MAN παρέθεσε ένα αντίγραφο από τις δοκιμές, μια τυπική διαδικασία που καλύπτει τον κινητήρα ME-GI, καθώς και δοκιμών τύπου έγκρισης τους (TAT) διαδικασίες που καλύπτουν το λογισμικό σύστημα ελέγχου του κινητήρα (MAN MEGI Software TAT 3093265-0).

Είτε η Wartsila ή MAN επιλέγονται για τις κύριες μηχανές πρόωσης του 174K LNG, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να σημειωθεί ότι το λεπτομερή σχεδιασμό των συστημάτων παροχής φυσικού αερίου, συστήματα χειρισμού του καυσίμου αερίου, αδρανές αέριο, ανίχνευσης διαρροών και σύστημα εξαερισμού θα πραγματοποιούνται συνήθως από το ναυπηγείο ή διορισμένο σε ανάδοχο, και συνήθως δεν υπόκεινται σε έγκριση τύπου για το συγκεκριμένο κινητήρα. Κάθε αντλία ή συμπιεστής ή άλλο στοιχείο του συστήματος θα υπόκεινται σε πρωτόκολλα ελέγχου ποιότητας από OEM's και αφοσιωμένες εργοστασιακές διαδικασίες αποδοχής δοκιμών που θα γίνουν υπό την παρουσία και θα επικυρωθούν από Εκπρόσωπο του Ιδιοκτήτη ή / και Surveyor Νηογνώμονα, όπου χρειάζεται.

9.3 Χρονοδιάγραμμα κατασκευής από το ναυπηγείο

Πληροφορίες από τη Samsung Heavy Industries και Hyundai Heavy Industries αναφέρουν τις ακόλουθες βασικές ημερομηνίες για τα επόμενα πλοία με δίχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου, αντίστοιχα:

- SHI πλοίο #1: Αναμενόμενη παράδοση τον Ιούνιο του 2017 απαιτεί παράδοση των μηχανών στη SHI τον Απρίλιο του 2016 το αργότερο.
- SHI πλοίο # 2: Αναμενόμενη παράδοση τον Αύγουστο του 2017 απαιτεί παράδοση των μηχανών στη SHI το Μάιο του 2016 το αργότερο.
- HHI πλοίο # 1: Αναμενόμενη παράδοση τον Αύγουστο του 2017 απαιτεί παράδοση των μηχανών στη HHI το Σεπτέμβριο του 2016 το αργότερο.
- HHI πλοίο # 2: Αναμενόμενη παράδοση τον Οκτώβριο του 2017 απαιτεί παράδοση των μηχανών στη HHI το Νοέμβριο του 2016 το αργότερο.

Τόσο η Wartsila όσο και η MAN έχουν επιβεβαιώσει την ικανότητα των εκπροσώπων τους να επιτύχουν την παράδοση των κινητήρων στα υποψήφια Ναυπηγεία στο χρονικό πλαίσιο που έχει οριστεί παρά το γεγονός ότι αναγνωρίζεται ότι επίσημες επιβεβαιώσεις θα αποτελούν μέρος των συμβατικών συμφωνιών, όταν οι επιλογές καθοριστούν.

9.4 Απόδοση μηχανής & κριτήρια φορτίου / ταχύτητας

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κύκλου καύσης Otto είναι η ανάγκη να ελέγχει προσεκτικά τις παραμέτρους της εισαγωγής αερίου καυσίμου σε κάθε κύλινδρο και να συνδέει το χρονισμό ανάφλεξης ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση του "knocking effect". Η Wartsila το επιτυγχάνει μέσω του ιδιόκτητου συστήματος ελέγχου του κινητήρα UNIC™ και τους αυτοματισμούς του, το οποίο προσεκτικά παρακολουθεί και ελέγχει τις παραμέτρους λειτουργίας χρησιμοποιώντας πολλαπλούς αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας εγκατεστημένους σε κάθε κύλινδρο του κινητήρα X-DF. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας της λειτουργίας καύσης φτωχού μίγματος δίχρονων κινητήρων του κύκλου Otto είναι η αναλογία αέρα-καυσίμου (που αναφέρεται επίσης ως ο λόγος "Λάμδα"). Η αναλογία αέρα-καυσίμου είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά την αύξηση ή μείωση του φορτίου στις μηχανές κύκλου Otto - επίσης γνωστό ως "παροδικός χρόνος απόκρισης". Κατά τη διάρκεια του "παροδικού χρόνου απόκρισης", η αύξηση του φορτίου σε έναν κινητήρα επιτυγχάνεται με την αύξηση της ποσότητας του καυσίμου. Αυτό προκαλεί αναπόφευκτα αλλαγή στην αναλογία αέρα-καυσίμου να αλλάξει - μια "πλούσια" αναλογία αέρα-καυσίμου αυξάνει την

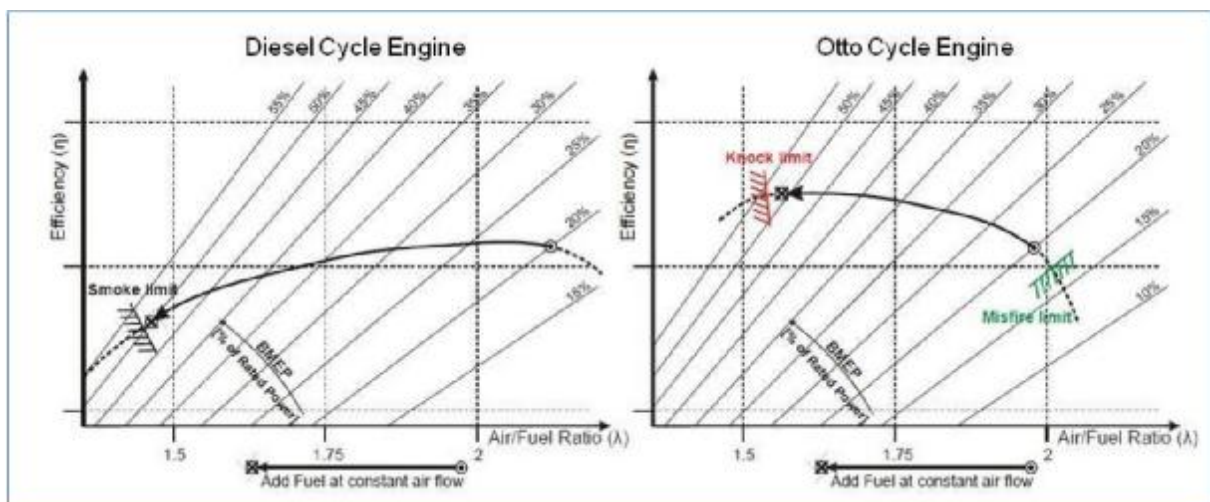
ευαισθησία τους κινητήρες να εμφανιστεί το "knocking effect", ενώ μια "φτωχή" αναλογία αέρα-καυσίμου μπορεί να οδηγήσει σε ρετάρισμα ή την αποτυχία ανάφλεξης.

Μεταβατική συμπεριφορά απόκρισης του θαλάσσιου κινητήρα (δίχρονος ή τετράχρονος, Diesel ή διπλού καυσίμου) συνήθως περιγράφεται από την ικανότητά του να αντιμετωπίσει μια ξαφνική αύξηση του φορτίου. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια.

Στάδιο 1 είναι η αποδοχή του φορτίου. Απαντώντας στο αίτημα για περισσότερη δύναμη (είτε από τη Γέφυρα για μεγαλύτερη ταχύτητα ή αλλαγή πλεύσης ή επικρατούσες καιρικές συνθήκες ή την κατάσταση της θάλασσας) ο ρυθμιστής ταχύτητας του κινητήρα, αυξάνει την ισχύ του κινητήρα με την προσθήκη περισσότερου καυσίμου.

Στάδιο 2 ονομάζεται ο χρόνος ανάρρωσης. Μετά περισσότερο καύσιμο που εφαρμόζονται, ο κινητήρας χρειάζεται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να επιταχύνει τον υπερσυμπιεστή του και να φτάσει σε ένα νέο σημείο λειτουργίας με μια σταθερή αναλογία αέρα-καυσίμου (λάμδα). Μόλις επιτευχθεί αυτή η σταθερότητα, τότε ο κινητήρας είναι έτοιμος να δεχθεί το επόμενο φορτίο. Στις θαλάσσιες εφαρμογές μέρα με τη μέρα το προφίλ λειτουργίας φορτίου του κινητήρα δεν είναι πάντα μια σειρά καθορισμένων βημάτων.

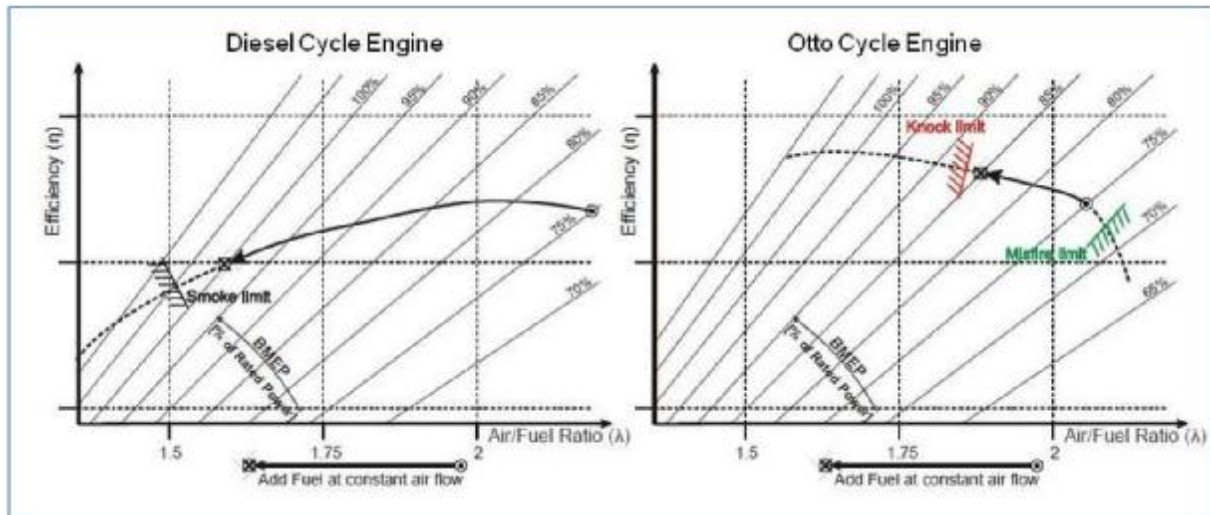
Όταν υπάρχει η ανάγκη για (governor) αυξημένη ισχύ σε δίχρονο κινητήρα DF χαμηλής πίεσης του κύκλου Otto, επιπλέον αέριο καύσιμο εισάγεται μέσα στους κυλίνδρους, ενώ η ποσότητα του αέρα απαγωγής των αερίων που διατίθενται για την καύση παραμένει η ίδια. Σε αυτό το σημείο ο κινητήρας λειτουργεί με "πλούσιο" μείγμα αέρα-καυσίμου έως ότου ο υπερσυμπιεστής είναι σε θέση να καλύψει τη διαφορά και να παραδώσει μια αύξηση στη ροή του αέρα. Όταν η ίδια έκκληση για αύξηση της ισχύος γίνεται σε δίχρονο κινητήρα Diesel υψηλής πίεσης, η αποδοχή του φορτίου είναι πιο ανεκτική, λόγω των διαφορών στη διαδικασία της καύσης.



Εικόνα 9.4: Προσθήκη καυσίμου (φυσικό αέριο) με σταθερή ροή αέρα σε χαμηλό φορτίο.

Τα παραπάνω γραφήματα είναι αποσπάσματα από μια ερευνητική εργασία (CIMAC Paper - Transient Response April 2011_Final) και απεικονίζουν τις διαφορές στην απόδοση σε μηχανές Diesel and Otto κατά τη διάρκεια του σταδίου 1 φάση αποδοχής και σε συνθήκες χαμηλού βασικού φορτίου - περίπου 20%. Η αποτελεσματική αναλογία αέρα-καυσίμου (λάμδα) σε όλο το εύρος του κινητήρα Otto είναι μικρή, να περιορίζεται από τον κίνδυνο για ρετάρισμα στο "φτωχό" άκρο του φάσματος και τις πιθανότητες για να "χτυπήσει" (knocking effect) σε μια "πλούσια" κατάσταση. Ο κινητήρας του κύκλου Diesel έχει ένα ευρύ φάσμα

λειτουργίας, περιορίζεται μόνο από το όριο του καπνού στην "πλούσια" κατάσταση. Είναι αξιοσημείωτο ότι η αποδοτικότητα της καύσης Diesel πέφτει όταν η αναλογία αέρα-καυσίμου τείνει προς την "πλούσια". Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι οι δυνατότητες αποδοχής φορτίου των κινητήρων κύκλου Diesel και των κινητήρων κύκλου Otto είναι παρόμοια και σε συνθήκες χαμηλού φορτίου.



Εικόνα 9.5: Προσθήκη καυσίμου (φυσικό αέριο) με σταθερή ροή αέρα σε υψηλό φορτίο.

Τα παραπάνω γραφήματα (επίσης από CIMAC), απεικονίζουν τις διαφορές στην απόδοση σε μηχανές Diesel and Otto κύκλου κατά τη διάρκεια του σταδίου 1 αποδοχή του φορτίου σε συνθήκες υψηλών φορτίων - περίπου 75%. Η ανταπόκριση του κύκλου Otto φαίνεται στη δεξιά πλευρά και δείχνει σαφώς πώς το όριο για την εμφάνιση του "knocking effect" περιορίζει την ποσότητα του καυσίμου αερίου που μπορεί να προστεθεί, η οποία είναι ο λόγος που τα προγραμματιζόμενα κέντρα ελέγχου του κινητήρα και συστήματα αυτοματισμού των δίχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου χαμηλής πίεσης, όπως η Wartsila X-DF χρησιμοποιούν διαδικασίες διαχείρισης που αυξάνουν το φορτίο βήμα - βήμα σε μικρές δόσεις.

Η αρχή άμεσου ψεκασμού που εφαρμόζεται σε υψηλής πίεσης κινητήρες διπλού καυσίμου κύκλου Diesel σημαίνει ότι οι κινητήρες αυτοί δεν είναι ευπαθής στο να εμφανιστεί το "knocking effect", επειδή η χρονική στιγμή της έγχυσης του αερίου καυσίμου εμφανίζεται αργότερα στον κύκλο. Ωστόσο, οι κινητήρες MAN ME-GI περιλαμβάνουν επίσης μια σειρά από αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας ως ένα χαρακτηριστικό ασφαλείας και για να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη λειτουργία των κινητήρων τους.

Οι κινητήρες Diesel, είτε λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο ή διπλού καυσίμου, είναι επίσης πιο ανεκτικοί σε φτωχές αναλογίες αέρα-καυσίμου, όταν μια περίσσεια αέρα παραδίδεται από τον υπερσυμπιεστή (υπερ-τόνωση). Οι κινητήρες του κύκλου Otto είναι λιγότερο ανεκτικοί της εξαναγκασμένης εισαγωγής λόγω της ευαισθησίας στην αποτυχία ανάφλεξης σε φτωχή αναλογία αέρα-καυσίμου.

9.5 Κατανάλωση καυσίμου

Το τελικό προϊόν της αποτελεσματικότητας του σχεδιασμού πλοίων είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της μορφή κύτους και των γραμμών του, τα χαρακτηριστικά του κινητήρα, και την αποτελεσματικότητα της προπέλας. Η εξισορρόπηση και η τελειοποίησή των στοιχείων αυτών είναι η ουσία της λαμπρής τέχνης της κατασκευής του πλοίου. Είτε οι μηχανές Wartsila χαμηλής πίεσης του κύκλου Otto X-DF ή οι μηχανές MAN υψηλής πίεσης του κύκλου Diesel ME-GI επιλεγούν για τον εφοδιασμό των νέων 174K LNGCs, την οριστική απόδειξη της σύγκρισης στις απαιτήσεις ισχύος κατά την κατανάλωση καυσίμων και την ταχύτητα των πλοίων θα είναι γνωστή μόνο όταν θα έχουν διεξαχθεί οι δοκιμές ταχύτητας πριν από την παράδοση.

Από τη Wartsila αναγνωρίζουν ότι ο κύκλος Otto είναι θερμοδυναμικά λιγότερο αποδοτικός από ότι ο κύκλος Diesel. Δημοσιευμένα στοιχεία από τη Wartsila δείχνουν την ειδική κατανάλωση μαζούτ (SFC) για τον κινητήρα X-72DF κυμαίνονται μεταξύ 160 και 167 g / kWh στις υψηλότερες περιοχές του φορτίου, ενώ τα Ναυπηγεία χρησιμοποιώντας τον αριθμό των 174,3 g / kWh σε NCR για μια υπηρεσιακή ταχύτητα 19,5 κόμβων. Η MAN δημοσίευσε στοιχεία που δείχνουν η ειδική κατανάλωση σε SFC να είναι σε εύρος 157-162 g / kWh. Έτσι, μπορεί κανείς να δει ότι η απλή σύγκριση των εισηγμένων στοιχείων κατανάλωσης SFC δεν είναι αρκετά ακριβής σύγκριση.

Στη λειτουργία αερίου η κατανάλωση του pilot fuel του κινητήρα Wartsila X-DF είναι γύρω στο 1% της ειδικής κατανάλωσης καυσίμων, η οποία είναι πολύ χαμηλότερη από του κινητήρα MAN ME-GI στην οποία η κατανάλωση του pilot fuel είναι περίπου 5%. Από τη MAN δήλωσαν πρόσφατα μια χαμηλότερη ειδική κατανάλωση pilot fuel για το ME-GI σε περίπου 3%, αν και δεν έχει ακόμη καθοριστεί αν αυτό διευκρινίζεται συμβατικά.

Η Wartsila και η MAN κλήθηκαν να παρέχουν εκτιμήσεις της ισχύος πρόωσης και της κατανάλωσης καυσίμου σε μια σειρά από τρόπους λειτουργίας για μια σειρά από επιχειρησιακές ταχύτητες. Ο σκοπός εδώ ήταν να κόψει μέσα από την πληθώρα των αντιφατικών αριθμών γύρω από τα εμπλεκόμενα μέρη. Οι περιπτώσεις για τις εκτιμήσεις αυτές ήταν σαφώς τεκμηριωμένες όμως, δυστυχώς, κάθε ένας από τους πρωταγωνιστές εφαρμόζει τις δικές του περαιτέρω παραδοχές που έκαναν τη σύγκριση αμφισβητήσιμη. Οι πίνακες στις επόμενες δύο σελίδες χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει μια λογική σύγκριση των εκτιμώμενων κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας σε μια υπηρεσιακή ταχύτητα 19,5 κόμβων. Αυτά βασίζονται σε προκαταρκτικές εκτιμήσεις που παρέχονται από την HHI. Παρακαλώ σημειώστε ότι είναι μόνο για λόγους απεικόνισης και η τελική ταχύτητα σε σχέση με τις παραμέτρους κατανάλωσης καυσίμων θα υπόκεινται στον τελικό σχεδιασμό και τις δοκιμές στη θάλασσα. Ένα ερώτημα που παραμένει σε εκκρεμότητα, με τα υποψήφια Ναυπηγεία είναι σε σχέση με το μέγεθος και την ικανότητα παραγωγής ατμού των Exhaust Gas Boilers, αφού είτε με ατμό ή ηλεκτρική θέρμανση θα πρέπει να αυξήσει τη θερμοκρασία του HFO για να παρέχει το συγκεκριμένο ιξώδες όταν το καύσιμο καταναλώνεται.

Κοιτάζοντας τις απεικονίσεις για ταξίδια με φορτίο, σε κατάσταση αερίου ο κινητήρας ME-GI καταναλώνει περίπου 6 mT / ημέρα λιγότερο αέριο ως καύσιμο από τον κινητήρα X-DF, ωστόσο, η κατανάλωση καυσίμου από τη γεννήτρια είναι ελαφρώς υψηλότερη λόγω του αυξημένου ηλεκτρικού φορτίου που απαιτείται από το ME-GI σύστημα παροχής αερίου. Καθαρή εξοικονόμηση σε 5 mT / ημέρα. Επίσης υπήρξε και ένα σενάριο για ταξίδι με φορτίο στο οποίο χρησιμοποιείται HFO ως καύσιμο, παρόλο που στο εμπόριο αυτό είναι απίθανο σενάριο αυτή τη στιγμή και θα απαιτούσε reliquifaction plant επί του σκάφους.

Σε λειτουργία Diesel οι αποταμιεύσεις ήταν επίσης σημαντικές σε περίπου 7 mT / ημέρα HFO. Αυτό το σενάριο δεν λαμβάνει υπόψη την πρόσφατη δήλωση της Wartsila στην οποία ζήτησε να χρησιμοποιείται ένα μικρό (0,5%) ποσότητα MDO ως pilot fuel, ακόμη και σε κατάσταση HFO, που υποδεικνύει ότι αυτό είναι για να διατηρήσουν τα μπεκ ψεκασμού pilot fuel και τους χώρους προθαλάμου. Οι εικόνες για έρμα ταξίδια αποδεικνύουν αποταμίευση σε σχέση με τα ταξίδια υπό φορτίο.

Scenario: Laden Voyage
Open Sea - Non-ECA Area
Operating At 19.5 knots

Mode: Gas Burning

Consumer	Fuel	Propulsion Configuration			
		TFDE	MEGI	X-DF	
Main Engines	BOG	94	67	73	
	HFO		Pilot >> 2.01		
	MDO	Pilot >> 0.94		Pilot >> 0.73	
Gnr Engines	BOG	0	14	13	
	HFO		Pilot >> 0.14		
	MDO	0		Pilot >> 0.13	
Boiler	HFO	n/a	0	n/a	

Daily Total BOG	94	81	86	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total HFO	0	2.15	0	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total MDO	0.94	0	0.86	Cost/ton	\$1,000.00	USD
Daily Fuel Cost	\$57,340.00	\$49,890.00	\$52,460.00			
Estimated % fuel saving over TFDE =	n/a	12.99%	8.51%			

Assumptions:
 Calorific Values: MDO = 42.7 MJ/kg HFO = 40.6 MJ/kg BOG = 50 MJ/kg
 No Reliquifaction applied
 Wartsila FGHS: Cryostar (?) LD Centrifugal Compressor
 MAN FGHS: Burckhardt 6LP190 Recip Compressor + HP Pump + Vaporizer
 Generators: HIMSEN 2 x 3700 kW and 2 x 2775 kW
 Note re Boiler: Assumption is made that EGBs will produce all steam requirements for heating HFO - spec variance required

Gas as Fuel - Laden Voyage - Open Sea - non-ECA - Ships Speed 19.5 knots

Scenario: Laden Voyage
Open Sea - Non-ECA Area
Operating At 19.5 knots

Mode: Oil Burning * * This scenario is unlikely to occur

Consumer	Fuel	Propulsion Configuration			
		TFDE	MEGI	X-DF	
Main Engines	BOG				
	HFO	124	87	94	
	MDO				
Gnr Engines	BOG				
	HFO		12		
	MDO			12	
Boiler	HFO	n/a	0	0	

Daily Total BOG	0	0	0	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total HFO	124	99	94	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total MDO	0	0	12	Cost/ton	\$1,000.00	USD
Daily Fuel Cost	\$74,400.00	\$59,400.00	\$68,400.00			
Estimated % fuel saving over TFDE =	n/a	20.16%	8.06%			

Assumptions:
 Calorific Values: MDO = 42.7 MJ/kg HFO = 40.6 MJ/kg BOG = 50 MJ/kg
 No Reliquifaction applied
 Wartsila FGHS: Cryostar (?) LD Centrifugal Compressor
 MAN FGHS: Burckhardt 6LP190 Recip Compressor + HP Pump + Vaporizer
 Generators: HIMSEN 2 x 3700 kW and 2 x 2775 kW
 Note re Boiler: Assumption is made that EGBs will produce all steam requirements for heating HFO - spec variance required

HFO as Fuel - Laden Voyage - Open Sea - non-ECA - Ships Speed 19.5 knots

Scenario: Ballast Voyage Mode: Forced Gas Burning
 Open Sea - Non-ECA Area
 Operating At 19.5 knots

Consumer	Fuel	Propulsion Configuration		
		TFDE	MEGI	X-DF
Main Engines	FOG	92	86	71
	HFO		Pilot >> 1.98	
	MDO	Pilot >> 0.92		Pilot >> 0.71
Gnr Engines	FOG		13	13
	HFO		Pilot >> ???	
	MDO		Pilot >> 0.13	Pilot >> 0.13
Boiler	HFO	n/a	0	0

Daily Total FOG	92	79	84	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total HFO	0	? "1.98+???"	0	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total MDO	0.92	0.13	0.84	Cost/ton	\$1,000.00	USD
Daily Fuel Cost	\$56,120.00	\$47,530.00	\$51,240.00			
Estimated % fuel saving over TFDE =	n/a	15.31%	8.70%			

Note: Gnrs using HFO as pilot to be verified

Assumptions:

Calorific Values: MDO = 42.7 MJ/kg HFO = 40.6 MJ/kg BOG = 50 MJ/kg

No Reliquifaction applied

Wartsila FGHS: Cryostar (?) LD Centrifugal Compressor

MAN FGHS: Burckhardt 6LP190 Recip Compressor + HP Pump + Vaporizer

Generators: HIMSEN 2 x 3700 kW and 2 x 2775 kW

Note re Boiler: Assumption is made that EGBs will produce all steam requirements for heating HFO - spec variance required

Gas as Fuel - Ballast Voyage - Open Sea - non-ECA - Ships Speed 19.5 knots

Scenario: Ballast Voyage Mode: Oil Burning
 Open Sea - Non-ECA Area
 Operating At 19.5 knots

Consumer	Fuel	Propulsion Configuration		
		TFDE	MEGI	X-DF
Main Engines	BOG			
	HFO	122	86	94
	MDO			
Gnr Engines	BOG			
	HFO		12	
	MDO			12
Boiler	HFO	n/a	0	0

Daily Total BOG	0	0	0	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total HFO	122	98	94	Cost/ton	\$600.00	USD
Daily Total MDO	0	0	12	Cost/ton	\$1,000.00	USD
Daily Fuel Cost	\$73,200.00	\$58,800.00	\$68,400.00			
Estimated % fuel saving over TFDE =	n/a	19.67%	6.56%			

Assumptions:

Calorific Values: MDO = 42.7 MJ/kg HFO = 40.6 MJ/kg BOG = 50 MJ/kg

No Reliquifaction applied

Wartsila FGHS: Cryostar (?) LD Centrifugal Compressor

MAN FGHS: Burckhardt 6LP190 Recip Compressor + HP Pump + Vaporizer

Generators: HIMSEN 2 x 3700 kW and 2 x 2775 kW

Note re Boiler: Assumption is made that EGBs will produce all steam requirements for heating HFO - spec variance required

HFO as Fuel - Ballast Voyage - Open Sea - non-ECA - Ships Speed 19.5 knots

Σε λειτουργία χαμηλού φορτίου ο κινητήρας X-DF της Wartsila μπορεί να διατηρήσει το φυσικό αέριο ως καύσιμο, ενώ ο ME-GI της MAN περιορίζεται στο φορτίο του κινητήρα περίπου στο 10% σε λειτουργία φυσικού αερίου και είναι αναγκαία η μετάβαση σε λειτουργία πετρελαίου κάτω από αυτό το όριο. Τα σενάρια για την εν λόγω λειτουργία σε χαμηλό φορτίο αναφέρονται σε ελιγμούς, ενώ εισέρχονται ή εξέρχονται από το λιμάνι, ή κατά τη διάρκεια διελεύσεις σε κανάλι. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα εφαρμόζεται ο Κανονισμός του Λιμένα που μπορεί ή δεν μπορεί να δώσει εντολή ότι οι μηχανές του πλοίου θα πρέπει να αλλάξουν σε MDO από επιχειρησιακή άποψη ασφάλειας. Εάν αυτό επιβάλλεται μέσα σε μια ζώνη NOx ECA, τότε απαιτείται συμμόρφωση σε Tier III.

9.6 Κόστος του λειτουργικού κύκλου ζωής

Τόσο η Wartsila X-DF όσο και η MAN ME-GI δίχρονες επιλογές αντιπροσωπεύουν σημαντική εξοικονόμηση σε OPEX συγκριτικά με τις DFDE / TFDE θαλάσσιους κινητήρες και δεδομένου ορισμένα από τα θέματα αξιοπιστίας που έχουν ανακύψει με DFDE κινητήρες, αναμένεται ότι η αξιοπιστία των LNGCs με τους δίχρονους κινητήρες και συστήματα πρόωσης σταθερού βήματος θα μειώσουν σημαντικά το χρόνο μη προγραμματισμένης ακινητοποίησης σε σύγκριση με τους DFDE.

Όταν συγκρίνουμε ουσ κινητήρες Wartsila X-DF με τους κινητήρες MAN ME-GI μερικά από τα βασικά αναλώσιμα στοιχεία είναι ουσιαστικά στο ίδιο επίπεδο με το άλλο. Για παράδειγμα, η κατανάλωση του ελαίου για τη λίπανση του κυλίνδρου πετρελαίου εκτιμάται σε 0,6 g / kWh και από τους δύο κατασκευαστές κινητήρων. Η κύρια κατανάλωση του συστήματος λίπανσης αναμένεται στα ίδια επίπεδα, αν και η πραγματική κατανάλωση εξαρτάται από το σύστημα καθαρισμού του λιπαντικού συστήματος, πως είναι εγκατεστημένο πως λειτουργεί.

Οι δύο τελευταίες μεγάλες περιοχές κόστους, οι οποίες μπορούν να συγκριθούν είναι η κατανάλωση καυσίμων και η συντήρηση, και δεδομένου ότι η κατανάλωση καυσίμου έχει καλυφθεί σε προηγούμενη ενότητα μπορούμε να εξετάσουμε το κόστος συντήρησης της ζωής του κινητήρα.

Ούτε η Wartsila, ούτε η MAN έθεσαν ως στόχο να κάνουν σημαντικές οικονομικές αποδόσεις για την κατασκευή και την πώληση των κινητήρων τους. Σε κάθε περίπτωση, αναμένουν να λάβουν μια μέτρια αμοιβή από τους δικαιοδόχους τους και να συνεχίσουν μέσα από τη διατήρηση της ζωής των κινητήρων τους για τη ροή εσόδων από παροχή ανταλλακτικών και εργασίας των εμπειρογνομόνων τους. Σε αντίθεση με τις προσφορές για συνεργασία κατά την κατασκευή, τόσο η Wartsila όσο και η MAN έχουν εκφράσει την επιθυμία να δώσουν στους Ιδιοκτήτες με ευνοϊκούς όρους για τις συμφωνίες " Lifecycle Maintenance Management Agreements" οι διατάξεις του οποίου θα είναι αποκλειστικά για τους Ιδιοκτήτες και πιθανώς υπόκεινται σε απόρρητες συμφωνίες. Λεπτομέρειες σχετικά με τις εκτεταμένες εγγυήσεις και τα ειδικά έξοδα που συνδέονται με αυτές τις LMMAs θα υπόκεινται στις διαπραγματεύσεις μεταξύ των κατασκευαστών κινητήρων και των Ιδιοκτητών.

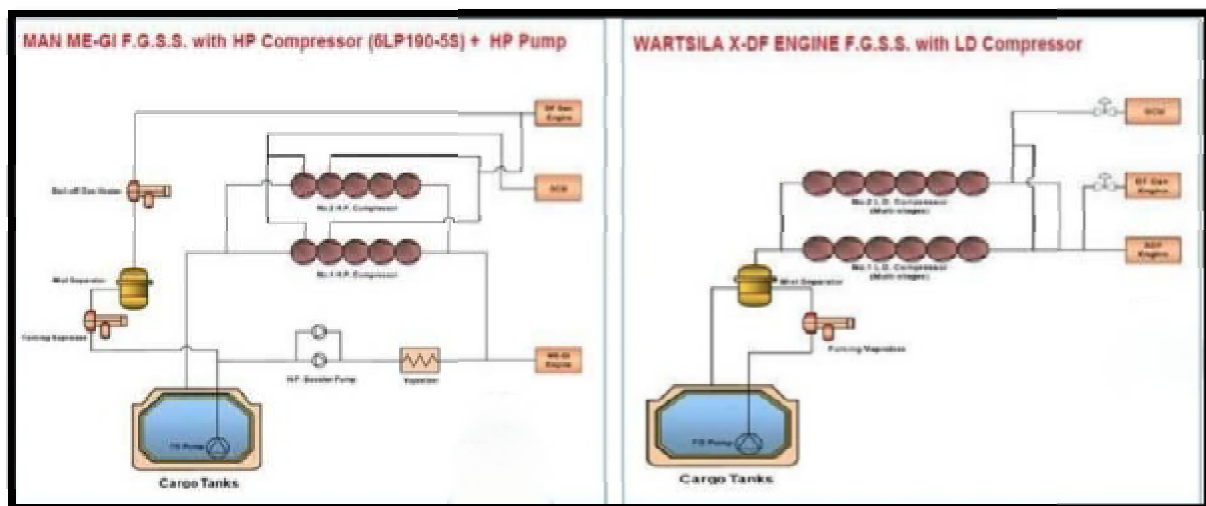
Η Wartsila έχει παρουσιάσει στο παρελθόν στους ιδιοκτήτες μια ευρεία υπόθεση LMMΑ που συνεπάγεται κόστος συντήρησης των 875 Ευρώ (\$ 1,200) ανά ημέρα λειτουργίας ανά πλοίο (δηλαδή περιλαμβάνει δύο κινητήρες) προσεγγίζοντας σε μια διάρκεια ζωής 30 χρόνων. Τον Φεβρουάριο του 2012 η MAN παρείχε ένα ενδεικτικό κόστος συντήρησης για

τον κύκλο ζωής σε ένα διαφημιστικό πακέτο, ωστόσο σε ένα πρόσφατο διάλογο δήλωσαν ότι τα στοιχεία αυτά είναι παρωχημένα και έχουν εκφράσει την πρόθεσή τους να προωθήσουν τις τρέχουσες εκτιμήσεις του αντίστοιχου προγράμματος LMMA τους μέσω της ομάδας συντήρησης τους PrimeServ.

Οι κατασκευαστές κινητήρων ανέπτυξαν παραδοσιακά προγράμματα συντήρησης για τα μεγάλα εξαρτήματα του κινητήρα βάσει τις ώρες λειτουργίας. Η Wartsila φαίνεται να εφαρμόζει τις 6000 ώρες λειτουργίας σαν βάση για τον κύκλο συντήρησης του δίχρονου κινητήρα τους, ενώ το πρόγραμμα συντήρησης της MAN αναπτύσσεται γύρω από ένα πλάνο 8000 ωρών λειτουργίας. Αυτό από μόνο του συνεπάγεται μείωση 25% του κόστους συντήρησης και της κατανάλωσης μεγάλων ανταλλακτικών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Επανεξέταση του προφίλ λειτουργίας των LNGCs πλοίων ιστορικά φαίνεται ότι συνήθως διατηρούν κατά μέσο όρο 330 ημέρες κίνησης ετησίως, που ισοδυναμεί με περίπου 8.000 ώρες και ταυτίζεται αποτελεσματικά με τον κύκλο συντήρησης της MAN.

Η σύγχρονη διαχείριση της συντήρησης των βέλτιστων πρακτικών ενσωματώνει Αξιοπιστία Κέντρο Συντήρηση (Reliability Centred Maintenance RCM) αρχές στις οποίες οι βελτιωμένες τεχνικές ελέγχου που χρησιμοποιούνται και όχι η απλή εφαρμογή του χρόνου με βάση χρονικά διαστήματα ανακατασκευής. Κατά την εξέταση της ικανότητας να καταναλώνουν φυσικό αέριο ως κύριο καύσιμο είναι λογικό να περιμένουμε, κινητήρες που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, τα εξαρτήματα και οι εσωτερικές επιφάνειες να παραμείνουν καθαρές και να επισκευαστούν περισσότερο από, ας πούμε, ένα κινητήρα που τροφοδοτείται με μαζούτ. Με αυτή τη σκέψη μπορεί να είναι εφικτό να επεκταθεί περαιτέρω για μεγάλα διαστήματα η ανακατασκευή και η ευθυγράμμισή τους με τον προγραμματισμένο δεξαμενισμό των πλοίων.

Αν κοιτάξουμε τις δύο επιλογές για πρόωση θα πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι το σύστημα παροχής αερίου για τον κινητήρα της MAN ME-GI έχει πιο συναφή εξοπλισμό απ' ό,τι οι απαιτήσεις του συστήματος παροχής αερίου του κινητήρα της Wartsila X-DF.



Εικόνα 9.10: MAN ME-GI F.G.S.S with HD Compressor + HD Pump

Εικόνα 9.11: Wartsila X-DF Engine F.G.S.S with LD Compressor

Επειδή η τροφοδοσία φυσικού αερίου του κινητήρα της MAN ME-GI λειτουργεί σε πίεση 300 bar αυτή η εγκατάσταση απαιτεί συμπιεστές ικανούς να παρέχουν τον απαιτούμενο όγκο στην απαιτούμενη πίεση (HP συμπιεστής αερίου πολλαπλών σταδίων), ενώ οι συμπιεστές για τον κινητήρα της Wartsila X-DF απαιτούνται μόνο για την παραγωγή του απαιτούμενου

όγκου σε πίεση 15 bar (LP συμπιεστής αερίου πολλαπλών σταδίων). Ο κινητήρας ME-GI απαιτεί επίσης πρόσθετες κρυογονικές αντλίες και vaporizer στα 300 bar για να συμπληρώσει την παροχή φυσικού αερίου με FBOG. Τόσο με το σύστημα χαμηλής πίεσης όσο και με το σύστημα υψηλής πίεσης είναι εξοπλισμένα με παραπάνω συμπιεστές και αντλίες για λόγους αξιοπιστίας. Συγκεκριμένες λεπτομέρειες αυτών των συστατικών είναι ακόμη να καθοριστούν και οι ιδιαίτερες ανάγκες συντήρησής τους που θα υπόκεινται στον έλεγχο που σχετίζεται με τον OEM.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι τόσο η Wartsila όσο και η MAN είναι πρόθυμοι να είναι ο κύριος προμηθευτής δίχρονων κινητήρων πρόωσης. Και οι δύο είναι καλά εδραιωμένες, αξιόπιστες εταιρείες στο χώρο παροχής λύσεων τροφοδοσίας για τη θαλάσσια βιομηχανία και άλλες βιομηχανίες. Όταν βλέπει κανείς τις αντίστοιχες τετράχρονες μηχανές πετρελαίου μέσης ταχύτητας, η κάθε μια έχει σημαντικό μερίδιο αγοράς με τη Wartsila να κυριαρχεί. Η Wartsila έχει επίσης το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς των τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου. Κατά την εξέταση του μεγάλου διαμετρήματος, για την αγορά των δίχρονων κινητήρων Diesel χαμηλής ταχύτητας, και πάλι κάθε μια έχει σημαντικό μερίδιο των κινητήρων που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο, με τη MAN να είναι ο ηγέτης σε αυτόν τον τομέα.

Σε αυτό που διαφέρουν οι δύο εταιρείες είναι η στρατηγική κατεύθυνση, για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση για αξιόπιστους, αποδοτικούς δίχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου - η Wartsila χτίζει τη στρατηγική της γύρω από τον κύκλο καύσης Otto και το χαμηλής πίεσης (15 bar) σύστημα παροχής αερίου, ενώ η MAN παραμένει προσηλωμένη στον κύκλο καύσης Diesel και το υψηλής πίεσης (300 bar) σύστημα παροχής αερίου.

Στον αναδυόμενο τομέα των δίχρονων, διπλού καυσίμου μεγάλου διαμετρήματος θαλάσσιων κινητήρων για LNGCs και άλλα είδη πλοίων, είναι προφανές ότι η MAN έχει δημιουργήσει ένα σημαντικό προβάδισμα έναντι της Wartsila. Κατά τη στιγμή της γραφής, υπάρχουν 52 παραγγελίες που δηλώθηκαν δημόσια για τους κινητήρες MAN ME-GI σε διάφορα μεγέθη για LNG, εμπορευματοκιβωτίων, και μεταφορείς αυτοκινήτων. Τα πλοία είναι όλα σε διαφορετικά στάδια κατασκευής, ώστε κανένας από τους κινητήρες να μην είναι σε λειτουργία ακόμη.

Από την άλλη πλευρά η Wartsila είναι ο ηγέτης στους τετράχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου με πάνω από το 90% της αγοράς των θαλάσσιων και υπεράκτιων τετράχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου, με πάνω από 1000 από αυτές τις μηχανές σε πολλούς τύπους σκαφών, συμπεριλαμβανομένων Ferries, πολεμικά πλοία και ρυμουλκά, καθώς και τα συστήματα DFDE για LNGCs. Μόνο πρόσφατα ένας σημαντικός Ναυλωτής έκλεισε μια σημαντική συμφωνία δίνοντας ένα νεύμα αποδοχής στους δίχρονους κινητήρες χαμηλής πίεσης της Wartsila ζητώντας τη συνεργασία της Νότιας Κορέας SK Shipping και Marubeni της Ιαπωνίας για την εγκατάσταση των μηχανών Wartsila X62DF σε δύο νέες κατασκευές της Samsung. Τα σκάφη αυτά είχαν αρχικά καθοριστεί με συστήματα TFDE πρόωσης.

Δεν είναι ποτέ καλό (από την πλευρά του πελάτη) να έχουν έναν προμηθευτή που κυριαρχεί στην αγορά, ωστόσο μπορούμε να υποθέσουμε ότι η Wartsila θα συνεχίσει να αναπτύσσει και να πρωτοπορεί στους τετράχρονους κινητήρες διπλού καυσίμου ενώ η MAN θα συνεχίσει να αναπτύσσει και να πρωτοπορεί στο χώρο των δίχρονων κινητήρων διπλού καυσίμου.

Έχει προταθεί ότι η πίεση λειτουργίας 300 bar στο σύστημα εφοδιασμού με φυσικό αέριο των ME-GI μπορεί να είναι μια αιτία ανησυχίας για τους φορείς εκμετάλλευσης. Σε αυτό το θέμα υπάρχουν δύο αξιοσημείωτα σημεία:

1. Οι κωδικοί IGF / IGC εξετάζουν οποιοδήποτε σημείο αποθήκευσης αερίου χαμηλής ανάφλεξης ή το σύστημα σωληνώσεων να είναι «υψηλής» πίεσης, εάν η πίεση λειτουργίας του σχεδιασμού υπερβαίνει τα 10 bar, ως εκ τούτου, τόσο το σύστημα των 15 bar της Wartsila και το σύστημα των 300 bar της MAN πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται για να συμμορφώνονται με αυτούς τους κώδικες που περιλαμβάνουν αυστηρά πρότυπα ασφαλείας.
2. Σε λειτουργία καυσίμου πετρελαίου, τόσο η Wartsila X-DF και η MAN ME-GI χρησιμοποιούν το κοινό σύστημα τροφοδοσίας του συλλέκτη καυσίμου που λειτουργεί με πίεση πετρελαίου μεταξύ 900 και 1000 bar.

Υψηλής πίεσης υδραυλικά σερβοσυστήματα και συστήματα παροχής καυσίμου πετρελαίου υπό πίεση είναι ένα χαρακτηριστικό των θαλάσσιων κινητήρων για πολλά χρόνια, και ενώ εκτιμάται ότι τα συμπιεσμένα αέρια καύσιμα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα συμπιεσμένα υγρά καύσιμα, οι αρχές λειτουργίας και η διαχείριση αυτών των συστημάτων πρέπει απλώς να γίνει κατανοητή και να διαχειρίζεται με τις κατάλληλες προφυλάξεις ασφαλείας που εφαρμόζονται. Έτσι, αν επιλεγεί αυτή η επιλογή του κινητήρα θα υπάρξει ανάγκη για συμπληρωματική εκπαίδευση για τα πληρώματα και το τεχνικό προσωπικό για την ευαισθητοποίηση και την κατανόηση του συστήματος παροχής αερίου 300 bar και του εξοπλισμού.

Όπως και με κάθε σημαντική επενδυτική απόφαση, υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε κάθε μια από τις διαθέσιμες επιλογές. Ο ακόλουθος κατάλογος χρησιμεύει για να συνοψίσει τα σημαντικά πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με τις δύο επιλογές κινητήρων:

Αναμενόμενα οφέλη του κύκλου Otto και της επιλογής Wartsila X-DF

- Η φτωχή καύση του κύκλου Otto αποδείχτηκε ωφέλιμη για τους τετράχρονους κινητήρες μέσης ταχύτητας θαλάσσιων κ βιομηχανικών εγκαταστάσεων καθώς και στην αυτοκινητοβιομηχανία.
- Σχετικά απλό σύστημα παροχής αερίου
- Χαμηλής πίεσης, υψηλής χωρητικότητας συμπιεστές αερίου με ονομαστική πίεση παροχής 15 bar
- Κρυογονικές αντλίες δεν απαιτούνται
- Συμμορφώνεται με το Tier III NOx, ενώ καταναλώνει το φυσικό αέριο ως πρωτογενές καύσιμο
- Μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί με φυσικό αέριο με pilot fuel MDO σε συνθήκες πολύ χαμηλού φορτίου
- Δεν απαιτεί EGR ή SCR καυσαερίων μετεπεξεργασίας, ενώ καταναλώνει το φυσικό αέριο ως πρωτογενές καύσιμο

Αναμενόμενοι κίνδυνοι ή μειονεκτήματα του κύκλου Otto και της επιλογής Wartsila X-DF

- Μικρότερη θερμοδυναμική απόδοση από του κύκλου Diesel
- Μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου από την ME-GI
- Απαιτεί συνεχή διαχείριση του ελέγχου των φορτίων για να μην εμφανιστεί το "knocking effect" ή να ρετάρει

- Πιο επιρρεπής σε ολίσθηση μεθανίου από έναν κινητήρα που χρησιμοποιεί τον κύκλο Diesel
- Ανησυχία για την παραγωγή εκπομπών φορμαλδεΐδης
- Ανησυχία για την πιθανότητα πυρκαγιάς ή έκρηξης από την εξάτμιση
- Θα απαιτήσει EGR ή SCR καυσαερίων, εάν καταναλώσει καύσιμο πετρέλαιο σε ζώνη NOx ECA
- Ανησυχία για την ανταπόκριση της ομάδας συντήρησης της Wartsila στη συνεχή υποστήριξη
- Μέχρι σήμερα δεν έχει κερδίσει την ευρεία αποδοχή από την πλειοψηφία των Ιδιοκτητών / Χειριστών (με εξαίρεση όσων αναφέρθηκαν παραπάνω).

Οφέλη του κύκλου Diesel και της επιλογής MAN ME-GI

- Ο άμεσος ψεκασμός του κύκλου Diesel έχει δοκιμαστεί με τους δίχρονους κινητήρες χαμηλής ταχύτητας και με τους τετράχρονους μεσαίας ταχύτητας θαλάσσιων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, καθώς και σε πολλές εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία
- Υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση από τον κύκλο Otto
- Μπορεί να λειτουργήσει με φυσικό αέριο είτε με HFO και MDO pilot fuel σε συνθήκες φορτίου 10%
- Έχει την ευελιξία στα καύσιμα για να λειτουργεί με μεταβλητούς συνδυασμούς του φυσικού αερίου και του πετρελαίου
- Έχει υψηλή αντοχή σε μεταβολές του φορτίου και δεν είναι ευαίσθητη στην εμφάνιση του "knocking effect" και να ρετάρει
- Αμελητέα ολίσθηση μεθανίου
- Δεν υπάρχουν ενδείξεις εκπομπών φορμαλδεΐδης
- Ελάχιστες πιθανότητες πυρκαγιάς ή έκρηξης από την εξάτμιση
- Έχει κερδίσει την εμπιστοσύνη Ιδιοκτητών / Χειριστών που έχουν παραγγείλει μηχανές αν και δεν έχουν ακόμη τεθεί σε λειτουργία

Αναμενόμενοι κίνδυνοι ή μειονεκτήματα του κύκλου Diesel και της επιλογής MAN ME-GI

- Το σύστημα παροχής αερίου απαιτεί αεροσυμπιεστές υψηλής πίεσης, υψηλής χωρητικότητας με ονομαστική πίεση παροχής 300 bar
- Το σύστημα παροχής αερίου απαιτεί πρόσθετες κρυογονικές αντλίες και εξατμιστές ρυθμισμένους στα 300 bar για να παρέχει FBOG
- Ανησυχίες για το πλήρωμα / χειριστές για το σύστημα παροχής αερίου στα 300 bar
- Απαιτεί EGR ή SCR καυσαερίων, προκειμένου να συμμορφωθούν με τα όρια του TIER III NOx, ενώ καταναλώνει φυσικό αέριο ως πρωτογενές καύσιμο
- Περιορισμένη εμπειρία από τους τεχνικούς των Ιδιοκτητών LNG και της ομάδας συντήρησης της MAN για την τεχνική υποστήριξη

Λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στο κόστος της επένδυσης, κάποιιοι ειδήμονες της βιομηχανίας εκτιμούν ότι τα ναυπηγεία μπορεί να φαίνονται ευνοϊκά για την επιλογή της X-

DF, λόγω της σχετικής ευκολίας της εγκατάστασης του συστήματος παροχής αερίου σε σύγκριση με το σύστημα παροχής αερίου της ME-GI η οποία περιλαμβάνει περισσότερο εξοπλισμό και ως εκ τούτου μεγαλύτερη υποδομή υποστήριξης, σωληνώσεις, κλπ. που θα μπορούσαν να οδηγήσουν τα Ναυπηγεία να επιβάλλουν αύξηση στο κόστος κεφαλαίου για ένα πακέτο πρόωσης ME-GI από ότι για ένα πακέτο X-DF. Επιπλέον, υπάρχουν αυξημένες κεφαλαιουχικές δαπάνες που σχετίζονται με την μετεπεξεργασία των καυσαερίων που απαιτείται από τις μηχανές ME-GI, αν και θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η απαίτηση αυτή θα μπορούσε να καταστεί αναγκαία και για την X-DF καθώς εάν οι νομοθετικές απαιτήσεις ή εμπορικές συνθήκες αλλάζουν σε κάποιο σημείο ή μελλοντικά. Οποιαδήποτε διαφορά κόστους κεφαλαίου που διατυπώθηκε από τα Ναυπηγεία θα πρέπει να αμφισβητηθεί και να διαπραγματευθεί. Από τη MAN έχουν δείξει κεφαλαιουχικές δαπάνες για ένα πλήρες σύστημα EGR στην περιοχή των \$ 60-70 ανά kW, πλήρως εγκατεστημένο. Αυτό ισοδυναμεί με \$ 1.5M-1.8M ανά πλοίο. Ωστόσο, έχει αναφερθεί ότι τα ναυπηγεία επιδιώκουν μια τιμή κοντά στα \$ 3M για την εγκατάσταση του συστήματος EGR σε αυτά τα πλοία, η οποία φαίνεται υπερβολική. Σημειώστε ότι εκτιμάται οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για το σύστημα μετεπεξεργασίας των καυσαερίων SCR θα είναι περίπου 20% λιγότερο από του EGR, και το "ελαφρύ" σύστημα EGR το οποίο η MAN αναπτύσσει πιθανόν να τιμολογείται σε παρόμοιο ποσοστό με το SCR και να έχει χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα. Η επιλογή του κάθε συστήματος μετεπεξεργασίας καυσαερίων είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής της παρούσας αξιολόγησης και τυπικά θα υπόκεινται σε μια εκτίμηση του συνολικού κόστους του κύκλου ζωής με το ΚΠΑ, ωστόσο εξετάζοντας τη διαχείριση των logistics και της μετατόπισης τους επί των αναλώσιμων που απαιτούνται από την SCR που θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι αυτή η μέθοδος είναι πιο κατάλληλη για χερσαίες εγκαταστάσεις και το σύστημα EGR πιο συμβατό με τις θαλάσσιες εφαρμογές. Γνωρίζουμε ότι ορισμένοι ιδιοκτήτες οι οποίοι έχουν επιλέξει να εγκαταστήσουν τις μηχανές ME-GI της MAN δεν έχουν αποφασίσει ακόμα ποια θα ήταν η καλύτερη επιλογή για τη διαχείριση των καυσαερίων. Επέλεξαν μόνο, να υπάρχει επαρκής χώρος γύρω από τις μηχανές για να φιλοξενήσει τον εξοπλισμό μετά την επιλογή του.

Η πρόταση της Samsung διαφέρει από εκείνη της Hyundai, στην εν λόγω πρόταση η SHI κλίνει προς εξακύλινδρους κ μικρότερους κινητήρες Wartsila ή MAN για την παροχή της κύριας πρόωσης. Από τη Samsung υποστηρίζουν ότι ο δίδυμος σχεδιασμός της γάστρας Skeg έχει βελτιστοποιηθεί και για να τροποποιήσουν το σχεδιασμό της γάστρας αλλά και τις γραμμές, θα μειώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού της καθώς θα επιβάρυνε και με επιπλέον κόστος. Ως εκ τούτου, ζητούν είτε Wartsila 6X62DF ή MAN 6G60ME-GI μηχανές λόγω του μικρότερου αποτυπώματος που χαρακτηρίζουν αυτά τα σχέδια. Η MAN έχει δηλώσει ότι, ενώ οι κινητήρες 5G70ME-GI είναι ήδη στην παραγωγή, χρειάζονται 18 μήνες για να προετοιμάσουν την πλήρη παραγωγή των κινητήρων 6G60ME-GI το οποίο εξακολουθεί να βρίσκεται μέσα στο παράθυρο του προγράμματος παραγωγής της SHI.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας αναπτύσσεται συνεχώς και εξελίσσεται και ενώ έχουν γίνει οι καλύτερες προσπάθειες για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια, σχετικές πληροφορίες ή στοιχεία μπορεί να αλλάξουν.

11. Βιβλιογραφία

1. MAN Diesel & Turbo (<http://dieselturbo.man.eu>)
 - MAN MEGI Software TAT 3093265-0.
 - MAN Emission Project Guide (EGR-SCR).
 - MAN ME-GI Paper 5510-0063-03.
2. Wartsila (<http://www.wartsila.com>)
3. CIMAC The International Council on Combustion Engines (<http://www.cimac.com>)
 - CIMAC Paper - Methane and Formaldehyde Emissions 20121105.
 - CIMAC Paper - Use of LNG as Engine Fuel - December 2008.
 - CIMAC Paper - Transient Response April 2011.
4. Samsung Heavy Industries (<http://www.samsungshi.com>)
5. Hyundai Heavy Industries (<http://english.hhi.co.kr/main/>)
6. International Maritime Organization (<http://www.imo.org/>)
7. Wikipedia (<https://www.wikipedia.org>)

12.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

- **Παράρτημα 01-** Κίνδυνοι και μετριασμός τους, Wartsila X-DF

Wartsila X-DF option	
Κίνδυνοι / Μειονεκτήματα	Μετριασμός Κινδύνων / Μειονεκτημάτων
Μικρότερη θερμοδυναμική απόδοση από ότι ο κύκλος Diesel και μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου από την ME-GI.	Καμία - μια ποινή καυσίμων μεταξύ 3% και 5% μπορεί να αναμένεται, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του φορτίου.
Απαιτεί συνεχή έλεγχο της διαχείρισης του φορτίου για να αποφευχθεί το knocking effect ή να ρετάρει.	Τα συστήματα Wartsila UNIC κινητήρα / αερίου ελέγχου και αυτοματισμού παρακολουθεί συνεχώς τις επικρατούσες συνθήκες φορτίου και τις παραμέτρους της καύσης και ρυθμίζει τις αναλογίες αέρα / καυσίμου για την αποφυγή του knocking effect ή να ρετάρει και να διατηρήσει την ασφαλή λειτουργία.
Πιο επιρρεπείς στη διαρροή άκαυστων υδρογονανθράκων από έναν κινητήρα που χρησιμοποιεί τον κύκλο Diesel.	Τα συστήματα κινητήρα / ελέγχου αερίου και αυτοματισμού Wartsila UNIC ενσωματώνουν αισθητήρες σε κρίσιμες θέσεις για την ανίχνευση άκαυστων υδρογονανθράκων και στις αναγκαίες προσαρμογές ή να ενημερώσει τους χειριστές αναλόγως.
Ανησυχία για την παραγωγή εκπομπών φορμαλδεΐδης.	Τα συστήματα κινητήρα / ελέγχου αερίου και αυτοματισμού Wartsila UNIC ενσωματώνουν αισθητήρες σε κρίσιμες θέσεις για την ανίχνευση άκαυστων υδρογονανθράκων και στις αναγκαίες προσαρμογές ή να ενημερώσει τους χειριστές αναλόγως.
Ανησυχία για ενδεχόμενο πυρκαγιάς ή εκρηκτικές συνθήκες στις προσλήψεις της εξάτμισης.	Οι προσλήψεις της εξάτμισης ενσωματώνουν βαλβίδες με ελατήριο για να ανακουφίσουν την υπερβολική πίεση που προκαλείται από μια έκρηξη. Οι συμπιεστές από ανοξείδωτο χάλυβα του δέκτη καυσαερίων έχουν σχεδιαστεί για να αντέξουν μια πιθανή έκρηξη χωρίς να εκραγούν. Τα συστήματα κινητήρα / ελέγχου αερίου και αυτοματισμού Wartsila UNIC ενσωματώνουν αισθητήρες σε κρίσιμες θέσεις για την ανίχνευση άκαυστων υδρογονανθράκων και στις αναγκαίες προσαρμογές ή να ενημερώσει τους χειριστές αναλόγως.

<p>Θα απαιτήσει EGR ή SCR καυσαερίων μετά τη θεραπεία, εάν απαιτείται να καταναλώνουν καύσιμο πετρέλαιο στη ζώνη NOx ECA.</p>	<p>Φυσικός χώρος μπορεί να δημιουργηθεί για να φιλοξενήσει εκ των υστέρων εξοπλισμό, εάν απαιτείται.</p>
<p>Ανησυχία για την ανταπόκριση της ομάδας συντήρησης Wartsila για τη συνεχή υποστήριξη.</p>	<p>Οι τεχνικοί και οι επιχειρησιακές ομάδες είχαν μικτή εμπειρία από την υποστήριξη της Wartsila στις εγκαταστάσεις τετράχρονων DFDE. Από τη Wartsila προσφέρουν "πλήρη δέσμευση για ... ένα πακέτο Ιδιοκτήτη Αξιοπιστίας και Υποστήριξης", η οποία περιλαμβάνει την επιλογή διαχείρισης του κύκλου ζωής και σύμβαση παροχής υπηρεσιών. Ωστε η Wartsila να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις της.</p>
<p>Μέχρι σήμερα δεν έχει κερδίσει την ευρεία αποδοχή από Majors ή άλλων θαλάσσιων Ιδιοκτήτες / Χειριστές.</p>	<p>Η Wartsila αναζητεί έναν πρωτοποριακό πελάτη να δημιουργήσει μια θέση στην δίχρονη θαλάσσια αγορά διπλού καυσίμου. Ανακοίνωσε ότι η TOTAL έδωσε την έγκριση για το concept της Wartsila χαμηλής πίεσης δίχρονων κινητήρων, ζητώντας τη συνεργασία της SK Shipping και Marubeni της Ιαπωνίας της Νότιας Κορέας για να εγκαταστήσουν τις μηχανές Wartsila X62DF σε δύο νέα 180.000 cbm LNGCs της Samsung. Τα πλοία είχαν αρχικά καθοριστεί με συστήματα πρόωσης TFDE.</p>

· **Παράρτημα 02** - Κίνδυνοι και μετριασμός τους, MAN ME-GI

MAN ME-GI option	
Κίνδυνοι / Μειονεκτήματα	Μετριασμός Κινδύνων / Μειονεκτημάτων
<p>Το σύστημα παροχής αερίου απαιτεί υψηλή πίεση, συμπιεστές αερίου μεγάλου όγκου ονομαστικής πίεσης διανομής 300 bar.</p>	<p>Οι επιπτώσεις θα αποτελέσουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης με το Ναυπηγείο. Για απαιτήσεις συντήρησης και λειτουργικά έξοδα, να διεξαχθούν διαπραγματεύσεις με την OEM. LMMA με την OEM ή μέσω MAN. Συμπληρωματική κατάρτιση των πληρωμάτων και του τεχνικού προσωπικού για να αναπτυχθεί μια εις βάθος κατανόηση των απαιτήσεων λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού αυτού.</p>
<p>Το σύστημα παροχής αερίου απαιτεί επιπλέον κρυογονικές αντλίες και vaporizer βαθμολογημένο στα 300 bar για να παρέχει forced boil off gas.</p>	<p>Οι επιπτώσεις θα αποτελέσουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης με το Ναυπηγείο. Για απαιτήσεις συντήρησης και λειτουργικά έξοδα, να διεξαχθούν διαπραγματεύσεις με την OEM. LMMA με την OEM ή μέσω MAN. Συμπληρωματική κατάρτιση των πληρωμάτων και του τεχνικού προσωπικού για να αναπτυχθεί μια εις βάθος κατανόηση των απαιτήσεων λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού αυτού.</p>
<p>Ανησυχίες για το πλήρωμα / διαχειριστές του συστήματος παροχής αερίου 300 bar.</p>	<p>Συμπληρωματική κατάρτιση των πληρωμάτων και του τεχνικού προσωπικού για να αυξήσει την ευαισθητοποίηση και την κατανόηση του συστήματος εφοδιασμού με αέριο και συναφούς εξοπλισμού.</p>
<p>Θα απαιτήσει EGR ή SCR καυσαερίων μετά τη θεραπεία, εάν απαιτείται να καταναλώνουν καύσιμο πετρέλαιο στη ζώνη NOx ECA.</p>	<p>Απόφαση που πρέπει να γίνουν για την επιλογή είτε του EGR ή το σύστημα SCR. Φυσικός χώρος μπορεί να δημιουργηθεί για να φιλοξενήσει εκ των υστέρων εξοπλισμό, εάν απαιτείται κατά τη συναρμολόγηση του κινητήρα επί του σκάφους ή τη μετασκευή εάν απαιτείται.</p>
<p>Περιορισμένη εμπειρία σε ομάδες LNG με την ομάδα συντήρησης MAN για τεχνική υποστήριξη.</p>	<p>Η MAN αναμένεται να προσφέρει μια ολοκληρωμένη συμφωνία Lifecycle Management Συντήρηση με παρόμοιους όρους με αυτούς της Wartsila.</p>