



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΙΣ
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΠΛΟΙΩΝ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ
ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής: Ζαννίκος Φ.
Σπουδαστής: Κορδαλής Κυριάκος

Επιτροπή: Λ. Καϊκτσής, Δ. Καρώνης

Ιούλιος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1		
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4-8
2		
	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	9
2.1		
	Σύνθεση εκπομπών καυσαερίων	9
2.2		
	Προέλευση και επιπτώσεις των ρυπογόνων ουσιών στον άνθρωπο και στο περιβάλλον ...	10
	2.2.1 Οξειδία του αζώτου (NO _x)	10
	2.2.2 Οξειδία του θείου (SO _x)	11
	2.2.3 Υδρογονάνθρακες (HC)	12
	2.2.4 Σωματίδια (PM)	12
3	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	13
3.1	Ρυπογόνες ουσίες που υπόκεινται σε περιορισμούς	13
3.2	MARPOL Παράρτημα VI	13
	3.2.1 Εισαγωγή	13
	3.2.2 Πτητικές οργανικές ενώσεις	16
	3.2.3 Προδιαγραφές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO _x)	17
	3.2.3.1 Προδιαγραφές εκπομπών NO _x για καινούριες μηχανές	18
	3.2.3.2 Προδιαγραφές εκπομπών NO _x για υπάρχουσες μηχανές	18
	3.2.4 Προδιαγραφές εκπομπών οξειδίων του θείου (SO _x)	20
3.3	California Air Resources Board (CARB)	22
3.4	Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Europe Council)	22
3.5	Συγκεντρωτικός Πίνακας	23
4	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	24
4.1	Εισαγωγή	24
4.2	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC)	25
4.3	Οξειδία του αζώτου (NO _x)	27
	4.3.1 Τεχνολογίες μείωσης των οξειδίων του αζώτου (NO _x)	28
	4.3.1.1 Πρωτογενείς μέθοδοι	28
	1. Βελτιστοποίηση του μηχανισμού έγχυσης	29
	2. Ακροφύσια εγχυτήρων	29
	3. Αλλαγή κύκλου Diesel	30

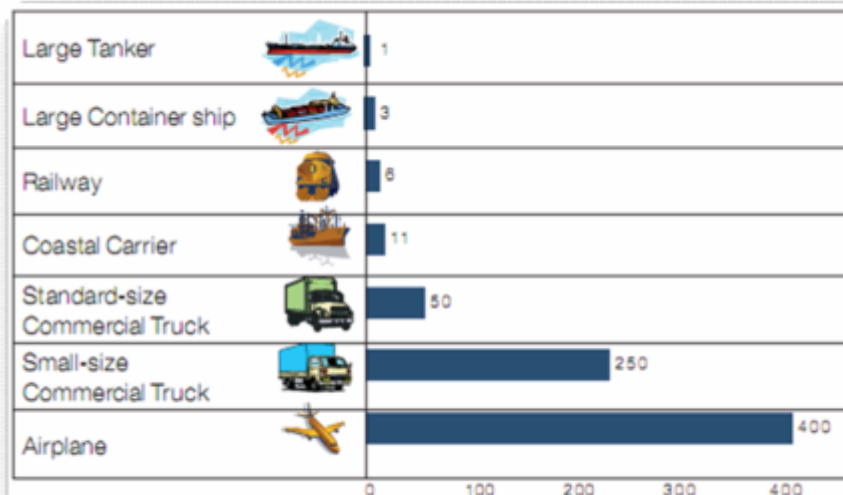
4. Βελτιστοποίηση ανάμειξης αέρα-καυσίμου στο θάλαμο καύσης.....	30
5. Υπερπλήρωση	31
6. Αλλαγή εργαζόμενου μέσου	32
7. Ψεκασμός νερού	32
8. Καυστήρες	35
4.3.1.2 Δευτερογενείς μέθοδοι	36
1. Selective Catalytic Reduction (SCR)	36
2. Scavenge Air Moisturizing system (SAM)	39
4.3.2 Διαδικασίες συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.....	42
4.3.2.1 NOx Technical File-Guidelines.....	42
1. Μέθοδοι Επιθεωρήσεων	44
4.3.2.2 Προτεινόμενες μετασκευές για συμμόρφωση με τις προδιαγραφές Tier I & II	47
4.4 Οξείδια του θείου (SOx).....	58
4.4.1 Εισαγωγή	48
4.4.2 Ναυτιλιακά Καύσιμα.....	49
1. Ιστορικό	49
2. Σύνθεση	49
3. Προϊόντα κλασματικής απόσταξης.....	50
4. Χαρακτηριστικά/ Προδιαγραφές καυσίμων	51
5. Οι βαθμοί των ναυτιλιακών καυσίμων.....	52
6. Προδιαγραφές νέου καυσίμου από την Shell	55
4.4.3 Διαδικασία παραλαβής καυσίμων.....	56
4.4.4 Λειτουργία της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών	58
1. Λειτουργία Diesel.....	58
2. Επιπτώσεις που οφείλονται στις προδιαγραφές των καυσίμων	58
3. Συμβατότητα μεταξύ των καυσίμων	59
4. Χαρακτηριστικά ανάφλεξης και καύσης πετρελαίων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι	59
5. Μετάβαση μεταξύ πετρελαίων διαφορετικών βαθμών (Change-over procedure)	60
6. Λιπαντέλαια	61
7. Αντλίες πετρελαίου	64
4.4.5 Δίκτυα καυσίμου	67
1. Προτεινόμενη μετασκευή Α.....	67

2. Προτεινόμενη μετασκευή Β	69
3. Προτεινόμενη μετασκευή Γ	70
4.4.6 MGO Cooler	71
4.4.7 Boiler Plant.....	73
4.4.7.1 Επιπτώσεις σε λέβητες από την χρήση MGO	73
4.4.7.2 Προτεινόμενες μετασκευές.....	73
5. Exhaust Gas Scrubbers	75
5.1 Οδηγίες του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO)	75
5.1.1 Σύστημα Α	80
5.1.2 Σύστημα Β.....	81
5.1.3 Συμμόρφωση του πλοίου με τους κανονισμούς εκπομπών καυσαερίων	82
5.1.4 Νερό απόπλυσης.....	82
5.2 Χρήση θαλασσινού νερού ως μέσου απόπλυσης	84
5.3 Έρευνα για την απαιτούμενη ποσότητα νερού απόπλυσης	85
5.4 Παρουσίαση μονάδων απόπλυσης	90
5.5 Οικονομική εκτίμηση	94
5.6 Πλεονεκτήματα από τη χρήση μονάδων απόπλυσης	95
6. Βιβλιογραφία.....	96-97

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστημονική κοινότητα ασχολείται με τις εκπομπές ρύπων της αεροπλοΐας σχεδόν δύο δεκαετίες τώρα και για τις εκπομπές ρύπων που προέρχονται από χερσαίες εγκαταστάσεις ακόμη περισσότερο. Οι έντονες κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, ώθησαν πρόσφατα την Ναυτιλιακή κοινότητα στην ενδελεχή εξέταση των βλαβερών ουσιών που εκπέμπουν τα πλοία. Με τη βοήθεια και τη συνεργασία της επιστημονικής κοινότητας αναζητεί τεχνικές λύσεις και θεσπίζει νομοθεσίες για τη βελτίωση της περιβαλλοντολογικής απόδοσης της Ναυτιλίας είτε μέσω διεθνών οργανισμών *International Maritime Organization* (IMO), είτε άλλων φορέων με κανονιστική αρμοδιότητα π.χ. Ευρωπαϊκή Επιτροπή (*Europe Council*) ή μεμονωμένα κράτη.

Η Ναυτιλία μεταφέρει πάνω από το 90% του παγκοσμίου εμπορίου. Είναι το μεταφορικό μέσο που βοηθά την παγκοσμιοποίηση, την ανάπτυξη και την ευημερία των λαών. Είναι μάλιστα το πλέον φιλικό περιβαλλοντικά μέσο μεταφοράς, καθώς εκπέμπει μόνο το 2,7% των παγκοσμίων ρύπων^[1]. Για παράδειγμα, αν ένα μεγάλο δεξαμενόπλοιο εκπέμπει 1 μονάδα καυσαερίων ανά μεταφερόμενο τόνο φορτίου, ένα πλοίο με εμπορευματοκιβώτια, λόγω της υψηλότερης του ταχύτητας, εκπέμπει 3 μονάδες, ένα τρένο 6 μονάδες, ένα μεγάλο φορτηγό 50 μονάδες και ένα αεροπλάνο 400 μονάδες^[1].



Εικ 1.1: Μονάδες καυσαερίων ανά μεταφερόμενο τόνο φορτίου

Ωστόσο καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες για περιορισμό των ρύπων ακόμη περισσότερο:

- σε νέες κατασκευές με την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογικά λύσεων και
- σε υπάρχοντα πλοία κυρίως με βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων

Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν και επηρεάζονται από την Ελληνική Ναυτιλία καθώς από την συνολική χωρητικότητα του παγκοσμίου στόλου 500 εκατομμύρια GRT, ο ελληνόκτητος στόλος είναι ο μεγαλύτερος, με περίπου 12%. Τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνολικά έχουν 58 εκατομμύρια GRT και τα πλοία με Ελληνική σημαία έχουν το 47%, με της Ιταλίας (11%) και της Γερμανίας (10%) να ακολουθούν.^[2]

Ως τώρα η οικολογική σκέψη ελάχιστα είχε ασχοληθεί με τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία, τους υπεργίγαντες των θαλασσών που καίνε μαζούτ, δηλαδή την πλέον ρυπογόνο μορφή καυσίμου, αφού τα καυσαέρια τους περιέχουν δηλητηριώδεις ενώσεις του θείου. Στα κατά κανόνα μοναχικά ταξίδια τους και στον αγώνα με τα κύματα, η κάπνα ήταν το τελευταίο πράγμα που θα μπορούσε να απασχολήσει ναυτικούς και πλοιοκτήτες. Αυτό που προείχε, ήταν να φτάσει το φορτίο όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στο λιμάνι προορισμού.

Οι καιροί όμως έχουν αλλάξει, όπως εξηγεί μιλώντας στην ιταλική εφημερίδα «La Repubblica» ο Σόρεν Στιγκ Νίλσεν, υπεύθυνος περιβάλλοντος της Maersk: *«Παλαιότερα μας απασχολούσαν μόνο το κόστος του ταξιδιού και ο χρόνος παράδοσης του φορτίου. Τώρα όμως στο κόστος μετράει και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος»*^[3]

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των βλαβερών ουσιών που εκπέμπουν τα πλοία διαφέρει από αντίστοιχα προβλήματα που έχουν μελετηθεί για επίγειες εγκαταστάσεις. Ο λόγος είναι ότι τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία είναι υπολείμματα της διαδικασίας παραγωγής ευγενέστερων προϊόντων από τα διυλιστήρια επομένως και οι εκπομπές που προκαλούνται από την καύση τους είναι διαφορετικές από αυτές που προκαλούνται από τα άλλα μέσα μεταφοράς. Αν τα πλοία έπρεπε να κάψουν τα ίδια καύσιμα με άλλα μέσα μεταφοράς τότε θα αυξάνονταν σημαντικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), από τα διυλιστήρια επειδή για να παράγουν το ευγενέστερο καύσιμο, οι διαδικασίες θα ήταν σημαντικά πιο ενεργοβόρες.

Παλαιότερα υπήρχαν κάποια αισιόδοξα συμπεράσματα για τις εκπομπές ρύπων από τα πλοία όπως ότι:

«οι συνήθεις εκπομπές των πλοίων δεν είναι επιβλαβείς στους ανοιχτούς ωκεανούς, όπου τα οξείδια του θείου (SO_x), όταν έρθουν σε επαφή με τη θάλασσα, γίνονται γύψος, ένα αδρανές υλικό. Τα οξείδια του θείου (SO_x) δημιουργούν προστατευτική ομπρέλα στην ατμόσφαιρα, η οποία αντανακλά τις ακτίνες του ήλιου και ως εκ τούτου μειώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπροσθέτως, τα οξείδια του αζώτου (NO_x) μειώνουν τη ζωή του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, το οποίο είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου που είναι είκοσι πέντε φορές πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)»^[1]

Τώρα πια έχει μετρηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επιβάρυνση που προκαλούν στο περιβάλλον τα ποντοπόρα πλοία και οι κίνδυνοι προδιαγράφονται με σαφήνεια, καθώς αναιρούνται κάποια από τα αισιόδοξα συμπεράσματα του παρελθόντος. Μόλις πριν από μερικά χρόνια είχε μετρηθεί ότι οι θαλάσσιες μεταφορές στο σύνολό τους ευθύνονται μόλις για το 1,75% του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, ενώ στις επίγειες μεταφορές φαινόταν να αναλογεί ποσοστό 10,5%. Νεότερες μελέτες (όπως εκείνη του αμερικανικού οργανισμού Environmental Defense Fund) έδειξαν ότι οι ρυπογόνες εκπομπές των πλοίων ισοδυναμούν με τις εκπομπές 7,8 εκατ. καινούργιων αυτοκινήτων.

Ναυτιλιακοί φορείς, ανάμεσά τους και η Ελληνική Επιτροπή Ναυτιλιακής Συνεργασίας Λονδίνου, ισχυρίζονται ότι μελέτες έχουν δείξει ότι τα καυσαέρια των πλοίων στην ανοικτή θάλασσα συντελούν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιστημονική έρευνα όμως στην οποία συμμετέχει και το Πανεπιστήμιο Manchester Metropolitan χρηματοδοτούμενη από την Ευρωπαϊκή Ένωση έρχεται να καταρρίψει αυτή τη θεωρία. ***Σύμφωνα με τους επιστήμονες, παρόλο που οι εκπομπές θείου δημιουργούν τοπικά μείωση της θερμοκρασίας, το φαινόμενο δεν είναι αρκετά ισχυρό ώστε να αντισταθμίσει την αύξηση της θερμοκρασίας σε άλλες περιοχές.***

Οι τρεις περιοχές «αρνητικής εκπομπής» σε Ασία, Ευρώπη και Ανατολική Ακτή των ΗΠΑ, που οδηγεί στη δημιουργία σύννεφων, εκμηδενίζονται και με το παραπάνω από τη «θετική» επίδραση του CO₂ στην κλιματική αλλαγή. Οι επιστήμονες είπαν στον IMO ότι έχουν αποδείξεις ότι η αρνητική επίδραση της συννεφιάς είναι τοπική, ενώ οι επιδράσεις του διοξειδίου του άνθρακα είναι παγκόσμιες και θετικές. Τα συμπεράσματα αυτά προκύπτουν από δύο ανεξάρτητες έρευνες, την «Quantify» και την «Attica», που χρηματοδοτούνται εν μέρει από την Ε.Ε. και για τις οποίες συνεργάζονται 41 επιστημονικές ομάδες από 19 χώρες. Το πρόγραμμα θα ολοκληρωθεί το 2010.

- [International Maritime Organization](#)^[4]

Η 58^η συνεδρίαση της Επιτροπής Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού που πραγματοποιήθηκε στις 6-10 Οκτωβρίου 2008 στο Λονδίνο αναζωπύρωσε τις συζητήσεις για μια ναυτιλία πιο φιλική προς το περιβάλλον, ειδικά όσον αφορά την εκπομπή αέριων ρύπων. Αποφασίστηκε η σταδιακή μείωση της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται και των εκπομπών αζώτου, μέσω της ομόφωνης υιοθέτησης των κανονισμών της συνθήκης MARPOL Annex VI, για την περαιτέρω μείωση της εκπομπής βλαβερών αερίων από τα πλοία.

Η 60^η συνεδρίαση της Επιτροπής Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού πραγματοποιήθηκε στις 22-26 Μαρτίου 2010. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο διάλογος για τα αέρια του θερμοκηπίου ήταν έντονος ενώ πολλά κράτη μέρη δήλωσαν επίσημα την αντίθεσή τους για το Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Αποτελεσματικότητας (EEDI), το Πλάνο Διαχείρισης της Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (SEEMP) και την εξειδικευμένη Ομάδα Εργασίας, η οποία θα μελετούσε περαιτέρω το θέμα των αερίων που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η Επιτροπή από την άλλη, πέρασε το μήνυμα ότι ο IMO θα είναι ο αρμόδιος οργανισμός που θα επιληφθεί επί του θέματος της κλιματικής αλλαγής στον βιομηχανικό κλάδο της ναυτιλίας και όχι τα Ηνωμένα Έθνη.

Οι μεγαλύτερες όμως συγκρούσεις αφορούν στη μείωση των εκπομπών *διοξειδίου του άνθρακα*, καθώς δεν υπάρχει εύκολη λύση. Η επικρατέστερη λύση σε επίπεδο IMO είναι η παράλληλη καθιέρωση συστήματος εμπορίας εκπομπών CO₂ (Emissions Trading Scheme) και φορολογίας στα καύσιμα (carbon tax). Η MEPC58 συμφώνησε στη χρήση των προσωρινών οδηγιών για τη μέθοδο υπολογισμού του δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index) για νέα πλοία, ώστε να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και τα πειράματα για τη βελτίωσή του. Σύμφωνα με την MEPC, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παγκόσμια ναυτιλία για το 2007 έφτασαν στους 843 εκατ. τόνους, που αντιστοιχεί στο 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ που διαχέονται στην ατμόσφαιρα.

Οι Έλληνες εφοπλιστές αντιτίθενται στην ένταξη της ναυτιλίας στο σύστημα εμπορίας ρύπων (το οποίο ισχύει για άλλες βιομηχανίες σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο), καθώς, όπως είπε ο κ. Επαμεινώνδας Εμπειρικός, πρόεδρος της Ελληνικής Επιτροπής Ναυτιλιακής Συνεργασίας Λονδίνου, το κόστος συμμετοχής εκτιμάται στα 50 δισ. δολάρια το χρόνο, με την ελληνόκτητη εμπορική ναυτιλία να επιβαρύνεται με 9 δισ. δολάρια. Ένα ποσό που θα κληθεί να πληρώσει ο τελικός καταναλωτής, σύμφωνα με τον κ. Εμπειρικό. Ο οποίος επισημαίνει σε κοινή ανακοίνωση του Committee και της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών ότι «η υιοθέτηση ενός τέλους για τη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ακατάλληλο και αντιπαραγωγικό ως μέτρο και θα έχει σοβαρές αρνητικές συνέπειες όχι μόνο για τη ναυτιλιακή βιομηχανία αλλά και για την

παγκόσμια οικονομία, αλλά και για το ίδιο το περιβάλλον», και προσθέτει ότι «η αγορά έχει ήδη προσφέρει οικονομικά κίνητρα για την εφαρμογή και περαιτέρω ανάπτυξη τεχνικών και διαχειριστικών μέτρων για τη βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων, και με τον τρόπο αυτό της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλιακή βιομηχανία, χωρίς τη λήψη των συγκεκριμένων μέτρων».^[5]

Στα μέτρα που προτείνει ο ελληνικός εφοπλισμός είναι η μείωση ταχύτητας των πλοίων και ο καλύτερος προγραμματισμός του ταξιδιού για τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων, όπως και η σταδιακή χρήση καθαρότερων καυσίμων.^[5]

Παρόμοια άποψη έχει και ο πρόεδρος του Διεθνούς Ναυτιλιακού Επιμελητηρίου (ICS) κ. Σπύρος Πολέμης, ο οποίος σε συνέδριο της εφημερίδας Financial Times που έγινε στις 9 Οκτωβρίου 2009 στην Αθήνα τόνισε ότι η καθιέρωση του ETS στη ναυτιλία θα τιμωρούσε αδικώς την πιο φιλική προς το περιβάλλον βιομηχανία μεταφορών. Η λύση είναι τεχνολογικές και πρακτικές βελτιώσεις των λειτουργικών αποδόσεων, σύμφωνα με τον κ. Πολέμη όπου τόνισε ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι κυρίως ευχολόγια, ενώ το σύστημα ETS θα προσθέσει ένα τεράστιο κόστος στη ναυτιλία χωρίς να ελαττώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.^[6]

Το μόνο σίγουρο είναι ότι οι σύνθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα επηρεάσουν την επιχειρηματική δραστηριότητα, την κοινωνία και τα οικοσυστήματα. Οι εκπομπές έχουν μια τιμή, η οποία είναι μαζί χρηματική και κοινωνική.

Συμπερασματικά: αντιλαμβανόμαστε ότι οι προκλήσεις για τη ναυτιλία σε σχέση με τις νέες περιβαλλοντολογικές απαιτήσεις είναι μεγάλες και πρέπει να σχεδιαστούν καινούριες προτάσεις, διαδικασίες και τεχνολογικές καινοτομίες και να μελετηθούν οι επιπτώσεις τους ώστε να καταλήξουμε σε μια πιο αποδοτική Ναυτιλία.

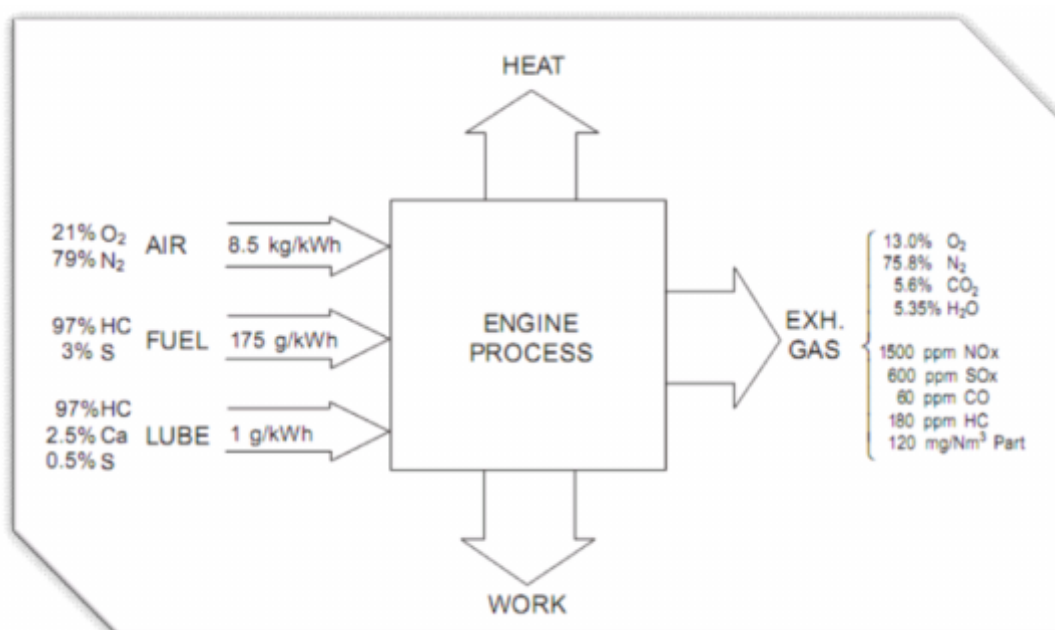
2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

2.1 Σύνθεση εκπομπών καυσαερίων.^[7]

Ρύποι κατά την λειτουργία Ναυτικών κινητήρων μπορούν να θεωρηθούν:

- Οξείδια του αζώτου, NO_x
- Οξείδια του θείου, SO_x
- Διοξείδιο του άνθρακα, CO_2
- Μονοξείδιο του άνθρακα CO
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες
- Σωματίδια PM (Particulate material)
- Πτητικές οργανικές ενώσεις VOC. (προ καύσεως).

Από τα παραπάνω προς το παρόν μόνο τα οξείδια του αζώτου NO_x , τα οξείδια του θείου SO_x και οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOC, υπόκεινται σε νομοθετικούς περιορισμούς. Όμως όπως έχει ήδη αναφερθεί αν και η ναυτιλία έχει μέχρι στιγμής εξαιρεθεί από το πλαίσιο του Κιότο για τα αέρια θερμοκηπίου, είναι σαφές ότι η εποχή αυτή πλησιάζει γρήγορα στο τέλος της, και μέτρα για τον περιορισμό του CO_2 αναζητούνται επειγόντως. Παράλληλα, η ευρύτερη ανάλυση μέτρων για άλλα αέρια θερμοκηπίου (όπως CH_4 και N_2O), καθώς και για αέρια που δεν είναι αέρια του θερμοκηπίου (όπως SO_2 , NO_x και άλλα) είναι πολύ ψηλά στην ατζέντα όχι μόνο του IMO, αλλά και άλλων φορέων με κανονιστική αρμοδιότητα (Ευρωπαϊκή Ένωση, μεμονωμένα κράτη, κλπ). Ένα τυπικό παράδειγμα εκπομπών από ένα ναυτικό κινητήρα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικ 2.1: Σύνθεση εκπομπών καυσαερίων τυπικού αργόστροφου Ναυτικού κινητήρα.

2.2 Προέλευση και επιπτώσεις των ρυπογόνων ουσιών στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.

2.2.1 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)^[8]

Τα οξειδία του αζώτου (NO_x), παράγονται από το άζωτο και το οξυγόνο όταν βρεθούν:

1. σε υψηλές θερμοκρασίες και
2. σε υψηλές πιέσεις καύσεως μέσα στον κύλινδρο.

Χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας καθώς μεγάλες συγκεντρώσεις έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Τα οξειδία του αζώτου πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνα για καρκινογενέσεις, επίσης συμβάλλουν στην φωτοχημική ρύπανση και στην όξινη βροχή. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης δημιουργούν κυρίως οξειδία του αζώτου αλλά ποσοστό λιγότερο από 10% αυτών διαφεύγει στο περιβάλλον μέσω των καυσαέριων.

Η αρνητική επίδραση του διοξειδίου του αζώτου στα φυτά ξεκινά από συγκεντρώσεις 0,6 mg/kg, οπότε έχουμε παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης. Σε συγκεντρώσεις 2 mg/kg, καταστρέφονται τα φύλλα.

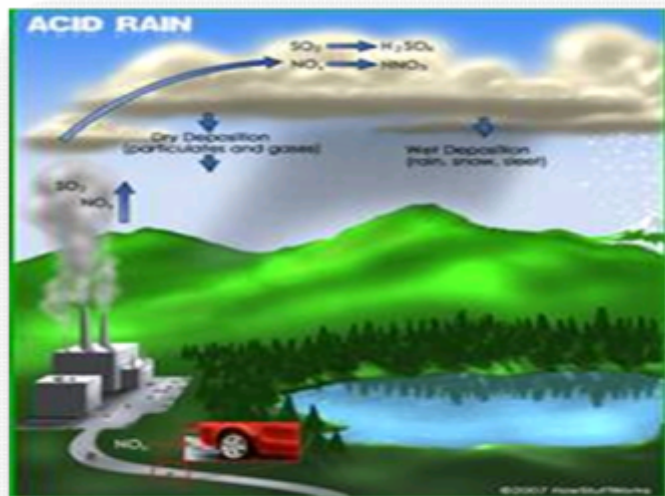
Όμως οι μεγαλύτερες βλαπτικές επιδράσεις του ασκούνται πάνω στον άνθρωπο. Η περιορισμένη διαλυτότητα του επιτρέπει να διεισδύσει βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα. Οι ενοχλήσεις μπορούν να αρχίσουν από χαμηλές συγκεντρώσεις των 15 ppm (ppm: μέρη στο εκατομμύριο), με τσούξιμο στα μάτια και στη μύτη. Από 25 ppm αρχίζουν οι αναπνευστικές ενοχλήσεις, με βήχα, δύσπνοια, πόνους στο στήθος, βήχα με κίτρινο επίχρισμα ή αίμα, κυάνωση, πυρετό, κρίση άσθματος, αυξημένο αναπνευστικό ρυθμό, τραχειοβρογχίτιδα, βρογχοπνευμονία και πνευμονικό οίδημα. Έκθεση σε 150-200 ppm μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρα πνευμονική ίωση.^[9]

Το διοξείδιο του αζώτου αντιδρά επίσης με την αιμοσφαιρίνη δημιουργώντας αδρανείς ενώσεις, με κύρια την μεθαιμοσφαιρίνη, της οποίας τα επίπεδα χρησιμοποιούνται και σαν ένδειξη του ύψους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μονοξείδιο και διοξείδιο του αζώτου. Με αυτό τον τρόπο εμποδίζεται η οξυγόνωση των ιστών. Το αποτέλεσμα είναι ταχυπαλμία υπέρταση και καρδιακή αρρυθμία.^[9]

2.2.2 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_x)^[8]

Τα οξείδια του θείου (SO_x), είναι ανόργανες χημικές ενώσεις. Επειδή οι γαιάνθρακες και το πετρέλαιο περιέχουν ενώσεις του θείου, αναπόφευκτα η καύση τους σε συνδυασμό με το οξυγόνο εκλύει διοξείδιο του θείου. Με την παρουσία υγρασίας και περισσότερο κάποιου καταλύτη όπως το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται παραπέρα σε θειικό οξύ, πράγμα που όταν γίνεται στην ατμόσφαιρα δημιουργεί το φαινόμενο της όξινης βροχής επίσης επηρεάζει άτομα με αναπνευστικά προβλήματα και προκαλεί αλλοιώσεις σε βλάστηση και μέταλλα.

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο τα διάφορα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα (π.χ. βροχή, χαλάζι, χιόνι) αποκτούν έναν όξινο χαρακτήρα λόγω των όξινων αερίων που διαλύονται στη βροχή. Τα πιο σημαντικά αέρια που προκαλούν την όξινη βροχή είναι τα: διοξείδιο του άνθρακα (SO₂), διοξείδιο του αζώτου (NO₂) από το οποίο σχηματίζεται το νιτρικό οξύ (HNO₃). Τα αέρια αυτά προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η όξινη βροχή επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα σε οικοσυστήματα, καλλιέργειες, πολιτιστικά μνημεία και στις περιουσίες των πολιτών.



Η νέα θεωρία^[9]

Υπάρχει όμως και μια νέα θεωρία την οποία διατύπωσε ένας επιστήμονας στη Νορβηγία, ο Rosenqvist, ο οποίος είχε πρόβλημα να πιστέψει ότι μόνο η **όξινη βροχή** δημιουργούσε επιπτώσεις στις λίμνες κατά τέτοιο θανάσιμο τρόπο. Γιατί κατά τη διάρκεια δυνατής βροχής, οι ποταμοί μπορεί να είναι μέχρι δεκαπέντε φορές περισσότερο όξινοι από την ίδια τη βροχή; Δεν μπορεί να είναι η βροχή μόνο που καταστρέφει τις λίμνες. Σύντομα οι επιστήμονες αναγκάστηκαν να δεχτούν αυτήν την θεωρία ελλείψει καλύτερης θεωρίας. Το θειικό οξύ αποτελείται από δύο τμήματα, τα δύο ιόντα. Το ιόν του υδρογόνου είναι αυτό που κάνει μια ουσία οξύ. Το άλλο ιόν είναι θειικό άλας. Όταν υπάρχουν περισσότερα ιόντα υδρογόνου μια ουσία είναι πιο όξινη. Όταν η βροχή προκαλεί υπερχειλίση των ποταμών το νερό περνά μέσω του χώματος. Από τη βιομηχανική επανάσταση στη Μεγάλη Βρετανία υπάρχει μια αυξανόμενη συνεχώς ποσότητα θείου στο χώμα. Στον ποταμό δεν υπάρχει αρκετό θείο για να σχηματιστεί οξύ σε μεγάλες ποσότητες. Εντούτοις στο χώμα υπάρχει μια μεγάλη ποσότητα θείου για να βοηθήσει το σχηματισμό του οξέως. Όταν το θείο ενώνεται με το νερό το pH γίνεται πολύ μικρότερο. Αυτό το φαινόμενο είναι η πιο θανάσιμη επίδραση της όξινης βροχής στο νερό. Το ίδιο το νερό δεν περιέχει αρκετό θείο για να σκοτώνει τους πληθυσμούς των ψαριών και των φυτών. Αλλά με τη βοήθεια του θείου στο χώμα μπορεί να το κάνει.

2.2.3 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (HC)^[8]

Οι υδρογονάνθρακες (HC), προέρχονται από την ατελή καύση του καυσίμου-λαδιού και την εξάτμιση του καυσίμου. Έχουν επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου-καρκινογενέσεις αλλά και στο περιβάλλον με την δημιουργία νέφους.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης, καθώς υπάρχει έλλειψη αέρα και διαχωρισμός των διοξειδίων του άνθρακα, είναι εξαιρετικά τοξικό σε μεγάλη συγκέντρωση. Λόγω της περίσσειας αέρα στις δίχρονες Ναυτικές μηχανές οι εκπομπές μονοξειδίου είναι πολύ μικρές.

2.2.4 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM)^[8]

Τα σωματίδια είναι ένα σύνθετο μείγμα από οργανικές και ανόργανες ενώσεις που προκύπτουν από ατελή καύση, άκαυστες ποσότητες λιπαντικού, θερμικό ξέσπασμα υδρογονανθράκων, υπολείμματα άκαυστων σωματιδίων στα καύσιμα και στα λιπαντικά και ύπαρξη νερού. Μεγαλύτερο ποσοστό από 50% των σωματιδίων εξέρχεται στην ατμόσφαιρα υπό μορφή καπνού. Τα άκαυστα σωματίδια άνθρακα δεν είναι τοξικά από μόνα τους και αποτελούν λιγότερο από 0.003% των καυσαερίων.

3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

3.1 Ρυπογόνες ουσίες που υπόκεινται σε περιορισμούς.^[10]

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, από τους προαναφερόμενους ρύπους που εκπέμπουν τα πλοία αυτοί που καθορίζονται από νομοθετικούς περιορισμούς -*προς το παρόν*- είναι:

- Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)
- Οξείδια του αζώτου (NO_x)
- Οξείδια του θείου (SO_x).

Νομοθετικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την ρύπανση του περιβάλλοντος από την Ναυτιλία μπορούν να θεσπίσουν: διεθνείς οργανισμοί *International Maritime Organization (IMO)*, φορείς με κανονιστική αρμοδιότητα π.χ. Ευρωπαϊκή Επιτροπή (*Europe Council*) και μεμονωμένα κράτη (π.χ. California). Ο σημαντικότερος νομοθέτης για την παγκόσμια ναυτιλία είναι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός-*International Maritime Organization (IMO)*.

3.2 MARPOL 73/78 Παράρτημα VI^[10]

3.2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο του νέου πρωτοκόλλου στη Σύμβαση **MARPOL 73/78**, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ενέκρινε το 1997 το **Παράρτημα VI** το οποίο περιλαμβάνει κανονισμούς για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία. (Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships-Annex VI).

Η Ελλάδα ως κράτος-μέλος της παγκόσμια Ναυτιλιακής κοινότητας έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα και τις τροποποιήσεις της διεθνούς σύμβασης MARPOL 73/78.

Με τις διατάξεις του εν λόγω Παραρτήματος θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις, υπό μορφή κανονισμών, με τις οποίες καθορίζονται:

1. οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο του καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία,
2. τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για μηχανές diesel πλοίων καθώς και
3. τα ληπτέα μέτρα σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή δεξαμενοπλοίων στα οποία μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

Για την πληρέστερη ενημέρωση και για τους σκοπούς ομοιόμορφης εφαρμογής του υπόψη Παραρτήματος από όλους τους εμπλεκόμενους, παρέχονται οι παρακάτω συμπληρωματικές/διευκρινιστικές οδηγίες:

1. Πεδίο εφαρμογής: Το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα, εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επί μέρους απαιτήσεις.

2. Επιθεωρήσεις - Κανονισμός 5

2.1 Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 gt και άνω και κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου και άλλες πλατφόρμες, διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις από τον αρμόδιο Νηογνώμονα που έχει επιλέξει ο πλοιοκτήτης :

α) αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC).

The image shows two pages of an International Air Pollution Prevention Certificate (IAPPC). The left page (Page 1 of 4) contains the following information:

- Title:** INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE
- Supplement No.:** 07E04139-A7P
- Certificate No.:** 07E04139-A7P
- Issued under the provisions of the Protocol of 1997 to amend the INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, and as amended by resolution MEPC.132(73), hereinafter referred to as "the Convention"**
- Issued under the authority of the Government of the Republic of Cyprus by NIPPON KAIJI KYOKAI**
- Particulars of ship:**
 - Name of ship: NIKOMARIN
 - Identification number or letters: CHL32
 - Part of registry: Limassol
 - Gross tonnage: 43,138
 - IMO Number: IMO 9401306
 - Type of ship:
 - tanker
 - ship other than a tanker
- THIS IS TO CERTIFY:**
 - That the ship has been surveyed in accordance with regulation 5 of Annex VI of the Convention, and
 - That the survey shows that the equipment, systems, fittings, arrangements and material fully comply with the applicable requirements of Annex VI of the Convention.

The right page (Page 2 of 4) contains the following information:

- Completion date of the survey on which this certificate is based:** 27 April 2007
- This Certificate is valid until:** 26 April 2012
- subject to surveys in accordance with regulation 5 of Annex VI of the Convention.**
- Issued at:** Tokyo **on:** 21 June 2007
- The undersigned declares that he is duly authorized by the said Government to issue this certificate.**
- Signature:** (Signature of General Manager of Classification Department NIPPON KAIJI KYOKAI)
- Title:** General Manager of Classification Department NIPPON KAIJI KYOKAI
- Note:** This certificate is automatically cancelled on the date on which the Provisional Certificate of Cyprus Registry of the above ship expires and no government registration of the said ship has been effected.

Εικ. 3.1: International Air Pollution Prevention Certificate^[11]

β) περιοδικές επιθεωρήσεις: διενεργούνται σε χρόνο που καθορίζεται από την Αρχή, χωρίς να υπερβαίνουν τα πέντε (5) έτη (συνήθως κατά τη διάρκεια του Special Survey του πλοίου).

γ) τουλάχιστον μία ενδιάμεση επιθεώρηση: στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μία τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των πέντε ετών, αυτή θα πραγματοποιείται μέσα σε χρονικό διάστημα έξι μηνών πριν ή μετά την ημερομηνία του μέσου της περιόδου αυτής (Intermediate Survey).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις και υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις εφαρμοζόμενες απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

2.2 Οι επιθεωρήσεις των υπόχρεων πλοίων γίνονται είτε από επιθεωρητές της Αρχής είτε από Αναγνωρισμένους Οργανισμούς -συνήθως από επιθεωρητές του Νηογνώμονα του πλοίου.

2.3 Εφόσον, κατά τη διενέργεια της επιθεώρησης, κριθεί από τον επιθεωρητή ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν ανταποκρίνεται στα στοιχεία του Πιστοποιητικού, θα λαμβάνεται μέριμνα προκειμένου να διασφαλίζεται ότι έχουν ληφθεί ενέργειες αποκατάστασής του, με παράλληλη ενημέρωση της Αρχής.

2.4 Για οποιοσδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις ή υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

3 Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ) International Air Pollution Prevention Certificate (IAPPC) - Κανονισμός 6

3.1 Τα πλοία και οι πλατφόρμες ή εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου που υποχρεούνται σύμφωνα με τον επισυναπτόμενο Πίνακα να έχουν ΔΠΠΡΑ και κατασκευάσθηκαν πριν την 19η Μαΐου 2005 (υπάρχοντα πλοία), θα εφοδιάζονται με Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα , που θα χορηγείται όχι αργότερα από την πρώτη προγραμματισμένη επιθεώρηση στην ξηρά, μετά την 19η Μαΐου 2005 αλλά σε καμία περίπτωση μετά την 19η Μαΐου 2008.

3.2 Το ΔΠΠΡΑ εκδίδεται είτε από την Αρχή είτε από Αναγνωρισμένο Οργανισμό.

3.3 Ο τύπος του Πιστοποιητικού θα ανταποκρίνεται στο υπόδειγμα που παρατίθεται στο Προσάρτημα I του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου και θα συντάσσεται στην Ελληνική και Αγγλική γλώσσα.

3.4 Το εν λόγω Πιστοποιητικό έχει διάρκεια ισχύος πέντε έτη από την ημερομηνία έκδοσής του.

4 Απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών από πλοία

Σύμφωνα με τους εννοιολογικούς προσδιορισμούς του υπόψη Νόμου, ως «εκπομπή » νοείται οποιαδήποτε απελευθέρωση ουσιών από πλοία στον αέρα ή στη θάλασσα, που υπόκειται σε έλεγχο από το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78.

3.2.2 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC).^[10]

MARPOL Annex VI - Κανονισμός 15 (IMO).

Στον Κανονισμό αυτό καθορίζονται γενικές απαιτήσεις/υποχρεώσεις, στην περίπτωση που ένα Μέρος στο Πρωτόκολλο 1997, σκοπεύει να καθορίσει λιμάνια ή τερματικούς σταθμούς, που ανήκουν στη δικαιοδοσία του και στα οποία οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από δεξαμενόπλοια πρόκειται να αποτελέσουν αντικείμενο ρύθμισης.

Στην περίπτωση αυτή, το Μέρος στο εν λόγω Πρωτόκολλο θα πρέπει να διασφαλίζει ότι, στα λιμάνια και στους τερματικούς σταθμούς στους οποίους ισχύουν ειδικά μέτρα για εκπομπές VOCs, διατίθενται συστήματα ελέγχου των ατμών συγκεκριμένων πτητικών φορτίων, που λειτουργούν με ασφάλεια και χωρίς να προκαλούν αδικαιολόγητη καθυστέρηση στα δεξαμενόπλοια.

Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου και σύμφωνα με την πρότυπη προδιαγραφή για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών που αναφέρεται στην Απόφαση MSC/Circ.585 του IMO.

Σημειώνεται, ότι για τα υγραεριοφόρα δεξαμενόπλοια ο Κανονισμός αυτός θα εφαρμόζεται μόνον όταν ο τύπος φόρτωσης και τα συστήματα εγκλωβισμού επιτρέπουν την κατακράτηση ατμών VOCs που δεν περιέχουν μεθάνιο πάνω στο πλοίο ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

3.2.3 Προδιαγραφές εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x).^[10]

MARPOL Annex VI - Κανονισμός 13 (IMO).

Ο Κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε :

Κάθε μηχανή ντίζελ με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία εγκαθίσταται σε ένα πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου του 2000 και κάθε μηχανή ντίζελ με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, η οποία υπόκειται σε μετασκευή ευρείας έκτασης μετά την 1η Ιανουαρίου 2000.

Ο Κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται σε :

Μηχανές ντίζελ έκτακτης ανάγκης (ηλεκτρογεννήτριες-Emergency diesel generator), μηχανές πρόωσης σωσίβιων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Για τους σκοπούς εφαρμογής του Κανονισμού αυτού, μετασκευή ευρείας έκτασης σημαίνει τροποποίηση μιας μηχανής όπου :

Μία μηχανή αντικαθίσταται από μία νέα μηχανή που κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου 2000, οποιαδήποτε σημαντική μετατροπή, όπως ορίζεται στον Τεχνικό Κώδικα για τον Έλεγχο Εκπομπών Οξειδίων του Αζώτου από Ναυτικές Μηχανές Diesel (Τεχνικός Κώδικας NO_x), γίνεται στη μηχανή ή η μέγιστη συνεχής απόδοση των στροφών της μηχανής αυξάνεται περισσότερο από 10%.

Η λειτουργία κάθε μηχανής ντίζελ, στην οποία εφαρμόζεται αυτός ο Κανονισμός, επιτρέπεται εφόσον οι εκπομπές NO_x βρίσκονται κάτω από τα ακόλουθα όρια :

- 17,0 g/KWh όταν οι στροφές λειτουργίας n είναι μικρότερες από 130 rpm,
- $45,0 \times n^{-0,2}$ g/KWh όταν οι στροφές λειτουργίας n είναι μεγαλύτερες ή ίσες από 130 αλλά μικρότερο από 2000 rpm,
- 9,8 g/KWh όταν οι στροφές λειτουργίας n είναι ίσες ή μεγαλύτερες από 2000 rpm.

n = η ονομαστική ταχύτητα της μηχανής (περιστροφές στροφαλοφόρου ανά λεπτό).

Η λειτουργία μιας μηχανής diesel επιτρέπεται επίσης όταν λειτουργεί ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NO_x ή εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδος, εγκεκριμένη από την Αρχή, για τη μείωση των εκπομπών NO_x στο πλοίο, τουλάχιστον μέχρι τα όρια που προαναφέρθηκαν.

3.2.3.1 Προδιαγραφές εκπομπών NOx για καινούριες μηχανές:^[12]

Το ΜΕΡC (συνεδρίαση του ΙΜΟ που αφορά τη διεθνή σύμβαση ΜΑRΡΟL) συμφώνησε με τις τροποποιήσεις που επιβεβαιώνουν την προτεινόμενη δομή τριών επιπέδων για τις νέες μηχανές, οι οποίες θα καθόριζαν τα σταδιακά αυστηρότερα όρια εκπομπής οξειδίων αζώτου για τις νέες μηχανές ανάλογα με την ημερομηνία της εγκατάστασής τους.

Η σειρά I (Tier I), ισχύει για μια μηχανή ντίζελ που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2000 και πριν από την 1η Ιανουαρίου 2011 και αντιπροσωπεύει τα πρότυπα 17,0 g/kWh που ορίζονται στο υπάρχον παράρτημα VI.

Για τη σειρά II (Tier II), τα επίπεδα εκπομπής NOx για μια μηχανή ντίζελ που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2011 θα μειώνονταν σε 14,4 g/kWh.

Για τη σειρά III (Tier III), τα επίπεδα εκπομπής NOx για μια μηχανή ντίζελ που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1ης Ιανουαρίου 2016 θα μειώνονταν σε 3,4 g/kWh, όταν το πλοίο κινείται σε μια *οριζόμενη περιοχή ελέγχου εκπομπής*. Έξω από μια *οριζόμενη περιοχή ελέγχου εκπομπής*, ισχύει το όριο της σειράς II.

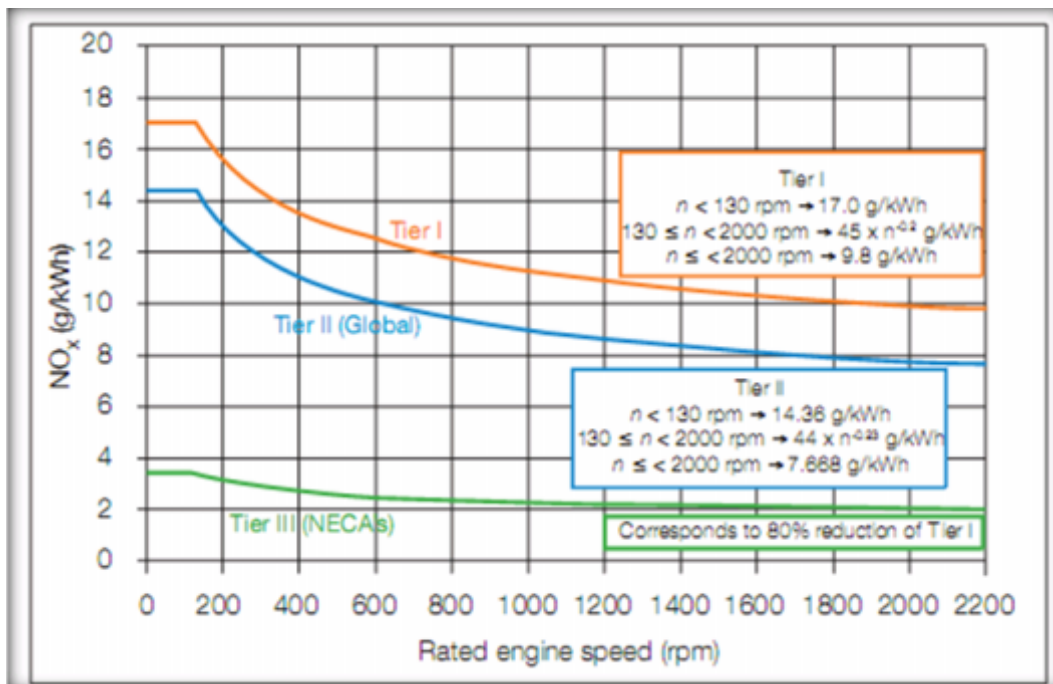
3.2.3.2 Προδιαγραφές εκπομπών NOx για υπάρχουσες μηχανές:^[12]

Το ΜΕΡC συμφώνησε με όριο εκπομπής NOx 17,0 g/kWh για μια μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 5.000 kW και εκτόπισμα ανά κύλινδρο 90 λίτρα ή περισσότερο, που εγκαταστάθηκαν σε ένα πλοίο κατασκευής 1ης Ιανουαρίου 1990 και μετά αλλά πριν από την 1η Ιανουαρίου 2000.

Τεχνικός κώδικας NOx :

Το τροποποιημένο σχέδιο του τεχνικού κώδικα NOx, περιλαμβάνει ένα νέο κεφάλαιο 7 βασισμένο στη συμφωνηθείσα προσέγγιση για τον κανονισμό NOx υπαρχουσών (προ-2000) μηχανών που καθιερώνονται στο τροποποιημένο σχέδιο Marpol παράρτημα VI.

Το τροποποιημένο σχέδιο κώδικα NOx περιλαμβάνει τις διατάξεις για τις άμεσες μεθόδους μέτρησης και ελέγχου των εκπομπών, μια διαδικασία πιστοποίησης για τις υπάρχουσες μηχανές και τους κύκλους δοκιμής που εφαρμόζονται στις σειρές μηχανών II και III.



Εικ 3.2: IMO NOx Limits

3.2.4 Προδιαγραφές εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x)^[10]

MARPOL Annex VI - Κανονισμός 14 (IMO).

Με τον Κανονισμό αυτό καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου, το **4,5%** κατά βάρος.

Αυστηρότερες απαιτήσεις ισχύουν για τα πλοία που κινούνται εντός περιοχών ελέγχου εκπομπών SO_x (SECA), δηλαδή εντός θαλασσίων περιοχών που πληρούν τα κριτήρια και τις διαδικασίες καθορισμού, που περιγράφονται στο Προσάρτημα III του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου. Επί του παρόντος, ως περιοχές SECA έχουν καθορισθεί, η Βαλτική θάλασσα, η Βόρειος Θάλασσα και το Στενό της Μάγχης.



Εικ. 3.3: Seca Area

Σημειώνεται, ότι για την είσοδο του πλοίου σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SO_x θα καταγράφονται στοιχεία που αφορούν τον όγκο του καυσίμου πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μικρότερης ή ίσης του 1,5% κ.β. σε περιεχόμενο θείο) σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου. Ενδεικτικά η σχετική εγγραφή μπορεί να γίνεται στο ημερολόγιο γεφύρας ή μηχανής του πλοίου.

Περαιτέρω, για τα πλοία που βρίσκονται εντός των προαναφερόμενων περιοχών SECA, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον *μία* από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο πετρέλαιο δεν υπερβαίνει το **1,5% κ.β.** ή
2. Υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από την Αρχή, που εφαρμόζεται στη μηχανή του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των κύριων ή βοηθητικών μηχανών πρόωσης, για τη μείωση των ολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου δεν θα υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (συνολικό βάρος εκπομπής $\leq 6,0$ g SO_x/KWh) ή
3. Εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη τεχνολογική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x, εντός των παραπάνω ορίων, εγκεκριμένη από την Αρμόδια Αρχή.

Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ($S \leq 4,5\%$ κ.β. είτε $S \leq 1,5\%$ κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SO_x), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του καυσίμου (bunker delivery note), με ευθύνη του προμηθευτή.

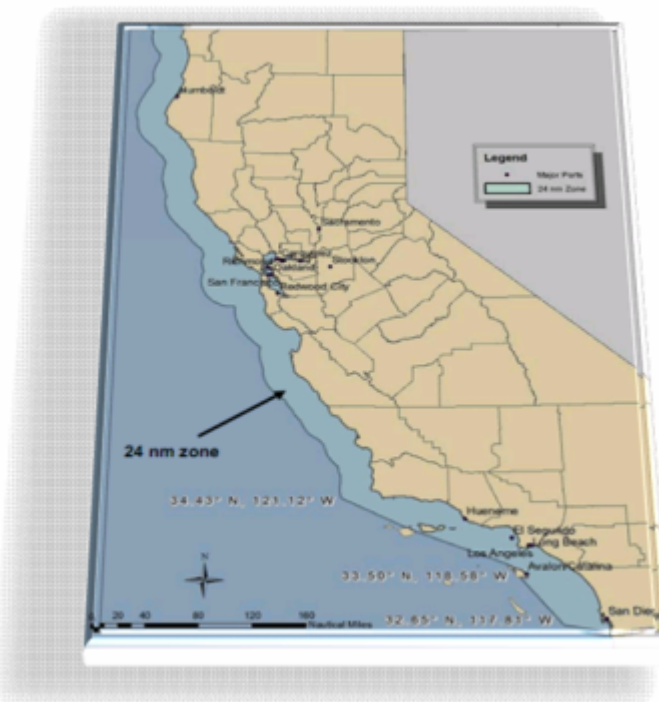
Τον **Απρίλιο του 2008** η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο MARPOL παράρτημα VI σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές είναι στην σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SO_x) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου να μειώνεται αρχικά σε **3,50%** (από το τρέχον 4,50%), από την **1η Ιανουαρίου 2012** και έπειτα σταδιακά σε **0,50 %**, από την **1η Ιανουαρίου 2020**, υπό τον όρο ότι μία μελέτη σκοπιμότητας θα έχει ολοκληρωθεί το αργότερο έως το 2018. Από την 1η Ιουλίου 2010 τα εφαρμόσιμα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου (SECAs) θα μειωθούν στο 1,00%, (από τα τρέχοντα 1,50 %) και στο 0,10%, από την 1η Ιανουαρίου 2015.

3.3 California Air Resources Board^[13]

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας στην Αμερική έχει θεσπίσει επιπλέον μέτρα και πιο αυστηρά για της εκπομπές οξειδίων του θείου από αυτές που περιγράφονται στην MARPOL Annex VI.

Τα μέτρα αυτά απευθύνονται στα ποντοπόρα πλοία που ταξιδεύουν εντός 24 μιλίων από τις ακτές τις Καλιφόρνιας και περιλαμβάνουν τις εκπομπές των κυρίων μηχανών πρόωσης, των βοηθητικών γεννητριών και των βραστήρων. Η ολοκλήρωση εφαρμογής της νέας διάταξης θα πραγματοποιηθεί σε δύο χρονολογικά στάδια. Το πρώτο στάδιο με ημερομηνία εφαρμογής την 1 Ιουλίου 2009 θα επιτρέπει εντός των προαναφερθέντων ορίων την

χρήση Marine Gas oil με μέγιστη περιεκτικότητα σε θειάφι 1.5% η χρήση Marine Diesel oil με μέγιστη περιεκτικότητα σε θειάφι 0.5%. Το δεύτερο στάδιο με ημερομηνία εφαρμογής την **1 Ιανουαρίου 2010** θα επιτρέπει μόνο τη χρήση Marine Diesel ή Gas oil με μέγιστη περιεκτικότητα σε θειάφι **0.1%**.



3.4 Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Europe Council)^[14]

Απόσπασμα από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2005/33/EC.(13) Προκειμένου να δοθεί επαρκής χρόνος στο ναυτιλιακό κλάδο για την τεχνική προσαρμογή ώστε το μέγιστο όριο θείου κατά βάρος να είναι **0,1 %** των καυσίμων πλοίων που χρησιμοποιούνται από σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας και από σκάφη ελλιμενισμένα σε κοινοτικούς λιμένες, η ημερομηνία εφαρμογής της απαίτησης αυτής θα πρέπει να είναι η 1^η Ιανουαρίου 2010. Επειδή η προθεσμία αυτή ενδέχεται να θέσει τεχνικά προβλήματα στην Ελλάδα, είναι σκόπιμη η προσωρινή παρέκκλιση για ορισμένα συγκεκριμένα σκάφη που εκτελούν δρομολόγια εντός της επικράτειας της Ελληνικής Δημοκρατίας.

3.5 Συγκεντρωτικός πίνακας

Sulphur limits of marine fuels				
Enforcement date	Sulphur limit (% m/m)	Grade	Operating area	Reference
Already in force	4.5	All grades	Global limit	MARPOL Annex VI
	0.1	MGO	EC Territory and waters	Directive 1999/32/EC as amended by Regulation 1882/2003 and Directive 2005/33
	1.5	All grades	Baltic / North sea SECA	Directive 1999/32/EC as amended by Regulation 1882/2003 and Directive 2005/33 + MARPOL Annex VI
Early 2009	1.5	MGO (DMA)	California waters and 24 NM of the California baseline	CARB (mandatory use of either MGO or MDO with the set maximum sulphur limits to auxiliary engines)
	0.5	MDO (DMB)		
1 July 2009	0.5	MDO (DMB)		CARB (mandatory use of either MGO or MDO with the set maximum sulphur limits to main propulsion engines and boilers)

Sulphur limits of marine fuels				
Enforcement date	Sulphur limit (% m/m)	Grade	Operating area	Reference
1 January 2010	0.1	All grades	EC inland waterways and at berth for > 2 hours	Directive 1999/32/EC as amended by Regulation 1882/2003 and Directive 2005/33
1 July 2010	1.0	All grades	Baltic / North sea SECA	Revised MARPOL Annex VI adopted by resolution MEPC.176(58)
1 January 2012	3.5	All grades	Global limit	Revised MARPOL Annex VI adopted by resolution MEPC.176(58)
1 January 2012	0.1	MGO (DMA) MDO (DMB)	California waters and 24 NM of the California baseline	CARB (mandatory use of either MGO or MDO with the set maximum sulphur limits to all engines)
1 January 2020	0.5	All grades	Global limit	Revised MARPOL Annex VI adopted by resolution MEPC.176(58)

4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφούν και θα αναλυθούν οι επιπτώσεις των νέων προδιαγραφών όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στη λειτουργία των πλοίων, όπως

- Μετασκευές
- Επιδιορθώσεις
- Εισαγωγή νέων τεχνολογιών
- Αλλαγές στην αρχική σχεδίαση

Θα παρουσιασθούν υποδείξεις κατασκευαστών για τον τρόπο λειτουργίας των μηχανημάτων, κύριων και βοηθητικών, για την επιτυχή και ασφαλή λειτουργία σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Θα περιγραφούν και οι επιπτώσεις στην καθημερινή λειτουργία του πλοίου, όπως:

- Ειδικές φόρμες που πρέπει να συμπληρώνει το πλοίο
- Έκδοση και κατοχή πιστοποιητικών απόδειξης συμμόρφωσης με τους ανωτέρω κανονισμούς
- Αλλαγές στον τρόπο επιθεώρησης του πλοίου
- Και τέλος απαιτήσεις των αρμόδιων αρχών λιμένων που προσεγγίζει το πλοίο.

4.2 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC).^[10]

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 15 του αναθεωρημένου παραρτήματος 10 - *Marpol revised Annex VI*- κάθε πλοίο μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου πρέπει να διαθέτει ένα σύστημα διαχείρισης των πτητικών οργανικών ενώσεων που να έχει επικυρωθεί από τη σημαία του και να πληροί τις προδιαγραφές όπως αυτές καθορίζονται από τον διεθνή ναυτιλιακό οργανισμό. Το σύστημα διαχείρισης πρέπει τουλάχιστον να:

1. Περιέχει γραπτές διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων κατά τη φάση της φόρτωσης, τη διάρκεια του πλου και της παράδοσης του φορτίου.
2. Να συνυπολογίζει και τις επιπρόσθετες εκπομπές κατά το πλύσιμο των πετρελαιοειδών.
3. Να καθορίζεται το άτομο που είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του συστήματος.
4. Για ποντοπόρα πλοία με πολυεθνή πληρώματα, το σύστημα διαχείρισης πρέπει να είναι γραμμένο στην μητρική γλώσσα του καπετάνιου και των αξιωματικών και αν η μητρική γλώσσα των ανωτέρω δεν είναι Αγγλικά, Γαλλικά ή Ισπανικά τότε να περιέχεται και μία μετάφραση σε μία από τις προαναφερθείσες διαλέκτους.

Ο διεθνής οργανισμός Ναυτιλίας εξέδωσε στις 17 Ιουλίου 2009 σχετικές οδηγίες για την ανάπτυξη σχεδίων για τη διαχείριση των πτητικών οργανικών ενώσεων (Resolution MEPC.185/59), με ημερομηνία ισχύς από 1 Ιουλίου 2010.

Το αντικείμενο του συστήματος διαχείρισης των εκπομπών είναι να βεβαιώσει ότι γίνονται προσπάθειες για μείωση των πτητικών οργανικών ενώσεων στο ελάχιστο.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με βελτιστοποίηση των διαδικασιών ή με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού.

Για την συμμόρφωση με τις οδηγίες του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού, η φορτοεκφόρτωση και μεταφορά φορτίων που προκαλούν εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πρέπει να αποτιμηθούν και να καθοριστούν διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών. Αν για την επίτευξη των παραπάνω χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός ή αλλαγές στα σχέδια πρέπει να περιγράφονται στο σύστημα διαχείρισης.

Οι διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης πρέπει να υπολογίζουν την πιθανή διαφυγή αερίων λόγω χαμηλής πίεσης και η μεταφορά των πετρελαιοειδών από και προς τις δεξαμενές πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα στραγγαλισμού και ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων ρευστού στις σωληνώσεις.

Το πλοίο πρέπει να καθορίζει μια πίεση λειτουργίας για τις δεξαμενές πετρελαίου. Η πίεση αυτή πρέπει να είναι τόσο υψηλή ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη ασφάλεια και να διατηρείται όσο το δυνατόν σταθερή κατά τη διαδικασία φορτοεκφόρτωσης και μεταφοράς του φορτίου.

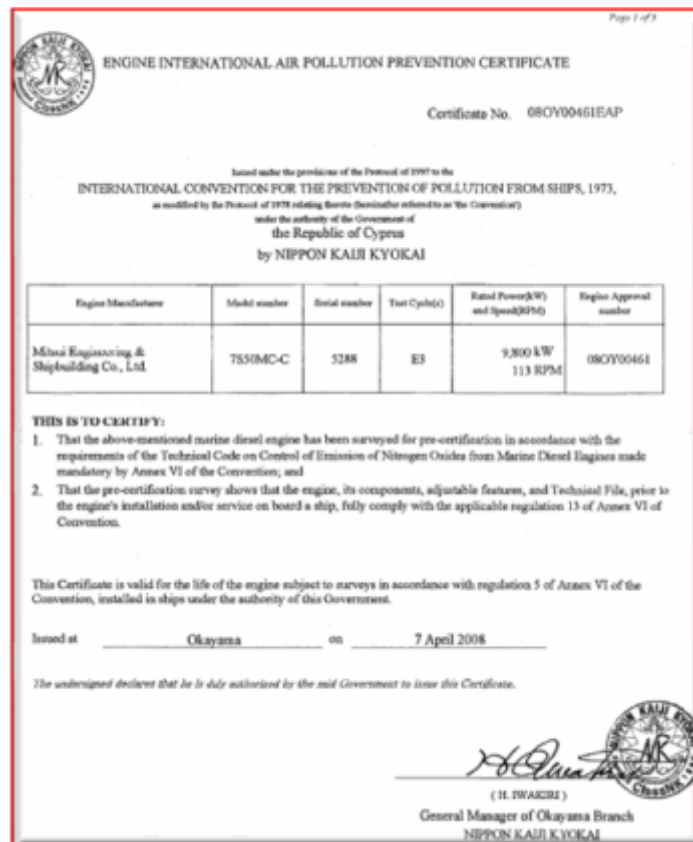
Όταν απαιτείται εξαερισμός για μείωση της πίεσης στις δεξαμενές, η μείωση αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη ώστε να παραμένει στις δεξαμενές η υψηλότερη δυνατή πίεση.

Η προσθήκη αδρανούς αερίου πρέπει να ελαχιστοποιείται. Η αύξηση της πίεσης στις δεξαμενές με προσθήκη αδρανούς αερίου δεν περιορίζει τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων αλλά μπορεί να αύξησει την ανάγκη για εξαέρωση με αποτέλεσμα την αύξηση των ρυπογόνων εκπομπών.

Το σύστημα διαχείρισης πρέπει να συνυπολογίζει και τις επιπρόσθετες εκπομπές κατά το πλύσιμο των πετρελαιοειδών. Οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν με μείωση του χρόνου πλύσεως ή με τη χρήση κατάλληλου κλειστού κυκλικού προγράμματος.

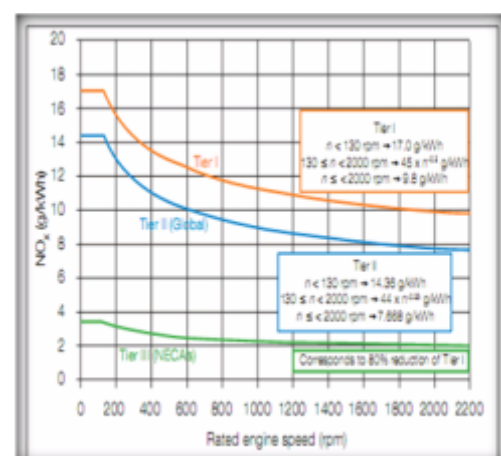
4.3 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τα πλοία υπόκεινται σε περιορισμούς βάση της διάταξης του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας MARPOL παράρτημα VI και των τροποποιήσεων αυτού και είναι σε ισχύ από τις 19 Μαΐου 2005. Κάθε Ναυτικός Κινητήρας όπως προδιαγράφεται στον Τεχνικό κώδικα οφείλει συμμόρφωση με τους κανονισμούς και συνοδεύεται από το αντίστοιχο πιστοποιητικό (NO_x Certificate) καθώς και από το πιστοποιητικό συμμόρφωσης με τις επιτρεπόμενες εκπομπές-EIAPP.



Εκ. 4.1: International Air Pollution Prevention Certificate^[11]

Παρατηρείται ότι οι καμπύλες περιορισμού των εκπομπών είναι αποτέλεσμα συμβιβασμού διότι επιτρέπουν υψηλότερα όρια στις αργόστροφες δίχρονες μηχανές. Οι δίχρονες μηχανές έχουν μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως και μικρότερη ειδική κατανάλωση από τις τετράχρονες, αλλά έχουν μεγαλύτερες εκπομπές NO_x λόγω της περίσσειας αέρα μέσα στον κύλινδρο, και της μεγαλύτερης διάρκειας καύσεως.^[2]



4.3.1 Τεχνολογίες μείωσης οξειδίων του αζώτου - NOx:

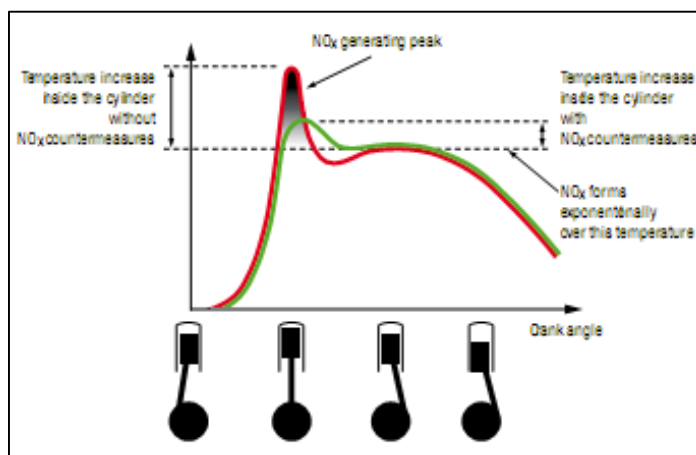
Οι τεχνολογίες ελάττωσης ρύπων NOx από κινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε :

- Πρωτογενείς μεθόδους που επηρεάζουν άμεσα τον μηχανισμό καύσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Ο πραγματικός βαθμός μείωσης των εκπομπών εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής και από το είδος της μεθόδου που εφαρμόζεται και κυμαίνεται μεταξύ 10-50%.
- Δευτερογενείς μεθόδους που μειώνουν τις εκπομπές ρύπων χωρίς να αλλάξουν τις βέλτιστες παραμέτρους μηχανής στις οποίες εργάζεται. Χρησιμοποιείται εξοπλισμός που δεν προσαρμόζεται στον βασικό κορμό της κύριας μηχανής.

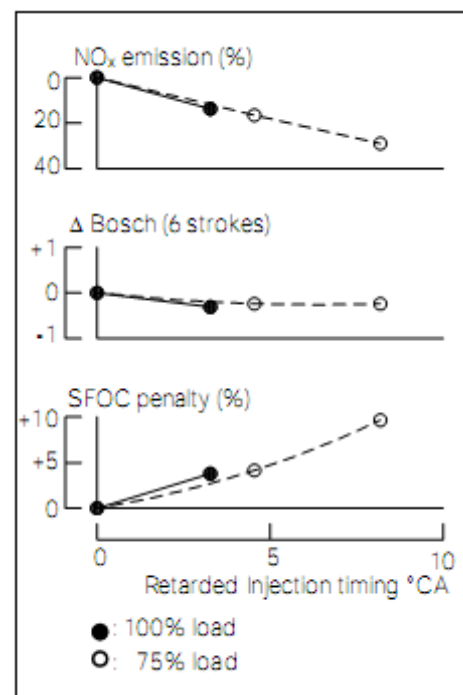
4.3.1.1. Πρωτογενείς μέθοδοι

“Ο κύριος στόχος για μείωση των εκπομπών NOx είναι η μείωση της μέσης θερμοκρασίας ώστε να επιβραδύνεται η δημιουργία NOx.”^[15]

Ο περιορισμός της μέγιστης θερμοκρασίας καύσεως επιτυγχάνεται μέσω καθυστέρησης εγχύσεως καυσίμου. Για να αντισταθμιστεί η αύξηση καταναλώσεως, αυξάνεται ο ρυθμός εγχύσεως οπότε μειώνεται παράλληλα και η διάρκεια καύσεως, άρα το πέρας εγχύσεως συμπίπτει με τις αντίστοιχες, προ της ρυθμίσεως, θερμοκρασίες. Ο λόγος συμπίεσης αυξάνεται για να μην ταπεινωθεί η ποιότητα αναφλέξεως, αλλά στο μέτρο που οι μηχανικές τάσεις λόγω μέγιστων πιέσεων δεν επηρεάζουν την στιβαρότητα της μηχανικής κατασκευής.^[2]

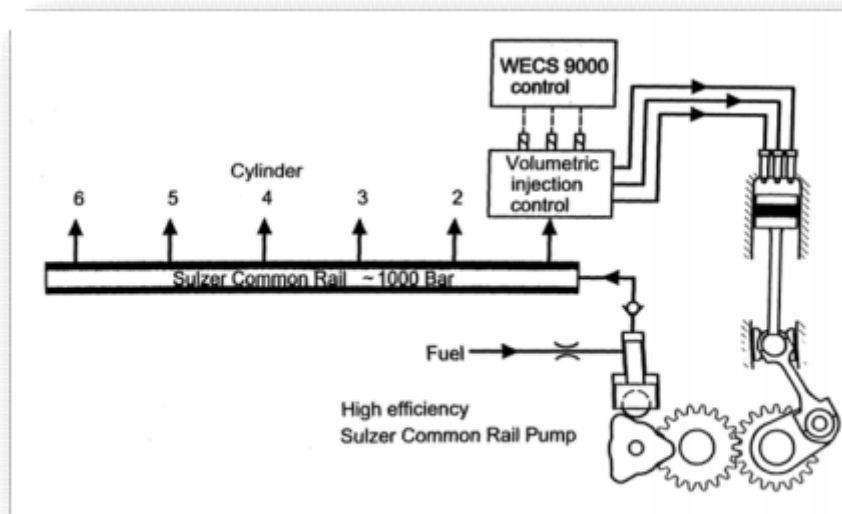


Εικ 4.2: NOx Generating peak



1.Βελτιστοποίηση μηχανισμού έγχυσης:

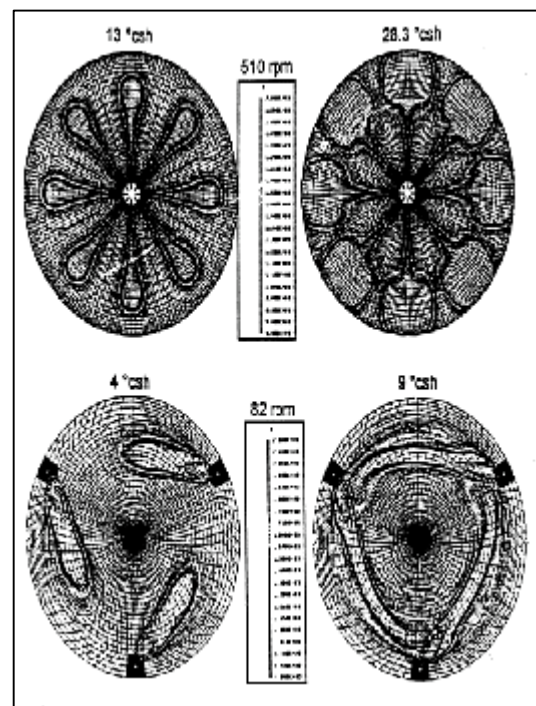
Δύο συστήματα με δυνατότητα πολλαπλών εγχύσεων είναι το “Common rail” όπου οι εγχυτήρες τροφοδοτούνται από κοινό συλλέκτη υψηλής πίεσης (>1000bar) και ελέγχονται ως προς το άνοιγμα της βαλβίδας εγχύσεως, και το “Unit Injector” όπου η μονάδα ενός εγχυτήρα περιλαμβάνει εμβολοφόρο αντλία, ελεγχόμενη υδραυλικά και ανεξάρτητη από μηχανική ζεύξη με τον κινητήρα που δίδει μεταβαλλόμενη πίεση εγχύσεως.^[16]



E

Εικ. 4.3: Σύστημα Common Rail (Sulzer)

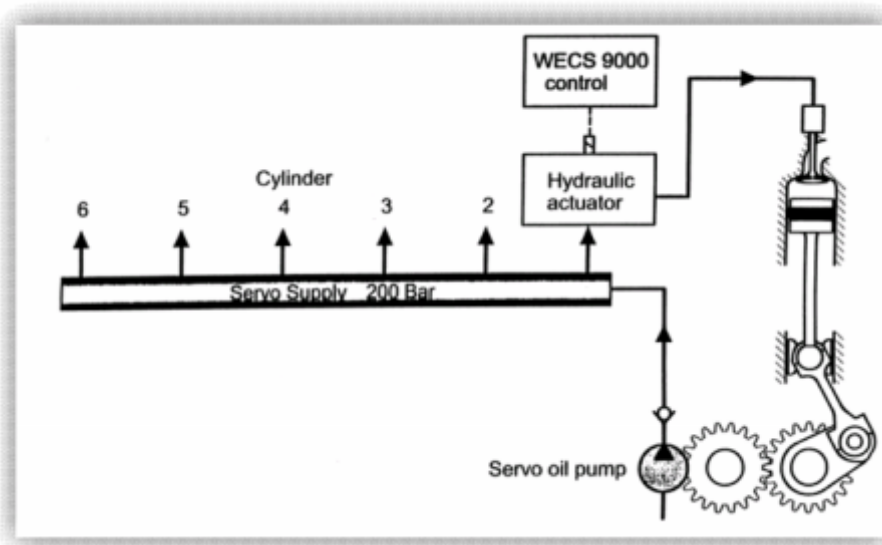
2. Τα ακροφύσια των εγχυτήρων: είναι πολλαπλών οπών με σκόπευση ώστε να καλύπτεται ευρύτερη περιοχή του θαλάμου καύσεως. Σε 4- χρονες μηχανές χρησιμοποιούνται εγχυτήρες κεντρικοί στο πώμα του θαλάμου καύσεως, με 8-12 οπές ακροφυσίου για ακτινικό διασκορπισμό, ενώ στις μεγάλες 2-χρονες χρησιμοποιούνται 2, 3 ή και 4 εγχυτήρες περιφερειακά τοποθετημένοι στον κύλινδρο, οι οποίοι ψεκάζουν εφαπτομενικά από 4-8 οπές διαφόρων κατευθύνσεων σκοπεύσεως. Ορισμένες προηγμένες σχεδιάσεις προβλέπουν επίσης σταδιακή αποκάλυψη οπών, ανάλογα με την φάση καύσεως, το φορτίο, τις στροφές, το είδος καυσίμου. Ενσωματωμένα συστήματα παρακολούθησης λειτουργίας και ρυθμίσεως, επιτυγχάνουν ισοστάθμιση των διαφόρων κυλίνδρων και διατηρούν τις επιδόσεις διά βίου του κινητήρα.^[17]



Εικ.4.4: Αποτυπώματα εγχυτήρων

3. Αλλαγή του κλασσικού κύκλου Diesel:^[18]

Ο συνδυασμός υδραυλικών βαλβίδων υψηλής πίεσης με ηλεκτρονική παρακολούθηση και έλεγχο, κατέστησαν δυνατή την διαμόρφωση καύσης μέσω πολλαπλών εγχύσεων. Η δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου της εγχύσεως καυσίμου σημαίνει ότι η μορφή της εγχύσεως μπορεί να βελτιστοποιηθεί για διάφορα φορτία. Με χρήση πολλαπλών εγχύσεων και μεταβολής προπορείας και ρυθμού εγχύσεως μπορεί να επιτευχθεί σταθερή υψηλή πίεση κατά την **καύση**, και μέσω μεταβολής στο χρονισμό και ρυθμό ανοίγματος/κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής, μεταβλητός λόγος συμπίεσης. Η ανεξάρτηση κίνησης των βαλβίδων από μηχανική ζεύξη, επιτρέπει ενδιαφέρουσες επεμβάσεις στην λειτουργία της μηχανής. Μία εφαρμογή είναι η επίτευξη κύκλου Miller σε 4-χρονους κινητήρες με την φάση συμπίεσης να είναι μικρότερη από την φάση εκτόνωσης και την βαλβίδα εξαγωγής να κλείνει προ του ΚΝΣ, οπότε σταματά η εισαγωγή αέρα και γίνεται ελαφρά εκτόνωση της εγκλωβισμένης γόμωσης. Άρα ουσιαστικά επιτυγχάνεται μεταβλητός λόγος συμπίεσης.



Εικ.4.5: Σύστημα υδραυλικής ενεργοποίησης βαλβίδας εξαγωγής (SULZER)

4. Βελτιστοποίηση ανάμειξης καυσίμου-αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης:

Όπου σαν αποτέλεσμα έχει την όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη καύση που συνεπάγεται την αποφυγή τοπικών αυξήσεων της θερμοκρασίας. Ο σχεδιασμός εμβόλων και κεφάλων κυλίνδρων που προκαλούν μικρή δίνη εσωτερικά του κυλίνδρου συμβάλλουν στην ομοιόμορφη ανάμειξη αέρα-καυσίμου.



Εικ. 4.6: Low-swirl cylinder head



Εικ.4.7 Compression re-entrant piston

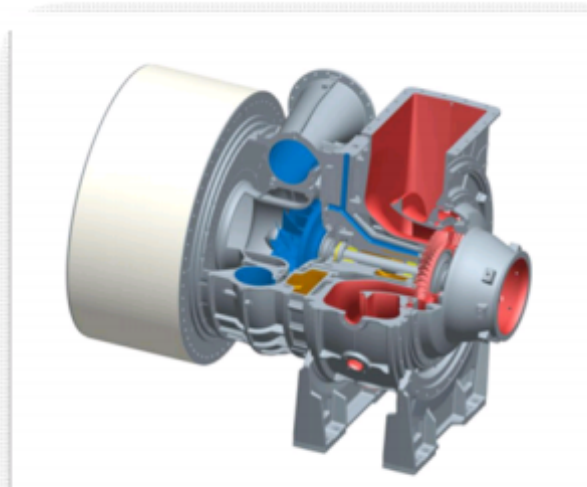
5. Υπερπλήρωση:^[19]

Για την επίτευξη εκπομπών οξειδίων του αζώτου στα όρια του Tier II απαιτείται βελτιστοποίηση της μονάδας του υπερσυμπιεστή. Απαιτείται η επανασχεδίαση από την αρχή των καινούργιων μονάδων. Ωστόσο οι κατασκευάστριες εταιρείες για τη διευκόλυνση κατά την εγκατάσταση έχουν φροντίσει και έχουν κρατήσει τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις με τις υπάρχουσες μονάδες. Οπότε δεν χρειάζεται καμία αλλαγή στην στήριξη. Η κύρια αλλαγή είναι η αύξηση της αναλογίας πιέσεων ώστε να είναι εφικτή η επίτευξη του κύκλου Miller.

Για τις αργόστροφες δίχρονες μηχανές το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται:

- με μείωση του όγκου συμπίεσης
- αύξηση της πίεσης του αέρα στη σάρωση
- και καθυστέρηση κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής.

Η υψηλότερη πίεση υπερπληρώσεως διασφαλίζει ότι θα εισαχθεί στον κύλινδρο η απαραίτητη ποσότητα αέρα και κατά συνέπεια η ισχύς και η ροπή της μηχανής θα μείνουν ανεπηρέαστες. Για τις δίχρονες μηχανές η αύξηση της πίεσεως υπερπλήρωσης επιτυγχάνεται με δευτερεύουσες επεμβάσεις στην ροή εσωτερικά του υπερπληρωτή. Ωστόσο για τις τετράχρονες μηχανές χρειάζεται επέμβαση και επανασχεδιασμός της πλευράς του συμπιεστή και τις πτερωτής του αέρα.



Εικ.4.8: MAN DIESEL TCA-Series

Η αύξηση της πίεσεως του συστήματος υπερπλήρωσης με διατήρηση της μορφής καύσεως, οδηγεί σε σημαντική αύξηση του βαθμού αποδόσεως και της συγκέντρωσης ισχύος. Όμως δημιουργούνται πολύ υψηλές μέγιστες πιέσεις (μπορούν να υπερβούν τα 300bar), οπότε οι μηχανικές φορτίσεις δημιουργούν προβλήματα σε στροφαλοφόρο, έδρανα και στην λίπανση των κινουμένων μερών. Επίσης η έγχυση καυσίμου σε χώρο με ήδη υψηλή πίεση, δυσχεραίνει τον διασκορπισμό και μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υψηλής θερμοκρασίας κυλίνδρου. Η υπερπλήρωση μιας βαθμίδας με εύλογο εύρος πεδίου λειτουργίας συμπίεστή έχει πρακτικά όριο πιέσεων 5:1. Υπάρχουν και όρια υλικών για τα στροφεία φυγοκεντρικών συμπίεστών, λόγω υψηλής ταχύτητας άκρου και της θερμοκρασίας συμπιεσμένου αέρα (270°C σε λόγο συμπίεσης 5:1) που οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο ερπυσμού των πτερυγίων. Η λύση της υπερπλήρωσης δύο βαθμίδων συνοδεύεται από αυξημένο κόστος, περιπλοκότητα καθώς και μειωμένη απόδοση σε χαμηλά φορτία όπου τα στροφεία λειτουργούν με χαμηλούς β.α., φαίνεται όμως ότι θα εφαρμοστεί στο μέλλον.

6. Αλλαγή εργαζομένου μέσου:^[2]

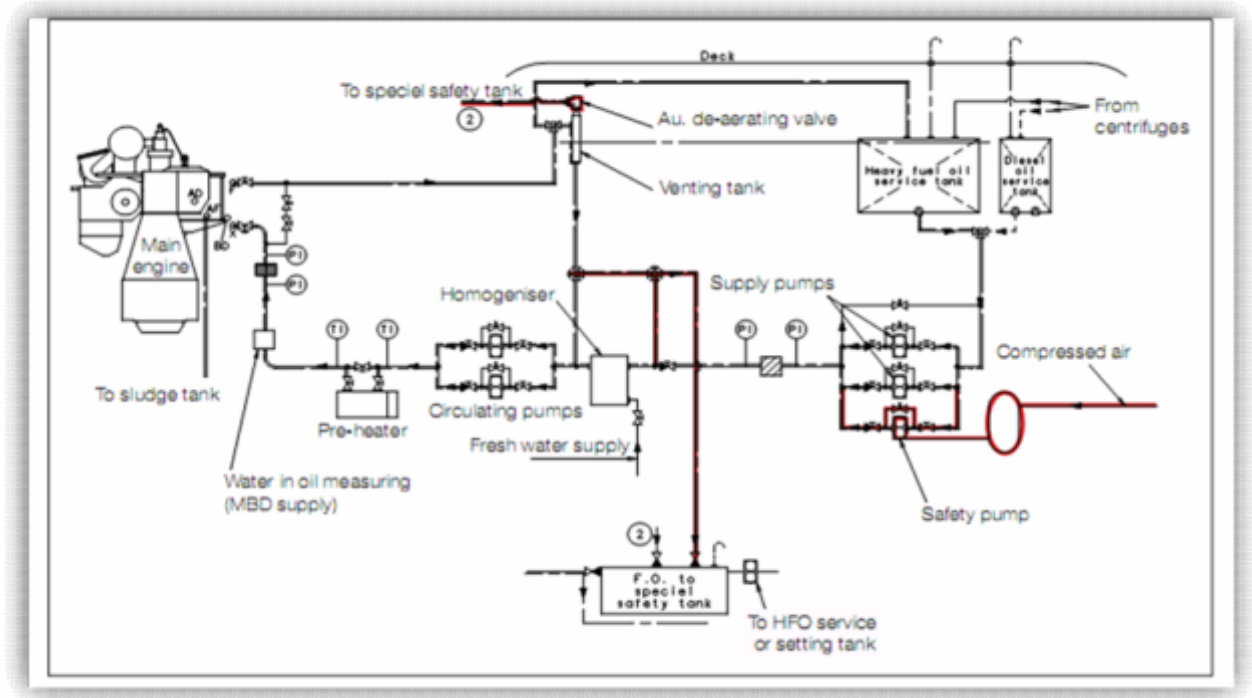
Στην δεκαετία του 1980 έγιναν διάφορες πειραματικές εφαρμογές καύσεως γαλακτωμάτων νερού και βαρέως καυσίμου, με σκοπό την καλύτερη καύση χειρότερης ποιότητας καυσίμου. Η μέθοδος παρουσίασε πολλά προβλήματα αστάθειας του μείγματος, παρά τους επιπλέον ομοιογενοποιητές έναντι των αντλιών καυσίμου. Επίσης παρατηρήθηκε διάβρωση των εγχυτήρων και κακή διασπορά σε χαμηλά φορτία κινητήρα από τις οπές των ακροφυσίων που ήταν διαστασιολογημένες για παροχή καυσίμου και νερού σε πλήρες φορτίο. Ωστόσο από το 1984 και μετά άρχισε η ανατροφοδότηση των αποτελεσμάτων από μηχανές που χρησιμοποιούσαν μέχρι και 50% προσθετικό γαλακτώματος νερού.

7. Ο ψεκασμός νερού:^{[20], [2]}

Ψύχει τον αέρα γομώσεως και προκαλεί βελτίωση ανάμιξης και καύσης, και μείωση της μέσης θερμοκρασίας καύσεως και άρα της παραγωγής NOx καθώς και πιθανόν την βελτίωση του βαθμού απόδοσης λόγω των μικρό εκρήξεων κατά την ατμοποίηση των σταγονιδίων νερού στο κύλινδρο. Έχουν χρησιμοποιηθεί λόγοι ψεκαζόμενου νερού/καυσίμου έως περίπου 1:1.

Η ψύξη της γομώσεως ελαττώνει μεν την μέγιστη θερμοκρασία της φλόγας, αλλά επίσης και των ψυχρότερων εσχατιών του κυλίνδρου. Όμως τα αέρια σε αυτές τις περιοχές δεν έχουν αρκετή θερμοκρασία ώστε να συμβάλλουν σημαντικά στην παραγωγή NOx, και με την διαδικασία αυτή τα αέρια χάνουν ενέργεια που θα μπορούσε να παράγει έργο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα τυπικό τέτοιο δίκτυο στο οποίο διακρίνονται: η επιπλέον αντλία ασφαλείας (safety pump) καθώς και το δίκτυο παροχής του νερού και η ομογενοποίηση καυσίμου- νερού.



Εικ.4.9: Σύστημα ομογενοποίησης καυσίμου-νερού

Η επιπλέον αντλία-αέρα ασφαλείας τοποθετείται στο σύστημα για να διατηρήσει την απαιτούμενη πίεση στο δίκτυο του καυσίμου σε περίπτωση διακοπής. Πρόσθετα χρησιμοποιείται και μία δεξαμενή –drain tank- στην περίπτωση που θέλουμε να ξεπλύνουμε το δίκτυο από το γαλάκτωμα.

Πρόσφατα ολοκληρώθηκαν δοκιμές των ανωτέρω σε μία μηχανή 5S60MC με χρήση πρόσθετου γαλακτώματος νερού κοντά στο 50%. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά και ως προς τη μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου NOx αλλά και ως προς τις επιδόσεις της.

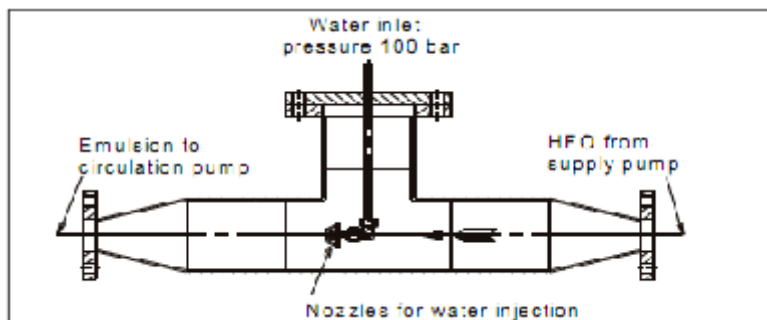
Λόγω όμως του μεγάλου εύρους απαιτήσεων ισχύος που υπάρχουν στη Ναυτιλία και λόγω της υψηλής επικινδυνότητας του πλοίου απαιτείται περαιτέρω εξέταση και έγκριση των συστημάτων ασφαλείας. Τα δοκιμαστικά πραγματοποιούνται και σε μηχανές μεγαλύτερης υποδύναμης. Για τις δίχρονες αργόστροφες μηχανές παρατηρήθηκε μείωση 10% των εκπομπών NOx για κάθε 10% πρόσθετο γαλακτώματος νερού.

Για την επίτευξη της βέλτιστης έγχυσης στο χώρο καύσης πρέπει τα σταγονίδια του νερού που βρίσκονται στο ομογενοποιημένο μείγμα καυσίμου-νερού να είναι όσο το δυνατό πιο μικρά. Και οι τρεις μέθοδοι ομογενοποίησης (υπερηχητική, υψηλής πίεσης και μηχανική) μπορούν να

επιτύχουν το ίδιο ποσοστό μείωσης των εκπομπών σε σχέση με το ποσοστό του πρόσθετου γαλακτώματος νερού χωρίς να επηρεάσουν την απόδοση της μηχανής. Ωστόσο εάν χρησιμοποιήσουμε Diesel oil μπορεί να είναι απαραίτητη η χρήση πρόσθετων για σταθεροποίηση του γαλακτώματος.

Η ανάμειξη του καυσίμου με νερό αυξάνει το συνολικό ιξώδες του μείγματος και ίσως χρειαστεί αύξηση της θερμοκρασίας προθερμάνσεως πάνω από τους 150° για να παραμείνει το ιξώδες στα 10-15cSt (max 20), στην είσοδο της μηχανής. Για πρόσμειξη 50% νερού η συνήθης θερμοκρασία προθερμάνσεως είναι 170° . Χρειάζεται και αύξηση της πίεσης του καυσίμου στο δίκτυο για αποφυγή του βρασμού του νερού.

Το νερό που χρησιμοποιείται για γαλακτοποίηση πρέπει να είναι πλήρως αφαλατωμένο και σύμφωνα με τα όρια περιεκτικότητας σε NaCl καθώς το νάτριο μπορεί να αντιδράσει με το βανάδιο που βρίσκεται στο καύσιμο και να δημιουργηθούν ιζήματα τα οποία μπορούν να προσκολληθούν στις επιφάνειες των εδρών των βαλβίδων και στα ελατήρια με αποτέλεσμα να μην στεγανοποιείται ο κύλινδρος και να έχει διαρροές. Επίσης το νερό δεν πρέπει να περιέχει αλάτι για αποφυγή διάβρωσης στους μηχανισμούς έγχυσης αλλά και στα εξαρτήματα που βρίσκονται στην πορεία διαφυγής των καυσαερίων, όπως π.χ. ο βραστήρας.



Εικ.4.10: Ψεκάσμος νερού υψηλής πίεσης



Εικ.4.11: Αντλία ψεκάσμου

8. Καυστήρες:^[21] έχει παρατηρηθεί από τα διάφορα πειράματα που εκτελούνται ότι ο καυστήρας αποτελεί βασικό στοιχείο για τον έλεγχο των εκπομπών NOx. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το πόσο επηρεάζει το είδος του καυστήρα τις διάφορες εκπομπές του πλοίου.

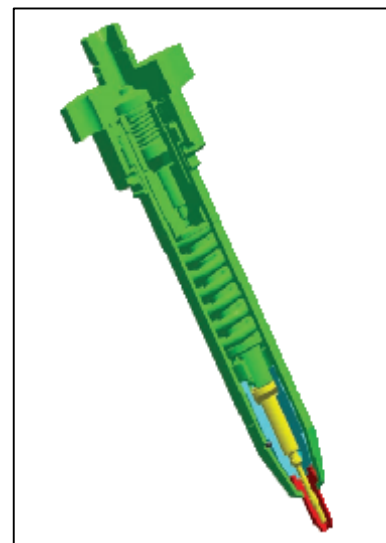
Test results	NO _x	CO	Smoke	ΔSFOC
Units	ppm/15% O ₂	ppm/15% O ₂	BSN ₆	g/bhp-h
Standard valve/nozzle	1594	109	0.35	0.0
6-hole fuel nozzle	1494	108	0.23	+0.4
Slide type fuel valve	1232	87	0.18	+1.8

BSN₆ is the direct reading of the Bosch Smoke Number after six pump strokes

Εικ.4.12 Εξάρτηση εκπομπών από τύπο καυστήρα

Slide fuel valve: νέου τύπου που μπορούν να μειώσουν τα υπολείμματα της καύσης και να επιτύχουν καύση. Η εξάλειψη του θύλακα προ οπών εγχύσεως βοήθησε στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου για το λόγο ότι το καύσιμο που συγκεντρωνόταν στο θύλακα διέρρεε στο ανώτερο σημείο του εμβόλου.

Η διάχυση του καυσίμου στον κύλινδρο βελτιώθηκε με βελτίωση της ποιότητας της καύσης και κατά συνέπεια μειώθηκαν οι εκπομπές NOx. Επίσης και μειώθηκε αισθητά και το κάπνισμα της μηχανής. Λόγω βελτιωμένης σχεδίασης του καυστήρα η συντήρηση και η διαδικασία δοκιμών του απλοποιήθηκαν.



Εικ.4.13 Slide fuel valve

Οι ακόλουθες εικόνες δείχνουν μία βαλβίδα με χρήση κοινού καυστήρα, όπου φαίνονται τα υπολείμματα λόγω ατελούς καύσης που οφείλεται στην ποιότητα της έγχυσης και στη δεύτερη εικόνα φαίνεται η έδρα της ίδιας βαλβίδας αφού αντικαταστάθηκε ο καυστήρας με τύπου: slide fuel valve.



Before

After (at 150 hours)

Εικ.4.14

4.3.1.2 Δευτερογενείς μέθοδοι^[2]

1. Selective catalytic reduction: ^{[2],[22]}

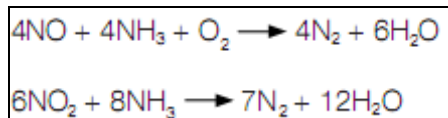
Αυτή η μέθοδος σε Ναυτικούς δίχρονους κινητήρες απариθμεί περίπου 20 χρόνια. Είναι το καλύτερο εφαρμοζόμενο σύστημα για σταθερές υψηλές φορτίσεις της μηχανής. Παρουσιάζει αδυναμία όταν η μηχανή τρέχει σε χαμηλά φορτία όπως κατά την είσοδο σε λιμάνι ή μανούβρες.

Η ευαισθησία της χημείας μεταξύ του κυλίνδρου και του χρησιμοποιούμενου καυσίμου θέτει περιορισμούς για την εφαρμογή στο Ναυτικό περιβάλλον. Σημαντική παρατήρηση είναι η ανάγκη τοποθέτησης του SCR πριν από την είσοδο του υπερπληρωτή λόγω της απαιτούμενης θερμοκρασίας. Υπάρχουν παραδείγματα μείωσης των εκπομπών NOx έως και 98% σε εγκαταστάσεις ξηράς. Υπάρχει όμως διαφοροποίηση στο πεδίο φορτίσεων μεταξύ ενός χερσαίου σταθμού και μίας προωστήριας εγκατάστασης πλοίου.

Στο περιβάλλον της Ναυτιλίας, η SCR είναι η μέθοδος που μπορεί να επιτύχει την μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών, όπως προαναφέρθηκε μπορεί να επιτύχει πρακτικά σχεδόν ολοκληρωτική απαλοιφή των NOx. Ωστόσο σε πλοία που βρίσκονται ήδη σε υπηρεσία είναι πιο πολύπλοκη και με περιορισμούς η εφαρμογή του συστήματος λόγω του ενδεχόμενου διαφυγής αμμωνίας. Εάν συγκρίνουμε την εγκατάσταση της μονάδας σε ένα υπάρχον πλοίο σε σχέση με ένα καινούριο, είναι σαφές ότι η εγκατάσταση στο υπάρχον πλοίο είναι πιο πολύπλοκη, καθώς πρέπει να βρεθεί ο απαιτούμενος χώρος, έπειτα να κατασκευαστούν οι νέες γραμμές σωληνώσεων πάνω από τις υπάρχουσες και τέλος η τοποθέτηση του βοηθητικού εξοπλισμού και των μελών στήριξης.

Αρχή λειτουργίας SCR.^[20]

Τα καυσαέρια αναμειγνύονται με αμμωνία NH₃ πριν από την είσοδο τους στα στρώματα που πραγματοποιείται καταλυτική δράση μεταξύ 300-400⁰ C, όπου τα οξείδια του αζώτου NOx ανάγονται σε N₂ και H₂O. η αντίδρασεις που πραγματοποιούνται είναι:

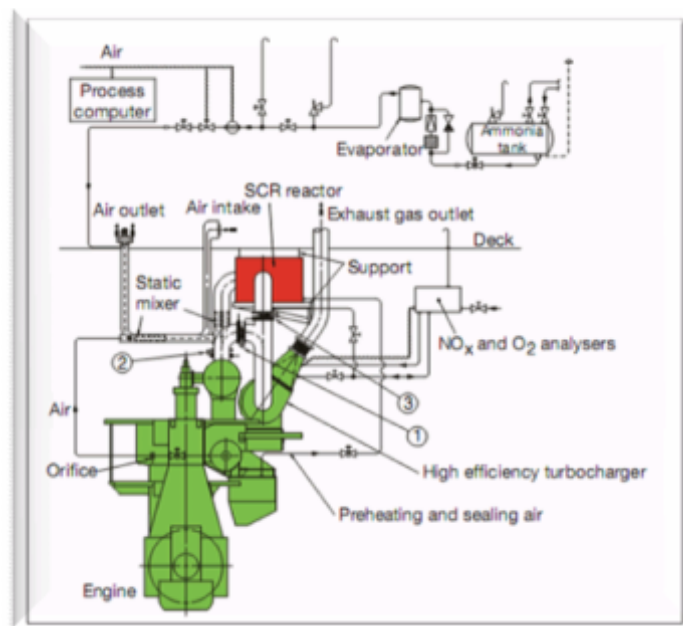


Η μείωση στις εκπομπές NOx με τη μέθοδο SCR μπορεί να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών:

- Αν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή η αμμωνία καίγεται και δεν πραγματοποιείται η αντίδραση μείωσης με τα οξείδια του αζώτου
- Αν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη ο ρυθμός της αντίδρασης θα είναι ποιο χαμηλός με αποτέλεσμα τη δημιουργία συμπυκνώματος αμμωνίας και θείου που μπορούν να καταστρέψουν τον καταλύτη.

Αν οι θερμοκρασίες είναι εκτός των επιτρεπόμενων ορίων μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της διαμέτρου των σωληνώσεων λόγω υπολειμάτων στα καυσαέρια με αποτέλεσμα την αύξηση της πτώσης πίεσης κατά μήκος του δικτύου και το φράξιμο του καταλύτη. Σαν αποτέλεσμα το σύστημα θα σταματήσει να δουλεύει.

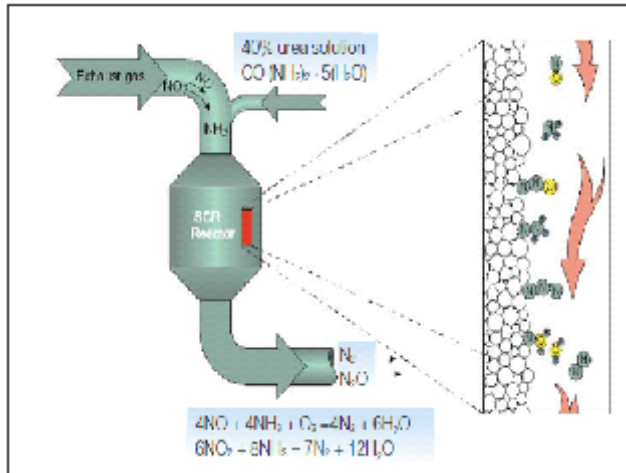
Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία εντός των ορίων η εγκατάσταση του καταλύτη (SCR), πρέπει να τοποθετηθεί μεταξύ της εξόδου καυσαερίων από την μηχανή και την είσοδο τους στον υπερπληρωτή. Έτσι αποφεύγονται φαινόμενα πτώσης πίεσης στο δίκτυο. Λογω της υψηλής πίεσης στην είσοδο του καταλύτη στις αργόστροφες δίχρονες μηχανές το μέγεθος του μπορεί να μειωθεί σε σχέση με τις μεσόστροφες και ταχύστροφες μηχανές όπου το σύστημα του καταλύτη συνδέεται στην εξαγωγή των καυσαερίων στην τζιμινιέρα.



Εικ.4.15: SCR δίκτυο συστήματος

Η ποσότητα της αμμωνίας που θα εγχυθεί στα καυσαέρια ελέγχεται από μία ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας. Η σχέση μεταξύ των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου NO_x και του φορτίου της μηχανής μετριέται σε δοκιμαστικές κλίνες. Στηριζόμενη και αφού επεξεργαστεί τα πειραματικά αποτελέσματα, η ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας καθορίζει των απαιτούμενο ρυθμό έγχυσης της αμμωνίας. Η ποσότητα έγχυσης στην τελική φάση της επεξεργασίας

καθορίζεται από ένα σύστημα ανατροφοδότησης που στηρίζεται από μετρήσεις των οξειδίων του αζώτου στην έξοδο των καυσαερίων.

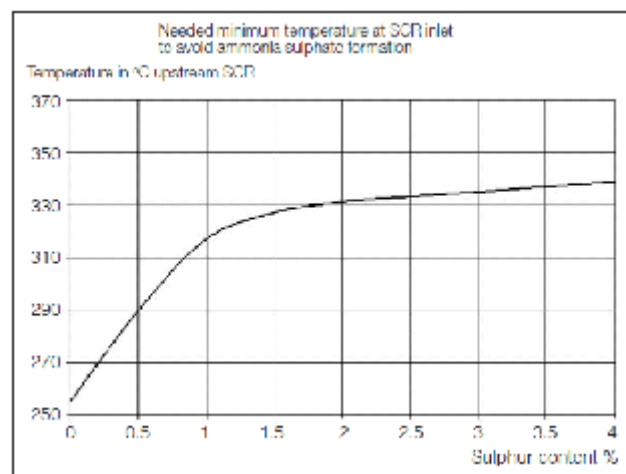


Όταν τα συγκεντρωμένα καυσαέρια εξέρχονται από τον οχετό εξαγωγής, τότε χορηγείται αμμωνία στο δίκτυο και εισέρχονται στον καταλύτη. Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται φαίνονται διπλανό σχήμα και τα καυσαέρια οδηγούνται στην είσοδο του υπερπληρωτή.

Εικ.4.16: Διαδικασία SCR

Για να αντισταθμιστεί η πτώση πίεσης στο δίκτυο του καταλύτη, είναι υποχρεωτική η χρήση υπερπληρωτών και βοηθητικών ανεμιστήρων υψηλής απόδοσης. Η αμμωνία απελευθερώνει θερμότητα στο δίκτυο με αποτέλεσμα την μικρή αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων σε σχέση με μηχανές χωρίς παρόμοιο σύστημα.

Η τοποθέτηση ενός συστήματος SCR, σε μία δίχρονη μηχανή επηρεάζει ελάχιστα την απόδοση της αλλά θέτει και κάποιους περιορισμούς όπως: στο φορτίο της μηχανής, το ποσοστό θείου στο καύσιμο και το λιπαντικό. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η απαιτούμενη ελάχιστη θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο τους από τη μηχανή και την είσοδο τους στο SCR για την αποφυγή σχηματισμού αμμωνίας-θείου εξαρτάται άμεσα από το ποσοστό του θείου στο καύσιμο. Ωστόσο ορισμένη ποσότητα SO_x πιθανόν να μετασχηματιστεί σε SO_3 κατά την καταλυτική δράση με αποτέλεσμα την δημιουργία ορατής κάπνας.



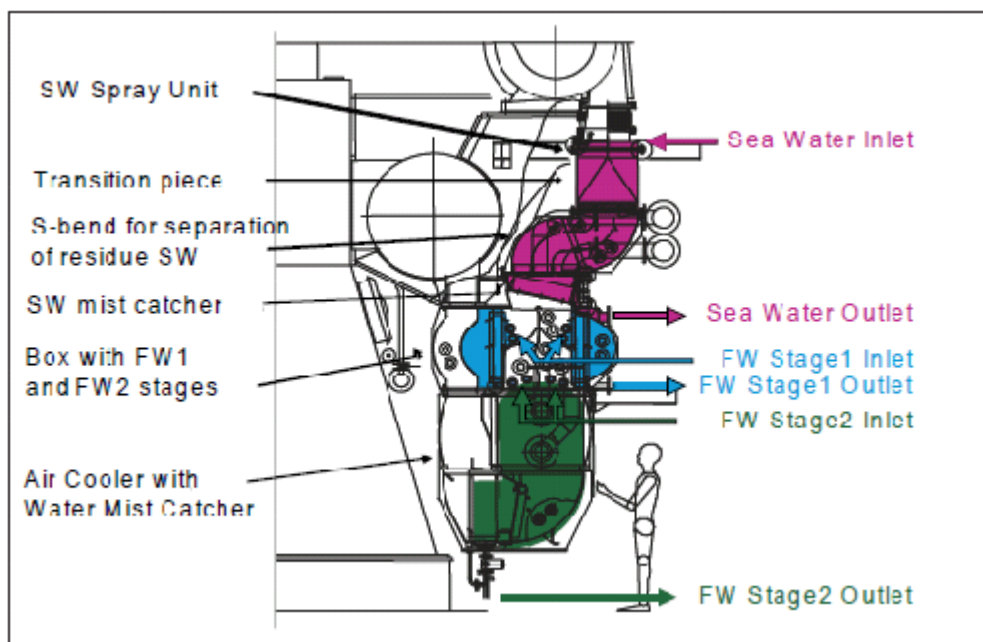
Εικ.4.17 Σχέση ελάχιστης θερμοκρασίας με περιεκτικότητα θείου.

Ο αριθμός των συστημάτων SCR που έχουν τοποθετηθεί σε δίχρονες μηχανές είναι ακόμη περιορισμένος, για το λόγω αυτό το κάθε σύστημα σχεδιάζεται για κάθε μηχανή χωριστά. Η τοποθέτηση τέτοιου συστήματος σε μία μηχανή που δεν έχει μελετηθεί κατά την φάση της κατασκευής της για λειτουργία με SCR, δεν προτείνεται από τους κατασκευαστές.

2. Scavenge air moisturizing system (SAM)^[20]

Η μέθοδος κορεσμού και ψύξης του συμπιεσμένου αέρα μετά την έξοδο του από τον υπερπληρωτή έχει δοκιμαστεί σε εργαστηριακό επίπεδο από την πλευρά απόδοσης της μηχανής. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ήταν ενθαρρυντικά για περαιτέρω διερεύνηση όσον αφορά την μείωση των οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο ακόμα δεν μπορεί να μελετηθεί τέτοιο σύστημα αν η περιεκτικότητα σε αλάτι είναι μεγαλύτερη από 3.5%.

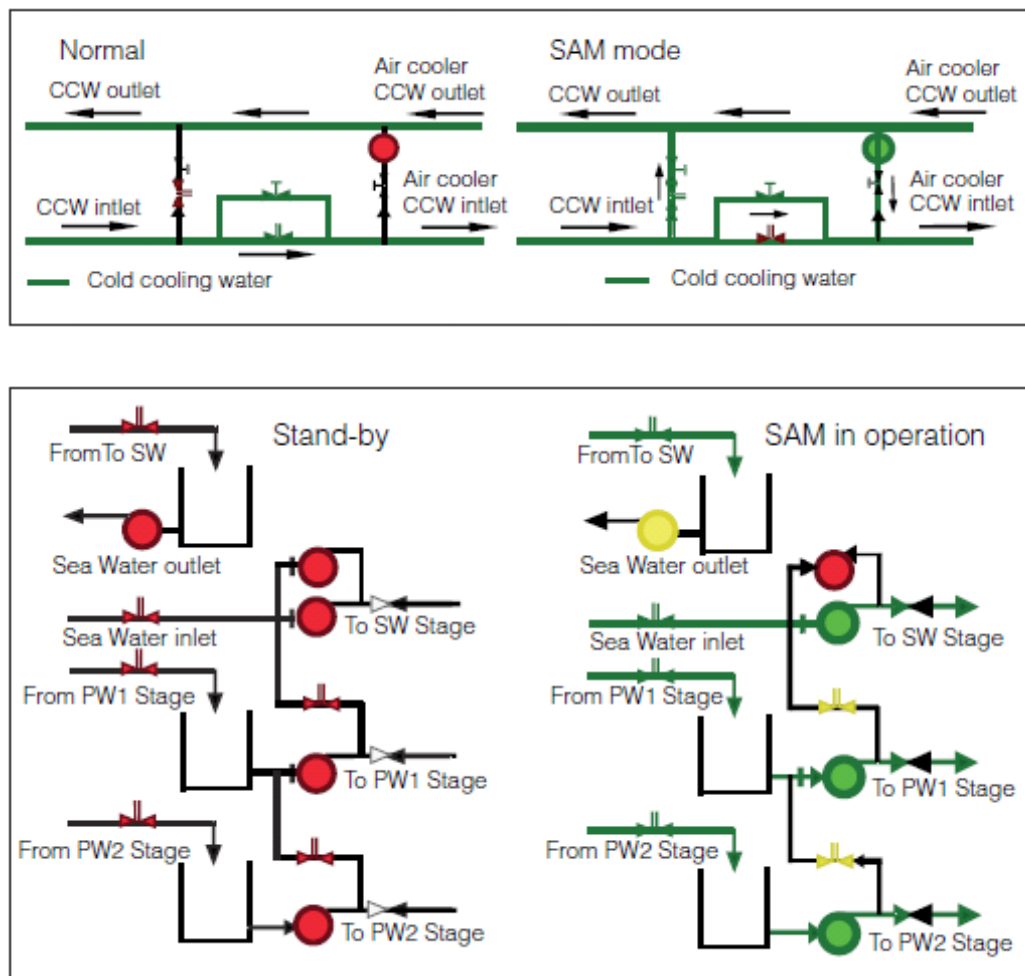
Η Wallenius-Wilhelmen Lines επέτρεψε την δοκιμή ενός τέτοιου συστήματος σε ένα από τα πλοία της, το M/V Mignon το οποίο είναι εξοπλισμένο με κύρια μηχανή τύπου 8S60MC. Το πλοίο δεν είχε μελετηθεί κατά την κατασκευή του για την τοποθέτηση τέτοιου συστήματος με αποτέλεσμα τις εκτεταμένες μετασκευές στο χώρο του μηχανοστασίου καθώς και το ότι ο διαθέσιμος χώρος στο μηχανοστάσιο ήταν περιορισμένος. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται διαγραμματικά η διάταξη ενός συστήματος SAM στην μηχανή που προαναφέρθηκε.



Εικ.4.18: Διάταξη εγκατάστασης συστήματος SAM σε 8S60MC μηχανή.

Στο σύστημα έχουμε την εισαγωγή πλεονασματικής ποσότητας θαλασσινού νερού για τον κορεσμό και την ψύξη του αέρα που προέρχεται από την μεριά του συμπιεστή. Στο στάδιο αυτό προκαλείται σχεδόν 100% υγρασία στον αέρα σαρώσεως.

Το στάδιο 1 και 2 του πόσιμου νερού όπως φαίνεται στο διάγραμμα είναι πολύ κοντά στην θερμοκρασία που έχει και αέρας σάρωσης. Τα στάδια αυτά λειτουργούν μόνο σαν στάδια καθαρισμού, καθώς αφαιρούν τυχόν ποσότητα αλατιού που μπορεί να έχει περάσει από το πρώτο στάδιο. Πιθανή συνεχή συγκέντρωση αλατιού στα στάδια πόσιμου νερού μπορεί να προκαλέσει συνολική συγκέντρωση αλατιού πάνα από τα επιτρεπτά όρια. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί με ψύξη του κορεσμένου αέρα μέσω ψυγείου αέρα και δημιουργία επιπλέον ποσότητας φρέσκου νερού για το στάδιο 2. Τότε το επιπλέον πόσιμο νερό οδηγείται αντίθετα προς την πλευρά της δεξαμενής του συστήματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (4.17).



Εικ.4.17: Λειτουργία συστήματος SAM.

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης είναι όσο το δυνατόν λιγότερο (έως και καθόλου) αλάτι να εισχωρήσει στη κύρια μηχανή. Η συνολική κατασκευή του συστήματος SAM είναι κατασκευασμένο από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα 254SMO για την εξαιρετική αντοχή του σε διάβρωση από θαλασσινό νερό.

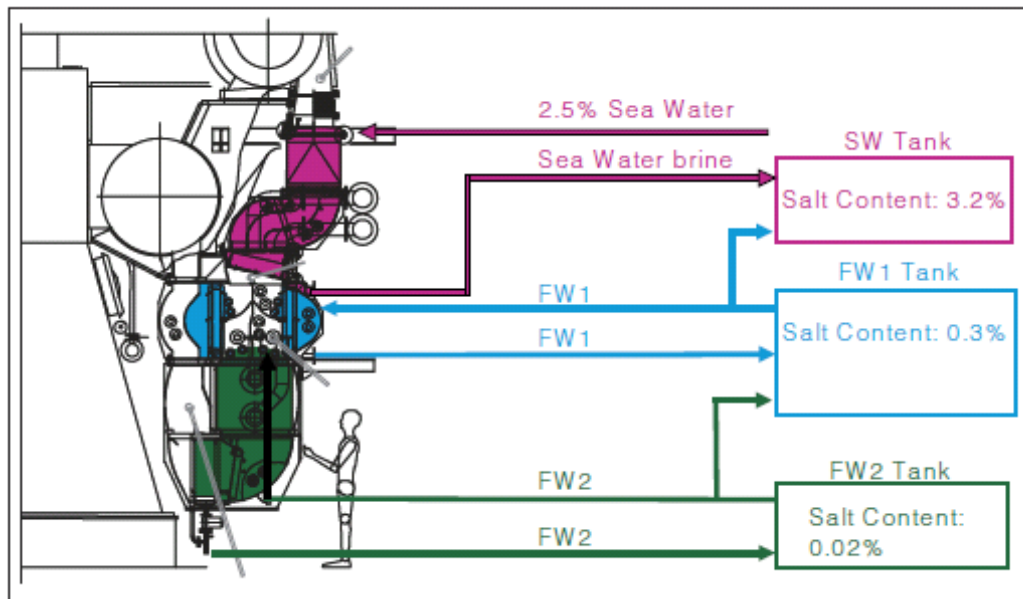
Λόγω της επιπλέον ροής μάζας αεριοποιημένου νερού που προστίθεται στο σύστημα, πρέπει μία ποσότητα καυσαερίων να παρεκτραπεί από το κύριο σύστημα. Ωστόσο η ενέργεια των καυσαερίων που παρεκτρέπονται μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω ενός στρόβιλο-συμπιεστή για άλλη χρήση στο πλοίο για την εξοικονόμηση του κόστους λειτουργίας καθώς και συνολική μείωση των εκπομπών οξειδίων του άνθρακα -CO₂. Γίνεται κατανοητό ότι ένα σύστημα SAM μειώνει τις συνολικές εκπομπές καυσαερίων αλλά και βελτιώνει το συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

Η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως και κατά συνέπεια και η ποσότητα του θαλασσινού νερού που εισέρχεται στο σύστημα ρυθμίζονται από θερμοστατικές βαλβίδες στο χώρο του ψυγείου αέρα. Η συνολική ποσότητα του εξατμισμένου θαλασσινού νερού θα μπορούσε να υγροποιείται μέσα στο ψυγείο αέρα, αλλά τότε η απόδοση της μηχανής θα αντιστοιχούσε σε συνθήκες λειτουργίας σε τροπικό κλίμα. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η παρουσία της μέγιστης δυνατής υγρασίας στο αέρα σάρωσης καθώς έτσι βελτιστοποιείται η μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Το σύστημα ελέγχεται από ηλεκτρονική λογική μονάδα και οι βαλβίδες και οι αντλίες λειτουργούν αυτόματα. Η εκκίνηση του συστήματος γίνεται όταν το φορτίο της μηχανής βρίσκεται μεταξύ 40-60% του μέγιστου συνεχούς επιτρεπτού ορίου.

Για να οδηγηθεί στην παραγωγή το SAM, πρέπει να εξεταστούν και οι παράμετροι της κατάστασης στο εσωτερικό των κυλίνδρων λόγω της υψηλής υγρασίας του αέρα σαρώσεως και της εισαγωγής μικρής ποσότητας αλατιού. Η διαδικασία θα ολοκληρωθεί όταν πραγματοποιηθούν τα δοκιμαστικά στο M/V Mignon και όταν αυτό θα έχει πραγματοποιήσει έναν ικανοποιητικό αριθμό ωρών λειτουργίας.



Εικ.4.19 Η εγκατάσταση στο M/V Mignon.



Εικ.4.20: Προσδοκώμενα αποτελέσματα στο 100% λειτουργίας της μηχανής.

4.3.2 Διαδικασίες συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.

Η έρευνα και η τεχνολογική εξέλιξη για το περιορισμό των εκπομπών οξειδίων του αζώτου-NOx επιτυγχάνει μόνο την μείωση των εκπομπών όταν η μηχανή λειτουργεί κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Όταν το πλοίο παραδοθεί στην πλοιοκτήτρια εταιρεία, εκείνη είναι υπεύθυνη για τον τρόπο λειτουργίας της εγκατάστασης και θα κληθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα στην απόδειξη σε αρμόδιους κανονισμούς συμμόρφωσης με τους σχετικούς κανονισμούς εκπομπών καυσαερίων. Στον παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η προσέγγιση των ανωτέρω από μια από τις μεγαλύτερες κατασκευάστριες εταιρείες Ναυτικών κινητήρων Diesel, της MAN B&W.

4.3.2.1 NOx Technical File-Guidelines.^[23]

Είναι ένα εγχειρίδιο που αναφέρεται στις πλοιοκτήτριες εταιρείες, στα Ναυπηγεία, στους Ναυπηγούς μηχανολόγους και το οποίο καθορίζει διαδικασίες σύμφωνα με τις οποίες γίνεται εκτίμηση της απόδοσης της μηχανής με μέτρηση κυρίως των παραμέτρων λειτουργίας αυτής και απόδειξη συμμόρφωσης με τους κανονισμούς του IMO στους επιθεωρητές της Αρμόδια Αρχής-Νηογνώμονα για την έκδοση του σχετικού πιστοποιητικού (EIAPP).

Στο πρώτο μέρος του εγχειριδίου παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία των επιθεωρήσεων στην δοκιμαστική κλίνη αλλά και μετά την τοποθέτηση της εγκατάστασης στο πλοίο και τις επιθεωρήσεις κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου όπου και αυτές είναι που αφορούν κυρίως την πλοιοκτήτρια εταιρεία.

Στο δεύτερο μέρος του εγχειριδίου, εστιάζεται σε συγκεκριμένα θέματα που μπορεί να προκύψουν στο πλοίο και επιδεικνύει το χειρισμό τους, όπως για την διαδικασία των ανταλλακτικών και τυχόν επιδιόρθωση που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τμήματα που σχετίζονται με τις εκπομπές NOx.

Η MAN B&W ετοίμασε τον τεχνικό φάκελο σε συνεργασία με τους Νηογνώμονες και τον έκανε κοινό για όλους τους κατασκευαστές με άδεια χρήσης που κατασκευάζουν τα μοντέλα των μηχανών. Τα πλεονεκτήματα της κοινής αποδοχής του τεχνικού φακέλου είναι:

- Αποδοχή από την παγκόσμια αγορά
- Ικανοποίηση των αγοραστών, διότι μπορούν να αποδείξουν την συμμόρφωση του πλοίου τους με τους κανονισμούς στις Αρμόδιες Αρχές
- Διαδικασία επιθεώρησης που είναι γνωστή στο πλήρωμα
- Η μηχανή λαμβάνει το πιστοποιητικό από μετρήσεις που μπορεί να έχουν πραγματοποιηθεί σε άλλες μηχανές που ανήκουν στην ίδια ομάδα, κάτι που συνεπάγεται μείωση των εξόδων

Η βασική αρχή που στηρίζονται οι παρακάτω οδηγίες, είναι ότι οι εκπομπές των NOx μπορούν να υπολογιστούν από μετρήσεις στη μηχανή των παρακάτω μεγεθών:

- P_{max}
- P_{comp}
- T_{max}
- P_{back}

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι αν ο μηχανικός του πλοίου επιδιώξει να αλλάξει τις παραμέτρους λειτουργίας της μηχανής, μπορεί οι εκπομπές της μηχανής να μην είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς και να έχει κυρώσεις σε περίπτωση ελέγχου από την Αρχή. Εκτιμάται ότι μηχανές που έχουν ήδη παραδοθεί και θα πληρούσαν τις προδιαγραφές των εκπομπών θα εκπέμπουν εκτός των προδιαγραφόμενων ορίων. Οι ιδιοκτήτριες εταιρείες θα πρέπει να επικοινωνούν με τους κατασκευαστές για επιβεβαίωση και ρύθμιση από την αρχή των παραμέτρων λειτουργίας των μηχανών για την αποφυγή κυρώσεων.

1. Μέθοδοι επιθεωρήσεων:^[23]

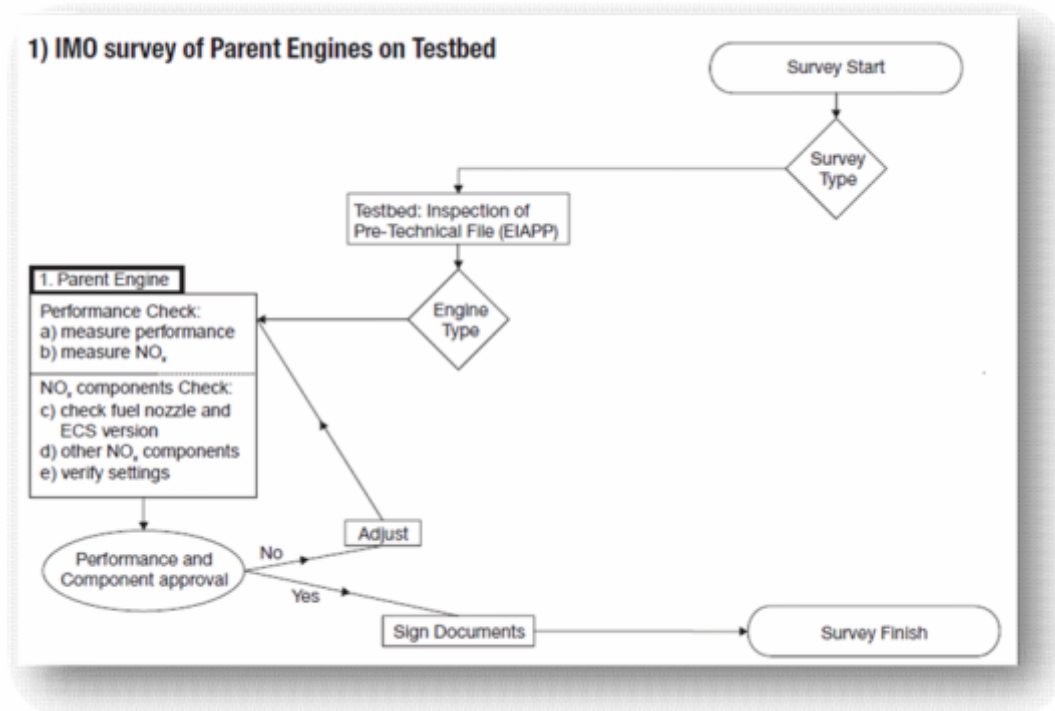
Περιλαμβάνουν μετρήσεις-επιθεωρήσεις στη δοκιμαστική κλίνη (Testbed), και κατά τη λειτουργία του πλοίου (On-board).

Επιθεωρήσεις στην δοκιμαστική κλίνη (Testbed):

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επιθεώρηση στηρίζεται στο έλεγχο των παραμέτρων λειτουργίας της μηχανής. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται στην πατρική μηχανή χρησιμοποιούνται ως αναφορά και για τις υπόλοιπες μηχανές που ανήκουν στην ίδια οικογένεια.

Σημείωση: αλλαγή σε κάποια από τις παραμέτρους της μηχανής συνεπάγεται και αλλαγή στις εκπομπές του NOx. Η επιθεώρηση έχει 2 στάδια:

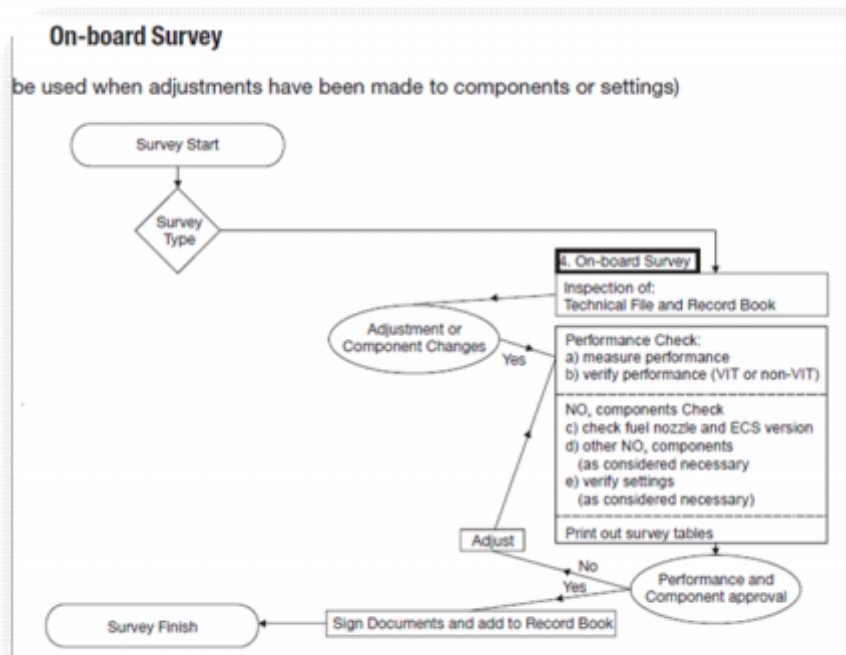
1. Έλεγχος λειτουργίας: μετριέται η απόδοση της μηχανής και οι εκπομπές αυτής
2. Έλεγχος των εξαρτημάτων που σχετίζονται με τις εκπομπές NOx και οι ρυθμίσεις τους



Εικ.4.21: Διαδικασία επιθεώρησης στη δοκιμαστική κλίνη

Επιθεωρήσεις στο πλοίο:

Αυτές πραγματοποιούνται κυρίως όταν γίνετε κάποια αλλαγή στις ρυθμίσεις της μηχανής ή κάποια μετασκευή σε κάποιο από τα εξαρτήματα που σχετίζεται με τις εκπομπές NOx όπως αυτά καθορίζονται από την κατασκευάστρια εταιρεία. Αρχικά ελέγχονται όλα τα πιστοποιητικά του πλοίου που σχετίζονται με τις εκπομπές καθώς και το ημερολόγιο της μηχανής. Η διαδικασία είναι όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικ.4.22: Διαδικασία επιθεώρησης στο πλοίο

Μετά από μία σειρά πειραμάτων σε διαφόρων τύπων μηχανές, καθορίστηκαν και κάποια όρια ανοχής για τις τιμές των παραμέτρων λειτουργίας τους που οι εκπομπές NOx βρίσκονται εντός των προδιαγραφόμενων ορίων. Αυτές οι ανοχές πρέπει να τηρούνται σε κάθε τροποποίηση των παραμέτρων.

Στο δωμάτιο της μηχανής πρέπει να υπάρχει το ημερολόγιο της, όπου πρέπει να γράφονται αλλαγές στις ρυθμίσεις και στα εξαρτήματα που μπορούν να επηρεάσουν τις εκπομπές του NOx.

Επίσης έχουν καθοριστεί τα εξαρτήματα της μηχανής που σχετίζονται με τις εκπομπές NOx του πλοίου και αυτά πρέπει να προμηθεύονται από την κατασκευάστρια εταιρεία και μόνο. Τα ανταλλακτικά αυτά πρέπει να έχουν τα αντίστοιχα σημάδια πιστοποίησης όπως φαίνεται ενδεικτικά στις παρακάτω εικόνες:

Part	Certified Marking	Marking Instruction	Required Marking	Notes
Cylinder cover	Part No.	0742634-2	Either manufacturer's Name or Trademark, plus Part No., Year and Week of manufacture	Marking is on manoeuvring side



Part	Certified Marking	Marking Instruction	Required Marking	Notes
Piston crown	Part No.	0743260-7	Either manufacturer's Name or Trademark, plus Part No.	Marking is on manoeuvring side



Εικ. 4.23: Πιστοποίηση εξαρτημάτων από την κατασκευάστρια εταιρεία

4.3.2.2 Προτεινόμενες μετασκευές για συμμόρφωση με τις προδιαγραφές Tier I & II. ^[24]

Tier I

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό Ναυτιλίας (IMO-Marpol Annex VI), ο κανονισμός για τον περιορισμό των εκπομπών οξειδίων του αζώτου στα επίπεδα του Tier I συμπεριλαμβάνει και μηχανές με υποδύναμη μεγαλύτερη από 5000 KW και που έχουν εγκατασταθεί σε πλοία από την 1 Ιανουαρίου 1990 έως και τις 31 Δεκεμβρίου 1999.

Η μετασκευή των ανωτέρω μηχανών περιλαμβάνει:

- Καυστήρες (εγχυτήρα πετρελαίου)

Tier II

Σε όλες τις καινούριες μηχανές που πληρούν ήδη από την αρχική τους σχεδίαση τις προδιαγραφόμενες εκπομπές Tier I είναι δυνατόν με εσωτερικές μετασκευές να περιοριστούν οι εκπομπές NOx στα προδιαγραφόμενα επίπεδα Tier II.

Οι εσωτερικές μετασκευές αφορούν κυρίως τα εξαρτήματα που σχετίζονται με το καύσιμο και τη ποιότητα της καύσης όπως:

- Έμβολο αντλίας πετρελαίου
- Χιτώνιο αντλίας πετρελαίου
- Καυστήρες (εγχυτήρα πετρελαίου)
- Αλλαγή της γεωμετρίας του χώρου καύσης
- Ρύθμιση της πίεσης του αέρα σάρωσης
- Και αλλαγή των έκκεντρων της βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων
- Και σε μηχανές με ηλεκτρονική ρύθμιση έγχυσης, ρύθμιση των ηλεκτρονικών παραμέτρων λειτουργίας.

Σχεδόν όλες οι βαλβίδες εξαγωγής των νέων σε σχεδίαση μηχανών είναι κατασκευασμένες από Nitronic, ένα πολύ ανθεκτικό υλικό που συνεισφέρει στην μείωση των εκπομπών.

Παρατήρηση: Η συνολική προσπάθεια που μπορεί να καταβληθεί για την μείωση των εκπομπών ενός πλοίου δεν περιορίζεται μόνο με μελέτες και μετασκευές στην κύρια μηχανή αλλά και εναλλακτικούς τρόπους εξοικονόμησης της ενέργειας όπως με εκμετάλλευση χαμένης ενέργειας που διαφεύγει στο περιβάλλον με μορφή θερμότητας, με εισαγωγή νέων κατασκευαστικών γραμμών πλοίου -αλλαγή στη γεωμετρία της γάστρας- και με ελάττωση της ταχύτητας υπηρεσίας του πλοίου για παράδειγμα, μία ελάττωση 10% στην ταχύτητα του πλοίου συνεπάγεται 20% στην ποσότητα εκπομπών καυσαερίου από το πλοίο.

4.4 Οξείδια του θείου (SO_x)

4.4.1 Εισαγωγή

Οι νέες προδιαγραφές για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου που θεσπίστηκαν από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας, τον περιβαλλοντολογικό οργανισμό της Καλιφόρνιας και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένεται να προκαλέσουν μεγάλες διαταραχές στην λειτουργία των πλοίων.

Οι σχετικές νομοθετικές αλλαγές για να επιτύχουν την απαραίτητη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου στράφηκαν στην μείωση του ποσοστού της περιεκτικότητας σε θειάφι των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τους Ναυτικούς κινητήρες ή την χρήση εγκεκριμένων από αρμόδιους φορείς συστημάτων που μειώνουν τις τελικές εκπομπές προς το περιβάλλον.

Η μείωση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θειάφι ενδέχεται να επηρεάσει την αποδοτική λειτουργία παλαιότερων εγκαταστάσεων που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν με διαφορετική ποιότητα καυσίμων. Ωστόσο σε κατασκευαστικά αδιέξοδα έχουν οδηγηθεί και εταιρείες κατασκευής και συναρμολόγησης μηχανημάτων που οι κατασκευές τους θα κληθούν να διαχειριστούν καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και κατά συνέπεια με χαμηλό ιξώδες κυρίως σε πλοία παλαιότερης τεχνολογίας.

Όλα τα προτεινόμενα συστήματα για την διαχείριση των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο θα πρέπει αρχικά να εγκριθούν από τις Αρμόδιες Αρχές, να είναι εφαρμόσιμα και συμβατά με τις μέχρι σήμερα ισχύουσες διατάξεις για το πλοίο, να είναι εύκολη η πρακτική λειτουργία τους για την διευκόλυνση του πληρώματος και της πλοιοκλήτριας εταιρείας και τέλος να μπορούν να εξασφαλίσουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια ως προς τον άνθρωπο, το περιβάλλον και την περιουσία.

Από τους νέους κανονισμούς θα επηρεαστούν:

1. Τα Ναυτιλιακά καύσιμα
2. Η διαδικασία παράδοσης καυσίμων στο πλοίο
3. Η λειτουργία της κύριας μηχανής & των ηλεκτρομηχανών
4. Η σχεδίαση των δικτύων καυσίμου
5. Οι διάταξη και ο αριθμός των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμου στο πλοίο
6. Οι αντλίες μεταφοράς καυσίμου και τα μετρητικά όργανα στο δίκτυο
7. Η λειτουργία του βραστήρα (Boiler plant)

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα προβλήματα που προκύπτουν όπως περιγράφονται ανωτέρω και θα παρουσιασθούν και εκτιμηθούν οι προτεινόμενες λύσεις από τους κατασκευαστές.

4.4.2 Ναυτιλιακά Καύσιμα^[25]

1. Ιστορικό: Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν κυριαρχήσει στις θαλάσσιες μεταφορές. Η αρχή της μηχανής πετρελαίου ήταν το 1892 από τον Rudolf Diesel, όπου δώδεκα χρόνια αργότερα κατασκευάστηκε και η πρώτη τετράχρονη diesel μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την πρόωση πλοίου. Αργότερα, το 1930 άρχισαν να κατασκευάζονται δίχρονες μηχανές diesel, μεγαλύτερες και με πολύ καλύτερη απόδοση. Το 1950 μια σειρά καινοτομιών που εφαρμόστηκαν, επέτρεψε τη χρήση **heavy fuel oil** σε ναυτικούς κινητήρες (M/V "Princess of Vancouver"), καθώς χρησιμοποιήθηκαν λιπαντικά ιδιαίτερα αλκαλικά, ικανά να ουδετεροποιήσουν τα οξέα που παράγονται κατά την καύση καυσίμων με υψηλό αριθμό θείου (residual fuels). Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό του παγκοσμίου στόλου της εμπορικής Ναυτιλίας κινείται με *heavy fuel oil*.

2. Σύνθεση: Το ορυκτό πετρέλαιο (crude oil) αποτελείται από ένα μείγμα πολλών και διαφόρων υδρογονανθράκων με μοριακό βάρος κυμαινόμενο από το μεθάνιο μέχρι βαριά στερεά μόρια. Περιέχει επίσης και ενώσεις οξυγόνου, θείου, αζώτου και ελάχιστες ποσότητες μεταλλικών ενώσεων και νερού. Στα αέρια που βρίσκονται διαλυμένα μέσα στο αργό πετρέλαιο, περιλαμβάνονται άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρόθειο (H₂S) και ήλιο. Οι κυριότερες μορφές μεταλλικών ενώσεων που συναντώνται είναι αυτές των διαλυμένων αλάτων σε θαλασσινό νερό το οποίο έχει σχηματίσει γαλάκτωμα με το πετρέλαιο, αλάτων οργανικών οξέων, ή σύμπλοκων οργανομεταλλικών ενώσεων.

Το ορυκτό πετρέλαιο (crude oil), είναι:

1. Παραφινικής βάσης (παραφίνη, εννοούνται οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους με κρυσταλλική υφή, χρώμα παραπλήσιο του λευκού και είναι στερεοί σε συνήθη θερμοκρασία), ασταθών η ευανάφλεκτων υδρογονανθράκων, συνεπώς κατάλληλο για πετρελαιομηχανές.
2. Ναφθενικής βάσης (ευσταθών υδρογονανθράκων), κατάλληλο για χρήση σε βενζινομηχανές.
3. Αρωματικής βάσης, δυσανάφλεκτο που αναμιγνύεται με βενζίνη προς απόκτηση αντικροτικότητας.

Το ορυκτό πετρέλαιο περιέχει συνήθως το 85% από τα 1,2 και 15% από το 3, με μικρό ποσοστό ακόρεστων υδρογονανθράκων, το οποίο κυμαίνεται από την περιοχή άντλησης. Τα παραφινικής

βάσεως έχουν μικρότερο ειδικό βάρος και μεγαλύτερο δείκτη ιξώδους και σχηματίζουν σκληρότερα ανθρακώδη κατάλοιπα σε σχέση με τα ναφθενικά.

Στην πράξη η κατάταξη των διαφόρων τύπων φυσικού πετρελαίου γίνεται με βάση την *πυκνότητα* τους και την ποσότητα τους σε *θειό*.

Το ακατέργαστο πετρέλαιο (crude oil), διυλίζεται υπό ατμοσφαιρική πίεση και στην συνέχεια με κενό όπου παραλαμβάνονται τα κλάσματα του πετρελαίου, στην παλαιότερη μέθοδο διύλισης παρέμενε ένα υπόλοιπο 40-50% crude oil. Στην νεώτερη μέθοδο ακολουθεί η πυρόλυση ή πυροδιάσπαση όπου μετατρέπεται το φωτιστικό πετρέλαιο ή το πετρέλαιο diesel σε βενζίνη, δηλαδή υδρογονάνθρακες μικρότερου μοριακού βάρους. Γενικά η αυξημένη ζήτηση παγκοσμίως για ευγενέστερα καύσιμα και η εξαγωγή υψηλότερων κλασμάτων από τα κατάλοιπα, σημαίνει ότι στον «πάτο» συγκεντρώνονται όλο και χειρότερης ποιότητας καύσιμα για την αγορά της ναυτιλίας.

Οι ευρύτερες κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται οι δραστηριότητες του διυλιστηρίου είναι οι ακόλουθες:

1. Διαχωρισμός υδρογονανθράκων
2. Μετατροπή υδρογονανθράκων
3. Επεξεργασία προϊόντων
4. Ανάμιξη

3. Προϊόντα κλασματικής απόσταξης

- Βενζίνη (Petrol or gasoline) μεταξύ 40-205 °C κατάλληλο για κινητήρες αυτοκινήτων και αεροπλάνων.
- Φωτιστικό πετρέλαιο (Paraffin or Aviation Kerosene), μεταξύ 150-250 °C, όπου μείγμα αυτού με βενζίνη αποτελούν τα καύσιμα JP (Jet propellant) αεροπορικών αεροστροβίλων.
- Πετρέλαιο Diesel (Gas oil-Diesel oil), μεταξύ 225-360 °C, στις χαμηλότερες θερμοκρασίες το Gas oil για ταχύστροφες μηχανές και στις υψηλότερες θερμοκρασίες το Marine Diesel oil.
- Βαρύ πετρέλαιο (Heavy fuel oil) όπου είναι το υπόλειμμα της απόσταξης για καύση στους λέβητες και πετρελαιομηχανές ισχύος. Τα καύσιμα αυτά πρέπει να έχουν μεγάλη θερμαντική ικανότητα, να μην είναι διαβρωτικά, να αντλούνται εύκολα και να είναι ευανάφλεκτα για τις μηχανές Diesel.

4. Χαρακτηριστικά/προδιαγραφές καυσίμων

Καθορίζονται σύμφωνα με κανονισμούς A.S.T.M (American Society Testing material), BSS (British Standard Specification), ISO 8217, CIMAC H-55 και τα εγχειρίδια κατασκευαστών μηχανών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η "ποιότητα" του καυσίμου και η επεξεργασία αυτού μέχρι και την έγχυση του στο θάλαμο καύσης αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα για την σύσταση των προϊόντων που προκύπτουν από την καύση του, δηλαδή τις εκπομπές του πλοίου στο περιβάλλον. Οι όροι είναι:

- i. Ειδικό βάρος (0.83-1.05). οι τιμές δίνονται στο μετρικό σύστημα στους 15 °C , στο Αγγλικό στους 60 F σε Beaume και στην Αμερική σε API. Οι τύποι μετατροπής είναι:

$$Beaume = \frac{140}{\gamma} - 130 \quad API = \frac{141.5}{\gamma} - 131.5$$

Η αναγωγή του ειδικού βάρους για διαφορετικές θερμοκρασίες από 15 °C, γίνεται με την πρόσθεση για $t > 15$ °C και αντίστοιχα αφαίρεση για $t < 15$ °C του όρου 0.00064 Δt.

- ii. Σημείο ανάφλεξης (Flash point), είναι η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία το πετρέλαιο θερμαινόμενο δίνει ατμούς αναφλεγόμενους στιγμιαία σε επαφή με φλόγα. Κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 70-120 °C και μετράται με την μέθοδο κλειστού ή ανοικτού δοχείου. Σύμφωνα με τον Lloyd's το σημείο ανάφλεξης για λόγους ασφαλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 65 °C.
- iii. Σημείο καύσης (Fire point), είναι η ελάχιστη θερμοκρασία που οι ατμοί του θερμαινόμενου πετρελαίου αναφλεγόμενοι από φλόγα συνεχίζουν να καίονται επί 5 δευτερόλεπτα. Είναι συνήθως 15-25 °C μεγαλύτερο από το σημείο αναφλέξεως.
- iv. Σημείο αυτανάφλεξης, είναι η θερμοκρασία που αυταναφλέγεται το καύσιμο σε ατμοσφαιρική πίεση, συνήθως 350-500 °C, όπου σε συμπίεση 30 ατμ. Κατέρχεται στους 200-250 °C.
- v. Σημείο ροής (Pour point), είναι η θερμοκρασία που αρχίζει να ρέει το πετρέλαιο και ενδιαφέρει για τον υπολογισμό της απαραίτητης προθέρμανσης στις δεξαμενές για την επιτυχή αναρρόφηση του.
- vi. Θερμαντική ικανότητα (Calorific value), είναι η έκλυση θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας καυσίμου KJ/kg. Επηρεάζει άμεσα την υποδύναμη της μηχανής.
- vii. Περιεκτικότητα σε θειάφι (Sulphur content) επί της %. Επηρεάζει διότι κατά την καύση σχηματίζονται διαβρωτικές ενώσεις και κάνουν διαβρώσεις στα χιτώνια, έμβολα, βαλβίδες εισαγωγές στροβιλοσυμπιεστών. Επίσης συνδέεται άμεσα και με τις εκπομπές του πλοίου σε διοξείδιο του θείου και την μόλυνση στο περιβάλλον.
- viii. Περιεκτικότητα σε τέφρα (Ash content), κυμαίνεται από 0.01-0.02% κατά βάρος και προκαλεί φθορές.

- ix. Περιεκτικότητα σε νερό (water content) % κατ όγκο. Απαιτεί κατακάθιση στις δεξαμενές και φυγοκέντριση ώστε να είναι 0.2%.
- x. Εξανθράκωμα (Carbon residue), είναι το % κατά βάρος ανθρακούχο υπόλοιπο της τέφρας που μένει μετά την θέρμανση, εξάτμιση και κάψιμο όλων των πτητικών μιας ποσότητας καυσίμου. Τα μεγάλα εξανθρακωματα ρυπαίνουν τα στοιχεία της μηχανής που έρχονται σε επαφή.
- xi. Περιεκτικότητα σε βανάδιο, μετριέται σε ppm και πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 200-600. Σε συνδυασμό με το νάτριο προκαλεί χημική και θερμή διάβρωση.
- xii. Περιεκτικότητα σε αφαλτένια, κυμαίνεται μεταξύ 0.5-2% στα ελαφρύτερα καύσιμα, 6-8% στα βαρύτερα και 10-20% στα καύσιμα που προέρχονται από θερμική πυρόλυση. Αυτά κατακάθονται στις δεξαμενές, βουλώνουν τα φίλτρα και αποβάλλονται από τη φυγοκέντριση.
- xiii. Περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες
- xiv. Ιξώδες (Viscosity), είναι το μέτρο αντίστασης στη ροή ενός ρευστού ή το μέτρο τη εσωτερικής τριβής των μορίων του. Όσο μικρότερο το ιξώδες ενός καυσίμου τόσο λεπτότερο το υγρό και ταχύτερη η ροή του.

5. Οι βαθμοί των ναυτιλιακών καυσίμων (Fuel oil grades)

Στους Ναυτικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται:

- Τέσσερις βαθμοί αποσταγμένου πετρελαίου, (DM denotes Distillate) με χαρακτηριστικά: DMX για καθαρό αποσταγμένο, DMA για gas oil, DMB για καθαρό diesel, DMC για diesel αναμεμειγμένο με περισσότερο από 10% υπόλειμμα απόσταξης (heavy fuel oil).
- Τα υπολείμματα απόσταξης, δέκα συνολικά βαθμοί, χαρακτηρίζονται με τα αρχικά RM (Residual Marine), ακολουθούμενα από ένα ακόμη γράμμα μεταξύ A-K το οποίο προκαθορίζει τα χαρακτηριστικά του και από έναν αριθμό που καθορίζει το ιξώδες του σε mm^2/s στους 50°C .

Ακολουθούν πίνακες με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων Ναυτιλιακών καυσίμων όπως αυτά έχουν καθορισθεί από διεθνής οργανισμούς. Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων πρέπει να ελέγχονται κατά την παραλαβή (bunkering) από το πλήρωμα για εξακρίβωση της σύνθεσης τους και την καταλληλότητα ανάμειξης τους με παλαιότερα καύσιμα που πιθανόν να βρίσκονται στις δεξαμενές. Οι πίνακες αυτοί έχουν δημοσιευθεί πριν την ημερομηνία ισχύος των νέων κανονισμών και για το λόγο αυτό φαίνεται ότι δεν παρουσιάζονται στοιχεία όπως η ελάχιστη περιεκτικότητα θείου ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση εάν το καύσιμο είναι κατάλληλο ή όχι στις περιοχές που ισχύουν οι νέες νομοθεσίες.

Table 1: Requirements for marine distillate fuels

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F				Test method reference
			DMX	DMA	DMB	DMC ^a	
Density at 15°C	kg/m ³	max.	–	890,0	900,0	920,0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Viscosity at 40°C	mm ² /s ^b	min. max.	1,40 2,50	1,50 6,00	– 11,0	– 14,0	ISO 3104 ISO 3104
Flash point	°C	min. min.	– 43	60 –	60 –	60 –	ISO 2719 (see also 7.2)
Pour point (upper) ^c - winter quality - summer quality	°C	max. max.	– –	–6 0	0 6	0 6	ISO 3016 ISO 3016
Cloud point	°C	max.	–15	–	–	–	ISO 3015
Sulfur ^d	% (m/m)	max.	1,00	1,50	2,00 ^e	2,00 ^e	ISO 8754 or ISO 11595 (see also 7.3)
Cetane index	–	min.	45	40	35	–	ISO 4264
Carbon residue on 10% (v/v) distillation bottoms	% (m/m)	max.	0,30	0,30	–	–	ISO 10370
Carbon residue	% (m/m)	max.	–	–	0,30	2,50	ISO 10370
Ash % (m/m)	% (m/m)	max.	0,01	0,01	0,01	0,05	ISO 6245
Appearance ^f	–	–	Clear and bright		–	–	See 7.4 and 7.5
Total sediment, existent	% (m/m)	max.	–	–	0,10 ^g	0,10	ISO 10307-1 (see 7.5)
Water	% (v/v)	max.	–	–	0,3 ^f	0,3	ISO 3733
Vanadium	mg/kg	max.	–	–	–	100	ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	–	–	–	25	ISO 10479 or IP 501 or IP 470 (see 7.9)
Used lubricating oil (ULO) - Zinc - Phosphorus - Calcium	mg/kg mg/kg mg/kg	max. max. max.	– – –	– – –	– – –	The fuel shall be free of ULO ^h 15 15 30	IP 501 or IP 470 IP 501 or IP 500 IP 501 or IP 470 (see 7.7)

Table 2: Requirements for marine residual fuels

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F										Test method reference
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700	
Density at 15°C	kg/m ³	max.	960,0	975,0	980,0	991,0		991,0		1010,0	991,0	1010,0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Kinematic viscosity at 50°C	mm ² /s ²	max.	300		800	1800		380,0		700,0			ISO 3104
Flash point	°C	min.	60		60	60		60		60			ISO 2719 (see also 7.2)
Pour point (upper) ³ - winter quality - summer quality	°C °C	max. max.	0 6	24 24	30 30	30 30		30 30		30 30			ISO 3016 ISO 3016
Carbon residue	% (m/m)	max.	10		14	15	20	18	22		22		ISO 10370
Ash	% (m/m)	max.	0,10		0,10	0,10	0,15	0,15		0,15			ISO 6245
Water	% (v/v)	max.	0,5		0,5	0,5		0,5		0,5			ISO 3733
Sulfur ^d	% (m/m)	max.	3,50		4,00	4,50		4,50		4,50			ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)
Vanadium	mg/kg	max.	150		250	200	500	300	600		500		ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0,10		0,10	0,10		0,10		0,10			ISO 10307-2 (see 7.5)
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80		80	80		80		80			ISO 10479 or IP 501 or IP 470 (see 7.9)
Used lubricating oil (ULO) - Zinc - Phosphorus - Calcium	mg/kg	max. max. max.	The fuel shall be free of ULO ^h										IP 501 or IP 470 (see 7.7) IP 501 or IP 500 (see 7.7) IP 501 or IP 470 (see 7.7)

Προδιαγραφές καυσίμων για χρήση σε Ναυτικούς κινητήρες.

Τα υπάρχοντα καύσιμα στην παγκοσμία αγορά είναι σύμφωνα κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές που φαίνονται στους ανωτέρω πίνακες. Όπως φαίνεται για αποσταγμένα καύσιμα όπως το Marine diesel oil και το Marine gas oil το ιξώδες τους στους 40 °C είναι το ελάχιστο έως και 1.40 cSt. Η χαμηλή τιμή αυτή για το ιξώδες είναι και ο λόγος που δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα στο μηχανοστάσιο όπως αδυναμία εκκίνησης της κύριας μηχανής έως και τυχόν έκρηξη στο βραστήρα που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ανθρώπινης ζωής.

Η βιομηχανίες καυσίμων ερευνούν το θέμα από την δική τους πλευρά και καταβάλλουν προσπάθειες για την παραγωγή ενός καυσίμου που να είναι συμβατό και ασφαλές με τα υπάρχοντα συστήματα και δίκτυα στα πλοία. Η προσπάθεια έχει κατεύθυνση προς τη δημιουργία ενός καυσίμου που να έχει το προδιαγραφόμενο ποσοστό σε θείο με μεγαλύτερη όμως τιμή ιξώδους.

Μέχρι σήμερα μία μόνο εταιρεία στο χώρο των καυσίμων για Ναυτικούς κινητήρες έχει επιδείξει θετικά αποτελέσματα από την προσπάθεια της και φαίνεται ότι το προϊόν της θα οδηγηθεί σύντομα στη μαζική παραγωγή.

Η τιμή ωστόσο αυτού του καυσίμου αλλά και η διαθεσιμότητα του στα λιμάνια τουλάχιστον που ισχύουν οι κανονισμοί είναι κάποια από τα ζητήματα που απασχολούν τις πλοιοκτήτριες εταιρείες. Οι λόγοι είναι ότι οι εταιρείες πρέπει να επιβαρυνθούν όχι μόνο το επιπλέον κόστος του συγκεκριμένου καυσίμου αλλά και την τυχόν καθυστέρηση του πλοίου στο λιμάνι για να προμηθευτεί το καύσιμο αφού εάν μόνο μία εταιρεία το διαθέτει στην αγορά τότε αναπόφευκτα θα υπάρχει συνωστισμός. Καθυστερήσεις και λίγων ωρών για μία πλοιοκτήτρια εταιρεία που διαθέτει το πλοίο της σε τρίτους έναντι ημερήσιου ναύλου σημαίνει μεγάλη απώλεια χρημάτων.

6. Προδιαγραφές νέου καυσίμου από τη Shell

Property	Unit	MDF WRD	Requirement	Provningsmetod
		0,05%S	ISO 8217 RMD 80	
Appearance	-	Clear & Bright	Y	Qualitative
Density at 15°C	kg/m ³	900	Y	ISO 12185, 3675
Viscosity at 40°C	Max. cSt	11.0	Y	ISO 3104
Flash point PMCC	Min. °C	60	Y	ISO 2719 (B)
Pour point Summer / Winter	Max °C	6 / 0	Y	ISO3016
Sulphur	Mass-%	0,05	Y	ISO 8754
Cetane number	Min.	35		ISO 5165
Cetane Index	Min.	35	Y	ASTM D 976
Water	Max % Vol/vol	0,3 1)	Y	ISO 3733
Carbon residue,	Mass-%	0,3	Y	ISO 10 370
Strong Acid Number	Max. mg KOH/g	Nil	Y	ISSO 66018
Acid Number	Max. mg KOH/g	3,0		ISO 6619
Ash	M ass-%	0,01	Y	SS-EN ISO 6245

Προδιαγραφές καυσίμου από την Shell που αναμένεται να διατεθεί στην αγορά στο μέλλον

4.4.3 Διαδικασία παραλαβής καυσίμων^{[10],[26]}

Αν και η ποιότητα των καυσίμων πετρελαίου είναι επί του παρόντος κυρίως ένα ζήτημα μεταξύ των ιδιοκτητών / διαχειριστών και των προμηθευτών, βάσει του παραρτήματος VI της MARPOL 73/78, τείνει να καταστεί υποχρεωτικό το θέμα. Εκτός από τις απαιτήσεις που περιορίζουν την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου, το παράρτημα VI περιλαμβάνει απαιτήσεις που εμποδίζουν την ενσωμάτωση των δυνητικά επιβλαβών ουσιών, και ιδίως τα ρεύματα αποβλήτων (π.χ. χημικά απόβλητα), σε μαζούτ.

Δελτία παραδόσεως (Bunkering) πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον τρία χρόνια και πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Όνομα και ο αριθμό IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα.
- Λιμάνι ανεφοδιασμού καυσίμων.
- Ημερομηνία έναρξης ανεφοδιασμού.
- Επωνυμία, διεύθυνση, αριθμός τηλεφώνου του προμηθευτή.
- Ονομασία προϊόντος.
- Ποσότητα (σε μετρικούς τόνους).
- Πυκνότητα στους 15 ° C (kg / m^3)
- Η περιεκτικότητα σε θείο (% m / m)

Μια υπογεγραμμένη δήλωση από τον προμηθευτή του καυσίμου ή εκπρόσωπο του ότι το επίπεδο σε θείο είναι κάτω του 4,5% και ότι το καύσιμο είναι απαλλαγμένο από ανόργανα οξέα και δεν περιλαμβάνει καμία προστιθέμενη ουσία ή χημικά απόβλητα τα οποία θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πλοίων, επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση της μηχανής, είναι επιβλαβής για το προσωπικό, και συνεισφέρουν συνολικά στην πρόσθετη ρύπανση του αέρα.

Τα δείγματα πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον 12 μήνες και η ετικέτα στο κάθε δείγμα πρέπει να αναγράφει τα ακόλουθα:

- Θέση στην οποία ευρίσκονται, και τη μέθοδο με την οποία πήραν το δείγμα.
- Ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε ο ανεφοδιασμός.
- Ονομασία του δεξαμενοπλοίου / εγκατάσταση καυσίμων.
- Όνομα και ο αριθμός IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα.
- Υπογραφές και ονόματα του προμηθευτή και εκπροσώπου του πλοίου.
- Λεπτομέρειες σχετικά με σφραγίδα ταυτοποίησης.

4.4.4 Λειτουργία της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών

1. Λειτουργία Diesel.^[25]

Η πρώτη διαδρομή του εμβόλου εισάγει αέρα στον κύλινδρο και η δεύτερη διαδρομή, η επιστροφή, συμπιέζει τον αέρα τόσο ώστε η θερμοκρασία να αυξηθεί αδιαβατικά πολύ πιο πάνω από το σημείο ανάφλεξης του καυσίμου. Όταν το έμβολο φθάσει στο τέρμα της διαδρομής του και η πίεση και θερμοκρασία βρίσκονται στο υψηλότερο σημείο τους, ανοίγει μια θυρίδα και αρχίζει η έκχυση του καυσίμου υπό υψηλή πίεση. Το καύσιμο αναφλέγεται άμεσα και υπό σταθερή πίεση. Καθώς τώρα το έμβολο οπισθοχωρεί, η θερμική ενέργεια του φλεγόμενου καυσίμου μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο οδηγώντας το έμβολο στο κάτω μέρος του κυλίνδρου.

2. Επιπτώσεις που οφείλονται στις προδιαγραφές των καυσίμων.^[25]

Οι προδιαγραφές των καυσίμων είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις εκπομπές των πλοίων και λόγω των επιπτώσεων που έχουν στην λειτουργία της μηχανής. Μπορούν να προκαλέσουν μείωση του βαθμού απόδοσης της μηχανής και κατά συνέπεια αύξηση της κατανάλωσης που συνεπάγεται ταυτόχρονη αύξηση των εκπομπών αλλά και του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης. Για παράδειγμα:

- i. Υπερβολικό εξανθράκωμα στο καύσιμο προκαλεί φθορές στα χιτώνια και ακινητοποιεί τα ελατήρια του εμβόλου και τις βαλβίδες.
- ii. Υψηλό ιξώδες, προκαλεί κακή έγχυση και διείσδυση με αποτέλεσμα φαινόμενα μετάκαυσης, επαφής του πετρελαίου με την επιφάνεια του χιτωνίου που συνεπάγεται καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης και υπερθέρμανση αυτής.
- iii. Χαμηλό ιξώδες, προκαλεί φθορά εμβολίσκων αντλιών εγχύσεως, διαφυγή πετρελαίου και κακή έγχυση.
- iv. Πολύ τέφρα, θειάφι και υπολείμματα προκαλούν φθορές εμβόλων, ελατηρίων, χιτωνίων από διάβρωση. Επίσης μεγάλη περιεκτικότητα σε θειάφι σχηματίζει μεγάλη φλόγα που καίει το κυλινδρέλαιο και υπερθερμαίνει το χιτώνιο.

Οι περισσότερες προωσθήριες εγκαταστάσεις πλοίων του Εμπορικού Ναυτικού που εκτελούν διεθνής πλόες λειτουργούν με καύσιμα περιεκτικότητας σε θειάφι άνω του 1.5%. Ωστόσο σε δοκιμές που πραγματοποιούνται πριν από την παράδοση των μηχανών στα ναυπηγεία για την τοποθέτηση τους, χρησιμοποιούνται καύσιμα φιλικότερα προς το περιβάλλον με πολύ χαμηλό ιξώδες και χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι (Marine diesel oil-gas oil) χωρίς να παρουσιάζεται καμιά δυσλειτουργία. Εφόσον βέβαια έχουν ληφθεί υπόψη τα απαραίτητα μέτρα.^[27]

Όταν το πλοίο πλησιάζει σε μία περιοχή που διέπεται από περιορισμούς για την χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι θα πρέπει να συμμορφωθεί με αυτούς τους περιορισμούς πραγματοποιώντας αλλαγή στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο (change-over procedure).

3. Συμβατότητα μεταξύ των καυσίμων

Κατά τη διαδικασία μετάβασης από το βαρύ πετρέλαιο (Heavy fuel oil) σε αποσταγμένο πετρέλαιο με χαμηλό περιεχόμενο σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες υπάρχει κίνδυνος έλλειψης συμβατότητας μεταξύ των δύο καυσίμων. Η διαδικασία δεν είναι στιγμιαία αλλά έχει διάρκεια η οποία εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε θειάφι των δύο πετρελαίων και κατά τη διάρκεια αυτή τα δύο πολύ διαφορετικά σε ιδιότητες καύσιμα συνυπάρχουν στο δίκτυο καυσίμου του πλοίου. Οι ασφαλίτες που περιέχονται στο βαρύ πετρέλαιο δημιουργούν κατακάθια τα οποία φράζουν τα φίλτρα με συνέπεια την μη αποτελεσματική έγχυση πετρελαίου στην μηχανή που οδηγεί σε μη αποδοτική καύση και την δημιουργία εξανθρακωμάτων στον κύλινδρο της μηχανής με ότι αυτό συνεπάγεται.

Αν και η μη συμβατότητα μεταξύ των καυσίμων είναι σπάνια, για την αποφυγή της πρέπει να ελέγχεται πριν την παραλαβή η συμβατότητα μεταξύ τυχόν υπάρχον πετρελαίου και του νέου όπως περιγράφεται στην διαδικασία παραλαβής καυσίμων.^[26]

4. Χαρακτηριστικά ανάφλεξης και καύσης πετρελαίων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι

Το ενδιαφέρον για την ποιότητα ανάφλεξης των πετρελαιοειδών έχει αυξηθεί μετά την ανακοίνωση των νέων προδιαγραφών καυσίμων. Για την μέτρηση της ανάφλεξης χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα όπως FIA (Fuel ignition analyzer). Παρατηρήθηκε σε μηχανές που λειτουργούσαν για μεγάλο χρονικό διάστημα με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θειάφι ότι είχαν χαμηλή ποιότητα ανάφλεξης λόγω αστοχιών που προέκυψαν σε χιτώνια και ελατήρια.

Μετά από μία σειρά πειραμάτων σε δίχρονες αργόστροφες μηχανές που έχουν πραγματοποιηθεί με καύσιμα με αναμενόμενη χαμηλή ανάφλεξη μέχρι τώρα δεν υπάρχει ωστόσο καμία ένδειξη ότι η ποιότητα ανάφλεξης επηρεάζει την αποδοτικότητα της μηχανής.

5. Μετάβαση από χρήση ενός πετρελαίου σε άλλο (Change-over procedure)

Για την προστασία των μηχανισμών έγχυσης πετρελαίου από απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας που μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στα έμβολα των αντλιών πετρελαίου και στις βαλβίδες εξαγωγής των καυσαερίων η διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή.

Για να πραγματοποιηθεί η αλλαγή προτείνεται να χρησιμοποιείται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα μετάβασης. Ωστόσο στα περισσότερα υπάρχοντα πλοία αλλά και στις νέες κατασκευές τέτοιου είδους σύστημα δεν είναι διαθέσιμο και έχουν εκδοθεί σχετικές οδηγίες για χειροκίνητη μετάβαση η οποία απαιτεί την πλήρη εξοικείωση του πληρώματος.

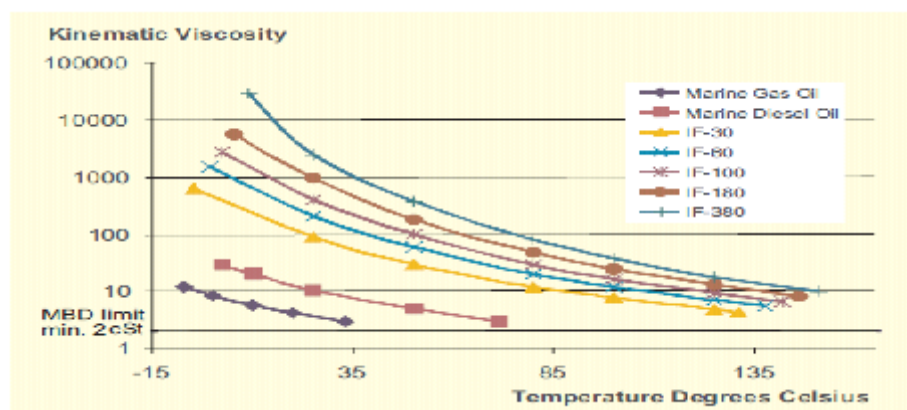
Ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού του απαιτούμενου χρόνου για την αλλαγή καυσίμου σε βαρύ πετρέλαιο 380cSt (heavy fuel oil) από αποσταγμένο πετρέλαιο (marine diesel oil):

Σημαντικός παράγοντας είναι να μην έχουμε συναλλαγή θερμότητας μεγαλύτερη από 2 °C/min.^[28]

1. Έστω ότι το δίκτυο περιέχει diesel oil στους 40° C.
2. Το diesel oil θερμαίνεται στους 80° C πριν την ανάμειξη με το HFO. Για την επίτευξη αυτής της θερμοκρασίας χρειάζονται $(80-40)/2=20$ λεπτά.
3. Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πετρελαίων πρέπει να είναι 25° C. Δηλαδή 105° C. Η αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει να είναι όπως προαναφέρθηκε 2 ° C/min επομένως ο απαιτούμενος χρόνος είναι $(105-80)/2=12.5$ min
4. Τώρα στο δίκτυο υπάρχει μόνο HFO.
5. Τώρα αυξάνουμε την θερμοκρασία από τους 105 στους 150 °C=22.5 min.

Επομένως ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος είναι 20+12.5+22.5=55 λεπτά.

Η παραπάνω διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται από το πλήρωμα πριν από κάθε αλλαγή διαδικασία μετάβασης καυσίμου.



6. Λιπαντέλαια

Τα λιπαντέλαια είναι ορυκτέλαια της κλασματικής απόσταξης πετρελαίου (Crude oil). Παραλαμβάνονται με κενό πάνω από 360 °C και ονομάζονται βασικά ή κοινά λάδια. Τα λάδια με επεξεργασία γίνονται κυλινδρέλαια μεγαλύτερου ιξώδους SAE 40 ή 50 και λάδια κυκλοφορίας-μηχανέλαια, SAE 30 για λίπανση της μηχανής και ψύξης των εμβόλων. Τα κοινά λάδια αναμιγνύονται με διάφορα πρόσθετα από τις εταιρείες παρασκευής τους και γίνονται ενισχυμένα. Τα πρόσθετα αυτά είναι ψευδαργύρου, φωσφόρου, οργανικά άλατα μετάλλων κ.λ.π. Η ανάγκη ενίσχυσης των λαδιών επιβάλλεται γιατί οι υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, τα εξανθρακώματα της καύσης που περιέχουν θειάφι και το νερό λόγω διαρροής προκαλούν οξείδωση των λαδιών με συνέπεια διάβρωση στα κομβία και τους τριβείς ακριβείας. Επίσης η οξείδωση δημιουργεί λασπώδη κατάλοιπα που φράζουν τα φίλτρα και καταστρέφουν τη λιπαντική μεμβράνη.

Η εκλογή του λιπαντελαίου γίνεται με τα εξής κριτήρια:

- Ελάττωση τριβών και φθορών χιτωνίου και ελατηρίων.
- Αποφυγή κολλήματος ελατηρίων.
- Αποφυγή ρύπανσης θυρίδων σάρωσης.
- Αντοχή στην οξείδωση.
- Καλή πρόσφυση στα μέταλλα.

ΑΛΚΑΛΙΚΑ: χρησιμοποιούνται για την εξουδετέρωση της οξύτητας, δηλαδή του H_2SO_4 που σχηματίζεται μετά την καύση. Χαρακτηρίζονται από το δείκτη TBN (Total Base Number) συνοδευόμενο από έναν αριθμό που δείχνει το βαθμό αλκαλικότητας. Όσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θειάφι έχει το χρησιμοποιούμενο καύσιμο τόσο μεγαλύτερο TBN πρέπει να έχουν τα λάδια.

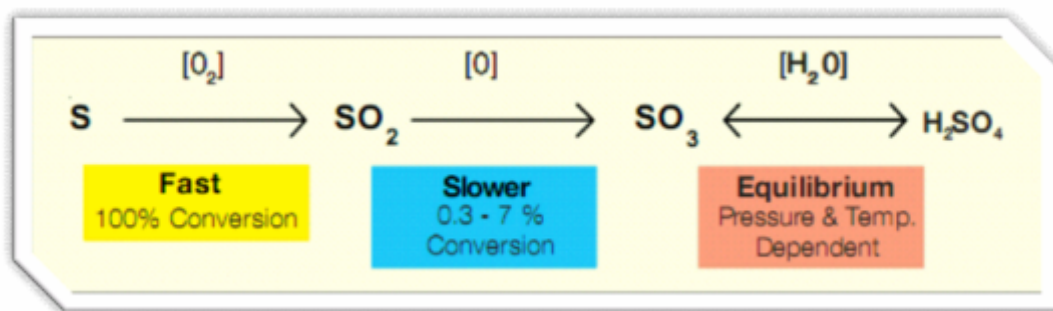
ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΚΥΛΙΝΔΡΕΛΑΙΟΥ:

Η εμπειρία χρήσης καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι και κυλινδρελαίου με χαμηλό TBN (Total Base Number) προέρχεται από μηχανές στο 100% του φορτίου και στο 100% των στροφών σε *ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας*. Η απαίτηση για κυλινδρέλαιο με χαμηλό TBN δεν είναι μονοσήμαντο μέγεθος αλλά εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής από τον τρόπο λειτουργίας και γενικά από όλη την κατάσταση στην οποία βρίσκεται (ελατήρια, χιτώνια, κεφαλή εμβόλου κ.τ.λ.), για αυτό πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το μηχανισμό διάβρωσης που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου κατά την διάρκεια της καύσης, τις επιδράσεις που αυτός έχει στα διάφορα στοιχεία, όπως στο έμβολο, στο χιτώνιο, στα ελατήρια και στην βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων αλλά και την έννοια του δείκτη TBN του κυλινδρελαίου και την συμμετοχή που αυτός έχει κατά τη διάρκεια της καύσης.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η οξείδωση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φθοράς των χιτωνίων και είναι αποτέλεσμα της συμπύκνωσης του θείου που βρίσκεται στα καύσιμα. Η διάβρωση επέρχεται σε συνδυασμό με το νερό που υπάρχει στον κύλινδρο κατά την καύση και της επικρατούσας θερμοδυναμικής κατάστασης στην οποία η πίεση και η θερμοκρασία έχουν τιμές κάτω από το σημείο δρόσου του τριοξειδίου του θείου. Ακόμη και αν υπάρχει μηχανισμός απομάκρυνσης σταγονιδίων νερού, στην σάρωση πριν την είσοδο στον κύλινδρο υπάρχει στον αέρα κορεσμένο νερό.

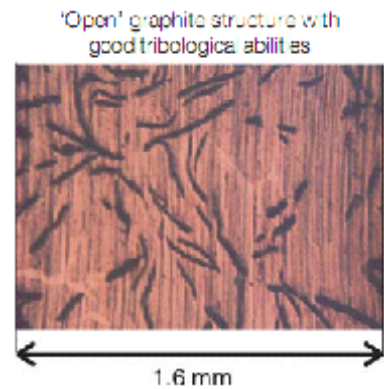


Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο πόσο τριοξείδιο του θείου παράγεται κατά την καύση και ποιος είναι το χρονικό διάστημα πριν προκληθεί οξείδωση στην επιφάνεια του χιτωνίου ούτε με ποιο ρυθμό πρέπει να παρέχεται κυλινδρέλαιο στην επιφάνεια του χιτωνίου για την εξουδετέρωση των οξειδίων του θείου.

Ο δείκτης TBN του κυλινδρελαίου είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τον έλεγχο και όχι την αποφυγή της διάβρωσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Απαραίτητη είναι η παροχή σωστής ποσότητας σε σωστό χρόνο για την δημιουργία λιπαντικής μεμβράνης. Υψηλή αλκαλικότητα μπορεί να οδηγήσει σε γυάλισμα της επιφανείας του χιτωνίου με αποτέλεσμα την αδυναμία δημιουργίας λιπαντικής μεμβράνης λόγω κατακρήμνισης του λιπαντικού μέσου στην λεία επιφάνεια.

Χρήση κυλινδρελαίου με ακατάλληλο δείκτη TBN μπορεί να οδηγήσει είτε σε "κόλλημα" του εμβόλου είτε σε εκτεταμένη φθορά του χιτωνίου.

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η επιθυμητή μορφή της επιφάνειας του χιτωνίου ώστε να μπορεί να σχηματιστεί κατάλληλο υδροδυναμικό λιπαντικό στρώμα μεταξύ ελατηρίων και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου ώστε να εξασφαλίζεται ασφαλή λειτουργία.



των

Η συνολική αλκαλικότητα του κυλίνδρου πρέπει να σχετίζεται με το ποσοστό θείου του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και πρέπει να είναι σύμφωνη με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Dosage} = F \times S\%$$

Όπου $F = 0.21 - 0.25$ g/bhph για κυλινδρέλαιο με TBN70.

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

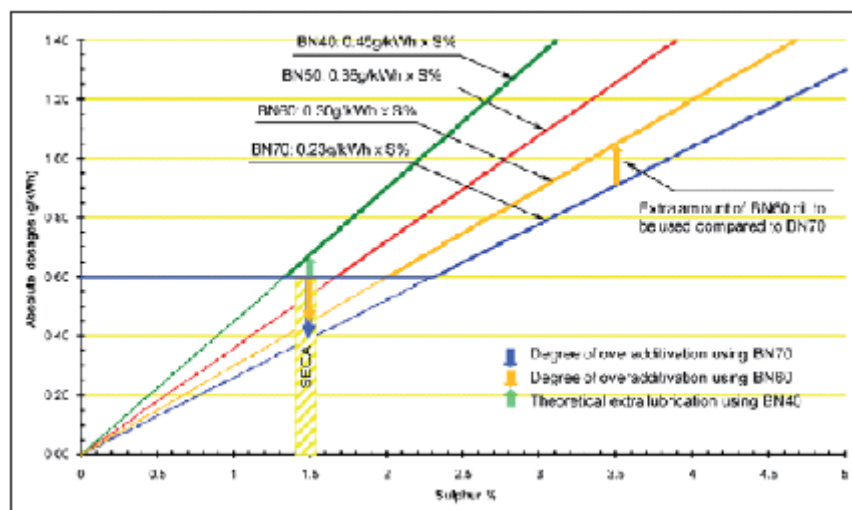
Ο συσχετισμός μεταξύ ποσοστού θείου του καυσίμου και κυλινδρέλαιο μπορεί να συμπεριληφθεί:

Θειάφι <1% : προτείνεται TBN 40/50

Αλλαγή από TBN 70 σε 40/50 μετά από χρήση μίας εβδομάδας

Θειάφι 1-1.5% : μπορούν να χρησιμοποιηθούν TBN 40/50/70

Θειάφι=1.5% : προτείνεται TBN 70



Οι κατασκευαστές πιστοποιούν ότι οι δίχρονες μηχανές που κατασκευάζουν μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο είτε βαρύ πετρέλαιο είτε αποσταγμένο το οποίο είναι σύμφωνα με το ISO8217:2005 χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια μετασκευή στην κύρια μηχανή.

Από την εμπειρία κατά τα δοκιμαστικά της μηχανή πριν από την παράδοση της στο Ναυπηγείο χρησιμοποιείται καύσιμο με περιεκτικότητα σε θειάφι μικρότερη από 0.1% και κυλινδρέλαιο TBN70. Αντίστοιχο καύσιμο και κυλινδρέλαιο χρησιμοποιείται και για το στρώσιμο της μηχανής.

Ο βασικός περιορισμός είναι ότι η χρήση diesel oil σε συνδυασμό με CLO-TBN70 μπορεί να γίνει για μέγιστο χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων

7. Αντλίες πετρελαίου

Τα περισσότερα από τα διαθέσιμα στην αγορά αυτή τη στιγμή καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι έχουν σημαντικά χαμηλό ιξώδες. Στην περίπτωση χρήσης τέτοιου καυσίμου υπάρχει πιθανότητα εμπλοκής του εμβόλου της αντλίας πετρελαίου καθώς η λίπανση της αντλίας προέρχεται από το καύσιμο και μόνο. Τα καύσιμα με χαμηλό ιξώδες έχουν σημαντικά μειωμένες λιπαντικές ιδιότητες.

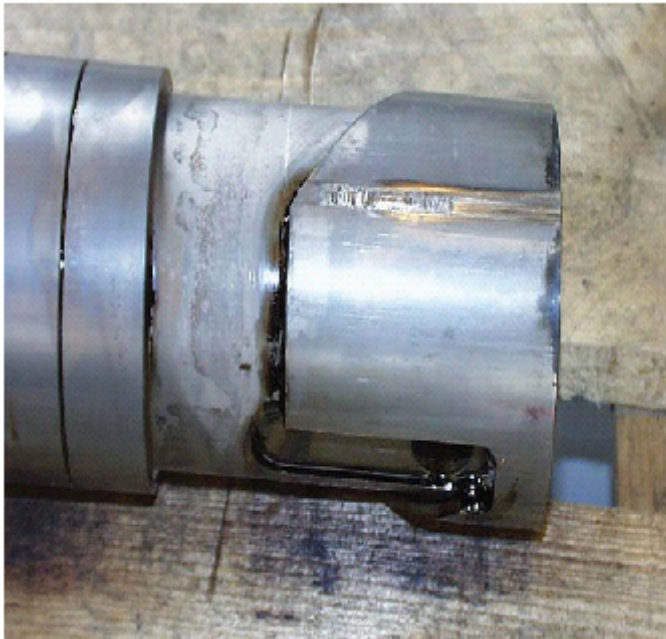
Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις λίπανσης των αντλιών και την αποφυγή αστοχιών συστήνεται το ιξώδες του καυσίμου στην είσοδο του στην κύρια μηχανή να διατηρείται πάνω από 2 cSt. Έπειτα από μακροχρόνιες έρευνες διαπιστώθηκε ότι χρήση καυσίμου με ιξώδες 2 cSt διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των εξαρτημάτων της μηχανής.

Το ιξώδες στην είσοδο της μηχανής πρέπει να διατηρείται πάνω από 2 cSt.

Ωστόσο σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα καυσίμων ISO8217/2005 το ελάχιστο ιξώδες στους 40 °C για αποσταγμένα καύσιμα (marina gas-diesel oil) καθορίζεται στα 1.4-1.5 cSt. Γίνεται αντιληπτό ότι στα δίκτυα καυσίμου όπως αυτά ήταν διαμορφωμένα μέχρι σήμερα ότι είναι δύσκολο να επιτευχθούν τα 2 cSt στην είσοδο της κυρίας μηχανής. Μόνο καύσιμο με ελάχιστο ιξώδες 2.2 cSt και αν ληφθεί υπόψη ότι δεν προθερμαίνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κύριες μηχανές με τα υπάρχοντα δίκτυα καυσίμου.

Υπάρχει σημαντικό ενδεχόμενο λόγω της χρήσης αποσταγμένων καυσίμων η μηχανή να μην μπορεί να λειτουργήσει στο προδιαγραφόμενο φορτίο ή και στην χειρότερη περίπτωση να μην μπορεί να ξεκινήσει. Αυτό οφείλεται στις αντλίες πετρελαίου οι οποίες λόγω μεγάλων διάκενων μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου δεν μπορούν να ανεβάσουν την απαραίτητη πίεση για

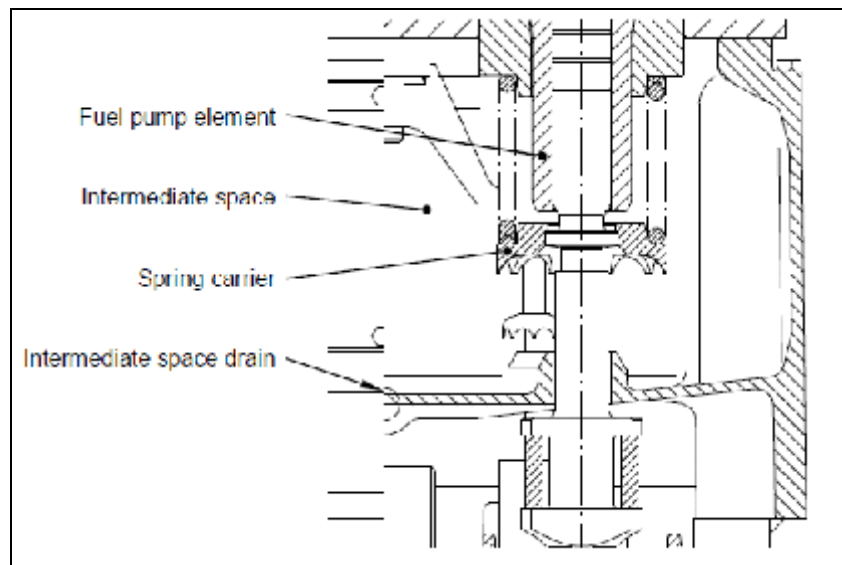
την σωστή έγχυση του καυσίμου από τον καυστήρα. Επίσης λόγω του μικρότερου ειδικού βάρους των αποσταγμένων πετρελαίων η αντλίες μπορεί να μην έχουν το περιθώριο όγκου παροχής καυσίμου, με αποτέλεσμα μικρότερη από την απαραίτητη ποσότητα να φτάνει εν τέλει στο κύλινδρο προς καύση με συνέπεια μικρότερο αποδιδόμενο έργο. Συστήνεται πριν από την αλλαγή καυσίμου να ελέγχονται τα διάκενα μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου της αντλίας και στην περίπτωση που βρεθούν διάκενα κοντά στο επιτρεπτό όριο από τον κατασκευαστή να αντικαθίστανται.



Στη διπλανή εικόνα βλέπουμε τον εμβολίσκο της αντλίας πετρελαίου από αργόστροφη δίχρονη μηχανή, παρατηρείται ότι το άνω μέρος του εμβολίσκου περιφερειακά έχει έρθει σε επαφή με το χιτώνιο της αντλίας. Οι αντλίες αυτού του τύπου χρησιμοποιούν το ίδιο το καύσιμο και σαν λιπαντικό μέσο, λόγω όμως της χαμηλής λιπαντικής ικανότητας των καυσίμων με χαμηλό ποσοστό θείου καταστρέφεται η λιπαντική μεμβράνη και ο εμβολίσκος έρχεται σε επαφή με το χιτώνιο.

Το χαμηλό ιξώδες των αποσταγμένων θα αυξήσει τις διαρροές περιμετρικά του εμβολίσκου της αντλίας πετρελαίου, κατασκευαστές υποστηρίζουν ότι αυτή η διαρροη μπορεί να είναι έως και η τριπλάσια σε σχέση με τη διαρροή όταν χρησιμοποιείται βαρύ πετρέλαιο. Ωστόσο η συνολική ποσότητα της διαρροής δεν είναι μονοσήμαντη και εξαρτάται και από την φθορά του χιτωνίου, εάν είναι κοντά στα όρια του κατασκευαστή η διαρροή θα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Εάν η αντλία πετρελαίου έχει ξεχωριστό σύστημα λίπανσης πρέπει να ελέγχονται οι οχετοί που θα οδηγείται το κατακρημνισμένο καύσιμο έξω από την αντλία να είναι καθαροί για υπάρχει πιθανότητα να αναμιχθεί το καύσιμο με το λάδι και να υποβιβάσει τις λιπαντικές του ικανότητες.



Η αύξηση της διαρροής θα οδηγήσει πιθανόν και σε άνοιγμα του οδοντωτού κανόνα των αντλιών (pump rack index). Θα πρέπει κατά την μετάβαση στο αρχικό βαρύ καύσιμο να ρυθμίζεται η θέση του κανόνα των αντλιών για να αποφευχθεί φαινόμενο υπερφόρτισης της μηχανής και λειτουργίας της έξω από τα επιτρεπτά όρια.

Αύξηση του κανόνα των αντλιών θα χρειαστεί επίσης γιατί τα αποσταγμένα καύσιμα έχουν μικρότερο ειδικό βάρος από το βαρύ πετρέλαιο, οπότε στο ίδιο όγκο το αντίστοιχο αποσταγμένο καύσιμο θα έχει μικρότερη εσωτερική θερμική ενέργεια.

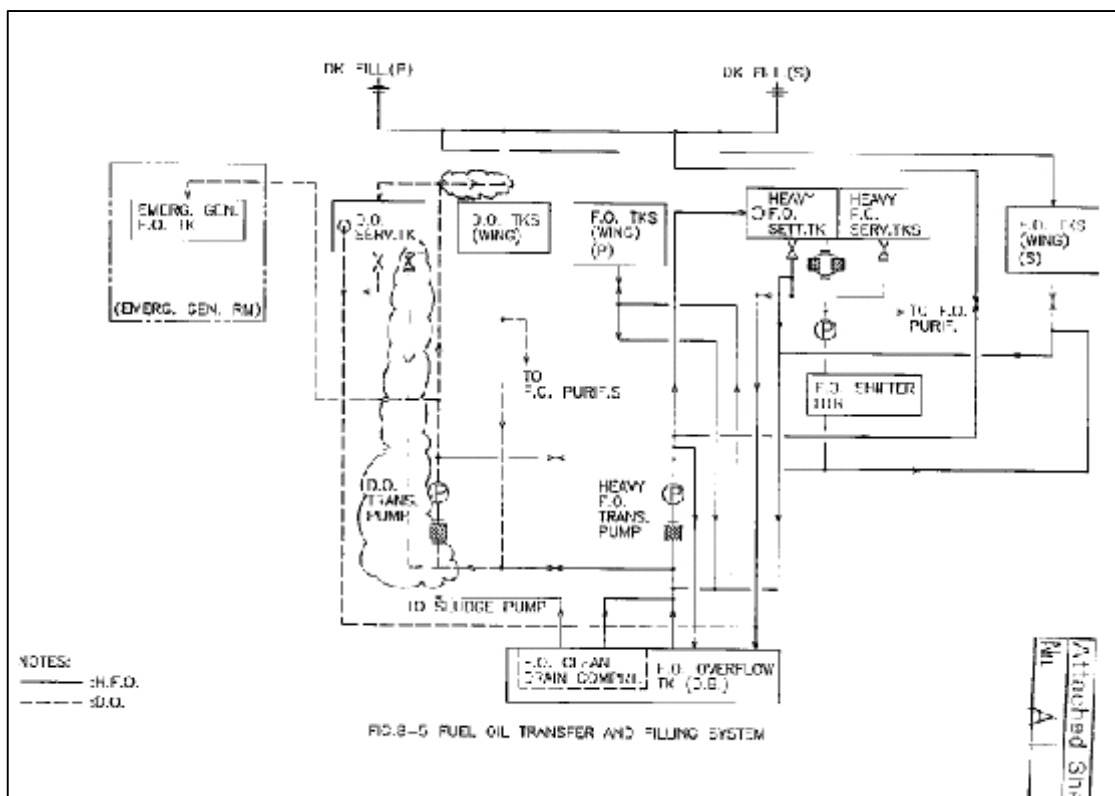
Όλα τα ανωτέρω μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση των πιέσεων καύσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη καταπόνηση των ελατηρίων του εμβόλου. Ιδιαίτερα των ελατηρίων συμπίεσης που βρίσκονται στο άνω μέρος του εμβόλου.

4.4.5 Δίκτυα Καυσίμου

Οι νέοι κανονισμοί για την χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θειάφι σε ορισμένες περιοχές απαιτούν τον επανασχεδιασμό των δικτύων καυσίμων για τα καινούρια πλοία που προορίζονται να ταξιδέψουν σε αυτές τις περιοχές και την μετασκευή των δικτύων στα υπάρχοντα πλοία. Τα υπάρχοντα δίκτυα καυσίμων είναι το δίκτυο για την κύρια μηχανή, το δίκτυο για τις ηλεκτρομηχανές και το δίκτυο του λέβητα.

Οι κύριες αλλαγές στο διάγραμμα του δικτύου οφείλονται στην απαίτηση για τοποθέτηση νέων δεξαμενών που να μπορεί να αποθηκεύεται επαρκής ποσότητα καυσίμου με τις προδιαγραφές που καθορίζουν οι κανονισμοί αλλά και στη δυνατότητα μεταφοράς του καυσίμου μεταξύ των δεξαμενών. Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται λύσεις που έχουν προταθεί από διάφορους κατασκευαστές για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν.

1. Προτεινόμενη μετασκευή A^[30]:



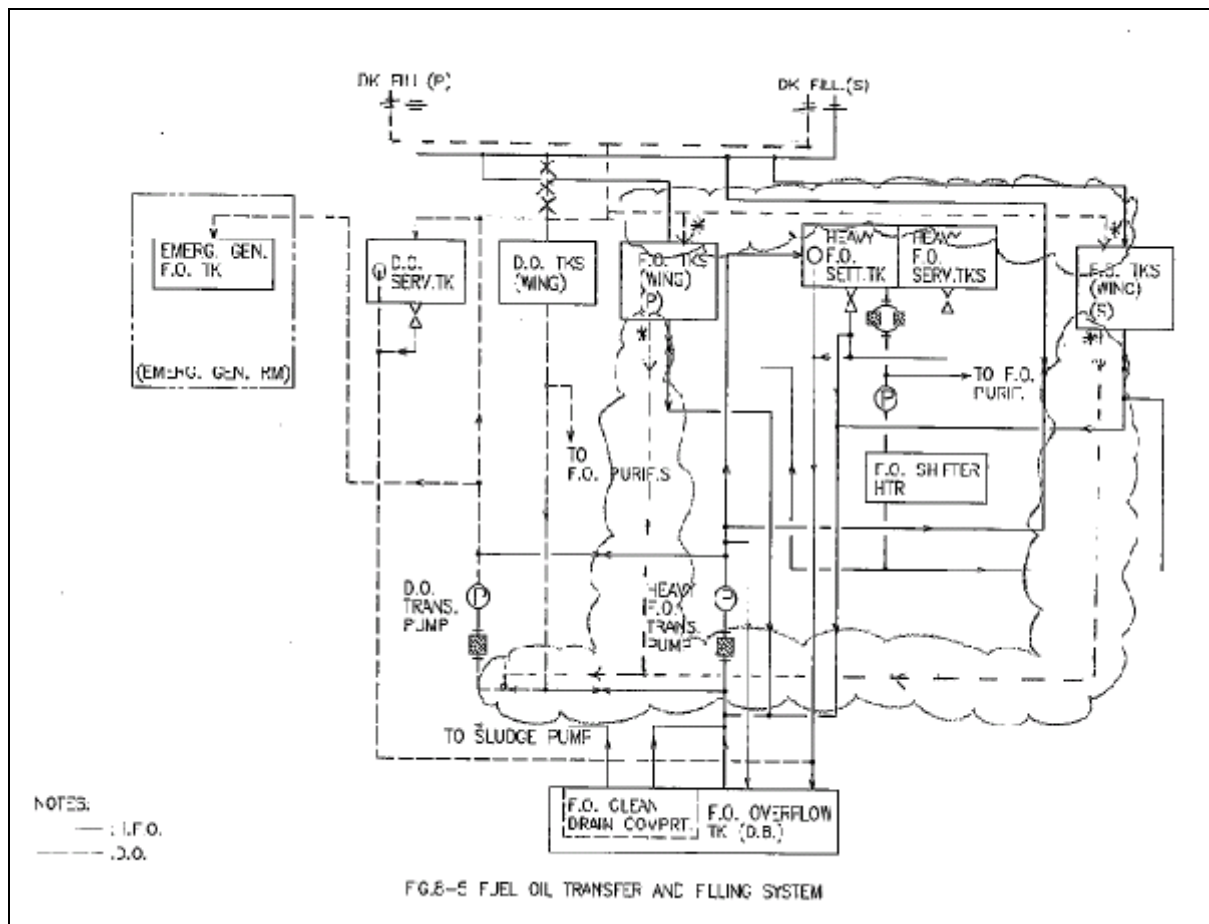
Σχόλια:

Στο δίκτυο έχει προστεθεί μία γραμμή στην Diesel oil service tank ώστε τυχόν καύσιμο που μπορεί να υπάρχει μέσα στη δεξαμενή να μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη δεξαμενή και να υπάρχει η δυνατότητα να γεμίσουμε την D.O Service tank με καύσιμο που να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Η D.O Service tank συνδέεται και απευθείας με τα manifold-εισαγωγή καυσίμου που βρίσκονται στο κατάστρωμα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να την γεμίσουμε απευθείας με καύσιμο καθώς τα αποσταγμένα καύσιμα δεν χρειάζονται ούτε προθέρμανση αλλά και ούτε να περάσουν από τα φυγοκεντρικά καθαριστήρια (De Laval).

Ο μετασκευή αυτή εξυπηρετεί την λειτουργία του πλοίου παρόλο ότι η χωρητικότητα της D.O Service tank είναι μικρή, περίπου 30-40 m³ για ένα πλοίο με ημερήσια κατανάλωση 35 τόνους με λειτουργία της κύριας προωστήριας εγκατάστασης, διότι για παράδειγμα ένα ποντοπόρο πλοίο συνηθίζεται να παραμείνει σε ένα λιμάνι για λίγες μέρες, μέχρι να φορτώσει/ξεφορτώσει το φορτίο του. Στο λιμάνι το πλοίο χρησιμοποιεί μόνο της ηλεκτρογεννήτριες και τον βραστήρα του οπότε τα 30-40 m³ είναι αρκετά για την παραμονή του στο λιμάνι έως περίπου και δέκα μέρες.

Προτεινόμενη μετασκευή Β^[40]:

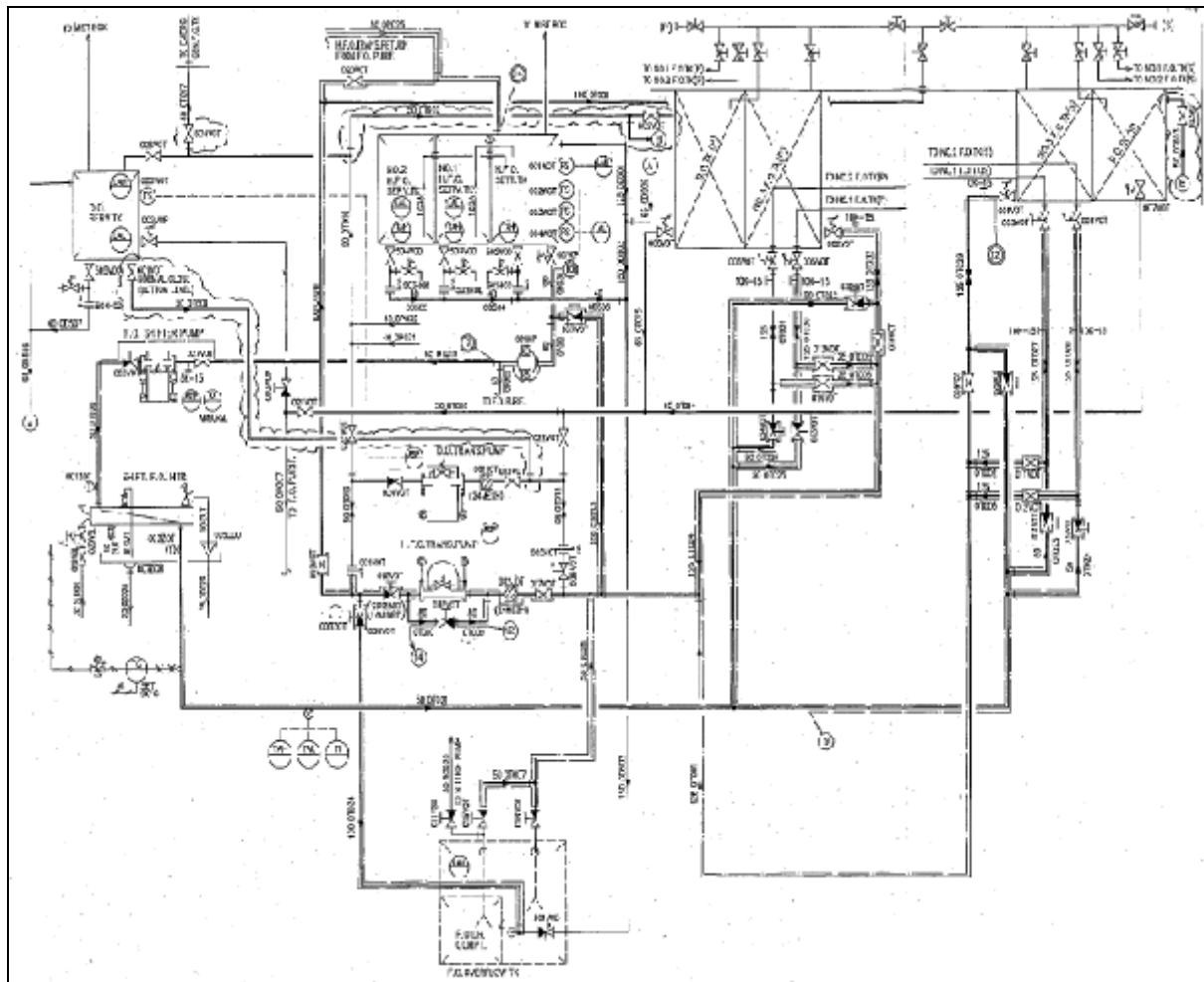


Σχόλια: η παρούσα μετασκευή αφορά το ίδιο αρχικό δίκτυο με την μετασκευή 1 όπως παρουσιάστηκε προγενέστερα και αποτελεί μία εναλλακτική λύση.

Στο δίκτυο αυτό παρατηρείται ότι δύο δεξαμενές Fuel oil στα Top side του πλοίου ενώνονται στην εισαγωγή και με την παροχή-manifold του Diesel oil. Λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων για τις προδιαγραφές καυσίμων που ισχύουν σε διάφορες περιοχές, όπως για παράδειγμα 0.1% για τα λιμάνια της Ευρώπης και 0.5% για πλόες στα ύδατα της Καλιφόρνιας μπορούμε να έχουμε στο πλοίο και τα δύο αυτά διαφορετικά καύσιμα. Η λύση αυτή έχει σαν προϋπόθεση ότι η χωρητικότητα των υπολοίπων δεξαμενών heavy fuel oil είναι επαρκής για το προγραμματισμένο ταξίδι, κάτι που συνήθως συμβαίνει λόγω του περιθωρίου ασφαλείας που υπολογίζεται κατά τον αρχικό σχεδιασμό.

Ωστόσο όταν αυτές οι δεξαμενές περιέχουν αποσταγμένο καύσιμο πρέπει από το πλήρωμα να κλείνονται οι προθερμάνσεις. Το αποσταγμένο καύσιμο έχει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος την απαραίτητη τιμή ιξώδους-ρευστότητας για να μπορεί να αντληθεί από τις εκάστοτε αντλίες. Στις δεξαμενές τοποθετείται επίσης και χωριστό δίκτυο για να υπάρχει η δυνατότητα αναρρόφησης του αποσταγμένου καυσίμου από την αντίστοιχη αντλία Diesel oil του δικτύου.

Προτεινόμενη μετασκευή Γ.^[31]



Το δίκτυο που φαίνεται παραπάνω η σχεδίαση του ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των νέων κανονισμών. Παρατηρείται αρχικά ότι έχουν σχεδιαστεί δύο δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης για Heavy fuel oil. Αυτό εξυπηρετεί κατά τη διέλευση του πλοίου από προστατευόμενες περιοχές όπως για παράδειγμα οι SECA στην βόρεια Ευρώπη όπου μπορεί να έχει στη διάθεση οποιαδήποτε στιγμή το κατάλληλο καύσιμο και να αποφύγει την διαδικασία ανάμειξης των καυσίμων και του χρόνου που αυτή απαιτεί.

Ωστόσο το συγκεκριμένο δίκτυο διαθέτει μόνο μία δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης για Diesel oil/Gas oil. Στην περίπτωση που θα ήθελε να αλλάξει το βαθμό του καυσίμου σε αυτή τη δεξαμενή θα έπρεπε να αναμειχτούν τα δύο διαφορετικά καύσιμα. Η νέα σωλήνα του δικτύου που προστίθεται επιτρέπει την μεταφορά του εναπομείναντος καυσίμου, καθώς συνδέεται με την αναρρόφηση της αντλίας σε δεξαμενή αποθήκευσης και υπάρχει η δυνατότητα καθοδήγησης του καυσίμου με την χρήση μίας βαλβίδας.

4.4.6 MGO COOLER

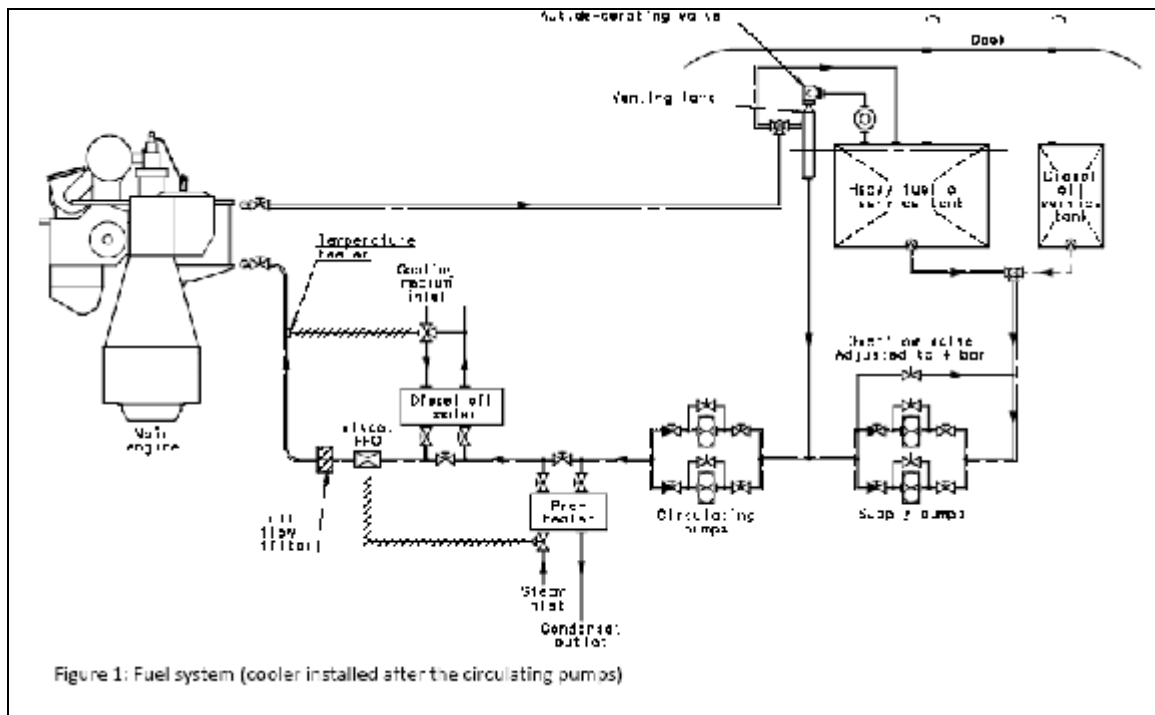
Αφού έχει εξασφαλιστεί η απαραίτητη διάταξη του δικτύου ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης και μεταφοράς των διαφόρων βαθμών του καυσίμου το επόμενο πρόβλημα οφείλεται στο χαμηλό ιξώδες που έχουν τα αποσταγμένα είδη πετρελαίου καθώς στην είσοδο της μηχανής πρέπει το ελάχιστο ιξώδες να είναι 2.2 cSt. Όσον αφορά τις αντλίες που στέλνουν το καύσιμο στην μηχανή προτείνεται αυτές να λειτουργούν με καύσιμα με ιξώδες πάνω από 3 cSt για να εγγυηθούν την ομαλή λειτουργία τους.

Αν συνυπολογίσουμε την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (ειδικά σε περιοχές με τροπικό κλίμα), του μηχανοστασίου και την προθέρμανση των σωληνώσεων για την ομαλή ροή του Heavy fuel oil και την ανάμειξη των δύο διαφορετικών καυσίμων, η οποία δεν είναι στιγμιαία αλλά έχει αρκετή διάρκεια που εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας τους μπορεί το Diesel oil να αρχίσει να αεριοποιείται.

Σύμφωνα με τις τελευταίες πληροφορίες προτείνεται η τοποθέτηση ενός ψυγείου στο δίκτυο του καυσίμου για να επιτυγχάνεται ιξώδες άνω των 2 cSt στην είσοδο της μηχανής. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία της θάλασσας δεν είναι αρκετά χαμηλή, ειδικά σε τροπικές περιοχές ή κατά τη διάρκεια του θέρους, ώστε να ψύξει το καύσιμο στην απαραίτητη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό προτείνεται η εγκατάσταση ψυκτικής μονάδος η οποία απαιτεί μεγάλη ισχύ και ίσως και επιλογή ηλεκτρογεννητριών με μεγαλύτερη ισχύ.

Σημαντικοί παράγοντες για την σχεδίαση δικτύου με ψυκτική μονάδα είναι:

- Ότι η εγκατάσταση πρέπει να δουλεύει αποτελεσματικά σε όλα τα φορτία από 0% έως και 100%, γιατί η αρχική εκκίνηση του συστήματος λόγω της μετάβασης από το ένα καύσιμο στο άλλο είναι υποχρεωτικό να γίνεται σε χαμηλό φορτίο
- Πρέπει να ελέγχεται ο ρυθμός πτώσης θερμοκρασίας και να έχει μέγιστη τιμή 2^oC/λεπτό για να αποφευχθεί θερμικό πλήγμα της κατασκευής
- Η θερμοκρασία της επιφανείας του ψυγείου πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την ελάχιστη θερμοκρασία ροής του ρευστού, αλλιώς το ψυγείο θα φράξει.
- Για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή πρέπει να μελετηθούν και να σχεδιασθούν λεπτομερώς οι θερμοκρασίες του συστήματος, να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και να εκτιμηθεί σωστά η θέση των δεξαμενών αποθήκευσης του καυσίμου
- Η θερμοκρασίες στις δεξαμενές με το Diesel/Gas oil πρέπει να έχουν μέγιστη θερμοκρασία 45 ^oC και η θερμοκρασία τους στην έξοδο του ψυγείου πρέπει να είναι 10-15^oC.



Για την επίτευξη των απαιτούμενων θερμοκρασιών, τεχνολογικά είναι μονόδρομος η χρήση μονάδας chiller αφού για παράδειγμα ένα ψυγείο με ψυκτικό μέσο θαλασσινό νερό δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει σε θάλασσες με υψηλή θερμοκρασία.

Τα πλεονεκτήματα είναι η ασφαλή λειτουργία σε χαμηλά φορτία, η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η ασφαλή λειτουργία ακόμα και σε περίπτωση διαρροής καθώς και η εύκολη εγκατάσταση.

4.4.7 Boiler Plant

Από την χρήση αποσταγμένων καυσίμων επηρεάζεται και η λειτουργία του λέβητα του πλοίου και χρειάζονται μετασκευές στους ήδη υπάρχοντες .

Προκύπτουν δύο ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν, το ένα είναι η μεταφορά κατάλληλης ποσότητας πετρελαίου με τη σωστή πίεση στον εγχυτήρα του καυσίμου και το άλλο είναι σωστή έγχυση από τον καυστήρα για την αποφυγή τυχόν εκρήξεων στο εσωτερικό του λέβητα που μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και σε μεγάλη έκρηξη που μπορεί να οδηγήσει σε φωτιά στο μηχανοστάσιο.

4.4.7.1 Επιπτώσεις σε λέβητες από την χρήση MGO:

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το χαμηλό ιξώδες του MGO συνεπάγεται μείωση της ροής του ρευστού που μπορεί να είναι έως και 12% κάτι που συνεπάγεται μείωση της συνολικής απόδοσης του λέβητα έως και 10%.

Η άκρη του καυστήρα στον λέβητα είναι διαμορφωμένη με εφαπτομενικές οπές η οποίες στροβιλίζουν το καύσιμο και του προσδίδουν κινητική ενέργεια για την επίτευξη καλύτερης διασποράς και κατά συνέπεια βελτίωση της ποιότητας της καύσης. Λόγω του χαμηλού ιξώδους του MGO και της μειωμένης ροής του έχουμε απώλεια κινητικής ενέργειας με αποτέλεσμα υποβιβασμό της ποιότητας καύσης.

Η χρήση MGO επηρεάζει και τις αντλίες του καυσίμου που οδηγούν το καύσιμο στον λέβητα, καθώς μειώνεται η διαθέσιμη παροχή αλλά και η πίεση στην έξοδο της αντλίας. Οι αντλίες αυτές συνηθίζεται να έχουν μεγάλα περιθώρια παροχής από τα απαιτούμενα. Ωστόσο λόγω της χαμηλής λιπαντικής ικανότητας του MGO η διάρκεια λειτουργίας των αντλιών μικραίνει. Σε αντλίες παλαιότερου τύπου μπορεί τα αποτελέσματα της χαμηλής λιπαντικής ικανότητας να είναι καταστροφικά και να οδηγήσουν σε εμπλοκή της.

4.4.7.2 Προτεινόμενες μετασκευές.^[33]

Προτείνεται η αλλαγή του εγχυτήρα καυσίμου με έναν μεγαλύτερης διαμέτρου που να είναι κατάλληλος με την χρήση MGO ώστε να επιτυγχάνεται σωστή διασπορά του. Ο συγκεκριμένος εγχυτήρας δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί με Heavy fuel oil και πρέπει να αντικαθίστανται με κάθε αλλαγή καυσίμου.

Λόγω της μικρότερης διάρκειας ζωής των αντλιών πρέπει να υπάρχουν πάντα στο πλοίο εφεδρικές αντλίες.

Προτείνονται και κάποιες μετασκευές οι οποίες δεν σχετίζονται με την λειτουργία του λέβητα αλλά με την ασφάλεια του. Τοποθετείται στον λέβητα ένα εφεδρικό σύστημα για τον

εντοπισμό φλόγας καθώς και ασφαλιστικές διατάξεις. Χρειάζεται πολύ μεγάλη προσοχή και εκπαίδευση του πληρώματος για την αποφυγή ατυχημάτων. Σε περίπτωση αποτυχίας έναυσης φλόγας πρέπει να αφαιρεθεί η μονάδα και να ελεγχθεί για διαρροές καυσίμου. Συγκέντρωση καυσίμου μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη.

5. Exhaust gas Scrubbers

Σύμφωνα με την Marpol Annex VI 73/78 όπως έχει ήδη περιγραφεί έχουν νομοθετηθεί περιορισμοί για τις εκπομπές οξειδίων του θείου από τα πλοία. Για την συμμόρφωση με τους κανονισμούς υπάρχουν δύο τρόποι. Ο πρώτος είναι η χρήση καυσίμων που να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, με σημαντικές όμως επιπτώσεις στην λειτουργία των πλοίων. Ο άλλος τρόπος είναι με χρήση συστημάτων απόπλυσης των καυσαερίων που να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς.

5.1 Οδηγίες από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO)

Το εκάστοτε σύστημα απόπλυσης πρέπει να είναι αποδεκτό και πιστοποιημένο από το Νηογνώμονα του πλοίου και να πληροί τις προδιαγραφές όπως αυτές καθορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO).

Όπως και με τις συσκευές μείωσης των εκπομπών του αζώτου έτσι και με τα Exhaust Gas Scrubber (EGC) πρέπει να ελέγχεται η αποδοτική λειτουργία τους περιοδικά είτε μέσω παραμετρικού ελέγχου (Σύστημα Α) είτε με σύστημα συνεχούς ελέγχου της σύστασης των εκπομπών (Σύστημα Β).

Σχετικές οδηγίες για το έλεγχο και την πιστοποίηση των Exhaust Gas Scrubber έχει εκδώσει ο IMO και προτείνεται να ακολουθηθούν από τους Νηογνώμονες. Οι οδηγίες περιλαμβάνουν τις δοκιμές, τις επιθεωρήσεις και την τελική έκδοση του πιστοποιητικού.

Exhaust Gas Scrubber μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε μηχανή εσωτερικής καύσης και σε οποιοδήποτε μηχανήμα χρησιμοποιεί καύσιμο που υπάρχει στο πλοίο, δηλαδή στην Κύρια Μηχανή, στις Ηλεκτρογεννήτριες και στον Λέβητα. Εξαιρείται το incinerator (κλίβανος αποτέφρωσης) όπου και η χρήση του εντός των περισσότερων λιμένων απαγορεύεται.

Το πλοίο επιβαρύνεται με τη κατοχή των σχετικών εγγράφων που πρέπει να είναι διαθέσιμα πάνω στο πλοίο και όπως προδιαγράφεται από τον IMO είναι τα παρακάτω:

Document	Scheme A	Scheme B
SCP	X	X
SCC	X	
ETM Scheme A	X	
ETM Scheme B		X
OMM	X	X
EGC Record Book or Electronic Logging System	X	X
Oil Record Book	X	X

Επεξηγήσεις:

SCP: Seca compliance plan

SCC: Seca compliance certificate

ETM Scheme A: Technical manual for Scheme A

ETM Scheme B: Technical manual for Scheme B

OMM: Onboard monitoring manual

EGC Record book: A record of EGC unit in service operating parameters, component, adjustment, maintenance and service records as appropriate.

Scheme A: Unit certification with parameter and emission checks

Scheme B: Continuous emission monitoring with parameter checks

Ζωτικής σημασίας σε κάθε εργασία που γίνεται πάνω σε πλοίο είναι η εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής ασφάλειας για τον άνθρωπο, το περιβάλλον και την περιουσία. Το ίδιο ισχύει και για μία εγκατάσταση απόπλυσης των καυσαερίων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνετε στην διαχείριση των καυσαερίων αλλά και στις διαδικασίες ελέγχου, όπως οι μετρήσεις των εκπομπών. Οι περιοχές γύρω από την συσκευή απόπλυσης πρέπει να παρέχουν ασφαλή πρόσβαση.

Κατά την εγκατάσταση της μονάδος πρέπει να ληφθεί υπόψη και το σημείο εξαγωγής θαλάσσιου ύδατος που έχει χρησιμοποιηθεί για την απόπλυση. Σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας το pH θα πρέπει να διατηρείται σε επίπεδο που να αποτρέπει ζημίες του σκάφους στο σύστημα χρωμάτων-αντιρρυπαντικά, στην έλικα, το πηδάλιο και άλλων στοιχείων που μπορεί να είναι ευάλωτα σε όξινα διαλύματα.

5.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ Α: έγκριση, επιθεώρηση και πιστοποίηση συστημάτων απόπλυσης με χρήση παραμέτρων και έλεγχο εκπομπών

Μια μονάδα EGC θα πρέπει να πιστοποιείται ότι είναι ικανή να ανταποκριθεί στην οριακή τιμή εκπομπών, πρέπει να καθορίζονται από τον κατασκευαστή το επίπεδο των εκπομπών που είναι ικανή η μονάδα να πραγματοποιήσει σε συνεχή βάση, με χρήση μαζούτ περιεκτικότητας σε θείο σύμφωνα με Παράρτημα VI της MARPOL. Από τις δοκιμές πρέπει αποδειχθεί η επιχειρησιακή δυνατότητα της μονάδας.

Η μέγιστη και κατά περίπτωση η ελάχιστη ροή καυσαερίων πρέπει να αναφερθεί. Η επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων που ορίζονται θα πρέπει να δικαιολογείται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού. Η επίδραση των διακυμάνσεων των παραγόντων αυτών θα πρέπει να αξιολογείται με τη δοκιμή ή με άλλο τρόπο ανάλογα με την περίπτωση. Η διακύμανση των παραγόντων αυτών, ή συνδυασμός των παραγόντων αυτών, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η αξία των εκπομπών της μονάδας EGC να είναι εντός των ορίων απόκλισης της πιστοποιημένης τιμής.

Μονάδες απόπλυσης που επεξεργάζονται μόνο ένα μέρος της ροής των καυσαερίων πρέπει να υπόκεινται σε ειδική εξέταση από τους Νηογνώμονες ότι εξασφαλίζουν σε όλες τις καθορισμένες συνθήκες εκμετάλλευσης ότι η συνολική αξία των εκπομπών των καυσαερίων δεν είναι μεγαλύτερη από την πιστοποιημένη τιμή.

Κάθε μονάδα EGC θα πρέπει να διαθέτει ένα τεχνικό εγχειρίδιο το οποίο παρέχεται από τον κατασκευαστή και πρέπει κατά ελάχιστο να περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

1. τον προσδιορισμό της μονάδας (κατασκευαστής, μοντέλο / τύπο, ο αριθμός σειράς και άλλες λεπτομέρειες) που θα περιλαμβάνει περιγραφή της μονάδας και τα τυχόν απαιτούμενα βοηθητικά συστήματα.
2. τα όρια και το εύρος λειτουργίας για το οποίο η μονάδα έχει πιστοποιηθεί και πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα:
 - τη μέγιστη και την ελάχιστη αν δυνατόν ροή καυσαερίων
 - την ισχύ και τις λειτουργικές παραμέτρους της μηχανής εσωτερικής καύσης που θα τοποθετηθεί το σύστημα καθαρισμού. Στις περιπτώσεις των λεβήτων, η μέγιστη αναλογία αέρα / καυσίμου υπό φορτίο 100% πρέπει επίσης να δοθεί. Στις περιπτώσεις των κινητήρων ντίζελ κατά πόσον ο κινητήρας είναι 2-χρονος ή 4-χρονος.

- Μέγιστη και ελάχιστη παροχή νερού απόπλυσης, πίεση στην είσοδο και ελάχιστη επιτρεπτή αλκαλικότητα του νερού στην είσοδο βάση των διεθνών προδιαγραφών ISO
 - Εύρος θερμοκρασιών καυσαερίων στην είσοδο και η μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπτή τιμή στην έξοδο με την μονάδα απόπλυσης σε λειτουργία
 - Η συνολική πτώση πίεσης στο δίκτυο της εξαγωγής καυσαερίων στο μέγιστο φορτίο λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης
 - Επιτρεπτά όρια αλμυρότητας στο νερό η τυχόν πρόσθετα γλυκού νερού για την επίτευξη ουδέτερου PH
 - Παράγοντες σχεδίασης και λειτουργίας που μπορεί να επηρεάσουν την αποδοτική λειτουργία της μονάδος
3. Απαιτήσεις και περιορισμοί της μονάδος ή και τυχόν βοηθητικά μηχανήματα που είναι απαραίτητα για την επίτευξη αποδοτικής λειτουργίας
 4. πρόγραμμα συντήρησης, επισκευής και ρυθμίσεων για την αποδοτική λειτουργία της μονάδος. Τα παραπάνω μπορούν περιγράφονται και στο σχετικό βιβλίο της μονάδος
 5. διαδικασία πιστοποίησης που να εφαρμόζεται κατά της επιθεωρήσεις για πιστοποίηση της αποδοτικής λειτουργίας
 6. χαρακτηριστικά του νερού απόπλυσης
 7. απαιτήσεις σχεδίασης για το κύκλωμα του νερού απόπλυσης

Το ανωτέρω τεχνικό εγχειρίδιο πρέπει να είναι αποδεκτό από τον Νηογνώμονα και πρέπει να είναι διαθέσιμο στο πλοίο. Όπως προβλέπεται πρέπει να παρουσιάζεται στους επιθεωρητές εάν αυτό ζητηθεί. Τυχόν μετασκευή στη μονάδα πρέπει να εγκριθεί από τον Νηογνώμονα και να ενσωματωθεί στο αρχικό τεχνικό εγχειρίδιο.

Το πρόγραμμα επιθεώρησης της μονάδας περιλαμβάνει επιθεωρήσεις κατά την εγκατάσταση της στο πλοίο, στις ετήσιες, στις ενδιάμεσες και στις επιθεωρήσεις πενταετίας του πλοίου. Επιθεώρηση της μονάδος μπορεί να απαιτηθεί και κατά τη διάρκεια που το πλοίο βρίσκεται στα όρια μίας προστατευόμενης περιοχής από επιθεωρητές της λιμενικής αρχής.

Επιτρεπτά όρια εκπομπών από μονάδες απόπλυσης EGC:

1. για μονάδες που έχουν τοποθετηθεί στην κύρια προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου, η μονάδα πρέπει να είναι ικανή να πετυχαίνει μείωση των εκπομπών σύμφωνα με τους κανονισμούς, για φορτίο λειτουργίας από 25 έως 100%.
2. Για μονάδες που έχουν τοποθετηθεί σε βοηθητικές μηχανές όπως οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου, η μονάδα πρέπει να είναι ικανή να πετυχαίνει μείωση των εκπομπών σύμφωνα με τους κανονισμούς, για φορτίο λειτουργίας από 10 έως 100%. Το ίδιο ισχύει

για οποιαδήποτε μονάδα παραγωγής ενέργειας είτε για την κύρια πρόωση είτε για βοηθητικούς σκοπούς

3. Για μονάδες που έχουν τοποθετηθεί στον λέβητα του πλοίου η μονάδα πρέπει να είναι ικανή να πετυχαίνει μείωση των εκπομπών σύμφωνα με τους κανονισμούς, για φορτίο λειτουργίας από 10 έως 100%.

Δείγματα εκπομπών για την απόδειξη συμμόρφωσης με τα επιτρεπτά όρια παίρνονται σε 4 διαφορετικά φορτία της εκάστοτε μηχανής εσωτερικής καύσης. Ωστόσο σε περίπτωση που υπάρχει υπόνοια ότι σε κάποιο εύρος λειτουργίας δεν πληρούνται οι προδιαγραφές, μπορεί να γίνει δειγματοληψία σε σημεία εντός αυτής της περιοχής.

Για περιοχές λειτουργίας των μηχανημάτων που βρίσκονται εκτός των προδιαγραφόμενων ορίων όπως αυτά περιγράφονται ανωτέρω, η μονάδα απόπλυσης παραμένει σε λειτουργία και πρέπει οι εκπομπές διοξειδίων του θείου με τη προδιαγραφόμενη ποσότητα οξυγόνου να είναι κάτω από 50 ppm.

Για κάθε μονάδα απόπλυσης το τεχνικό εγχειρίδιο πρέπει να περιλαμβάνει μία διαδικασία επαλήθευσης συμμόρφωσης με τους κανονισμούς όταν αυτό απαιτείται. Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να απαιτεί την χρήση ειδικού εξοπλισμού ή την ειδικευμένη γνώση για την μονάδα. Αν χρειαστούν βοηθητικά μηχανήματα αυτά πρέπει να συνοδεύουν τη μονάδα. Η διάταξη της μονάδας στο χώρο του μηχανοστασίου πρέπει να εξυπηρετεί την διαδικασία της επιθεώρησης.

Η βασική αρχή της μεθόδου επιθεώρησης είναι ότι, αν εξεταστούν όλες οι παράμετροι λειτουργίας όλων των μηχανημάτων που αποτελούν τη μονάδα και οι ρυθμίσεις τους και βρεθούν σύμφωνες με τις τιμές που αναγράφονται στο τεχνικό εγχειρίδιο τότε δεν απαιτείται η μέτρηση των εκπομπών καυσαερίων. Ο κατασκευαστής οφείλει να υποδείξει την μέθοδο επιθεώρησης η οποία πρέπει να εγκριθεί από την Αρμόδια Αρχή.

Κατά την επιθεώρηση, επιθεωρείται κατά ελάχιστο μία μονάδα απόπλυσης για κάθε είδος μηχανής εσωτερικής καύσης. Η μονάδα απόπλυσης πρέπει να περιλαμβάνει μέσο για να καταγράφει αυτόματα τις παραμέτρους λειτουργίας όταν το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία. Αυτό θα πρέπει να καταγράφει αυτόματα την ελάχιστη πίεση του νερού απόπλυσης και το ρυθμό ροής του στην είσοδο της μονάδα EGC, το pH του νερού απόπλυσης στην είσοδο και την έξοδο από τη μονάδα, την πίεση των καυσαερίων, και την πτώση πίεσης σε όλη την μονάδα EGC, καθώς και την θερμοκρασία των καυσαερίων πριν και μετά τη μονάδα EGC. Τα δεδομένα εγγραφής στο σύστημα θα πρέπει να συμμορφώνονται με τους σχετικούς κανονισμούς. Σε περίπτωση που μια μονάδα καταναλώνει και χημικά όλα τα στοιχεία πρέπει να καταγράφονται στο βιβλίο της μονάδας που βρίσκεται στο πλοίο.

Εάν κατά τη διαδικασία της επιθεώρησης όπως περιγράφεται από τον κατασκευαστή ενδέχεται να προκύψουν δυσκολίες όπως η χρήση ειδικού εξοπλισμού ή ειδικές γνώσεις για την λειτουργία της μονάδος τότε προτείνεται η εγκατάσταση συσκευής που να παρακολουθεί συνεχώς τις εκπομπές των καυσαερίων. Έτσι θα εξασφαλίζεται η συμμόρφωση των εκπομπών του πλοίου με τους κανονισμούς και θα είναι αποδεκτό και από τους επιθεωρητές λιμένων.

5.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ Β: έγκριση, επιθεώρηση και πιστοποίηση συστημάτων απόπλυσης με χρήση συνεχούς παρακολούθησης των εκπομπών SO_x.

Το σύστημα παρακολούθησης πρέπει να έχει εγκριθεί από τις αρμόδιες αρχές και τα αποτελέσματα του πρέπει να είναι διαθέσιμα για να μπορεί να ελέγχεται η συμμόρφωση των εκπομπών με τους κανονισμούς.

Το σύστημα επιθεωρείται σε τακτική βάση ανεξάρτητος του αν το πλοίο βρίσκεται σε προστατευόμενη περιοχή κατά τη περίοδο της επιθεώρησης. Ωστόσο μπορεί να ζητηθεί επιθεώρηση και από τις λιμενικές αρχές οποιαδήποτε στιγμή το πλοίο βρίσκεται εντός των συνόρων μίας προστατευόμενης περιοχής.

Υπολογισμός των εκπομπών:

- Το σημείο δειγματοληψίας της σύνθεσης των καυσαερίων σε ποσοστό SO₂/CO₂ %, πρέπει να βρίσκεται σε κατάλληλο σημείο μετά την έξοδο τους από τη μονάδα απόπλυσης.
- Οι εκπομπές SO₂ (ppm) και CO₂ (%), πρέπει παρακολουθούνται και να καταγράφονται σε μία συσκευή αποθήκευσης με συχνότητα όχι λιγότερη από 0.0035 Hz.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δύο αναλυτές καυσαερίων παράλληλα για πλήρη καταγραφή της σύνθεσης των καυσαερίων.

Η μονάδα πρέπει να συνοδεύεται με το Τεχνικό Εγχειρίδιο το οποίο πρέπει να περιλαμβάνει ότι περιγράφεται και για το σύστημα Α.

Έλεγχος των εκπομπών:

Οι εκπομπές CO₂, O₂ και SO₂ πρέπει να μετρούνται όπως προβλέπεται. Το επιτρεπτό σφάλμα πρέπει να είναι μεταξύ του ±5% της ένδειξης ή ±3% της πλήρους κλίμακας, οποιοδήποτε είναι μικρότερο. Για συγκεντρώσεις κάτω από 100 ppm το σφάλμα μέτρησης δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από ±4%.

Τα διοξείδια του θείου SO_x πρέπει να μετρούνται σε ξηρά και σε υγρή φάση χρησιμοποιώντας κατάλληλους αναλυτές και βοηθητικό εξοπλισμό, όπως στεγνώτρες. Άλλα συστήματα μπορούν να γίνουν αποδεκτά από την Αρμόδια Αρχή εφόσον τα αποτελέσματα τους είναι ισάξια ή καλύτερα από τα αναφερθέντα.

Το σημείο δειγματοληψίας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό και να βρίσκεται κατά τη ροή των καυσαερίων. Κατά τη δειγματοληψία και την αποθήκευση του δείγματος πρέπει να ελέγχεται η θερμοκρασία ώστε να μην έχουμε υγροποίηση του νερού μέσα στο δείγμα και απώλεια πιστότητας. Αν χρειαστεί επεξεργασία στεγνώματος το δείγμα αυτή πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην έχουμε απώλεια του περικλειόμενου θείου. Επίσης τυχόν περιεκτικότητα νερού πρέπει να διορθώνεται σε αντίστοιχη τιμή του δείγματος χωρίς νερό.

Χαρακτηριστικά μονάδος καταγραφής:

Η μονάδα που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των μετρήσεων πρέπει:

- Να είναι ανθεκτική και να μην επιδέχεται τροποποιήσεις ή παραποίηση των στοιχείων που έχει καταγράψει
- Τα στοιχεία πρέπει να μπορούν να εξαχθούν σε κοινή αναγνωρίσιμη μορφή
- Να παραμένουν οποιαδήποτε στοιχεία για ελάχιστη περίοδο 18 μηνών και να είναι διαθέσιμα εάν αυτά ζητηθούν για επιθεώρηση

Οδηγίες παρακολούθησης στο πλοίο:

Πρέπει να βρίσκονται στο πλοίο και να συνοδεύουν την μονάδα απόπλυσης. Πρέπει να αναγνωρίζεται για ποια μονάδα προορίζεται. Πρέπει να έχουν εγκριθεί από την Αρμόδια Αρχή.

Οι οδηγίες πρέπει κατά ελάχιστο να περιλαμβάνουν:

- Τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της λειτουργίας της μονάδος, το κύκλωμα του νερού απόπλυσης, το πρόγραμμα συντήρησης, επισκευής και τη διαδικασία βαθμονόμησης τους
- Την θέση των αισθητήρων και την ένδειξη τυχόν βοηθητικών συστημάτων όπως σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση τους
- Τους/τον αναλυτή καυσαερίων που χρησιμοποιούνται, το πρόγραμμα συντήρησης τους και την διαδικασία βαθμονόμησης τους

5.1.3 Συμμόρφωση του πλοίου με τους κανονισμούς εκπομπών καυσαερίων:

Κάθε πλοίο που χρησιμοποιεί μονάδα απόπλυσης (EGC) είτε για όλα τα συστήματα είτε μερικώς πρέπει να διαθέτει το SECA Compliance Plan (SCP) πιστοποιητικό εγκεκριμένο από την Αρμόδια αρχή. Στο πιστοποιητικό πρέπει να περιγράφονται όλα τα μηχανήματα που οφείλουν να συμμορφωθούν με του κανονισμούς.

Πρέπει να περιγράφεται και για το σύστημα A και για B, το πώς εξασφαλίζεται ο έλεγχος της αποδοτικής λειτουργίας.

Στο πιστοποιητικό πρέπει να περιγράφονται τυχόν μηχανές που δεν χρησιμοποιούν μονάδα απόπλυσης. Σε αυτή την περίπτωση αθροίζονται οι συνολικές εκπομπές του πλοίου. Εάν όλες οι μηχανές που παράγουν καυσαέρια λειτουργούν με μονάδα απόπλυση τότε το πλοίο θεωρείται ότι πληροί τους κανονισμούς.

Σε καμία περίπτωση μέσα σε προστατευόμενη περιοχή τα συνολικά όρια εκπομπών δεν μπορούν να υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια. Για αυτό το λόγο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα χειρότερα σενάρια ως προς την εκτίμηση των εκπομπών όπως οι ελιγμοί μέσα σε λιμάνι ή λειτουργία με στο μέγιστο φορτίο.

5.1.4 Νερό απόπλυσης

Όταν το πλοίο λειτουργεί σε λιμάνι ή σε ποτάμι, το νερό που έχει χρησιμοποιηθεί για την απόπλυση των καυσαερίων και αδειάζετε στη θάλασσα πρέπει να πληροί μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Κριτήρια για το PH

- Το νερό που βγαίνει στη θάλασσα πρέπει να έχει PH όχι λιγότερο από 6.5 μονάδες με εξαίρεση κατά τη διάρκεια των ελιγμών όπου επιτρέπεται μέγιστη διαφορά μεταξύ της εισόδου και της εξόδου 2 PH
- Η δέσμη του νερού που αποβάλλεται από το πλοίο πρέπει να μετριέται έξω από το πλοίο και σε απόσταση 4 μέτρων από το σημείο εξαγωγής. Το όριο που αναγράφεται στο τεχνικό εγχειρίδιο αφορά το σημείο εξαγωγής και πρέπει να τροποποιηθεί αναλόγως

2. Κριτήρια για τους Πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH)

- Η μέγιστη συνεχή συγκέντρωση (PAH) στο νερό απόπλυσης δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 50 $\mu\text{g/L}$ PAH_{phe} –ισοδύναμο, πάνω από την συγκέντρωση PAH στην εισαγωγή. Για την εφαρμογή του κριτηρίου η συγκέντρωση των PAH στο

νερό απόπλυσης μετριέται κατά τη ροή του συστήματος επεξεργασίας του νερού αλλά αντίθετα ως προς τη ροή σε περίπτωση διάλυσης του νερού ή πρόσθεσης κάποιου χημικού εάν χρησιμοποιείται πριν την αποβολή στη θάλασσα.

- Το ανωτέρω όριο που περιγράφεται 50 µg/L για νερό απόπλυσης που διέρχεται μέσα από μία μονάδα απόπλυσης 45 t/MWh όπου το MW αναφέρεται στο σημείο μέγιστης συνεχούς λειτουργίας της εγκατάστασης η στο 80%. Το όριο για περιπτώσεις μεταβολής της ροής πρέπει να καθορισθεί σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Flow Rate (t/MWh)	Discharge Concentration Limit (µg/L PAH _{org} equivalents)	Measurement Technology
0 - 1	2250	Ultraviolet Light
2.5	900	- " -
5	450	Fluorescence
11.25	200	- " -
22.5	100	- " -
45	50	- " -
90	25	- " -

Για 15 λεπτά κάθε 12 ώρες λειτουργίας το ανωτέρω όριο μπορεί να αυξηθεί και ως 100%.

3. Κριτήρια για τα Σωματίδια

- Το σύστημα επεξεργασίας του νερού απόπλυσης πρέπει να είναι σχεδιασμένο με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των σωματιδίων όπως βαριά μέταλλα, στάχτη κ.τ.λ.
- Η "ποσότητα" της θολούρας στο νερό εξαγωγής δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 25 μονάδες FNU ή αντίστοιχες μονάδες σε σχέση με το νερό εισαγωγής

Για μία περίοδο 15 λεπτών κάθε 12 ώρες λειτουργίας το όριο μπορεί να αυξηθεί έως και 20%.

4. Κριτήρια για το Νιτρικό άλας

- Η μονάδα επεξεργασίας του νερού απόπλυσης πρέπει να εμποδίζει την εκκένωση στη θάλασσα νερού με ποσότητα νιτρικού άλατος πάνω από αυτή που ισοδυναμεί με την αφαίρεση 12% του NO_x από τα καυσαέρια ή πάνω από 60 mg/l υπό κανονικές συνθήκες για ρυθμό εκκένωσης νερού απόπλυσης 45 t/MWh, όποιο είναι μεγαλύτερο.

5.2 Χρήση θαλασσινού νερού ως μέσου απόπλυσης:

Όπως έχει ήδη περιγραφεί ανωτέρω, υπάρχει η δυνατότητα της απόπλυσης των καυσαερίων με αποτέλεσμα την μείωση της περιεκτικότητας τους σε οξείδια του θείου SO_x που εκπέμπει ένας ναυτικός κινητήρας. Ως μέσο απόπλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το θαλασσινό νερό. Η επίτευξη της προσδοκώμενης μείωσης των βλαβερών εκπομπών, εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως την θερμοκρασία, την αλμυρότητα και την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, αλλά και από την μερική πίεση των οξειδίων του θείου SO_x .

Έχει παρατηρηθεί ότι το θαλασσινό νερό έχει σχεδόν την διπλάσια ικανότητα στην απορρόφηση των βλαβερών από τα καυσαέρια σε σχέση με το υφάλμυρο νερό. Η ικανότητα απορρόφησης μειώνεται όσο μειώνεται η αλμυρότητα και η αλκαλικότητα του χρησιμοποιούμενου νερού απόπλυσης.

Για την επίτευξη της μείωσης των εκπομπών εντός των ορίων όπως προδιαγράφονται από τους κανονισμούς εκτιμάται ότι πρέπει η μονάδα απόπλυσης να πετυχαίνει καθαρισμό σε ποσοστό 66% ένα το χρησιμοποιούμενο καύσιμο περιέχει 4.5% S. Σύμφωνα με τα προηγούμενα η παροχή του απαιτούμενου νερού απόπλυσης κυμαίνεται μεταξύ 40 και 63 kg/kWh και εξαρτάται από την σύνθεση του.

Τα ανωτέρω στοιχεία είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του κόστους λειτουργίας της μονάδος και την εκτίμηση της αξίας της μονάδος σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μεθόδους συμμόρφωσης με τους κανονισμούς.

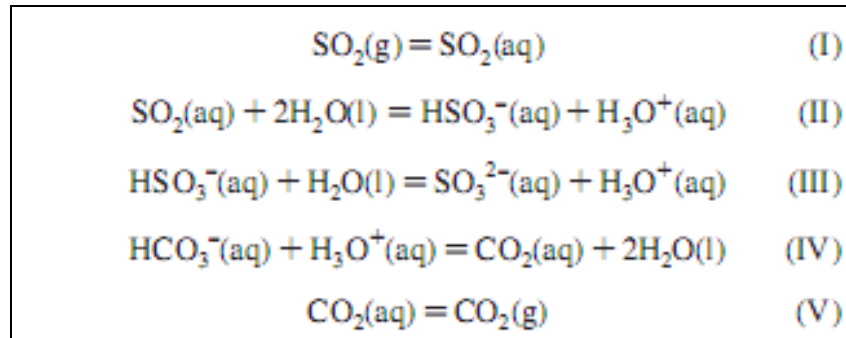
Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Ότι δεν χρησιμοποιούνται πρόσθετα παρά μόνον θαλασσινό νερό το οποίο λειτουργεί ως απορροφητικό υλικό
2. Δεν παράγονται βλαβερά απόβλητα, μόνο αυξάνει ελαφρώς η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε θειικά οξέα

Μετά από πρόσφατες έρευνες παρατηρήθηκε ότι η απόπλυση των καυσαερίων με θαλασσινό νερό είναι σαφέστατα η οικονομικότερη λύση σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μεθόδους.

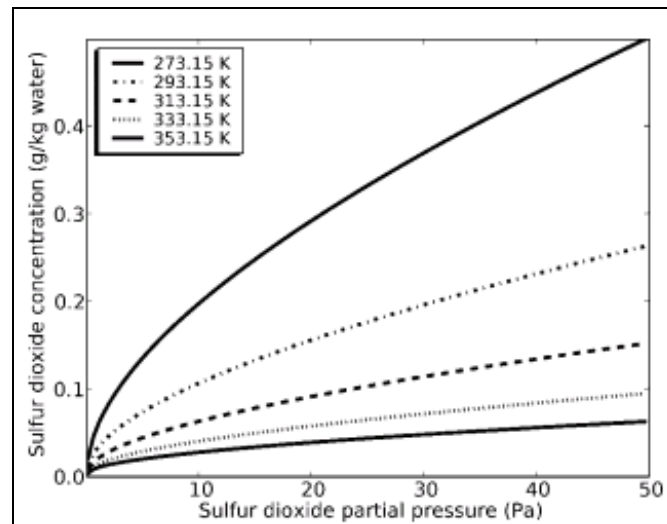
5.3 Έρευνα για την απαιτούμενη ποσότητα νερού απόπλυσης ώστε να επιτευχθεί μείωση των καυσαερίων ισοδύναμη με την εναλλαγή καυσίμου:^[34]

Η απορρόφηση των οξειδίων του θείου από το θαλασσινό νερό στηρίζεται στις ακόλουθες αντιδράσεις:



Αποτελέσματα:

- Χρήση καθαρού νερού ως μέσο απόπλυσης με μηδενική αλμυρότητα και μηδενική αλκαλικότητα.



Συμπέρασμα: Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, η συνολική ποσότητα SO_2 που απορροφάται αυξάνεται με την αύξηση της μερικής πίεσης και η σχέση μεταξύ τους δεν είναι γραμμική.

Παρατηρείται επίσης ότι η διαλυτότητα του SO_2 στο νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

- Χρήση θαλασσινού νερού ως μέσο απόπλυσης

Η πιο σημαντική παράμετρος για την απορρόφηση του SO_2 είναι η αλκαλικότητα του διαλύματος, ωστόσο δεν αποτελεί και την μοναδική παράμετρο.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύσταση του θαλασσινού νερού αλμυρότητας περίπου 35 ppt:

constituent	mass fraction (g/kg seawater)	molality (mol/kg H_2O)
Cl^-	19.35	0.5658
Na^+	10.78	0.4861
SO_4^{2-}	2.71	0.0293
Mg^{2+}	1.28	0.0548
Ca^{2+}	0.41	0.0107
K^+	0.399	0.0106
HCO_3^-	0.108	0.00183
Br^-	0.067	0.00087
Sr^{2+}	0.08	0.00009
$\text{B}(\text{OH})_3$	0.0198	0.00033
CO_3^{2-}	0.016	0.00027
$\text{B}(\text{OH})_4^-$	0.0079	0.00010
F^-	0.0013	0.00007

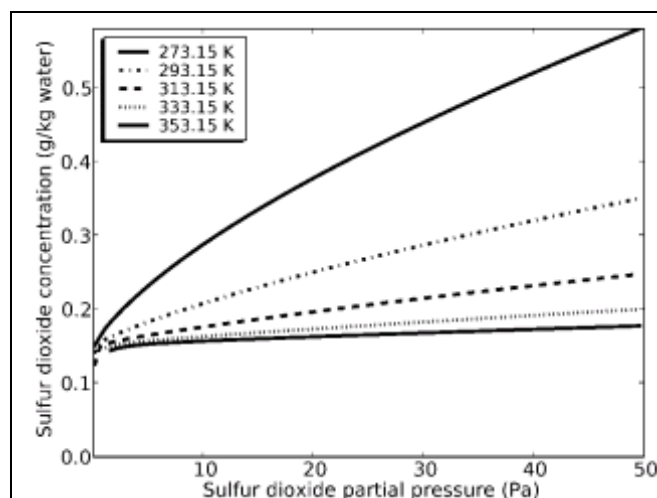
Η συνολική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_T = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] +$$

$$[\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] + [\text{HS}^-] +$$

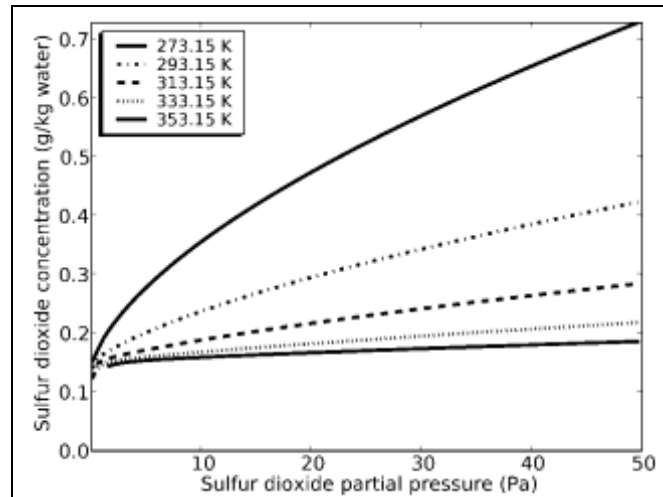
$$[\text{H}^+] - [\text{HSO}_4^-] - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] - \dots$$

Η κύριες συνιστώσες για την αλκαλικότητα του νερού είναι το HCO_3^- και το CO_3^{2-} . Ο υπολογισμός της διαλυτότητας του SO_2 στο θαλασσινό νερό λαμβάνει υπόψη και την αλκαλικότητα του νερού και αυτό φαίνεται στην αντίδραση IV. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Συμπέρασμα: όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, εάν ληφθεί υπόψη η αλκαλικότητα του νερού τότε αυξάνει η διαλυτότητα του SO_2 σε αυτό.

Εάν ληφθεί υπόψη και η αλμυρότητα του θαλασσινού νερού μαζί με την αλκαλικότητα προκύπτουν τα αποτελέσματα όπως στην παρακάτω εικόνα:



Συμπέρασμα: όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, εάν ληφθεί υπόψη και η αλμυρότητα του νερού τότε αυξάνει περαιτέρω η διαλυτότητα του SO_2 σε αυτό.

Έχει παρατηρηθεί ότι στις υψηλές θερμοκρασίες, η αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού αποτελεί την κύρια παράμετρο για το ποσοστό απορρόφησης του SO_2 σε αντίθεση με τις χαμηλές θερμοκρασίες όπου κύρια παράμετρος απορρόφησης είναι η αλμυρότητα.

Επίδραση της σύστασης του θαλασσινού νερού στην απαιτούμενη ποσότητα παροχής:

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων που θα οδηγήσουν στο ζητούμενο αποτέλεσμα οι συνθήκες είναι οι ακόλουθες:

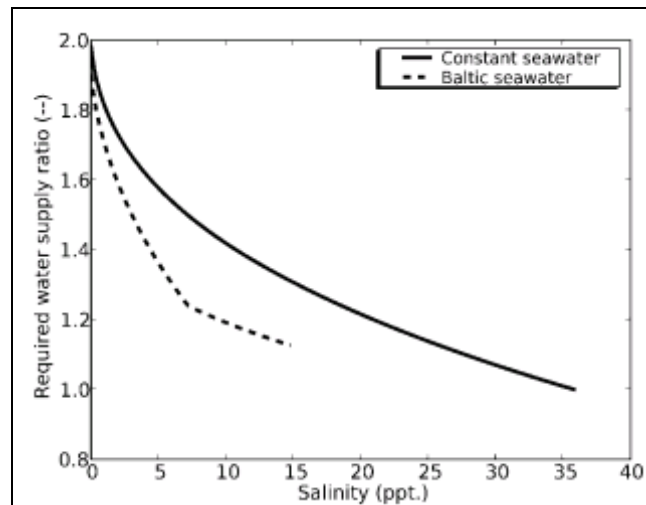
1. Σταθερή θερμοκρασία θαλασσινού νερού 45°
2. Μερική πίεση SO_2 περίπου 54 Pa
3. Περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο 2.7% w/w
4. Πίεση των καυσαερίων στην έξοδο κοντά στην ατμοσφαιρική

Υπάρχουν περιοχές, όπως οι εκβολές ποταμών όπου το θαλασσινό νερό έχει αρκετά διαφοροποιημένη σύσταση σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές π.χ. ανοιχτά στους ωκεανούς. Έτσι προκύπτουν ανάλογα με την περιοχή και την πιθανή ανάμειξη νερών με διαφορετική σύσταση διαφορετικές σχέσεις υπολογισμού της αλκαλικότητας:

$$A_T=180S + 177 \quad \text{ή} \quad A_T=48S + 1128$$

Η απαιτούμενος λόγος παροχής θαλασσινού νερού υπολογίζεται με τον λόγο της ποσότητας απορρόφησης SO_2 από θαλασσινό νερό με αλμυρότητα 35 ppt και αλκαλικότητα 2400 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ διά τον λόγο της απορρόφησης SO_2 για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό αλμυρότητας και αλκαλικότητας.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο λόγος της απαιτούμενης παροχής θαλασσινού νερού συναρτήσει της αλμυρότητας του για δύο διαφορετικές συστάσεις:



Αν για παράδειγμα βρεθούμε από μία περιοχή με αλμυρότητα 35 ppt σε μία άλλη με 30 ppt η απαίτηση για νερού απόπλυσης για συγκεκριμένη απορρόφηση SO_2 θα αυξηθεί έως και 10%.

Ακολουθεί η εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας θαλασσινού νερού για την απόπλυση των καυσαερίων για δύο διαφορετικές καταστάσεις:

1. Για μείωση των εκπομπών SO_2 σε ποσοστό 66% που ισοδυναμεί με την μείωση από καύσιμο με 4.5% περιεκτικότητα σε θείο σε καύσιμο με 1.5%.
2. Για μείωση των εκπομπών SO_2 σε ποσοστό 45% που ισοδυναμεί με την μείωση από καύσιμο με 2.7% περιεκτικότητα σε θείο σε καύσιμο με 1.5%.

Οι υπολογισμοί έχουν γίνει για τρεις διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές όπου εμφανίζεται και μεταβολή στη σύσταση του θαλασσινού νερού ως προς την αλκαλικότητα και την αλμυρότητα, οι περιοχές είναι:

A. Βόρεια θάλασσα ($S=35$ ppt, $A_T=2400$ $\mu\text{mol}/\text{kg}$)

B. Βαλτική ($S=7$ ppt, $A_T=1464$ $\mu\text{mol}/\text{kg}$)

Γ. Νότιο μέρος της Βόρειας θάλασσας ($S=35$ ppt, $A_T=537$ $\mu\text{mol}/\text{kg}$)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

location	fuel S (% w/w)	$p(\text{SO}_2)_{in}$ (Pa)	$p(\text{SO}_2)_{out}$ (Pa)	$p(\text{SO}_2)_{limit}$ (Pa)	SO_2 uptake (g/kg)	SO_2 reduce (g/kW h)	SW amount (kg/kW h)
A	4.5	90	30	55	0.27	10.8	40
	2.7	54	30	41	0.25	4.1	17
B	4.5	90	30	55	0.27	10.8	49
	2.7	54	30	41	0.20	4.1	22
C	4.5	90	30	55	0.17	10.8	63
	2.7	54	30	41	0.15	4.1	29

*οι υπολογισμοί έχουν στηριχθεί σε ειδική κατανάλωση 180 g/KW h

5.4 Παρουσίαση μονάδων απόπλυσης^[35]

Μετά από την ανακοίνωση των νέων μέτρων για τις εκπομπές των καυσαερίων των πλοίων, όπως ήταν φυσικό πολλές εταιρείες στράφηκαν στην υλοποίηση εναλλακτικών μεθόδων για την μείωση των εκπομπών. Τα αποτελεσμάτα ερευνών για την υψηλή αποδοτικότητα των μονάδων απόπλυσης των καυσαερίων (EGC) οδήγησαν τους κατασκευαστές σε αυτή την κατεύθυνση.

Ο κύριος παράγοντας για την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου είναι η αλκαλικότητα του νερού. Αλκαλικότητα έχει το θαλασσινό νερό, ωστόσο υπάρχει και εναλλακτική λύση η οποία είναι η χρήση γλυκού νερού με χρήση πρόσθετων χημικών που μεταβάλουν την αλκαλικότητα του και εξυπηρετούν στην απορρόφηση του διοξειδίου του θείου.

Με τον όρο αλκαλικότητα δεν εννοείται μόνο το PH του διαλύματος αλλά και η ικανότητα του να αντιστέκεται σε αλλαγές του PH. Όπως έχει ήδη περιγραφεί το θαλασσινό νερό έχει αλμυρότητα κατά μέσο όρο 3.5% περιεκτικότητα κατά βάρος. Το νερό μπορεί να έχει υψηλή αλκαλικότητα και καθόλου αλμυρότητα, αυτό εξαρτάται από την συγκέντρωση του ασβεστίου.

Τα συστήματα απόπλυσης που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό ως μέσο απόπλυσης μπορούν να λειτουργήσουν και στις περιοχές που το νερό έχει χαμηλή αλκαλικότητα αλλά με μικρότερο βαθμό απόδοσης και χαμηλότερο PH.

Εμπειρία για την λειτουργία μονάδων απόπλυσης υπάρχει κυρίως από εφαρμογές σε εγκαταστάσεις στεριάς. Για την εφαρμογή στην Ναυτιλία προτείνεται η χρήση των παρακάτω μεθόδων:

1. Απόπλυση με θαλασσινό νερό – open loop^[36]

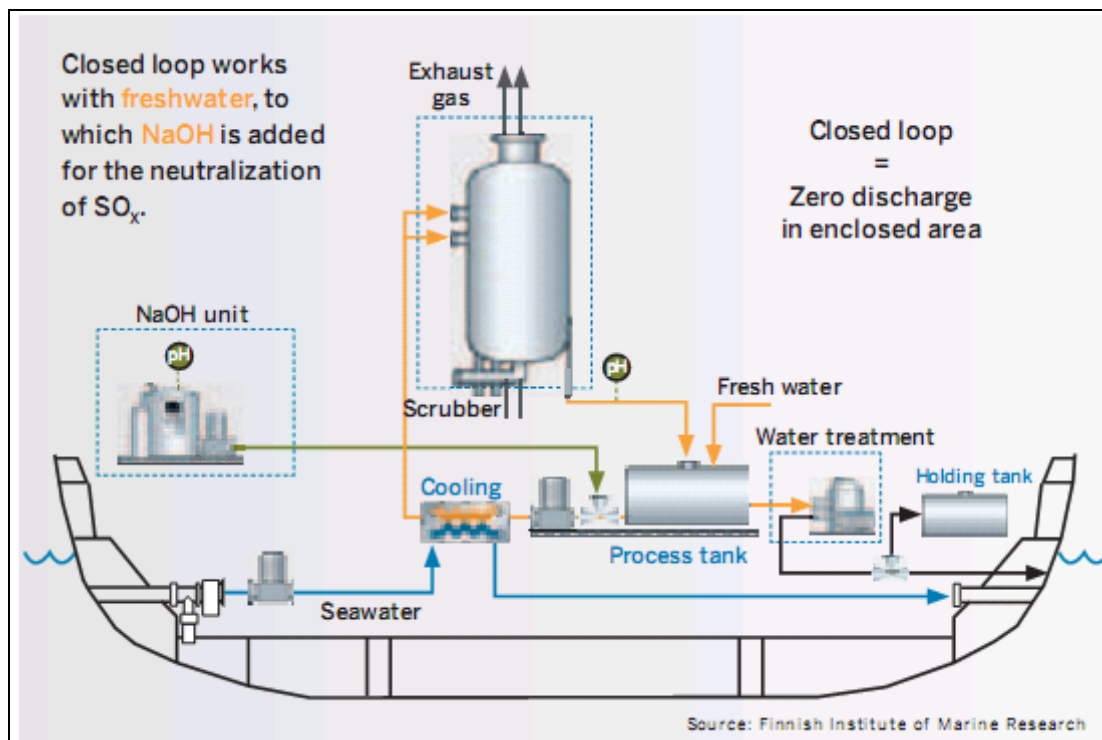
Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το θαλασσινό νερό βρίσκεται άπλετο στο περιβάλλον του πλοίου και δεν χρειάζεται ανάμειξη με πρόσθετα. Για την επίτευξη όμως ικανοποιητικού βαθμού απόδοσης χρειάζεται μεγάλη ποσότητα ροής θαλασσινού νερού με κατάλληλο δείκτη αλκαλικότητας.

2. Απόπλυση με γλυκό νερό – close loop με πρόσθεση καυστικής σόδας

Αποτελεί την εναλλακτική λύση όταν απαιτείται υψηλός βαθμός απόδοσης και όταν μπορεί να προκύψουν ζητήματα με την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις σαν πρόσθετο χρησιμοποιείται καυστική σόδα (NaOH) για την απορρόφηση του SO_x .

Ο βαθμός απόδοσης απόπλυσης τέτοιων εγκαταστάσεων είναι μεγαλύτερος από 90% και φτάνει και το 97% σε περιπτώσεις ηλεκτρογεννητριών που πρέπει οι εκπομπές τους να είναι ισοδύναμες με τη χρήση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1%. Η απαιτούμενη ισχύ των αντλιών είναι πολύ χαμηλή και είναι περίπου ίση με 0.5-1%.

Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται παρακάτω:



Η αρχή λειτουργίας του ανωτέρω συστήματος είναι η εξής:

Το μέσο απόπλυσης αντλείται από την Process tank διέρχεται από ένα ψυγείο και διοχετεύεται στη μονάδα απόπλυσης. Από τη μονάδα απόπλυσης το μέσο απόπλυσης επιστρέφει στην Process tank με τη βοήθεια της βαρύτητας. Με την feed pump αναμειγνύεται το NaOH με το γλυκό νερό.

Χρειάζεται το νερό να συμπληρώνεται στην περίπτωση που το εξατμιζόμενο υγρό δεν συμπληρώνεται από την υγρασία που υπάρχει στα καυσαέρια.

Ένα μέρος του νερού απόπλυσης οδηγείται κατευθείαν στην μονάδα επεξεργασίας (treatment unit) και από κει ή αδειάζεται στη θάλασσα ή σε κάποια ειδική δεξαμενή.

Η μονάδα αυτή μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να χρειάζεται να αδειάσει τίποτα στη θάλασσα κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονεκτήματα για περιοχές όπου απαγορεύεται οποιαδήποτε αποβολή στη θάλασσα.

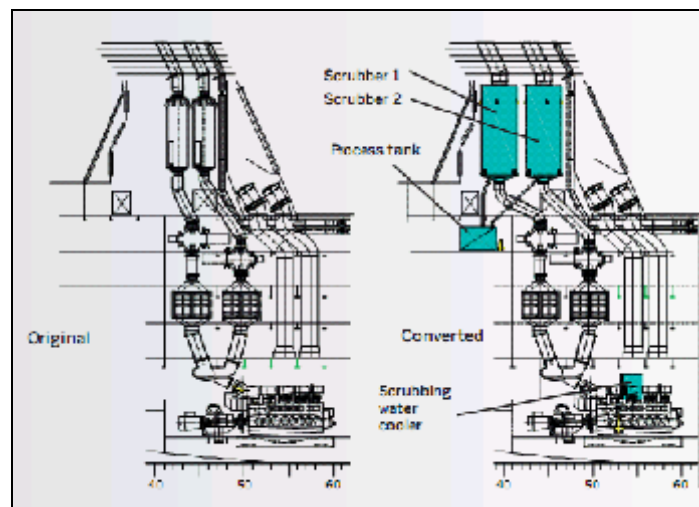
Καυστική σόδα:

Είναι ένα διάλυμα με συγκέντρωση περίπου 50%. Έχει πυκνότητα 1.52 t/m^3 και $\text{PH}=14$. Στερεοποιείται στους 12°C και συνήθως μεταφέρεται ζεστό. Μπορεί να αντληθεί κανονικά από σταθμούς και μπορεί να αποθηκευτεί σε κοινή δεξαμενή φτιαγμένη από χάλυβα. Το κόστος της κυμαίνεται από 0.5 – 4% του κόστους του καυσίμου.

Τα καυσαέρια:

Στην έξοδο τους μετά από τη μονάδα απόπλυσης έχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Μπορεί το φαινόμενο να περιορισθεί με την χρήση ενός συλλέκτη έτσι ώστε να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μικρότερο ποσοστό νερού και κατά συνέπεια μικρότερη ποσότητα νερού να χρειάζεται να συμπληρώνεται στο δίκτυο.

Η μονάδα απόπλυσης μειώνει επίσης και τις εκπομπές θορύβου και μπορεί να παραλειφθεί από το δίκτυο εξαγωγής των καυσαερίων η τοποθέτηση σιγαστήρα. Έτσι μειώνεται και η συνολική πτώση πίεσης.



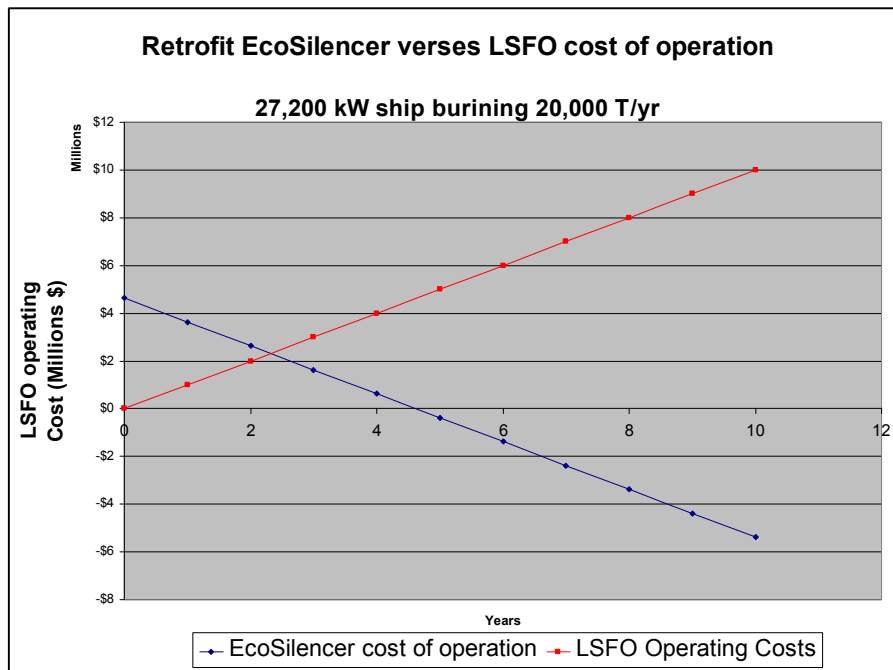
Μονάδες απόπλυσης μπορούν να τοποθετηθούν σε καινούρια πλοία αλλά και σε υπάρχοντα με ορισμένες μετασκευές. Στα καινούρια πλοία είναι ευκολότερη η τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων σε καλύτερη διάταξη. Και η μονάδα να μην εγκατασταθεί κατά την παράδοση του πλοίου μπορεί να έχει γίνει η χωροταξική μελέτη για μελλοντική τοποθέτηση.

Στα υπάρχοντα πλοία συνήθως η διάμετρος της εξαγωγής δεν επαρκεί για την τοποθέτηση της μονάδος απόπλυσης εσωτερικά, υπάρχει όμως η δυνατότητα να τοποθετηθεί η μονάδα παράπλευρα της εξαγωγής εξωτερικά και τα βοηθητικά εξαρτήματα να τοποθετηθούν εσωτερικά στο μηχανοστάσιο.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των μονάδων απόπλυσης είναι και η δραστική μείωση των σωματιδίων που βρίσκονται στα καυσαέρια.

5.5 Οικονομική εκτίμηση^[35]

Vessel Fuel Consumption (actual)	20,000T/year
LSFO premium @ \$50 US/T =	\$1,000,000 annually
Cost over 20 years of vessel ownership	
LSFO Premium paid	\$20,000,000
EcoSilencer® Supply and Installation	
Manufacture	\$ 2,500,000
Retro Fit Installation	\$ 2,500,000
Operation costs \$ 50,000 /y	<u>\$ 1,000,000</u>
EcoSilencer®	\$ 6,000,000



5.6 Πλεονεκτήματα από τη χρήση μονάδων απόπλυσης καυσαερίων (EGC)

1. Αποφεύγεται το ρίσκο καθυστέρησης του πλοίου σε κάποιο λιμάνι λόγω της έλλειψης του προδιαγραφόμενου καυσίμου από τους κανονισμούς
2. Αποφεύγεται η επιπλέον χρέωση από τους προμηθευτές καυσίμων για την παραλαβή καυσίμων διαφορετικών προδιαγραφών
3. Αποδοτική και ασφαλή λειτουργία όλων των μηχανημάτων καθώς δεν χρειάζεται να λειτουργήσουν με καύσιμα χαμηλότερης λιπαντικής ικανότητας
4. Δεν χρειάζεται η προμήθεια και αποθήκευση λιπαντικών με διαφορετικό Total base number (TBN)
5. Δεν χρειάζεται να αλλάξει η διαδικασία παραλαβής των καυσίμων και η υποχρέωση για φύλαξη των στοιχείων στο πλοίο
6. Δεν χρειάζεται η εκπαίδευση του πληρώματος σε διαδικασίες αλλαγής καυσίμου που είναι εξαιρετικά επικίνδυνες
7. Δεν χρειάζονται ειδικοί όροι για την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου σε περιπτώσεις ναυλώσεων
8. Το κόστος λειτουργίας του πλοίου παραμένει το ίδιο και δεν επηρεάζεται από τις νέες απαιτήσεις που αναμένεται να γίνουν πιο αυστηρές στο μέλλον
9. Το πλοίο γίνεται πιο φιλικό προς το περιβάλλον μειώνοντας δραστικά τις εκπομπές του.

ΠΗΓΕΣ

- [1] Γ. Γράτσος Ναυτικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Ναυτιλία και Περιβάλλον, 2009).
- [2] Ν. Κυρτάτος, “Σημαντικά Θέματα Έρευνας και Εξέλιξης στους Ναυτικούς Κινητήρες Diesel”, Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας (Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα).
- [3] Απόσπασμα από την Ιταλική εφημερίδα La Repubblica, άρθρο του υπεύθυνου περιβάλλοντος της Maersk.
- [4] International Maritime Organization (IMO), συνεδριάσεις για το περιβάλλον (MEPC 58, MEPC 60).
- [5] Απόσπασμα από ανακοίνωση της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών.
- [7] Wright A.A, Marine Diesel Engine Emissions, Trans.I.Mar.E part 4, pp 345-364, 1998.
- [8] Pounder’s Marine diesel Engine and Gas Turbines (8 th edition).
- [9] www.Physics4u.gr
- [10] Marpol 73/78 Annex VI, International Maritime Organization (IMO).
- [11] Shipping company; Mykonos Shipping Co Ltd (Class NKK).
- [12] Marpol 73/78, NOx Technical Code, International Maritime Organization (IMO).
- [13] California Air Resources Board (CARB).
- [14] Europe Council, EU Directive 2005/33.
- [15] Walters, G., De Mers, D.: “Guide to exhaust emission Control Options”, CIMAC, Working Group #5 Exhaust Emissions Control (Piston Engines) Draft Doc. Rr32/MS302, Sept. 1999.
- [16] Fankhauser, S.: “Sulzer RT-flex, The Common-Rail Low- Speed Engine”, Seminar: The Intelligent Engine, Athens, 18 May 1999.
- [17] Paro, D.: “Medium speed diesels in the new millenium”, 21st Marine Propulsion Conference.
- [18] Codan, E., Fedler, H., Meier-Peter, H.: “Using the Miller process for marine diesel engines”.
- [19] Man B&W Press release, Man B&W IMO Tier II Compliance.

- [20] Man B&W Two-stroke Marine diesel Engines, Exhaust Gas Emission Today and Tomorrow.
- [21] Man Diesel Prime service, Retrofitting slide fuel valve.
- [22] Man B&W, Selective Catalytic Reduction.
- [23] A Guideline to the Unified technical File, Man B&W.
- [24] Mitsui Engineering Service Letters (www.e-gigs.com)
- [25] Ε.Βούσουρας, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.
- [26] www.MarineDiesels.co.uk
- [27] www.Man B&W.com
- [28] Man B&W, Operation on Low-Sulphur Fuels Two-stroke engines.
- [30] Tsuneishi Shipbuilding Co., Ltd, Japan (Zhousan China).
- [31] 21st Shipbuilding Company, S.Korea Tongyeong.
- [32] JCI Marine MDO-MGO Cooling System.
- [33] Volcano, Recommendations for MGO Burning.
- [34] Use of Seawater Scrubbing for SO₂ Removal from Marine Engine Exhaust Gas Anders Andreasen* and Stefan Mayer.
- [35] Ecosilencer, Exhaust Gas Cleaning presentation (2006).
- [36] Wartsila Technical Journal; Sox Scrubbing of marine exhaust gases (2007.)
- [37] Hamworthy Krystallon; Sea water Scrubbing.