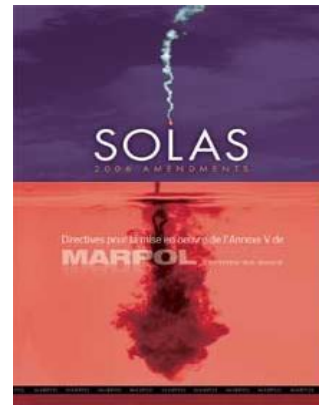
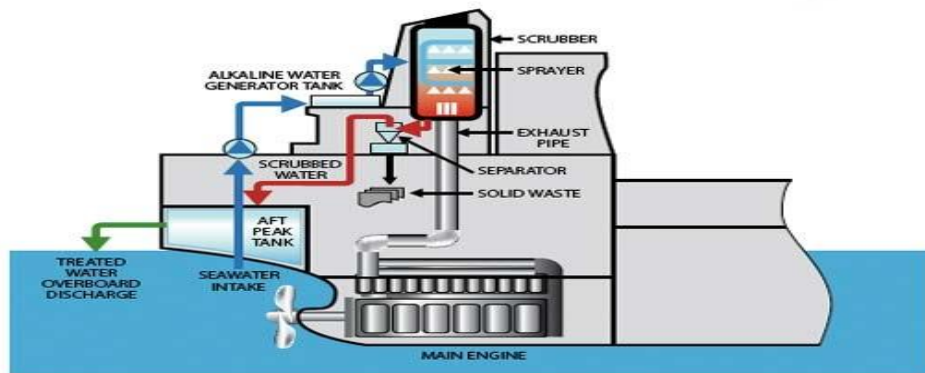


ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΖΗΖΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ – Α.Μ.Σ: 4580

ΘΕΜΑ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ  
ΠΛΟΙΩΝ - SCRUBBERS



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΧΟΙΝΑΣ, ΜΗΧ/ΓΟΣ -  
ΗΛΕΚ/ΓΟΣ ΜΗΧ/ΚΟΣ ΕΜΠ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ: 05/04/2014  
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΚΑΤΑΘΕΣΗΣ: 27/06/2014

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΠΛΟΙΩΝ - SCRUBBERS

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ  
ΠΛΟΙΩΝ - SCRUBBERS**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΖΗΖΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΧΟΙΝΑΣ,  
ΜΗΧ/ΓΟΣ - ΗΛΕΚ/ΓΟΣ ΜΗΧ/ΚΟΣ ΕΜΠ**

**Ημερομηνία Κατάθεσης: 27/06/2014**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας

Ο Καθηγητής

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ρύπανση του περιβάλλοντος επιβαρύνεται ιδιαίτερα από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης. Για αυτόν τον λόγο τα πλοία υπόκεινται στις αποφάσεις του ΙΜΟ όπως περιγράφεται στο παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. Οι συμβάσεις επικαιροποιούνται συνεχώς καθώς και οι οδηγίες και οι κανονισμοί από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από την άλλη μεριά η κλιματική αλλαγή επηρεάζει άλλοτε αρνητικά και άλλοτε θετικά την ναυτιλία. Οι νέες θαλάσσιες οδοί, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση της θερμοκρασίας, η ένταση των ανέμων είναι μερικές από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής που έχουν αντίκτυπο την ναυτιλία και θα επηρεάσουν τις πλοιοκτήτριες εταιρείες στην προσαρμογή των συστημάτων τους και του καυσίμου για να πετύχουν αυτήν την μείωση. Σε αυτό συμβάλλει και η τεχνολογία με τα αποτελεσματικά Scrubbers (συστήματα καθαρισμού καυσαερίου) για την ελάττωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) σχεδόν στο μηδέν αλλά και άλλων ρύπων από τα καυσαέρια. Επίσης, αυτές οι μετατροπές προϋποθέτουν δαπανηρές και σε βάθος χρόνου αλλαγές και στα διυλιστήρια, διότι θα αναγκαστούν να κάνουν καλύτερη κατεργασία των προϊόντων για να είναι μέσα στις προδιαγραφές, πράγμα το οποίο μπορεί να επιφέρει κάποιο σημαντικό κόστος. Όπως αναφέρθηκε πριν, τα Scrubbers θα συμβάλλουν σε αυτήν την αντιμετώπιση και συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Αυτά έχουν δοκιμαστεί σε διάφορα είδη πλοίων με θετικά αποτελέσματα.

**ABSTRACT**

The environmental pollution is heavily burdened by the exhaust gases of internal combustion engines. For this reason, the ships issue to IMO agreements as described in Annex VI of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. The contracts are constantly updated in regulations by the European Union. On the other hand, the climate change affects either negatively or positively the shipping. The new sea routes, and the rising of the sea levels, the rising temperatures, and the wind, are some of the effects of climate change that will have impact on shipping and will affect shipping companies to adapt their systems and fuels to achieve this reduction. In this technology contributes to the modern effective Scrubbers (flue gas cleaning systems) to reduce emissions of sulfur oxides (SO<sub>x</sub>) to almost zero and other pollutants from the exhaust. Also, these conversions require costly and long-term changes and for the refineries, because they will be forced to make better treatment products to be within the specifications, which may constitute a significant cost. As mentioned before, the Scrubbers will contribute to this treatment and compliance with regulations. These are tested on various types of vessels with positive results.

## 1. Εισαγωγή

Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι η μελέτη των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers) καθώς και η συμβολή αυτών των συστημάτων στην μείωση των εκπομπών ρύπων από τα πλοία, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (MARPOL Annex VI). Αρχικά στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται, οι δύο τύποι κινητήρων (2χρονοι και 4χρονοι), και συγκρίνονται οι δυνατότητες τους, ενώ γίνεται αναφορά και στην μηχανή διπλού καυσίμου που αποτελεί καινοτομία για την ναυτιλία. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία περιγραφή των βασικότερων σύγχρονων καυσίμων. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μία γενική αναφορά για την διύλιση του αργού πετρελαίου, και αναφέρονται τα προϊόντα από την μονάδα απόσταξης πετρελαίου. Στο τέταρτο κεφάλαιο, εξετάζονται διάφορα προϊόντα καύσης, οι προδιαγραφές των εκπομπών ρύπων, καθώς και οι περιοχές ελέγχου σύμφωνα με τον διεθνή κανονισμό, του IMO. Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται τα είδη καθαρισμού εξαγωγής καυσαερίων, Scrubbers, αλλά και ο σημαντικός καταλύτης καθαρισμού (SCR), ενώ επίσης καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης μονάδων απόπλυσης καυσαερίων. Στο τελευταίο κεφάλαιο, που αποτελεί και τον επίλογο αυτής της εργασίας, προκύπτουν τα βασικότερα συμπεράσματα τα οποία μας οδηγούν στην παραδοχή ότι τα Scrubbers αποτελούν έναν από τους βέλτιστους τρόπους καταπολέμησης των καυσαερίων.

## 2. Οι μηχανές και τα καύσιμα στα σύγχρονα πλοία

### 2.1 Γενικές πληροφορίες σχετικά με τους κινητήρες Diesel

Ο κινητήρας Diesel είναι θερμική μηχανή εσωτερικής καύσης. Θερμικές μηχανές, ονομάζονται οι μηχανές οι οποίες παράγουν μηχανικό έργο από την θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση υγρών καυσίμων. Μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) θεωρούνται οι μηχανές στις οποίες το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος είναι τα προϊόντα της καύσης του αέρα με το καύσιμο δηλαδή τα καυσαέρια. Στα πλοία σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά μηχανές Diesel οι οποίες εκτόπισαν τον ατμοστρόβιλο και δεν έδωσαν ευκαιρίες ανάπτυξης στον αεριοστρόβιλο. Ο λόγος είναι πως ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης του κινητήρα Diesel είναι ανώτερος του ατμοστροβίλου και του αεροστροβίλου, και πως μπορεί να λειτουργήσει με φθηνά καύσιμα πολύ χαμηλής ποιότητας. Η κατακόρυφη αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου από το 1973 που φτάνει μέχρι σήμερα

οδήγησαν τον κινητήρα Diesel ως την μοναδική επιλογή προωστήριας εγκατάστασης ενός πλοίου. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο γίνεται επίσης με νηξελογεννήτριες.

### Διαχωρισμός κινητήρων Diesel

Οι κινητήρες Diesel με βάση τον κύκλο λειτουργίας τους χωρίζονται σε 2 κατηγορίες. Τετράχρονοι και δίχρονοι κινητήρες. Οι τετράχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρογεννήτριες στα εμπορικά πλοία και ως κύρια προωστήρια εγκατάσταση στα επιβατικά και στα πλοία RO-RO. (Roll-on Roll-off) Οι δίχρονοι κινητήρες είναι εγκατεστημένοι ως κύριες μηχανές στα εμπορικά πλοία πλην των RO-RO.

## **2.2 Τετράχρονοι Κινητήρες (4-X)**

Ως τετράχρονη μηχανή ορίζεται η μηχανή που ο πλήρης θερμικός της κύκλος ολοκληρώνεται σε τέσσερις χαρακτηριστικές φάσεις που ονομάζονται διαδρομές ή χρόνοι. Μια περίοδος λειτουργίας διαρκεί 2 περιστροφές ή 720° του στροφαλοφόρου άξονα. Το έμβολο κατά την κίνηση του θα σταματήσει σε 2 θέσεις προκειμένου να αναστραφεί η κίνηση του. Αυτά τα σημεία ορίζονται ως Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) και Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ). Ο χρόνος, ή διαδρομή που ορίστηκε παραπάνω είναι η απόσταση που διανύει το έμβολο από το ένα νεκρό σημείο στο άλλο.

Ο κύκλος λειτουργίας της τετράχρονης μηχανής είναι:

- ✓ 1ος χρόνος. (Αναρρόφηση αέρα)

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοιχτή ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Λόγω της κίνησης του εμβόλου δημιουργείται κενό στον κύλινδρο, οπότε αυτός πληρώνεται με ατμοσφαιρικό αέρα που εισέρχεται μέσα από την ανοιχτή βαλβίδα.

- ✓ 2ος χρόνος. (Συμπύεση αέρα)

Το έμβολο κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση με τον προηγούμενο χρόνο δηλαδή από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ. Οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές καθόλη την διάρκεια του κύκλου. Ο αέρας στον κύλινδρο συμπιέζεται επομένως έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας.

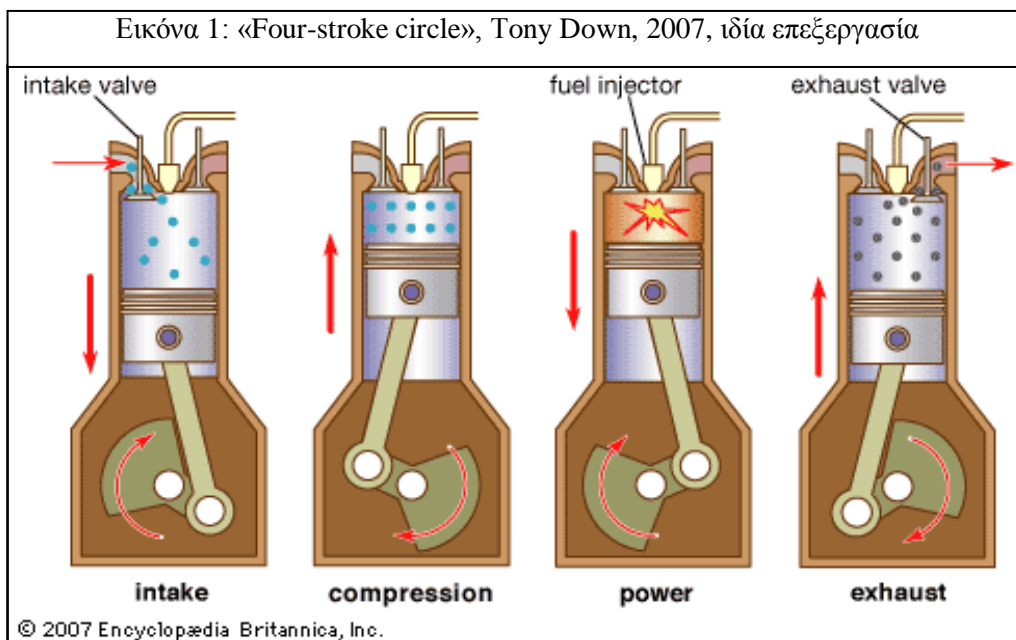
✓ 3ος χρόνος (Καύση - Εκτόνωση)

Λίγο πριν το ΑΝΣ, ψεκάζεται το καύσιμο από τους εγχυτήρες. Το καύσιμο βρίσκεται σε μορφή λεπτών σταγονιδίων που μόλις έρθουν σε επαφή με τον θερμό λόγω της προηγούμενης συμπίεσης αέρα αυταναφλέγονται και καίγονται. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται ωθούν το έμβολο προς τα κάτω. Σε αυτόν τον χρόνο παράγεται το μηχανικό έργο για την κίνηση της στροφαλοφόρου άξονα.

✓ 4ος χρόνος. (Εξαγωγή καυσαερίων)

Το έμβολο ακολουθεί πορεία από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ και ωθεί τα καυσαέρια που παρήχθησαν στον προηγούμενο χρόνο έξω από τον κύλινδρο μέσω της βαλβίδας εξαγωγής η οποία είναι ανοιχτή.

Συνοψίζοντας, από τις 4 διαδρομές οι 2 είναι αφιερωμένες στην εναλλαγή των αερίων. Στην πρώτη διαδρομή γίνεται η αναρρόφηση και στην τέταρτη γίνεται η εξαγωγή των καυσαερίων. Η μια διαδρομή είναι αφιερωμένη στην συμπίεση του αέρα και μόνο μια διαδρομή παράγει το ωφέλιμο έργο για την κίνηση του στροφαλοφόρου (βλ. Εικόνα1):



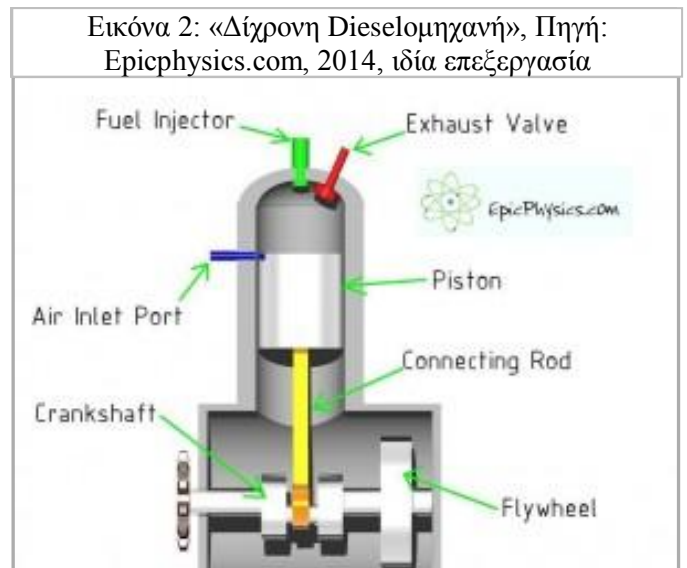
### **2.3 Δίχρονοι Κινητήρες (2-X)**

Τα κύρια μέρη ενός απλού κινητήρα σε δίχρονο κύκλο είναι: η βαλβίδα εξαγωγής, το έμβολο, ο θάλαμος καύσης, το βάκτρο, ο διωστήρας, οι θυρίδες σάρωσης, ο στροφαλοφόρος και ο καυστήρας.

Ο κύκλος λειτουργίας της δίχρονης μηχανής είναι:

- ✓ 1ος χρόνος

Το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο. Ο αέρας έχει συμπιεστεί από τον προηγούμενο χρόνο και ψεκάζεται το καύσιμο. Το καύσιμο αυταναφλέγεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στον κύλινδρο. Τα καυσαέρια ωθούν το έμβολο προς το ΚΝΣ. Καθώς το έμβολο κατεβαίνει αποκαλύπτει την θυρίδα εξαγωγής και τα καυσαέρια εξέρχονται από τον κύλινδρο. Στο ίδιο ύψος ή λίγες μοίρες στροφαλοφόρου αργότερα αποκαλύπτεται και η θυρίδα εισαγωγής όπου εισέρχεται ο υπερπληρωμένος αέρας με την βοήθεια ενός υπερπληρωτή. Ένα μέρος του αέρα αυτού θα χρησιμοποιηθεί για να παρασύρει τα καυσαέρια έξω από τον κύλινδρο.



- ✓ 2ος χρόνος

Το έμβολο έχει φτάσει το ΚΝΣ και κατευθύνεται προς τα άνω. Καθώς κινείται θα κλείσει τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Ο αέρας που απέμεινε στον κύλινδρο θα συμπιεστεί.

### **2.4 Σύγκριση των 2-X με τους 4-X Κινητήρες**

Το κύριο πλεονέκτημα του δίχρονου κινητήρα είναι πως το αποδιδόμενο ωφέλιμο έργο είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με τετράχρονο κινητήρα με τις ίδιες διαστάσεις. Αυτό συμβαίνει καθώς στην δίχρονη μηχανή παράγεται ωφέλιμο έργο κάθε 2ο χρόνο ενώ στην τετράχρονη κάθε 4ο χρόνο. Στην τετράχρονη μηχανή ο καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια είναι πιο αποδοτικός καθώς αφιερώνεται μια ολόκληρη διαδρομή, ενώ στην δίχρονη συμβαίνει παράλληλα με την εκτόνωση. Αυτό οδηγεί σε



2 σημαντικά μειονεκτήματα. Από την μια δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της θερμικής ισχύς των καυσαερίων και από την άλλη χάνεται μια ποσότητα αέρα, που έχει περάσει μέσα από στροβιλοϋπερπληρωτή, για τον καθαρισμό του κυλίνδρου από τα καυσαέρια.

### **2.5 Μηχανές διπλού καυσίμου (Dual fuel engines)**

Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των μηχανών διπλού καυσίμου είναι η ακόλουθη: Στους κινητήρες αυτούς γίνεται ταυτόχρονη χρήση δύο καυσίμων, αυτή του κλασσικού Diesel και του φυσικού αερίου. Η παροχή μάζας του καυσίμου Diesel αποτελεί ένα μικρό ποσοστό ως προς τη συνολική παροχή και των δύο καυσίμων που εισέρχονται στον κινητήρα, όταν αυτός λειτουργεί υπό συνθήκες μεικτής καύσης. Το ποσοστό αυτό του καυσίμου Diesel διατηρείται σταθερό για όλα τα φορτία λειτουργίας του κινητήρα υπό συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής. Οι τιμές του ποσοστού αυτού κυμαίνονται από 10 έως 15% ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η «πilotική» αυτή έγχυση του καυσίμου Diesel χρησιμοποιείται για την έναυση του εργαζόμενου μείγματος, αφού το φυσικό αέριο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέξεως του δεν μπορεί να αυταναφλεγεί υπό συνθήκες έναυσης Diesel. Όπως είναι ευνόητο το καύσιμο Diesel καλύπτει ένα μικρό ποσοστό της απαιτούμενης από τον κινητήρα ισχύος, ενώ η επιπλέον απαιτούμενη ισχύς καλύπτεται από τη χρήση του φυσικού αερίου.

Στους ανωτέρω κινητήρες, το φυσικό αέριο προσάγεται από τον οχετό εισαγωγής μαζί με τον αέρα ή εγχύεται απευθείας μέσα στο θάλαμο καύσης. Στην περίπτωση υπαρχόντων κινητήρων Diesel συνιστάται να εισάγεται από τον οχετό εισαγωγής μαζί με τον αέρα, διότι απαιτεί ελάχιστες μετατροπές στον κινητήρα.

Όμως η χρήση του φυσικού αερίου σ' αυτού του είδους τους κινητήρες, απαιτεί διερεύνηση όσον αφορά στην επίδραση που έχει η χρήση του στη δομή του κινητήρα καθώς είναι πιθανόν να υπάρξουν ανεπιθύμητες επιδράσεις. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αποφυγή των κατωτέρω φαινομένων: 1) Υπερβολικά υψηλή πίεση καύσης. 2) Κρουστική καύση. 3) Ατελή καύση.

## **2.6 Τα σύγχρονα καύσιμα**

### **2.6.1 Βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ)**

Το μαζούτ προέρχεται κυρίως από το υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου. Μπορεί επίσης να περιέχουν κλάσματα που προέρχονται από σχάση βαρέων υδρογονανθράκων για παραγωγή αποσταγμάτων. Γενικά στο μαζούτ μαζεύονται και αναμειγνύονται όλα τα υπολείμματα επεξεργασίας του πετρελαίου που δεν μπορούν να αναμιχθούν στα άλλα ευγενέστερα προϊόντα των διυλιστηρίων. Για να επιτευχθούν οι τελικές προδιαγραφές, κυρίως το ιξώδες και η περιεκτικότητα σε θείο, είναι αναγκαίο πολλές φορές να αναμιχθούν στο μαζούτ και αποστάγματα όπως κηροζίνη και gas oil. Η ανάμιξη αυτή εκτός του ότι μειώνεται το ιξώδες, βοηθάει να παραμείνει σε διάλυμα και να μην αποβάλλεται η παραφίνη που υπάρχει στα υπολείμματα απόσταξης. Το μαζούτ σαν υπόλειμμα της απόσταξης και γενικά της επεξεργασίας πετρελαίου, συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό θείου, διοξείδιο του άνθρακα κι όλων των βαρειών ενώσεων μετάλλων που περιέχονται στο αρχικό αργό πετρέλαιο. Οι κυριότερες προδιαγραφές του μαζούτ είναι το ιξώδες και η περιεκτικότητα σε θείο. Το ιξώδες εκτός από την διακίνηση των καυσίμων επηρεάζει και την ποιότητα καύσης. Στο μαζούτ ορίζεται μια μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο και ο λόγος για τον οποίο μπαίνει αυτό το όριο είναι για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την διάβρωση. Τα υπολείμματα έχουν πάντα μεγαλύτερο ποσοστό θείου από το αργό πετρέλαιο από το οποίο προέρχονται. Για να παραχθεί υπόλειμμα με λιγότερο από 1% θείο πρέπει το αργό να έχει θείο 0,5% ή λιγότερο. Τα αργά αυτά όμως είναι ακριβότερα σε ανάλογα της επίπτωσης των προϊόντων τους.

### **2.6.2 Marine diesel oil (MDO)**

Το καύσιμο αυτό είναι προϊόν πετρελαίου απόσταξης αναμειγμένο με μικρή ποσότητα υπολειμματικού πετρελαίου. Το μικρό κινηματικό ιξώδες, μέχρι και 12 cSt το καθιστά ικανό για χρήση χωρίς την ανάγκη προθέρμανσης. Το Marine diesel oil προβλέπεται ότι θα είναι το κυρίαρχο καύσιμο της ναυτιλίας όταν μετά το 2020 (ή 2025) το όριο σε οξειδία του θείου θα πέσει στο 0.5% κατά μάζα σε παγκόσμιο επίπεδο.

### 2.6.3 Marine Gas Oil (MGO)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα καθαρότερα ναυτιλιακά καύσιμα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή. Είναι προϊόντα αποτελούμενα εξ' ολοκλήρου από πετρέλαιο απόσταξης με αποτέλεσμα να είναι τα ακριβότερα καύσιμα σε παγκόσμιο επίπεδο. Το Marine Gas Oil προορίζεται ως το καύσιμο που θα χρησιμοποιείται στις περιοχές ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου (ECA) και στα ευρωπαϊκά λιμάνια από το 2015.

### 2.6.4 Φυσικό Αέριο

Μια αξιόπιστη και καθαρή από πλευράς ρύπανσης εναλλακτική πηγή καύσιμης ύλης για τους εμβολοφόρους κινητήρες αποτελεί το φυσικό αέριο. Τα φυσικά αέρια προέρχονται κυρίως από κοιτάσματα του πετρελαίου. Όλα τα είδη του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από μεθάνιο, ενώ απουσιάζει τελείως από τη σύστασή τους το μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο σημειωτέον είναι τοξικό. Τα φυσικά αέρια διακρίνονται σε δύο ομάδες:

- Ομάδα H, των οποίων η ανωτέρα θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 10,7 και 13,1 KWh/Nm<sup>3</sup>.
- Ομάδα L, των οποίων η ανωτέρα θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 8,4 και 10,5 KWh/Nm<sup>3</sup>.

Γενικότερα η ύπαρξη του φυσικού αερίου στην αγορά προς κατανάλωση έχει έρθει σε ανταγωνιστικότητα με τις τιμές του Diesel, γεγονός που το καθιστά αρκετά ελκυστικό ως καύσιμο. Επίσης, κάποια πολύ καλά πλεονεκτήματα του φυσικού αερίου είναι, πως δεν περιέχει καθόλου μονοξείδιο του άνθρακα, γεγονός αρκετά θετικό για την περιβαλλοντική του συμπεριφορά, και δεν εγκυμονεί κανένα κίνδυνο τοξικότητας. Καθώς και, συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στον περιορισμό των σωματιδίων εκπομπών (αιθάλη) από τα καυσαέρια ενός κινητήρα, δίνοντας έτσι τιμές σχεδόν μηδενικές σε σχέση με αυτές που δίνει το κλασσικό καύσιμο Diesel.

### 2.6.5 Μεθανόλη

Η μεθανόλη είναι μία αλκοόλη, η οποία είναι άχρωμο, πολικό και εύφλεκτο υγρό. Είναι αναμίξιμη με το νερό, τις αλκοόλες, τους εστέρες και τους περισσότερους οργανικούς διαλύτες. Διαλύεται μόνο μερικώς σε λίπη και έλαια. Η μεθανόλη είναι σήμερα ένα παγκοσμίως σημαντικό αγαθό από πολλές απόψεις. Η μεθανόλη μπορεί

να παραχθεί από μία πληθώρα πρώτων υλών, συμπεριλαμβανόμενων του φυσικού αερίου, του άνθρακα, του CO<sub>2</sub> και της βιομάζας. Εναλλακτικά, η απευθείας, οξειδωση του μεθανίου έχει ως παράγωγο τη μεθανόλη, είτε θερμοκαταλυτικά είτε μέσω βιο-επεξεργασίας. Για εμπορικούς σκοπούς, η μεθανόλη παράγεται κυρίως μέσω καταλυτικής διεργασίας αναμόρφωσης του φυσικού αερίου με ατμό. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης σε μέτρια θερμοκρασία, υπό πίεση και παρουσία μεταλλικού καταλύτη μετατρέπεται σε ακατέργαστη μεθανόλη. Όταν η μεθανόλη παράγεται από βιομάζα ή CO<sub>2</sub>, η συνολική ενεργειακή αλυσίδα μπορεί να θεωρηθεί ουδέτερη ως προς την εκπομπή αερίων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδίου θα μπορούσε να αποτελέσει μία σημαντικότερη εναλλακτική λύση στον τομέα μεταφορών παγκοσμίως σε έναν κόσμο με περιορισμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης η βιομάζα είναι μία καθαρή και ευρέως διαθέσιμη, τόσο σήμερα όσο και στο μέλλον, ενεργειακή πηγή και για το λόγο αυτό αναμένεται να παίξει σημαντικό ρόλο στη μετάβαση προς την οικονομία του υδρογόνου μέσω της παραγωγής βιοκαυσίμων. Καθώς ένα μεγάλο πλήθος βιοκαυσίμων είναι δυνατό να παραχθεί από αυτή την καθαρή μορφή ενέργειας, πολλές συγκριτικές μελέτες έχουν διεξαχθεί για την εξεύρεση του καταλληλότερου βιοκαυσίμου από άποψη απόδοσης και κόστους της διεργασίας παραγωγής του, καθώς και ευκολίας αποθήκευσης, μεταφοράς και χρήσης του σε συσκευές παραγωγής ενέργειας, όπως οι κυψελίδες καυσίμου. Συγκριτικά με άλλα καύσιμα η μεθανόλη είναι πιο φτηνή όσον αφορά το κόστος παραγωγής της, με τη μεγαλύτερη απόδοση καυσίμου.

Τέλος, κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθανόλης που μπορούν στο άμεσο μέλλον να την φέρουν σε θέση να αντικαταστήσει το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι τα εξής: Η μεθανόλη είναι ένα συνθετικό καύσιμο, δηλαδή δεν περιέχει στη σύνθεσή της θείο. Αυτό είναι σημαντικό καθώς όταν πρόκειται για αναμόρφωση του καυσίμου, το σύστημα δεν χρειάζεται μονάδα αποθείωσης ούτε καταλύτες που να έχουν υψηλή αντοχή στο θείο. Η μεθανόλη είναι αναμίξιμη με το νερό, το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά το χειρισμό του καυσίμου στο σύστημα. Λόγω του ότι η μεθανόλη μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο σε χαμηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με το μεθάνιο με αποτέλεσμα να οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα σχηματισμού CO. κ.α.

### 3. Δύλιση Αργού Πετρελαίου

Εικόνα 3: «Διυλιστήριο», Πηγή: The cities and newspaper, 2013, ίδια επεξεργασία



#### **3.1 Γενικά**

Το πετρέλαιο αντλείται από τις πετρελαιοπηγές, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται στο υπέδαφος ή κάτω από τη θάλασσα. Η άντληση γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις με διάφορες τεχνικές. Χάρη στις σύγχρονες τεχνικές, έχουν πραγματοποιηθεί γεωτρήσεις μέχρι βάθους 12.000 μέτρων (Μουρμάνση – ΒΔ Ρωσία). Στη συνέχεια, με ειδικούς αγωγούς ή με ειδικά διαμορφωμένα πλοία, που λέγονται δεξαμενόπλοια ή τάνκερ, μεταφέρεται στα διυλιστήρια όπου υποβάλλεται στη διαδικασία της δύλισης.

Αρχικά το πετρέλαιο υφίσταται ειδική επεξεργασία για την απομάκρυνση των προσμίξεων του θείου που περιέχει. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αποθειώση. Κατόπιν, με ειδικούς σωλήνες οδηγείται στην αποστακτική στήλη όπου χωρίζεται σε διάφορα κλάσματα. Τα αποστακτικά κλάσματα είναι μίγματα διαφόρων υδρογονανθράκων παραπλήσιου σημείου ζέσης. Αποτελούν μαζί με το πετρέλαιο τα πετρελαιοειδή ή τα πρωτογενή προϊόντα του πετρελαίου. Περαιτέρω, τα αποστακτικά κλάσματα υποβάλλονται σε ποικίλους χημικούς μετασχηματισμούς με σκοπό την παραγωγή προϊόντων που να ικανοποιούν την κατανάλωση τα οποία θα αναφερθούν

παρακάτω. Πρωτογενή προϊόντα πετρελαίου είναι τα υγραέρια, τα καύσιμα των αυτοκινήτων, το πετρέλαιο κίνησης, τα λιπαντικά και η άσφαλτος.

Με τα πρωτογενή προϊόντα του πετρελαίου ασχολείται ένας ολόκληρος κλάδος της Χημείας, η πετροχημεία, και μας δίδουν μια σειρά δευτερογενών προϊόντων (αιθυλική αλκοόλη, αιθυλένιο κ.λπ.) τα οποία αποτελούν τη βάση για τη παραγωγή των τριτογενών προϊόντων του πετρελαίου που είναι τα πολυμερή, τα πλαστικά, τα λιπαντικά, τα φάρμακα κ.α..

### 3.2 Προϊόντα Μονάδας Απόσταξης Πετρελαίου

Με αύξουσα σειρά περιοχής βρασμού, τα κύρια προϊόντα από έναν πύργο απόσταξης αργού πετρελαίου είναι τα ακόλουθα (βλ. Εικόνα 4):



- Αέριο καύσιμο ( fuel gas). Το αέριο καύσιμο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και αιθάνιο. Σε μερικά διυλιστήρια, όσο προπάνιο δε μπορεί να πωληθεί ως LPG συμπεριλαμβάνεται στο αέριο καύσιμο. Το αέριο αυτό αναφέρεται επίσης ως «ξηρό αέριο» (dry gas).
- Υγρό αέριο (wet gas). Το υγρό αέριο περιλαμβάνει προπάνιο και βουτάνιο, αλλά και μεθάνιο και αιθάνιο. Το προπάνιο και τα βουτάνια διαχωρίζονται για να χρησιμοποιηθούν ως LPG και, στην περίπτωση των βουτανίων ως συστατικό ανάμιξης βενζίνης και ως τροφοδοσία μονάδων αλκυλίωσης.

- Ελαφριά νάφθα (LSR naphtha). Η σταθεροποιημένη ελαφριά νάφθα αποθειώνεται και είτε χρησιμοποιείται ως έχει ως συστατικό βενζίνης, ή επεξεργάζεται σε μονάδα ισομερισμού για αύξηση του αριθμού οκτανίου.
- Βαριά νάφθα (HSR naphtha). Τα κλάσματα νάφθας χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία μονάδων καταλυτικής αναμόρφωσης για την παραγωγή συστατικών υψηλού αριθμού οκτανίου και αρωματικών υδρογονανθράκων.
- Κηροζίνη (kerosene). Η κηροζίνη αφού υποστεί γλύκανση (μετατροπή μερκαπτανών σε δισουλφίδια), ή αποθείωση χρησιμοποιείται ως καύσιμο αεροπορίας (jet) ή ως συστατικό ανάμιξης Diesel.
- Gasoil. Το ελαφρύ, το βαρύ gasoil αφού αποθειωθούν αναμιγνύονται σε κατάλληλες αναλογίες προς παραγωγή Diesel κίνησης και πετρελαίου θέρμανσης. Τα gasoil κενού τροφοδοτούνται σε μονάδες καταλυτικής πυρόλυσης και υδρογονοπυρόλυσης με στόχο την παραγωγή βενζίνης, jet και Diesel. Τα gasoil κενού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως τροφοδοσία μονάδων παραγωγής λιπαντικών ελαίων.
- Υπόλειμμα (residuum). Το υπόλειμμα της στήλης απόσταξης υπό κενό μπορεί να υποστεί επεξεργασία σε μονάδες ιξωδόλυσης, εξανθράκωσης ή απασφάλτωσης προς παραγωγή μαζούτ και πυρολυμένων ελαφρών κλασμάτων (κυρίως gasoil). Σε περίπτωση αργού πετρελαίου κατάλληλου για άσφαλτο το υπόλειμμα μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία προς παραγωγή ασφάλτων οδοποιίας ή στεγανοποιήσεων.

## 4. Κανονισμοί Αερίων Ρύπων Στη Ναυτιλία

### 4.1 International Maritime Organization (IMO)

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO) είναι ένας οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών ο οποίος επιβλέπει την σωστή και ασφαλή επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των χωρών- μελών του στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Ιδρύθηκε επισήμως στη διεθνή διάσκεψη της Γενεύης το 1948 και δραστηριοποιήθηκε το 1958, όταν άρχισε να ισχύει η σύμβαση του. Η αρχικά ονομασία του ήταν Διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Συμβουλευτικός Οργανισμός (Inter- Governmental Maritime Consultative Organization, IMCO) αλλά η ονομασία του άλλαξε το 1982. Ο IMO επί του παρόντος αριθμεί 167 κράτη μέλη και 3 συνεργαζόμενα μέλη.

Οι κανονισμοί του IMO ως προς την μόλυνση της θάλασσας περιέχονται στη διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (International Convention on the Prevention of Pollution from Ships), γνωστή ως MARPOL 73/78 η οποία είναι σύντμηση των λέξεων marine pollution (ναυτιλιακή ρύπανση). Στις 27 Σεπτεμβρίου του 1997 η σύμβαση της MARPOL τροποποιήθηκε από το «Πρωτόκολλο του 1997» το οποίο περιλαμβάνει το παράστημα VI με τίτλο: «Κανονισμοί για την Πρόληψη της Ρύπανσης του Αέρα από τα Πλοία». Το παράρτημα αυτό θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NOx) και του Θείου (S<sub>ox</sub>) από τα καυσαέρια των πλοίων και απαγορεύει σκόπιμη εκπομπή ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος.

Τα πρότυπα εκπομπών του IMO, συνήθως αναφέρονται ως πρότυπα Tier I-III. Τα πρότυπα του Tier I, ορίστηκαν στην έκδοση του 1997 του παραρτήματος VI, καθώς αυτά των Tier II/III, εισήχθηκαν στις τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που έγιναν το 2008, ως εξής:

- Πρωτόκολλο του 1997 (Tier I) – Το πρωτόκολλο του 1997 της MARPOL, το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI, τίθεται σε ισχύ 12 μήνες μετά την αποδοχή του από 15 κράτη με όχι λιγότερο από το 50% της χωρητικότητας της παγκόσμιας εμπορικής ναυτιλίας. Στις 18 Μαΐου του 2004, η Σαμόα καταθέτει την επικύρωσή της ως το 15<sup>ο</sup> κράτος (ακολουθώντας τα κράτη: Βανουάτου, Γερμανία, Δανία, Δημοκρατία της Λιβερίας, Ελλάδα, Ισπανία, Μπαγκλαντές, Μπαρμπάντος, Μπαχάμες, Νησιά Μάρσαλ, Νορβηγία, Παναμά, Σιγκαπούρη και Σουηδία). Την ημερομηνία εκείνη, το παράρτημα VI επικυρώθηκε από κράτη με το 54,57% της χωρητικότητας της παγκόσμιας εμπορικής ναυτιλίας. Κατά συνέπεια, το παράρτημα VI τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005. Ισχύει αναδρομικά σε καινούργιου κινητήρες μεγαλύτερους από 130 kW σε σκάφη που κατασκευάστηκαν μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2000, ή που υποβάλλονται σε σημαντική μετασκευή από το Μάιο του 2005 και μετά. Ο κανονισμός αυτός ισχύει και για σταθερές ή πλωτές εξέδρες και για εξέδρες εξόρυξης (εκτός από τις εκπομπές που είναι συνδεδεμένες άμεσα με την εξερεύνηση και / ή το χειρισμό μετάλλων του θαλάσσιου βυθού. Εν αναμονή της επικύρωσης του παραρτήματος VI, οι περισσότεροι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων, κατασκεύαζαν κινητήρες συμβατικούς με τους κανονισμούς αυτούς, από το 2000.



- Τροποποιήσεις του 2008 (Tier II/III) – Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που υιοθετήθηκαν το 2008 εισήγαγαν νέες απαιτήσεις για την ποιότητα των καυσίμων, με αφετηρία τον Ιούλιο του 2010, για τις εκπομπές οξειδίων του Αζώτου για τις καινούργιες μηχανές και τις απαιτήσεις του Tier I για τις μηχανές που είχαν κατασκευαστεί πριν το 2000.

Το αναθεωρημένο παράρτημα VI τίθεται σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2010. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2007, το παράρτημα VI είχε επικυρωθεί από 53 κράτη (συμπεριλαμβανομένων και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής), αντιπροσωπεύοντας το 81,88% της παγκόσμιας χωρητικότητας.

#### **4.2 Marine Environmental Protection Committee, MEPC, 58<sup>η</sup>**

##### **Σύνοδος**

Η επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee, MEPC) στην 58<sup>η</sup> σύνοδό της που έλαβε χώρα μεταξύ 6-10 Οκτωβρίου 2008 ενέκρινε ομόφωνα τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL κανονισμούς για τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία.

Οι κύριες αλλαγές στο παράρτημα VI της MARPOL θα οδηγήσουν σε μια σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (Sox) από τα πλοία, με το παγκόσμιο ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο να μειώνεται αρχικά στο 3,50% (από το σημερινό 4,50%), που ισχύει από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2012 και στη συνέχεια σταδιακά στο 0,50% που θα ισχύει από 1 Ιανουαρίου 2020 με εναλλακτική ημερομηνία το 2025. Τα όρια αυτά υπόκεινται σε επανεξέταση σκοπιμότητας που θα ολοκληρωθεί το αργότερο το 2018.

Τα όρια που ισχύουν σε περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου (Emission Control Areas, ECAs) αλλά και εντός των λιμένων της ευρωπαϊκής ένωσης μειώθηκαν στο 1,0%, αρχής γενομένης από την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2010 (προηγούμενο όριο το 1,5%). Ενώ, πρόκειται να μειωθεί περαιτέρω στο 0,1% από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2015 (βλ. Εικόνα5).

Επιπλέον, συμφωνήθηκε προοδευτική μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) από τους κινητήρες πλοίων. Με πιο αυστηρούς ελέγχους στα λεγόμενα «Tier III» που αφορούν στους κινητήρες, δηλαδή εκείνους σε πλοία τα οποία κατασκευάστηκαν την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2016 και που λειτουργούν σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών.

Εικόνα 5: «Πρότυπα ορίων θείου», Πηγή: UK.pia, 2012, ίδια επεξεργασία

<b>Date</b>	<b>EU</b>	<b>IMO Marpol Annex VI</b>
1 <sup>st</sup> Jan 2010	SCMF- Vessels at Berth - 0.10 mass % S in all EU ports	Global Marine 4.50 mass % S
1 <sup>st</sup> July 2010		ECA's 1.00 mass % S (Emission Control Areas)
1 <sup>st</sup> Jan 2011	FQD – Inland waterways max 10ppm S	
1 <sup>st</sup> Jan 2012		Global Marine 3.50 mass % S
1 <sup>st</sup> Jan 2015		ECA's 0.10 mass % S (i.e. Gas Oil?)
1 <sup>st</sup> Jan 2020		All marine 0.50 mass % S (subject to review 2018 which could defer to 2025)

### **4.3 Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα όρια θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα**

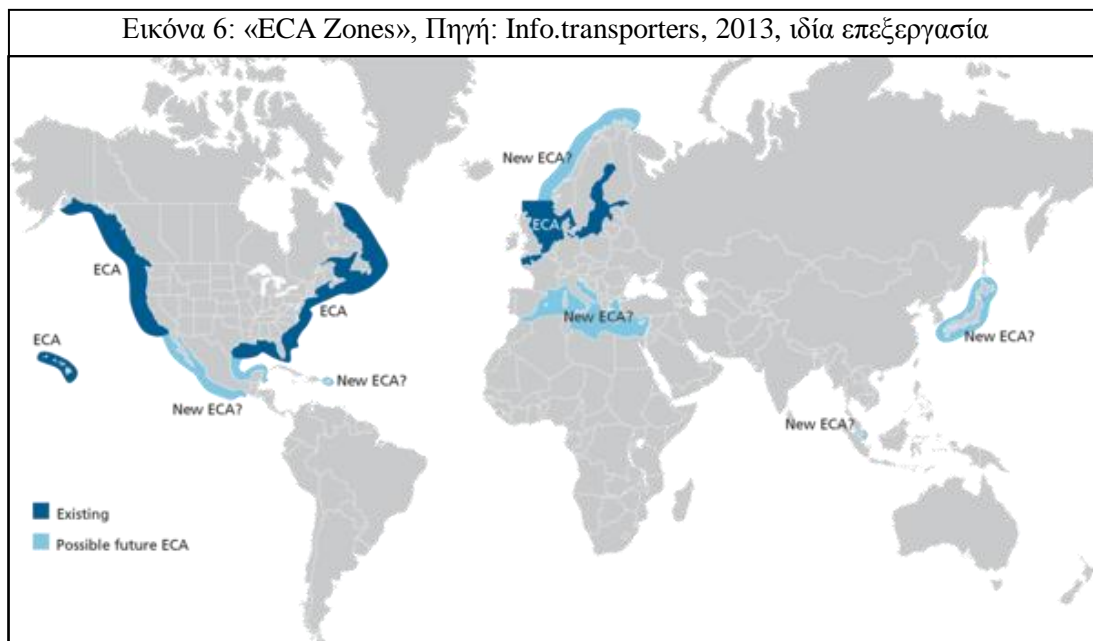
Με αυτή την οδηγία η ευρωπαϊκή επιτροπή έχει θέσει σε ισχύ την νομοθεσία ΕΕ 2005/33 σε συνδυασμό με την 1999/32. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία εφαρμόζεται σε πλοία που συναλλάσσονται μεταξύ των ευρωπαϊκών λιμένων και των πλοίων που φέρουν τη σημαία ενός ευρωπαϊκού κράτους μέλους. Και οι δύο κανονισμοί ορίζουν τα πρότυπα για τους ιδιοκτήτες τους προμηθευτές καυσίμων και των πληρωμάτων των πλοίων.

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία μπορεί να επηρεάσει την ναυτιλία σε σημαντικό βαθμό κυρίως λόγω του παγκοσμίου χαρακτήρα της, καθώς τους παραπάνω κανονισμούς πρέπει να ακολουθούν και όλα τα πλοία τα οποία προσεγγίζουν ευρωπαϊκά λιμάνια ανεξαρτήτως σημαίας.

Η ευρωπαϊκή επιτροπή έχει θεσπίσει νέες απαιτήσεις για την ποιότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται στα πλοία. Οι οδηγίες ορίζουν πανομοιότυπα όρια με αυτά των ECA's όπως έχει ήδη εφαρμοστεί με το παράρτημα της με μόνη διαφορά την ημερομηνία εφαρμογής.

Από 1<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2010 επιπλέον οδηγία της ΕΕ ορίζει νέα όρια στα ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα πλοία που πρόκειται να ελλιμενιστούν σε ευρωπαϊκά λιμάνια. Αυτή ορίζει καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο όχι μεγαλύτερο του 0,1%. Αυτό επηρεάζει όλα τα πλοία ανεξαρτήτως σημαίας με τις παρακάτω εξαιρέσεις: 1) Πλοία που παραμένουν στο λιμάνι για λιγότερο από 2 ώρες σύμφωνα με το πρόγραμμα που δημοσιεύεται. 2) Πλοία που δεν χρησιμοποιούν τις κύριες μηχανές καθ' όσο βρίσκονται στο λιμάνι και τροφοδοτούνται από την ξηρά (cold ironing)

#### 4.4 Emission Control Areas, (ECA's)



Ως περιοχή ελέγχου εκπομπών ορίζεται μια θαλάσσια περιοχή που μπορεί να περιλαμβάνει και λιμάνι και θέτει περιορισμούς στις εκπομπές αερίων ρύπων (οξειδία του θείου (Sox) και οξειδία του αζώτου (NOx)). Η περιοχή ελέγχου εκπομπών θείου και των οξειδίων του είναι γνωστή ως SECA (Sulphur Emission Control Area) Οι υφιστάμενες περιοχές ελέγχου των εκπομπών περιλαμβάνουν:

- Τη Βαλτική Θάλασσα (SO<sub>x</sub>, όπου εγκρίθηκαν το: 1997 / με έναρξη ισχύος το: 2005)
- Τη Βόρεια Θάλασσα (SO<sub>x</sub>, 2005/2006)
- Τη Βόρεια Αμερική (ECA), συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων από τις περιοχές των ΗΠΑ και την ακτή του Καναδά (NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>, 2010/2012)
- Την περιοχή της Καραϊβικής των ΗΠΑ (ECA), συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων (NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub>, 2011/2014)
- Το λιμάνι του Long Beach, όπου έχει δεδηλωμένο στόχο να παρέχει ηλεκτρική υποδομή για επίγεια πηγή ισχύος

#### **4.5 Οξείδια του Θείου, Sox**

Ο ΙΜΟ μέσω του παραρτήματος VI της MARPOL όρισε για πρώτη φορά τις περιοχές ECA. Αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο εκπομπών οξειδίων του θείου από τα πλοία θα ελέγχεται ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης των εκπομπών. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο τα πλοία είτε να χρησιμοποιούν καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (άμεση σχέση περιεκτικότητας θείου με τα οξείδια που παράγονται με την καύση), είτε να εξοπλίσουν τα πλοία τους με ειδικές κατασκευές κινητήρων (Scrubbers) οι οποίες θα λειτουργούν σαν φίλτρα-καταλύτες ώστε η ποσότητα οξειδίων του θείου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα να ικανοποιεί τους κανονισμούς.

#### **4.6 Οξείδια του Αζώτου, NOx**

Τα όρια εκπομπών οξειδίων του Αζώτου για τους κινητήρες Diesel προκύπτουν ανάλογα με την ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα (σε στροφές ανά λεπτό, rpm). Τα όρια καθορίζονται από τα αντίστοιχα Tier. Τα Tier I και Tier II αναφέρονται στο παγκόσμιο όριο ενώ τα πρότυπα που ορίζει το Tier ισχύει μόνο για περιοχές ελέγχου εκπομπών.

Τα πρότυπα Tier II αναμένεται να καλυφθούν από τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας καύσης. Οι παράμετροι που εξετάζονται από τους κατασκευαστές κινητήρων περιλαμβάνουν τον χρονισμό έγχυσης καυσίμου, την πίεση, και το ποσοστό των καυσίμων στην περιοχή ακροφυσίου, τον χρονισμό των βαλβίδων εξάτμισης, και τον όγκο κυλίνδρου συμπίεσης.

Τα πρότυπα Tier III αναμένεται να απαιτούν αποκλειστικά τεχνολογίες ελέγχου των εκπομπών, όπως οι διάφορες μορφές επαγωγής νερού στη διαδικασία καύσης (στα καύσιμα, στον αέρα σαρώσεως ή μέσα στον κύλινδρο), ανακύκλωση καυσαερίων ή επιλεκτική καταλυτική μείωση.

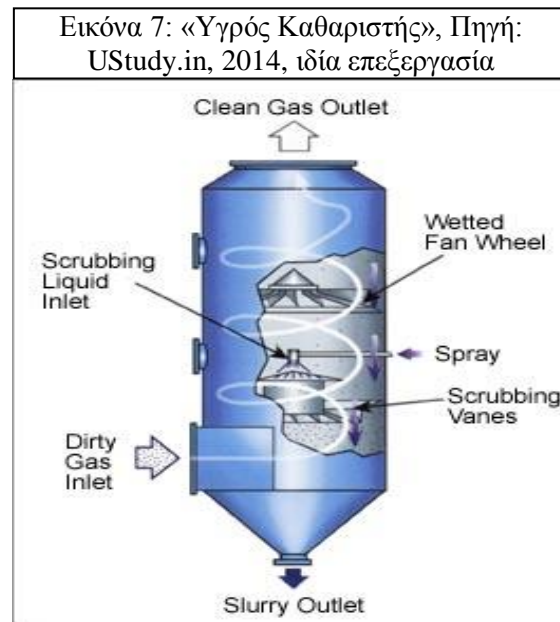
## **5. Συστήματα καθαρισμού εξαγωγής καυσαερίων (Scrubbers)**

### **5.1 Ορισμός Scrubber**

Ο καθαριστής-(Scrubber), είναι ένα σύστημα ελέγχου και αποτροπής της μόλυνσης του αέρα το οποίο χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει μεγάλο μέρος των σωματιδίων ή και των αερίων που προκαλούν μόλυνση του περιβάλλοντος ή ανθρώπινες ασθένειες, από τα καυσαέρια των εργοστασίων και όχι μόνο. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται είτε με φυσικό, είτε με χημικό τρόπο. Η ονομασία του προέρχεται από το αγγλικό ρήμα «scrub» που σημαίνει «τρίβω». Παραδοσιακά, ο όρος scrubber αναφέρεται στις συσκευές που χρησιμοποιούν υγρό για να καθαρίσουν ανεπιθύμητα αέρια από τα καυσαέρια των μηχανών. Τα τελευταία χρόνια ο όρος χρησιμοποιείται επίσης και για την περιγραφή συστημάτων που εμβάλλουν στερεό ή μεγάλης πυκνότητας υγρό υλικό το οποίο αντιδρά με τα αέρια αυτά και δεν τους επιτρέπει να διοχετευτούν στην ατμόσφαιρα. Τα scrubbers είναι από τα κυρίαρχα συστήματα αποτροπής της απελευθέρωσης μολυσματικών αερίων, ειδικά όξινων, στο περιβάλλον. Ο κυριότερος λόγος είναι για την απομάκρυνση του διοξειδίου του θείου από τα καυσαέρια. Σε αυτήν την περίπτωση τα scrubbers συχνά καλούνται και συσκευές αποθείωσης καυσαερίων ( Flue Gas Desulfurization- FGD).

## 5.2 Είδη Scrubbers

### 5.2.1 Υγρός καθαριστής-(Wet scrubber)



Σε αυτόν τον τύπο scrubber χρησιμοποιείται υγρό το οποίο ψεκάζεται στα καυσαέρια. Το υγρό αυτό έρχεται σε άμεση επαφή με τα καυσαέρια με αποτέλεσμα τα μολυσματικά αέρια και σωματίδια να διαλυθούν ή να διοχετευτούν μέσα σε αυτό. Η διαδικασία υγρής απορρόφησης περιλαμβάνει διοχέτευση φύλλων υγρού, φουσκάλων και σταγόνων. Με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα λασποειδές απόβλητο. Τα περισσότερα συστήματα υγρής αποθείωσης χρησιμοποιούν σβησμένη άσβεστο (υδροξείδιο του ασβεστίου) ή αλκαλικά παχύρευστα υγρά που περιέχουν ασβεστόλιθο.

Η αντίδραση των παραπάνω με τα οξείδια του θείου επιφέρει θειικό ασβέστιο και θειώδες ασβέστιο. Το υλικό που εισάγεται είτε χρειάζεται περισσότερη διεργασία, είτε όταν οξειδωθεί, παράγει υποπροϊόν γύψου το οποίο μπορεί να πωληθεί. Τα υγρά scrubbers μπορούν να συμβάλουν σε πολύ ικανοποιητική απομάκρυνση των όξινων αερίων, και διοξειδίου του θείου, καθώς και των λεπτών σωματιδίων και των βαρέων μετάλλων. Ορισμένα πλεονεκτήματα των υγρών scrubbers είναι ότι έχουν μικρές απαιτήσεις χώρου, χαμηλό αρχικό κόστος και μπορούν να επεξεργαστούν καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας, οξύτητας και πυκνότητας.

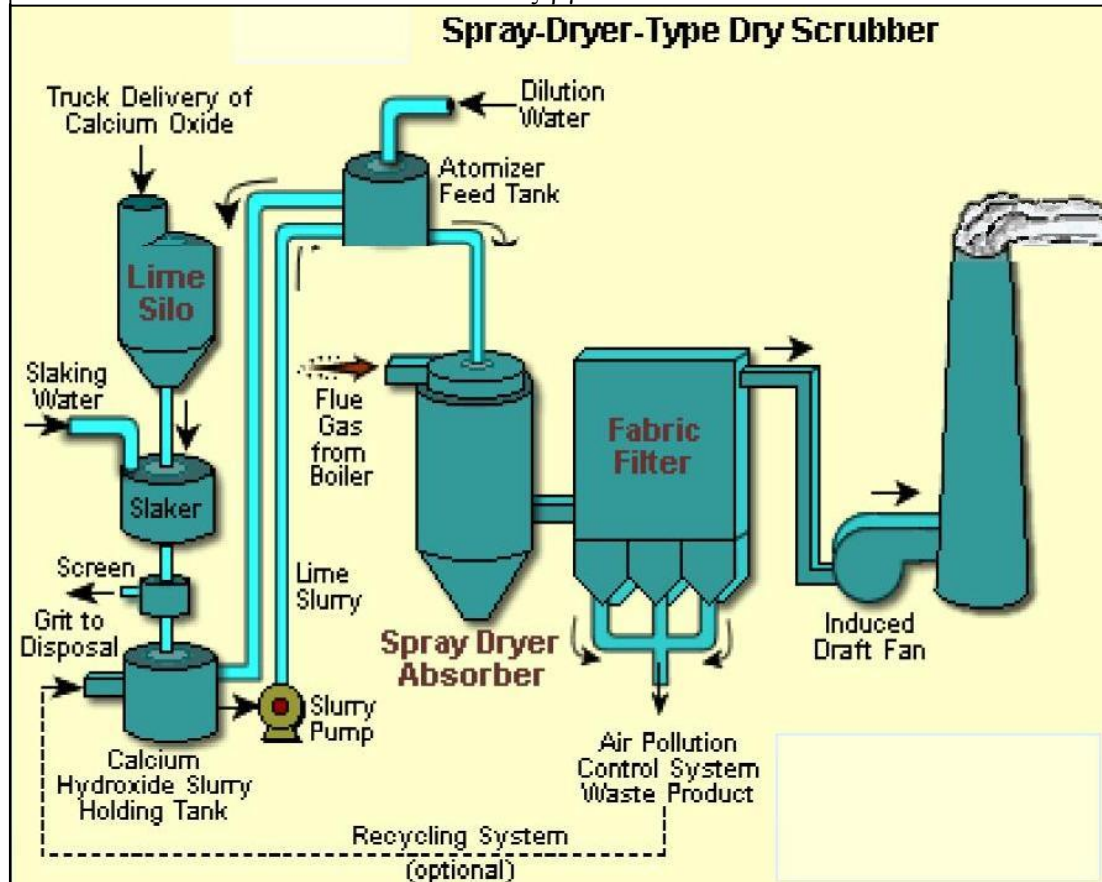
Το κόστος τους, μειώνεται καθώς προσφέρουν καινοτόμες ιδέες επάνω στο σύστημα των υγρών καθαριστών. Τέλος έχει παρατηρηθεί, πως από τον πιο παλιό μέχρι τον πιο καινούργιο υγρό καθαριστή ότι επιτυγχάνουν 95% μείωση της περιεκτικότητας σε θείο των καυσαερίων, με μερικούς καθαριστές να φτάνουν το 99%. Επίσης έχει παρατηρηθεί πως και για τους υγρούς και για τους ξηρούς ότι έχουν τη δυνατότητα μείωσης της εκπομπής υδροχλωρικού οξέος κατά 95%, χλωρίου κατά 87-94% και φθορίου κατά 43-97%, καθώς και οι υγροί πετυχαίνουν υψηλή μείωση του αρσενικού, βηρυλλίου, καδμίου, χρωμίου, μολύβδου, μαγνησίου και υδραργύρου.

#### 5.2.2 Άνυδρος- Ξηρός Καθαριστής(Dry scrubber)

Τα ξηρά συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων στηρίζονται στη χρήση ξηρών αντιδρώντων. Η διαδικασία χρησιμοποιεί υδροξείδιο του Ασβεστίου στη μορφή σφαιριδίων. Τα σφαιρίδια φορτώνονται στο πλοίο και αποθηκεύονται σαν φορτίο χύδην. Όταν το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία, τα σφαιρίδια τροφοδοτούνται μέσω μεταφορικού ιμάντα σε ένα ξηρό αντιδραστήρα ή απορροφητή από όπου περνούν τα καυσαέρια. Τα οξείδια του θείου αντιδρούν χημικά με τα σφαιρίδια και παράγουν γύψο ( $\text{CaSO}_4$ ) και νερό. Ο γύψος αφαιρείται από τον πάτο του απορροφητή από ένα μεταφορέα εκκενώσεως και αποθηκεύεται για μεταγενέστερη εκφόρτωση.

Το καυσαέριο οδηγείται από τον απορροφητή σε έναν αντιδραστήρα SCR όπου τα οξείδια του Αζώτου απομακρύνονται χημικά με την έγχυση αμμωνίας ή ουρίας. Ένας φυσστήρας μεγάλου όγκου στην έξοδο του αντιδραστήρα SCR διοχετεύει το καυσαέριο στο σύστημα, μειώνοντας την αντίθλιψη στην έξοδο καυσαερίου της μηχανής.

Εικόνα 8: «Σύστημα Ξηρού Καθαριστή», Πηγή: E&J Trading CO LTD, 2009, ίδια επεξεργασία



Πλεονεκτήματα των ξηρών συστημάτων:

- Τα συστήματα αυτά δεν παράγουν υγρά απόβλητα για αποβολή στη θάλασσα.
- Τα ξηρά συστήματα μειώνουν αποτελεσματικά την εκπομπή οξειδίων του Αζώτου

Μειονεκτήματα των ξηρών συστημάτων:

- Το πλοίο πρέπει να διαθέτει δεξαμενές για τα χύδην ξηρά αντιδρώντα, αλλά και για τις προμήθειες υλικών
- Αυξημένο λειτουργικό κόστος λόγω της χρήσης της ουρίας για την μείωση των οξειδίων του Αζώτου, υδροξειδίου του Ασβεστίου, και των οξειδίων του θείου



## **5.3 Scrubbers στη Ναυτιλία**

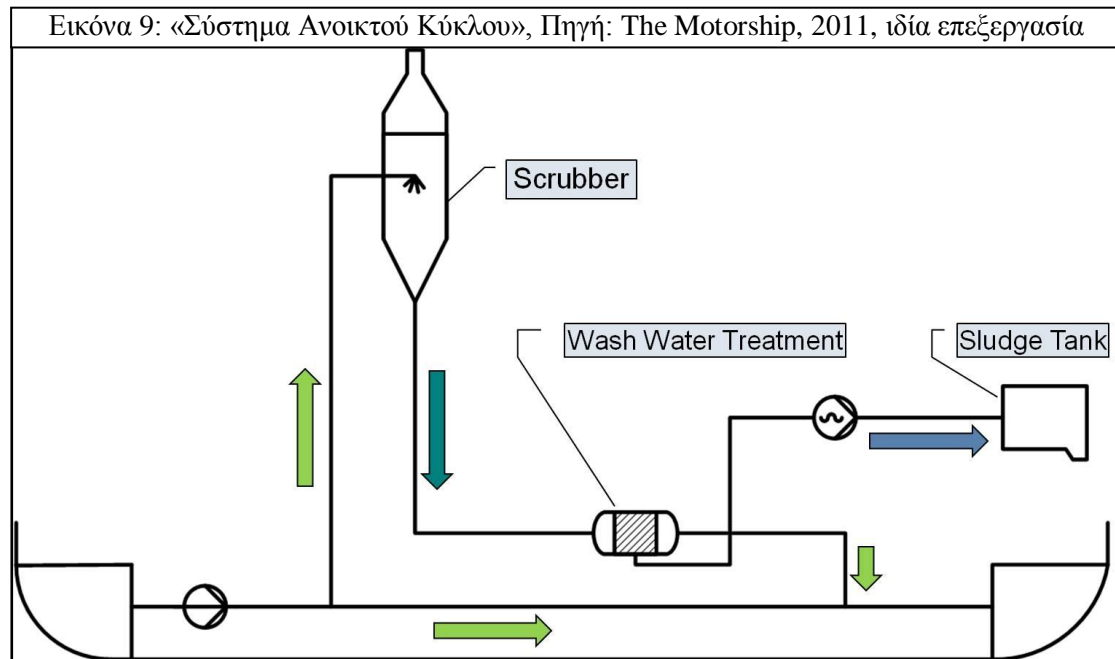
### *5.3.1 Σύστημα Ανοικτού Κύκλου (Open Loop System)*

Ένα σύστημα ανοικτού κύκλου στηρίζεται εξ' ολοκλήρου στη χρήση του περιβάλλοντος θαλασσινού νερού για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Ο όρος «ανοικτός κύκλος» χρησιμοποιείται καθώς το νερό που απορροφάται από τη θάλασσα, εκκενώνεται στο σύνολό του μετά το πέρασμά του από το σύστημα. Η διαδικασία στηρίζεται στη φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, η οποία διευκολύνει τον καθαρισμό των διοξειδίων του θείου.

Σε αυτή τη διαδικασία, απορροφάται νερό κάτω από την ίσαλο πλευσης και αντλείται σε ένα scrubber τοποθετημένο στην εισαγωγή της καπνοδόχου του πλοίου. Το scrubber είναι μια παθητική μηχανή η οποία φέρνει το νερό σε άμεση επαφή με το καυσαέριο. Εσωτερικά διαφράγματα διαχωρίζουν το scrubber σε διάφορα στάδια, κάθε ένα από αυτά, προκαλεί διαφορετικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του νερού και του καυσαερίου. Θαλασσινό νερό εισάγεται κοντά στην κορυφή μέσω ειδικών ακροφυσίων και ρέει προς τον πυθμένα περνώντας διάφορα στάδια.

Κατά την έξοδό του από το scrubber, το νερό πρέπει να επεξεργαστεί πριν εκκενωθεί στη θάλασσα. Το νερό είτε αντλείται, είτε στραγγίζεται μέσω βαρύτητας σε ένα κυκλωνικό διαχωριστή, ακόμα μια παθητική συσκευή η οποία στηρίζεται σε διαφράγματα που επιφέρουν την περιστροφή του νερού. Η περιστροφή αυτή, έχει ως αποτέλεσμα, τον κυκλωνικό διαχωρισμό του νερού από βαριά σωματίδια σε αυτό. Τα σωματίδια αυτά, κυρίως σε μορφή λάσπης από το περιβάλλον νερό, στραγγίζονται και το νερό είναι σε κατάλληλη κατάσταση να συνεχίσει την πορεία του.

Ένα δευτερεύον ρεύμα θαλασσινού νερού, το οποίο έχει παρακάμψει ολόκληρη τη διαδικασία καθαρισμού, αναμιγνύεται σε ίση ποσότητα με το νερό που εξέρχεται του κυκλωνικού διαχωριστή. Η ανάμιξη αραιώνει αποτελεσματικά το νερό, επαναφέροντας το pH σε αποδεκτά επίπεδα ώστε να μπορεί να επιστρέψει στη θάλασσα στις περισσότερες περιοχές του κόσμου.



Πλεονεκτήματα του συστήματος ανοικτού κύκλου:

- Η διαδικασία δεν απαιτεί επιβλαβή χημικά
- Το σύστημα αποτελείται από λιγότερα μέρη σε σχέση με τα άλλα συστήματα

Μειονεκτήματα του συστήματος ανοικτού κύκλου:

- Η λειτουργία σε γλυκό νερό, ή σε νερό υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να αναστείλει τον καθαρισμό των οξειδίων του θείου
- Η εκκένωση του λύματος με όξινο pH ενδέχεται να περιορίζεται σε κάποιες περιοχές, με αποτέλεσμα να απαιτείται αλλαγή με καύσιμο μικρής περιεκτικότητας σε θείο, ή ένα εναλλακτικό σύστημα καθαρισμού

### 5.3.2 Σύστημα Κλειστού Κύκλου (Closed Loop System)

Το σύστημα κλειστού κύκλου χρησιμοποιεί γλυκό νερό το οποίο επεξεργάζεται χημικά ώστε να είναι κατάλληλο για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Ο όρος «κλειστός κύκλος» χρησιμοποιείται καθώς το μεγαλύτερο μέρος του παράγοντα καθαρισμού επανακυκλοφορεί στο σύστημα με μηδαμινή πρόσληψη νερού και αποθήκευση των λυμάτων. Η χημική δοσολογία προστίθεται σε κατάλληλη ποσότητα ώστε να εξουδετερώνονται τα οξείδια του θείου των καυσαερίων.

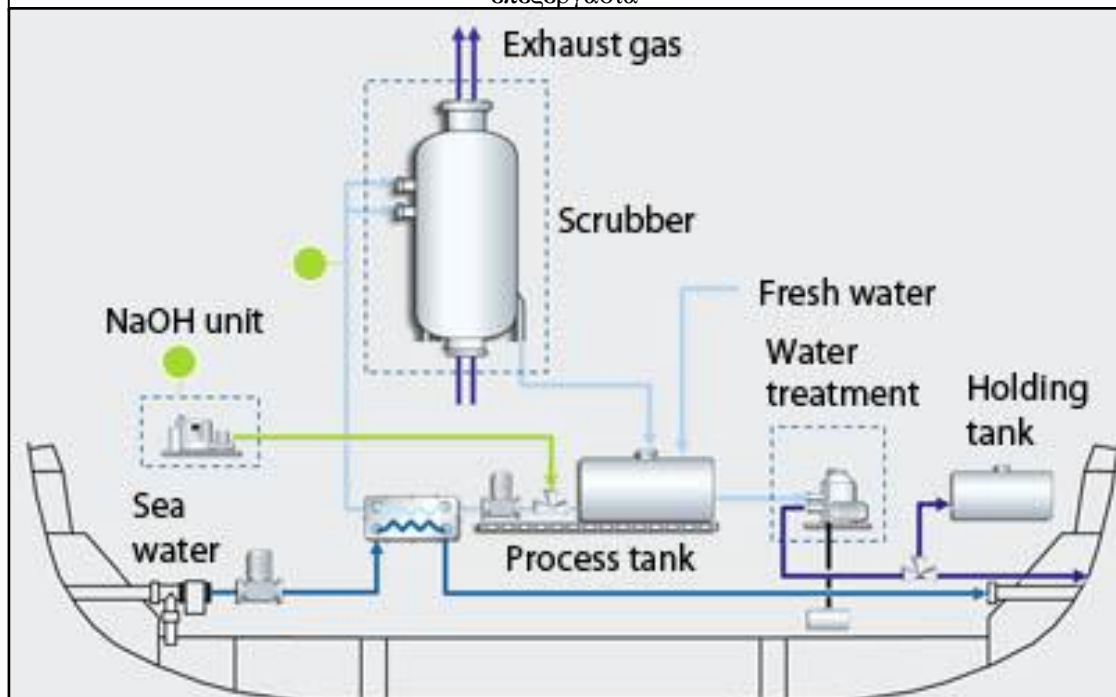
Γλυκό νερό με την προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου, αντλείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης στο scrubber. Το σύστημα λειτουργεί με την ίδια φιλοσοφία

με το σύστημα ανοικτού κύκλου, θέτοντας το καυσαέριο σε άμεση επαφή με το υγρό. Μετά τον καθαρισμό, το νερό επιστρέφει στη δεξαμενή. Ένας εναλλάκτης θερμότητας είτε θαλασσινού είτε γλυκού νερού, αντλεί θερμότητα από τον κλειστό κύκλο γλυκού νερού, με το θαλασσινό νερό να προμηθεύεται από μία ανεξάρτητη αντλία.

Καθώς η διαδικασία επαναλαμβάνεται, η χημική αντίδραση μεταξύ του υδροξειδίου του Νατρίου και των διοξειδίων του θείου, εξαντλεί τα αποθέματα του NaOH στο διάλυμα. Μια ειδική μονάδα εισάγει το NaOH στο ρυθμό που απαιτείται ώστε να διατηρείται το pH συνεχώς στα κατάλληλα επίπεδα στη μονάδα του scrubber. Για να καθαριστούν τα επιθυμητά προϊόντα της αντίδρασης, μια μικρή ροή νερού στραγγίζεται συνεχώς από τη δεξαμενή επεξεργασίας. Παράλληλα, νερό από τις δεξαμενές γλυκού ή πόσιμου νερού του πλοίου, προστίθεται στη δεξαμενή επεξεργασίας ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να παραμένει σταθερή. Το νερό που στραγγίζεται, οδηγείται σε κατάλληλη μονάδα επεξεργασίας.

Η μονάδα αυτή, είναι ένας μηχανοποιημένος φυγοκεντρικός διαχωριστής, παρόμοιος για τα συστήματα καυσίμων και λιπαντικών. Ο διαχωριστής εξάγει τα βαριά σωματίδια και καταθλίβει το νερό το οποίο οδηγείται στη θάλασσα σε πολύ μικρές ποσότητες (σε σχέση με τα συστήματα ανοικτού κύκλου) καθώς επίσης μπορεί να οδηγηθεί σε δεξαμενή αποθήκευσης ώστε να αποφευχθεί η αποβολή του σε λιμάνια.

Εικόνα 10: «Σύστημα Κλειστού Κύκλου», Πηγή: Maritime Propulsion, 2012, ίδια επεξεργασία



Πλεονεκτήματα συστημάτων κλειστού κύκλου:

- Έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε όλες τις περιοχές, ανεξάρτητα από την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού ή τη θερμοκρασία του
- Τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν στο πλοίο για όση διάρκεια επιτρέπει η δεξαμενή αποθήκευσης τους

Μειονεκτήματα συστημάτων κλειστού κύκλου:

- Αποτελείται από περισσότερα μέρη σε σχέση με το σύστημα ανοικτού κύκλου
- Η διαδικασία καθαρισμού απαιτεί συνεχή εφοδιασμό διαλύματος υδροξειδίου του Νατρίου, μίας επιβλαβούς ουσίας που απαιτεί έγκριση από τους κανονισμούς, για χρήση καυστικών χημικών

### 5.3.3 Υβριδικό Σύστημα-(Hybrid System)

Το υβριδικό σύστημα αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ανοικτού και κλειστού κύκλου. Το σύστημα αυτό μοιάζει με τον κλειστό κύκλο αλλά έχει επιπρόσθετα μέρη που μπορούν να καθιστούν την λειτουργία του και σαν του ανοικτού κύκλου. Το σχέδιο είναι να λειτουργεί σαν ανοικτού κύκλου εν πλω, χωρίς την χρήση απαραίτητων χημικών και σαν κλειστού κύκλου στο λιμάνι, λόγω της αποβολής λυμάτων για να είναι αντάξιος με τους διεθνείς κανονισμούς.

Τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν όλα τα μέρη των συστημάτων κλειστού κύκλου με βασική διαφορά την ύπαρξη δύο συσκευών επεξεργασίας του νερού. Καθώς τα συστήματα ανοικτού κύκλου απαιτούν 100% του νερού να υπόκειται σε φυγόκεντρο διαχωρισμό, είναι αναγκαία η ύπαρξη δεύτερης τέτοιας εγκατάστασης, η οποία θα είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί η μεγαλύτερη ροή νερού.

Για να γίνει η αλλαγή από τη λειτουργία ως κλειστού κύκλου σε ανοικτού, απαιτείται η αλλαγή στη λειτουργία ορισμένων μερών:

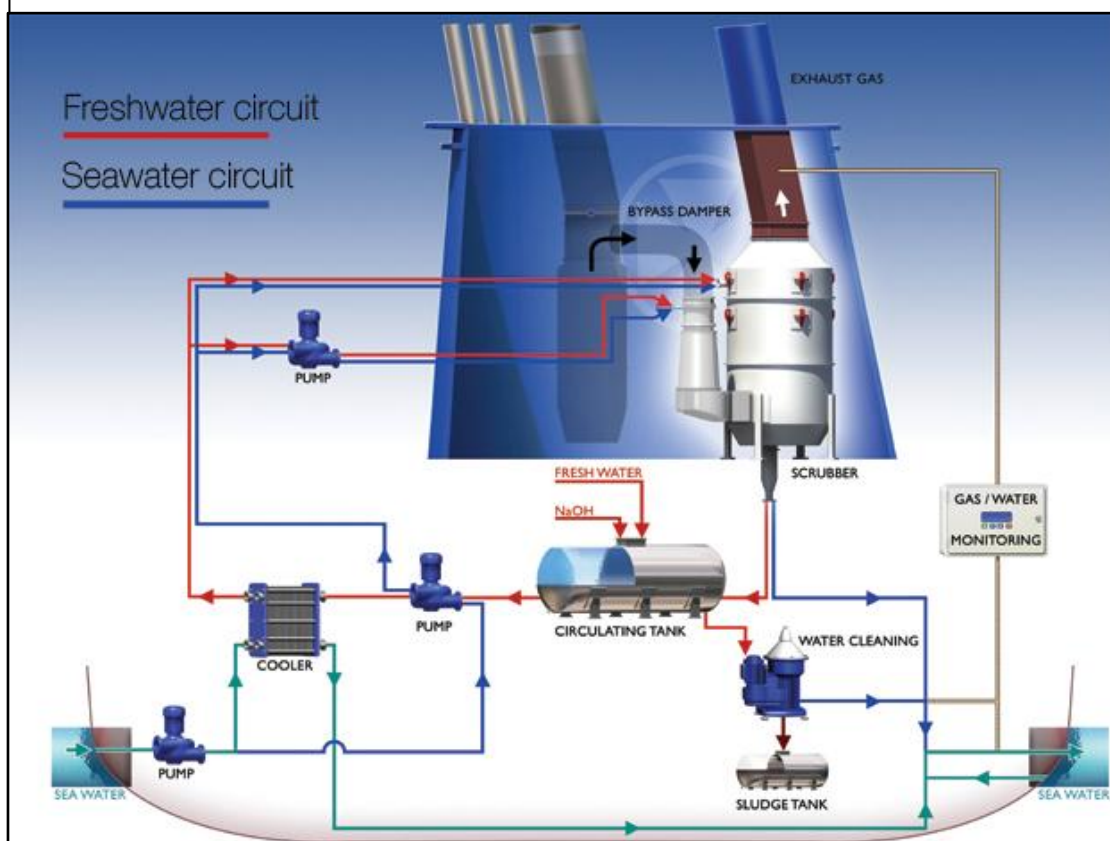
- Η αντλία που χρησιμοποιείται στο σύστημα κλειστού κύκλου ώστε να προμηθεύεται το νερό που χρησιμοποιεί ο εναλλάκτης θερμότητας για την ψύξη, μετατρέπεται στον προμηθευτή του νερού διάλυσης στο σύστημα ανοικτού κύκλου καθώς σε αυτό το σύστημα ο εναλλάκτης προσπερνάτε.

- Η αντλία που χρησιμοποιείται για να κυκλοφορεί το γλυκό νερό στα συστήματα κλειστού κύκλου, μετατρέπεται στην πηγή θαλασσινού νερού σε αυτό του ανοικτού κύκλου.

Η δυνατότητα εναλλαγής από σύστημα σε σύστημα, απαιτεί την αλλαγή από τον φυγοκεντρικό διαχωριστή μικρού όγκου, σε κυκλωνικό διαχωριστή μεγάλου όγκου. Κατά τα άλλα, η λειτουργία του συστήματος είναι ίδια με αυτή που περιγράφεται στα παραπάνω συστήματα.

Τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που περιγράφονται παραπάνω ισχύουν και σε αυτό το σύστημα. Ένα ακόμα μειονέκτημα του υβριδικού συστήματος, όμως, είναι ότι απαιτεί τα περισσότερα μέρη απ' όλα τα συστήματα υγρού καθαρισμού.

Εικόνα 11: «Υβριδικό Σύστημα», Πηγή: Alfa Laval Alborg, 2012, ίδια επεξεργασία



## **5.4 Βασικοί Παράμετροι**

### **5.4.1 Απόβλητα των scrubbers**

Μια παρενέργεια των scrubber είναι ότι μέσω των διαδικασιών που ακολουθούνται, οι ανεπιθύμητες ουσίες απομακρύνονται από τα καυσαέρια με τη μορφή υγρών

υποπροϊόντων, εξαιρετικά παχύρρευστων υποπροϊόντων ή με τη μορφή σκόνης. Τα υποπροϊόντα αυτά πρέπει να απορριφθούν με ασφάλεια, εάν δε μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν.

Για παράδειγμα, η αφαίρεση υδραργύρου από τα καυσαέρια, καταλήγει σε προϊόν το οποίο είτε χρειάζεται περαιτέρω κατεργασία για να εξαχθεί ο καθαρός υδράργυρος, ή πρέπει να θαφτεί σε ειδικές εκτάσεις υγειονομικής ταφής επικίνδυνων αποβλήτων όπου αποτρέπεται η απελευθέρωση του υδραργύρου στο περιβάλλον.

Σαν παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης, τα scrubbers που χρησιμοποιούν ασβεστόλιθο σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με τη χρήση άνθρακα, παράγουν ένα είδος γύψου με ικανοποιητική ποιότητα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή γυψοσανίδων, και άλλων προϊόντων.

#### 5.4.2 Εξάπλωση Βακτηρίων

Από τα scrubbers που είναι κακώς συντηρημένα είναι πιθανόν να εξαπλωθούν βακτήρια που προκαλούν ασθένειες. Το πρόβλημα αυτό είναι αποτέλεσμα ελλιπούς καθαρισμού. Σημαντικό παράδειγμα, η επιδημία που έπληξε τμήμα της Νορβηγίας το 2005 ήταν αποτέλεσμα μικρού αριθμού scrubbers που ήταν μολυσμένοι από θανατηφόρο βακτήριο. Από την επιδημία αυτή προκλήθηκαν δέκα θάνατοι και πάνω από πενήντα περιπτώσεις λοιμώξεων.

#### 5.4.3 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 επιτρέπετε 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 µg/L PAH<sub>phe</sub> –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%. 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 NOX από τα u954 καυσαέρια ή πάνω από 60 mg/l υπό κανονικές συνθήκες για ρυθμό εκκένωσης νερού απόπλυσης 45 t/MWh, όποιο είναι μεγαλύτερο.

## **5.5 SCR επιλεκτική καταλυτική αναγωγή**

Η μέθοδος της μετατροπής των επιβλαβών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) σε αβλαβείς αέριο αζώτου (N<sub>2</sub>) και νερού (H<sub>2</sub>O), γίνεται με τη βοήθεια μιας καταλυτικής αντίδρασης που ονομάζεται επιλεκτική καταλυτική μείωση-αναγωγή ή SCR. Ένα αναγωγικό αέριο, όπως τυπικά άνυδρη αμμωνία, υδατική αμμωνία ή ουρία, προστίθεται σε ένα ρεύμα καπναγωγού ή καυσαερίων και απορροφάται επί ενός

καταλύτη. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι ένα προϊόν αντίδρασης, όταν η ουρία χρησιμοποιείται ως αναγωγικό

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες SCR: η αμμωνία και το SCR υδρογονάνθρακα. Το SCR αμμωνίας είναι η πιο κοινή SCR με τη χρήση της ουρίας. Η αντίδραση είναι η συζήτηση της ουρίας σε αμμωνία. Η αμμωνία SCR χρειάζεται πρόσθετες δεξαμενές και σωστή δοσολογία και παρακολούθηση σε μονάδες. Ο υδρογονάνθρακας SCR δεν χρειάζεται πρόσθετες πηγές, αλλά δεν μπορεί να προσφέρει καλύτερη απόδοση όπως το διάλυμα αμμωνίας.

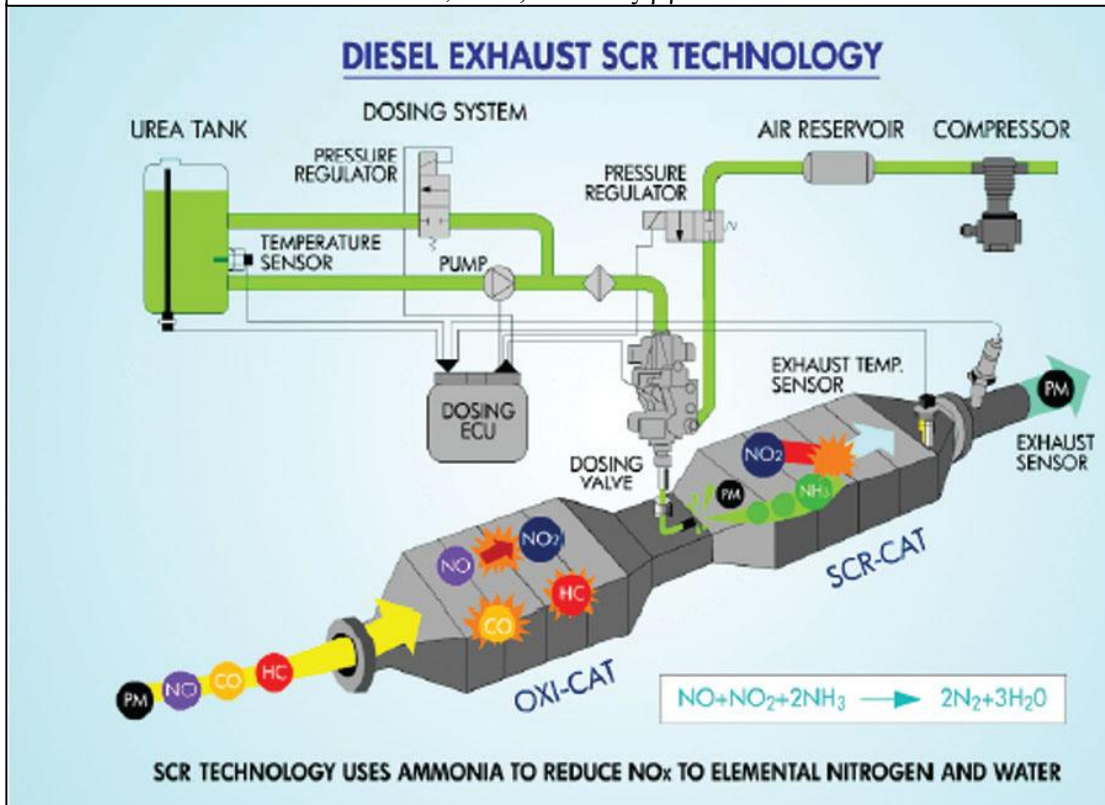
Ένας SCR είναι σε θέση να αφαιρέσει τα σωματίδια NO<sub>x</sub> μέχρι 0,5-2 g / KW. Η εξασθένιση του ήχου είναι μέχρι 10-35 dB, η οποία μπορεί να αντισταθμίσει το σιλανσιέ. Το SCR αφαιρεί 70-95% των NO<sub>x</sub>. Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή των NO<sub>x</sub> γίνεται με χρήση αμμωνίας ως αναγωγικού παράγοντα όπου κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Englehard Corporation το 1957.

Η Ανάπτυξη της τεχνολογίας SCR συνεχίζεται στην Ιαπωνία και στις ΗΠΑ από τις αρχές του 1960 με έρευνα που εστιάζει σε λιγότερο δαπανηρές και πιο ανθεκτικούς καταλυτικούς παράγοντες. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας SCR είχε εγκατασταθεί από το IHI Corporation το 1978. Η εσωτερική έννοια του SCR με διάλυμα αμμωνίας βασίζεται σε ενότητες κηρήθρας. Έχουν υψηλή δραστηριότητα και μηχανική σταθερότητα, καθώς και μακρούς χρόνους λειτουργίας. Ως αποτέλεσμα να έχει χαμηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Η αρθρωτή κατασκευή επιτρέπει εύκολα την αφαίρεση και αντικατάσταση των μεμονωμένων συστατικών. Η επιλογή της γεωμετρίας του καταλύτη εξαρτάται από τις συνθήκες καυσαερίων.

Διαδικασία: Το καυσαέριο που περιέχει NO<sub>x</sub> είναι εισηγμένες προς το SCR. Η αμμωνία προέρχεται από μια δεξαμενή αποθήκευσης ή μια ημερήσια δεξαμενή. Οδηγείται στην SCR από μία μονάδα δοσολογίας. Υπάρχουν επίσης και αντλίες και συμπιεστές που απαιτούνται. Συνολικά, παρατηρείται από μονάδες ελέγχου. Το αέριο μίγμα ρέει πάνω σε καταλύτες στοιχεία, τα οποία προκαλούν το οξείδιο του αζώτου και την αμμωνία να αντιδράσουν.



Εικόνα 9: «SCR επιλεκτική καταλυτική αναγωγή», Πηγή: Brentag ultrapure diesel exhaust fluid, 2014, ίδια επεξεργασία



### 5.6 Πλεονεκτήματα από την χρήση μονάδων απόπλυσης καυσαερίων

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων στη Ναυτιλία και το εργατικό προσωπικό είναι:

- Αποφεύγεται το ρίσκο καθυστέρησης του πλοίου σε κάποιο λιμάνι λόγω της έλλειψης του προδιαγραφόμενου καυσίμου από τους κανονισμούς.
- Αποφεύγεται η επιπλέον χρέωση από τους προμηθευτές καυσίμων για την παραλαβή καυσίμων διαφορετικών προδιαγραφών.
- Αποδοτική και ασφαλή λειτουργία όλων των μηχανημάτων καθώς δεν χρειάζεται να λειτουργήσουν με καύσιμα χαμηλότερης λιπαντικής ικανότητας.
- Δεν χρειάζεται η προμήθεια και αποθήκευση λιπαντικών με διαφορετικό Total base number (TBN).
- Δεν χρειάζεται να αλλάξει η διαδικασία παραλαβής των καυσίμων και η υποχρέωση για φύλαξη των στοιχείων στο πλοίο.
- Δεν χρειάζεται η εκπαίδευση του πληρώματος σε διαδικασίες αλλαγής καυσίμου που είναι εξαιρετικά επικίνδυνες.

- Δεν χρειάζονται ειδικοί όροι για την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου σε περιπτώσεις ναυλώσεων.
- Το κόστος λειτουργίας του πλοίου παραμένει το ίδιο και δεν επηρεάζεται από τις νέες απαιτήσεις που αναμένεται να γίνουν πιο αυστηρές στο μέλλον.
- Το πλοίο γίνεται πιο φιλικό προς το περιβάλλον μειώνοντας δραστικά τις εκπομπές του.

## 6. Επίλογος

Στην προσπάθεια της τεχνολογίας, για να ικανοποιούνται οι κανονισμοί του IMO, αναφορικά με τους αέριους ρύπους των πλοίων, η Ναυτιλία θα πρέπει να επικεντρωθεί στη χρήση «καθαρών» άρα και ακριβών καυσίμων ή να βρει λύσεις με την χρήση των Scrubbers ή ακόμα και με την χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία μεταφοράς (LNG). Από την άλλη μεριά, λόγω του υψηλού κεφαλαίου και μη τελειοποίησης των δικτύων προμήθειας στα πλοία που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως καύσιμο για τα LNG. Θέτουν, την λύση των scrubbers, (συστήματα καθαρισμού εξαγωγής καυσαερίων) ως προς μια ποίο άμεση λύση για τα υπάρχοντα πλοία του ναυτιλιακού κόσμου που πρέπει να «κινηθούν» και να ικανοποιούν τους κανονισμούς της MARPOL Annex του παραρτήματος VI σχετικά με τους αέριους ρύπους των μηχανών. Όπως αποδείχτηκε παραπάνω τα διάφορα είδη scrubbers μπορούν να πληρούν τις απαιτήσεις του παραρτήματος VI, για τις περιοχές όπου η απαιτούμενη μείωση των ρυπογόνων καυσαερίων είναι υψηλή, και θεωρούνται ως μία εξαιρετικά βιώσιμη λύση, καθώς και καλής επιλογής για τους εφοπλιστές λόγω του υψηλού κόστους των καθαρών καυσίμων, διότι έχοντας εγκατεστημένη την τεχνολογία των scrubbers τα πλοία μπορούν να κάψουν βαρύτερα και φθηνότερα καύσιμα. Βέβαια, υπάρχουν ανάλογα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καταλληλότερου για επιλογή συστήματος, για εγκατάσταση στα πλοία. Τέλος, οι σημαντικές αλλαγές και οι κανονισμοί σχετικά με την εκπομπή Sox, θα γίνουν το 2020-2025, ανάλογα με την απόφαση της προγραμματισμένης για το έτος 2018 σύσκεψης.

## 7. Βιβλιογραφία

### Ελληνόγλωσση

Biofuels.gr, (2014), «(Βιο) Μεθανόλη – ένα εφικτό καύσιμο για τα πλοία;», Πρόσβαση από: <<http://www.biofuels.gr/news/biomethanolh-ena-efikto-kafsimo-gia-ploia/>>

[http://www.pi-schools.gr/books/gymnasio/xhmeia\\_c/math/88-95.vivliomathiti.pdf](http://www.pi-schools.gr/books/gymnasio/xhmeia_c/math/88-95.vivliomathiti.pdf)

Κορδαλής Κυριάκος, (2010), Πτυχιακή εργασία «Επιπτώσεις της μεταβολής των προδιαγραφών στις εκπομπές πλοίων - τεχνολογίες μείωσης διοξειδίου του θείου», Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Πρόσβαση από: <[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3441/3/kordalisk\\_exhaust.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3441/3/kordalisk_exhaust.pdf)>

Παπαβασιλείου Ιωάννα, (2008), Διδακτορική Διατριβή «Παραγωγή Υδρογόνου Μέσω Αναμόρφωσης Της Μεθανόλης Με Οξειδικούς Καταλύτες Χαλκού», Τμήμα Χημικών Μηχανικών Του Πανεπιστημίου Πατρών, Πρόσβαση από: <[file:///C:/Users/User/Downloads/Papavasiliou\\_PhD%20Thesis.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Papavasiliou_PhD%20Thesis.pdf)>

Παπαστάθη Κυριακή, (2009), Πτυχιακή εργασία «Πετρέλαιο – Διύλιση & Προϊόντα», Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Πρόσβαση από: <[http://eprints.teiwm.gr/103/1/GEWPE9\\_2009.pdf](http://eprints.teiwm.gr/103/1/GEWPE9_2009.pdf)>

Φωτίου Κ. Προκόπιος, (2009), Πτυχιακή εργασία «Προσομοίωση Λειτουργίας Δίχρονου Κινητήρα Diesel Ηλεκτροπαραγωγής και Διερεύνηση Τεχνικών Περιορισμού NOx με Χρήση Πολυζωνικού Μοντέλου Καύσης», Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, Πρόσβαση από: <[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3106/3/fotsonp\\_diesel.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3106/3/fotsonp_diesel.pdf)>

Χημεία Γ' Γυμνασίου, (2014), «2. Πετρέλαιο-Φυσικό αέριο-Πετροχημικά», Πρόσβαση από: <[http://www.pi-schools.gr/books/gymnasio/xhmeia\\_c/math/88-95.vivliomathiti.pdf](http://www.pi-schools.gr/books/gymnasio/xhmeia_c/math/88-95.vivliomathiti.pdf)>

### Ξενόγλωσση

ABS, (2013), «Exhaust Gas Scrubber Systems», Status and Guidance, Πρόσβαση από: <<http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Capability%20Brochures/ExhaustScrubbers>>

A to B via C, (2014), «Emission Control Areas (ECAs)» Πρόσβαση από: <[http://www.atobviaonline.com/helpFiles/WebService/index.html?seca\\_and\\_eca\\_are\\_as.htm](http://www.atobviaonline.com/helpFiles/WebService/index.html?seca_and_eca_are_as.htm)>

Alejandro Hombravella, Alican Kılıçaslan, Jérémy Péralès, Carolin Rüb, (2011), «Study of Exhaust Gas Cleaning Systems for vessels to fulfill IMO III in 2016», Πρόσβαση από: <<http://www.scribd.com/doc/90932100/Cat-Final-Report>>

Angelo Tossio, (2009), «Exhaust Gas Cleaning System (EGCS)», Πρόσβαση από: <<http://wenku.baidu.com/view/b729f350f01dc281e53af0f7.html>>

Christos A. Kontovas, (2014) «Department of Transport», Πρόσβαση από: <<http://www.staff.dtu.dk/kontova/Publications>>

Clean Air Power, (2014), «How it works - How Dual-Fuel™ Works», Πρόσβαση από: <<http://www.cleanairpower.com/howitworks.html>>

DieselNet, (2014), «International: IMO Marine Engine Regulations», Πρόσβαση από: <<http://www.dieselnets.com/standards/inter/imo.php#ghg>>

ExxonMobil, (2014), «A Simple Guide to Oil Refining», Πρόσβαση από: <[http://www.exxonmobil.com/Europe-English/Files/Simple\\_Guide\\_to\\_oil\\_refining.pdf](http://www.exxonmobil.com/Europe-English/Files/Simple_Guide_to_oil_refining.pdf)>

Henrik Fallgren, (2014), «Measuring NOx On Board -Experience with certification measurements in Scandinavia-», IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, Πρόσβαση από: <[http://www.tinv.dk/public/dokumenter/tinv/Konferencer%20og%20arrangementer/Afholdte%20arrangementer/A6%20CSR/111122%20-%20Reduktion%20af%20NOx%20og%20SOx/11%2030%20IVL\\_Henrik%20Fallgren.pdf](http://www.tinv.dk/public/dokumenter/tinv/Konferencer%20og%20arrangementer/Afholdte%20arrangementer/A6%20CSR/111122%20-%20Reduktion%20af%20NOx%20og%20SOx/11%2030%20IVL_Henrik%20Fallgren.pdf)>

Ken Dunn - Dunway Enterprises, (2014), «Diesel VS Gasoline Vehicles», ARTICLES ABOUT DIESEL & GASOLINE, Πρόσβαση από: <<http://dieselversusgasoline.dunway.com/html/fuel.html>>

Lloyd's Register, (2012), «Understanding exhaust gas treatment systems», Guidance for ship owners and operators, Πρόσβαση από: <[http://www.lr.org/en/images/12-9890\\_ECGSGuide1212\\_web\\_tcm155-240772.pdf](http://www.lr.org/en/images/12-9890_ECGSGuide1212_web_tcm155-240772.pdf)>

MARPOL Annex VI, (2014), «Operation in SOX Emission Control Areas, how to comply», Πρόσβαση από: <[http://www.dnv.in/Binaries/flyer\\_marpol\\_seca\\_tcm149-278353.pdf](http://www.dnv.in/Binaries/flyer_marpol_seca_tcm149-278353.pdf)>

The Car Bibles, (2014), «The Fuel & Engine», Πρόσβαση από: <<http://www.carbibles.com/enginehistory.html>>

Torbjörn Henriksson, (2013), «SOx Scrubbing of Marine Exhaust Gases – SmartComp», TOWARDS GREEN & EFFICIENT MARITIME CLUSTER IN THE CENTRAL BALTIC REGION, Πρόσβαση από: <[http://www.cb-smartcomp.eu/download.php/dms/smartcomp/meetings%20and%20events/Presentations\\_consultation%20day%20Feb%202013/Henriksson.pdf](http://www.cb-smartcomp.eu/download.php/dms/smartcomp/meetings%20and%20events/Presentations_consultation%20day%20Feb%202013/Henriksson.pdf)>

VIPRATECH, (1998), «Four – Stroke Cycle/ Otto Cycle», Πρόσβαση από:  
<[http://techni.tachemie.uni-leipzig.de/otto/otto\\_g0\\_eng.html](http://techni.tachemie.uni-leipzig.de/otto/otto_g0_eng.html)>

U.S. Department of Transportation, (2011), «Exhaust Gas Cleaning Systems»,  
Selection Guide, Πρόσβαση από:  
<[http://www.marad.dot.gov/documents/Exhaust\\_Gas\\_Cleaning\\_Systems\\_Guide.PDF](http://www.marad.dot.gov/documents/Exhaust_Gas_Cleaning_Systems_Guide.PDF)  
>

## Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	3
<b>2. Οι μηχανές και τα καύσιμα στα σύγχρονα πλοία</b> .....	3
<b>2.1 Γενικές πληροφορίες σχετικά με τους κινητήρες Diesel</b> .....	3
<b>2.2 Τετράχρονοι Κινητήρες (4-X)</b> .....	4
<b>2.3 Δίχρονοι Κινητήρες (2-X)</b> .....	6
<b>2.4 Σύγκριση των 2-X με τους 4-X Κινητήρες</b> .....	6
<b>2.5 Μηχανές διπλού καυσίμου (Dual fuel engines)</b> .....	7
<b>2.6 Τα σύγχρονα καύσιμα</b> .....	8
2.6.1 Βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ) .....	8
2.6.2 Marine diesel oil (MDO).....	8
2.6.3 Marine Gas Oil (MGO).....	9
2.6.4 Φυσικό Αέριο .....	9
2.6.5 Μεθανόλη .....	9
<b>3. Διύλιση Αργού Πετρελαίου</b> .....	11
<b>3.1 Γενικά</b> .....	11
<b>3.2 Προϊόντα Μονάδας Απόσταξης Πετρελαίου</b> .....	12
<b>4. Κανονισμοί Αερίων Ρύπων Στη Ναυτιλία</b> .....	13
<b>4.1 International Maritime Organization (IMO)</b> .....	13
<b>4.2 Marine Environmental Protection Committee, MEPC, 58<sup>η</sup> Σύνοδος</b> .....	15
<b>4.3 Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα όρια θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα</b> .....	16
<b>4.4 Emission Control Areas, (ECA's)</b> .....	17
<b>4.5 Οξείδια του Θείου, Sox</b> .....	18
<b>4.6 Οξείδια του Αζώτου, NOx</b> .....	18
<b>5. Συστήματα καθαρισμού εξαγωγής καυσαερίων (Scrubbers)</b> .....	19
<b>5.1 Ορισμός Scrubber</b> .....	19
<b>5.2 Είδη Scrubbers</b> .....	20
5.2.1 Υγρός καθαριστής-(Wet scrubber).....	20
5.2.2 Άνυδρος- Ξηρός Καθαριστής(Dry scrubber) .....	21
<b>5.3 Scrubbers στη Ναυτιλία</b> .....	23
5.3.1 Σύστημα Ανοικτού Κύκλου (Open Loop System).....	23
5.3.2 Σύστημα Κλειστού Κύκλου (Closed Loop System) .....	24
5.3.3 Υβριδικό Σύστημα-(Hybrid System) .....	26
<b>5.4 Βασικοί Παράμετροι</b> .....	27

5.4.1 Απόβλητα των scrubbers .....	27
5.4.2 Εξάπλωση Βακτηρίων .....	28
5.4.3 Νερό Απόπλυσης .....	28
<b>5.5 SCR επιλεκτική καταλυτική αναγωγή.....</b>	<b>29</b>
<b>5.6 Πλεονεκτήματα από την χρήση μονάδων απόπλυσης καυσαερίων.....</b>	<b>31</b>
<b>6. Επίλογος.....</b>	<b>32</b>
<b>7. Βιβλιογραφία .....</b>	<b>33</b>