

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :
«ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ
ΑΠΟ ΝΑΥΤΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ»

«SULFUR OXIDE EMISSIONS REDUCTION IN MARINE
ENGINES»

Επιβλέπων Καθηγητής: ΑΝΔΡΕΑΣ ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΟΣ
Αναπλ. Καθηγητής

Υπεύθυνος Φοιτητής: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΑΛΙΑΝΗΣ
Αριθμός Μητρώου:46143779

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :
«ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ
ΑΠΟ ΝΑΥΤΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ»

«SULFUR OXIDE EMISSIONS REDUCTION IN MARINE
ENGINES»

Επιβλέπων Καθηγητής: ΑΝΔΡΕΑΣ ΘΕΟΔΩΡΑΚΑΚΟΣ
Αναπλ. Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 03/03/2021.

.....
Ανδρέας Θεοδωρακάκος	Κωνσταντίνος Στέφανος Νίκας	Αντώνιος Τσολάκης
Αναπλ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	Αναπλ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ταλιάνης Κωνσταντίνος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 46143779 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών
Κωνσταντίνος Δ. Ταλιάνης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελεί μεγάλο πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα, έχοντας δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στον άνθρωπο. Από τους κυριότερους παράγοντες της ρύπανσης αποτελεί η ναυτιλία και οι αέριοι ρύποι που εκλύονται από τους κινητήρες των πλοίων. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη να τεθούν σε ισχύ κανονισμοί για τον περιορισμό των επιπέδων εκπομπών βλαβερών ρύπων από τις καπνοδόχους των πλοίων. Για να επιτευχθεί η συμμόρφωση στους κανονισμούς αυτούς, η ναυτιλία στράφηκε σε συστήματα πρόωσης με ηλεκτρική ενέργεια, συστήματα υβριδικής πρόωσης, σε εναλλακτικά καύσιμα αλλά και στην εγκατάσταση ειδικών φίλτρων αφαίρεσης μεγάλου μέρους των αερίων και σωματιδίων που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των μηχανών εσωτερικής καύσης, τα είδη και οι προδιαγραφές των καυσίμων των ναυτικών κινητήρων. Στη συνέχεια αναλύονται τα είδη των ρύπων, οι επιπτώσεις τους τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον καθώς και το θεσμικό πλαίσιο που έχει τεθεί σε εφαρμογή για τον περιορισμό τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζονται τρόποι μείωσης εκπομπών οξειδίων του θείου με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρικών μηχανών καθώς και της πρόωσης με συνδυασμό ηλεκτρικών μηχανών και παραδοσιακών πετρελαιοκινητήρων. Επιπλέον περιγράφονται τα είδη, η αρχή λειτουργίας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ειδικών φίλτρων, που ονομάζονται πλυντρίδες.

Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζονται εναλλακτικοί τρόποι μείωσης εκπομπών οξειδίων του θείου. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης εναλλακτικών καυσίμων, χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την πρόωση των πλοίων.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από όλους τους τρόπους μείωσης οξειδίων του θείου, που εξετάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Λέξεις κλειδιά: οξείδια του θείου, ρύπανση, κινητήρας, καύσιμο

ABSTRACT

Air pollution is a major problem on a global scale, having disastrous effects on the environment and on humans. Gaseous pollutants emitted by ship engines are the main cause of pollution. Thus, there was the need to enact regulations on limiting emission levels of harmful pollutants from ship funnels. In order to comply with these regulations, shipping industry turned to electrical propulsion systems with electricity, hybrid propulsion systems, alternative fuels and the installation of special filters to remove much of the gases and particles responsible for air pollution.

This dissertation presents the principle of operation of internal combustion engines, types and specifications of marine engine fuels. Then the types of pollutants are analyzed, their effects on humans and the environment as well as the institutional framework that has been applied to reduce them.

The next chapter examines ways to reduce sulfur oxide emissions using electricity and electric motors as well as propulsion with a combination of electric motors and traditional diesel engines. Afterwards, there is a description of the types, principle of operation, advantages and disadvantages of special filters, called scrubbers.

The next chapter examines alternative ways to reduce sulfur oxide emissions. It presents the advantages and disadvantages of using alternative fuels, using renewable energy sources for the propulsion of ships.

In the end, the conclusions from all the ways of reducing sulfur oxides emissions, mentioned in the previous chapters are presented.

Key words: sulfur oxides, pollution, engine, fuel

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που με βοήθησαν τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησής της αλλά και γενικότερα κατά τη διάρκεια φοίτησής μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Ανδρέα Θεοδωρακάκο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα εργασία. Επιπλέον τον ευχαριστώ τόσο για την καθοδήγησή του όσο και για την άψογη συνεργασία που είχαμε για την εκπόνησή της. Τον ευχαριστώ για τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα αξιότιμα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Κωνσταντίνο-Στέφανο Νίκα και τον κ. Αντώνιο Τσολάκη για την επιστημονική τους συνδρομή.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το ακαδημαϊκό προσωπικό του πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για τις γνώσεις και τη βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου Μαρία, τον πατέρα μου Δημήτρη και τον αδερφό μου Βασίλη για την απεριόριστη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φίλη μου Αλεξάνδρα και τους φίλους μου Λουκά και Χάρη για την ψυχολογική υποστήριξη κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	9
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης.....	9
1.3 Γενικά για την εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης	9
1.4 Λειτουργία τετράχρονου κινητήρα	11
1.5 Λειτουργία δίχρονου κινητήρα	13
1.6 Είδη και προδιαγραφές ναυτικών καυσίμων	15
1.7 Τα καύσιμα των ναυτικών κινητήρων.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	22
2.1 Είδη ατμοσφαιρικών ρύπων από τη ναυτιλία	22
2.1.1 Πρωτογενείς ρύποι.....	23
2.1.2 Δευτερογενείς ρύποι.....	24
2.2 Επιπτώσεις της ρύπανσης από τη ναυτιλία στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον	24
2.3 Όρια αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.....	27
2.4 Θεσμικό πλαίσιο για τις εκπομπές αέριων ρύπων από τη ναυτιλία.....	29
2.4.1 Κανονισμοί για τα οξειδία του θείου (SO _x).....	29
2.4.2 Κανονισμοί για τα οξειδία του αζώτου (NO _x)	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	33
3.1 Καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.....	33
3.2 Πλυντρίδες (Scrubbers).....	33
3.2.1 Ιστορική αναδρομή	34
3.2.2 Αρχή Λειτουργίας	35
3.2.3 Είδη των Scrubbers	35
3.2.4 Υγρές Πλυντρίδες (Wet scrubbers).....	36
3.2.4.1 Πλυντρίδες ανοικτού κυκλώματος (Open loop scrubbers)	37
3.2.4.2 Πλυντρίδες κλειστού κυκλώματος.....	39
3.2.4.3 Πλυντρίδες υβριδικού τύπου	41
3.2.5 Άνυδρες- Ξηρές Πλυντρίδες (Dry scrubbers).....	43
3.3 Πρόωση με χρήση ηλεκτρισμού-Ηλεκτροπρόωση.....	44
3.3.1 Ιστορική αναδρομή	45
3.3.2 Αρχή λειτουργίας	46
3.3.3 Κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών κινητήρων	47
3.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ηλεκτρικής Πρόωσης.....	47
3.4 Υβριδικά συστήματα πρόωσης.....	48
3.4.1 Αρχή λειτουργίας	48
3.4.1.1 Σειριακό Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης.....	48
3.4.1.2 Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης	49
3.4.1.3 Σειριακό/Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης.....	51
3.4.2 Πηγές ενέργειας στο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης.....	51
3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Υβριδικής Πρόωσης	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ.....	54
4.1 Χρήση Εναλλακτικών Καυσίμων	54

4.1.1	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas-L.N.G.)	54
4.1.1.1	Τρόπος λειτουργίας	55
4.1.1.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	56
4.1.2	Υγραέριο (Liquified Petroleum Gas-LPG).....	57
4.1.2.1	Τρόπος λειτουργίας	58
4.1.2.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	59
4.1.3	Μεθανόλη	59
4.1.3.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	60
4.1.4	Κυψέλες καυσίμου	61
4.1.4.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	62
4.2	Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	63
4.2.1	Ηλιακή Ενέργεια	63
4.2.1.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	65
4.2.2	Αιολική Ενέργεια	66
4.2.2.1	Μαλακά Πανιά	66
4.2.2.2	Άκαμπτα-Σταθερά Πανιά	67
4.2.2.3	Ρότορες.....	68
4.2.2.4	Πανιά-Χαρταετός.....	69
4.2.2.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	70
4.3	Βιοκαύσιμα	70
4.3.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	73
4.4	Ενέργεια από την Ξηρά.....	73
4.5	Πρόωση με χρήση ηλεκτρισμού από μπαταρίες.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των τρόπων μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών ρυπογόνων αερίων, συγκεκριμένα οξειδίων του θείου, από ναυτικούς κινητήρες. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκλύονται από τους κινητήρες των πλοίων αλλά και το θεσμικό πλαίσιο που έχει τεθεί σε ισχύ για τον περιορισμό τους.

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

Η εργασία στηρίζεται στην δευτερογενή έρευνα, η οποία είναι η διερεύνηση ήδη επεξεργασμένου υλικού. Πιο συγκεκριμένα έγινε βιβλιογραφική έρευνα που συνίσταται σε εντοπισμό, μελέτη, ανάλυση, κριτική και συνδυαστική παρουσίαση θέσεων από ελληνικά αλλά και ξένα δημοσιευμένα κείμενα. Δημοσιευμένα κείμενα είναι τα επιστημονικά άρθρα, βιβλία, προπτυχιακές και μεταπτυχιακές διπλωματικές εργασίες.

1.3 Γενικά για την εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Η παραγωγή έργου με χρήση θερμικής μηχανής, βασίζεται στην παροχή θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής του κατάστασης. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας αποδίδεται ως μηχανικό έργο ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται ως θερμότητα στο περιβάλλον.

Κινητήρια μηχανή, ονομάζεται η διάταξη, με την οποία μπορούμε να μετατρέψουμε διάφορες μορφές ενέργειας σε μηχανικό έργο.

Θερμική κινητήρια μηχανή, καλείται η κινητήρια μηχανή, η οποία με την βοήθεια της καύσης παράγει μηχανικό έργο.

Στις μηχανές όπου η καύση και η παραγωγή του μηχανικού έργου γίνονται ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο, ονομάζονται Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Αντίθετα, στις Μηχανές Εξωτερικής Καύσης (ατμομηχανή), η καύση και η παραγωγή του εργαζόμενου μέσου (ατμός) γίνεται σε διαφορετικό χώρο (ατμοθάλαμος) από το χώρο παραγωγής του μηχανικού έργου (σύστημα εμβόλου-κυλίνδρου).

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, κατατάσσονται ως εξής:

1. Με βάση τον τρόπο ανάφλεξης του καυσίμου που χρησιμοποιούν.
 - Μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα ή βενζινομηχανές. Η λειτουργία τους βασίζεται στον κύκλο Otto.
 - Μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση ή πετρελαιομηχανές. Η λειτουργία τους βασίζεται στον κύκλο Diesel.
 - Μηχανές Μικτού κύκλου.
2. Με βάση τον αριθμό των διαδρομών του εμβόλου, που πραγματοποιούνται ανάμεσα σε δύο αναφλέξεις στον ίδιο κύλινδρο:

- Δίχρονες μηχανές.
- Τετράχρονες μηχανές

3. Με βάση το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν έχουμε :

- Μηχανές βαρέως πετρελαίου (μαζούτ)
- Μηχανές ελαφρών καυσίμων (ντίζελ – βενζίνη)
- Μηχανές αερίων καυσίμων
- Μηχανές πολλαπλών καυσίμων (dual-fuel)

4. Με βάση τις στροφές ανά λεπτό (RPM) του στροφαλοφόρου άξονα έχουμε:

- Βραδύστροφες ή ολιγόστροφες μηχανές (έως 350 RPM)
- Μεσόστροφες μηχανές (έως 1500 RPM)
- Πολύστροφες ή ταχύστροφες μηχανές (έως 5000 RPM)
- Πολύ ταχύστροφες ή πολύ υψηλής ταχύτητας μηχανές (από 5000 RPM και πάνω)

5. Με βάση τον τρόπο ψύξης:

- Υδροψυκτες
- Αερόψυκτες

6. Με βάση την παραγομένη ισχύ ανά κύλινδρο διακρίνονται σε:

- Μικρής ισχύος (έως 20 hp.)
- Μέσης ισχύος (από 20 hp έως 200 hp).
- Μεγάλης ισχύος (από 200 hp και πάνω).

7. Με βάση τον αριθμό των κυλίνδρων που διαθέτουν διακρίνονται:

- Μονοκύλινδρες μηχανές
- Πολυκύλινδρες μηχανές

8. Τέλος με βάση το μέσο στο οποίο χρησιμοποιούνται :

- Μηχανές οχημάτων
- Μηχανές αεροσκαφών
- Ναυτικές μηχανές

Οι ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται σε όλα τα θαλάσσια μέσα. Οι μηχανές αυτές είναι είτε δίχρονες είτε τετράχρονες. Επιπλέον διαφέρουν στο σχήμα, στο μέγεθος αλλά και στην προσφερόμενη ισχύ ανάλογα με την εφαρμογή αλλά και την πιο συμφέρουσα από οικονομικής άποψης επιλογή. Στα μεγάλα εμπορικά πλοία, όπως για παράδειγμα στα δεξαμενόπλοια, χρησιμοποιούνται αργόστροφες δίχρονες πετρελαιομηχανές. Για την πρόωση πλοίων

μικρότερου όγκου και βάρους, όπως για παράδειγμα στα κρουαζιερόπλοια και στα οχηματαγωγά, χρησιμοποιούνται μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές.

1.4 Λειτουργία τετράχρονου κινητήρα

Στις εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης με τον όρο διαδρομή (stroke) εκφράζεται η διαδρομή του εμβόλου μεταξύ του Α.Ν.Σ (Άνω Νεκρού Σημείου) και του Κ.Ν.Σ (Κάτω Νεκρού Σημείου). Άνω Νεκρό Σημείο ονομάζεται η ανώτερη θέση στη διαδρομή του εμβόλου, δηλαδή η θέση στην οποία τερματίζει προς τα επάνω το έμβολο. Κάτω Νεκρό Σημείο ορίζεται η κατώτερη θέση στη διαδρομή του εμβόλου, δηλαδή η θέση στην οποία τερματίζει το έμβολο προς τα κάτω. Ένας χρόνος αντιστοιχεί σε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα κατά 180° και αντίστοιχα μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα, δηλαδή 360° , αντιστοιχεί σε δυο χρόνους του κινητήρα.

Όσον αναφορά τον διαχωρισμό των κινητήρων σε δίχρονους και τετράχρονους, δίχρονος ονομάζεται ο κινητήρας ο οποίος ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας του σε δυο χρόνους, άρα σε μια περιστροφή του στροφάλου και αντίστοιχα τετράχρονος ονομάζεται ο κινητήρας ο οποίος ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας του σε τέσσερις χρόνους, αρά σε δυο περιστροφές του στροφάλου του. Οι ΜΕΚ που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων, είναι δίχρονες και τετράχρονες Diesel (πετρελαιομηχανές). Οι δίχρονοι αργόστροφοι πετρελαιοκινητήρες συναντώνται κατά κόρον στην πρόωση των μεγάλων πλοίων (φορτηγά, πετρελαιοφόρα, δεξαμενόπλοια). Για την κίνηση μικρότερου μεγέθους πλοίων και για την κίνηση ειδικών τύπων πλοίων, π.χ. κρουαζιερόπλοια, οχηματαγωγά αλλά και για την ηλεκτροπαραγωγή (ηλεκτροπρόωση, υβριδική πρόωση), χρησιμοποιούνται τετράχρονοι πετρελαιοκινητήρες, οι οποίοι είναι μεσόστροφοι.

Στην συνέχεια, αναλύεται ο κύκλος λειτουργίας τετράχρονου κινητήρα:

1. Πρώτος χρόνος εισαγωγή ή αναρρόφηση (γωνιά στροφάλου $\varphi = 0 - 180^\circ$).

Κατά τον πρώτο χρόνο, το έμβολο βρίσκεται ακίνητο στο Άνω Νεκρό Σημείο και αρχίζει να κινείται προς το Κάτω Νεκρό Σημείο. Με την επιταχυνόμενη κίνηση του εμβόλου, αυξάνεται ο όγκος του κυλίνδρου και έτσι δημιουργείται πτώση πίεσης-υποπίεση, όπου σε συνδυασμό με την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής, αρχίζει να εισέρχεται στον κύλινδρο αέρας (DIESEL) ή μίγμα καυσίμου-αέρα (ΟΤΤΟ). Ο πρώτος χρόνος ολοκληρώνεται όταν το έμβολο φτάσει στο Κάτω Νεκρό Σημείο και η βαλβίδα εισαγωγής κλείσει. Ο πρώτος χρόνος είναι παθητικός χρόνος, καθώς απαιτείται ενέργεια για την επιταχυνόμενη κίνηση του εμβόλου.

2. Δεύτερος χρόνος συμπίεση (γωνιά στροφάλου $\varphi = 180 - 360^\circ$).

Κατά τον δεύτερο χρόνο, η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστές, το έμβολο αρχίζει να κινείται προς το Άνω Νεκρό Σημείο, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος του κυλίνδρου και το μίγμα ή ο αέρας να συμπιέζεται. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας για την ανάφλεξη. Ο δεύτερος χρόνος είναι παθητικός χρόνος, μιας και απαιτείται ενέργεια για την συμπίεση.

3. Τρίτος χρόνος καύση – εκτόνωση (γωνιά στροφάλου $\varphi = 360 - 540^\circ$).

Σε περίπτωση μίγματος αέρα-καυσίμου, το μίγμα συμπιέζεται σε έναν περιορισμένο χώρο επάνω από το έμβολο, τον θάλαμο καύσης. Χάρη την ύπαρξη ηλεκτρικού σπινθήρα στις

μηχανές ΟΤΤΟ, το μίγμα αναφλέγεται και δημιουργείται καύση. Έτσι το έμβολο πιέζεται και ωθείται προς το Κ.Ν.Σ., λόγω των παραγόμενων καυσαερίων από την καύση.

Από την άλλη, στη συμπίεση αέρα (μηχανές DIESEL), ο αέρας συμπιέζεται σε έναν περιορισμένο χώρο επάνω από το έμβολο, τον θάλαμο καύσης ενώ το καύσιμο (πετρέλαιο), ψεκάζεται από τον εγχυτήρα με υψηλή πίεση, στην αρχή της κίνησης του εμβόλου προς το Κ.Ν.Σ., αναμειγνύεται ως νέφος σταγονιδίων με τον αέρα. Η καύση του πραγματοποιείται χωρίς ύπαρξη ηλεκτρικού σπινθήρα (φαινόμενο αυτανάφλεξης) με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας, την εκτόνωση των καυσαερίων και την κίνηση του εμβόλου προς την κατώτερη δυνατή θέση (Κάτω Νεκρό Σημείο).

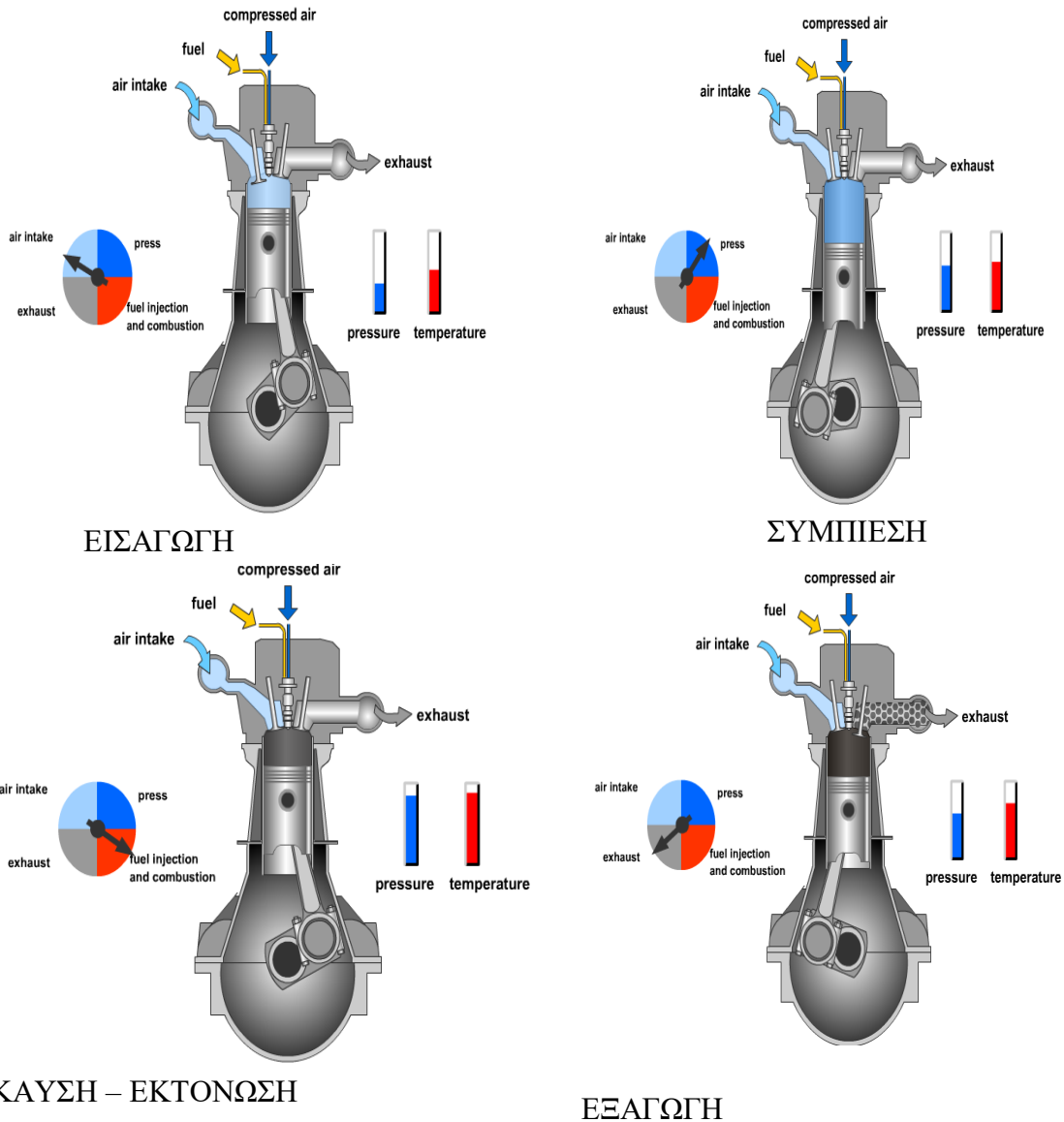
Ο χρόνος αυτός, και στις δύο περιπτώσεις, αποτελεί τον μοναδικό ωφέλιμο χρόνο που αποδίδει έργο, ενώ οι υπόλοιποι χρόνοι από την άλλη καταναλώνουν έργο.

4. Τέταρτος χρόνος εξαγωγή (γωνιά στροφάλου $\varphi = 540 - 720^\circ$).

Κατά τον τελευταίο χρόνο, το έμβολο βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ από τον προηγούμενο χρόνο, ξεκινάει η κίνηση προς το Α.Ν.Σ. εξωθώντας τα καυσαέρια προς την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής. Τα καυσαέρια από την βαλβίδα εξαγωγής θα απορριφθούν στο περιβάλλον. Ο τέταρτος χρόνος είναι παθητικός χρόνος, μιας και απαιτείται ενέργεια για την εξαγωγή. Στο Α.Ν.Σ. η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και ακολουθεί ο επόμενος κύκλος λειτουργίας της μηχανής



Εικόνα 1.1: Οι 4 χρόνοι ενός κινητήρα ΟΤΤΟ. Πηγή: [20]



Εικόνα 1.2 : Οι 4 χρόνοι ενός κινητήρα DIESEL. Πηγή: [49]

1.5 Λειτουργία δίχρονου κινητήρα

Σε αντίθεση με τον τετράχρονο κινητήρα, στον δίχρονο ο κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται σε δύο διαδρομές του εμβόλου ανάμεσα στο Άνω Νεκρό Σημείο και στο Κάτω Νεκρό Σημείο, δηλαδή σε δύο χρόνους.

1. Πρώτος χρόνος (γωνία στροφάλου $\varphi = 0 - 180^\circ$).

Κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου, το έμβολο κινείται από το ανώτερο σημείο της διαδρομής του προς το κατώτερο. Στο ΑΝΣ έχει ξεκινήσει η καύση που θα ολοκληρωθεί με την κίνηση του εμβόλου προς το ΚΝΣ. Με αυτήν την κίνηση παράγεται ωφέλιμο έργο, λόγω της εκτονωτικής δύναμης των καυσαερίων. Κατά την καθοδική κίνηση του εμβόλου, ανοίγει η θυρίδα εξαγωγής για τους μικρούς δίχρονους κινητήρες, ενώ στους μεγαλύτερους δίχρονους κινητήρες diesel (όπως οι δίχρονοι ναυτικοί) ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, από όπου εξάγεται το καυσαέριο. Οι μεγαλύτεροι δίχρονοι κινητήρες diesel έχουν 1 ή περισσότερες βαλβίδες εξαγωγής.

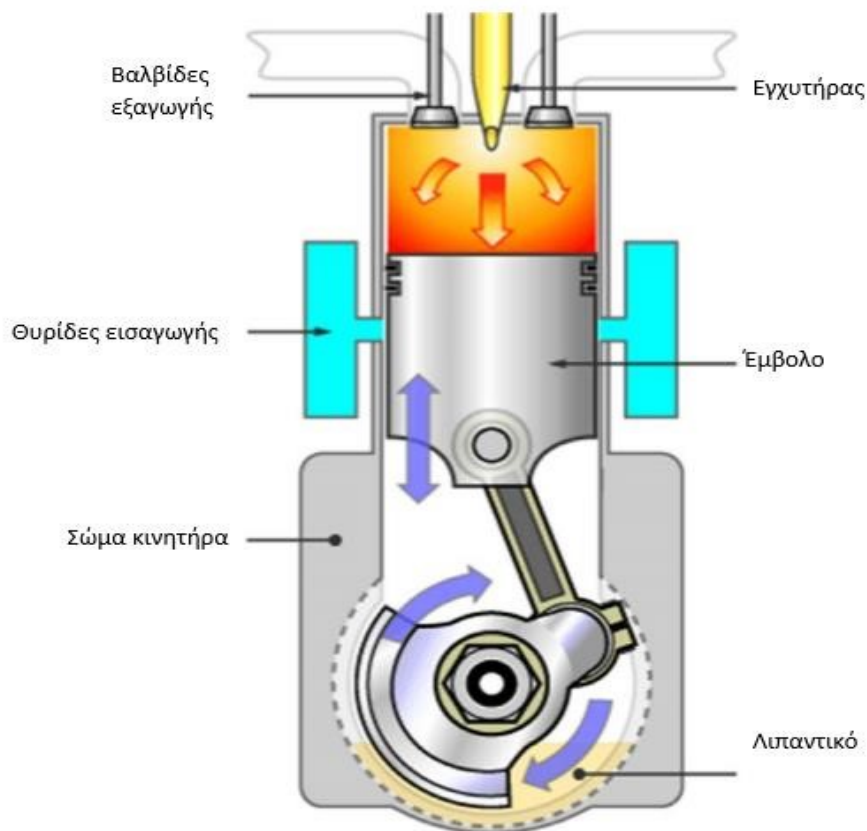
Στη συνέχεια της καθοδικής κίνησης του εμβόλου, ανοίγει η θυρίδα εισαγωγής, από την οποία εισέρχεται προσυμπιεσμένο μίγμα(αέρας) στον κύλινδρο. Όπως η θυρίδα ή βαλβίδα εξαγωγής, έτσι και η θυρίδα εισαγωγής θα παραμείνουν ανοιχτές μέχρι το έμβολο να φτάσει στο ΚΝΣ.

2. Δεύτερος χρόνος (γωνιά στροφάλου $\varphi = 180 - 360^\circ$).

Κατά τον δεύτερο χρόνο, το έμβολο κινείται από το Κάτω Νεκρό Σημείο προς το Άνω Νεκρό Σημείο. Κατά την διάρκεια της ανοδικής κίνησης του εμβόλου, κλείνει πρώτα η θυρίδα εισαγωγής και στην συνέχεια η θυρίδα ή βαλβίδα εξαγωγής. Καθώς συνεχίζεται η ανοδική κίνηση, το μίγμα (αέρας) συμπιέζεται και στο ΑΝΣ, όπως συμβαίνει και στους τετράχρονους κινητήρες, πραγματοποιείται η έγχυση και αυτανάφλεξη του πετρελαίου ή συντελείται η ανάφλεξη του μίγματος. Το παραγόμενο καυσαέριο ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ, στον επόμενο κύκλο λειτουργίας της μηχανής.

Οι δίχρονοι κινητήρες Diesel αντιπροσωπεύουν τις μεγαλύτερες και τις πιο αποδοτικές παλινδρομικές ΜΕΚ που κατασκευάζονται, με προορισμό κατά κύριο λόγο την πρόωση των πλοίων.

Παρακάτω ακολουθεί μια απλή διάταξη ναυτικής δίχρονης ΜΕΚ Diesel.



Εικόνα 1.3: Ναυτικός δίχρονος κινητήρας Diesel με βαλβίδες εξαγωγής. Πηγή: [49]

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των δίχρονων κινητήρων Diesel είναι ότι έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος σε σύγκριση με άλλες ΜΕΚ διότι η καύση γίνεται σε κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

1.6 Είδη και προδιαγραφές ναυτικών καυσίμων

Το διεθνές πρότυπο ISO 8217 [4], που βρίσκει εφαρμογή και ισχύει από το 2005, ορίζει τις απαιτούμενες ιδιότητες και προδιαγραφές πετρελαίου που χρησιμοποιείται σε κινητήρες Diesel των θαλάσσιων μέσων. Τα καύσιμα πλοίων διαχωρίζονται σε καύσιμα απόσταξης (διύλισης) και σε υπολειμματικά.

Καύσιμα απόσταξης

Έτσι χαρακτηρίζονται τα καύσιμα, τα οποία είναι προϊόντα κλασματικής απόσταξης αργού πετρελαίου στο διωλιστήριο σε θερμοκρασίες 200-360°C και σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Έχει χρώμα διανγές, χαμηλό ιξώδες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς θέρμανση πριν από την χρήση του. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του είναι ότι έχει υψηλό βαθμό καθαρότητας και εξασφαλίζει καύση χωρίς επιβλαβή παραπροϊόντα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί έχει υποστεί χημικές διεργασίες απομάκρυνσης ρυπογόνων στοιχείων αλλά και στοιχείων που το καθιστά παχύρευστο, το οποίο μεταφράζεται σε μείωση του κινηματικού του ιξώδους. Αυτού του είδους τα καύσιμα αποτελούν τα ακριβότερα της αγοράς, κι αυτός είναι ο λόγος που μέχρι σχεδόν σήμερα δεν χρησιμοποιούνται σε τόσο μεγάλη συχνότητα όπως τα καύσιμα της επόμενης κατηγορίας. Στα καύσιμα απόσταξης ανήκουν τα (MGO)Marine Gas Oil και (MDO)Marine Diesel Oil.

Υπολειμματικά καύσιμα

Έτσι χαρακτηρίζονται τα προϊόντα που δεν προέρχονται από την κλασματική απόσταξη. Ουσιαστικά είναι βαρύ μαζούτ, έχει υψηλό ιξώδες και μαύρο χρώμα, ενώ σε αντίθεση με τα καύσιμα απόσταξης, απαιτεί θέρμανση πριν από τη χρήση του. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτού του είδους των καυσίμων είναι η υψηλή τους περιεκτικότητα σε ρυπογόνα στοιχεία όπως το διοξείδιο του θείου, όμως αποτελεί το φθηνότερο υγρό καύσιμο, το οποίο το καθιστά το καύσιμο που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην ναυτιλία μέχρι σήμερα. Η περιεκτικότητα σε οξείδια του θείου είναι 3,5%. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το (H.F.O.) Heavy Fuel Oil.

Οι βασικές κατηγοριοποιήσεις ανάλογα με την περιεκτικότητα σε θείο είναι οι ακόλουθες:

Marine fuel	Max. Sulfur Content
High sulfur fuel oil (HSFO)	3,5%
Low sulfur fuel oil (LSFO)	1,0%
Ultra Low sulfur fuel oil (ULSFO)	0,1%

Πίνακας 1.1 Κατηγοριοποίηση καυσίμων με βάση την περιεκτικότητά τους σε θείο. Πηγή : [6]

Ακολουθούν οι προδιαγραφές-ιδιότητες τόσο των καυσίμων απόσταξης όσο και των υπολειμματικών καυσίμων, με βάση το διεθνές πρότυπο ISO 8217.

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-						Test method(s) and references	
			DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB		DFB
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s *	Max	5,500	6,000		6,000		11,00	ISO 3104	
		Min	1,400	2,000		3,000		2,000		
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	–	890,0		890,0		900,0	ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1	
Cetane index	–	Min	45	40		40		35	ISO 4264	
Sulfur ^b	mass %	Max	1,00	1,00		1,00		1,50	ISO 8754 or ISO 14596, ASTM D4294; see 6.3	
Flash point	°C	Min	43,0	60,0		60,0		60,0	ISO 2719; see 6.4	
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00		2,00		2,00	IP 570; see 6.5	
Acid number	mg KOH/g	Max	0,5	0,5		0,5		0,5	ASTM D664; see 6.6	
Total sediment by hot filtration	mass %	Max	–	–		–		0,10 ^c	ISO 10307-1; see 6.8	
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25		25		25 ^d	ISO 12205	
Fatty acid methyl ester (FAME) *	volume %	Max	–	–	7,0	–	7,0	–	7,0	ASTM D7963 or IP 579; see 6.10
Carbon residue – Micro method on the 10 % volume distillation residue	mass %	Max	0,30	0,30		0,30		–	ISO 10370	
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	–	–		–		0,30	ISO 10370	
Cloud point ^f	winter	°C	Max	–16	report	report		–	ISO 3015; see 6.11	
	summer	°C	Max	–16	–	–		–		
Cold filter plugging point ^f	winter	°C	Max	–	report	report		–	IP 309 or IP 612; see 6.11	
	summer	°C	Max	–	–	–		–		
Pour point (upper) ^f	winter	°C	Max	–	–6	–6		0	ISO 3016; see 6.11	
	summer	°C	Max	–	0	0		6		
Appearance			Clear and Bright ^g					^e	see 6.12	
Water	volume %	Max	–	–		–		0,30 ^e	ISO 3733	
Ash	mass %	Max	0,010	0,010		0,010		0,010	ISO 6245	
Lubricity, corrected wear scar diameter (WSD) at 60 °C ^h	µm	Max	520	520		520		520 ^d	ISO 12156-1	

Πίνακας 1.2. Πίνακας ιδιοτήτων καυσίμων απόσταξης σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217-2017. Πηγή [4]

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-											Test method reference	
			RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK				
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700		
Kinematic viscosity at 50 °C	mm ² /s ^a	Max	10,00	30,00	80,00	180,0	180,0	380,0	500,0	700,0	380,0	500,0	700,0	ISO 3104	
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	920,0	960,0	975,0	991,0	991,0				1010,0			ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1	
CCAI	-	Max	850	860	860	860	870				870			see 6.2	
Sulfur ^b	mass %	Max	Statutory requirements											ISO 8754 or ISO 14596 or ASTM D4294; see 6.3	
Flash point	°C	Min	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0				60,0			ISO 2719; see 6.4	
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00				2,00			IP 570; see 6.5	
Acid number ^c	mg KOH/g	Max	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5				2,5			ASTM D664; see 6.6	
Total sediment – Aged	mass %	Max	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10				0,10			ISO 10307-2; see 6.9	
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	2,50	10,00	14,00	15,00	18,00				20,00			ISO 10370	
Pour point (upper) ^d	winter	°C	Max	0	0	30	30	30				30			ISO 3016
	summer	°C	Max	6	6	30	30	30				30			
Water	volume %	Max	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50				0,50			ISO 3733	
Ash	mass %	Max	0,040	0,070	0,070	0,070	0,100				0,150			ISO 6245	
Vanadium	mg/kg	Max	50	150	150	150	350				450			IP 501, IP 470 or ISO 14597; see 6.14	
Sodium	mg/kg	Max	50	100	100	50	100				100			IP 501, IP 470; see 6.15	
Aluminium plus silicon	mg/kg	Max	25	40	40	50	60				60			IP 501, IP 470 or ISO 10478; see 6.16	
Used lubricating oil (ULO): – Calcium and zinc; or – Calcium and phosphorus	mg/kg	-	Calcium > 30 and zinc > 15 or Calcium > 30 and phosphorus > 15											IP 501 or IP 470, IP 500; see 6.17	

Πίνακας 1.3. Πίνακας ιδιοτήτων υπολειμματικών καυσίμων σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217-2017. Πηγή [4]

Η κατηγοριοποίηση των ναυτιλιακών καυσίμων με βάση το πρότυπο ISO8217, γίνεται με τη χρήση γραμμάτων, ανάλογα την προέλευσή τους και τις ιδιότητες τους. Έτσι, στον πίνακα 1.2, παρατηρείται ότι όλα τα καύσιμα έχουν στην αρχή της ονομασίας τους το γράμμα «D» (Distillate fuel), το οποίο υποδηλώνει ότι πρόκειται για καύσιμο απόσταξης. Στον πίνακα 1.3, παρατηρείται ότι όλα τα καύσιμα έχουν στην αρχή της ονομασίας το γράμμα «R». Αυτό το γράμμα δείχνει ότι το εν λόγω καύσιμο είναι υπολειμματικό (Residual fuel). Το δεύτερο γράμμα, και στους δύο πίνακες, είναι το γράμμα «M» υποδηλώνοντας πως πρόκειται για καύσιμο που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία (Marine fuel).

Στην έκτη έκδοση του προτύπου ISO 8217, το οποίο αντικατέστησε το 2017 την πέμπτη έκδοση, εισήχθησαν για πρώτη φορά καύσιμα απόσταξης, των οποίων η ονομασία τους άρχιζε με τα γράμματα «DF», όπως τα καύσιμα DFA, DFB, DFZ. Αυτά τα καύσιμα, έχουν ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες με τα αντίστοιχα των οποίων το δεύτερο γράμμα είναι το «M» (DMA, DMB, DMZ), με τη μόνη διαφορά ότι έχουν περιεκτικότητα σε FAME έως 7% κατ όγκο. FAME ονομάζονται οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων, γνωστοί ως βιοντίζελ και λαμβάνονται από φυτικά λάδια και ζωικά λίπη.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα γράμματα «A, B, Z, X, κ.λ.π.) χωρίς να υπάρχει κάποια σημαντικότητα για την κατηγοριοποίησή τους.

Σύμφωνα με το ISO 8217 τα καύσιμα απόσταξης που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι:

- DMX: Το συγκεκριμένο καύσιμο αποτελεί ελαφρύ καύσιμο και χρησιμοποιείται σε κινητήρες έκτακτης ανάγκης. Αυτό συμβαίνει επειδή έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης, το οποίο είναι στους 43°C.
- DMA, DMZ: Τα συγκεκριμένα καύσιμα είναι πετρέλαιο υψηλής ποιότητας και καθαρότητας. Τα καύσιμα αυτά ονομάζονται και Marine Gas Oil (M.G.O.). Συναντάται συχνότερα σε μικρού μεγέθους μηχανές.
- DMB: Αυτού του είδους το καύσιμο περιέχει βαρύ πετρέλαιο σε μικρή ποσότητα.

Σύμφωνα με το ISO 8217 τα υπολειμματικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι έντεκα:

- Στην κατηγορία καυσίμων που αρχίζουν με το γράμμα R(Πίνακας 1.3), ανήκει το πετρέλαιο H.S.F.O. ή αλλιώς H.F.O. Μόνο το RMA10, το οποίο έχει μικρότερο ιξώδες, δεν αναφέρεται ως πετρέλαιο H.S.F.O, διότι το ποσοστό του σε βαρύ πετρέλαιο είναι χαμηλό.
- Το RMA10 θεωρείται ότι ανήκει στα υπολειμματικά. Έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο (3,5%) σε σχέση με το DMB, αλλά έχουν και τα δύο χαμηλό ιξώδες. Επιπλέον, έχει υψηλή αναλογία μαζούτ. Χαρακτηρίζεται από σκούρο χρώμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Πυκνότητα	Density	Είναι η σχέση μάζας-όγκου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, με μονάδα μέτρησης στο S.I το kg/m ³ . Η πλειοψηφία των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στα θαλάσσια μέσα έχουν πυκνότητα μεταξύ 975-992 kg/m ³ στους 15°C.
Ιξώδες	Viscosity	Είναι η αντίσταση του ρευστού κατά τη ροή του. Η θερμοκρασία και η πίεση αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες για την τιμή του.
Σημείο Ανάφλεξης	Flash Point	Ορίζεται ως η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία κατά την οποία το καύσιμο δύναται να αναφλεγεί άμα έρθει σε επαφή με φλόγα ή σπινθήρα. Δείχνει την θερμοκρασία που μπορεί να διακινηθεί ή/και αποθηκευτεί χωρίς την ύπαρξη κινδύνου να αναφλεγεί. Κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 70-120 °C
Σημείο Αυτανάφλεξης	Self-ignition Point	Ορίζεται ως η θερμοκρασία που το καύσιμο μπορεί να αυτοαναφλεγεί.
Σημείο Θόλωσης	Cloud Point	Ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία τα μόρια παραφίνης αρχίζουν να κρυσταλλώνουν και να διαχωρίζονται από το καύσιμο, κάνοντας θολό το

		καύσιμο.
Σημείο Ροής	Pour Point	Ορίζεται η θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός παραφίνης από το καύσιμο είναι πολύ έντονος με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει στο καύσιμο να συμπεριφέρεται ως ρευστό.
Περιεκτικότητα σε Τέφρα	Ash (%)	Τέφρα ορίζεται το σύνολο ανόργανων στερεών συστατικών που περιέχονται στο ακατέργαστο πετρέλαιο και μετά τη διαδικασία της απόσταξης μένουν σε αυτό. Η τέφρα αποτελείται από άκαυστα υπολείμματα που προκύπτουν από την καύση των γαιανθράκων. Η τέφρα είναι ανεπιθύμητη καθώς μπορεί αν δημιουργήσει προβλήματα σε έμβολα, χιτώνια, βαλβίδες και στο σύστημα ψεκασμού καυσίμου. Κυμαίνεται από 0.01-0.15%κατά βάρος.
Περιεκτικότητα σε Νερό	Water (%)	Η ύπαρξη νερού στο καύσιμο δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα στον κινητήρα αλλά και μείωση της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου με αποτέλεσμα την μείωση της αποδιδόμενης ισχύος της μηχανής.
Ολικό Ίζημα	Total Sediment	Ίζημα ορίζεται ως τα αδιάλυτα υπολείμματα που δεν προέρχονται από το καύσιμο. Επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του καυσίμου.
Αριθμός Κετανίου	Cetane Index	Αποτελεί το μέτρο της ποιότητας ανάφλεξης του καυσίμου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός τόσο πιο μικρή είναι η καθυστέρηση ανάφλεξης. Εξαρτάται από το ιξώδες και την πυκνότητα.
Περιεκτικότητα σε Θείο	Sulphur	Αναφέρεται στην περιεκτικότητα σε θείο που έχει ένα καύσιμο. Διαβρώνει χιτώνια, έμβολα, βαλβίδες εισαγωγής. Ταυτόχρονα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την μόλυνση του περιβάλλοντος.
Θερμογόνος Δύναμη	Specific Energy	Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου. Μετρείται σε MJ/kg.

Πίνακας 1.4: Βασικά χαρακτηριστικά καυσίμων ναυτιλίας και ακρωνύμια τους. Πηγή [17]

1.7 Τα καύσιμα των ναυτικών κινητήρων

Κατά την επεξεργασία του αργού πετρελαίου, παράγονται κάποια είδη προϊόντων πετρελαίου, ορισμένα από τα οποία προορίζονται για τις λειτουργικές ανάγκες των πλοίων. Τα κυριότερα είδη που χρησιμοποιούνται από την ναυτιλιακή βιομηχανία είναι τα παρακάτω:

- Marine Gas Oil(M.G.O.)
- Marine Diesel Oil(M.D.O.)
- Intermediate Fuel Oil (I.F.O.)
- Heavy Fuel Oil(H.F.O.)

(MGO)Marine Gas Oil

Είναι από τα ελαφρύτερα και από τα περισσότερο επεξεργασμένα είδη ναυτιλιακών καυσίμων, είναι γνωστό και ως Bunker A. Ανήκει στην κατηγορία των καυσίμων απόσταξης, καθώς αποτελείται αποκλειστικά από αποστάγματα, συνήθως από ένα μίγμα διαφόρων αποσταγμάτων. Τα συστατικά του αργού πετρελαίου, τα οποία κατά τη διάρκεια της κλασματικής απόσταξης εξατμίζονται και στη συνέχεια από αέρια φάση συμπυκνώνονται σε υγρά, ονομάζονται αποστάγματα του αργού πετρελαίου. Αυτού του είδους το πετρέλαιο δεν χρήζει προθέρμανσης, σε αντίθεση φυσικά με το βαρύ πετρέλαιο H.F.O. Έχει διαυγές χρώμα και χρησιμοποιείται κυρίως από μικρά σκάφη, πολεμικά πλοία, ταχύπλοα και ηλεκτρομηχανές μεγαλύτερων πλοίων. Έχει περιεκτικότητα σε θείο έως 0,1%. Αποτελεί το ακριβότερο καύσιμο, λόγω της μεγαλύτερης επεξεργασίας του, με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται ευρέως. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα καύσιμα DMA,DMB, DMX και DMZ, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217. Παρόλα αυτά το καύσιμο DMB θα μπορούσε να περιέχει ένα μικρό ποσοστό βαρύ μαζούτ, με αποτέλεσμα να μην αποτελεί καθαρό απόσταγμα και επομένως να μην είναι «καθαρό» πετρέλαιο MGO.

(MDO)Marine Diesel Oil

Ανήκει κι αυτό στην κατηγορία των αποσταγμάτων, αλλά παράγεται από βαρύτερα αποστάγματα από ότι το MGO. Είναι ελαφρύ καύσιμο και έχει περιεκτικότητα σε θείο 1%, με δυνατότητα μελλοντικά να μειωθεί στο 0,5%. Το MDO, χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία μηχανών πλοίων, βοηθητικών μονάδων ισχύος, καθώς και βοηθητικών κινητήρων σε μεγάλα πλοία και δεν απαιτεί θέρμανση για τη χρήση του. Αυτού του είδους το καύσιμο χρησιμοποιείται και σε πιο μεγάλους κινητήρες πλοίων, σε περίπτωση που το πλοίο βρίσκεται σε περιοχές που έχουν θεσπιστεί πιο χαμηλά όρια ρύπων. Όταν το πλοίο εξέλθει από τέτοιου είδους περιοχές τότε θα χρησιμοποιήσει καύσιμο με υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο. Είναι αρκετά πιο ακριβό σε σχέση με το μαζούτ, φθηνότερο όμως από το MGO. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα καύσιμα DMB και RMA10, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217.

(I.F.O.)Intermediate Fuel Oil

Το καύσιμο αυτό είναι μίγμα από HFO και MDO ή MGO, με μικρότερες αναλογίες καυσίμου απόσταξης και μεγαλύτερες αναλογίες μαζούτ. Χρησιμοποιείται σε μηχανές πλοίων μικρού και μεσαίου μεγέθους. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα καύσιμα RME, RMG και RMK. Απαιτεί προθέρμανση για να μπορεί να αντληθεί. Η προθέρμανση είναι αρκετά σημαντική αλλιώς μικροοργανισμοί δύνανται να εμφανιστούν στη διάταξη αποθήκευσής του.

(H.F.O.)Heavy Fuel Oil

Το συγκεκριμένο καύσιμο χρησιμοποιείται κατά κόρον στην ναυτιλία, με μέγιστο όριο σε περιεκτικότητα θείου 3,5% και υψηλό ιξώδες και πυκνότητα (πάνω από 900kg/m³ στους 15°C

και 30mm²/s στους 50°C). Το ΗFO προκύπτει κατά την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες με μεσαία και χαμηλή ταχύτητα (μεσόστροφοι και βραδύστροφοι) είναι σχεδιασμένοι για καύσιμο Η.Φ.Ο. Το μαζούτ δεν δύναται να υποστεί άντληση στους 20°C με αποτέλεσμα να απαιτεί προθέρμανση πριν τη χρήση του. Για να μπορέσει να αντληθεί, θα πρέπει να θερμανθεί τουλάχιστον μέχρι τους 40 °C. Όλες οι κατηγορίες καυσίμων που αντιπροσωπεύονται από το γράμμα «R», ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία καυσίμου, με μοναδική εξαίρεση να αποτελεί το καύσιμο RMA10, καθώς το ποσοστό του σε μαζούτ είναι μικρό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

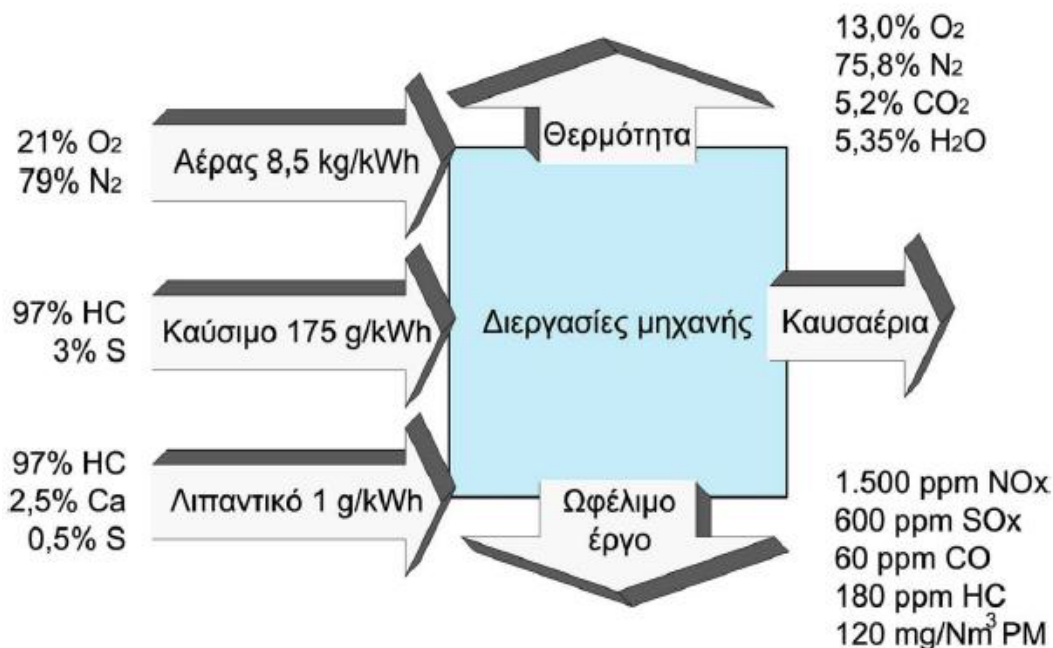
2.1 Είδη ατμοσφαιρικών ρύπων από τη ναυτιλία

Σύμφωνα με την οδηγία 96/61/ΕΚ, ρύπανση ορίζεται ως η άμεση ή έμμεση εισαγωγή στην ατμόσφαιρα, στο νερό ή στο έδαφος ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, ουσιών, κραδασμών, θερμότητας ή θορύβου που ενδέχεται να θίξουν την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να παραβιάσουν ή να εμποδίσουν την ψυχαγωγική λειτουργία καθώς και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος. Ρύπος ορίζεται ως ο παράγοντας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ρύπανση.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελούν οι εκπομπές ρύπων από τη ναυτιλία. Στη ναυτιλία, η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων, χρησιμοποιούν καύσιμα τα οποία αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο. Συγκεκριμένα η περιεκτικότητα αυτών των καυσίμων σε άνθρακα είναι της τάξεως του 85 με 87,5% [7].

Τα καυσαέρια περιέχουν κατά κύριο λόγο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και άζωτο (N₂), υδρατμούς (H₂O) αλλά και οξυγόνο (O₂) (εικόνα 2.1). Σε αρκετά πιο μικρό ποσοστό περιέχουν οξείδια αζώτου και θείου (NO_x, SO_x), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια καθώς και μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Οι ρύποι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς, προέρχονται απευθείας από τα πλοία και οι σημαντικότεροι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) αλλά και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξείδια θείου (SO_x), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες, οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και σωματίδια. Από την άλλη οι ρύποι που σχηματίζονται κατόπιν διαφόρων χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων, ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι. Πολλές και σύνθετες χημικές αντιδράσεις μεταξύ οξειδίων του θείου και του αζώτου, υδρογονανθράκων αλλά και του οξυγόνου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με την ταυτόχρονη επίδραση του ηλιακού φωτός, επιφέρουν τη δημιουργία ρύπων όπως το όζον (O₃) και το υδροξύλιο (OH), τα οποία είναι τοξικά. Αυτοί οι τοξικοί ρύποι ανήκουν στην κατηγορία των δευτερογενών ρύπων.



Εικόνα 2.1: Παραγωγή ρύπων ναυτικής μηχανής. Πηγή: [2]

2.1.1 Πρωτογενείς ρύποι

Οξειδία του θείου (SO_x)

Είναι ένας πολύ σημαντικός, αν όχι ο σημαντικότερος μαζί με τα οξειδία του αζώτου, ρύπος από τους ναυτικούς κινητήρες και προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Από την καύση των καυσίμων σε συνδυασμό με οξυγόνο εκλύεται διοξείδιο του θείου. Όσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο έχει το καύσιμο, τόσο περισσότερα οξειδία εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση του. Με ύπαρξη νερού (π.χ. μέσω υγρασίας) δημιουργείται θειικό οξύ.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Η προέλευση του είναι από την ατελή καύση άνθρακα ή και ανθρακούχων ενώσεων. Παράγεται όταν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο ώστε να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα. Είναι άχρωμο, άοσμο, με αποτέλεσμα να μην γίνεται εύκολα αντιληπτό αλλά και ταυτόχρονα είναι πολύ τοξικό.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Αποτελεί παραπροϊόν όλων των καύσεων των ορυκτών καυσίμων, όπως κι άλλων οργανικών ενώσεων. Άμεση επίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα είναι το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», οι κλιματολογικές αλλαγές και η αύξηση της θερμοκρασίας.

Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες

Δημιουργούνται από την ατελή καύση του καυσίμου. Η κακής ποιότητας καύση συμβαίνει για παράδειγμα όταν σε κάποιον κύλινδρο της Μ.Ε.Κ. είτε δεν γίνεται καθόλου καύση είτε γίνεται ατελής. Επιπλέον μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων.

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις χαρακτηρίζονται από την τοξικότητά τους αλλά και την δυνατότητά τους να εξατμίζονται στον αέρα και να παράγουν αιθαλομίχλη όζοντος. Τα VOCs που παράγονται από τους ναυτικούς κινητήρες περιλαμβάνουν το βουταδένιο, βενζόλιο, το τολουόλιο και τη φορμαλδεΐδη. Οι παραπάνω ουσίες έχουν συνδεθεί με αναπνευστικά προβλήματα αλλά και καρκίνο.

Οξειδία του αζώτου(NOx)

Τα οξειδία του αζώτου δημιουργούνται από την ύπαρξη οξυγόνου και αζώτου σε καταστάσεις υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης κατά την καύση μέσα στον κύλινδρο. Τα οξειδία αυτά, συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις, υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, που καταλήγουν σε παραγωγή όζοντος.

Αιθάλη

Η ατελής καύση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δημιουργεί μικροσκοπικά σωματίδια άκαυστου υδρογονάνθρακα, τα οποία αποτελούν την αιθάλη. Η χρήση κακής ποιότητας καυσίμου ευθύνεται για τον σχηματισμό αιθάλης. Η αιθάλη αυξάνει την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.1.2 Δευτερογενείς ρύποι

Όζον (O₃)

Το όζον είναι ασταθές αέριο, ιδιαίτερος τοξικό και έχει χαρακτηριστική οσμή. Στο επίπεδο της θάλασσας, το όζον που υπάρχει, θεωρείται πολύ μολυσματικό στοιχείο για τον αέρα με δυσάρεστες επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα όλων των ζωντανών οργανισμών, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Από την άλλη στην ανώτερη ατμόσφαιρα, απορροφά την επικίνδυνη και επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία, καθιστώντας το όζον στα ανώτερα στρώματα αρκετά χρήσιμο και ζωτικής σημασίας στο να εμποδίζει να φθάσει η υπεριώδης ακτινοβολία στην γήινη επιφάνεια.

Υδροξύλιο

Το υδροξύλιο ή αλλιώς ρίζα υδροξυλίου (OH⁻), συναντάται σε πολλές χημικές ενώσεις όπως στις αλκοόλες και στο νερό. Η ρίζα του υδροξυλίου είναι εξαιρετικά δραστική, με αποτέλεσμα να αποσπά άτομο υδρογόνου από οργανική ένωση. Οι ελεύθερες οξυγονούχες ρίζες (όπως το υδροξύλιο), δύνανται να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στο DNA, όπως είναι οι μεταλλάξεις.

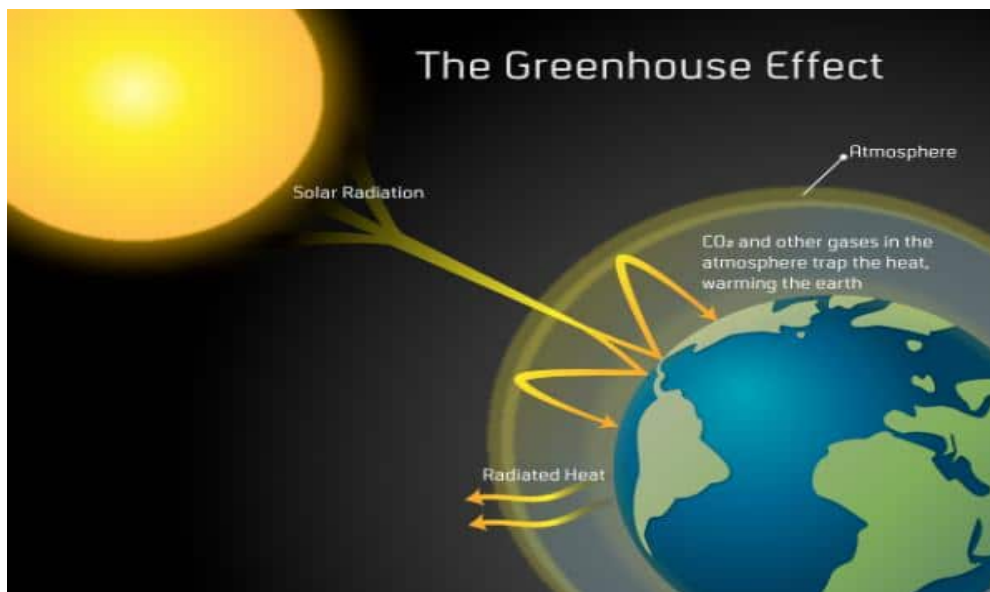
2.2 Επιπτώσεις της ρύπανσης από τη ναυτιλία στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον

Οι ρύποι που αναλύθηκαν παραπάνω, βλάπτουν σοβαρά την ανθρώπινη υγεία είτε έμμεσα είτε άμεσα, όπως επίσης την χλωρίδα και την πανίδα. Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα φαινόμενα-επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

- i. **Όξινη βροχή:** Τα οξειδία του θείου μετατρέπονται σε θειικό οξύ, με αποτέλεσμα την μείωση του pH του βρόχινου νερού και την δημιουργία όξινης βροχής. Η βροχή σε φυσιολογικές συνθήκες έχει τιμές pH μεταξύ 5.0 και 5.6, είναι δηλαδή ελαφρά όξινη. Τα τελευταία χρόνια όμως, το pH της βροχής γίνεται ολοένα και μικρότερο

καθιστώντας την βροχή πιο όξινη. Το pH της όξινης βροχής παίρνει τιμές από 3.5 έως 4.5. Η όξινη βροχή, ανάλογα με την τιμή του pH της αλλά και τη διάρκεια έκθεσης, δύναται να προκαλέσει βλάβες στο δέρμα, να διαβρώσει μέταλλα, να κάψει τα φύλλα των φυτών αλλά και να διαβρώσει ιστορικά μνημεία, να προκαλέσει ζημιές σε κτίρια, οχήματα κ.α. Επιπλέον, λόγω πτώσης του pH στα επιφανειακά ύδατα, πολλά υδρόβια είδη ζωής πεθαίνουν ή δυσκολεύονται να αναπαραχθούν μιας και πλήττονται τα νεογνά τους και τα αυγά τους. Η όξινη βροχή επίσης καταστρέφει και την υδάτινη χλωρίδα και υποβαθμίζει την ποιότητα των υδάτων. Το ίδιο συμβαίνει και στο έδαφος, καθώς λόγω πτώσης του pH πολλές μορφές ζωής εξοντώνονται. Όσον αφορά τις άμεσες επιπτώσεις στον άνθρωπο, η όξινη βροχή αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου και επιβαρύνει την αναπνευστική λειτουργία καθώς προκαλεί άσθμα.

- ii. **Φωτοχημικό νέφος:** Κατά την καύση παράγονται οξειδία του αζώτου και κυρίως μονοξειδίο και διοξειδίο του αζώτου, τα οποία συνεισφέρουν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους. Αποτελεί την ρύπανση της ατμόσφαιρας των μεγάλων αστικών κέντρων. Ονομάζεται αλλιώς "νέφος τύπου Λος Άντζελες " καθώς πρώτη φορά μελετήθηκε στην πόλη τους Λος Άντζελες. Δημιουργείται από τους ρύπους (NOx, άκαυστοι υδρογονάνθρακες) που έχουν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα με μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία ηλιακού φωτός (γι αυτό ονομάζεται φωτο-χημικό), οδηγούν στην δημιουργία όζοντος και άλλων οργανικών ουσιών. Μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, ασθένειες όπως άσθμα, βρογχίτιδα και εμφύσημα, ερεθισμό στα μάτια κ.α.
- iii. **Φαινόμενο θερμοκηπίου:** Αποτελεί μία φυσική διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα του πλανήτη παγιδεύει θερμότητα, διατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια σε κατάλληλα επίπεδα, στα οποία δύνανται να ζήσουν και να αναπτυχθούν τα έμβια όντα. Το συγκεκριμένο φαινόμενο συνδέεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ηλιακή υπέρυθη ακτινοβολία εισβάλλει στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος της ηλιακής υπέρυθρης ακτινοβολίας μένει στη Γη ενώ η υπόλοιπη επιστρέφει στο διάστημα. Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι το όζον, το μεθάνιο(CH₄), το υποξειδίο του αζώτου(N₂O) και οι χλωροφθοράνθρακες (οργανικές χημικές ενώσεις, που περιέχουν χλώριο, φθόριο και άνθρακα, όπως προκύπτει και από την ονομασία τους), συμβάλλουν στην απορρόφηση της ακτινοβολίας και συνεπώς της διατήρησης της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Όμως ανθρώπινες ενέργειες, όπως είναι η καύση πετρελαίου σε ναυτικούς κινητήρες, οδηγούν στην έκλυση μεγαλύτερων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την δημιουργία παχύτερου στρώματος, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα (2.2), και με αυτόν τον τρόπο παγιδεύεται περισσότερη ακτινοβολία στη Γη. Έτσι αυξάνεται η μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Τα καταστροφικά αποτελέσματα του συγκεκριμένου φαινομένου είναι η υψηλότερη στάθμη της θάλασσας, καθώς λιώνουν οι πάγοι των πόλων, η ερημοποίηση περιοχών της εύκρατης ζώνης καθώς οι ζώνες βροχόπτωσης μετακινούνται προς τον βορρά αλλά και η εξαφάνιση ορισμένων ειδών έμβιων όντων.



Εικόνα 2.2: Φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πηγή: [2]

- iv. **Τρύπα του όζοντος:** Η μείωση του πάχους του στρώματος του όζοντος που υπάρχει στα ανώτερα στρώματα ατμόσφαιρας και πιο συγκεκριμένα στην στρατόσφαιρα της Γης, ονομάζεται Τρύπα του όζοντος. Το όζον στην στρατόσφαιρα βοηθάει στην απορρόφηση σημαντικού μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας. Λόγω απελευθέρωσης αερίων στην ατμόσφαιρα, τα οποία είναι επιβλαβή για το όζον, όπως οι χλωροφθοράνθρακες, μεγαλώνει η «τρύπα», με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω αύξησης της υπεριώδους ακτινοβολίας που εισέρχεται. Οι επιπτώσεις του εν λόγω φαινομένου είναι το μελάνωμα, μορφή θανατηφόρου καρκίνου του δέρματος, ο καταρράκτης αλλά και η μετάλλαξη του DNA στους ζωντανούς οργανισμούς. Όσον αφορά τους φυτικούς οργανισμούς, παρεμποδίζει την φωτοσύνθεση, αλλάζει τους ρυθμούς ανάπτυξης και καταστρέφει και σε εκείνους το DNA.

	SO _x , NO _x , PM, VOCs	CO, CO ₂
Χωρική κλίμακα επιπτώσεων	Τοπική, περιφερειακή	Παγκόσμια
Χρονική κλίμακα επιπτώσεων	Βραχυπρόθεσμα Μακροπρόθεσμα	Περισσότερο μακροπρόθεσμα
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Όξινη βροχή Φωτοχημικό νέφος Νέφος αιθαλομίχλης	Φαινόμενο θερμοκηπίου και υπερθέρμανση Αύξηση της στάθμης της θάλασσας Ακραία καιρικά φαινόμενα Καταστρεπτικές συνέπειες στον τομέα της γεωργίας

Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	Αναπνευστικά προβλήματα υγείων ατόμων Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, πνεύμονες Άσθμα Χρόνια βρογχίτιδα Καρδιοπάθειες	Έμμεσες, που θα οφείλονται σε: Υψηλές θερμοκρασίες Ακραία καιρικά φαινόμενα
---------------------------------	---	---

Πίνακας 2.1 Ρύποι και συνέπειες τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Πηγή: [2]

2.3 Όρια αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο μέσω της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ το οποίο αναφέρεται στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, έχει καθορίσει τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια εκτίμησης, για τις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων (διοξειδίου του θείου, οξειδίων και διοξειδίου του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, σωματίδια) στον αέρα της ατμόσφαιρας.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα ανώτερα και κατώτερα όρια ρυπογόνων αερίων.

Διοξείδιο του θείου		
	Προστασία υγείας	Προστασία της βλάστησης
Ανώτερο όριο εκτίμησης	60 % της εικοσιτετράωρης οριακής τιμής (75 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	60 % του χειμερινού κρίσιμου επιπέδου (12 µg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40% της εικοσιτετράωρης οριακής τιμής (50 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	40 % του χειμερινού κρίσιμου επιπέδου (8 µg/m ³)

Πίνακας 2.2 Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης διοξειδίων του θείου. Πηγή: [50]

Οξείδια και διοξείδιο του αζώτου			
	Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου (NO ²)	Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου (NO ²)	Ετήσιο κρίσιμο επίπεδο για την προστασία της βλάστησης και των φυσικών οικοσυστημάτων (NO _x)
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (140 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	80 % της οριακής τιμής (32 µg/m ³)	80 % του κρίσιμου επιπέδου (24 µg/m ³)

Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	65 % της οριακής τιμής (26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65 % του κρίσιμου επιπέδου (19,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
-------------------------	--	---	---

Πίνακας 2.3 Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης οξειδίων και διοξειδίων του αζώτου. Πηγή: [50]

Μονοξείδιο του άνθρακα	
8 ώρες	
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2.4 Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης μονοξειδίων του άνθρακα. Πηγή: [50]

Σωματίδια (PM10 και PM2,5)			
	Μέσος όρος 24 ωρών PM10	Μέσος ετήσιος όρος PM10	Μέσος ετήσιος όρος PM2,5
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	70 % της οριακής τιμής (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70 % της οριακής τιμής (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	50 % της οριακής τιμής (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50 % της οριακής τιμής (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2.5 Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης σωματιδίων. Πηγή: [50]

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, αναβαθμίζει συχνά τα όρια των ρύπων, τα οποία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ρύπος	Χρονική βάση	Οδηγίες ποιότητας αέρα
PM2,5	Ετήσιο	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ημερήσιο	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	Ετήσιο	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Ημερήσιο	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O3	8 ώρες	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO2	Ετήσιο	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	1 ώρα	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	Ημερήσιο	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	10 λεπτών	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 2.6 Πρότυπα ποιότητα του αέρα που συνιστά ο ΠΟΥ, Πηγή: [51].

2.4 Θεσμικό πλαίσιο για τις εκπομπές αέριων ρύπων από τη ναυτιλία

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας, αποτελεί έναν πολυεθνικό οργανισμό, του οποίου σκοπός είναι η επίβλεψη της σωστής και ασφαλούς επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ των μελών του στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Ο IMO (International Maritime Organization), ιδρύθηκε στην Γενεύη στις 17 Μαρτίου 1948 ως Διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Συμβουλευτικός Οργανισμός, IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization) και τελικά μετονομάστηκε σε IMO το 1982. Ο IMO αριθμεί αυτή τη στιγμή 174 κράτη μέλη και 3 συνεργαζόμενα μέλη.

Ο IMO, το 1973 εφάρμοσε τη Διεθνή Σύμβαση, η οποία αφορά την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, με την ονομασία MARPOL 73/78. Η λέξη MARPOL προέρχεται από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων ναυτιλιακή (marine) ρύπανση (pollution). Στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, τροποποιήθηκε η σύμβαση αυτή, από το ‘Πρωτόκολλο του 1997’, το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI. Το εν λόγω παράρτημα θέτει όρια στους ρύπους που εκλύονται από καυσαέρια των πλοίων, συμπεριλαμβανομένου τις εκπομπές οξειδίων Αζώτου και Θείου (NO_x και SO_x). Τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005.

Τα πρότυπα αυτά του IMO, ονομάζονται πρότυπα Tier I-III. Τα πρότυπα του Tier I ορίστηκαν το 1997 στο παράρτημα VI, ενώ τα πρότυπα Tier II/III εισήχθησαν με τροποποιήσεις του παραρτήματος VI καθώς έλαβαν έγκριση το 2008.[5]

Πρωτόκολλο του 1997 (Tier I)

Εφαρμόζεται αναδρομικά σε νέους κινητήρες άνω των 130 kW που είναι εγκατεστημένοι σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά την ή μετά την 1η Ιανουαρίου του 2000, ή που υφίστανται μετατροπή μετά το πέρας αυτής της ημερομηνίας. Περιμένοντας την έγκριση του παραρτήματος VI, η πλειονότητα των κατασκευαστών θαλάσσιων κινητήρων, ξεκίνησαν την κατασκευή τους ακολουθώντας τα ανωτέρω πρότυπα, από το 2000.

Τροποποιήσεις του 2008 (Tier II/ III)

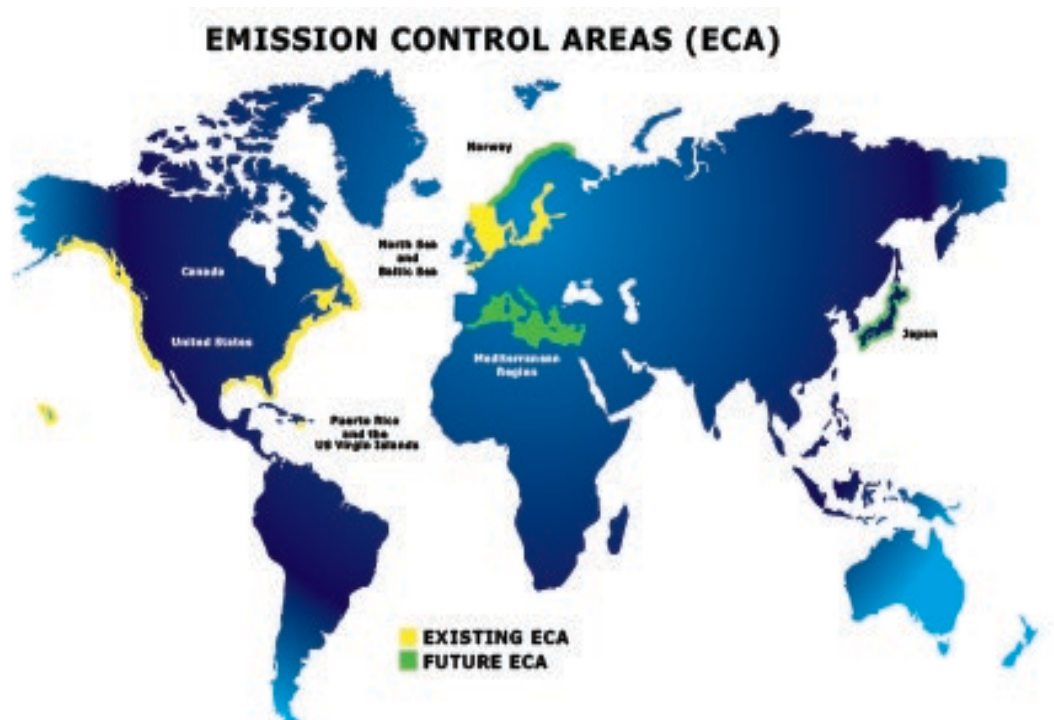
Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που εγκρίθηκαν τον Οκτώβριο του 2008 εισήγαγαν νέες απαιτήσεις ποιότητας καυσίμου από τον Ιούλιο του 2010, Πρότυπα εκπομπών NO_x βαθμίδας II και III για νέους κινητήρες, και απαιτήσεις NO_x βαθμίδας I για υφιστάμενους κινητήρες πριν από το 2000. [7]

2.4.1 Κανονισμοί για τα οξείδια του θείου (SO_x)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα οξείδια του θείου είναι αέριοι ρύποι που συμβάλλουν στην όξινη βροχή. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα όρια τα οποία έχει θέσει ο IMO μέσω του παραρτήματος VI, για τη μείωση της περιεκτικότητας του θείου σε ναυτιλιακά καύσιμα, συνεπώς και μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου εντός και εκτός των περιοχών SECA.

Περιοχές ECA (Emission Control Areas) ή SECA (Sulphur Emission Control Areas), ονομάζονται οι περιοχές που εφαρμόζονται και επιβάλλονται αυστηρότερα όρια εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία, σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL. Αυτή τη στιγμή οι περιοχές αυτές είναι:

- Η Βαλτική θάλασσα
- Η Βόρεια θάλασσα
- Η NAECA (Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών της Βορείου Αμερικής)
- Η αμερικάνικη ακτή της Καραϊβικής θάλασσας



Εικόνα 2.3 Υπάρχουσες και μελλοντικές περιοχές ECA, Πηγή:[7]

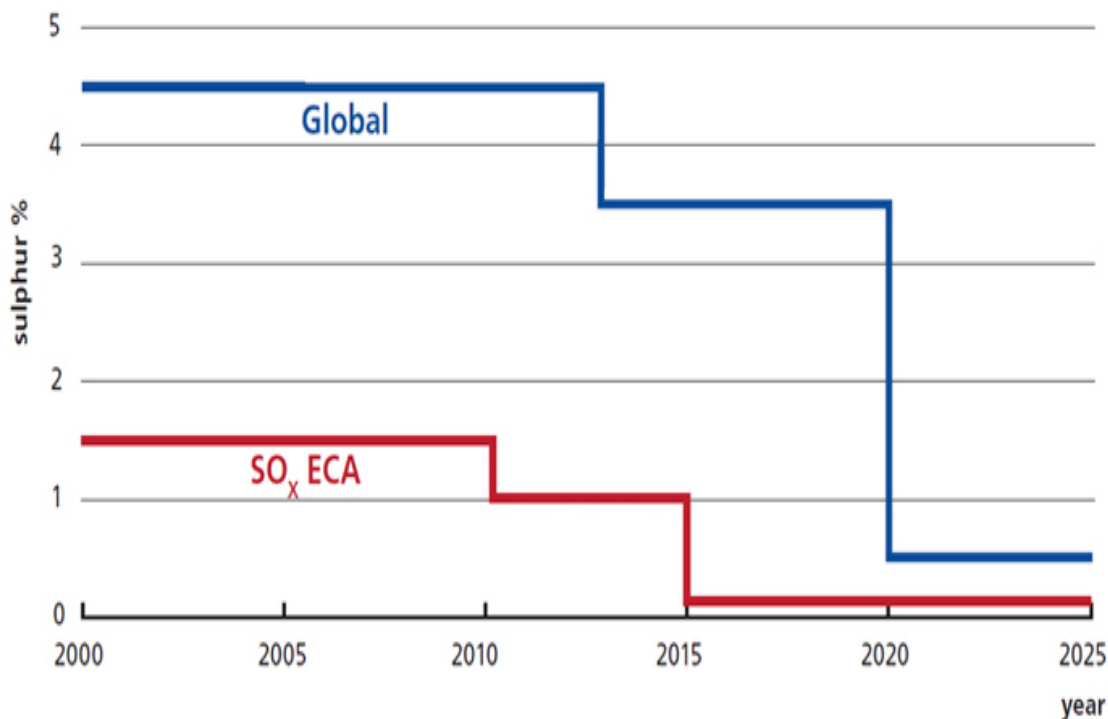
Όπως παρατηρείται στον πίνακα 2.7 παρακάτω, πριν από τον Ιούλιο του 2010 η περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα των πλοίων έπρεπε να είναι 1,50% κατά την έλευση των πλοίων στις ειδικές ζώνες SECA, ενώ μετά την 1η Ιουλίου 2010 και για 5 χρόνια το ποσοστό της περιεκτικότητας του θείου ήταν 1,00%. Από την 1η Ιουλίου 2015 και μετά η περιεκτικότητα μειώθηκε, συνολικά κατά 90% σε σχέση με την ισχύουσα επιτρεπόμενη περιεκτικότητα, δηλαδή σε 0,10% περιεκτικότητας σε θείο.

Από την άλλη, πριν από την 1^η Ιανουαρίου 2012 η περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα των πλοίων εκτός περιοχών SECA ήταν 4,5%, ενώ μετά από αυτήν την ημερομηνία ο IMO, μείωσε την περιεκτικότητα σε θείο κατά 22,3% περίπου, στο 3,5%, ενώ μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020 μειώθηκε κατά 85,7% (89% σε σχέση με την αρχική), δηλαδή στο 0,5% κατά βάρος.

Εντός περιοχών SECA	Εκτός περιοχών SECA
1,50% κ.β. πριν την 1η Ιουλίου 2010	4,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιανουαρίου 2012

1,00% κ.β. κατά και μετά την 1η Ιουλίου 2010	3,50% (κ.β.) κατά και μετά την 1η Ιανουαρίου 2012
0,10% κ.β. κατά και μετά την 1η Ιουλίου 2015	0,50% (κ.β.) κατά και μετά την 1η Ιανουαρίου 2020

Πίνακας 2.7 Όρια περιεκτικότητας σε θείο (S%) στα καύσιμα που χρησιμοποιεί η ναυτιλία. Πηγή: [6]



Εικόνα 2.4. Διάγραμμα περιεκτικότητας θείου σε καύσιμα ανά πενταετία, Πηγή: [7]

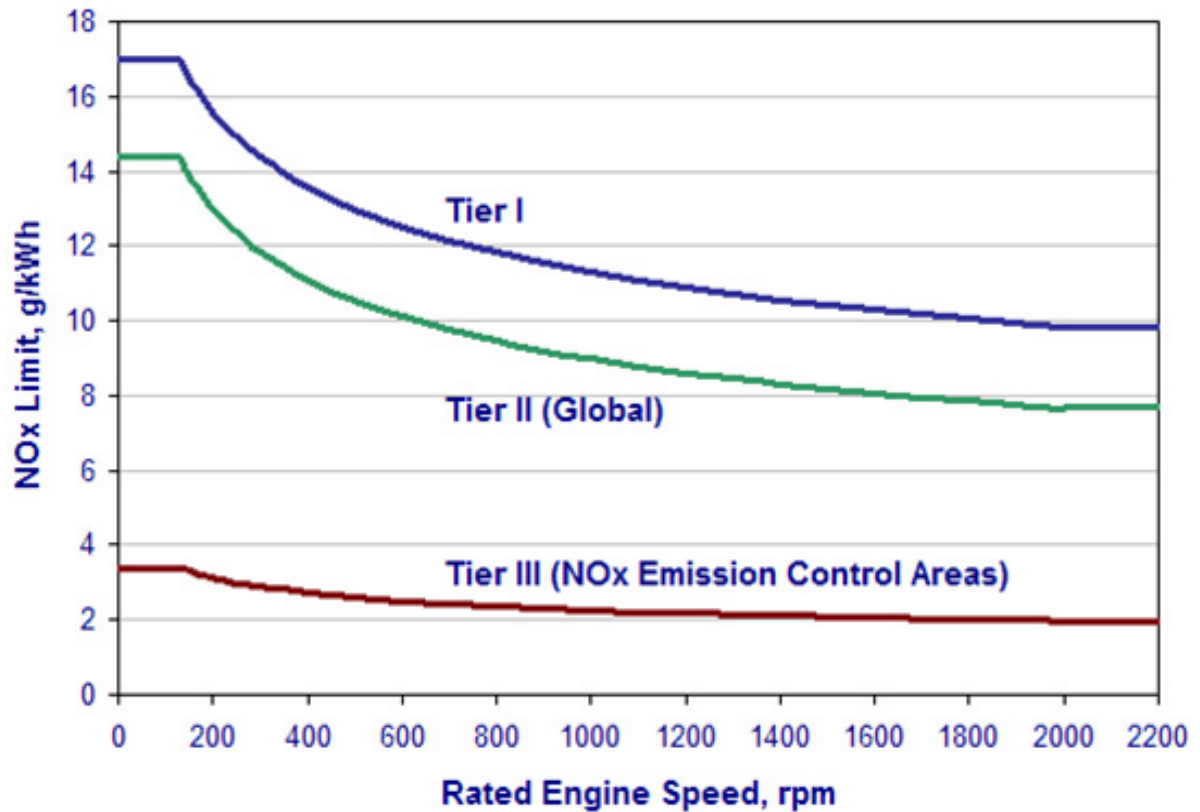
2.4.2 Κανονισμοί για τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου, αποτελούν κι αυτά αέριους ρύπους οι οποίοι συμβάλλουν στο φαινόμενο του φωτοχημικού νέφους, της όξινης βροχής και καταστροφής του φυσικού περιβάλλοντος και υγείας των έμβιων όντων του πλανήτη. Τα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου για τους ναυτικούς κινητήρες προκύπτουν ανάλογα με τις στροφές ανά λεπτό του κινητήρα, δηλαδή την ταχύτητα λειτουργίας του (rpm) και καθορίζονται από τα αντίστοιχα Tier, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα (2.8).

Tier	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου (κατά ή μετά την)	Όρια εκπομπών NO _x (g/kWh), n = ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (rpm)		
		n < 130	n = 130 – 1999	n ≥ 2000
I	1/1/2000	17,0	45n ^(-0.2) (π.χ. για n = 720 rpm το όριο γίνεται 12,1 g/kWh)	9,8
II	1/1/2011	14,4	44n ^(-0.23) (π.χ. για n = 720 rpm το όριο γίνεται 9,7 g/kWh)	7,7

III	1/1/2016 για λειτουργία σε ECA	3,4	$9n^{(-0.2)}$ (π.χ. για $n = 720$ rpm το όριο γίνεται 2,4 g/kWh)	2,0
-----	--------------------------------	-----	--	-----

Πίνακας 2.8 Όρια εκπομπής οξειδίων του αζώτου Πηγή: [7]



Εικόνα 2.5 Διάγραμμα ορίων εκπομπής NOx, συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής Πηγή: [7]

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα (2.8), τα πλοία με έτος κατασκευής μετά το 2000 θα πρέπει να εκπέμπουν τα αναγραφόμενα όρια του Tier I, τα πλοία με έτος κατασκευής μετά το 2011 έχουν μείωση κατά 15-22% των οξειδίων του αζώτου. Τα νεότερα πλοία και στις ειδικές περιοχές ECAs, τα πλοία θα έχουν τα χαμηλότερα όρια, με την μείωση να είναι περίπου 76% σε σχέση με τα όρια του Tier II.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μία πρόκληση σήμερα είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή αποδοτικών πρακτικών που θα μειώνουν την ρύπανση του περιβάλλοντος. Έτσι λοιπόν και στον τομέα της ναυτιλίας, σκοπός είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών, οι οποίες θα μειώνουν δραστικά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων σε χαμηλά επίπεδα, όπως ορίζουν οι κανονισμοί του IMO. Σκοπός είναι να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών ρύπων.

Η πλειονότητα των τεχνολογιών που αναπτύσσονται αφορούν τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου, αζώτου και άνθρακα. Ωστόσο, ορισμένες τεχνολογίες έχουν αντίκτυπο και στη μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων. Στις ακόλουθες ενότητες περιγράφονται μέθοδοι μείωσης των εκπομπών οξειδίων του θείου από ναυτικούς κινητήρες.

3.1 Καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο

Η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, αποτελεί την πιο εύκολη αλλά ταυτόχρονα και δαπανηρή επιλογή για την μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα από τους ναυτικούς κινητήρες. Με βάση τους κανονισμούς για τα οξείδια του θείου, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2, με τη μείωση του ορίου περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα από 3,5% σε 0,5%, (σε κάποιες ειδικές περιοχές σε 0,1%), δημιουργείται πρόβλημα όσον αφορά τη διαθεσιμότητα τόσο μεγάλων ποσοτήτων καθαρού καυσίμου. Ταυτόχρονα η τιμή του καυσίμου χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο, είναι σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με το καύσιμο H.F.O. (Heavy Fuel Oil). Η μείωση του ορίου περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) κατά 80%. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται και μείωση των PM κατά 20%. Όταν θα πρέπει ένα πλοίο να χρησιμοποιεί καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%, ουσιαστικά θα πρέπει να χρησιμοποιεί καύσιμο MGO (Marine Gas Oil), το οποίο όμως είναι ακριβότερο σε σχέση με τα βαρέα πετρέλαια. Αυτή τη στιγμή, το καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, η χρήση πλυντρίδων (scrubbers), η οποία θα αναλυθεί ακολούθως αλλά και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων (κυρίως LNG), αποτελούν τις πιο διαδεδομένες λύσεις μείωσης εκπομπών θείου και εναρμόνισης των πλοίων με τα ισχύοντα όρια ρύπων καυσαερίων τους, όσον αφορά τις εκπομπές θείου.

3.2 Πλυντρίδες (Scrubbers)

Η πλυντρίδα (scrubber) αποτελεί ένα σύστημα ελέγχου και αποτροπής αέριας ρύπανσης αφαιρώντας το μεγαλύτερο μέρος των αερίων και των σωματιδίων, που ευθύνονται για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η αγγλική λέξη «scrubber» προκύπτει από το ρήμα «scrub» που στα ελληνικά μεταφράζεται ως «τρίβω». Ο όρος πλυντρίδα αναφέρεται στις διατάξεις, που απομακρύνουν και «ξεπλένουν» τα επικίνδυνα αέρια από τα καυσαέρια των μηχανών, με τη χρήση κάποιου υγρού, κυρίως νερού. Η ιδέα προέρχεται από την ίδια τη φύση, καθώς η βροχή «ξεπλένει» τα σωματίδια από την ατμόσφαιρα, καθαρίζοντάς την. Με την πάροδο των χρόνων, ο όρος χρησιμοποιήθηκε και για την περιγραφή ενός συστήματος εισαγωγής στερεού ή υψηλής πυκνότητας υγρού, που αντιδρά με τα ανεπιθύμητα, μολυσματικά αέρια και τα αποτρέπει να ελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα. Οι πλυντρίδες, ονομάζονται και διατάξεις αποθείωσης καυσαερίων (Flue Gas Desulfurization- FGD), καθώς αποτελούν την πιο διαδεδομένη και αξιόπιστη διάταξη απομάκρυνσης θείου από τα καυσαέρια.

3.2.1 Ιστορική αναδρομή

Οι πλυντρίδες, χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες στον τομέα της βιομηχανίας. Η αρχή έγινε το 1836, όπου ένα πρώιμο σύστημα καθαρισμού κέρδισε το πρώτο βραβείο ευρεσιτεχνίας. Έναν αιώνα μετά, δηλαδή το 1935, περίπου το 98% των ρύπων διοξειδίου του θείου (SO_2) που εκπέμπονταν από τη βιομηχανία στη Μεγάλη Βρετανία, καθαρίζονταν με αυτού του είδους τα συστήματα.

Σχεδόν 60 χρόνια μετά, το 1991, το πρώτο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, το οποίο μάλιστα χρησιμοποιούσε θαλασσινό νερό κατά τη λειτουργία του, τοποθετήθηκε και λειτούργησε σε σκάφος. Πολλές και μεγάλης χρονικής διάρκειας δοκιμές σε συστήματα καθαρισμού καυσαερίων ανοικτού τύπου, πραγματοποιήθηκαν τον Μάιο 1998 σε παγοθραυστικό. Το ταξίδι του παγοθραυστικού, ονόματι Louis S. St. –Laurent, διήρκησε 6 εβδομάδες, ενώ οι δοκιμές της πλυντρίδας διήρκησαν 22 ημέρες.

Κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους, ένα διαφορετικό σύστημα πλυντρίδας, το Eco –Silencer, δοκιμάστηκε στο φορτηγό και επιβατικό πλοίο Leif Ericson. Το εν λόγω σύστημα καθαρισμού καυσαερίων επεξεργαζόταν εξ ολοκλήρου την έξοδο των καυσαερίων από τον κινητήρα του πλοίου. Ο λόγος των δοκιμών ήταν η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του συγκεκριμένου συστήματος αλλά και ταυτόχρονα η πρότασή του ως εναλλακτικό τρόπο καθαρισμού των καυσαερίων.

Επιπλέον μελέτες, που βασίστηκαν πάνω σε πλοία όπως το Zaandam, το Pride of Kent και το Suula, έδειξαν ότι οι πλυντρίδες αποτελούν μία αποτελεσματική λύση για τον περιορισμό των ρύπων από τα καυσαέρια. Το 2008 μέχρι και το 2010, εγκαταστάθηκε και εξετάστηκε ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων το οποίο ήταν κλειστού τύπου στο πετρελαιοφόρο Suula, το οποίο ταξίδευε κυρίως γύρω από τη Βαλτική Θάλασσα, αλλά επίσης επισκέφτηκε τα λιμάνια της Βόρειας Θάλασσας. Ένας βοηθητικός κινητήρας 680kW τροφοδοτούσε καυσαέρια την πλυντρίδα, όπου οξείδια του θείου μεταφέρονταν στο νερό, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό θεικών αλάτων. Το αποβαλλόμενο νερό ψυχόταν με εναλλάκτη θερμότητας (θαλασσινού νερού) και ανατροφοδοτούταν στο κύκλωμα

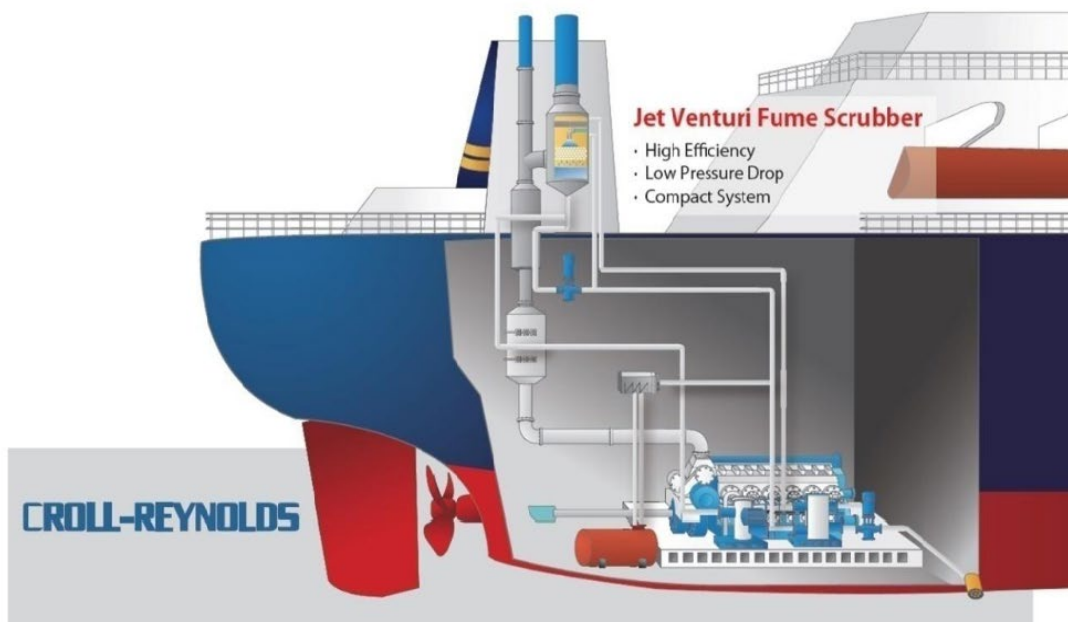
Τον Ιούνιο του 2010, η Motorship ανακοίνωσε την πρώτη εμπορική παραγγελία για πλυντρίδες θαλασσινού νερού που ήταν σε θέση να πληρούν τους καινούριους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σχετικά με τις εκπομπές ρύπων από πλοία, χωρίς να απαιτείται χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Οι πλυντρίδες ανοικτού τύπου εγκαταστάθηκαν σε τέσσερα νέα πλοία 45.000 τόνων που έκαigan μαζούτ και εκτιμήθηκε ότι με την χρήση των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων, οι εκπεμπόμενοι ρύποι ισοδυναμούσαν με τους ρύπους που εκπέμπονταν με χρήση καυσίμου περιεκτικότητας 0.1% θείου χωρίς ύπαρξη συστήματος καθαρισμού.

Η χρήση των πλυντρίδων, για την επίτευξη μείωσης των ρύπων που προέρχονταν από τους κινητήρες των μεγάλων πλοίων, δεν ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η εγκατάσταση των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων επιτρέπει στην πλοιοκτήτρια ναυτιλιακή εταιρεία να χρησιμοποιεί βαρύτερο καύσιμο, το οποίο είναι υψηλής περιεκτικότητας σε θείο αλλά και φθηνότερο, σε σχέση με το πολύ ακριβότερο καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητα σε θείο, που ορίζουν τα νέα όρια που έχει θέσει ο IMO.

3.2.2 Αρχή Λειτουργίας

Γενικά μία πλυντρίδα αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

- τον θάλαμο ανάμειξης
- την μονάδα επεξεργασίας νερού
- τη μονάδα συλλογής ιλύος



Εικόνα 3.4 : Σύστημα Scrubber, Πηγή: [9]

Τα καυσαέρια, από τον κινητήρα, κατευθύνονται στον θάλαμο ανάμειξης όπου και αναμειγνύονται με το νερό του κυκλώματος. Εκεί τα οξείδια του θείου των καυσαερίων μετατρέπονται σε θειικό οξύ. Ο θάλαμος ανάμειξης, λόγω περιορισμών χώρου αλλά και πρόσβασης του τεχνικού προσωπικού του πλοίου, βρίσκεται γύρω από την καπνοδόχο.

Η μονάδα επεξεργασίας νερού, εξαρτάται από τον τύπο της πλυντρίδας. Ο συνηθέστερος τρόπος διαχωρισμού των στερεών συστατικών είναι με χρήση φυγοκεντρικού διαχωριστή. Γενικότερα, χρησιμοποιούνται μηχανικοί τρόποι διαχωρισμού. Έπειτα από τον διαχωρισμό, τα στέρεα συστατικά που απομακρύνονται, κατευθύνονται προς τη μονάδα συλλογής ιλύος.

Η λάσπη που απομακρύνεται από το νερό, συγκρατείται από την μονάδα συλλογής ιλύος και στη συνέχεια απορρίπτεται σε ειδικούς χώρους παραλαβής απορριμμάτων στη στεριά.

3.2.3 Είδη των Scrubbers

Οι πλυντρίδες- Scrubbers διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Υγρές Πλυντρίδες (Wet scrubbers)
- Άνυδρες- Ξηρές Πλυντρίδες (Dry scrubbers)

Η τεχνολογία των πλυντρίδων υγρού τύπου περιλαμβάνει τρία βασικά είδη: τις πλυντρίδες ανοικτού κυκλώματος, τις πλυντρίδες κλειστού κυκλώματος και τις πλυντρίδες υβριδικού τύπου.

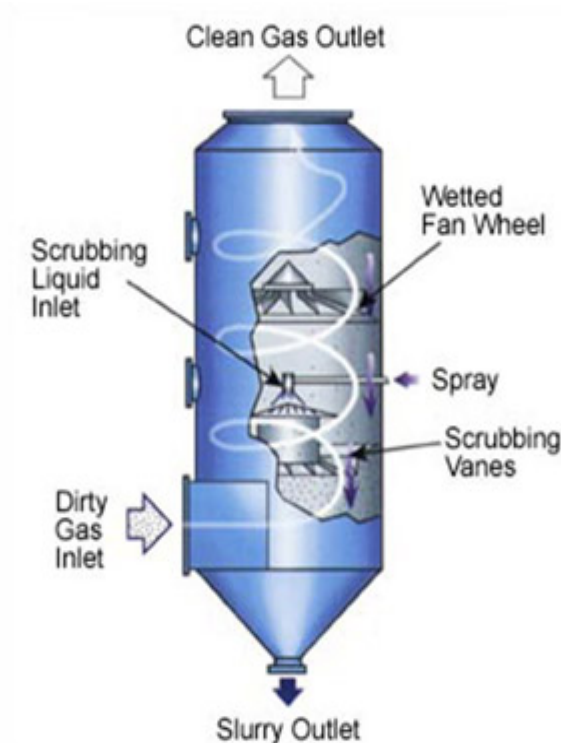
3.2.4 Υγρές Πλυντρίδες (Wet scrubbers)

Στις υγρές πλυντρίδες γίνεται χρήση υγρού με το οποίο ψεκάζονται τα καυσαέρια. Το χρησιμοποιούμενο υγρό, απομακρύνει τους ανεπιθύμητους ρύπους μέσω επαφής του με τα καυσαέρια. Τα υγρά αυτά, τα οποία ονομάζονται διαλύματα καθαρισμού, είναι νερό, είτε θαλασσινό είτε γλυκό ανάλογα με το είδος της πλυντρίδας.

Κατά τη διαδικασία της υγρής απορρόφησης, παράγεται ένα λασποειδές απόβλητο. Συνήθως χρησιμοποιούνται αλκαλικά παχύρευστα υγρά που περιέχουν ασβεστόλιθο ή σβησμένη άσβεστο (υδροξείδιο του ασβεστίου). Τα οξείδια του θείου αντιδρούν με αυτά, με αποτέλεσμα να δημιουργείταιθειώδες καιθειικό ασβέστιο.

Η τεχνολογία των υγρών πλυντρίδων μπορεί να συμβάλει τα μέγιστα στην μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, το οποίο επιτυγχάνεται με τον καθαρισμό των καυσαερίων από όξινα αέρια (διοξείδιο του θείου) καθώς και από σωματίδια και βαρέα μέταλλα. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των υγρών πλυντρίδων είναι η απαίτηση μικρού χώρου, μικρό αρχικό κόστος αλλά και το γεγονός ότι δύνανται να επεξεργαστούν καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας. Όσον αφορά το κόστος τους, αυτό συνεχώς μειώνεται χάρη στις καινοτόμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται, αλλά ταυτόχρονα μειώνονται και τα λειτουργικά τους έξοδα, λόγω συνεχούς μείωσης απαιτήσεων ενέργειας για τη λειτουργία τους.

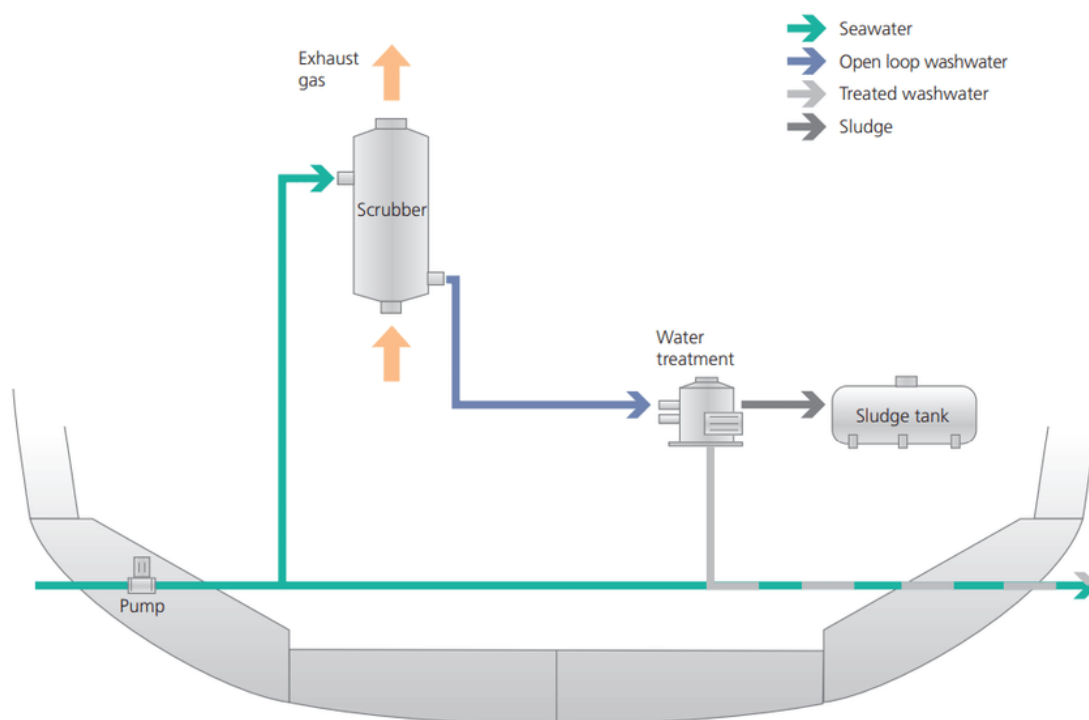
Οι υγρές πλυντρίδες τελευταίας τεχνολογίας μειώνουν την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε θείο σε ποσοστό 97%, ενώ ορισμένες φτάνουν ακόμα και σε ποσοστό 99%. Επίσης έχει παρατηρηθεί πως και οι υγρές και οι ξηρές, που θα αναλυθούν παρακάτω, μειώνουν τις εκπομπές και άλλων ρύπων, όπως το φθόριο, χλώριο και υδροχλωρικό οξύ, μόλυβδο, μαγνήσιο και υδράργυρο σε ποσοστά που ξεπερνάνε το 50%.



Εικόνα 3.5 : Υγρός καθαριστής. Πηγή: [9]

3.2.4.1 Πλυντρίδες ανοικτού κυκλώματος (Open loop scrubbers)

Οι πλυντρίδες ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για την επίτευξη καθαρισμού των καυσαερίων και στη συνέχεια το νερό αυτό διοχετεύεται στη θάλασσα. Απορροφάται νερό από τη θάλασσα, μέρος του οποίου καταλήγει σε μία πλυντρίδα τοποθετημένη στην καπνοδόχο του πλοίου, ενώ το υπόλοιπο αναμιγνύεται με το νερό που προκύπτει από την μονάδα επεξεργασίας. Όπως φαίνεται και από την ακόλουθη εικόνα (3.6), τα καυσαέρια από την μηχανή του πλοίου κατευθύνονται στην πλυντρίδα όπου έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Τα καυσαέρια μπορούν να έρθουν σε επαφή με το νερό με δύο τρόπους: είτε ψεκάζοντας θαλασσινό νερό στο ρεύμα των καυσαερίων, είτε κατευθύνοντας τα καυσαέρια σε ειδικό χώρο που υπάρχει θαλασσινό νερό. Στη συνέχεια, τα επεξεργασμένα πλέον και αποθειωμένα καυσαέρια αποβάλλονται στο περιβάλλον, ενώ το νερό ρέει προς την μονάδα επεξεργασίας. Αυτό το νερό, που ονομάζεται νερό πλύσης, απομακρύνεται από την πλυντρίδα είτε βαρυτικά (συνήθως) είτε με χρήση αντλίας (πιο σπάνια), και κατευθύνεται προς την μονάδα επεξεργασίας, όπου εκεί πραγματοποιείται η αφαίρεση υπολειμμάτων από το νερό πλύσης. Έπειτα το νερό πλύσης, χωρίς υπολείμματα πλέον, αναμιγνύεται με θαλασσινό νερό για να αυξηθεί το pH του και να επαναδιοχετευθεί στη θάλασσα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πρόσθετοι τοπικοί και εθνικοί περιορισμοί ενδέχεται να περιορίσουν την απόρριψη του νερού πλύσης από έναν καθαριστή ανοικτού κυκλώματος. Τα αφαιρούμενα υπολείμματα διατηρούνται επί του σκάφους σε ειδική δεξαμενή υπολειμμάτων και απορρίπτονται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις στην ξηρά.

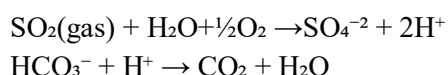


Εικόνα 3.6 : SCRUBBER OPEN LOOP. Πηγή :[19]

Ο όρος «ανοικτό κύκλωμα» χρησιμοποιείται καθώς το απορροφούμενο θαλασσινό νερό εκκενώνεται μετά το πέρασμά του από το σύστημα. Ο καθαρισμός των οξειδίων του θείου διευκολύνεται, μιας και η εν λόγω διαδικασία στηρίζεται στην φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού. Η αλκαλικότητα είναι ένα ποσοτικό μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος

να αντιδρά με οξύ χωρίς όμως να προκαλείται μεταβολή του pH (αναλύεται παρακάτω). Τυπικά, μία τέτοια διάταξη χρησιμοποιεί περίπου 45m³ θαλασσινού νερού ανά MWh για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των καυσαερίων. Η ενεργειακή κατανάλωση της διάταξης κυμαίνεται στο 1-2% της παραγόμενης ενέργειας από τη μηχανή. Αναμένεται ρυθμός αφαίρεσης κοντά στο 98%, το οποίο σημαίνει ότι οι εκπομπές από καύσιμο H.F.O. θα είναι ισοδύναμες αυτών από καύσιμο θείου 0,10%, μετά τον καθαρισμό.[18]

Στις υγρές πλυντρίδες ανοικτού τύπου, οι οποίες όπως αναφέρθηκε παραπάνω λειτουργούν με νερό από τη θάλασσα, οι κυριότερες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την αποθείωση είναι οι ακόλουθες:



Το διοξείδιο του θείου διαλύεται σε νερό, πιο συγκεκριμένα θαλασσινό νερό, αντιδράει με το οξυγόνο σχηματίζοντας, όπως φαίνεται και από τις παραπάνω χημικές αντιδράσεις, κατιόντα υδρογόνου (H⁺) και θειικά ιόντα (SO₄⁻²). Η υψηλή συγκέντρωση ανιόντων υδρογόνου σημαίνει υψηλή οξύτητα, άρα χαμηλό PH. Με τον όρο PH, αναφερόμαστε στην οξύτητα και η τιμή του εκφράζει πόσο όξινο ή βασικό είναι ένα διάλυμα, το οποίο προκύπτει από τις ποσότητες κατιόντων υδρογόνου (H⁺) και ανιόντων υδροξειδίου (OH⁻). Όταν το πλήθος των κατιόντων υδρογόνου (H⁺) είναι μεγαλύτερο, τότε το διάλυμα χαρακτηρίζεται ως όξινο, δηλαδή έχει pH <7 και μάλιστα, όσο πιο μικρή είναι η τιμή αυτή, τόσο πιο όξινο είναι το διάλυμα. Αν το πλήθος των ανιόντων υδροξειδίου (OH⁻) είναι μεγαλύτερο, τότε το διάλυμα χαρακτηρίζεται ως βασικό ή αλκαλικό, δηλαδή έχει pH >7, ενώ όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή αυτή, τόσο πιο βασικό ή αλκαλικό είναι το διάλυμα. Το pH του νερού των ωκεανών κυμαίνεται μεταξύ 7,5 με 8,5. Το νερό στα Scrubbers δεν πρέπει να έχει pH μικρότερο του 6.5.

Τα διτανθρακικά ιόντα (HCO₃⁻) στο θαλασσινό νερό αντιδρούν με κατιόντα υδρογόνου επαναφέροντας την οξύτητα σε χαμηλότερα επίπεδα. Εκτός των οξειδίων του θείου, από τα καυσαέρια αφαιρούνται και ορισμένα οξείδια του αζώτου (NOx), τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα στο θαλασσινό νερό. Η αποδοτικότητα της διαδικασίας καθαρισμού αυξάνεται με την αύξηση της αλκαλικότητας του νερού. Χαμηλότερη αλκαλικότητα συνεπάγεται μεγαλύτερες ανάγκες για νερό και συνεπώς μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.[9]

Πλεονεκτήματα πλυντρίδας ανοικτού κυκλώματος :

- Δεν απαιτούνται επιβλαβή χημικά
- Μειώνει τις εκπομπές οξειδίων του θείου κατά 98%.
- Το σύστημα απαρτίζεται από λιγότερο εξοπλισμό συγκριτικά με τις υπόλοιπες πλυντρίδες, συνεπώς είναι πιο εύκολη και οικονομική η κατασκευή του.
- Αποτελεί το οικονομικότερο είδος συστήματος καθαρισμού καυσαερίων στην εγκατάσταση, τη συντήρηση και τη λειτουργία.

Μειονεκτήματα πλυντρίδας ανοικτού κυκλώματος:

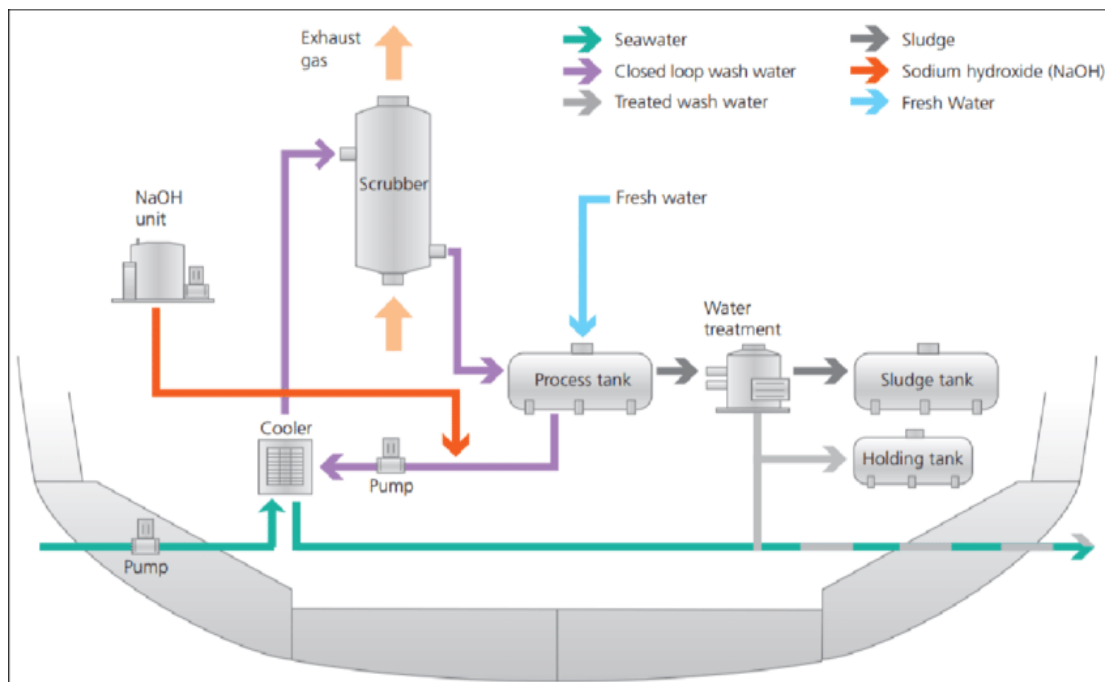
- Η λειτουργία σε γλυκό νερό ή σε νερό χαμηλής αλκαλικότητας, όπως για παράδειγμα στην Αλάσκα, μπορεί να σταματήσει τον καθαρισμό των οξειδίων του θείου.

- Η διοχέτευση επεξεργασμένου νερού πλύσης με όξινο pH περιορίζεται σε ορισμένες περιοχές. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη χρήσης καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας θείου ή επιλογή εναλλακτικού συστήματος καθαρισμού σε τέτοιου είδους περιοχές.

3.2.4.2 Πλυντρίδες κλειστού κυκλώματος

Οι πλυντρίδες κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιούν γλυκό νερό, στο οποίο διοχετεύεται καυστική σόδα, για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Το σύστημα κλειστού κυκλώματος έχει την ίδια φιλοσοφία με το σύστημα ανοιχτού κυκλώματος, θέτοντας το καυσαέριο σε επαφή με το υγρό. Όπως φαίνεται και από την ακόλουθη διάταξη κλειστού κυκλώματος στην εικόνα 3.7, μία αντλία απορροφά θαλασσινό νερό, το οποίο αντλείται προς τον εναλλάκτη θερμότητας. Υπάρχει εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος είναι και θαλασσινού αλλά και γλυκού νερού και αντλεί θερμότητα από τον κλειστό κύκλο γλυκού νερού. Το τελευταίο με προσθήκη διαλύματος υδροξειδίου του Νατρίου, αντλείται από μια δεξαμενή αποθήκευσης προς τον εναλλάκτη θερμότητας. Αξίζει να αναφερθεί ότι, μία ακόμα μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο ανοιχτό και στο κλειστό κύκλωμα είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος του νερού πλύσης, υποβάλλεται σε επεξεργασία για να καταστεί κατάλληλο για ανακυκλοφορία και χρήση ως μέσο πλύσης των καυσαερίων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας, πραγματοποιείται απομάκρυνση των υπολειμμάτων από το νερό πλύσης ενώ ταυτόχρονα το νερό δοσολογείται με καυστική σόδα για την αποκατάσταση της αλκαλικότητάς του, πριν την επιστροφή του στην πλυντρίδα. Μετά τον εναλλάκτη, το μείγμα γλυκού νερού με καυστικό νάτριο, δηλαδή το νερό πλύσης, κατευθύνεται προς την πλυντρίδα, όπου έρχεται σε επαφή με το καυσαέριο. Με την ολοκλήρωση του καθαρισμού το νερό πηγαίνει πίσω στη δεξαμενή, ενώ τα επεξεργασμένα πλέον και αποθειωμένα καυσαέρια αποβάλλονται στο περιβάλλον.

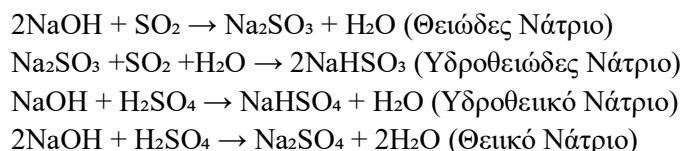
Η δοσολογία επιτυγχάνεται μέσω μίας ειδικής μονάδας, η οποία εισάγει το υδροξείδιο του νατρίου στον απαιτούμενο ρυθμό ώστε να υπάρχει συνεχής διατήρηση του pH σε κατάλληλα επίπεδα. Ο καθαρισμός των επιθυμητών προϊόντων της αντίδρασης γίνεται μέσω συνεχούς στράγγισης μιας μικρής ροής νερού από τη δεξαμενή επεξεργασίας. Ταυτόχρονα, στη δεξαμενή επεξεργασίας προστίθεται νερό, το οποίο προέρχεται από τις δεξαμενές γλυκού νερού του πλοίου, ώστε να παραμένει σταθερή η συνολική ποσότητα του νερού. Το νερό που στραγγίζεται, οδηγείται σε έναν φυγοκεντρικό διαχωριστή (μονάδα επεξεργασίας), που εξάγει τα σωματίδια και καταθλίβει το νερό σε πολύ μικρές ποσότητες. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο αυτό νερό δύναται είτε να απορριφθεί στην ανοικτή θάλασσα, είτε να παραμείνει στο πλοίο και να απορριφθεί στη στεριά, ενώ προστίθεται γλυκό νερό στο κλειστό κύκλωμα. Τα στερεά συστατικά φυλάσσονται στο πλοίο ως λάσπη και απορρίπτονται κατάλληλα στη στεριά, όμοια με την τεχνολογία ανοιχτού κυκλώματος.



Εικόνα 3.7: SCRUBBER CLOSED LOOP. Πηγή :[19]

Ο όρος «κλειστό κύκλωμα» χρησιμοποιείται καθώς το νερό μαζί με το υδροξείδιο του νατρίου επανακυκλοφορεί στο σύστημα με ελάχιστη πρόσληψη νερού και αποθήκευση των λυμάτων. Το υδροξείδιο του νατρίου ή καυστική σόδα (NaOH) προστίθεται στην απαιτούμενη ποσότητα ώστε να απομακρυνθούν τα οξείδια του θείου από τα καυσαέρια. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο έλεγχος του pH με δοσολογία υδροξειδίου του νατρίου επιτρέπει την ανακυκλοφορία του νερού πλύσης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κατανάλωση ισχύος να είναι περίπου η μισή σε σχέση με το σύστημα ανοικτού βρόχου. Τυπικά, μία τέτοια διάταξη χρησιμοποιεί περίπου 20m³/MWh νερού πλύσης, από το οποίο το υδροξείδιο του νατρίου είναι 15m³/MWh για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των καυσαερίων. Η ενεργειακή κατανάλωση της διάταξης κυμαίνεται στο 0,5 - 1% της παραγόμενης ενέργειας από τη μηχανή. Αναμένεται ρυθμός αφαίρεσης κοντά στο 97%, το οποίο σημαίνει ότι οι εκπομπές από καύσιμο περιεκτικότητας θείου 2,70% θα είναι ισοδύναμες με τις εκπομπές που προέρχονται από καύσιμο περιεκτικότητας θείου 0,10%. Τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορούν επίσης να λειτουργούν όταν τα πλοία λειτουργούν σε κλειστά νερά, δηλαδή σε οποιοδήποτε λιμάνι ή εσωτερικά πλωτά ύδατα στη Νότια Ουαλία, όπου η αλκαλικότητα θα ήταν πολύ χαμηλή για λειτουργία ανοικτού βρόχου.

Στις υγρές πλυντρίδες κλειστού τύπου, οι κυριότερες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την αποθείωση είναι οι ακόλουθες:



Το διοξείδιο του θείου διαλύεται σε υδροξείδιο του νατρίου, σχηματίζοντας, όπως φαίνεται και από τις παραπάνω χημικές αντιδράσεις, θειώδες Νάτριο και νερό. Στη συνέχεια, το διοξείδιο του θείου αντιδράει με το θειώδες νάτριο και το νερό, σχηματίζοντας Υδροθειώδες Νάτριο. Από την

άλλη, το θειικό οξύ αντιδράει με το υδροξείδιο του νατρίου, σχηματίζοντας είτε Υδροθειικό Νάτριο και Νερό είτε Θειικό Νάτριο και Νερό. Από τις παραπάνω αντιδράσεις προκύπτει ότι δεν υπάρχει εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). [19]

Πλεονεκτήματα πλυντρίδας κλειστού κυκλώματος :

- Μπορούν να χρησιμοποιούνται σε όλες τις περιοχές, ανεξάρτητα της αλκαλικότητας ή της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού
- Τα απόβλητα δύνανται να αποθηκεύονται στο πλοίο για διάρκεια ανάλογη του μεγέθους της δεξαμενής.
- Μειώνονται οι εκπομπές οξειδίων του θείου κατά 97%.

Μειονεκτήματα πλυντρίδας κλειστού κυκλώματος:

- Αποτελείται από περισσότερα μέρη σε σχέση με την πλυντρίδα ανοικτού κυκλώματος, άρα έχει και μεγαλύτερο κόστος κατασκευής, εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας.
- Η διαδικασία καθαρισμού απαιτεί συνεχή εφοδιασμό διαλύματος υδροξειδίου του Νατρίου, το οποίο εκτός του ότι ανεβάζει το λειτουργικό κόστος, είναι και μία επιβλαβής ουσία που απαιτεί έγκριση για χρήση καυστικών χημικών.

3.2.4.3 Πλυντρίδες υβριδικού τύπου

Οι πλυντρίδες υβριδικού τύπου αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ανοικτού και κλειστού κυκλώματος. Η δομή τους μοιάζει αρκετά με του κλειστού κυκλώματος, όμως έχουν πρόσθετο εξοπλισμό που μπορεί να καθιστά τη λειτουργία τους και ως ανοικτού κυκλώματος. Οι πλυντρίδες αυτού του τύπου λειτουργούν συνήθως ως διατάξεις ανοικτού κυκλώματος με χρήση θαλασσινού νερού ενώ είναι εν πλω σε ανοικτό ωκεανό χωρίς χρήση χημικών, ενώ λειτουργούν ως διατάξεις κλειστού κυκλώματος ενώ το πλοίο βρίσκεται σε ευαίσθητη περιοχή θάλασσας ή ποταμού όπου η αλκαλικότητα είναι χαμηλή αλλά και σε λιμάνια για την αποφυγή αποβολής λυμάτων, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς. Οι υβριδικές πλυντρίδες έχουν σημαντικό πλεονέκτημα στο ότι μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες αλκαλικότητας του νερού.

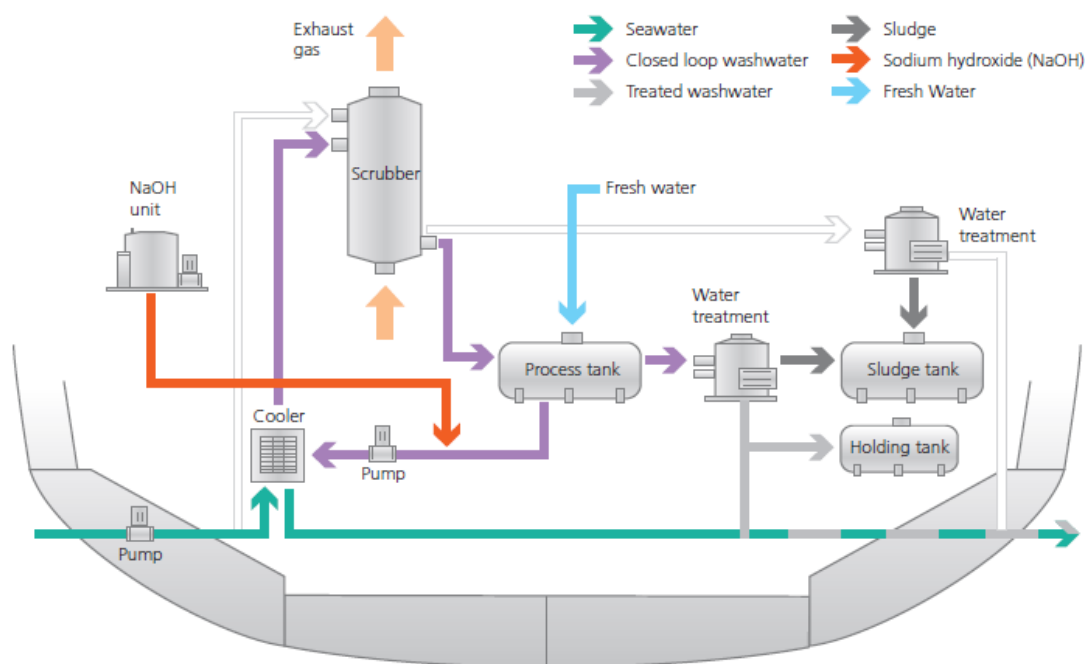
Στα υβριδικά συστήματα υπάρχουν δύο συσκευές επεξεργασίας νερού, το οποίο αποτελεί και τη βασική διαφορά τους από τις πλυντρίδες κλειστού κύκλου, καθώς ο υπόλοιπος εξοπλισμός και μέρη είναι κοινά. Η ύπαρξη δεύτερης τέτοιας εγκατάστασης είναι απαραίτητη, καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στις πλυντρίδες κλειστού κυκλώματος όλη η ποσότητα του νερού υπόκειται σε φυγόκεντρο διαχωρισμό. Η δεύτερη συσκευή επεξεργασίας νερού πρέπει να είναι υψηλής χωρητικότητας ώστε να δύναται να επεξεργαστεί μεγαλύτερη ροή νερού. Η αλλαγή λειτουργίας από κλειστού κυκλώματος σε ανοικτού απαιτεί την αλλαγή στη λειτουργία κάποιου εξοπλισμού:

- Η αντλία, η οποία στο σύστημα κλειστού κυκλώματος προμηθεύει με νερό τον εναλλάκτη θερμότητας για ψύξη, θα χρησιμοποιηθεί να προμηθεύει νερό διάλυσης το σύστημα, μιας και δεν χρειάζεται εναλλάκτης.

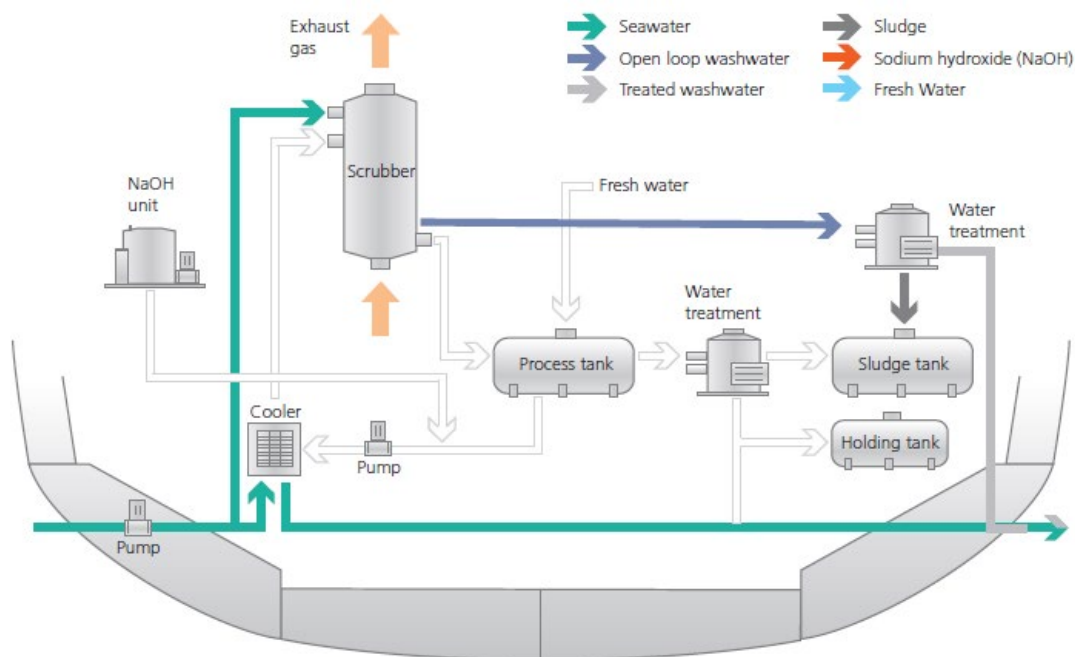
- Η αντλία που χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία γλυκού νερού στα συστήματα κλειστού κυκλώματος, θα χρησιμοποιηθεί για να προμηθεύει θαλασσινό νερό σε αυτό του ανοικτού κυκλώματος.

Επιπλέον, στον υβριδικό τύπο, η δυνατότητα εναλλαγής από το ένα κύκλωμα στο άλλο απαιτεί κυκλωνικό διαχωριστή μεγάλου όγκου, αντί για φυγόκεντρο διαχωριστή μικρού όγκου. Όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός μένει ως έχει και η λειτουργία του συστήματος είναι ίδια με τις λειτουργίες των συστημάτων που περιγράφηκε παραπάνω. Σε αυτό το σύστημα συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα και των δύο συστημάτων, με σημαντικό μειονέκτημα όμως ότι απαιτούνται περισσότερα μέρη σε σχέση με τα άλλα συστήματα υγρού καθαρισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πλυντρίδες υβριδικού τύπου να έχουν το υψηλότερο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης σε σχέση με τις πλυντρίδες ανοικτού και κλειστού κυκλώματος. Η ενεργειακή κατανάλωση της διάταξης κυμαίνεται στο 0,5 - 2% της παραγόμενης ενέργειας από τη μηχανή, ανάλογα με το εάν λειτουργεί ως πλυντρίδα κλειστού ή ανοικτού κυκλώματος.

Παρακάτω η εικόνα 3.8 παρουσιάζει τη λειτουργία του υβριδικού τύπου ως κλειστό σύστημα, ενώ η εικόνα 3.9 τη λειτουργία του υβριδικού τύπου ως ανοιχτό σύστημα.



Εικόνα 3.8 Πλυντρίδα υβριδικού τύπου Πηγή :[19]



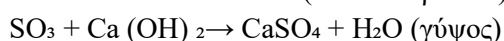
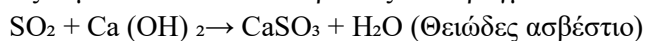
Εικόνα 3.9 Πλυντρίδα υβριδικού τύπου. Πηγή :[19]

3.2.5 Άνυδρες- Ξηρές Πλυντρίδες (Dry scrubbers)

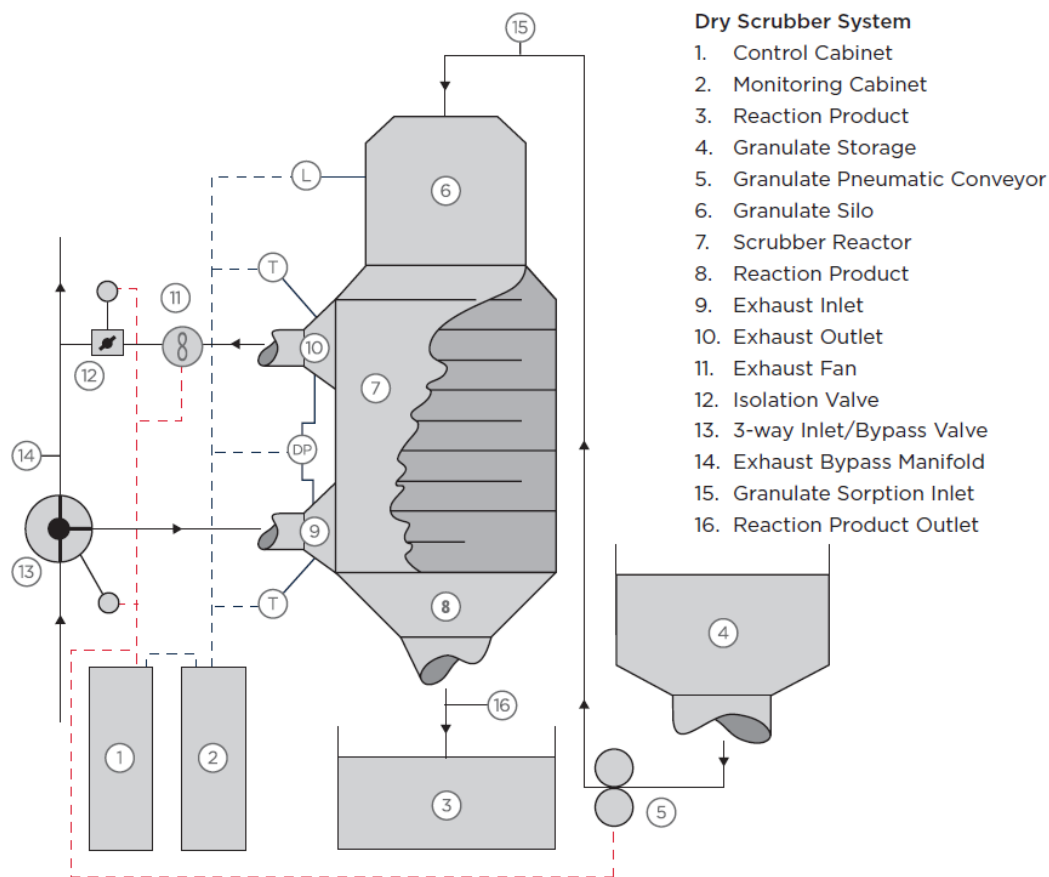
Οι άνυδρες-ξηρού τύπου πλυντρίδες χρησιμοποιούν στερεά συστατικά για τη συλλογή οξειδίων του θείου (SO_x) από τα καυσαέρια. Σε αυτού του είδους τις πλυντρίδες, δεν χρησιμοποιείται νερό ως υλικό καθαρισμού, αλλά τα καυσαέρια διοχετεύονται και περνάνε μέσα από διαδοχικά στρώματα στερεών συστατικών, όπως είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) ή ένυδρη άσβεστο (Ca(OH)₂). Οι ξηρές πλυντρίδες λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τις υγρές με αποτέλεσμα ο καθαριστής να καίει τυχόν αιθάλη και λιπαρά υπολείμματα.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος, τα σφαιρίδια ασβεστίου τροφοδοτούνται μέσω μεταφορικού μάντα στον απορροφητή από όπου περνάνε τα καυσαέρια. Το ασβέστιο που υπάρχει στους κόκκους καυστικού ασβέστη αντιδρά με το διοξείδιο του θείου στα καυσαέρια για να σχηματίσει θειώδες ασβέστιο. Το θειώδες ασβέστιο στη συνέχεια οξειδώνεται στον αέρα για να σχηματίσει αφυδατωμένο θειικό ασβέστιο, το οποίο με το νερό σχηματίζει γύψο. Η ενεργειακή κατανάλωση της διάταξης κυμαίνεται στο 0,15 – 20% της παραγόμενης ενέργειας από τη μηχανή.

Τα χρησιμοποιημένα σφαιρίδια αποθηκεύονται επί του σκάφους για απόρριψη, ωστόσο, δεν θεωρούνται απόβλητα καθώς ο σχηματισμένος γύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα και ως δομικό υλικό. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι ακόλουθες:



Τα συστήματα ξηρού καθαριστή καταναλώνουν λιγότερη ισχύ από τα υγρά συστήματα καθώς δεν απαιτούν αντλίες κυκλοφορίας. Ωστόσο, το βάρος της εγκατάστασης είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό των υγρών πλυντρίδων. [19]



Εικόνα 3.10 : Ξηρός καθαριστής. Πηγή [15]

Πλεονεκτήματα των άνυδρων πλυντριδών

- Επιτυγχάνει μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου σε ποσοστό της τάξης του 98%
- Δεν παράγονται υγρά λύματα που πρέπει να απορρίπτονται στο νερό.
- Ο γύψος που λαμβάνεται μπορεί να πωληθεί για χρήση σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές

Μειονεκτήματα των άνυδρων πλυντριδών

- Υπάρχει απαίτηση για μεγάλους χώρους αποθήκευσης των ξηρών αντιδραστηρίων και των υλικών
- Το λειτουργικό κόστος είναι αρκετά υψηλό λόγω χρήσης χημικών
- Το βάρος της συνολικής εγκατάστασης είναι περίπου 4-5 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τις πλυντρίδες υγρού τύπου.

3.3 Πρόωση με χρήση ηλεκτρισμού-Ηλεκτροπρόωση

Η μέθοδος κατά την οποία χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια και ηλεκτρικές μηχανές για την πρόωση των πλοίων ονομάζεται ηλεκτροπρόωση. Η πρόωση με χρήση ηλεκτρισμού ή αλλιώς ηλεκτροπρόωση, αποτελεί την πρόωση κατά την οποία οι άξονες του πλοίου κινούνται (πιο σπάνια με χρήση μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες. Βέβαια σε μία εγκατάσταση

ηλεκτροπρόωσης, υπάρχουν μηχανές diesel, οι οποίες δεν κινούν το αξονικό σύστημα αλλά ηλεκτρικές γεννήτριες. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες, που αποτελούν επί της ουσίας τις κινητήριες μηχανές της εγκατάστασης. Η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης περιλαμβάνει σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την αλλαγή της φοράς περιστροφής, την αλλαγή αριθμού στροφών καθώς και την παύση-εκκίνηση των κινητήρων.

Σύμφωνα με δοκιμές που έγιναν τον Αύγουστο του 2010 σε 12 Ιαπωνικά παράκτια δεξαμενόπλοια κοντινών αποστάσεων, η χρήση της ηλεκτρικής πρόωσης είχε ως αποτέλεσμα να μειωθούν οι εκπομπές οξειδίων του θείου κατά 20%, λόγω μικρότερης κατανάλωσης καυσίμου σε ποσοστό 20%. [52]

3.3.1 Ιστορική αναδρομή

Η ηλεκτρική πρόωση δεν είναι καινούρια σαν ιδέα, αλλά χρονολογείται πριν από έναν αιώνα περίπου. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με αρχές του 20^{ου}, κατόπιν κάποιων πειραμάτων με πρόωση από μπαταρίες, δημιουργείται η πρώτη γενιά πλοίων με ηλεκτρική πρόωση. Εκείνη την εποχή χρησιμοποιούνταν οι ατμο-ηλεκτρικές μηχανές, καθώς μόνο αυτές μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες ισχύος πρόωσης. Ίσως το πιο γνωστό παράδειγμα ηλεκτρικής πρόωσης με ατμο-ηλεκτρικές μηχανές να αποτελεί το 'S/S Normandie'. Οι ατμοστρόβιλοι παρείχαν την απαραίτητη μηχανική ισχύ στις γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική πρόωση με χρήση ατμοστρόβιλων σταμάτησε τη δεκαετία του 1980 περίπου, όταν πλέον άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης και πιο συγκεκριμένα οι μηχανές Diesel ήταν πιο αποδοτικές και ταυτόχρονα οικονομικές, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται από τότε μέχρι και σήμερα.

Η ηλεκτροπρόωση εμφανίστηκε και για μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν τύπου Συνεχούς ρεύματος/Συνεχούς ρεύματος, δηλαδή και η παραγωγή και η κίνηση ήταν με συνεχές ρεύμα. Τη δεκαετία του 1950 περίπου, άρχισε να εμφανίζεται στα πλοία το εναλλασσόμενο ρεύμα. Παρόλα αυτά η ηλεκτρική πρόωση συνέχισε να στηρίζεται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια αναπτύχθηκαν διατάξεις και τεχνικές ελέγχου κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, οι οποίοι ικανοποιούν τις απαιτήσεις τόσο για ευελιξία αλλά και για οικονομία καυσίμου, με αποτέλεσμα την διάδοση της ηλεκτροπρόωσης σε εμπορικά πλοία. Παλαιότερα, η ηλεκτρική πρόωση εφαρμοζόταν σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως π.χ. τα παγοθραυστικά, ερευνητικά κ.α. Παρατηρείται ότι στα τέλη του 20^{ου} αιώνα και πιο συγκεκριμένα την τελευταία δεκαετία του, υπήρξε διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης σε πλοία, όπως κρουαζιερόπλοια, οχηματαγωγά, δεξαμενόπλοια, κλπ.

Η ηλεκτρική πρόωση αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη λύση στις παρακάτω κατηγορίες εφαρμογών:

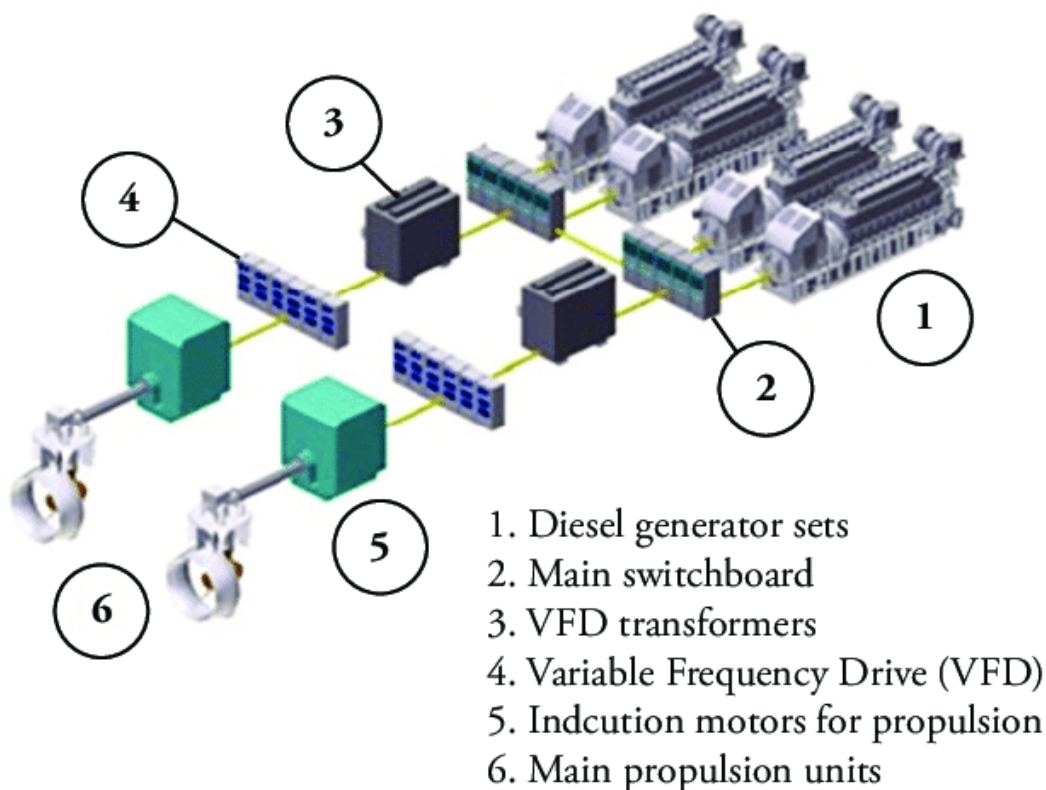
1. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων.
2. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
3. Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
4. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
5. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Σήμερα, υπάρχει μία αυξανόμενη τάση στα πλοία για τον εξηλεκτρισμό τους. Αυτό συμβαίνει καθώς συνέχεια αυξάνεται ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στα πλοία, οπότε αυξάνονται οι ηλεκτρικοί καταναλωτές αλλά ταυτόχρονα όλες οι λειτουργίες, είτε κύριες είτε βοηθητικές, τείνουν στο να γίνονται από ηλεκτρικά συστήματα και εξαρτήματα, αντικαθιστώντας υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού. Επί της ουσίας υπάρχει η τάση για το λεγόμενο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship-AES). Επιπλέον, η ωρίμανση των απαιτούμενων τεχνολογιών, που αφορούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες και ηλεκτρονικά ισχύος για την πλήρη αξιοποίησή της ηλεκτροπρόωσης, οδήγησαν στην αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος χρήσης της ηλεκτρικής πρόωσης σε πλοία, όπως πχ στα πολεμικά. [23]

3.3.2 Αρχή λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ηλεκτροπρόωση δεν αποτελεί μια καινούρια ανακάλυψη. Τα τελευταία χρόνια εξελίχθηκε σε μία ρεαλιστική επιλογή, λόγω ανάπτυξης και βελτίωσης της τεχνολογίας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα υπήρξε μείωση του κόστους του εξοπλισμού. Στις τελευταίες δύο δεκαετίες η ηλεκτροπρόωση, μαζί με Μ.Ε.Κ., έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο αριθμό πλοίων. Σήμερα, παρατηρείται ότι πολλά πλοία διαφορετικών τύπων διαθέτουν μηχανές εσωτερικής καύσης (μηχανές Diesel), οι οποίες τροφοδοτούν με μηχανική ισχύ τις ηλεκτρικές γεννήτριες του πλοίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μετατρέποντας την μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική αυτή ενέργεια χρησιμοποιείται και για τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου, εκτός από την πρόωσή του.

Ακολούθως παρουσιάζεται ένα συνοπτικό τρισδιάστατο διάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου της ηλεκτρικής πρόωσης.



Εικόνα 3.11 : Διάγραμμα ηλεκτρικού δικτύου ηλεκτρικής πρόωσης. Πηγή: [53]

Ο πίνακας ελέγχου των πετρελαιομηχανών θα διασφαλίσει ότι η μηχανική ενέργεια θα δίνεται στον απαραίτητο αριθμό γεννητριών, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλοίου. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η μεγιστοποίηση της απόδοσης. Στη συνέχεια, ο κεντρικός πίνακας διανέμει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου.

Η ηλεκτροπρόωση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια συστημάτων ελέγχου της ταχύτητας. Ο έλεγχος της ταχύτητας αλλά και της ροπής των κινητήρων πρόωσης γίνεται από τους μετατροπείς συχνότητας.

3.3.3 Κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών κινητήρων

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες :

1. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος: Αυτού του είδους κινητήρες προσφέρουν υψηλή δυνατότητα ελέγχου αύξησης και μείωσης της ταχύτητας. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που μέχρι πριν από 45 χρόνια περίπου, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, αποτελούσαν την μοναδική επιλογή σε εφαρμογές που απαιτούσαν ηλεκτροκίνηση. Παρόλα αυτά η χαμηλή ροπή, η περιορισμένη ισχύς εξόδου αλλά και το υψηλό κόστος συντήρησης, αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα, τα οποία αποθάρρυναν τη χρήση τους για πρόωση πλοίων.
2. Σύγχρονοι κινητήρες: Αποτελούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε αυτού του είδους τους κινητήρες, η περιστροφική ταχύτητα του άξονά τους είναι αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού πόλων και ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης τάσης στον στάτη. Προσφέρουν σταθερή ταχύτητα δρομέα, δύνανται να εξυπηρετήσουν φορτία υψηλής ισχύος. Αυτοί είναι και οι λόγοι που οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται στα παγοθραυστικά.
3. Κινητήρες επαγωγής: Παρουσιάζουν χαμηλό κατασκευαστικό κόστος, υψηλή ροπή εκκίνησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή αξιοπιστία. Εκτός της επιλογής αυτών των κινητήρων για το κύριο σύστημα πρόωσης του πλοίου, οι κινητήρες επαγωγής χρησιμοποιούνται και ως προωστήριοι μηχανισμοί, καθιστώντας τους ελιγμούς του πλοίου ευκολότερους. [47]

3.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ηλεκτρικής Πρόωσης

Πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης είναι τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το εύρος του 0-100%.
- Σχεδόν μηδαμινός θόρυβος και κραδασμοί.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών.
- Οικονομία καυσίμου, λόγω δυνατότητας επιλογής λειτουργίας μηχανών όσο το δυνατόν πιο κοντά στο βέλτιστο σημείο τους.
- Δυνατότητα εκμετάλλευσης της ροπής σε όλο το εύρος λειτουργίας
- Ευελιξία τοποθέτησης των επιμέρους μηχανημάτων του συνόλου του εξοπλισμού.
- Ευκολία αυτοματισμού
- Υψηλή αξιοπιστία, λόγω παράλληλης σύνδεσης συστημάτων
- Περιορίζονται οι εκπεμπόμενοι ρύποι καθώς:
 - η κατανάλωση του καυσίμου είναι μικρή

- οι εκπομπές NO_x και SO_x, είναι πολύ χαμηλότερες όταν για παράδειγμα ένας πετρελαιοκινητήρας λειτουργεί σε σταθερές στροφές
- Μειώνονται οι κίνδυνοι ρύπανσης από ατυχήματα, όπως στα δεξαμενόπλοια, λόγω της γρήγορης απόκρισης του συστήματος κατά τη διάρκεια χειρισμών.

Μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα ακόλουθα:

- Μεγάλο κόστος επένδυσης
- Η εγκατάσταση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος προκαλούν προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας [47]

3.4 Υβριδικά συστήματα πρόωσης

Η ηλεκτρική πρόωση, έχει αρχίσει να κάνει δειλά βήματα και σε πλοία τα οποία εκτελούν μεγάλα ταξίδια. Παρόλα αυτά η πρόωση, εξ ολοκλήρου με χρήση ηλεκτρισμού, ενός πλοίου που εκτελεί μεγάλα ταξίδια δεν είναι εφικτή, λόγω του κόστους και του μεγάλου βάρους των μπαταριών κατάλληλης χωρητικότητας, για την παραγωγή ισχύος δεκάδων MW για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για αυτόν τον λόγο έχει αναπτυχθεί το υβριδικό σύστημα πρόωσης, στο οποίο χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός πετρελαιοκίνησης και ηλεκτροπρόωσης. Η πρόωση ενός πλοίου η οποία επιτυγχάνεται από τον συνδυασμό της παραδοσιακής μηχανής Diesel αλλά και ηλεκτρικών κινητήρων με την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, ονομάζεται υβριδική πρόωση. Προσφέρει την ευελιξία χρήσης και των δύο μέσων πρόωσης.

3.4.1 Αρχή λειτουργίας

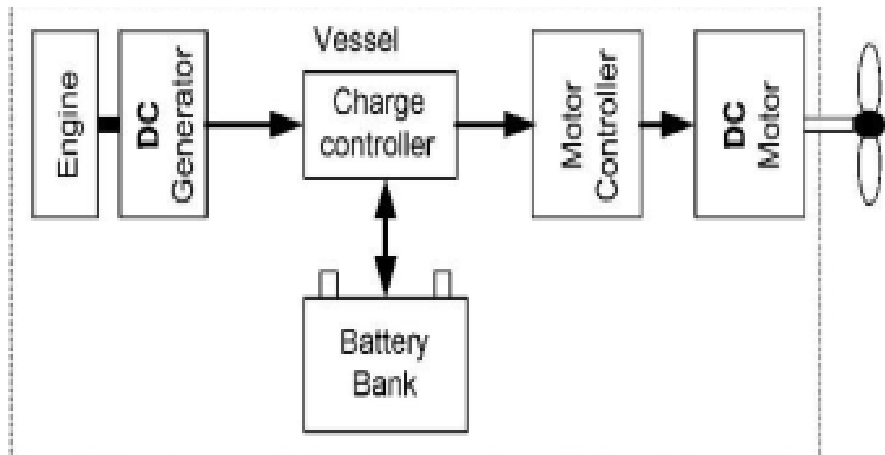
Η επίτευξη υβριδικού συστήματος πρόωσης, απαιτεί την ύπαρξη κύριας μηχανής αλλά και αξονικής γεννήτριας. Ο ηλεκτροκινητήρας δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε ως γεννήτρια, είτε ως κινητήρας, εξασφαλίζοντας ευελιξία χειρισμού. Ο υβριδισμός στην πρόωση βασίζεται στον διαχωρισμό ή ταυτόχρονη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας. Η επιλογή διαφορετικών πηγών αλλά και συνδυασμών πηγών ενέργειας έχουν σχεδιαστεί ώστε να προσαρμόζονται στις ενεργειακές απαιτήσεις και απαιτούμενη ισχύ του πλοίου. Η χρήση του υβριδικού συστήματος αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη προσέγγιση στην ελαχιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου.

Το υβριδικό σύστημα πρόωσης συναντάται με τρεις αρχιτεκτονικές:

- Το σειριακό υβριδικό σύστημα
- Το παράλληλο υβριδικό σύστημα
- Το σειριακό/παράλληλο υβριδικό σύστημα

3.4.1.1 Σειριακό Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης

Στο σειριακό υβριδικό σύστημα χρησιμοποιούνται δύο πηγές ενέργειας, από τους κινητήρες Diesel και από τα ηλεκτρικά συστήματα, τα οποία συνδέονται σε σειρά. Η παροχή ισχύος στην έλικα γίνεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Ο ηλεκτροκινητήρας δέχεται ηλεκτρική ενέργεια είτε από το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρία, υπερπυκνωτές κλπ.), είτε από μία γεννήτρια (μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυψέλες καυσίμου ή συνδυασμός κυψελών καυσίμου με γεννήτριες) που λειτουργεί μέσω πετρελαιομηχανής.



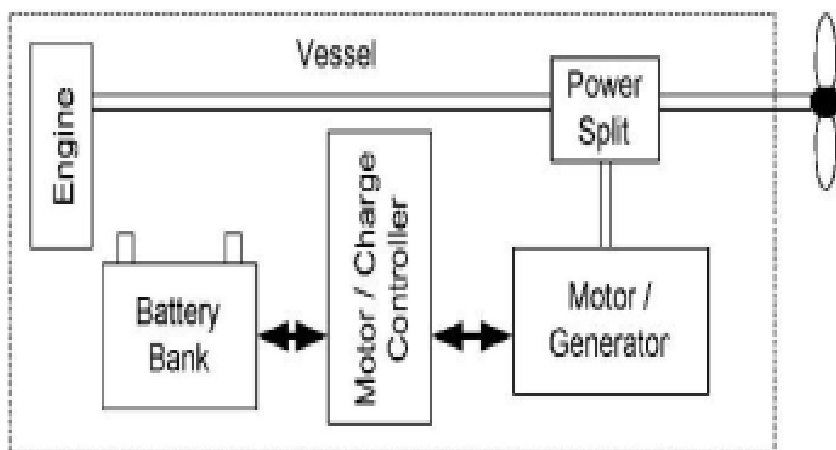
Εικόνα 3.12: Διάγραμμα Σειριακού Υβριδικού Συστήματος πρόωσης πλοίου. Πηγή [30]

Ακολούθως αναφέρονται κάποιοι παράμετροι που αφορούν αυτού του είδους αρχιτεκτονικής υβριδικής πρόωσης:

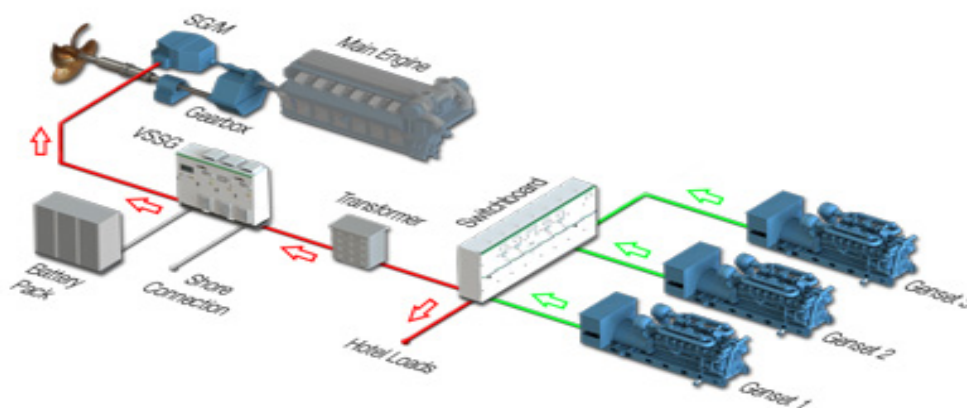
- Για να είναι πλήρως αποδοτικό το σειριακό υβριδικό σύστημα, θα πρέπει να συνδυάζονται πηγές ενέργειας με υψηλή ονομαστική ισχύ. Αυτό οδηγεί σε επιπλέον κόστος, βάρος και όγκο.
- Η διαστασιολόγηση των ηλεκτρικών κινητήρων πρόωσης αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ.
- Η απόδοση περιορίζεται από τον πολλαπλασιασμό της απόδοσης του κάθε συστήματος που βρίσκεται σε σειρά (κινητήρας, γεννήτρια, μετατροπέας, μετασχηματιστής κλπ.)
- Επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο και σταδιακή μεταβολή της ταχύτητας της προπέλας.
- Εάν χρησιμοποιούνται διάφορες πηγές, οι μηχανές καύσης μπορούν να λειτουργήσουν στο βέλτιστο σημείο απόδοσης.
- Το σύστημα προσφέρει εφεδρεία στην πηγή ενέργειας.

3.4.1.2 Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης

Στο παράλληλο υβριδικό σύστημα τόσο ο ηλεκτροκινητήρας όσο και η μηχανή Diesel δύνανται να παρέχουν ισχύ στην έλικα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δύο συστήματα πρόωσης είτε μαζί είτε το κάθε ένα χωριστά. Η αξονική γεννήτρια χρησιμοποιείται είτε για την κίνηση της έλικας είτε ως γεννήτρια για την φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας.



Εικόνα 3.13 : Διάγραμμα Παράλληλου Υβριδικού Συστήματος πρόωσης πλοίου. Πηγή [30]



Εικόνα 3.14: Διάταξη Παράλληλου Υβριδικού Συστήματος πρόωσης πλοίου. Πηγή [28]

Στις περισσότερες περιπτώσεις το ένα σύστημα πρόωσης χρησιμοποιείται για λειτουργίες χαμηλής ταχύτητας (το ηλεκτρικό σύστημα) ενώ το άλλο (κινητήρας Diesel) επιλέγεται για λειτουργία υψηλής ταχύτητας. Επιπλέον, για τις περιπτώσεις που χρειάζεται η μέγιστη ταχύτητα, λειτουργούν και τα δύο συστήματα ταυτόχρονα. Τέλος, ενώ το καράβι βρίσκεται εν πλω, υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί σε λειτουργία η αξονική γεννήτρια, λειτουργία ΡΤΟ, και να παράγει στο πλοίο την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια με τις ηλεκτρικές γεννήτριες (μηχανές diesel-genset) εκτός λειτουργίας.

ΡΤΟ ονομάζεται η μετατροπή μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική, η οποία επιτυγχάνεται με τη λειτουργία της κύριας μηχανής μαζί με αξονική γεννήτρια, ενώ οι ηλεκτρικές γεννήτριες είναι εκτός λειτουργίας. Σε περίπτωση που η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, τότε η περίσσεια αποθηκεύεται στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.[32]

Ακολούθως αναφέρονται κάποιοι παράμετροι που αφορούν αυτού του είδους αρχιτεκτονικής υβριδικής πρόωσης:

- Το μέγεθος του ηλεκτρικού κινητήρα είναι πιο μικρό.
- Υπάρχει επιπλέον κόστος και απαιτούμενος όγκο που σχετίζεται με το πολύπλοκο μηχανικό σύστημα που απαιτείται (συμπλέκτες, κιβώτια ταχυτήτων κ.α.)

- Καλή απόδοση που σχετίζεται με τον μικρό αριθμό εξαρτημάτων που συνδέονται σε σειρά.
- Ακριβής έλεγχος και σταδιακή αλλαγή στην ταχύτητα της προπέλας.
- Ο κινητήρας καύσης λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο απόδοσης.
- Πολύ υψηλή εφεδρεία εφόσον η ισχύς πρόωσης μπορεί να παρέχεται από δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα
- Πολύπλοκο μηχανικό σύστημα το οποίο μπορεί να αποτελέσει αίτιο σημαντικού προβλήματος του συστήματος.

3.4.1.3 Σειριακό/Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης

Η συνύπαρξη του σειριακού και του παράλληλου υβριδικού συστήματος πρόωσης αποτελεί το σειριακό/παράλληλο υβριδικό σύστημα. Αυτού του είδους το σύστημα συνδυάζει ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δύο υβριδικών συστημάτων πρόωσης.

3.4.2 Πηγές ενέργειας στο Υβριδικό Σύστημα Πρόωσης

Τα συστήματα υβριδικής πρόωσης για πλοία βασίζονται στον συνδυασμό διαφορετικών πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Στον παρόν υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι κύριες πηγές ενέργειας και αποθήκευσής της που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υβριδικά συστήματα.

1. Συστήματα παραγωγής ενέργειας

a. Κινητήρας Diesel

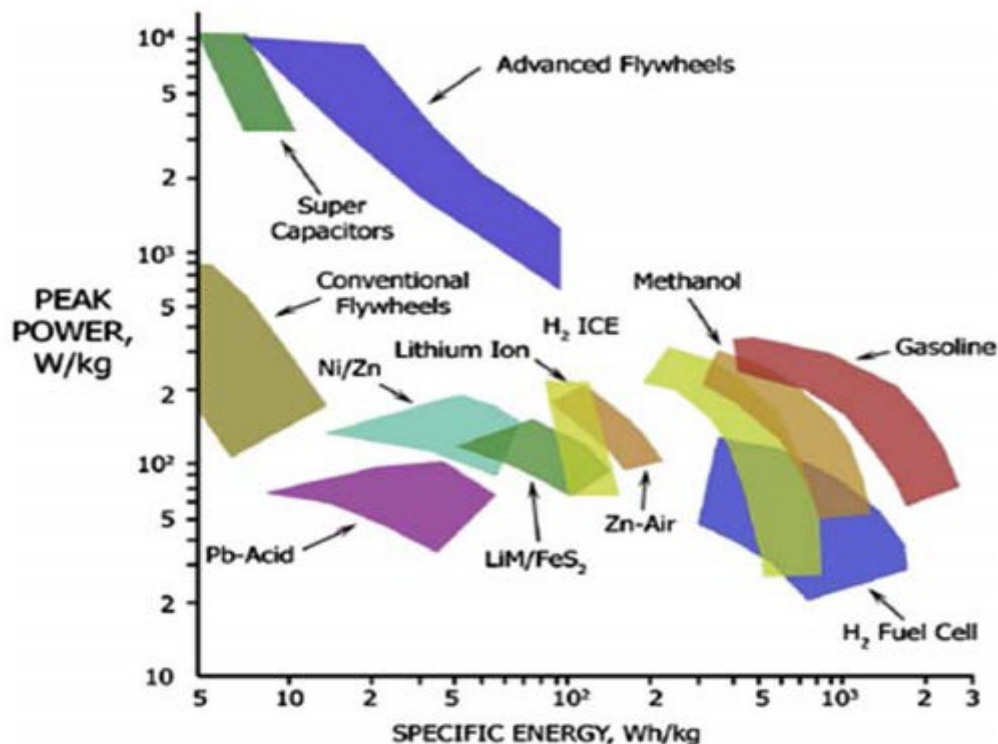
Οι κινητήρες Diesel, αποτελούν τους κινητήρες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα πλοία. Αυτή η πηγή ισχύος χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο αυτονομίας και με σχετικά χαμηλό κόστος σε σχέση με την άλλη πηγή. Οι κινητήρες diesel εκπέμπουν αέριους ρύπους. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες ώστε να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι, με τη χρήση LNG, που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, ως καύσιμο.

b. Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι μία αρκετά ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση για παραγωγή ενέργειας. Έχουν προσδόκιμο ζωής ίδιο με έναν κινητήρα Diesel. Είναι μία ηλεκτροχημική διάταξη που μετατρέπει τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική. Δύνανται να παρέχουν υψηλής απόδοσης ισχύ με μηδενικές εκπομπές. Οι κυψέλες καυσίμου θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

2. Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Χρησιμοποιείται μία συσκευή αποθήκευσης ενέργειας για την καλύτερη διαχείριση ενέργειας. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας προσφέρουν ενδιαφέρουσες λύσεις στην απόδοση και βέλτιστη χρήση ενέργειας. Μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση θορύβου και κραδασμών. Το ακόλουθο σχήμα δίνει μία σύγκριση διαφορετικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας από την οπτική της ειδικής ενέργειας και μέγιστης ισχύος.



Εικόνα 3.15 : Διάγραμμα διαφορετικών πηγών ενέργειας. Πηγή [30]

Η παλαιότερη και κλασική μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η χρήση μπαταρίας. Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα (3.15), οι μπαταρίες ιόντων λιθίου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλων τύπων μπαταρίες, ιδίως όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα και απόδοση.

Οι υπερπυκνωτές (supercapacitors), χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή μέγιστης ισχύος φόρτισης και εκφόρτισης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γρήγορη αποθήκευση με πολύ χαμηλή ειδική ενέργεια, έχουν καλή διάρκεια ζωής, καλύτερη σε σχέση τις μπαταρίες και ταχεία επαναφόρτιση. Συνήθως συνδέονται με πιο αργά συστήματα, όπως μπαταρίες και κυψέλες καυσίμου, για τη διαχείριση υψηλών αλλά βραχυπρόθεσμων απαιτήσεων ενέργειας. Δύνανται να λειτουργήσουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στις οποίες οι ηλεκτροχημικές μπαταρίες δεν λειτουργούν.

Οι σφόνδυλοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν όπως οι υπερπυκνωτές, σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις. Οι σφόνδυλοι μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική και το ανάποδο για σύντομες χρονικές περιόδους. Χαρακτηρίζονται από γρήγορη απόκριση, υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή συντήρηση (χρόνος ζωής 15-20 χρόνια), γρήγορη επαναφόρτιση. Όμως έχουν χαμηλή ενεργειακή ικανότητα συγκριτικά με το βάρος και το κόστος τους. Ωστόσο, η χρήση σφονδύλου οδηγεί στην εφαρμογή συστημάτων ασφαλείας για την προστασία του πληρώματος και των επιβατών, σε πιθανή αστοχία του σφονδύλου. Η χρήση τους σε πλοία φαίνεται πολύ περιορισμένη. Χρησιμοποιούνται για περιόδους από 1 δευτερόλεπτο έως 10 λεπτά. Οι μπαταρίες από μία ώρα και πάνω, ενώ οι υπερπυκνωτές για κάτω από 1 δευτερόλεπτο.

3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Υβριδικής Πρόωσης

Τα υβριδικά συστήματα πρόωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν υπάρχει μεγάλη διακύμανση της ζήτησης ισχύος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου. Οι κανόνες που αφορούν τον σχεδιασμό αυτού του είδους συστημάτων μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα τους διαφορετικούς τύπους σκαφών, λόγω διαφορετικών λειτουργικών απαιτήσεων. Τα συστήματα υβριδικής πρόωσης αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τον σχεδιασμό πλοίων υψηλής απόδοσης και φιλικών προς το περιβάλλον.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της Υβριδικής πρόωσης είναι τα ακόλουθα:

- Παρέχει πολύ καλή ενεργειακή απόδοση
- Οικονομία καυσίμου, λόγω δυνατότητας επιλογής λειτουργίας μηχανών όσο το δυνατόν πιο κοντά στο βέλτιστο σημείο τους.
- Παρέχει μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου κατά 25%
- Προσφέρει εφεδρεία στην πηγή της προσφερόμενης ενέργειας.
- Προσφέρει ευελιξία και σημαντική μείωση του θορύβου
- Οδηγεί σε μείωση των απαιτήσεων συντήρησης των κινητήρων Diesel, μιας και οι κινητήρες χρησιμοποιούνται με τον βέλτιστο τρόπο.

Τα βασικά μειονεκτήματα της Υβριδικής πρόωσης είναι τα ακόλουθα:

- Οι τεχνολογίες αυτές δεν έχουν ωριμάσει ακόμα
- Το κόστος εγκατάστασης είναι αρκετά υψηλό
- Το συνολικό βάρος, μίας τέτοιας εγκατάστασης, παραμένει αρκετά υψηλό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν επιπλέον τρόποι μείωσης εκπομπών οξειδίων του θείου στον τομέα της ναυτιλίας. Σε αυτούς που θα αναλυθούν, περιλαμβάνονται τα εναλλακτικά καύσιμα, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η χρήση ενέργειας από την ξηρά αλλά και ορισμένα λειτουργικά μέτρα.

4.1 Χρήση Εναλλακτικών Καυσίμων

Στις μέρες μας καταναλώνονται ετησίως περίπου 350 εκατομμύρια τόνοι καυσίμου, εκ των οποίων το 75-85% είναι υπολειμματικό καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Με τις αλλαγές που έχουν περιέλθει από τον IMO και αφορούν την μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου, δημιουργείται μία αύξηση στην ζήτηση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η αυξανόμενη ζήτηση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, η ελλιπής ικανότητα διύλισης των απαιτούμενων ποσοτήτων και η υψηλή τιμή τους, οδηγούν στην εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων, που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις για μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με χαμηλότερη τιμή.

4.1.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas-L.N.G.)

Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου, γνωστό ως LNG (Liquefied Natural Gas), προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς δεν εκπέμπονται οξείδια του θείου, μειώνονται δραστικά οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου και γενικότερα των ρυπογόνων αερίων που είναι καταστροφικά για την ατμόσφαιρα.

Το φυσικό αέριο είναι μίγμα, που αποτελείται από μεθάνιο (CH_4) σε ποσοστό από 60 έως 98% μαζί με μικρές συγκεντρώσεις βαρύτερων υδρογονανθράκων. Επιπλέον περιέχει μικρές ποσότητες αζώτου (N_2), διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και ίχνη άλλων αερίων. Σε φυσιολογικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας το φυσικό αέριο βρίσκεται σε αέρια μορφή. Η υγροποίησή του επιτυγχάνεται με ψύξη στους -162°C και σε συνθήκες πίεσης κοντά στην ατμοσφαιρική. Ο λόγος υγροποίησής του είναι για να μεταφέρεται και να αποθηκεύεται χωρίς πίεση και με μεγαλύτερη ασφάλεια. Άλλος ένας λόγος που μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε υγρή μορφή είναι ότι ο όγκος του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι 600 φορές μικρότερος από τον όγκο του σε αέρια κατάσταση, με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκεύεται και μεταφέρεται σε μεγαλύτερες ποσότητες. [16]

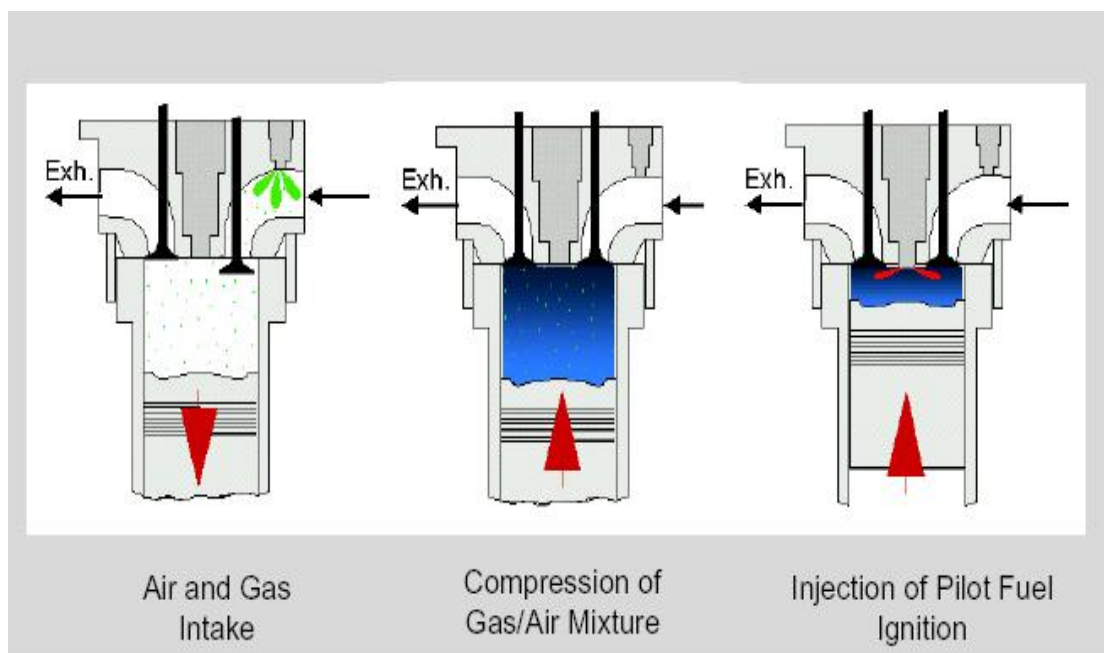
Αξίζει να αναφερθεί ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση, προωθεί το συγκεκριμένο εναλλακτικό καύσιμο, μιας και έχει δαπανήσει ήδη εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια για την ανάπτυξη υποδομών. Ο λόγος που το εν λόγω καύσιμο προωθείται πολύ, είναι η καθαρότητά του. Το LNG σε σύγκριση με το πετρέλαιο, εκπέμπει σχεδόν μηδενικό διοξείδιο του θείου (SO_2), 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και 80% λιγότερα οξείδια του αζώτου (NO_x). Στη χώρα μας υπάρχει τερματικός σταθμός LNG στη Ρεβυθούσα, αλλά σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Poseidon-Med II, προγραμματίζεται η δημιουργία σταθμών μεγαλύτερης κλίμακας στην Αλεξανδρούπολη και μικρότερης κλίμακας στον Πειραιά, Πάτρα, Ηγουμενίτσα, Ηράκλειο.



Εικόνα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση σταθμού LNG. Πηγή:[33]

4.1.1.1 Τρόπος λειτουργίας

Κινητήρες, όπως της εταιρίας Wärtsilä και MAN Diesel, δύνανται να λειτουργήσουν τόσο με χρήση πετρελαίου, όσο και με χρήση φυσικού αερίου. Αυτές οι μηχανές ονομάζονται και μηχανές διπλού καυσίμου (dual-fuel engines). Όταν χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο ως καύσιμο (gas mode), τότε η μηχανή λειτουργεί με βάση τον κύκλο Otto. Ένα φτωχό προαναμεμιγμένο μίγμα καυσίμου-αέρα εισέρχεται στον χώρο καύσης. Το φυσικό αέριο τροφοδοτείται στον κύλινδρο από βαλβίδα εισαγωγής κατά τον χρόνο εισαγωγής, όπως φαίνεται από την ακόλουθη εικόνα (4.2). Στον χώρο καύσης όμως, για την επίτευξη της ανάφλεξης εγχύεται μία μικρή ποσότητα (λιγότερο από 1% του ονομαστικού φορτίου) καυσίμου πετρελαίου (pilot fuel), μέσω εγχυτήρα διπλού ακροφυσίου. Έτσι δεν χρειάζεται για την ανάφλεξη αναφλεκτήρας. Από την άλλη κατά τη λειτουργία της μηχανής με χρήση πετρελαίου, η μηχανή λειτουργεί με βάση τον κύκλο Diesel, που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και η παροχή φυσικού αερίου είναι κλειστή. Ωστόσο, το pilot fuel εξακολουθεί να λειτουργεί σε περίπτωση αλλαγής σε λειτουργία gas mode.



Εικόνα 4.2. Λειτουργία μηχανής διπλού καυσίμου με φυσικό αέριο. Πηγή :[33]

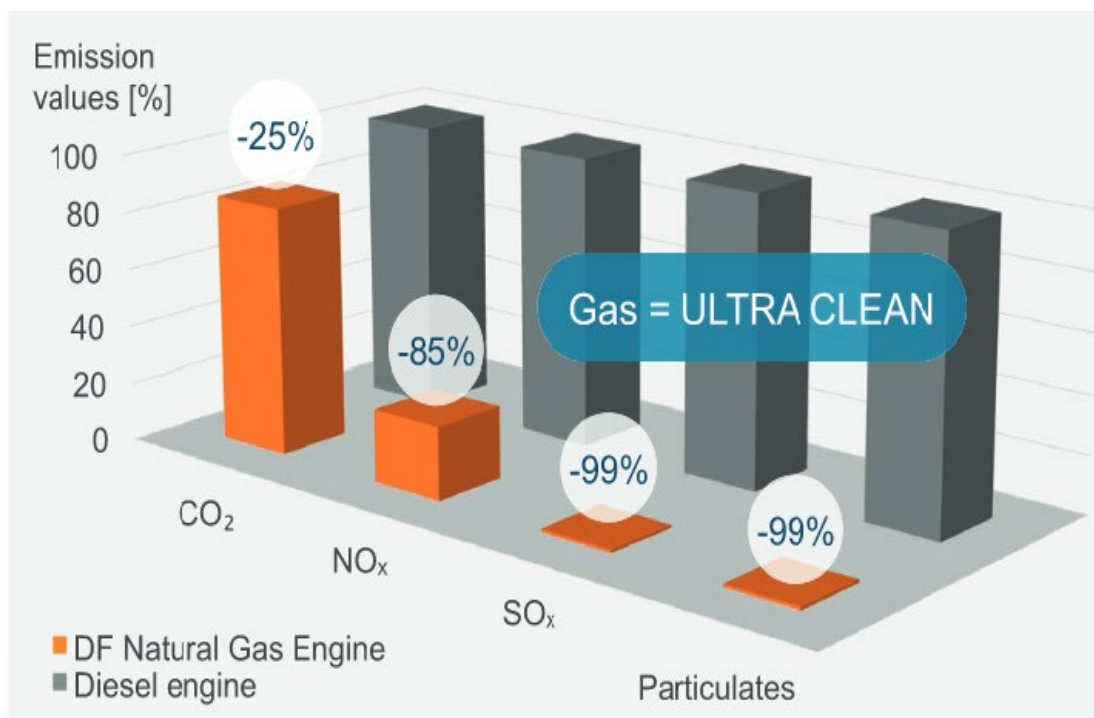
Οι ατμοί του LNG ονομάζονται BOG (Boil-Off Gas) και τροφοδοτούν τις μηχανές πρόωσης υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο, μεταφέρεται σε υγρή μορφή και σε συνθήκες πίεσης λίγο παραπάνω της ατμοσφαιρικής. Το LNG αποθηκεύεται σε ειδικές μονωμένες δεξαμενές. Όμως, όπως είναι λογικό, ένα μικρό μέρος θερμότητας διαπερνά τη δεξαμενή, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση ενός μικρού ποσοστού του καυσίμου. Συγκεκριμένα αυτό το ποσοστό είναι της τάξης του 0,1% ημερησίως της συνολικής χωρητικότητας. Λόγω εξάτμισης αυξάνεται και η πίεση στη δεξαμενή. Έτσι, εφόσον δεν μπορεί να αποφευχθεί αυτή η εξάτμιση αλλά και για εξοικονόμηση χρημάτων, γίνεται εκμετάλλευση αυτών των ατμών, ώστε να χρησιμοποιηθεί το BOG στις μηχανές πρόωσης του πλοίου.

Για πολλά χρόνια τα LNG carrier χρησιμοποιούσαν σύστημα πρόωσης με ατμοστρόβιλο, όμως τα αυστηρότερα όρια στις εκπομπές ρύπων αλλά και η απαίτηση για υψηλότερο βαθμό απόδοσης, οδήγησαν στη χρήση του BOG και σε μηχανές εσωτερικής καύσης. [33][36]

4.1.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα του Φυσικού αερίου για χρήση ως καύσιμο είναι τα ακόλουθα:

- Το υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν είναι ούτε τοξικό, ούτε διαβρωτικό αλλά κι ούτε εκρηκτικό, ενώ παράλληλα σε περίπτωση διαρροής δεν προκαλεί μακροχρόνια ρύπανση, μιας και εξατμίζεται σε αέριο.
- Αποτελεί το ιδανικό καύσιμο για μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα, καθώς διαθέτει υψηλό αριθμό οκτανίων.
- Πολύ χαμηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου, οξειδίων του θείου, διοξειδίου του άνθρακα, σωματιδίων και γενικότερα ρύπων. Πιο συγκεκριμένα μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου επιτυγχάνεται σε ποσοστό έως και 99% σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες.



Εικόνα 4.3. Σύγκριση εκπομπών ρύπων σε κινητήρα πετρελαίου και κινητήρα LNG. Πηγή: [48]

Τα μειονεκτήματα του Φυσικού αερίου για χρήση ως καύσιμο είναι τα ακόλουθα:

- Κίνδυνος έκρηξης σε περίπτωση διαρροής αερίου
- Τα πληρώματα δεν είναι ακόμα εξοικειωμένα με τη χρήση του συγκεκριμένου καυσίμου
- Λίγες χώρες εισάγουν LNG
- Απαιτεί την ύπαρξη πετρελαίου για ανάφλεξη σε εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ.

4.1.2 Υγραέριο (Liquified Petroleum Gas-LPG)

Το υγραέριο, γνωστό ως LPG, είναι εξ ορισμού μείγμα προπανίου (C₃H₈) και βουτανίου (C₄H₁₀) σε υγρή μορφή. Το προπάνιο είναι αέριο σε συνθήκες περιβάλλοντος, με σημείο βρασμού στους -42°C και σημείο τήξης στους -187°C. Σε συνθήκες δωματίου (25°C) και με συμπίεση (άνω των 8 bar), μεταφέρεται και χρησιμοποιείται σε υγροποιημένη μορφή. Οι δεξαμενές προπανίου είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας που μπορούν να ανοίξουν σε πιέσεις που αντιστοιχούν σε θερμοκρασιακό εύρος 50-70°C ώστε να διατηρηθεί η πίεση κάτω από τα 25 bar. Το βουτάνιο έχει δύο μορφές, το ν-βουτάνιο και το ισοβουτάνιο, με σημεία βρασμού στους -0,5 °C και -12 °C, αντίστοιχα. Λόγω του υψηλότερου σημείου βρασμού και των δύο μορφών από το προπάνιο, το βουτάνιο μπορεί να υγροποιηθεί σε συνθήκες χαμηλότερης πίεσης. Έτσι, σε κρύα κλίματα το LPG για χρήση ως καύσιμο, πρέπει να περιέχει περισσότερο προπάνιο, λόγω του χαμηλότερου σημείου βρασμού του, ενώ σε θερμότερα κλίματα περισσότερο βουτάνιο. Οι πυκνότητες του προπανίου και του βουτανίου είναι 0,49 kg/dm³ και 0,57 kg/dm³, αντίστοιχα.

Η χρήση υγροποιημένου αερίου πετρελαίου, συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση εκπομπών επικίνδυνων ουσιών από τις καπνοδόχους των πλοίων, καθώς δεν εκπέμπονται οξείδια του θείου, μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, διοξειδίου του θείου, σωματιδίων.

Η παγκόσμια παραγωγή υγροποιημένου αερίου πετρελαίου κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα με την κατανάλωση πετρελαίου ως καύσιμο στην ναυτιλία (καθώς και την παγκόσμια παραγωγή LNG), και αυξάνεται κατά 2-3% ετησίως. Υπάρχει επαρκής διαθεσιμότητα για σταδιακή εισαγωγή του υγραερίου στο μείγμα καυσίμων του στη ναυτιλία, αλλά όχι για την πλήρη αντικατάσταση του μαζούτ.

Ένα μεγάλο δίκτυο τερματικών εισαγωγής και εξαγωγής υγραερίου είναι διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο για την αντιμετώπιση των εμπορικών αναγκών. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν περισσότεροι τερματικοί σταθμοί εξαγωγής υγραερίου στις ΗΠΑ για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση για προϊόντα LPG. Στην εικόνα 4.4, παρουσιάζονται οι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής και εξαγωγής διαφόρων μεγεθών στην Ευρώπη. Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι επικρατεί μία αυξητική τάση στη χρήση LPG.



Εικόνα 4.4. Επισκόπηση των ευρωπαϊκών σημείων εισαγωγής και εξαγωγής LPG. Πηγή: [39]

4.1.2.1 Τρόπος λειτουργίας

Η χρήση του LPG ως καύσιμο σε μηχανές πλοίων, έχει δύο προσεγγίσεις:

- Σε δίχρονο κινητήρα Diesel, από την εταιρία MAN, μέρος της σειράς MAN ME-LGI.
- Σε τετράχρονο κινητήρα Otto, από την εταιρία Wärtsilä, όπου χρησιμοποιείται προς το παρόν μόνο για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ως μέρος της σειράς Wärtsilä 34SG.

Όσον αφορά τη χρήση του LPG σε δίχρονο κινητήρα, η αρχή λειτουργίας και τα μέτρα ασφαλείας είναι παρόμοια με αυτά στη χρήση του LNG. Οι κύριες διαφορές μεταξύ των σειρών ME-GI (LNG) και ME-LGI (LPG) είναι σε ορισμένα εξαρτήματα και βοηθητικά συστήματα που είναι απαραίτητα για την αντιμετώπιση των διαφορετικών ιδιοτήτων των υγρών καυσίμων.

Από την άλλη η εταιρία Wärtsilä, ανέπτυξε κινητήρες Otto, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LPG. Το μείγμα αέρα-αερίου που εισάγεται στον κύλινδρο, αποτελείται από περισσότερο αέρα από αυτόν που απαιτείται για τη στοιχειομετρική καύση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση στην εκπομπή οξειδίων, λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας καύσης. Το μείγμα αναφλέγεται με χρήση σπινθηριστή, ο οποίος βρίσκεται σε προθάλαμο. Το αέριο καύσιμο εισάγεται στον κύλινδρο μέσω βαλβίδων εισαγωγής, οι οποίες τροφοδοτούν τον κάθε κύλινδρο με την απαραίτητη ποσότητα αερίου. Η συγκεκριμένη διάταξη δεν απαιτεί πρόσθετο εξοπλισμό, όπως αντλίες ή/και συμπιεστές για να συμπιεστεί το αέριο πριν εισέλθει στον κινητήρα.

Το 2014, η Wärtsilä ανέλαβε συμβόλαιο για ένα ζευγάρι Wärtsilä 20V34SG-LPG για βιομηχανική χρήση στην Κεντρική Αμερική. Αφορούσε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας LPG. Ο Wärtsilä 34SG-LPG είναι ο πρώτος κινητήρας μεσαίας ταχύτητας που λειτουργεί με προπάνιο. Ο ίδιος κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με φυσικό αέριο και αιθάνιο. Ένας τέτοιου είδους κινητήρας, όπως ο Wärtsilä 34SG-LPG, δύναται να χρησιμοποιηθεί σε διαμόρφωση διπλού καυσίμου, για θαλάσσια πρόωση, καλύπτοντας τις απαιτήσεις για μειωμένες εκπομπές οξειδίων του θείου και του αζώτου. [39][40]

4.1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα του LPG για χρήση ως καύσιμο είναι τα ακόλουθα:

- Επιτυγχάνεται μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου σε ποσοστό άνω του 92% σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες
- Το LPG παράγεται από δύο πηγές, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.

Τα μειονεκτήματα του LPG για χρήση ως καύσιμο είναι τα ακόλουθα:

- Τα πλοία πρέπει να έχουν λάβει μέτρα πρόληψης για την αποφυγή ατυχήματος, λόγω επικίνδυνων φορτίων
- Απαιτούνται εξειδικευμένα πληρώματα.
- Αποθηκεύεται σε σχετικά υψηλή πίεση, με αποτέλεσμα να εγείρονται θέματα ασφαλείας από τη χρήση δοχείων υψηλής πίεσης. [48]

4.1.3 Μεθανόλη

Η μεθυλική αλκοόλη, γνωστή ως μεθανόλη, είναι χημική ουσία με τον τύπο CH_3OH . Παράγεται με φυσικό αέριο ως βασική πρώτη ύλη, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των πετροχημικών. Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί με ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπως αστικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα, βιομάζα και διοξείδιο του άνθρακα. Η χρήση της μεθανόλης ως καύσιμο στα πλοία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μιας και η χρήση της ως εναλλακτικό καύσιμο στον τομέα της ναυτιλίας παρουσιάζει χαμηλές εκπομπές οξειδίων του θείου και άλλων ρυπογόνων αερίων.

Η μεθανόλη είναι η απλούστερη αλκοόλη με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο οποιουδήποτε υγρού καυσίμου. Η μεθανόλη είναι ένα υγρό μεταξύ 176 και 338 Kelvin (-93°C έως $+65^\circ\text{C}$) σε ατμοσφαιρική πίεση. Είναι ένα βασικό δομικό στοιχείο για εκατοντάδες βασικά χημικά προϊόντα που συμβάλλουν στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου, όπως δομικά υλικά, πλαστικές συσκευασίες, χρώματα κ.α. Είναι επίσης καύσιμο μεταφοράς και φορέας υδρογόνου για τις κυψέλες καυσίμου. Η μεθανόλη μπορεί να

παραχθεί από πολλές διαφορετικές πρώτες ύλες, κυρίως από φυσικό αέριο ή άνθρακα, αλλά και από ανανεώσιμες πηγές, ακόμη και απευθείας από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Λόγω της πυκνότητας και της χαμηλής θερμογόνου δύναμης (19,5 MJ/kg), της μεθανόλης οι δεξαμενές που αποθηκεύεται έχουν μέγεθος περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερο από τις δεξαμενές πετρελαίου. Η μεθανόλη έχει σημείο ανάφλεξης στους 12°C και θεωρείται καύσιμο με χαμηλό σημείο ανάφλεξης. Μπορεί επίσης να μετατραπεί σε διμεθυλαιθέρα (DME), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για κινητήρες ντίζελ.

Υπάρχουν δύο κύριες επιλογές για τη χρήση μεθανόλης ως καυσίμου σε συμβατικούς κινητήρες πλοίων: σε έναν δίχρονο κινητήρα κύκλου DIESEL ή σε έναν τετράχρονο κύκλου Otto κινητήρα. Όπως με το υγραέριο, μόνο ένας δίχρονος πετρελαιοκινητήρας είναι προς το παρόν διαθέσιμος στο εμπόριο, η σειρά MAN ME-LGI, η οποία τώρα λειτουργεί σε δεξαμενόπλοια μεθανόλης. Οι τετράχρονοι κινητήρες Wärtsilä λειτουργούν στο επιβατικό πλοίο Stena Germanica. Μια άλλη δυνατότητα θα ήταν η χρήση μεθανόλης σε κυψέλες καυσίμου (θα αναλυθούν ακολούθως). Η μεθανόλη είναι ένα υγρό καύσιμο που μπορεί να αποθηκευτεί σε τυπικές δεξαμενές υγρών καυσίμων, με ορισμένες τροποποιήσεις, λόγω του χαμηλού σημείου ανάφλεξης που έχει. [33][38]

4.1.3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της μεθανόλης για χρήση ως καύσιμο σε ναυτικές μηχανές είναι τα ακόλουθα:

- Καθαρή καύση: Χρησιμοποιώντας μεθανόλη ως καύσιμο πλοίων, οι εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) μειώνονται κατά περίπου 99%, τα οξείδια του αζώτου (NO_x) κατά 60% και τα σωματίδια (PM) κατά 95%.
- Μακροχρόνια ιστορία ασφαλούς χειρισμού, καθώς εδώ και περίπου 100 χρόνια η μεθανόλη χρησιμοποιείται με ασφάλεια σε μια ποικιλία ενεργειακών εφαρμογών.
- Η μεθανόλη είναι ένα οικονομικά αποδοτικό εναλλακτικό καύσιμο πλοίων από την άποψη του ίδιου του καυσίμου, του κινητήρα διπλού καυσίμου και της υποδομής αποθήκευσης. Το κόστος μετατροπής των πλοίων για να λειτουργούν με μεθανόλη είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μετατροπές καυσίμων. Ως υγρό καύσιμο, χρειάζονται μόνο μικρές τροποποιήσεις στην υπάρχουσα υποδομή αποθήκευσης μεθανόλης.
- Είναι διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο
- Η μεθανόλη είναι ένα από τα πέντε κορυφαία χημικά προϊόντα που αποστέλλονται σε όλο τον κόσμο κάθε χρόνο. Σε αντίθεση με ορισμένα εναλλακτικά καύσιμα, απαιτεί μόνο μικρές τροποποιήσεις στην υπάρχουσα τερματική υποδομή και είναι ήδη διαθέσιμο για ανεφοδιασμό στην πλειονότητα των λιμανιών.
- Η μεθανόλη είναι ένα διαυγές, άχρωμο υγρό που διαλύεται γρήγορα στο νερό και βιοαποικοδομείται γρήγορα. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μεγάλης διαρροής μεθανόλης θα ήταν πολύ χαμηλότερες από εκείνες από μια ισοδύναμη διαρροή πετρελαίου.
- Η μεθανόλη παράγεται συνήθως σε εμπορική κλίμακα από φυσικό αέριο. Μπορεί επίσης να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές όπως βιομάζα και ανακυκλωμένο διοξείδιο του άνθρακα αλλά ακόμη και από ένα φυτό.

Τα μειονεκτήματα της μεθανόλης είναι τα ακόλουθα:

- Είναι διαβρωτική, τοξική και αναμίξιμη με το νερό

- Το χαμηλό της σημείο ανάφλεξης εγείρει θέματα ασφαλείας
- Έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα.
- Σήμερα, η παραγωγή μεθανόλης εξαρτάται ακόμη από τα ορυκτά καύσιμα.

4.1.4 Κυψέλες καυσίμου

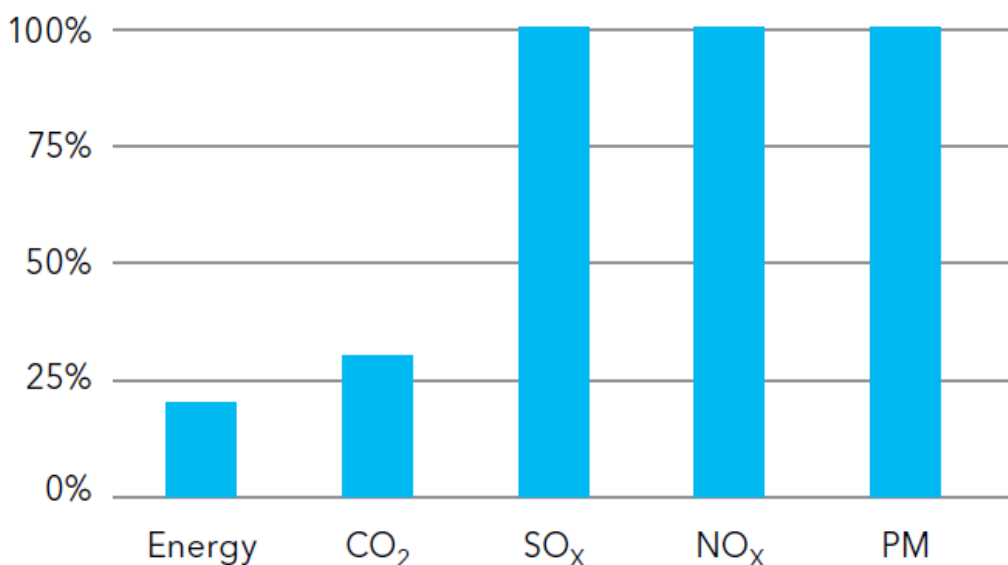
Οι κυψέλες καυσίμου προσφέρουν υψηλή ηλεκτρική απόδοση, με χαμηλότερες εκπομπές θορύβου και κραδασμών σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες. Πρόκειται για συσκευές, οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα εκμεταλλευόμενες τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου και ενός οξειδωτικού. Αυτή η άμεση μετατροπή επιτρέπει ηλεκτρική αποδοτικότητα έως και 60%, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης καυσίμου και το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Η πλειονότητα των κυψελών χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο, ενώ δύνανται να χρησιμοποιήσουν συμβατικά καύσιμα (μεθανόλη, βενζίνη κ.α.), τα οποία όμως δεν υφίστανται καύση, με αποτέλεσμα οι κυψέλες καυσίμου να είναι φιλικές προς το περιβάλλον.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου υπό ανάπτυξη. Ο χημικός μηχανισμός, η θερμοκρασία λειτουργίας και η απόδοση εξαρτώνται από την κυψέλη καυσίμου. Οι τρεις πιο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου για ναυτιλιακή χρήση είναι η κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC), η κυψέλη καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (LT-PEMFC) και κυψέλη καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (HT-PEMFC).

Όλες οι κυψέλες καυσίμου χρειάζονται ένα πλούσιο σε υδρογόνο καύσιμο για τη χημική διαδικασία. Εκτός από τη χρήση καθαρού υδρογόνου, χημικοί αντιδραστήρες (αναμορφωτές καυσίμων) χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή άλλων καυσίμων, όπως φυσικό αέριο, μεθανόλη ή πετρέλαιο, σε καύσιμο πλούσιο σε υδρογόνο για τις κυψέλες.

Η διαδικασία αναμόρφωσης καυσίμων μπορεί να περιλαμβάνει μία μικρή ποσότητα καυσίμου για καύση. Το μεγαλύτερο μέρος του καυσίμου χρησιμοποιείται σε μία ηλεκτροχημική διαδικασία στην κυψέλη, η οποία δεν περιλαμβάνει καύση. Κατά συνέπεια, η τεχνολογία αυτή μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές ρύπων.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται συνήθως στις κυψέλες καυσίμου μειώνουν τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x), οξειδίων του θείου (SO_x) και σωματιδίων (PM) στο μηδέν. Λόγω της υψηλής απόδοσης των κυψελών καυσίμου, είναι δυνατή η μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 30% όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα που βασίζονται σε υδρογονάνθρακες όπως το φυσικό αέριο ή μεθανόλη, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη εικόνα (4.5).



Εικόνα 4.5. Μείωση ενέργειας και εκπομπών επικίνδυνων αερίων με χρήση κυψελών καυσίμου, με χρήση μεθανόλης. Πηγή: [38]

Όταν χρησιμοποιείται καθαρό υδρογόνο ως καύσιμο, οι εκπομπές CO₂, NO_x, SO_x και PM είναι μηδενικές.

Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, υπάρχουν σήμερα μόνο μικρές εφαρμογές κυψελών καυσίμου σε λειτουργία με έξοδο ηλεκτρικής ισχύος έως 100 kW. Αρκετά προγράμματα βρίσκονται σε εξέλιξη. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα συστήματα κυψελών καυσίμου έχουν χαμηλή διάρκεια ζωής. Ένα σύστημα κυψελών καυσίμου, που χρησιμοποιεί ως καύσιμο τη μεθανόλη, λειτουργεί στο επιβατικό πλοίο MS Mariella από το 2016.

4.1.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της κυψέλης καυσίμου για χρήση ως ναυτικές μηχανές είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλή απόδοση - όταν χρησιμοποιείται συμπαραγωγή, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να επιτύχουν πάνω από 80% ενεργειακή απόδοση
- Καλή αξιοπιστία - η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος δεν υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου.
- Προσφέρει μια πολύ πιο αθόρυβη εναλλακτική λύση στη συμβατική παραγωγή ενέργειας
- Μειώνει σημαντικά τις επιβλαβείς εκπομπές ρύπων. Συγκεκριμένα μειώνονται οι εκπομπές SO_x, NO_x, PM κατά 100%, ενώ του CO₂ κατά 30%.

Τα μειονεκτήματα της κυψέλης καυσίμου για χρήση ως ναυτικές μηχανές είναι τα ακόλουθα:

- Έχει υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης λόγω του υψηλού κόστους των καταλυτών που απαιτούνται.
- Υπάρχει έλλειψη υποδομής για την υποστήριξη της διανομής υδρογόνου.
- Η παραγωγή υδρογόνου είναι ακριβή και δεν διατίθεται ευρέως.

- Πολλές από τις τρέχουσες τεχνολογίες βρίσκονται ακόμα σε στάδιο έρευνας, χωρίς να έχουν χρησιμοποιηθεί και ελεγχθεί.

4.2 Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η σύγχρονη αλόγιστη χρήση των ενεργειακών πηγών, έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση των αποθεμάτων τους, ενώ παράλληλα η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή βλαβερών αερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτοί είναι και οι λόγοι που έχουν οδηγήσει σε στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως για εφαρμογές στη στεριά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της ναυτιλίας είναι η ηλιακή, η αιολική αλλά και τα καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα (βιοκαύσιμα).

4.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Οι ηλιακές φωτοβολταϊκές εφαρμογές χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ, εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ενέργεια. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών αποτελεί μία ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στον τομέα της βιομηχανίας. Όλες αυτές οι εξελίξεις είναι διαθέσιμες για χρήση και στον τομέα της ναυτιλίας. Σημαντικοί περιορισμοί για την ευρεία χρήση φωτοβολταϊκών σε πλοία, είναι η έλλειψη αρκετής επιφάνειας για την τοποθέτηση των πάνελ, αλλά και το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας, μιας και υπάρχουν μεγάλες απώλειες. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέπουν τη χρήση φωτοβολταϊκών για βοηθητική πρόωση στα πλοία. Μελλοντικά, ίσως να μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά συστήματα για την πρόωση μικρών πλοίων.

Στο Auriga Leader, τοποθετήθηκαν 328 ηλιακά πάνελ. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ηλιακή ενέργεια σε ένα μεταφορικό πλοίο για να καλυφθεί κάποιο ποσοστό των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια, αντικαθιστώντας τους βοηθητικούς κινητήρες ντίζελ. Σε αυτήν την περίπτωση, με την εγκατάσταση των πάνελ επιτεύχθηκε όχι μόνο να γίνει το Auriga Leader πιο φιλικό προς το περιβάλλον λόγω μείωσης των ρύπων που απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα, αλλά ταυτόχρονα το πλοίο έγινε πιο οικονομικό και αποδοτικό μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου του.



Εικόνα 4.6: Εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάνελ στο Auriga Leader, Πηγή: [38]

Στο Auriga Leader, είναι 60.000 τόνους και μεταφέρει οχήματα από την Ιαπωνία στον υπόλοιπο κόσμο, το 2008 τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ παρέχοντας μέγιστη ισχύ 40 KW, ήτοι το 10% των συνολικών αναγκών του πλοίου όταν είναι στάσιμο στην αποβάθρα. Τα ηλιακά πάνελ παρήγαγαν 1,4 φορά περισσότερη ενέργεια στο πλοίο στη θάλασσα από ότι στην ξηρά στο Τόκιο. Η συνολική συνεισφορά στην ισχύ πρόωσης του πλοίου ήταν της τάξεως του 1-2%.

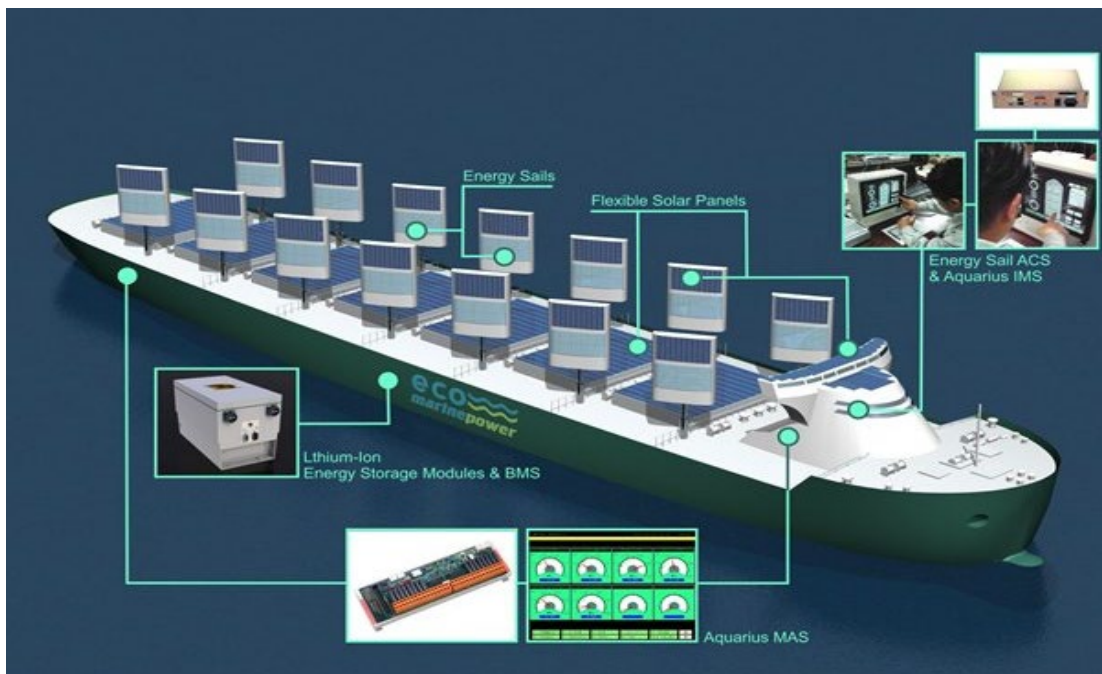
Ο σχεδιασμός Greenheart αφορά εμπορικό πλοίο χωρητικότητας 220 τόνων, στο οποίο προτείνεται να χρησιμοποιηθούν πάνελ που θα φορτίζουν μπαταρίες μολύβδου οξέως για παροχή βοηθητικής πρόωσης. Οι μπαταρίες αποτελούν μια υβριδική λύση για μικρά ή και μεσαίου μεγέθους πλοία.

Ο σχεδιασμός SolarSailor της εταιρίας OCIUS Technology, αφορά τη χρήση υβριδικών πανιών σε συνδυασμό με συστοιχίες πάνελ. Τα πάνελ τοποθετούνται στα ιστία και στο κατάστρωμα.

Η Eco Marine Power σχεδίασε ένα προηγμένο ολοκληρωμένο σύστημα άκαμπτων πανιών, θαλάσσιων ηλιακών συλλεκτών, μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, συστήματος φόρτισης που επιτρέπει στα πλοία να αξιοποιήσουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργεια, πιο συγκεκριμένα την ηλιακή και αιολική. Ο σχεδιασμός αυτός ονομάζεται Aquarius MRE (Marine Renewable Energy) και απευθύνεται σε υπάρχοντα δεξαμενόπλοια και φορτηγά.



Εικόνα 4.7: Υβριδικά συστήματα με φωτοβολταϊκά. Από αριστερά προς τα δεξιά. 1) Aquarius MRE, 2) SolarSailor, 3) Augida Leader, Πηγή: [37]



Εικόνα 4.8: Aquarius MRE, Πηγή: [37]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ικανά να χρησιμοποιούνται για να φορτίζουν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) για ηλεκτρική πρόωση μικρών πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων, μόνο για ταξίδια κοντινών αποστάσεων. [37][38]

4.2.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Είναι πολύ φιλικά προς το περιβάλλον.
- Δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα.
- Η πηγή ενέργειάς τους είναι αστείρευτη
- Ο εξοπλισμός για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας αναπτύσσεται ραγδαία
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και στη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής

- Αποτελεί μία ώριμη τεχνολογία, η οποία συνεχώς αναπτύσσεται

Τα μειονεκτήματα της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης.
- Η ενέργεια που προσφέρουν αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής ανάγκης ενός πλοίου.
- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για την τοποθέτηση πάνελ
- Η παροχή ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους
- Δεν μπορούν, να χρησιμοποιηθούν για την κύρια πρόωση, αλλά μόνο για βοηθητική πρόωση

4.2.2 Αιολική Ενέργεια

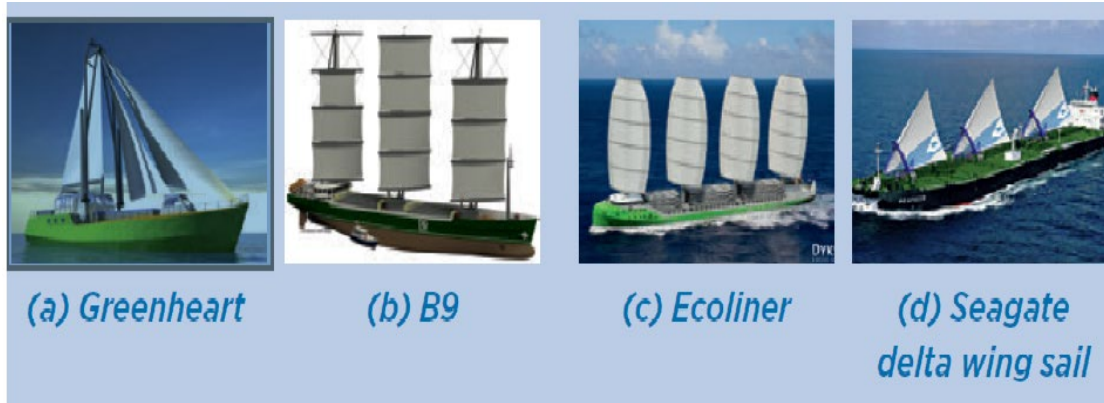
Από τα αρχαία χρόνια ο άνεμος χρησιμοποιήθηκε ως κύρια πηγή πρόωσης πλοίων και αυτή η φιλοσοφία εφαρμόζεται μέχρι σήμερα μέσω της ιστιοπλοΐας. Ο άνεμος χρησιμοποιήθηκε ως πηγή ενέργειας και σε άλλους τομείς, όπως οι ανεμόμυλοι. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία διαθέσιμη, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Μέχρι τον 18ο αιώνα τα πανιά κυριαρχούσαν στον τομέα της ναυτιλίας, αλλά με την εφεύρεση των ατμομηχανών και την εμπορική τους χρήση στα τέλη του, τα πανιά άρχισαν να χάνουν το μονοπώλιο τους. Στις αρχές του 20ου αιώνα οι ατμομηχανές αντικατέστησαν τα πανιά. Στη συνέχεια οι κινητήρες εσωτερικής καύσης αντικατέστησαν τις ατμομηχανές. Αυτό συνέβη γιατί οι ατμομηχανές και οι κινητήρες εσωτερικής καύσης απαιτούσαν λιγότερο πλήρωμα, ήταν σχετικά φθηνές και πιο αξιόπιστες. Για τους παραπάνω λόγους, υπήρξε ανεπαρκής ζήτηση για περαιτέρω εφαρμογή και ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

Ωστόσο, η τεράστια ανάγκη μείωσης των επιβλαβών εκπομπών στη ναυτιλιακή βιομηχανία απαιτεί την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Η επιστροφή των πανιών ξεκίνησε με την ιδέα των άκαμπτων πανιών, τα οποία έχουν διαφορές σε σχέση με τα συμβατικά. Τα άκαμπτα πανιά ως έννοια, αντί να είναι ευέλικτα όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην ιστιοπλοΐα, είναι σταθερά.

Η πρόωση με εκμετάλλευση του ανέμου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε μαλακό πανί, άκαμπτο-σταθερό πανί, ρότορα, και πανί-χαρταετό.

4.2.2.1 Μαλακά Πανιά

Τα συμβατικά μαλακά πανιά αποτελούν μία δοκιμασμένη λύση, η οποία δύναται άμεσης εκμετάλλευσης της προωθητικής δύναμης του ανέμου. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην βιομηχανία των ιστιοφόρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στον τομέα της ναυτιλίας. Τα πανιά μπορούν να αξιοποιηθούν είτε για την κύρια είτε για την βοηθητική πρόωση, με δυνατότητα να τοποθετηθούν εκ νέου σε ήδη υπάρχοντα πλοία ή να ενσωματωθούν στον σχεδιασμό νέων κατασκευών πλοίων. Ορισμένα παραδείγματα αποτελούν το Greenheart, B9, Ecoliner. Το Greenheart έχει έναν συμβατικό συνδυασμό φλόκου (μικρό τριγωνικό πανί της πλήρους ιστιοφόρου) και μαΐστρας (μεγάλο τριγωνικό πανί που σηκώνεται πίσω από το κατάρτι και αποτελεί το βασικό πανί ενός ιστιοφόρου σκάφους). Η Ιταλική εταιρία Seagate έχει κατοχυρώσει τον καινοτομικό της σχεδιασμό, για πανί σε σχήμα περυγίου τύπου δέλτα, για μετασκευή σε υφιστάμενα πλοία.



Εικόνα 4.9: Παραδείγματα σχεδίων πλοίων που χρησιμοποιούν τεχνολογία μαλακών πανιών. Πηγή: [37]

4.2.2.2 Άκαμπτα-Σταθερά Πανιά

Τα άκαμπτα-σταθερά πανιά είναι ουσιαστικά άκαμπτα «φτερά» σε περιστρεφόμενο ιστό. Παράδειγμα αποτελεί ο σχεδιασμός UT Wind Challenger.

Μια βρετανική εταιρεία, η Oceanfoil, έχει επανεξετάσει τα σταθερά πανιά και προσφέρει μία νέα καινοτομία για έναν αναθεωρημένο και βελτιωμένο σχεδιασμό, ο οποίος επιφέρει, σύμφωνα με έρευνα που έγινε το 2017, τουλάχιστον 14% εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτός ο σχεδιασμός αποτελείται από πανιά, τα οποία μοιάζουν με πτερύγια αεροπλάνου τοποθετημένα κάθετα. Κάθε πτερύγιο είναι ελεύθερο να κινείται σε ένα κεντρικό έδρανο, για να λάβει την περισσότερη δυνατή ώθηση από τον άνεμο.



Εικόνα 4.10: Σχεδιασμός σταθερών πανιών στο UT Wind Challenger. Πηγή: [39]



Εικόνα 4.11: Σχεδιασμός εταιρίας Oceanfoil. Πηγή: [39]

4.2.2.3 Ρότορες

Οι ρότορες τύπου Flettner ή αλλιώς Rotor Sails, είναι όταν χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενοι κύλινδροι χαμηλής ισχύος, οι οποίοι εκμεταλλεύονται το φαινόμενο Magnus ώστε να δημιουργείται διαφορά πίεσης αέρα, οπότε και πρόωσης του σκάφους. Παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους ρότορες είναι το Alcyone και το E-Ship 1.



Εικόνα 4.12: Σχεδιασμός με ρότορες στο Alcyone. Πηγή: [42]



Εικόνα 4.13: Σχεδιασμός με ρότορες στο E-Ship 1. Πηγή: [42]

4.2.2.4 Πανιά-Χαρταετός

Τα πανιά χαρταετού που είναι προσαρτημένα στο τόξο του σκάφους λειτουργούν σε υψόμετρο για εκμετάλλευση μεγαλύτερης ταχύτητας ανέμου όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα (4.14).

Τα πανιά τύπου χαρταετού είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να ανυψώνονται στο σωστό ύψος και στη συνέχεια να επιστρέφουν. Η όλη διαδικασία της ανύψωσης και στη συνέχεια της αναδίπλωσης, διαρκεί περίπου 10-20 λεπτά. Μια άλλη σημαντική πτυχή που πρέπει να σημειωθεί για τα εμπλεκόμενα πανιά είναι ότι μπορούν να ανυψωθούν μόνο όταν ο άνεμος είναι προς τη σωστή κατεύθυνση, αλλιώς δεν θα λειτουργήσουν αποτελεσματικά στη δημιουργία της απαιτούμενης ταχύτητας για το σκάφος. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα πανιά τύπου χαρταετού επιτρέπουν στο πλοίο να επιταχύνει από 5 έως 25 φορές παραπάνω σε σχέση με τα συμβατικά πανιά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Beluga Skysails, το οποίο ήταν το πρώτο εμπορικό φορτηγό πλοίο εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο, το οποίο διαθέτει έναν χαρταετό 160 τετραγωνικών μέτρων.



Εικόνα 4.14: Σχεδιασμός με χαρταετό στο Beluga Skysails.. Πηγή: [42]

4.2.2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αιολικής ενέργειας για πρόωση είναι τα ακόλουθα:

- Είναι φιλική προς το περιβάλλον
- Δεν έχει κατάλοιπα και απόβλητα
- Η πηγή ενέργειάς είναι ο άνεμος (αιολική ενέργεια), ο οποίος αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- Χαμηλό κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης
- Αποτελεί μία ώριμη τεχνολογία, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί πολλά χρόνια
- Οι τεχνολογίες και εξοπλισμός για εκμετάλλευση αιολική ενέργειας αναπτύσσονται συνεχώς.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης αιολικής ενέργειας για πρόωση είναι τα ακόλουθα:

- Η συχνότητα αλλά και η ισχύς της αιολικής ενέργειας δεν είναι εύκολα προβλέψιμες
- Έχει αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης
- Η ενέργεια που προσφέρεται αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής ανάγκης ενός πλοίου.
- Η παροχή αιολικής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή και την τοποθεσία που βρίσκεται το πλοίο.
- Δεν μπορεί, να χρησιμοποιηθεί για την κύρια πρόωση, αλλά μόνο για βοηθητική πρόωση, λόγω της διακοπτόμενης αλλά και κατά τόπους εμφάνισης ανέμων

4.3 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα ονομάζονται τα καύσιμα που παράγονται άμεσα ή έμμεσα από οργανικό υλικό-βιομάζα-συμπεριλαμβανομένων των φυτικών ινών και ζωικών αποβλήτων. Η βιομάζα προέρχεται από γεωργικά προϊόντα, όπως το καλαμπόκι, αλλά και από γεωργικά κατάλοιπα, όπως οι φλοιοί δένδρων. Μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση εκπομπών οξειδίων του θείου

αλλά και γενικότερα όλων των ρυπογόνων αερίων, ενώ ταυτόχρονα σε περίπτωση διαρροής, λόγω προέλευσής του από φυτά ή ζώα, είναι γρήγορη η βιοαποδόμησή του, θέτοντας σε πολύ μικρότερο κίνδυνο το θαλάσσιο περιβάλλον.

Το πιο πολλά υποσχόμενο παράγωγο του βιοκαυσίμου για χρήση σε πλοία είναι το φυτικό έλαιο που έχει υποστεί επεξεργασία με υδροθεραπεία (HVO), ο μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων (FAME ή βιοντίζελ FAME) και το υγροποιημένο βιοαέριο (LBG). Το καύσιμο πυρόλυσης και άλλοι τύποι βιοντίζελ όπως το βιοντίζελ Fischer-Tropsch (FT) μπορεί να αποδειχθούν πιθανές αξιόπιστες μελλοντικές εναλλακτικές. Το HVO είναι το καταλληλότερο για την αντικατάσταση υπολειμματικών καυσίμων, ενώ το βιοντίζελ για την αντικατάσταση καυσίμου απόσταξης. Οι ιδιότητες τόσο του HVO όσο και του βιοντίζελ είναι παρόμοιες με του καυσίμου HFO, αλλά εξαρτώνται από την πρώτη ύλη που προέρχεται το βιοκαύσιμο. Το HVO παράγεται συνήθως με μηχανική εκχύλιση λαδιού από λάδι βιομάζας ως πρώτη ύλη, όπως σπόροι σόγιας και ελαιοκράμβης. Το βιοντίζελ FAME παράγεται από φυτικά έλαια, χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια ή ζωικά λίπη. Παράγεται με εστεροποίηση - μια διαδικασία που μετατρέπει τα λίπη και τα έλαια σε βιοντίζελ- και γλυκερίνη. Το HVO, παράγεται αρκετά πιο εύκολα σε σχέση με το βιοντίζελ.

Τα καύσιμα HVO και βιοντίζελ χαρακτηρίζονται από τον αριθμό κετανίου, το ιξώδες, την πυκνότητα, το σημείο ανάφλεξης, την περιεκτικότητα σε θείο κ.α.. Αυτές οι φυσικές και χημικές ιδιότητες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης. Το HVO είναι ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας από το οποίο το οξυγόνο έχει αφαιρεθεί χρησιμοποιώντας υδρογόνο, που έχει ως αποτέλεσμα μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Τα χαρακτηριστικά του HVO το καθιστούν κατάλληλο να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα. Σε γενικές γραμμές, το HVO είναι συμβατό με υπάρχουσες υποδομές και συστήματα κινητήρων, με την επιφύλαξη έγκρισης από τον κατασκευαστή. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, ενδέχεται να απαιτούνται τροποποιήσεις. Συνολικά, υπάρχει περιορισμένη επιχειρησιακή εμπειρία με το HVO ως καύσιμο πλοίου. Το HVO χρησιμοποιείται επί του παρόντος σε τρία πλοία που λειτουργούν στη Νορβηγία και μέχρι σήμερα δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις.

Από την άλλη, το FAME έχει χαμηλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι λιγότερο σταθερό όταν αναμιγνύεται και έχει μικρή διάρκεια ζωής. Ορισμένες δοκιμές παρουσίασαν αυξημένη διάβρωση και ευαισθησία στην ανάπτυξη μικροβίων. Η γνώση σχετικά με άλλες πιθανές επιδράσεις του FAME είναι περιορισμένη, καθώς οι περισσότερες από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν μέχρι σήμερα μελέτησαν τη χρήση του FAME μόνο για μικρές χρονικές περιόδους. Το LBG μπορεί στην ουσία να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο από πλοία που λειτουργούν με φυσικό αέριο και δεν απαιτεί κάποια αλλαγή στον κινητήρα, στην δεξαμενή και στις σωληνώσεις. Είναι εξίσου αξιόπιστο με το LNG, όπως και δύναται ανάμειξης με LNG.

Τα παράγωγα HVO και βιοντίζελ παρουσιάζονται ως πιθανά καύσιμα πλοίων λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε ενέργεια, τη μοριακή δομή και τον υψηλό αριθμό κετανίου που παρουσιάζουν. Αυτά είναι χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων (HFO και MDO) που χρησιμοποιούνται ευρέως στους θαλάσσιους κινητήρες. Η χρήση βιοκαυσίμων, λόγω διαφοράς της φυσικής και χημικής σύστασής τους σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα, απαιτεί κάποιες μικρές μετατροπές στους κινητήρες. Το HVO και το βιοντίζελ μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια υποδομή με το HFO και το MGO, καθώς είναι υγρά καύσιμα. Στους ακόλουθους πίνακες, συγκρίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά του HVO και του βιοντίζελ με εκείνα των καυσίμων HFO και MDO/MGO. Με βάση τις γενικές

προδιαγραφές, μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι το ΗVΟ και το βιοντίζελ FAME είναι πολύ κοντινές εναλλακτικές στα καύσιμα ΗFO και MDO/MGO αντίστοιχα. [34][38]

	Σογιέλαιο	Φοινικέλαιο	Κραμβέλαιο	Έλαιο πυρόλυσης	Βαρύ μαζούτ (ISO 8217 (HFO/RMG))
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	39.62	36.51	36 -37	22.7	40
Πυκνότητα	914 - 920	915 - 918	900 - 930	1100 -1250	< 991
Σημείο ανάφλεξης (K)	527- 603	540	493 - 519	313-373	>333
Κινητικό ιξώδες (mm ² / s)	39.60	39.60	39.20	14.5	< 380
Αριθμός κετανίου (CN)	36 - 38	38-42	37.60	10	>20

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά καυσίμων ΗVΟ, Πυρόλυσης και μαζούτ. Πηγή: [34]

	Βιοντίζελ σόγιας	Βιοντίζελ φοινικέλαιου	Βιοντίζελ ελαιοκράμβης	MDO (ISO 8217 DMB)	MGO (ISO 8217 DMA)
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	39-40.5	37.4-38.2	37	42	-
Πυκνότητα	885	864-871	900 - 930	<900	< 890
Σημείο ανάφλεξης (K)	414-440	408	420-443	>333	>333
Κινητικό ιξώδες (mm ² / s)	3.9-4.65	4.05-5.1	3.5-5.0	2-11	2-6
Αριθμός κετανίου (CN)	46-45	58-65.5	50-56.6	>40	>35

Πίνακας 4.2: Σύγκριση διαφορετικών καυσίμων βιοντίζελ και πετρελαίου diesel. Πηγή: [34]

4.3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων για χρήση ως καύσιμο σε ναυτικές μηχανές είναι τα ακόλουθα:

- Μειώνει δραστικά τις εκπομπές ρυπογόνων αερίων στην ατμόσφαιρα, συγκεκριμένα η μείωση αυτή μπορεί να φτάσει το 88%, σε σχέση με τους κλασικούς κινητήρες.
- Σε περίπτωση διαρροής είναι γρήγορη η βιοαποδόμησή τους
- Τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υφιστάμενο κινητήρα πλοίου, να μεταφέρονται και να αποθηκεύονται σε υπάρχουσες υποδομές χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές/τροποποιήσεις.

Τα μειονεκτήματα των βιοκαυσίμων για χρήση ως καύσιμο σε ναυτικές μηχανές είναι τα ακόλουθα:

- Μικροβιακή ανάπτυξη: Βακτήρια και μούχλα μπορεί να αναπτυχθούν σε περίπτωση που συμπυκνωμένο νερό συσσωρευτεί σε καύσιμα βιοντίζελ. Η μικροβιακή ανάπτυξη οδηγεί σε υπερβολικό σχηματισμό λάσπης, φραγμένων φίλτρων και σωληνώσεων.
- Πιθανός εκφυλισμός από καουτσούκ στεγανοποιήσεις, φλάντζες και σωλήνες. Είναι σημαντικό να ελεγχθεί ότι τα εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βιοκαύσιμα.
- Έχουν αρκετά υψηλότερη τιμή σε σχέση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα
- Υπάρχει ανεπαρκής υλικοτεχνική υποστήριξη σε λιμάνια
- Οι εμπορικές εγκαταστάσεις παραγωγής βιοκαυσίμων μπορούν επί του παρόντος να ικανοποιήσουν ένα μικρό μερίδιο της ζήτησης καυσίμων από τη ναυτιλία
- Δεν υπάρχουν μακροπρόθεσμα δεδομένα δοκιμής βιοκαυσίμου, που να αποδεικνύουν ότι είναι αξιόπιστο.

4.4 Ενέργεια από την Ξηρά

Όταν τα πλοία βρίσκονται στο λιμάνι, τότε οι μηχανές της πρόωσης δεν λειτουργούν, αλλά λειτουργούν οι βοηθητικές ηλεκτρομηχανές, οι οποίες παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων του πλοίου, όπως ο φωτισμός, ο εξαερισμός κ.α.. Αυτό το φαινόμενο είναι πιο έντονο στα επιβατικά πλοία και κρουαζιερόπλοια, τα οποία έχουν υψηλές ενεργειακές ανάγκες. Έτσι, η λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά θα βοηθούσε στην εξάλειψη εκπομπών SO_x, NO_x, CO₂ και PM όταν το πλοίο βρίσκεται σε λιμάνι.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι συνολικές εκπομπές εξαρτώνται και από την ενεργειακή πηγή, έτσι σε περίπτωση που η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από την ξηρά βασίζεται σε πηγές ενέργειας όπως ο λιγνίτης, τότε οι εκπομπές εξαλείφονται τοπικά, μιας και μειώνονται στο λιμάνι αλλά αυξάνονται στην περιοχή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περίπτωση όμως που η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική, τα υδροηλεκτρικά, τότε οι εκπομπές μειώνονται συνολικά.

4.5 Πρόωση με χρήση ηλεκτρισμού από μπαταρίες

Το Zerocat και το Ar Vag Tredan αποτελούν παραδείγματα της πρόωσης με χρήση ηλεκτρισμού από μπαταρίες. Το Zerocat είναι ένα φέρι το οποίο μεταφέρει περίπου 120 αυτοκίνητα και 360 επιβάτες, για διαδρομές μικρής απόστασης, περίπου 20-30 λεπτών. Οι μπαταρίες του εν λόγω φέρι χρειάζονται μόλις 10 λεπτά για την πλήρη φόρτισή τους. Το φέρι χρησιμοποιείται στη Νορβηγία και επαναφορτίζεται από ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, πιο συγκεκριμένα από

ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Από την άλλη το Ar Vag Tredan της εταιρίας Lorient, είναι ένα ηλεκτροκίνητο φέρι 150 σχεδόν επιβατών, το οποίο τροφοδοτείται από υπερπυκνωτές και είναι κατάλληλο για μικρών αποστάσεων διαδρομές. Οι υπερπυκνωτές του φορτίζονται στο λιμάνι μέσα σε λιγότερο από 5 λεπτά. Έτσι φέρι μικρών αποστάσεων, δύνανται να χρησιμοποιούν μπαταρίες για την πρόωσή τους, οι οποίες θα φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες, τα υδροηλεκτρικά. Με αυτόν τον τρόπο οι εκπομπές ρυπογόνων αερίων από μικρότερα πλοία, θα περιοριστούν σε παγκόσμια κλίμακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μεγάλη προσπάθεια για επίτευξη μείωσης των εκπομπών ρύπων σε όλους τους τομείς. Έτσι και στη ναυτιλία, υπάρχει η τάση για εξεύρεση μεθόδων μείωσης ή ακόμα και εξάλειψης αέριων ρύπων που προκαλούν προβλήματα στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων. Πραγματοποιούνται έρευνες και μελέτες για την ανακάλυψη εναλλακτικών καυσίμων και μεθόδων μείωσης των ρυπογόνων αερίων αλλά και την καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα Scrubbers, αποτελούν μία πολύ αξιόπιστη και δοκιμασμένη μέθοδο περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του θείου, ενώ ταυτόχρονα έχουν σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Με χρήση θαλασσινού ή γλυκού νερού καθαρίζουν τα καυσαέρια των κινητήρων. Όλο και περισσότερες ναυτιλιακές εταιρίες εξοπλίζουν τους στόλους τους με Scrubber, για να εναρμονιστούν με τους ισχύοντες κανονισμούς μείωσης των εκπομπών οξειδίων του θείου. Ωστόσο η αυξανόμενη χρήση των Scrubbers, ενδέχεται να οδηγήσει σε αρνητικές επιπτώσεις στην θαλάσσια πανίδα, λόγω απόρριψης του νερού έκπλυσης στη θάλασσα. Οπότε θα πρέπει να γίνονται συνεχείς αναλύσεις και δειγματοληψίες του νερού που απορρίπτεται στη θάλασσα.

Από την άλλη, παρατηρείται έντονα σε νεόκτιστα πλοία αλλά και σε παραγγελίες νέων πλοίων, να επιλέγονται κινητήρες διπλού καυσίμου που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μηχανές πρόωσης έχουν μια καθαρότερη καύση, υψηλή απόδοση και σχεδόν μηδενικές εκπομπές οξειδίων του θείου, με αποτέλεσμα να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τις εκπομπές αέριων ρύπων από τη ναυτιλία. Ο κυριότερος όμως λόγος είναι οικονομικός, καθώς το κόστος αγοράς καυσίμου LNG είναι μικρότερο σε σχέση με το κόστος αγοράς καυσίμου HFO. Όσον αφορά τα νεότερα πλοία, πλοιοκτήτριες εταιρίες πραγματοποιούν μετατροπές των εγκατεστημένων μηχανών σε κινητήρες διπλού καυσίμου.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν χρησιμοποιούνται καθώς η ενέργεια που προσφέρουν αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών ενός πλοίου. Μελλοντικές έρευνες και δοκιμές θα μπορούσαν να προσθέσουν επιπλέον λύσεις, όπως είναι η χρήση βιοκαυσίμων ή χρήση κυψελών καυσίμου με την παράλληλη μείωση του κόστους αγοράς του ίδιου του καυσίμου ή/και του εξοπλισμού που απαιτείται. Επιπλέον, θα μπορούσαν να εισάγουν νέα καύσιμα ή να επιτευχθεί μεγαλύτερη μείωση κατανάλωσης καυσίμων από τους κινητήρες.

Συνοψίζοντας, με βάση τα όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, προτείνεται τα πλοία παλαιότερης γενιάς να εξοπλιστούν με Scrubbers. Όσον αφορά τα νεότερα πλοία και αυτά που είναι προς κατασκευή να εξοπλιστούν με κινητήρες διπλού καυσίμου. Μικρότερα πλοία και φέρι, τα οποία πραγματοποιούν μικρότερες αποστάσεις, να χρησιμοποιούν μπαταρίες ή υπερπυκνωτές, που να φορτίζονται στα λιμάνια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τέλος, όλα τα πλοία τα οποία βρίσκονται ακίνητα σε κάποιο λιμάνι να καλύπτουν τις ανάγκες τους για ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά, η οποία να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δρ. Χασιώτης, Π. (2013)*Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι*.Λάρισα: Εκδοτικός Όμιλος Ίων.
2. Κοτρίκλα, Α. (2015) *Ατμοσφαιρική Ρύπανση από τη Ναυτιλία*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
3. Βολογιάννης,Κ.(2017) *Ναυτικοί κινητήρες και ναυτιλιακά καύσιμα*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
4. WORLD FUEL SERVICES. ISO 8217 2017 FUEL STANDARD. <<https://www.wfscorp.com/sites/default/files/ISO-8217-2017-Tables-1-and-2-1-1.pdf>>
5. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Office of Wastewater Management. *Exhaust Gas Scrubber Washwater Effluent*. Washington: 2011(EPA-800-R-11-006).
6. Παλιγγίνη,Α.(2019) *Σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές ελέγχου καυσίμων ναυτιλίας, στο πλαίσιο της εφαρμογής της συνθήκης MARPOL Annex VI*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
7. [IMO] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. <<https://www.imo.org/en>>
8. Μπινοπούλου,Χρ.(2017) *Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που εγκομνει η μεταφορά πετρελαίου δια θαλάσσης και η συμβολή των πράσινων ναυτιλιακών πρακτικών στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
9. Eelco den Boer, Maarten 't Hoen (2015) *Research, Scrubbers – An economic and ecological assessment*, Delft
10. Δήμος, Μ.(2017) *Διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών μεικτής καύσης σε δίχρονους ναυτικούς κινητήρες ντίζελ*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
11. Κολάκη,Α.(2016) *Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
12. Hulda Winnes (2018), *Report B 2317 -Scrubbers: Closing the loop Activity 3: Summary Environmental analysis of marine exhaust gas scrubbers on two Stena Line ships*, IVL Swedish Environmental Research Institute, pp.1-20
13. Βιτωράτος,Θ.(2016) *Αποθείωση Μέσων Κλασμάτων Πετρελαίου με Χρήση Ιοντικών Υγρών*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
14. van Kluijven, van der Drift (2017) *Reducing Nox and Sox*, Research, Rotterdam Mainport University.
15. Κουγιουμτζόγλου,Γ.(2013)*Νέοι κανονισμοί εκπομπών οξειδίων του θείου από τη ναυτιλία: οικονομική σύγκριση χρήσης αποσταγματικών καυσίμων και συστημάτων καθαρισμού των καυσαερίων*. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
16. Αλεξανδρόπουλος Χ.(2020)*Εναλλακτικά καύσιμα ναυτιλίας για προσαρμογή στις νέες προδιαγραφές*. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
17. Διαφάνειες εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών με τίτλο: «Τεχνολογία πετρελαίου και φυσικού αερίου», τμήματος Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
18. Λάντζος,Δ.(2019)*Συστήματα και μέθοδοι αποθείωσης του πετρελαίου*. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνικής σχολής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.
19. ABS ADVISORY ON EXHAUST GAS SCRUBBER SYSTEMS(2017), ABS

20. Πιερράτος Γ. (2019) *Μονοδιάστατη προσομοίωση δίχρονου αργόστροφου ναυτικού κινητήρα Diesel και μελέτη μεθόδων μείωσης ρύπων*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνικής σχολής Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
21. Μπακατσέλος Θ., Νικητάκος Ν., Παπαχρήστος Δ. (2019) Technical and Economic Analysis of Scrubber. *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, pp.15-21.
22. Katharine Palmer (2015) *Your options for emissions compliance: Guidance for shipowners and operators on the Annex VI SOx and NOx regulations*, Lloyd's Register Marine.
23. Χατζηλάου Κ., Προυσαλίδης Μ., Αντωνόπουλος Γ., Βαλλιανάτος Π, *Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο*, εισήγηση
24. V. Eyring, H. W. Kohler, A. Lauer, B. Lemper. (2005) Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050. *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, pp. 1-18
25. Γιάνναρος, Γ.(2014) *Σύγκριση υβριδικής ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης και συμβατικής πρόωσης σε επιβατηγό πλοίο μέσω παραμετροποιημένων μοντέλων*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
26. MAN Diesel&Turbo, Hybrid propulsion Flexibility and maximum efficiency optimally combined.
27. Gilltae Roh, Hansung Kim, Hyeonmin Jeon, Kyoungkuk Yoon(2019) Fuel Consumption and CO2 Emission Reductions of Ships Powered by a Fuel-Cell-Based Hybrid Power Source. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, pp. 1-24
28. R.D. Geertsma, R.R. Negenborn, K. Visser, J.J. Hopman (2017) Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Elsevier Applied Energy*, vol. 194,pp. 30-54.
29. R.D. Geertsma, R.R. Negenborn, K. Visser, J.J. Hopman (2017) Pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion: Modelling, validation and performance quantification. *Elsevier Applied Energy*, vol. 206,pp. 1609-1631.
30. Hocine Menana, Jean-Yves Billard, Jean-Frederic Charpentier, Nacera Bennabi (2016) Hybrid Propulsion Systems for Small Ships: Context and Challenges. *ResearchGate* <<https://www.researchgate.net/publication/308779563>>.
31. *Dedes, E, Hudson, D.A. and Turnock, S.R. (2012) Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping. Energy Policy*, vol. 40, pp. 204-218.
32. *Αναστασίου Ε. (2018) Μελέτη Εφαρμογών Υβριδικής Πρόωσης με τη Χρήση Αξονικών Γεννητριών στις καταστάσεις PTI/PTO/Boost*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
33. Ντόναλντ Ω. (2009) *Μελέτη σκοπιμότητας LPG και LNG πλοίων στη σύγχρονη ναυτιλία*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
34. DNVGL (2018), *Maritime, Alternative fuels and technologies for greener shipping*.
35. DNVGL (2014), *Alternative fuels for shipping*
36. Τσανίδης Π.(2020), *Χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) σε μηχανές πρόωσης σύγχρονων εμπορικών πλοίων*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.
37. Kesime, U., Pazouki, K., Murphy, A., & Chrysanthou, A. (2019). Biofuel as alternative shipping fuel: technological, environmental and economic assessment.

- Sustainable Energy & Fuels. University of Hertfordshire, Sustainable Energy & Fuels, vol. 4, pp. 1-21.
38. DNVGL (2020), Using biodiesel in marine engines: New fuels, new challenges.
 39. DNVGL (2020), Alternative Fuels Online Conference.
 40. DNVGL (2017), LPG as marine fuel
 41. B.D. McNicol, D.A.J. Rand, K.R. Williams (2001) Fuel cells for road transportation purposes — yes or no?. Journal of Power Sources, vol. 100, pp. 47–59
 42. IRENA (2015) Technology Brief: Renewable energy options for shipping
 43. DNVGL (2019), Maritime, Assessment of selected alternative fuels and technologies
 44. Wojciech Litwin, Wojciech Lesniewski, Daniel Piatek, Karol Niklas (2019) Experimental Research on the Energy Efficiency of a Parallel Hybrid Drive for an Inland Ship. Energies, vol.12, pp.1-16.
 45. DNVGL (2019), Comparison of Alternative Marine Fuels, Report No.: 2019-0567, Rev. 3
 46. Κλιάνη Χ., Νικολού Κ., Σιδέρη Α.(2017), Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Ίδρυμα Ευγενίδου, Β' Έκδοση
 47. Παπανδρεάδης Χ. (2020) *Βελτιστοποίηση γεωμετρίας και διαμόρφωσης κινητήρα με βάση τα χαρακτηριστικά σιδηρομαγνητικών λαμαρινών*, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
 48. Sveinbjörn Kjartansson (2012) *A Feasibility Study on LPG as Marine Fuel*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
 49. Α. Θεοδωρακάκος, Σημειώσεις Μηχανών Εσωτερικής Καύσης 1, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
 50. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, 11.6.2008, L 152/1
 51. Επιτροπή Υγείας & Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Πνευμονολογικής Εταιρείας, 2016.
 52. YAMADA Hideki, (2011), Energy Saving Technology of the Diesel-Electric Propulsion System for Japanese Coastal Vessels, IHI Marine United Inc, Engineering Review, Vol. 44 No. 1 2011
 53. General Arrangement of the Diesel-Electric Propulsion System for Twin Propeller Vessels (MAN, 2012)