



**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ  
ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ**

**ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΠΑΛΑΙΟΠΟΥΛΟΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Καζαντζίδης Ανδρέας

Πάτρα, Μάιος 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



## **Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ**

Σπυρίδων Παλαιόπουλος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Ανδρέας Καζαντζίδης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:  
Πάυλος Κασσωμένος

Πάτρα, Μάιος 2023

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Καζαντζίδα για την πολύτιμη βοήθειά του και την καθοδήγηση που μου προσέφερε στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και τον συν επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παύλο Κασσωμένο για τη συνεργασία μας.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για τη στήριξή της στις σπουδές μου.

## Περίληψη

### Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ

Οι θαλάσσιες μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς το 90% του παγκόσμιου εμπορίου αγαθών και το 72% του Ευρωπαϊκού εμπορίου, μεταφέρεται δια θαλάσσης, το οποίο αναμένεται να τριπλασιαστεί το 2025 σε σύγκριση με το 2008.

Αν και η παγκόσμια ναυτιλία θεωρείται ότι είναι το πιο ενεργειακά αποδοτικό μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων, λόγω της τεράστιας κλίμακάς της το περιβαλλοντικό αποτύπωμά της περιλαμβάνει διάφορες χημικές ενώσεις, που οφείλονται κυρίως στην χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων, προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία επιδρά άμεσα στο φυσικό περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Εκπέμπει ένα δισεκατομμύριο τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), βασικό αέριο του θερμοκηπίου, καθώς και άλλους ρύπους, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και σωματίδια (PM) και ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ρύπανση στη ναυτιλία ρυθμίζεται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) μέσω της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL 73/78) και ειδικότερα η ατμοσφαιρική ρύπανση με το Παράρτημα VI.

Η στρατηγική που προτείνει ο IMO αφορά στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 40% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με το 2019 και 70% μέχρι το 2050 και στα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) μείωση 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, γεγονός που δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την υιοθέτηση διάφορων πρακτικών, όπως την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων με ουδέτερο άνθρακα, με νέο σχεδιασμό πλοίων.

Επίσης η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε δέσμη προτάσεων για προσαρμογή των κοινοτικών πολιτικών με στόχο τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων

θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990) έως το 2030 και πλήρη απαλλαγή από τον άνθρακα έως το 2050.

Η συμμόρφωση όμως της ναυτιλίας με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς αποτελεί μεγάλη πρόκληση λόγω της εξάρτησής της από τα ορυκτά καύσιμα, (το 98,8% του παγκόσμιου στόλου καταναλώνει συμβατικά καύσιμα), των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων τεχνικών ζητημάτων.

Τα πλοία πρέπει να αντικαταστήσουν το παραδοσιακό βαρύ πετρέλαιο (HFO) το οποίο είναι πλούσιο σε θείο, σε καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LFO) ή να χρησιμοποιήσουν εναλλακτικά καύσιμα (LNG, LPG, μεθανόλη, βιοκαύσιμα, μπαταρίες, υδρογόνο, αμμωνία κ.α.)

Για να αντιμετωπισθεί η αέρια ρύπανση από τα πλοία, και ιδιαίτερα τα όρια εκπομπής διοξειδίου του θείου (SO<sub>x</sub>) που ευθύνεται για το φαινόμενο της όξινης βροχής, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός από 1.1.2020 μείωσε τη μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα των πλοίων από 3,5% σε 0,5%, εκτός εάν τα πλοία διαθέτουν σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers) το οποίο αφαιρεί ένα μεγάλο μέρος του θείου από τα καυσαέρια πριν εκλυθεί στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα οι εκπομπές διοξειδίου του θείου να είναι τουλάχιστον ισοδύναμες με τα καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Από τα 81.297 πλοία, τα 3.628 έχουν εγκαταστήσει ήδη συστήματα καθαρισμού καυσαερίων και θεωρείται μία από τις επικρατέστερες λύσεις για τη συμμόρφωση με τον κανονισμό.

Στην παρούσα εργασία θα αναδειχθεί η χρήση της τεχνολογίας scrubbers που έχει τοποθετηθεί σε επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο της ακτοπλοΐας και η οποία αποτελεί μια ελκυστική επιλογή τόσο από πλευράς περιβάλλοντος όσο και οικονομικού αποτελέσματος.

### **Λέξεις – Κλειδιά**

Ατμοσφαιρική ρύπανση, Διεθνής Σύμβαση για την προστασία της ρύπανσης από πλοία, εναλλακτικά καύσιμα, σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (πλυντρίδες)

## **Abstract**

### **“ Mitigation measures of air pollution in maritime transport”**

Maritime transport plays an important role in the development of the global economy. 90% of global and 72% of European trade in goods is carried by sea; with these figures to be expected to triple in 2025 compared to 2008.

Global shipping is considered to be the most energy-efficient means of transporting goods. Yet, due to its enormous scale, its environmental footprint includes various chemical compounds, mainly due to the use of conventional fossil fuels, causing air pollution that directly affects the natural environment and human health. Specifically, it emits one billion tons of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), a key greenhouse gas, as well as other pollutants such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulfur oxides (SO<sub>x</sub>), volatile organic compounds (VOCs) and particulate matter (PM). Therefore, it is necessary for specific measures to be taken in order to limit air pollution.

Globally, shipping pollution is regulated by the International Maritime Organization (IMO) through the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78) and in particular air pollution with Annex VI.

IMO proposes a plan to reduce CO<sub>2</sub> emissions by 40% by 2030, compared to 2019, and 70% by 2050, and greenhouse gases (GHG) by 50% by 2050, compared to 2008. These results cannot be achieved without the adoption of various practices, such as the application of new technologies, the use of carbon neutral alternative fuels, along with a new ship design.

The European Commission has also announced a set of proposals to adjust Community policies with the aim of reducing net greenhouse gas emissions by at least 55% (compared to 1990 levels) by 2030 and completely decarbonizing by 2050.

However, shipping's compliance with environmental regulations is a major challenge, due to its dependence on fossil fuels (98.8% of the world's fleet uses conventional fuels), greenhouse gas emissions, and other technical issues.

Ships must replace traditional heavy fuel oil (HFO), which is rich in sulfur, with low sulfur fuel (LFO) or alternative fuels (LNG, LPG, methanol, biofuels, batteries, hydrogen, ammonia etc.)

In order to deal with air pollution from ships, and especially the emission limits of sulfur dioxide (SO<sub>x</sub>) - which is responsible for the acid rain phenomenon, the International Maritime Organization reduced the maximum sulfur content in ships' fuel from 3.5% to 0.5% from 1.1.2020, unless the ships have scrubbers which remove a large part of the sulfur from the exhaust gas before it is released into the atmosphere, resulting in sulfur dioxide emissions at least equivalent to fuel low sulfur. Out of 81.297 ships, 3.628 have already installed exhaust gas cleaning systems (ICCT, 2022); which is considered one of the most prevalent solutions to comply with the regulation.

In this paper, the use of “scrubbers” technology installed on a passenger ferry will be discussed, which is an attractive option from both an environmental and economic point of view.

**Keywords:**

Air pollution, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, alternative fuels, exhaust gas cleaning system (scrubbers)

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Abstract .....	7
Περιεχόμενα.....	9
Κατάλογος Εικόνων.....	12
Κατάλογος Πινάκων.....	13
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
<b>1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ</b>	
1.1. Εννοιολογικός προσδιορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	18
1.2. Πηγές και κατάταξη ατμοσφαιρικών ρύπων.....	19
1.3. Ατμοσφαιρικοί ρύποι γενικά .....	21
1.3.1. Οξείδια του αζώτου – Nox .....	21
1.3.2. Οξείδια του θείου – Sox .....	22
1.3.3. Μονοξείδιο του άνθρακα- CO .....	24
1.3.4. Διοξείδιο του άνθρακα - CO <sub>2</sub> .....	25
1.3.5. Αιωρούμενα σωματίδια – PM .....	26
1.3.6. Όζον O <sub>3</sub> .....	28
1.3.7. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις VOCs .....	30
1.4. Το Φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	31
1.5. Τρύπα του όζοντος .....	32
1.6. Όξινη βροχή .....	33
1.7. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	34
1.7.1. Επιπτώσεις στον άνθρωπο .....	35
1.7.2. Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.....	37
1.8. Μέθοδοι και Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	38
1.8.1. Μέθοδοι μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	38
1.8.2. Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	41
<b>2. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ</b>	
2.1. Συνεισφορά της ναυτιλίας στους ρύπους.....	44
2.2. Αέριες εκπομπές ρύπων από τα πλοία .....	46
2.2.1 Αέρια του θερμοκηπίου (GHG).....	46
2.2.2 Διοξείδιο του Θείου - SO <sub>2</sub> .....	49
2.2.3 Οξείδιο του Αζώτου - N <sub>2</sub> O.....	49
2.2.4 Διοξείδιο του Άνθρακα - CO <sub>2</sub> .....	50
2.2.5. Υδρογονάνθρακες - HCs .....	51
2.2.6. Σωματίδια - PM .....	51
2.3. Ναυτικές Μηχανές .....	52
2.3.1. Τετράχρονες -Δίχρονες .....	53
2.3.2. Βοηθητικές .....	53
2.4.Ναυτιλιακά καύσιμα .....	54
2.4.1. Τύποι καυσίμων ( HFO, IFO, MDO, MGO).....	54
2.4.2. Χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο .....	56
2.5. Μέθοδος υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων από τα πλοία.....	57

### 3. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1. Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) .....	61
3.1.1. Στρατηγική ΙΜΟ για τη μείωση ρύπων – Νομοθετικό πλαίσιο.....	62
3.1.2. Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (ΜΡΕC).....	63
3.1.3. Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη και Αντιμετώπιση της ρύπανσης (MARPOL 73/78 – Παράρτημα VI) .....	64
3.1.3.1. Κανονισμός 13 – Οξειδία του Αζώτου ΝΟ <sub>x</sub> .....	69
3.1.3.2. Κανονισμός 15 – Πτητικές Οργανικές Ενώσεις .....	71
3.1.3.3. Κανονισμός 16 – Αποτέφρωση στο πλοίο .....	71
3.1.3.4. Κανονισμός 18 – Διαθεσιμότητα και ποιότητα καυσίμου πετρελαίου .....	73
3.1.4. Κανονισμός 14 – Οξειδία του θείου SO <sub>x</sub> - Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Ρύπων (ECAs) .....	74
3.1.5. Μέτρα Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI, SEEMP, EEOI).....	75
3.1.5.1. Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) ...	76
3.1.5.2. Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP).....	77
3.1.5.3. Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI) ..	79
3.2. Ευρωπαϊκή Ένωση - Νομοθετική Δέσμη Μέτρων “Fit for 55” .....	80
3.2.1. Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων .....	81
3.2.2. Πρόταση Κανονισμού για τη χρήση ανανεώσιμων και χαμηλών εκπομπών άνθρακα καυσίμων (FuelEU Maritime Regulation) ...	82
3.2.3. Πρόταση Κανονισμού για την αναθεώρηση του πλαισίου ανάπτυξης υποδομών εναλλακτικών καυσίμων.....	84
3.2.4. Πρόταση Αναθεώρησης Οδηγίας για τη φορολόγηση Ενέργειας.....	85
3.2.5. Πρόταση Αναθεώρησης Οδηγίας για την τροποποίηση του πλαισίου για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ).....	86
3.2.6. Διεθνές Συμβούλιο Ναυτιλιακής Έρευνας και Ανάπτυξης.....	86
3.2.7. Κανονισμός Παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης (MRV).....	87

### 4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

4.1. Πλυντρίδες – Scrubbers .....	90
4.1.1. Πλυντρίδες Υγρού τύπου – Συστήματα ανοικτού βρόχου.....	92
4.1.2. Πλυντρίδες Υγρού τύπου – Συστήματα κλειστού βρόχου.....	94
4.1.3. Πλυντρίδες υβριδικού τύπου .....	96
4.1.4. Πλυντρίδες ξηρού τύπου .....	97
4.2. Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (Selective catalytic reduction -SCR) .....	100
4.3. Επανακυκλοφορία των καυσαερίων – Exhaust Gas Recirculation).....	100
4.4. Ηλεκτροδότηση πλοίων στα λιμάνια .....	101
4.5. Εναλλακτικά Καύσιμα .....	104

4.5.1.	Υγροποιημένο Φυσικό αέριο - LNG .....	105
4.5.2.	Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου – LPG .....	107
4.5.3.	Βιοκαύσιμα .....	108
4.5.3.1.	Υδρογονοεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο – HVO.....	109
4.5.3.2.	Υγροποιημένο βιοαέριο – LBG.....	110
4.5.4.	Μεθανόλη (Μεθυλική Αλκοόλη) .....	111
4.5.5.	Υδρογόνο .....	113
4.5.6.	Κυψέλες καυσίμου .....	115
4.5.7.	Μπαταρίες .....	116
4.5.8.	Αμμωνία – NH <sub>3</sub> .....	117
<b>5.</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ SCRUBBERS ΣΕ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΟ</b>	
5.1.	Κανονισμός IMO MEPC.259 (68) .....	119
5.1.1.	Σχέδιο A - EGC System – Technical Manual (ETM-A).....	121
5.1.2.	Σχέδιο B – EGC System – Technical Manual (ETM-B).....	122
5.2.	Εγχειρίδιο Παρακολούθησης – Onboard Monitoring Manual (OMM)...	123
5.3.	Περιβαλλοντικά κριτήρια του συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (EGC).....	124
5.3.1.	Κριτήριο pH.....	124
5.3.2.	Κριτήριο Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων – PAH <sub>s</sub> .....	125
5.3.3.	Κριτήριο Θολότητας .....	127
5.3.4.	Κριτήριο Νιτρικών αλάτων .....	127
5.4.	Μελέτη περίπτωσης – Τοποθέτηση συστήματος καθαρισμού καυσαερίων σε επιβατηγό οχηματαγωγό ακτοπλοϊκό πλοίο .....	128
5.4.1.	Μηχανολογικός εξοπλισμός πλοίου .....	129
5.4.2.	Σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (Exhaust Gas Cleaning).....	131
5.4.2.1.	Περιγραφή εξοπλισμού συστήματος καθαρισμού καυσαερίων.....	133
5.4.2.2.	Λειτουργικά δεδομένα συστήματος EGC .....	134
5.4.2.3.	Συστήματα συναγερμού και προστατευτικά συστήματα.....	136
5.4.2.4.	Εκπομπές και συστήματα παρακολούθησης.....	136
5.5.	Onboard Monitoring Manual (OMM) – Όρια εκπομπών – Παρακολούθηση καυσαερίων και νερών πλύσης.....	138
5.5.1.	Παρακολούθηση καυσαερίων.....	139
5.5.2.	Όρια νερού πλύσης και παρακολούθηση.....	140
5.5.3.	Σύστημα καταγραφής δεδομένων.....	145
5.5.4.	pH – Προσομοίωση για συμμόρφωση με την MEPC.259(68) ...	147
5.6.	Περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα μετά την τοποθέτηση του συστήματος EGC.....	153
5.6.1.	Περιβαλλοντικά αποτελέσματα.....	153
5.6.2.	Οικονομικά αποτελέσματα .....	155
<b>6.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	159
<b>7.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	164

## Κατάλογος Εικόνων /Σχημάτων

- Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής επιφανείας σωματιδίων ατμοσφαιρικού αεροζόλ.
- Εικόνα 2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Εικόνα 3. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο
- Εικόνα 4. ΕΕ-27 Παγκόσμιο εμπόριο μεταφοράς αγαθών
- Εικόνα 5. Σύγκριση εκπομπών πλοίων 2008 με 2018 και με 2050
- Εικόνα 6. Δίχρονος κινητήρας Diesel
- Εικόνα 7. IMO -ΕΕ οδικός χάρτης
- Εικόνα 8. Καμπύλες αέριων ρύπων από τη ναυτιλία με στόχο το 2050
- Εικόνα 9. Χάρτης με περιοχές ECA
- Εικόνα 10. Ε.Ε δέσμη προτάσεων Fit for 55'
- Εικόνα 11. IMO και ΕΕ ρυθμιστικό πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία
- Εικόνα 12. Συνολικός αριθμός πλοίων με εγκατεστημένα scrubbers έως το τέλος του 2020 και η αναλογία πλοίων με scrubbers ανά τύπο πλοίου
- Εικόνα 13. Διάταξη συστήματος υγρής πλυντρίδας ανοιχτού βρόγχου
- Εικόνα 14. Διάταξη συστήματος πλυντρίδας κλειστού βρόγχου
- Εικόνα 15. Διάταξη πλυντρίδας υβριδικού τύπου
- Εικόνα 16. Σύστημα ξηρής έκπλυσης καυσαερίων
- Εικόνα 17. Ηλεκτροδότηση πλοίου από τη ξηρά «Cold Ironing»
- Εικόνα 18. Διαδικασία πιστοποίησης Μονάδας Καθαρισμού Καυσαερίων
- Εικόνα 19. Τοποθέτηση Scrubber στο πλοίο
- Εικόνα 20. Εργασίες τοποθέτησης scrubbers
- Εικόνα 21. Παρακολούθηση καυσαερίων -Exhaust Gas Monitoring
- Εικόνα 22. Παρακολούθηση νερού πλύσης
- Εικόνα 23. Κλάσμα μάζας, περιγράμματα σπό το σημείο εκφόρτισης στα 4μ.
- Εικόνα 24. Κλάσμα μάζας υγρού εκκένωσης στον μπροστινό σωλήνα της πλυντρίδας σε επίπεδο τμήμα με κέντρο το σημείο εκκένωσης
- Εικόνα 25. Απόσταση από το σημείο εκφόρτισης για οποιαδήποτε θέση στη στήλη με κλάσμα μάζας που αντιστοιχεί στην αναφερόμενη τιμή pH.
- Εικόνα 26. Γεωμετρία κύτους πλοίου, σωλήνας εκκένωσης και σφαίρα μέτρησης
- Εικόνα 27. Διανύσματα της ταχύτητας ροής στην περιοχή εκκένωσης του μεσαίου σωλήνα του νέφους εκκένωσης που υποδεικνύουν επαγόμενες ταχύτητες στη ζώνη εκκένωσης.
- Εικόνα 28. Καμπύλη τιτλοδότησης της τεχνολογίας Force
- Εικόνα 29. Πραγματικές Εκπομπές SO<sub>2</sub> ανά μονάδα καύσης έναντι επιτρεπόμενου ορίου
- Εικόνα 30. Σύγκριση περιόδου αποπληρωμής με ετήσια κατανάλωση καυσίμου

## Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 1.1. Ρύποι και μέθοδοι μέτρησης
- Πίνακας 2.1. Ετήσιες κατανομές ρύπων CO<sub>2</sub> βάσει πλοίων και βάσει ταξιδιού, 2012-2018
- Πίνακας 3.3. Όρια εκπομπής NO<sub>x</sub>
- Πίνακας 4.3. Επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων
- Πίνακας 5.4. Σύγκριση των τεχνολογιών πλυντρίδων
- Πίνακας 6.5. Όρια θείου καυσίμου που καταγράφονται στους κανονισμούς 14.1 και 14.4 και αντίστοιχες τιμές εκπομπών
- Πίνακας 7.5. Έγγραφα/Πιστοποιητικά που απαιτούνται για τα Σχέδια Α και Β
- Πίνακας 8.5. Πίνακας κριτηρίων ορίων PAH's
- Πίνακας 9.5. Τύποι Scrubber
- Πίνακας 10.5. Μονάδες καύσης κύριων κινητήρων πλοίου (ME1-4)
- Πίνακας 11.5. Μονάδες καύσης βοηθητικών κινητήρων (AE 1-3)
- Πίνακας 12.5. EGC Λειτουργικά Δεδομένα Συστήματος
- Πίνακας 13.5. Συστήματα συναγερμού και προστατευτικά συστήματα
- Πίνακας 14.5. Όργανα που αφορούν στο Σύστημα Παρακολούθησης Εκπομπών ρύπων και νερού πλύσης
- Πίνακας 15.5. Αναλογία SO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> των καυσαερίων
- Πίνακας 16.5. Κατάλογος μονάδων παρακολούθησης
- Πίνακας 17.5. Χαρακτηριστικά συστήματος OPSIS M800
- Πίνακας 18.5. Όρια νερού πλύσης
- Πίνακας 19.5. Εξοπλισμός παρακολούθησης για την απόρριψη νερού
- Πίνακας 20.5. Πρότυπα ISO
- Πίνακας 21.5. Δεδομένα αραίωσης για το pH
- Πίνακας 22.5. Ρυθμός ροής
- Πίνακας 23.5. Δεδομένα για την προσομοίωση
- Πίνακας 24.5. Δεδομένα λειτουργίας
- Πίνακας 25.5. Τύπος και τιμές καυσίμου
- Πίνακας 26.5. Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου με διαφορά τιμής VLSFO-HSFO
- Πίνακας 27.5. Τιμές 2022 HSFO – VLSFO σε δολάρια

## **Συντομογραφίες & Ακρωνύμια**

CO	Μονοξείδιο του άνθρακα
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
EGC	Exhaust Gas Cleaning
GHG	Αέρια του θερμοκηπίου
HFO	Heavy Fuel Oil
HVO	Υδρογονοεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο
IFO	Intermediate Fuel Oil
LBG	Υγροποιημένο βιοαέριο
LNG	Υγροποιημένο Φυσικό αέριο
LPG	Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου
MARPOL 73/78	Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη και Αντιμετώπιση της ρύπανσης
MDO	Marine Diesel Oil
MGO	Marine Gas Oil
NH <sub>3</sub>	Αμμωνία
NO <sub>x</sub>	Οξείδια του αζώτου
O <sub>3</sub>	Όζον
OMM	Onboard Monitoring Manual
PM	Αιωρούμενα σωματίδια
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SO <sub>x</sub>	Οξείδια του θείου
VOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί το μείζον πρόβλημα στην εποχή μας με τα κράτη να διαμορφώνουν την περιβαλλοντική τους πολιτική συνέχεια, θέτοντας μακροπρόθεσμους και πιο αυστηρούς στόχους.

Με τον όρο «ατμοσφαιρική ρύπανση» εννοούμε την παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, αερίων ή αερολυμάτων, ακτινοβολίες αλλά και άλλες μορφές ενέργειας, των οποίων η συγκέντρωση ή και η διάρκεια μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία, είτε βραχυπρόθεσμα, είτε μακροπρόθεσμα.

Οι κυριότερες εκπομπές αερίων ρύπων είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το όζον, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και τα αιρούμενα σωματίδια.

Η ναυτιλία συμβάλλει στις εκπομπές αερίων ρύπων λόγω του μεγάλου μεγέθους της, καθώς το 90% του παγκόσμιου εμπορίου και το 72% της Ευρωπαϊκής Ένωσης μεταφέρεται δια θαλάσσης.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θεσπίσει κανονισμούς με στόχο τη μείωση των εκπομπών ρύπων και ανακοίνωσε δέσμη προτάσεων για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% (σε σύγκριση με το 1990) έως το 2030 και μηδενικούς ρύπους άνθρακα έως το 2050.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) προτείνει τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 40% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με το 2019 και 70% μέχρι το 2050 και στα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) μείωση 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, γεγονός που δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την υιοθέτηση διάφορων πρακτικών, όπως την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, τον νέο σχεδιασμό πλοίων, την δημιουργία πράσινων υποδομών.

Η συμμόρφωση όμως της ναυτιλίας με τις όλο και πιο αυστηρότερες περιβαλλοντικές απαιτήσεις αποτελεί μεγάλη πρόκληση.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση από τις θαλάσσιες μεταφορές και τους τρόπους αντιμετώπισής της.

Για να επιτευχθεί ο ανωτέρω στόχος, μελετήθηκε και καταγράφηκε η σχετική βιβλιογραφία. Ειδικότερα μελετήθηκε η βιβλιογραφία του ΕΑΠ, οι ιστοσελίδες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με το περιβάλλον, του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και αναζητήθηκαν σχετικά επιστημονικά άρθρα, μελέτες, εργασίες από το διαδίκτυο. Ως μέρος της έρευνας, ελήφθησαν τα πραγματικά δεδομένα του πλοίου καθώς και τα στοιχεία του συστήματος των πλυντρίδων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας κινήθηκαν γύρω από τους άξονες που αφορούν στους αέριους ρύπους που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τα πλοία, στο θεσμικό πλαίσιο που διέπει στην προστασία του περιβάλλοντος από τους αέριους ρύπους καθώς και στις τεχνολογίες μείωσής τους. Καταγράφηκαν τα κυριότερα εναλλακτικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται ή συζητούνται ως υποκατάστατα των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη χρήση συστήματος καθαρισμού καυσαερίων από τα οξειδία του θείου, πλυντρίδων (scrubbers) σε επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο της ακτοπλοΐας. Τα θέματα που παρουσιάζονται είναι τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά. Η οικονομική αξιολόγηση βασίστηκε σε 2 ενδεικτικά σενάρια.

Η εργασία αυτή επεκτείνει την υπάρχουσα βιβλιογραφία καθώς αξιολογεί την εγκατάσταση του συστήματος καθαρισμού καυσαερίων σε ακτοπλοϊκό πλοίο με τη χρήση στοιχείων που δεν υπάρχουν σε ανάλογη εργασία.

Η εργασία δομείται με τον ακόλουθο τρόπο:

Στο Α' κεφάλαιο αναλύονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι γενικά και οι επιπτώσεις τους στον άνθρωπο και στο φυσικό περιβάλλον. Επίσης αναλύονται οι μέθοδοι μέτρησης και οι δείκτες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στο Β' κεφάλαιο αναφέρονται οι εκπομπές ρύπων από τα πλοία, η μέθοδος υπολογισμού ρύπων από τα πλοία καθώς και τα ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία.

Στο Γ' κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στο Δ' κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με τη χρήση της τεχνολογίας των scrubbers, την ηλεκτροδότηση των πλοίων στα λιμάνια, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων.

Στο Ε' κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον Κανονισμό του IMO για την τοποθέτηση των scrubbers στα πλοία και συγκεκριμένα μελετάται η τοποθέτησή τους σε ακτοπλοϊκό πλοίο, όπου καταγράφεται όλη η διαδικασία.

Τέλος αναφέρονται τα περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα μετά την τοποθέτηση του συστήματος scrubber στο πλοίο.

Στα συμπεράσματα γίνεται μία σύνοψη της εργασίας με τα αποτελέσματα της έρευνας.

## 1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

### 1.1. Εννοιολογικός προσδιορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η σπουδαιότητα της ατμόσφαιρας είναι μεγάλης σημασίας γιατί αποτελεί το προστατευτικό στρώμα για την ύπαρξη της ζωής στον πλανήτη μας. Είναι πηγή οξυγόνου για την αναπνοή και διοξειδίου του άνθρακα για τη φωτοσύνθεση. Η ατμόσφαιρα περιβάλλει τον πλανήτη σαν ένα λεπτό στρώμα από αέρια και αιρούμενα σωματίδια.

Στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, στην επιφάνεια της γης, ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι μίγμα ξηρού αέρα και υδρατμών. Ο ξηρός αέρας είναι μίγμα αζώτου (78,08% κατ' όγκον), οξυγόνου (20,95% κατ' όγκον), διοξειδίου του άνθρακα (0,035%) και άλλων αερίων. Εάν κάποια από αυτά τα αέρια, υπερβούν συγκεκριμένα όρια, τότε αναφερόμαστε στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. (Ζιώμας, Ρεμουντάκη, 2003).

Με τον όρο «ατμοσφαιρική ρύπανση» εννοούμε την παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, αερίων ή αερολυμάτων, ακτινοβολίες αλλά και άλλες μορφές ενέργειας, των οποίων η συγκέντρωση ή και η διάρκεια μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία των οικοσυστημάτων, στην ομαλή διαβίωση και υγεία στους ζωντανούς οργανισμούς και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του, είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα. Η συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων σε μία περιοχή εξαρτάται από τον αερισμό της περιοχής, το πλήθος και το μέγεθος των πηγών ρύπανσης (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003, <https://ypen.gov.gr>, 2022).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελεί πρόβλημα μόνο στην εποχή μας, αλλά προϋπήρχε. Η μεγάλη χρήση καύσης του άνθρακα την περίοδο του Μεσαίωνα και αργότερα με τη βιομηχανική επανάσταση τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, δημιούργησε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Ακόμη και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα η χρήση του ηλεκτροκινητήρα σε αντικατάσταση της ατμομηχανής, η αντικατάσταση του άνθρακα από το πετρέλαιο δεν έλυσαν το πρόβλημα, λόγω της ραγδαίας αύξησης των αυτοκινήτων. Πολλές ευρωπαϊκές πόλεις την περίοδο 1950-1980 αντιμετώπισαν σοβαρά προβλήματα αέριας ρύπανσης, όπως στο Λονδίνο το 1952 και το 1962, όπου έχασαν τη ζωή τους πολλοί άνθρωποι. Μετά το 1980 η επιστημονική κοινότητα

κατανοεί ότι το πρόβλημα δεν είναι μόνο τοπικό, αλλά παγκόσμιο. Διάφοροι Οργανισμοί και Κυβερνήσεις υπογράφουν συμφωνίες, όπως το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, του Κιότο για την αντιμετώπιση της ρύπανσης. (Ζάνης, 2014)

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντοπίζεται κυρίως στις αυξανόμενες απαιτήσεις παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των σύγχρονων αναγκών. Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού στον πλανήτη, η αλματώδης τεχνολογική πρόοδος και η τάση της υπερκατανάλωσης στην μεταβιομηχανική κοινωνία, οδήγησαν στην σταδιακή υπερεκμετάλλευση και αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος. Η ολοένα αυξανόμενη κατανάλωση συμβατικών, κυρίως ορυκτών καυσίμων και η μεγάλη αύξηση των μέσων μαζικής μεταφοράς, αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή παραγωγής ατμοσφαιρικών ρύπων. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003)

## **1.2. Πηγές και κατάταξη ατμοσφαιρικών ρύπων**

Ο ατμοσφαιρικός αέρας θα ήταν χωρίς ρύπους εάν δεν υπήρχαν ανθρώπινες δραστηριότητες. Όπως προαναφέρθηκε, ήδη πριν από αιώνες, οι διάφορες καύσεις επιβάρυναν τον ατμοσφαιρικό αέρα με διάφορα σωματίδια και κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση το πρόβλημα έγινε πιο αισθητό και το οποίο επιδεινώθηκε στις μέρες μας κυρίως με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τις όξινες βροχές και τη μείωση του στρώματος του όζοντος στη στρατόσφαιρα.

Οι πηγές αέριων και σωματιδιακών ρύπων κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες αναφορικά με την πηγή εκπομπή τους, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς πηγές.

Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται οι δασικές πυρκαγιές οι οποίες εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες καπνού, CO, CO<sub>2</sub>, και οξείδια του αζώτου, οι ηφαιστειακές εκρήξεις που εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες στερεών σωματιδίων και αέριων ρύπων (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S και CH<sub>4</sub>), η μεταφορά σκόνης, η εκνέφωση του θαλάσσιου άλατος, καθώς και τα φυτά και τα δέντρα που εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες υδρογονανθράκων. (Βερύκιος, 2003)

Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται οι βιομηχανικές δραστηριότητες (παραγωγή χημικών προϊόντων, εξόρυξη πετρελαίου και γαιάνθρακα, ρητίνες, χρώματα, παραγωγή τσιμέντου, υάλου, σίδηρου κλπ), οι μεταφορές (οχήματα, πλοία, αεροπλάνα) και η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς όπου εκπέμπονται χωρίς μεταβολές από τις διάφορες πηγές (πχ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) και σε δευτερογενείς ρύπους οι οποίοι προκύπτουν από διάφορες χημικές μεταβολές των πρωτογενών ρύπων (πχ  $\text{CO}$  που θα μετατραπεί δευτερογενώς σε  $\text{CO}_2$ ) από την μεταξύ τους αλληλεπίδραση και με άλλες οντότητες της ατμόσφαιρας ( $\text{O}_3$  της τροπόσφαιρας). (Ζιώμας & Ρεμουντάκη, 2003)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αφορά μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε παγκόσμιο και έχει κατηγοριοποιηθεί από τους επιστήμονες σε 5 επίπεδα/κλίμακες μελέτης ανάλογα με την απόσταση. Όταν η ρύπανση εντοπίζεται σε ακτίνα έως 5 χιλιομέτρων, αναφερόμαστε σε τοπική κλίμακα, σε ακτίνα έως 50 χιλιόμετρα σε αστική, σε ακτίνα από 50 έως 1000 χιλιόμετρα σε περιφερειακή, σε 1000 έως αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα σε Διεπειρωτική (πχ όξινη βροχή) και τέλος σε παγκόσμια κλίμακα ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Ζιώμας & Ρεμουντάκη, 2003)

Οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )
- οξείδια του θείου,  $\text{SO}_x$ , ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) και ενώσεις που περιέχουν θείο ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ )
- οξείδια του αζώτου, ( $\text{N}_2\text{O}$  και  $\text{NO}_x$ :  $\text{NO}$   $\text{NO}_2$ ) και  $\text{NH}_3$  (αμμωνία)
- οργανικές ενώσεις που περιέχουν άνθρακα ( $\text{CH}_4$ , υδρογονάνθρακες, πτητικές οργανικές ενώσεις  $\text{VOCs}$ ,  $\text{PAHs}$ ,  $\text{PCBs}$ , φυτοφάρμακα κλπ.)

- Σωματιδιακή ύλη ( Κόνεις (dusts),<sup>1</sup> Καπνός (smoke)<sup>2</sup>, Ιπτάμενη τέφρα (fly ash)<sup>3</sup>, Κάπνα (fume)<sup>4</sup>, Ομίχλη (fog)<sup>5</sup>, Δροσιά/Αχλύς (mist)<sup>6</sup>.

Οι μορφές των αερίων ρύπων διακρίνονται σε α) αέρια (gases), όπου σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης δεν εμφανίζονται σε στερεή ή υγρή κατάσταση και β) σε ατμούς (vapors) δηλαδή σε ενώσεις που σε συνήθεις συνθήκες βρίσκονται σε υγρή ή στερεή κατάσταση.

### 1.3. Ατμοσφαιρικοί ρύποι γενικά

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, που εκπέμπονται πάνω από τα προκαθορισμένα όρια, με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και γενικά τη φύση, είναι οι εξής:

#### 1.3.1. Οξείδια του αζώτου - $NO_x$

Με τον όρο οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ) εννοούμε κυρίως το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο ( $NO_2$ ) του αζώτου. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι ένας πρωτογενής άχρωμος ρύπος, ενώ το  $NO_2$  είναι δευτερογενής ρύπος και προέρχεται από την αντίδραση του NO με το  $O_3$ .

Το διοξείδιο του αζώτου ( $NO_2$ ) είναι αέριο χρώματος καφέ, διαλύεται στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό και η οσμή του είναι ερεθιστική. Στα αστικά κέντρα όταν υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρείται ένα καφέ χρώμα (Ζάνης, 2014)

---

<sup>1</sup> στερεά σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους, μέχρι και 200  $\mu m$ , που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα διάβρωσης ή κατακερματισμού στερεών υλικών.

<sup>2</sup> πολύ λεπτά σωματίδια που σχηματίζονται από την ατελή καύση ουσιών που περιέχουν άνθρακα

<sup>3</sup> λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται με τα καυσαέρια, ιδιαίτερα σε περιοχές που καίνε λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

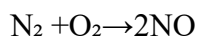
<sup>4</sup> στερεά σωματίδια που σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα από συμπύκνωση ουσιών, που βρέθηκαν λόγω ειδικών συνθηκών στην αέρια φάση (πχ τα σωματίδια που επικάθονται στις προσόψεις κτηρίων).

<sup>5</sup> ορατά σταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα σε υγρή μορφή.

<sup>6</sup> σταγονίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα που σχηματίζονται από συμπύκνωση αερίων ή από μηχανικές δράσεις (πχ ψεκασμός με φυτοφάρμακα σε μία περιοχή).

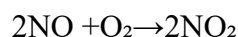
Η κυριότερη πηγή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων, η οποία γίνεται με δύο τρόπους.

α) Ο θερμικός σχηματισμός, όπου τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται από το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα της καύσης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας. Επίσης μπορούν να σχηματισθούν από τη θέρμανση ατμοσφαιρικού αέρα σε υψηλή θερμοκρασία.

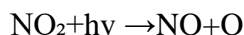


β) Ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου από την οξειδωση συστατικών των καυσίμων, όπου τα καύσιμα θα πρέπει να περιέχουν αζωτούχες ενώσεις (πχ ορισμένοι γαιάνθρακες και βαριά κλάσματα του πετρελαίου σε ποσοστό μέχρι 3% κατά βάρος).

Το μονοξείδιο του αζώτου μετατρέπεται σε διοξείδιο όταν εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα:

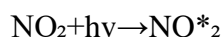


Το διοξείδιο του αζώτου αλληλοεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία και σε μήκη κύματος μικρότερα των 398 nm φωτοδιίσταται:



Εν συνεχεία από τη φωτοδιάσπαση παράγεται μονοξείδιο του αζώτου και ατομικό οξυγόνο.

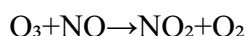
Σε μήκη κύματος πάνω από 430nm η απορρόφηση ενέργειας από τα μόρια του διοξειδίου του αζώτου τα διεγείρει (σύμβολο \*):



Στην περιοχή 398 και 430nm μπορεί να έχουμε φωτοδιάσπαση και διέγερση. Το ατομικό οξυγόνο που παράγεται από την φωτοδιάσπαση  $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$  αντιδρά με μοριακό οξυγόνο και σχηματίζει όζον:



Το όζον ( $\text{O}_3$ ) που παράγεται από την παραπάνω αντίδραση μπορεί να μετατρέψει πάλι το μονοξείδιο του αζώτου σε διοξείδιο:



Οι παραπάνω αντιδράσεις αποτελούν έναν κύκλο φωτοχημικού σχηματισμού και καταστροφής τροποσφαιρικού όζοντος. ( Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

Στις αστικές περιοχές οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου κυμαίνονται μεταξύ 10 και 45 ppb, οι οποίες διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια της

ημέρας ανάλογα με την κυκλοφορία των οχημάτων. Οι μέγιστες ημερήσιες και ωριαίες συγκεντρώσεις μπορεί να φτάσουν τα 200 ppb και 400 ppb αντίστοιχα.

Οι ποσότητες οξειδίων του αζώτου σε παγκόσμιο επίπεδο που παράγονται από φυσικές πηγές (ηφαίστεια, αστραπές) είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που παράγοντες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες προέρχονται κυρίως από σταθερές πηγές, όπως από την καύση ορυκτών καυσίμων από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (24%), και από κινητές πηγές, όπως τα μέσα μαζικής μεταφοράς (49%). (Βερούκιος, 2003).

### 1.3.2. Οξείδια του θείου - $SO_x$

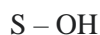
Το διοξείδιο του θείου είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο όταν συναντάται σε μικρή ποσότητα, ενώ αντιθέτως σε πολύ υψηλές ποσότητες έχει έντονη ερεθιστική οσμή.

Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται, όταν το ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι χαμηλό και δεν υπάρχουν νέφη, μέσω ενός μηχανισμού που περιλαμβάνει αντιδράσεις μεταξύ αερίων ή αλλιώς αντιδράσεις σε ομοιογενή φάση.

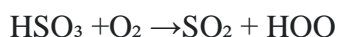
Ενώ, όταν το ποσό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι υψηλό και υπάρχουν νέφη, τότε η οξείδωσή του πραγματοποιείται στην υγρή φάση, λόγω του ότι έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, με αποτέλεσμα να υπάρχει αλληλεπίδραση της αέριας φάσης με την υγρή, ή αλλιώς ετερογενής αντίδραση. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

#### *Ομοιογενής οξείδωση του διοξειδίου του θείου στην αέρια φάση*

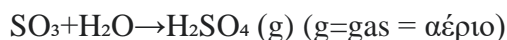
Στην αέρια φάση η οξείδωση του διοξειδίου του θείου αρχίζει με την επίδραση ελευθέρων ριζών υδροξυλίου στα μόριά του. Επειδή στο μόριο του διοξειδίου του θείου δεν υπάρχει διαθέσιμο άτομο υδρογόνου, υπάρχουν διπλοί δεσμοί, οι ρίζες υδροξυλίου προστίθενται στο άτομο του θείου κατά την αντίδραση:



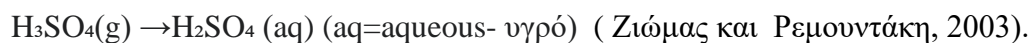
Εν συνεχεία η ελεύθερη ρίζα που παράγεται αντιδρά με μοριακό οξυγόνο στην ατμόσφαιρα και δίνει ένα μόριο τριοξειδίου του θείου και μία νέα ελεύθερη ρίζα:



Μετάπειτα το τριοξείδιο του θείου συνδέεται άμεσα με ένα μόριο νερού στην αέρια φάση και σχηματίζειθειικό οξύ στην αέρια φάση:

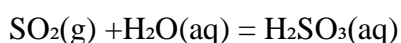


Τοθειικό οξύ αντιδρά με νερό σχηματίζοντας αερολύματα σταγονιδίων τα οποία είναι υδατικά διαλύματαθειικού οξέος:

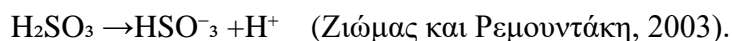


#### Ετερογενής οξείδωση του διοξειδίου του θείου

Στην ατμόσφαιρα όταν υπάρχουν πολλοί υδρατμοί και σταγονίδια νερού και ιδιαίτερα νέφη, το διοξείδιο του θείου διαλύεται στο νερό:



Τα αραιά διαλύματα των ατμοσφαιρικών σταγονιδίων με τοθειώδες οξύ επιτρέπουν τον ιονισμό του σε όξινοθειώδες ιόν:



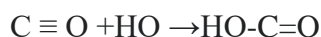
Όπως προαναφέρθηκε, το διοξείδιο του θείου είναι άχρωμο αέριο, διαλύεται στο νερό και μπορεί να οξειδωθεί μέσα σε αιωρούμενες σταγόνες νερού και να σχηματιστείθειικό οξύ.

Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις στα αστικά κέντρα ξεπερνούν τα 35 ppb με τυπικές μέσες τιμές στην περιοχή 10 έως 20 ppb.

Οι ανθρωπογενείς πηγές  $\text{SO}_2$  προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, από την παραγωγή χαρτιού, από την καύση απορριμμάτων και από την παραγωγήθειικού οξέους και θείου. Σε παγκόσμιο επίπεδο το 50% των ετήσιων εκπομπών  $\text{SO}_2$  προέρχεται από την καύση γαιάνθρακα, ενώ από την καύση πετρελαίου παράγεται το 25-30% του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ). (Βερύκιος, 2003)

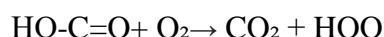
### **1.3.3. Μονοξείδιο του άνθρακα- CO**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Μπορεί να οξειδωθεί στην ατμόσφαιρα από ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου καθώς περιέχει ένα τριπλό δεσμό στο μόριό του ο οποίος θραύεται εύκολα από τους άλλους, διότι είναι ασθενέστερος. Η αντίδραση είναι εξώθερμη:



Οι ρίζες του υδροξυλίου προσβάλλουν τους πολλαπλούς δεσμούς των ενδιάμεσων ειδών, πχ CO και SO<sub>2</sub> και δεν προσβάλλουν τους πολλαπλούς δεσμούς πλήρως οξειδωμένων ειδών πχ διοξείδιο του θείου (CO<sub>2</sub>) και του τριοξειδίου του θείου (SO<sub>3</sub>) για το λόγο ότι οι διεργασίες απαιτούν ενέργεια, είναι ενδόθερμες.

Από την εν λόγω αντίδραση παράγεται μία ελεύθερη ρίζα, η οποία μπορεί να αντιδράσει με μοριακό ατμοσφαιρικό οξυγόνο που στη συνέχεια μας δίνει διοξείδιο του άνθρακα και μία ελεύθερη ρίζα:



Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το μονοξείδιο του άνθρακα CO δύναται να οξειδωθεί στην ατμόσφαιρα προς διοξείδιο μέσω ελευθέρων ριζών. Η νέα ελεύθερη ρίζα που παράγεται, μπορεί να αντιδράσει με άλλα ατμοσφαιρικά σωματίδια ή μόρια, ιδιαίτερα όταν η ατμόσφαιρα είναι επιβαρυνμένη με ρύπους. ( Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

Το CO περιέχεται στα αέρια καύσης, όπως αυτά που παράγονται από αυτοκίνητα ή φορτηγά (75%), από καύσεις (6%), από τη βιομηχανία (7%) και από άλλα διάφορα (11%).

Τα φυσιολογικά όρια του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 10-200 ppb. Στα αστικά κέντρα η συγκέντρωσή του δεν είναι σταθερή καθώς μεταβάλλεται με τις καιρικές συνθήκες και την κίνηση των οχημάτων. Οι μέσες ωριαίες τιμές είναι χαμηλότερες των 10 ppm, αλλά μπορεί να φτάσουν και τα 500 ppm. (Βερύκιος, 2003)

Το CO είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν στην αντίδραση της καύσης του άνθρακα για παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Όταν υπάρχει αρκετό οξυγόνο το μεγαλύτερο μέρος του CO που παράγεται κατά τη καύση, μετατρέπεται σε CO<sub>2</sub>. Όμως οι μηχανές εσωτερικής καύσης σε συνθήκες βραδείας λειτουργίας παράγουν CO σε μεγάλες ποσότητες, ενώ μικρότερες ποσότητες προέρχονται από διάφορες καύσης οργανικής ύλης, πχ σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και σταθμοί καύσης απορριμμάτων. (Βερύκιος, 2003)

#### **1.3.4. Διοξείδιο του άνθρακα - CO<sub>2</sub>**

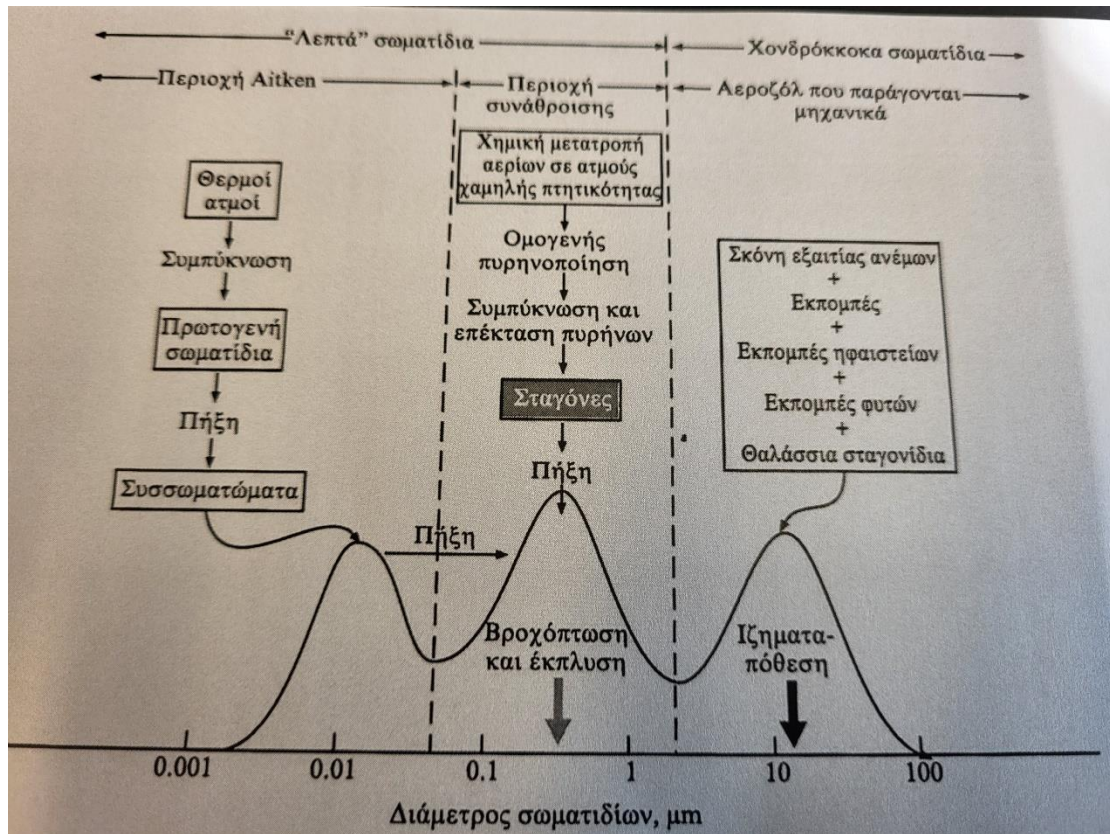
Το διοξείδιο του άνθρακα δεν θεωρείται καταρχήν ρύπος καθώς είναι προϊόν πλήρους καύσεως και αβλαβές για τον άνθρωπο. Όμως είναι ένα από τα πιο σημαντικά

αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς παγιδεύει τη θερμότητα της γης και συνεισφέρει στη θέρμανση του πλανήτη. Για το λόγο αυτό πολλοί επιστήμονες το θεωρούν ως ατμοσφαιρικό ρύπο. (Βερύκιος, 2003)

### ***1.3.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)***

Τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα σε στερεή ή υγρή μορφή, είναι ένα μείγμα οργανικής και ανόργανης ύλης και η διάμετρός τους είναι μεγαλύτερη από 0,0002μm και μικρότερη από 500μm και κατηγοριοποιούνται με βάση την προέλευση, όσο και με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους, πχ τον τρόπο σχηματισμού, τη σύσταση και τις επιπτώσεις στην υγεία.

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων γιατί μεταφέρουν ύλη σε μεγάλες αποστάσεις και προκαλούν κλιματικές αλλαγές στα οικοσυστήματα, άμεσα, καθώς απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και έμμεσα, προκαλώντας μεταβολές στη διάρκεια ζωής και στις οπτικές ιδιότητες των νεφών. *Η απομάκρυνση των σωματιδίων από τον αέρα μέσω υγρής και ξηρής κατακρήμνισης έχει ως αποτέλεσμα την τροφοδοσία χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων με τα συστατικά των αερολυμάτων.* (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).



Εικόνα 1 Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής επιφανείας σωματιδίων ατμοσφαιρικού αεροζόλ. Δείχνονται οι πηγές, οι βασικές διεργασίες και οι μηχανισμοί σχηματισμού και απομάκρυνσης των σωματιδίων ( Γεντεκάκης, 1999)

Οι διεργασίες των αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται σε φυσικές και χημικές.

Φυσικές διεργασίες έχουμε όταν τα αιωρούμενα σωματίδια της σκόνης, μεγέθους μεγαλύτερου του 1μm, προέρχονται κυρίως από μηχανισμούς θραύσης μεγαλύτερων σωματιδίων, φυσικής και χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και από την επίδραση των ανέμων στην επιφάνεια της γης. Τα θαλάσσια αερολύματα προκύπτουν όταν οι φυσαλίδες στην επιφάνεια της θάλασσας σπάσουν τότε σχηματίζουν μικρά σταγονίδια. Επίσης οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως εξόρυξη και η θραύση υλικών στα λατομεία, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα η αγροτική δραστηριότητα είναι μία έμμεση πηγή εκπομπής σωματιδίων από τα εδάφη τα οποία γίνονται πιο ευαίσθητα στην αιολική διάβρωση. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

Οι χημικές διεργασίες σχηματισμού σωματιδίων προέρχονται από τις διεργασίες καύσης (σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συστήματα κεντρικής θέρμανσης, βιομηχανικές καύσεις, ηφαιστειακές εκπομπές) και το μέγεθός τους είναι μικρότερο του 1 μm.

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των σωματιδίων είναι τα πρωτογενή που εκπέμπονται αυτούσια στην ατμόσφαιρα και τα δευτερογενή που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα αντιδράσεων μεταξύ άλλων ρύπων. Η κυριότερη πρωτογενή πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι μεταφορές (25%), διεργασίες που δεν περιλαμβάνουν καύση (17%), θέρμανση κτιρίων (16%) και ηλεκτροπαραγωγή (15%).

Στα αστικά κέντρα, τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από θειικά και νιτρικά άλατα που σχηματίζονται από αντιδράσεις του SO<sub>2</sub> και του NO<sub>x</sub>. Οι ετήσιες μέσες τιμές στα αστικά κέντρα κυμαίνονται μεταξύ 10 -40 μg/m<sup>3</sup>, ενώ σε μη κατοικήσιμες περιοχές μεταξύ 0 -10 μg/m<sup>3</sup>. (Βερούκιος, 2003).

Οι κυριότερες διεργασίες των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα αφορούν αντιδράσεις σωματιδίων με αέρια, συμπύκνωση ατμών και υδρατμών στην επιφάνεια των σωματιδίων, ένωση μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερα και τελικά κατακρήμνιση αυτών λόγω βαρύτητας ή ενσωμάτωσή τους στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχές και χιόνια). (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003).

### **1.3.6. Όζον O<sub>3</sub>**

Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα και έχει δυσάρεστη οσμή. Το όζον το συναντάμε σε όλους τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, πχ στο φωτοχημικό νέφος, στην αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος, στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, στην τρύπα του όζοντος και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Με τον όρο τροπόσφαιρα εννοούμε την κατώτερη ζώνη στην ατμόσφαιρα της γης η οποία εκτείνεται από την επιφάνεια του πλανήτη μέχρι το ύψος των 10 χλμ περίπου. Εν συνεχεία έως το ύψος των 50 χλμ εκτείνεται η στρατόσφαιρα, όπου μέσα εκεί παράγεται το όζον, δημιουργώντας μία ζώνη στην ατμόσφαιρα της γης, την οζονόσφαιρα η οποία προστατεύει τη γη από την επιβλαβή δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου. Άρα το όζον στην στρατόσφαιρα είναι ευεργετικό για τη ζωή

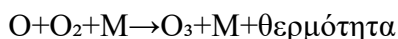
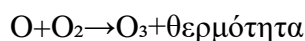
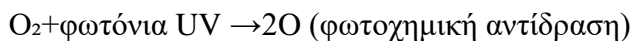
και το περιβάλλον, ενώ στην τροπόσφαιρα είναι σημαντικός ατμοσφαιρικός ρύπος. (Βερύκιος, 2003)

Το 10% του όζοντος βρίσκεται στην τροπόσφαιρα (0-15km), ενώ το 90% στη στρατόσφαιρα (15-50km).

Το τροποσφαιρικό όζον, είναι ένας δευτερογενής ρύπος που προκαλεί φωτοχημικό νέφος στα αστικά κέντρα και όταν ξεπεράσει ορισμένες τιμές προκαλεί προβλήματα στον άνθρωπο και στη φύση, γι' αυτό αποκαλείται «κακό» όζον. Αντίθετα το στρατοσφαιρικό όζον, είναι το λεγόμενο «καλό» όζον, διότι φιλτράρει την ηλιακή ακτινοβολία και μας προστατεύει.

Στην στρατόσφαιρα πραγματοποιούνται δύο ομάδες χημικών αντιδράσεων, οι οποίες ξεκινούν με την πρόσληψη ενέργειας από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Αυτές οι δύο ομάδες αντιδράσεων ανταγωνίζονται ως προς τη συνεχή και ταυτόχρονη παραγωγή και καταστροφή του όζοντος.

Κατά την παραγωγή του όζοντος ένα μόριο οξυγόνου ( $O_2$ ) φωτοδιασπάται σε δύο ελεύθερα άτομα οξυγόνου ( $O$ ). Τα ελεύθερα άτομα του οξυγόνου συνδέονται με μόρια οξυγόνου και έτσι σχηματίζονται μόρια του όζοντος ( $O_3$ )



(όπου  $M$  ένα τρίτο μόριο σε αφθονία στον αέρα όπως πχ το άζωτο ( $N_2$ ). (Ρεμουντάκη et al., 2004)

Σε υψόμετρα πάνω από 20 km το οξυγόνο ( $O$ ) παράγεται με τη φωτοδιάσπαση του  $O_2$  από το τμήμα της ακτινοβολίας στο βαθύ υπεριώδες



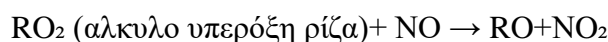
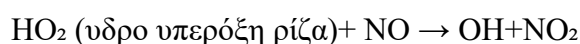
Σε υψόμετρα μικρότερα όπου η ακτινοβολία φτάνει με μήκη κύματος μικρότερα από 280nm, η παραγωγή οξυγόνου  $O$ , συμβαίνει με τη φωτοδιάσπαση του διοξειδίου του αζώτου ( $N_2$ ). Το μονοξείδιο του αζώτου που παράγεται με αυτή την αντίδραση, αντιδρά πολύ γρήγορα με το  $O_3$  και παράγει  $NO_2$ . (Ρεμουντάκη et al., 2004)



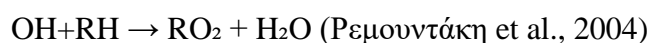
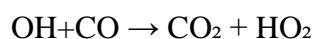
Οι παραπάνω τρεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται πολύ γρήγορα στην τροπόσφαιρα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μία κατάσταση ισορροπίας στη συγκέντρωση του όζοντος. Οι αντιδράσεις αυτές έχουν μηδενικό αποτέλεσμα στη συγκέντρωση του

τροποσφαιρικού όζοντος, καθώς το ένα μόριο  $O_3$  που παράγεται από την πρώτη αντίδραση, στην 3η αντίδραση αντιδρά με  $NO$  για να παράγει  $NO_2$ .

Στην περίπτωση του φωτοχημικού νέφους, αυξάνεται η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται να γίνουν αντιδράσεις όπου το  $NO$  μετατρέπεται σε  $NO_2$  χωρίς να καταναλώνεται ένα μόριο  $O_3$ , ώστε να αυξάνεται η συγκέντρωση του  $O_3$ . Οι εν λόγω αντιδράσεις γίνονται με την παρουσία υδρογονανθράκων:



Οι ρίζες  $HO_2$ ,  $RO_2$  παράγονται από την οξείδωση του  $CO$  και των μορίων υδρογονανθράκων ( $RH$ ):



Στην Ευρώπη το επίπεδο του όζοντος είναι συνήθως μικρότερο από 15 ppb, αλλά μπορεί να φτάσει και 60 ppb. Με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας το περισσότερο όζον στην τροπόσφαιρα σχηματίζεται έμμεσα σε διοξείδιο του αζώτου. Στην ατμόσφαιρα δεν υπάρχουν απευθείας πρωτογενείς εκπομπές όζοντος. Το 10-15% του όζοντος στην τροπόσφαιρα μεταφέρεται στην στρατόσφαιρα και σχηματίζεται από  $O_2$  υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. (Βερύκιος, 2003)

### 1.3.7. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις VOCs

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs) αποτελούνται από ένα ευρύ σύνολο ειδών όπως υδρογονάνθρακες, αλογονάνθρακες και οξυγονούχες ενώσεις, με κύριο χαρακτηριστικό τους την πτητικότητα με αποτέλεσμα να υφίστανται ως ατμοί στην ατμόσφαιρα. (Βερύκιος, 2003)

Οι υδρογονάνθρακες είναι πρωτογενείς ρύποι της ατμόσφαιρας γιατί συμβάλλουν στον σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτικών. Ο όρος «υδρογονάνθρακες» παραπέμπει στις χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριό τους. (Ζάνης, 2014)

Οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνονται στην κατηγορία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs). Είναι

μόρια μικρού μοριακού με τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλά σημεία ζέσεως και περιέχονται στα υγρά ορυκτά καύσιμα.

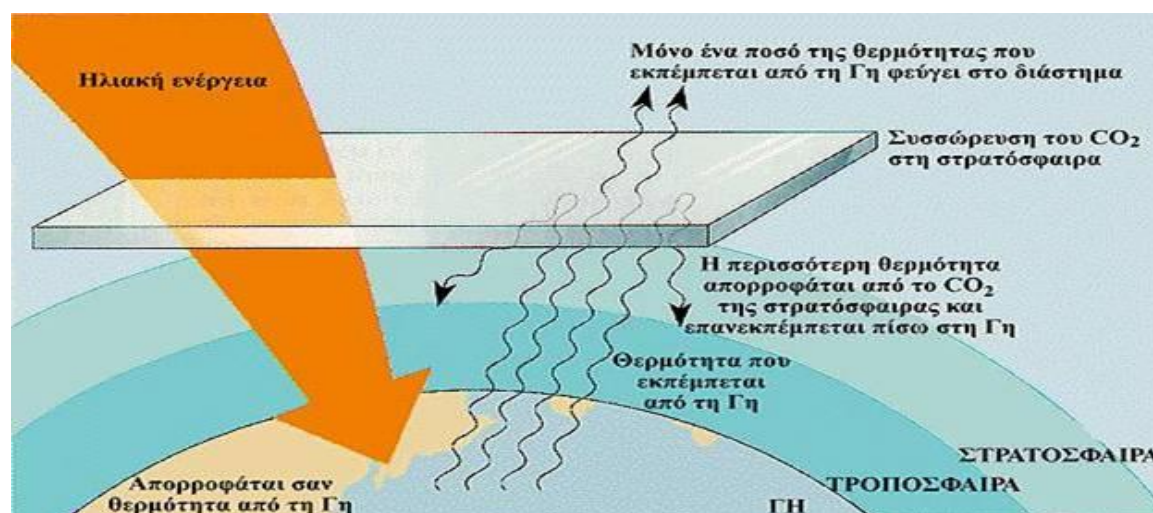
Στα αστικά κέντρα οι διάφορες καύσεις ορυκτών καυσίμων αποτελούν τη κυριότερη πηγή υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, όπως επίσης και η απ' ευθείας εκπομπή πτητικών υδρογονανθράκων από τα υγρά και τα αέρια ορυκτά καύσιμα και τη χρήση διαλυτών σε διάφορες εφαρμογές.

Οι υδρογονάνθρακες που περιλαμβάνονται στα VOC, είναι τα βουτάνια, που εκπέμπονται από τις βενζίνες, από εξάτμιση πετρελαίου και των παραγώγων του, από ατελή καύση καθώς και από διαρροές φυσικού αερίου από συστήματα διανομής.

Επίσης το τουλουόλιο εμφανίζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα των αστικών κέντρων από τις εξατμίσεις των οχημάτων και των διαλυτών που χρησιμοποιούνται σε χρώματα και σε βιομηχανικές διεργασίες. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003)

Επιπλέον στην ατμόσφαιρα εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) από την αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης σε νερά, ιζήματα και εδάφη. Το μεθάνιο συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, δηλαδή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003, Βερύκιος, 2003) Το φυσικό επίπεδο του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι 1,6 ppm, ενώ οι άλλες ενώσεις δεν είναι μεγαλύτερες από μερικά ppb.

#### 1.4 Το Φαινόμενο του θερμοκηπίου



Εικόνα 2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (<http://www1.aegean.gr/gympeir/thermokipio.htm>)

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο χάρη στο οποίο εξασφαλίζεται η ύπαρξη και λειτουργία των οικοσυστημάτων του πλανήτη, το οποίο όμως ενισχύεται και διαφοροποιείται δυσμενώς από τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων ανθρωπογενούς προέλευσης. (Cooper and Alley, 2004)

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο φτάνει στη γη σχεδόν ανεπηρέαστη από τις απορροφήσεις των ατμοσφαιρικών αερίων. Στην περιοχή του υπέρυθρου όπου αντιστοιχεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης, παρατηρούνται απορροφήσεις από τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα (υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, CFCs και το όζον) με αποτέλεσμα τη δέσμευση θερμότητας κοντά στην επιφάνεια της γης και διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης σε τιμή κατά 35°C μεγαλύτερη από αυτήν που θα είχε ο αέρας εάν έλλειπαν τα συγκεκριμένα αέρια, γεγονός που σημαίνει ότι η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν -18°C, αντί για τη μέση θερμοκρασία των 15°C που είναι ευνοϊκή για τη δημιουργία και διατήρηση της ζωής. Το φαινόμενο της απορρόφησης της γήινης υπέρυθρης ακτινοβολίας ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου», το οποίο ενισχύεται από εκπομπές μεγάλων ποσοτήτων αερίων ανθρωπογενούς προέλευσης. (Ρεμουντάκη, 2004).

Οι ρύποι που είναι υπεύθυνοι για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>), των οποίων η συνεισφορά τους κυμαίνεται ανάλογα με τον χρόνο και τον τόπο. (Βερούκιος, 2003)

### **1.5. Τρύπα του όζοντος**

Το όζον της στρατόσφαιρας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την προστασία της ζωής πάνω στη γη, καθώς απορροφά σχεδόν όλη την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) που κατευθύνεται προς τη γήινη ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας την UV ακτινοβολία να φτάσει στο επίπεδο του εδάφους. (Cooper & Alley, 2019)

Για τη δημιουργία της τρύπας του όζοντος ως κύρια αιτία θεωρείται η χρήση των χλωροφθορανθράκων (CFCs) που χρησιμοποιούνται στα κλιματιστικά και στις

ψυκτικές συσκευές, ενώ παράλληλα το φαινόμενο αυξάνεται με τους ρύπους των αυτοκινήτων και των βιομηχανιών.

Το 1974 προτάθηκε η θεωρία ότι οι ενώσεις χλωροφθορανθράκων (CFCs) που είναι σταθεροί στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα, διασπώνται στη στρατόσφαιρα, απελευθερώνοντας άτομα χλωρίου, τα οποία μαζί με άλλες ρίζες απομακρύνουν το όζον της στρατόσφαιρας μέσα από διάφορες αντιδράσεις οι οποίες αναδημιουργούν το άτομο του χλωρίου ή τη ρίζα με αποτέλεσμα δεκάδες χιλιάδες μόρια όζοντος να καταστρέφονται από ένα άτομο χλωρίου πριν αυτό μετακινηθεί από τη στρατόσφαιρα. Η εν λόγω θεωρία επιβεβαιώθηκε το 1985 όταν ανακαλύφθηκε μία τεράστια «τρύπα» στη στοιβάδα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, όπου παρατηρήθηκε 50% μείωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος στην συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης και σε άλλες βόρειες περιοχές (Καναδάς, Αμερική, Ευρώπη) έχει παρατηρηθεί αυτό το φαινόμενο. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, οι χλωροφθοράνθρακες μπορούν να υπερθερμάνουν τον πλανήτη 15.000 φορές περισσότερο σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) (Andersen & Sara, 2002).

## 1.6. Όξινη βροχή

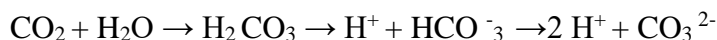
Ένα από τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη είναι το φαινόμενο της όξινης βροχής. Με τον όρο «όξινη βροχή» εννοούμε την εναπόθεση όξινων ουσιών από την ατμόσφαιρα με τη βροχή, το χαλάζι, το χιόνι ή και με την πάχνη.

Τα σημαντικότερα αέρια που προκαλούν την όξινη βροχή είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) που εκτός από το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) σχηματίζουν και το νιτρικό οξύ, όταν διαλυθούν στο νερό.

Οι κύριες πηγές εκπομπών των προαναφερόμενων ρύπων προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων, από τα ηφαίστεια, από τις πυρκαγιές καθώς και από βιοχημικές διεργασίες που αναμειγνύονται με το νερό της βροχής και σχηματίζουν SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>.

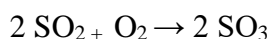
Ο βαθμός οξύνισης του νερού είναι ο λογάριθμος (με βάση το 10) της μοριακής συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου (H<sup>+</sup>) σε g/mol/l, τα οποία είναι διαλυμένα στο νερό (pH = -log<sub>10</sub> [H<sup>+</sup>]) και αναφέρεται ποσοτικά με το σύμβολο pH και η κλίμακά του κυμαίνεται μεταξύ 0 -14, και το pH του καθαρού νερού (ουδέτερο) είναι το 7. Στις σταγόνες νερού που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα, το pH είναι περίπου 5,6 και έχει

πολλές φορές φτάνει μεταξύ 2-5. Η εν λόγω οξύτητα οφείλεται στο ότι το CO<sub>2</sub> διαλύεται στο νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ:

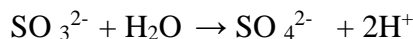
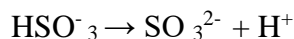
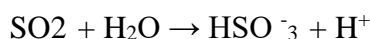


Οι ανθρωπογενείς και οι φυσικές εκπομπές SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> καθώς και οι ενώσεις χλωρίου, αποτελούν τις βασικές ενώσεις της όξινης βροχής, οι οποίες μέσω των καταλυτικών και φωτοχημικών αντιδράσεων παράγουν θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) κατά 62%, νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>) κατά 32% και υδροχλωρικό οξύ (HCl) κατά 6%, την οξύτητα στην όξινη βροχή.

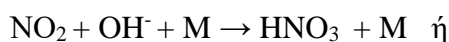
Το θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), όπως αποτυπώνεται παρακάτω, σχηματίζεται από το SO<sub>2</sub> μέσω αντιδράσεων που καταλύονται από μέταλλα που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα:



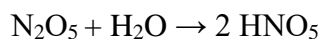
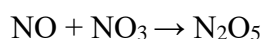
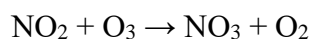
Ή μέσω ομογενών αντιδράσεων στην υγρή φάση:



Με τον ίδιο τρόπο το νιτρικό οξύ σχηματίζεται με την αντίδραση ριζών OH<sup>-</sup> με NO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια της ημέρας:



με την αντίδραση NO<sub>2</sub> με O<sub>3</sub> κατά τη διάρκεια της νύχτας,



Το υδροχλωρικό οξύ μεταφέρεται από τη στρατόσφαιρα όπου σχηματίζεται μέσω αντιδράσεων χλωροφθορανθράκων (CFCs) με ρίζες οξυγόνου. (Βερούκιος, 2003, (Ρεμουντάκη et al., 2004)

## 1.7 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης επιδρούν άμεσα στο φυσικό περιβάλλον και στον άνθρωπο.

### **1.7.1 Επιπτώσεις στον άνθρωπο**

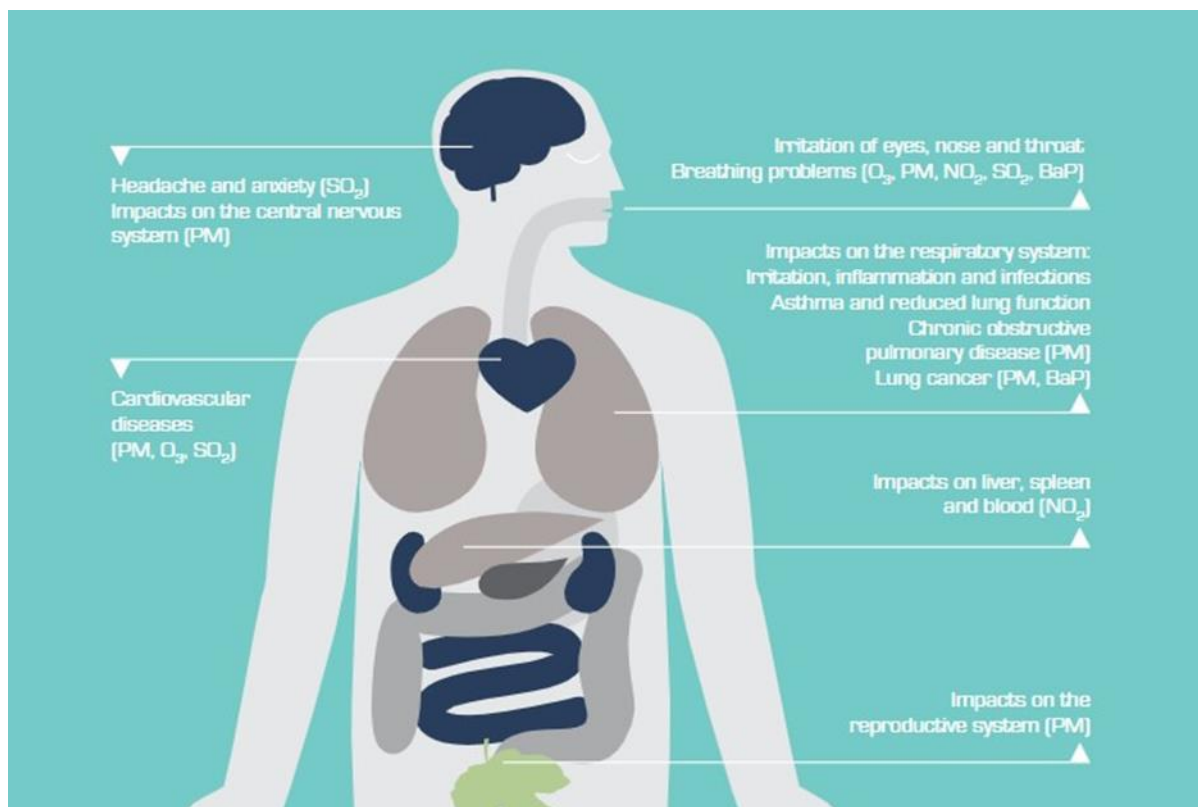
Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, αν και πολλές φορές είναι αόρατοι, προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές όταν υπερβαίνουν τα όρια που έχουν θεσπιστεί για την υγεία του πληθυσμού.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι η αιτία για διάφορες ασθένειες και πρόωρους θανάτους. Οι καρδιακές παθήσεις και τα εγκεφαλικά επεισόδια αποτελούν τις συνηθέστερες αιτίες των πρόωρων θανάτων που αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και ακολουθούν οι πνευμονοπάθειες και ο καρκίνος του πνεύμονα.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (2022), εκτιμάται ότι η υγεία των Ευρωπαίων πολιτών έχει επηρεασθεί από τους τρεις βασικούς ρύπους, τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το τροποσφαιρικό όζον.

Υπολογίζεται ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2019, πέθαναν πρόωρα 307.000 άνθρωποι λόγω της έκθεσης σε ρύπανση από λεπτά αιωρούμενα σωματίδια, 40.400 πρόωροι θάνατοι αποδόθηκαν σε χρόνια έκθεση στο διοξείδιο του αζώτου, ενώ 16.800 πρόωροι θάνατοι αποδόθηκαν στην οξεία έκθεση στο όζον, γεγονός που θα μπορούσε να είχε μειωθεί τουλάχιστον κατά 58% εάν όλα τα κράτη μέλη είχαν καταφέρει να μειώσουν τη ρύπανση σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για την ποιότητα του αέρα. Ο στόχος του σχεδίου δράσης για τη μηδενική ρύπανση είναι η μείωση του αριθμού των πρόωρων θανάτων λόγω έκθεσης σε λεπτά σωματίδια κατά 55% έως το 2030, σε σύγκριση με το 2005.

Με βάση την εκτίμηση του ΕΟΧ για 456.000 πρόωρους θανάτους που αποδίδονται σε λεπτά σωματίδια το 2005, αυτό θα ισοδυναμούσε με μείωση του αριθμού των πρόωρων θανάτων στην ΕΕ κατά 250.800. Σε σύγκριση με το 2005, το 2019 οι πρόωροι θάνατοι που αποδίδονται στην έκθεση σε λεπτά σωματίδια μειώθηκαν κατά 33% στην ΕΕ-27. Εάν αυτό το ποσοστό μείωσης των πρόωρων θανάτων διατηρηθεί στο μέλλον, τότε η ΕΕ αναμένεται να επιτύχει τον στόχο του σχεδίου δράσης για τη μηδενική ρύπανση. Αν είχε επιτευχθεί η νέα κατευθυντήρια γραμμή της ΠΟΥ για την ποιότητα του αέρα για τα PM<sub>2,5</sub> των 5 μg/m<sup>3</sup> στην ΕΕ-27 το 2019, τότε αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα μείωση των πρόωρων θανάτων κατά τουλάχιστον 72% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005.



Εικόνα 3 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο

Όσον αφορά στο μονοξείδιο του άνθρακα, τα συμπτώματα που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό είναι πονοκέφαλος, ζαλάδα, ναυτία, αδυναμία κτλ. Όταν εκτεθεί ένα άτομο σε υψηλή συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, λόγω του ότι μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο στα κύτταρα και στους ιστούς, μπορεί να προξενήσει λιποθυμία, κόμα ή και θάνατο. (Βερούκιος, 2003)

Τα οξείδια του αζώτου σε υψηλές συγκεντρώσεις, όπως και τα οξείδια του θείου επηρεάζουν τα άτομα με άσθμα και με χρόνια αναπνευστική πνευμονοπάθεια.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις συμμετέχουν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους. Η πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα είναι το βενζόλιο, που το συναντάμε στα πρατήρια βενζίνης, στα αυτοκίνητα διανομής της και σε όλες τις μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη. Το βενζόλιο μπορεί να προκαλέσει καρκίνο, να προσβάλει το ήπαρ, τα νεφρά και να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις γεννήσεις. (Ζάνης, 2014).

Η μείωση του όζοντος έχει ως αποτέλεσμα στη δημιουργία κρουσμάτων καρκίνων του δέρματος και καταρράκτη στους ανθρώπους εξαιτίας της αυξημένης UV ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης. (Cooper & Alley, 2019)

Επιπρόσθετα, η όξινη βροχή στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί διάφορες μορφές καρκίνου και αναπνευστικά προβλήματα.

### **1.7.2 Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επηρεάσει και τη βιοποικιλότητα στα οικοσυστήματα.

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον αφορούν στον περιορισμό της ορατότητας. Επίσης, συμβάλλουν στην μετατροπή των αέριων εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου και διοξειδίου του θείου σε όξινα σωματίδια και προκαλούν την όξινη βροχή, με αποτέλεσμα την καταστροφή των δασών, τον αποχρωματισμό των φυτών και την πρόκληση ζημιών στο φύλλωμά τους, στις καλλιέργειες και στην όξυνση των υδάτων.

Ορισμένες πτητικές οργανικές ενώσεις, όπως η φορμαλδεΰδη και το αιθυλένιο είναι επιβλαβείς στα φυτά. Το μονοξείδιο του άνθρακα, συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επίσης η μείωση του όζοντος έχει την ιδιότητα να καταστρέφει τα συνθετικά πολυμερή, τα ελαστικά και τα υφάσματα. (Βερύκιος, 2003)

Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC, 2014) εκτιμάται ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες προκάλεσαν αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,0°C περίπου πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα (από το 1850-1900 έως το 2010-2019). Υπολογίζεται ότι η θερμοκρασία είναι πιθανό να φτάσει τους 1,5°C μεταξύ 2030 και 2052 εάν συνεχίσει να αυξάνεται με τον σημερινό ρυθμό, με τα αέρια του θερμοκηπίου να συμβάλουν στην εν λόγω αύξηση από 1,0°C έως 2,0°C.

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει το λιώσιμο των πάγων, τα ακραία καιρικά φαινόμενα, τις υψηλές θερμοκρασίες, τις πλημμύρες και άλλα φαινόμενα και έχει επηρεάσει τόσο τα γήινα οικοσυστήματα, (πρώιμη καρποφορία στα δέντρα, πρώιμη άφιξη αποδημητικών πτηνών), όσο και τα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα, (αύξηση της στάθμης της θάλασσας, της θερμοκρασίας, κλπ).

Αναφορικά με την διάβρωση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς η ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, προκαλεί ανησυχία για τις αρνητικές της επιπτώσεις στα υλικά του δομημένου περιβάλλοντος. Οι πόλεις

φιλοξενούν επίσης ένα μεγάλο μέρος της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Η ατμοσφαιρική ρύπανση επιταχύνει τις φυσικές διαδικασίες φθοράς των υλικών των ιστορικών κτιρίων και μνημείων, προκαλώντας πρόωρη γήρανση και μειώνοντας την αισθητική τους αξία. (Spezzano, 2021).

Σύμφωνα με μελέτη των De Marco et al., (2017), αναφορικά με τα επίπεδα διάβρωσης των πολιτιστικών μνημείων της Ιταλίας, καταδεικνύει ότι η αλληλεπίδραση των ρύπων με τα υλικά των μνημείων προκαλούν ανυπολόγιστη ζημιά σ' αυτά. Η εν λόγω μελέτη στοχεύει στην εκτίμηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (SO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>) και των μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία, βροχόπτωση, σχετική υγρασία) σε ασβεστόλιθο, χαλκό και μπρούντζο κατά τη χρονική περίοδο 2003–2010. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα διάβρωσης για ασβεστόλιθο, χαλκό και μπρούντζο είναι μειωμένα στην Ιταλία από το 2003 έως το 2010, λόγω της μείωσης των συγκεντρώσεων ρύπων.

Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες, η ατμοσφαιρική ρύπανση εξακολουθεί να είναι σημαντική και εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης της πολιτιστικής κληρονομιάς, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. (Spezzano, 2021).

## **1.8 . Μέθοδοι μέτρησης και Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

### ***1.8.1. Μέθοδοι μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης***

Η μεγάλη πληθώρα των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρωπογενείς πηγές καθώς και η ανάγκη προσδιορισμού αυτών των ρύπων οδήγησε στην ανάπτυξη και χρήση μιας πολύ μεγάλης ποικιλίας τεχνικών μέτρησης οι οποίες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Στις μετρήσεις ατμοσφαιρικής σύστασης και στις μετρήσεις εκπομπών.

Οι μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ενός ή περισσότερων συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα και, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευαισθησία λόγω του ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων στον αέρα είναι πολύ μικρές (συνήθως ppb-pppt),.

Οι μετρήσεις εκπομπών απαιτούν μικρότερη ευαισθησία - πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις άρα διαφορετικός εξοπλισμός και στοχεύουν στον προσδιορισμό των ουσιών οι οποίες εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από διάφορες πηγές, καθώς και στον προσδιορισμό του ρυθμού που οι ρύποι αυτοί εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, οι τεχνικές μέτρησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν : α) Στις τεχνικές συνεχούς μέτρησης, όπου ο προσδιορισμός του ρύπου γίνεται κατά συνεχή τρόπο από μια αυτοματοποιημένη διάταξη, έτσι ώστε να παρέχεται, τελικώς, η συγκέντρωση του ρύπου ως συνάρτηση του χρόνου και β) στις τεχνικές ασυνεχούς μέτρησης, οι οποίες διεξάγονται σε 2 στάδια (μέθοδοι αναφοράς). Στο πρώτο συλλέγονται δείγματα του προς ανάλυση αέρα. Στο δεύτερο τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο όπου και αναλύονται διεξοδικά.

Τέλος, ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους οι μέθοδοι μέτρησης διακρίνονται σε φυσικές και χημικές. (Καμπεξίδης & Ματραλής, 2004)

Κατά τη δειγματοληψία τα δείγματα που θα συλλεχθούν θα πρέπει να είναι τα αντιπροσωπευτικότερα και ειδικότερα στην περίπτωση μετρήσεων ατμοσφαιρικής σύστασης, του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή και το χρονικό διάστημα που μας αφορά, ενώ στην περίπτωση μετρήσεων εκπομπών, του αερίου μείγματος που εκπέμπεται στο περιβάλλον από μία διεργασία.

Στον πίνακα 1 αναφέρονται οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO-NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{A}\Sigma_{10}$  ( $\text{PM}_{10}$ ),  $\text{A}\Sigma_{2.5}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) και Βενζολίου), η μεθοδολογία μέτρησής τους και οι οριακές τιμές για την προστασία της υγείας του ανθρώπου.

*Πίνακας 1. Ρύποι και μέθοδοι μέτρησης*
**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

ΡΥΠΟΙ	Μέθοδος μέτρησης	ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	Φθορισμομετρία	Μέση ωριαία τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές το χρόνο	350μg/m <sup>3</sup>
		Μέση ωριαία τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο	125μg/m <sup>3</sup>
		Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 500μg/m <sup>3</sup> για 3 συνεχόμενες ώρες
PM 10	Απορρόφηση β ακτινοβολίας	Μέση ημερήσια τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο	50μg/m <sup>3</sup>
		Μέση ετήσια τιμή	40μg/m <sup>3</sup>
		Επίπεδα συγκεντρώσεων	51-75, 76-100, 101-150, >150 μg/m <sup>3</sup> μέση 24ωρη τιμή
PM 2,5	Απορρόφηση β ακτινοβολίας	Μέση ετήσια τιμή	25μg/m <sup>3</sup>
Οξείδια του Αζώτου (NO - NO <sub>2</sub> )	Χημειοφωταύγεια	Μέση ωριαία τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο	200μg/m <sup>3</sup>
		Μέση ετήσια τιμή	40μg/m <sup>3</sup>
		Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 400μg/m <sup>3</sup> για 3 συνεχόμενες ώρες
Όζον (O <sub>3</sub> )	Απορρόφηση στο υπεριώδες	Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή
		Όριο συναγερμού	Μέση ωριαία τιμή
		Τιμή - στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 25 φορές ανά έτος κατά μέση τιμή για διάστημα 3 ετών
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή	10μg/m <sup>3</sup>
Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Αέρια χρωματογραφία - φασματογραφία μάζας	Μέση ετήσια τιμή	5μg/m <sup>3</sup>

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η φθορισμομετρία, η απορρόφηση β' ακτινοβολίας, η χημειοφωταύγεια, και η απορρόφηση υπέρυθρου

- Φθορισμομετρία.** Είναι η πιο συνηθισμένη και ιδιαίτερα εκλεκτική μέθοδος συνεχούς προσδιορισμού του διοξειδίου του θείου - SO<sub>2</sub>. Χρησιμοποιείται τόσο για μετρήσεις ατμοσφαιρικής σύστασης όσο και για μετρήσεις εκπομπών. Το όριο ανίχνευσης των σύγχρονων φθορισμομετρικών αναλυτών SO<sub>2</sub> είναι 0,1 ppb. Μέθοδος του παλμικού φθορισμού: Υπεριώδης ακτινοβολία σε παλμούς εστιάζεται μέσω ενός στενού φίλτρου, που επιτρέπει τη διόδο σε μικρή περιοχή μηκών κύματος, σ' ένα θάλαμο φθορισμού. Ένα δεύτερο φίλτρο επιτρέπει μόνο σ' αυτήν την ακτινοβολία να προσπέσει σ' ένα φωτοπολλαπλασιαστή. Ένα σύστημα επεξεργασίας του ηλεκτρονικού σήματος μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια, που δέχεται ο φωτοπολλαπλασιαστής, σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο αφού ενισχυθεί, μετατρέπεται

από αναλογικό σε ψηφιακό και εμφανίζεται στην οθόνη του αναλυτή και το οποίο φυσικά είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του SO<sub>2</sub> στο αέριο δείγμα, που αναλύεται.

- **Η τεχνική της μείωσης της β-ακτινοβολίας.** Αποτελεί τεχνική συνεχούς μέτρησης. Η ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων που κατακρατήθηκαν στο φίλτρο μειώνει ανάλογα την ένταση της β-ακτινοβολίας η οποία διαπερνά το φίλτρο.
- **Προσδιορισμός με χημειοφωταύγεια.** Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος μέτρησης των NO και NO<sub>2</sub>. Οι αναλυτές χημειοφωταύγειας χρησιμοποιούνται για μετρήσεις τόσο ατμοσφαιρικής σύστασης όσο και εκπομπών.
- **Η μέθοδος της συνολικής απορρόφησης υπέρυθρου,** αφορά στην μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα. Χρησιμοποιώντας έναν υπέρυθρο αναλυτή αερίων ασυνεχούς επιλογής μήκους κύματος (NDIR) μπορούν να μετρηθούν συγκεντρώσεις CO της τάξης των λίγων ppm. Η ευαισθησία των αναλυτών NDIR μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση κυψελίδων δείγματος πολλαπλής διαδρομής. Η παρεμβολή από το H<sub>2</sub>O και το CO<sub>2</sub> μπορεί να αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά με τη χρήση είτε φίλτρου αερίων είτε κυψελίδας αναφοράς συνεχούς ροής. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για μετρήσεις τόσο ατμοσφαιρικής σύστασης όσο και εκπομπών. (Καμπεζίδης & Ματραλής, 2004)

### **1.8.2. Δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Ένας Δείκτης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) μπορεί να ορισθεί ως ένα σχήμα που μετασχηματίζει τις σταθμισμένες τιμές των παραμέτρων που σχετίζονται με την αέρια ρύπανση (για παράδειγμα, συγκέντρωση SO<sub>2</sub> ή αιωρούμενων σωματιδίων) σε ένα απλό αριθμό ή ομάδα αριθμών. Ως αποτέλεσμα λαμβάνεται μία εξίσωση που μετασχηματίζει τις τιμές των παραμέτρων (μέσω ενός αριθμητικού υπολογισμού) σε μία απλή και μεγαλύτερης ακρίβειας μορφή. (Καμπεζίδης & Ματραλής, 2004)

Σκοπός των ΔΑΡ είναι να μας πληροφορήσουν για τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μία περιοχή και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στους καθαρά χημικούς δείκτες, που είναι η συνάρτηση των συγκεντρώσεων μερικών ρύπων και στους μετεωρολογικούς δείκτες, που συνδυάζουν μερικές καθαρά μετεωρολογικές ποσότητες προκειμένου να μας δείξουν την διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Οι σημαντικότεροι δείκτες είναι α) ο στερεότυπος δείκτης ρύπων (ΣΔΡ), β) ο δείκτης αέριας ρύπανσης (ΔΑΡ) και ο μετεωρολογικός δείκτης (ΜΔΡ).

Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, ανέπτυξε ένα Κοινό Δείκτη Ποιότητας Αέρα (ΚΔΠΑ) (Common Air Quality Index - CAQI) για την Ευρώπη, ο οποίος μας δείχνει την κατάσταση της ποιότητας του αέρα στις Ευρωπαϊκές πόλεις, βάσει μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε περισσότερους από 2000 σταθμούς παρακολούθησης ανά την Ευρώπη.

Ο δείκτης αποτελείται από ένα διαδραστικό χάρτη στον οποίο εμφανίζεται η κατά τόπους κατάσταση της ποιότητας του αέρα σε επίπεδο σταθμού, με βάση τις μετρήσεις πέντε βασικών ρύπων που βλάπτουν την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον: των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ<sub>2,5</sub> και ΑΣ<sub>10</sub>), του τροποσφαιρικού όζοντος (O<sub>3</sub>), του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>).

Ο δείκτης περιλαμβάνει τρεις χρονικές κατηγορίες για την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, μία ετήσια, μία ημερήσια και μία ωριαία.

- Μέσος ετήσιος δείκτης : λαμβάνει υπόψη την μακροχρόνια έκθεση στην αέρια ρύπανση. Ο τελικός δείκτης καθορίζεται από τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις ρύπων σε σύγκριση με τις ετήσιες οριακές τιμές της ΕΕ και ενημερώνεται μία φορά τον χρόνο.
- Ημερήσιος δείκτης: είναι της προηγούμενης ημέρας και ενημερώνεται μία φορά την ημέρα και βασίζεται σε μετρήσεις της χθεσινής ημέρας.
- Ωριαίος δείκτης: μετρήσεις ανά ώρα και περιγράφει τον αέρα του σήμερα.

Για κάθε ρύπο υπολογίζεται ένας επιμέρους δείκτης, ώστε οι πόλεις να είναι πιο συγκρίσιμες. Ο δείκτης διακρίνεται στον δείκτη υποβάθρου και στον κυκλοφοριακό δείκτη.

Ο Δείκτης υποβάθρου, βασίζεται στους σταθμούς παρακολούθησης υποβάθρου μίας πόλης με τα ΑΣ<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> να είναι οι κύριοι ρύποι, ενώ το CO να είναι συμπληρωματικός και ο Κυκλοφοριακός δείκτης που συνήθως είναι μεγαλύτερος από τον δείκτη υποβάθρου, λόγω του ότι οι ρύποι που μετρά είναι αυτοί που οφείλονται κυρίως στα μέσα μεταφοράς, όπου τα ΑΣ<sub>10</sub> και NO<sub>2</sub> είναι οι κύριοι ρύποι και το CO να είναι συμπληρωματικό. Βασίζεται σε μετρήσεις σταθμών τοποθετημένων κατά μήκος οδικών αρτηριών.

Η διαδικασία υπολογισμού του ωριαίου και του ημερήσιου δείκτη περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) Αρχικά υπολογίζουμε τους επιμέρους δείκτες για κάθε ρύπο σε κάθε σταθμό ξεχωριστά. β) Καθορίζεται ο τελικός δείκτης ανά σταθμό (η

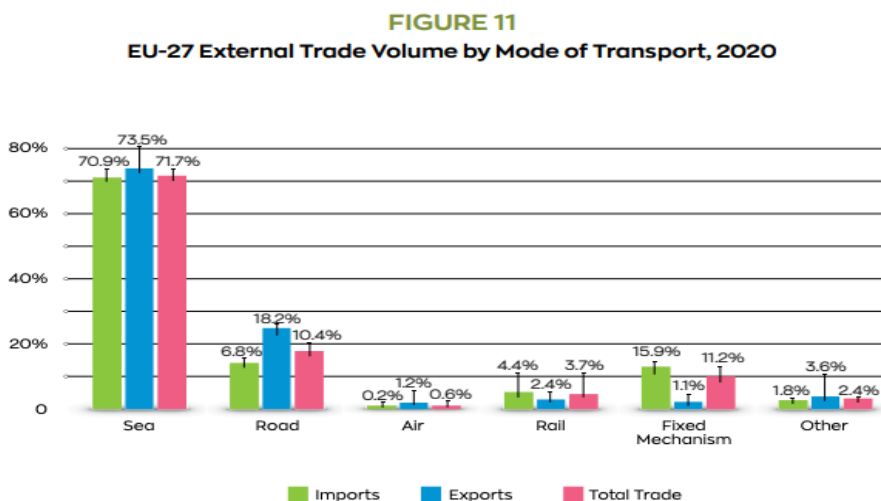
υψηλότερη τιμή από τους επιμέρους) γ) Ο υψηλότερος δείκτης από όλους τους σταθμούς καθορίζει την τελική τιμή του δείκτη μίας πόλης.

## 2. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

### 2.1. Συνεισφορά της ναυτιλίας στους ρύπους

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ένωσης Ελλήνων Εφοπλιστών (2022) το 90% του παγκόσμιου εμπορίου αγαθών μεταφέρεται μέσω θαλάσσης. Από τα στοιχεία της Eurostat, όπως αποτυπώνονται στο παρακάτω σχήμα, το θαλάσσιο εμπόριο αντιπροσωπεύει περίπου το 72% του συνολικού όγκου του διεθνούς εμπορίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς μεταφέρει πρώτες ύλες, ενέργεια, τρόφιμα και άλλα βασικά είδη για τους πολίτες της. Δια θαλάσσης μεταφέρεται το 93% των δημητριακών, το 86% των ελαίων και ζωτικών – φυτικών λιπών, το 93% των μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων και το 97% του χαλκού. Επίσης το 33% του εσωτερικού εμπορίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης βασίζεται στη ναυτιλία, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα αποσυμφόρησης των οδικών αξόνων, με αποτέλεσμα το ανθρακικό αποτύπωμα να είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με άλλους τομείς μεταφορών.

Αναφορικά με τις ελληνικές εσωτερικές θαλάσσιες μεταφορές, σύμφωνα με μελέτη του IOBE (2017) το 87% των εμπορευμάτων στα νησιά μεταφέρονται με τα ακτοπλοϊκά πλοία.



Source: Eurostat Database, *International Trade in Goods*, February 2022

Εικόνα 4 ΕΕ-27 Παγκόσμιο εμπόριο μεταφοράς αγαθών

Γενικά η μεγάλη ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου μέσω των θαλασσιών μεταφορών, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών ρύπων.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) σε μελέτη του το 2012, υπολόγισε ότι η διεθνής ναυτιλία συνέβαλε περίπου 2,2% στις παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και θεωρείται ο πιο ενεργειακά αποδοτικός τρόπος μαζικής μεταφοράς, όπως ήδη προαναφέρθηκε.

Όπως έχει ήδη αναγνωριστεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη διεθνή ναυτιλία δεν μπορούν να αποδοθούν σε καμία συγκεκριμένη εθνική οικονομία λόγω της παγκόσμιας φύσης και της πολύπλοκης λειτουργίας της. Ως εκ τούτου, ο IMO επιδιώκει τον περιορισμό και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τη διεθνή ναυτιλία, σε αναγνώριση του μεγέθους της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με μελέτη της περιβαλλοντικής οργάνωσης Green Transition της Δανίας (2021) αναφέρει ότι η ναυτιλία είναι η βάση του αυξανόμενου παγκόσμιου εμπορίου και το υψηλό αυτό μερίδιο μεταφορών καταναλώνει περίπου 7 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου που καίγονται σε κινητήρες πλοίων κάθε μέρα, επομένως η ναυτιλία συμβάλλει σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Αναφέρει ότι τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούν μαζούτ με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO) που περιέχει περίπου 0,5% θείο. Η φράση «πολύ χαμηλή» είναι αρκετά παραπλανητική καθώς περιέχει 500 φορές περισσότερο θείο από το κανονικό πετρέλαιο κίνησης στους αυτοκινητόδρομους της ΕΕ (0,001% θείο). Ακόμη και σε περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου (SECAs) σε πυκνοκατοικημένες περιοχές που η νομοθεσία είναι αυστηρότερη για τη ναυτιλία, τα καύσιμα των πλοίων περιέχουν και εκπέμπουν 100 φορές περισσότερο θείο ανά λίτρο, από το ντίζελ των οδικών μεταφορών.

Η πλήρης καύση σε κινητήρες πλοίων οξειδώνει όλο τον άνθρακα και το θείο στο καύσιμο σε CO<sub>2</sub> και οξείδια του θείου, τα τελευταία κυρίως ως διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Ταυτόχρονα, το ελεύθερο άζωτο (N<sub>2</sub>) στον αέρα οξειδώνεται σε οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) μέσα στον κινητήρα. Ωστόσο, δεν συμβαίνει πλήρης καύση. Ως εκ τούτου, το καυσαέριο περιέχει επίσης πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, πτητικές οργανικές ενώσεις, σωματίδια, μαύρο άνθρακα κ.λπ. . Οι πιο σημαντικοί ρύποι, σε σχέση με τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, είναι τα SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και τα λεπτά σωματίδια (PM<sub>2,5</sub>), καθώς αυτοί οι ρύποι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ως εκ

τούτου αυξάνουν σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση και την έκθεση στο έδαφος. Ωστόσο, τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια ( $PM_{0,1}$ ) και ο μαύρος άνθρακας από τα πλοία στα λιμάνια μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στους εργαζόμενους στα λιμάνια και σημαντική τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν τα κρουαζιερόπλοια χρησιμοποιούν τους κινητήρες τους για την παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια παραμονής τους στα λιμάνια στα κέντρα των πόλεων. Το  $CO_2$  και ο μαύρος άνθρακας (και το μεθάνιο από τα πλοία που τροφοδοτούνται με μεθάνιο) είναι οι σημαντικότεροι κλιματικοί ρύποι.

Το Δανικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (DCE) στο Πανεπιστήμιο του Aarhus έχει υπολογίσει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση από τη ναυτιλία προκαλεί περίπου 50.000 πρόωρους θανάτους στην Ευρώπη κάθε χρόνο. Ωστόσο, το νέο παγκόσμιο ανώτατο όριο για το θείο από το 2020 μείωσε τη θνησιμότητα και τη νοσηρότητα που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση από τη ναυτιλία κατά περίπου 20%, γεγονός που δείχνει ξεκάθαρα ότι η εν λόγω ρύθμιση μπορεί να είναι μια αποτελεσματική λύση. Παρόλα αυτά, η ατμοσφαιρική ρύπανση από τη ναυτιλία εξακολουθεί να προκαλεί περίπου 40.000 πρόωρους θανάτους στην Ευρώπη κάθε χρόνο και το σχετικό κόστος για την υγεία υπολογίζεται σε πάνω από 65 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ.

Επίσης το εν λόγω Δανικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (DCE) υπολόγισε το 2019 ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση από τη διεθνή ναυτιλία προκαλούσε ετησίως περίπου 650 πρόωρους θανάτους στη Δανία και το κόστος για την υγεία ανήλθε σε περίπου 1,7 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. (Green Transition Denmark, 2021).

## **2.2. Αέριες εκπομπές ρύπων από τα πλοία**

### **2.2.1 Αέρια του θερμοκηπίου (GHG)**

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) στην Τέταρτη μελέτη του (2020) αναφέρει ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG), συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ), του μεθανίου ( $CH_4$ ) και του υποξειδίου του αζώτου ( $N_2O$ ), εκφρασμένες σε ισοδύναμα  $CO_2e$ , της συνολικής ναυτιλίας (διεθνούς, εγχώριας και αλιείας) αυξήθηκαν από 977 εκατομμύρια τόνους το 2012 σε 1.076 εκατ. τόνοι το 2018 (αύξηση 9,6%). Το 2012, 962 εκατομμύρια τόνοι ήταν οι εκπομπές  $CO_2$ , ενώ το 2018 το ποσό αυτό αυξήθηκε κατά 9,3% σε 1.056 εκατομμύρια τόνους εκπομπών  $CO_2$ .

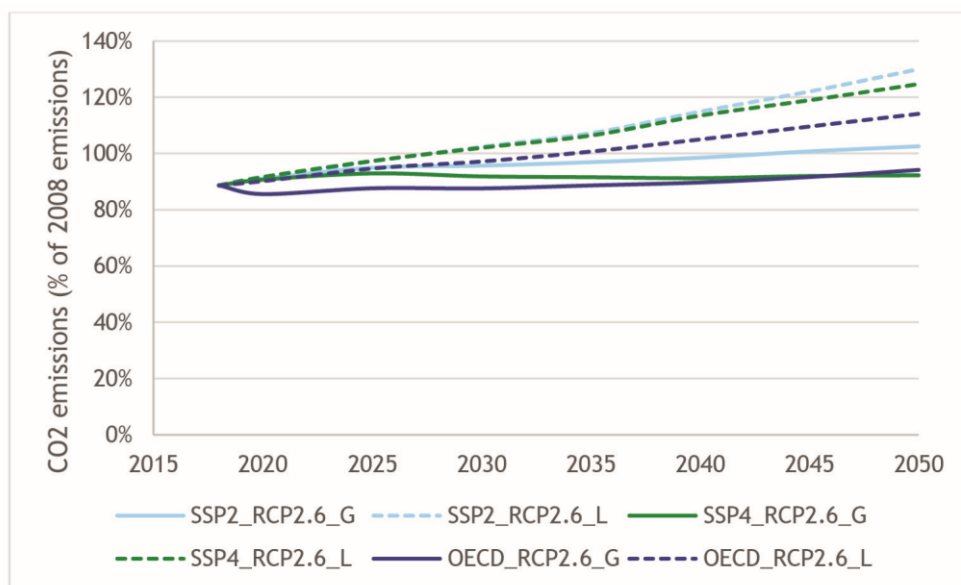
Το μερίδιο των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αυξήθηκε από 2,76% το 2012 σε 2,89% το 2018. Ωστόσο η ένταση άνθρακα της ναυτιλίας βελτιώθηκε κατά περίπου 11% αυτή την περίοδο, αλλά η αύξηση της δραστηριότητας ήταν μεγαλύτερη από τα κέρδη απόδοσης.

Βάσει μιας νέας κατανομής της διεθνούς ναυτιλίας που βασίζεται στα ταξίδια, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν επίσης κατά την ίδια περίοδο από 701 εκατομμύρια τόνους το 2012, σε 740 εκατομμύρια τόνους το 2018 (αύξηση 5,6%), αλλά σε χαμηλότερο ρυθμό αύξησης από τις συνολικές εκπομπές της ναυτιλίας και αντιπροσωπεύουν ένα σχεδόν σταθερό μερίδιο των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (περίπου 2%), όπως αποτυπώνεται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 2 Ετήσιες κατανομές ρύπων CO<sub>2</sub> βάσει πλοίων και βάσει ταξιδιού, 2012-2018

<b>Total shipping and voyage-based and vessel-based international shipping CO<sub>2</sub> emissions 2012-2018 (million tonnes)</b>							
Year	Global anthropogenic CO <sub>2</sub> emissions	Total shipping CO <sub>2</sub>	Total shipping as a percentage of global	Voyage-based International shipping CO <sub>2</sub>	Voyage-based International shipping as a percentage of global	Vessel-based International shipping CO <sub>2</sub>	Vessel-based International shipping as a percentage of global
2012	34,793	962	2.76%	701	2.01%	848	2.44%
2013	34,959	957	2.74%	684	1.96%	837	2.39%
2014	35,225	964	2.74%	681	1.93%	846	2.37%
2015	35,239	991	2.81%	700	1.99%	859	2.44%
2016	35,38	1,026	2.90%	727	2.05%	894	2.53%
2017	35,81	1,064	2.97%	746	2.08%	929	2.59%
2018	36,573	1,056	2.89%	740	2.02%	919	2.51%

Χρησιμοποιώντας την κατανομή της διεθνούς ναυτιλίας βάσει πλοίων που ελήφθη από την Τρίτη Μελέτη GHG του IMO, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν κατά την περίοδο 2012 από 848 εκατομμύρια τόνους, σε 919 εκατομμύρια τόνους το 2018 (αύξηση 8,4%).



Εικόνα 5 Σύγκριση εκπομπών πλοίων 2008 με 2018 και με 2050

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι οι εκπομπές προβλέπεται να αυξηθούν από περίπου 90% των εκπομπών του 2008 το 2018, σε 90-130% των εκπομπών του 2008 έως το 2050 με μια σειρά εύλογων μακροπρόθεσμων οικονομικών και ενεργειακών σεναρίων. Οι εκπομπές θα μπορούσαν να είναι υψηλότερες (χαμηλότερες) από τις προβλεπόμενες όταν οι ρυθμοί οικονομικής ανάπτυξης είναι υψηλότεροι (χαμηλότεροι) από ό,τι υποτίθεται εδώ ή όταν η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από χερσαίους τομείς είναι μικρότερη (περισσότερη) από ό,τι απαιτείται για να περιοριστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας σε πολύ κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου.

Επιπρόσθετα η μελέτη κάνει αναφορά στον αντίκτυπο του COVID-19 λέγοντας ότι είναι πολύ νωρίς για να αξιολογηθεί ποσοτικά ο αντίκτυπος στις προβλέψεις εκπομπών, αλλά σίγουρα θα είναι χαμηλότερες το 2020 και το 2021. Ανάλογα με την τροχιά ανάκαμψης, οι εκπομπές κατά τις επόμενες δεκαετίες μπορεί να είναι κατά μερικά τοις εκατό χαμηλότερες από τις προβλεπόμενες, το πολύ. (imo.org)

### 2.2.2 Διοξείδιο του Θείου - $SO_2$

Τα οξείδια του θείου που υπάρχουν στα καυσαέρια των πλοίων οφείλονται στην οξείδωση του στοιχείου του θείου των καυσίμων σε μονοξείδιο του θείου, διοξείδιο του θείου, κατά την καύση πετρελαιοειδών στις ναυτικές μηχανές.

Στον θάλαμο εσωτερικής καύσης των μηχανών ντίζελ το θείο που περιέχεται στο καύσιμο αντιδρά με το οξυγόνο και εκπέμπεται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον αφού έχει σχηματίσει θεϊκά αερολύματα. (Γώγου, 2020)

Οι ποσότητες οξειδίων του θείου εξαρτώνται από την ποσότητα του θείου των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Εάν το καύσιμο περιέχει 3% θείο, ο όγκος των οξειδίων του θείου που παράγονται ανέρχεται σε 64 kg ανά τόνο καυσίμου που καίγεται. Εάν το καύσιμο περιέχει θείο 1%, η εκπομπή οξειδίων του θείου μειώνεται στα 24 kg ανά τόνο καυσίμου. (Kuiken, 2017, Σταυρακάκη, 2020)

Σύμφωνα με την μελέτη της περιβαλλοντικής οργάνωσης Green Transition της Δανίας (2021), οι εκπομπές  $SO_2$  από τη ναυτιλία στις θαλάσσιες περιοχές γύρω από τη Δανία αποτελούν περίπου το 60% των εκπομπών από εγχώριες πηγές. Εάν η Δανία δεν περιλαμβανόταν γεωγραφικά σε περιοχή SECA, οι εκπομπές από τη ναυτιλία θα ήταν 5 φορές υψηλότερες από τις εγχώριες πηγές. Εκτός από τις μειώσεις  $SO_2$  στην εν λόγω περιοχή, η μετάβαση σε καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (απόσταγμα με μέγιστο 0,1% θείο) μείωσε τις εκπομπές αιθάλης (μαύρος άνθρακας) κατά περίπου 30%. Εκτός από τον Κανονισμό στις περιοχές SECA, από το 2010 απαιτείται μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,1% στα καύσιμα πλοίων (ή ισοδύναμο καθαρισμό καυσαερίων σε πλυντρίδες) στον ελλιμενισμό στην Ε.Ε.

Η περιεκτικότητα σε θείο στο μαζούτ ρυθμίζεται από τον IMO τόσο εντός όσο και εκτός των περιοχών SECA. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί το  $SO_2$  έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο οικοσύστημα.

### 2.2.3 Οξείδιο του Αζώτου - $N_2O$

Τα οξείδια του αζώτου παράγονται από την καύση πετρελαίου στις μηχανές των πλοίων. Οι εκπομπές  $NO_x$  αποτελούνται κυρίως από μονοξείδιο του αζώτου ( $NO$ ) και σε μικρότερο βαθμό, από διοξείδιο του αζώτου ( $NO_2$ ). Στην ατμόσφαιρα, το  $NO_x$  μπορεί να μετατραπεί σε νιτρικό οξύ δημιουργώντας όξινη βροχή, συμβάλλοντας στην

καταστροφή των δασών, των κτιρίων κ.λπ. Επιπλέον, το NO<sub>x</sub> ενισχύει τον σχηματισμό αιθαλομίχλης βλάπτοντας την υγεία.

Η εναπόθεση NO<sub>x</sub> στη θάλασσα συμβάλλει στον ευτροφισμό που οδηγεί σε εξάντληση του οξυγόνου σε ορισμένες θαλάσσιες περιοχές και η εναπόθεσή του στα οικοσυστήματα τα καταστρέφει, με αποτέλεσμα να απειλούνται προστατευόμενα είδη χλωρίδας και πανίδας.

Στις θαλάσσιες περιοχές γύρω από τη Δανία, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> από τη ναυτιλία είναι περίπου διπλάσιες από τις εκπομπές που προέρχονται από εγχώριες πηγές. (Green Transition Denmark, 2021).

#### **2.2.4 Διοξείδιο του Άνθρακα - CO<sub>2</sub>**

Τα καυσαέρια των πλοίων περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα λόγω της καύσης του άνθρακα που περιέχουν τα καύσιμά τους.

Παγκοσμίως, η ναυτιλία εκπέμπει περίπου 1.000 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> κάθε χρόνο, που αντιπροσωπεύει σχεδόν το 3% των ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Περίπου τα τρία τέταρτα προέρχονται από φορτηγά πλοία, ενώ το ένα τέταρτο εκπέμπεται από επιβατηγά πλοία, μεγάλα αλιευτικά κ.λπ. (Kumar et al., 2018). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της ναυτιλίας θα αυξηθούν σημαντικά, με την αναμενόμενη ανάπτυξη στον κλάδο, εκτός εάν ληφθούν περαιτέρω μέτρα. Ο IMO έχει θέσει στόχους και έχει εκδώσει κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία.

Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκτός από την υπερθέρμανση του πλανήτη, η αυξανόμενη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στην οξίνιση των ωκεανών καθώς η συγκέντρωση του ανθρακικού οξέος αυξάνεται όταν το CO<sub>2</sub> διαλύεται στις θάλασσες. Η οξίνιση των ωκεανών μαζί με την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας που προκαλείται από την υπερθέρμανση του πλανήτη θα έχει μοιραίες συνέπειες για αρκετά από τα σπάνια και σημαντικά θαλάσσια οικοσυστήματα π.χ. τους μοναδικούς κοραλλιογενείς υφάλους. (Green Transition Denmark, 2021).

### 2.2.5. Υδρογονάνθρακες - HC<sub>s</sub>

Οι υδρογονάνθρακες εκπέμπονται από τις μηχανές ντίζελ και αφορούν κυρίως άκαυστα ή μερικώς καμένα καύσιμα και λιπαντικά, λόγω του ότι δεν υπάρχει επαρκή θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης.

Η πλειοψηφία των υδρογονανθράκων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνονται στην κατηγορία των πτητικών οργανικών ενώσεων τα οποία εξατμίζονται εύκολα. Είναι μόρια μικρού μοριακού βάρους τα οποία έχουν χαμηλά σημεία ζέσεως και περιέχονται κυρίως στα υγρά ορυκτά καύσιμα. (Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003)

Οι υδρογονάνθρακες, στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν προϊόντα οξείδωσης, ή διάφορα αερολύματα.

### 2.2.6. Σωματίδια – PM

Οι μηχανές των πλοίων εκπέμπουν σωματίδια τα οποία είναι μίγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών και περιλαμβάνουν στοιχειακό άνθρακα, ορυκτά τέφρας, βαρέα μέταλλα, οξείδια του θείου, νερό καθώς και άκαυστους ή μερικώς καμένους υδρογονάνθρακες (Moldanova *et al.*, 2009, Σταυρακάκη, 2020).

Στα θαλάσσια περιοχή γύρω από τη Δανία, οι εκπομπές λεπτών σωματιδίων (PM<sub>2,5</sub>) από τη ναυτιλία αντιστοιχούν περίπου στο 15% των εκπομπών από εγχώριες πηγές. Όπως έχει προαναφερθεί, τα σωματίδια στον αέρα ταξινομούνται κατά μέγεθος και σύνθεση. Τα λεπτά σωματίδια (PM<sub>2,5</sub>) είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μικρόμετρα. Μετριοούνται ως μάζα σωματιδίων ανά όγκο αέρα, συνήθως ως μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ως εκ τούτου προκαλούν μεγάλης εμβέλειας διασπορά ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια (PM<sub>0,1</sub>) είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0,1 μικρόμετρο (100 νανόμετρα). Μετρώνται ως αριθμός σωματιδίων ανά όγκο αέρα, συνήθως ως αριθμός ανά κυβικό εκατοστό. Είναι βραχύβια και προκαλούν κυρίως τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση προτού συσσωματωθούν σε λεπτά σωματίδια και προκαλέσουν περιφερειακή ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένα μέρος των σωματιδίων αποτελείται από αιθάλη που αναφέρεται ως μαύρος άνθρακας (ή στοιχειώδης άνθρακας ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης). Τα μαύρα σωματίδια άνθρακα θεωρούνται ως τα πιο

τοξικά σωματίδια και είναι ένας από τους σημαντικότερους λόγους για την υπερθέρμανση του πλανήτη - και ειδικά στην Αρκτική. (Green Transition Denmark, 2021).

Τόσο τα λεπτά όσο και τα πολύ λεπτά σωματίδια που εκπέμπονται απευθείας από τις μηχανές των πλοίων καθώς τα πρωτογενή σωματίδια συχνά περιέχουν υψηλά επίπεδα τοξικής αιθάλης. Επιπλέον, τα λεπτά σωματίδια σχηματίζονται μέσω δευτερογενών χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα μεταξύ SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> και άλλα αέρια.

### 2.3. Ναυτικές Μηχανές

Ο μηχανικός εξοπλισμός των πλοίων διακρίνεται σε α) κύριες μηχανές ή μηχανές πρόωσης, β) ηλεκτρογεννήτριες, γ) συστήματα σωληνώσεων, ηλεκτρικά, ψύξης, κλιματισμού, πυροπροστασίας κλπ και δ) βοηθητικές μηχανές.

Οι μηχανές των πλοίων διακρίνονται σε εσωτερικής καύσης, αεριοστροβίλους, ατμοστροβίλους και ηλεκτροκινητήρες.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης ονομάζονται και ντιζελομηχανές λόγω του ότι χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο. (Κλιάνης κ.α, 2017). Οι κινητήρες αυτών των μηχανών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους (Kristensen, 2012, Κοζολίνο, 2018)

- Σε χαμηλόστροφους κινητήρες (50-300 rpm)
- Σε μεσόστροφους κινητήρες (300-1000 rpm)
- Σε υψηλόστροφους κινητήρες (1000-3000 rpm)

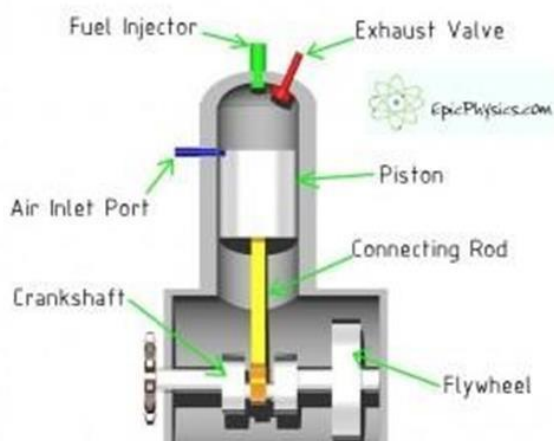
Τα πλεονεκτήματα αυτών των μηχανών αφορούν στο ότι είναι αξιόπιστα, λειτουργούν με μαζούτ και με ελαφρύ καύσιμο και δεν επηρεάζονται από την ποιότητα του καυσίμου.

Τα μειονεκτήματά τους έγκεινται στο ότι παράγουν αέριους ρύπους, έχουν μικρό λόγο ισχύος/βάρους σε σύγκριση με τις αεριοτουρμπίνες και παράγουν κραδασμούς και θόρυβο (Woodyard, 2009, Σταυρακάκη, 2020)

Σύμφωνα με την κατασκευή τους οι μηχανές των πλοίων χωρίζονται στις δίχρονες χαμηλόστροφες και στις τετράχρονες μεσαίων ή υψηλών στροφών.

### 2.3.1. Τετράχρονες -Δίχρονες μηχανές

Στα ποντοπόρα πλοία οι κύριες μηχανές είναι δίχρονες χαμηλόστροφες μηχανές χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων, δηλαδή η μηχανή συνδέεται με τον άξονα της προπέλας κατευθείαν. Οι μεσόστροφες χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικές υποβοηθώντας το σύστημα της προπέλας. (Tupper, 2004, Σταυρακάκη, 2020).



Εικόνα 6 Δίχρονος κινητήρας Diesel

Οι δίχρονες μηχανές τοποθετούνται κυρίως στα πλοία container λόγω του ότι καταναλώνουν λιγότερα καύσιμα, μειώνουν το κόστος των ανταλλακτικών και έχουν μεγαλύτερη ανοχή στα βαριά καύσιμα χαμηλής ποιότητας.

### 2.3.2. Βοηθητικές μηχανές

Οι βοηθητικές μηχανές υποστηρίζουν τις μηχανές πρόωσης (περιλαμβάνουν εναλλάκτες θερμότητας και πεπιεσμένου αέρα), είτε για την μετακίνηση του πλοίου και τη διαχείριση του φορτίου, είτε για βοηθητικές λειτουργίες (πχ ρύθμιση του νερού έρματος, για το αποχετευτικό σύστημα). (Woodyard, 2009).

Δηλαδή μία κύρια δίχρονη μηχανή, όπως προαναφέρθηκε, που συνδέεται απευθείας με τον άξονα της προπέλας για να λειτουργήσει πρέπει να υποστηρίζεται λόγω του ότι χρησιμοποιεί αντλίες συντήρησης για ψύξη και λίπανση και συστήματα διαχείρισης και επεξεργασίας του καυσίμου/λιπαντικού (Σταυρακάκη, 2020). Αυτές οι λειτουργίες απαιτούν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παρέχεται από τις γεννήτριες που λειτουργούν με μεσόστροφες ή υψηλόστροφες ντιζελομηχανές.

Η ανάγκη μείωσης των εκπομπών ρύπων και ιδιαίτερα τη μείωσης του ΝΟ<sub>x</sub>, οδήγησαν στην κατασκευή μηχανών χρήσης διπλού καυσίμου. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούν LNG με Marine Diesel Oil (MDO) ή Heavy Fuel Oil (HFO) ή βιοκαύσιμα, τα οποία εναλλάσσονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους χωρίς να προκύπτουν προβλήματα στην απόδοση της μηχανής (Patel M.R, 2012)

## 2.4. Ναυτιλιακά καύσιμα

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία (marine fuel oils) είναι προϊόντα από τη διύλιση του αργού πετρελαίου και χωρίζονται στα αποσταγματικά και στα υπολειμματικά.

(α) τα αποσταγματικά (distillate type) όπου η απόσταξή τους πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 200-360°C και αφορά κυρίως το πετρέλαιο ντίζελ (diesel oil) του οποίου το χρώμα είναι διαυγές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς θέρμανση.

(β) τα υπολειμματικά (residual oil) όπου δεν μπορούν να αποσταχθούν και παραμένουν στη βάση του πύργου απόσταξης και αφορούν στα βαρύτερα συστατικά του αργού πετρελαίου, το μαζούτ του οποίου το χρώμα είναι μαύρο και με υψηλό ιξώδες και το οποίο πριν την χρήση του θα πρέπει να προθερμανθεί.

Το ISO 8217:2017 καθορίζει επτά κατηγορίες καυσίμων απόσταξης, μία από τις οποίες είναι για κινητήρες ντίζελ και έξι κατηγορίες υπολειμματικών καυσίμων. (iso.org)

### 2.4.1. Τύποι καυσίμων (HFO, IFO, MDO, MGO)

Τα κυριότερα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι μηχανές των πλοίων είναι το βαρύ πετρέλαιο ή μαζούτ (HFO), το Intermediate Fuel Oil (IFO), το Marine Diesel Oil (MDO) και το Marine Gas Oil (MGO).

#### **Βαρύ πετρέλαιο ή μαζούτ - Heavy Fuel Oil (HFO) και IFO**

Το Heavy Fuel Oil (HFO) είναι το κατάλοιπο από τη διαδικασία της διύλισης του αργού πετρελαίου. Ως το τελικό υπόλειμμα της διαδικασίας πυρόλυσης, το HFO περιέχει επίσης μείγματα των ακόλουθων ενώσεων σε διάφορους βαθμούς:

"παραφίνες, κυκλοπαραφίνες, αρωματικές ουσίες, ολεφίνες και ασφαλτένια καθώς και μόρια που περιέχουν θείο, οξυγόνο, άζωτο και/ή οργανομέταλλα".

Το HFO χαρακτηρίζεται από μέγιστη πυκνότητα 1010 kg/m<sup>3</sup> στους 15°C και μέγιστο ιξώδες 700 mm<sup>2</sup>/s (cSt) στους 50°C σύμφωνα με το ISO 8217.

Το HFO χρησιμοποιείται κυρίως ως πηγή καυσίμου για την πρόωση των πλοίων λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους του σε σύγκριση με καθαρότερες πηγές καυσίμων, όπως τα αποστάγματα. Λόγω του ότι αυτά τα καύσιμα έχουν μεγάλο ιξώδες και υψηλό ποσοστό θείου (3,5%), για τη χρήση τους όμως απαιτείται ένα σύστημα καθαρισμού για να αφαιρεθούν οι προσμίξεις του, καθώς και ένα σύστημα προθέρμανσης του καυσίμου για να μειωθεί το ιξώδες, για να επιτευχθεί πιο αποτελεσματικά η τροφοδοσία και η καύση (Κοζολίνο, 2018).

Επίσης στη ναυτιλία χρησιμοποιείται και το IFO (Intermediate Fuel Oil) το οποίο το βρίσκουμε σε δύο τύπους:

IFO 380 : Είναι μείγμα 98% μαζούτ και 2% απόσταγμα πετρελαίου

IFO 180 : Είναι μείγμα 88% μαζούτ και 12% απόσταγμα πετρελαίου. ( Παπανδρίκος, 2013)

### ***Marine Diesel Oil (MDO)***

Το Marine Diesel Oil (MDO) είναι μίγμα υδρογονανθράκων που προέρχεται από την απόσταξη στο οποίο έχει αναμειχθεί μικρή ποσότητα αργού πετρελαίου - HFO. Αυτό το καύσιμο χρησιμοποιείται σε κινητήρες Diesel. Όταν χρησιμοποιείται δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία, όπως προθέρμανση πριν την καύση ή διαχωρισμό. Βέβαια μπορεί να προστεθούν ουσίες για την καλύτερη απόδοση του κινητήρα. (Παπανδρίκος, 2013)

Η περιεκτικότητά του σε θείο είναι χαμηλότερη και παράγει καθαρότερη καύση και είναι πιο ακριβό συγκριτικά με το HFO.

Το MDO (marine diesel oil) χαρακτηρίζεται από μέγιστη πυκνότητα από 890 ως 900 kg/m<sup>3</sup> στους 15 °C.

### *Marine Gas Oil (MGO)*

Το MGO προέρχεται εξ' ολοκλήρου από την απόσταξη πετρελαίου, είναι το καθαρότερο ναυτιλιακό καύσιμο για τις μηχανές εσωτερικής καύσης και από τα πιο ακριβότερα. Η περιεκτικότητά του σε θείο ανέρχεται σε 0,1%.

Το MGO (gas oil) χαρακτηρίζεται από μέγιστη πυκνότητα στους 15 °C τα 890 kg/m<sup>3</sup>. (Σταυρακάκη, 2020)

#### **2.4.2. Χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο**

Όπως προαναφέρθηκε η παρουσία μικρών ποσοτήτων θείου (SO<sub>x</sub>) στο πετρέλαιο και τους γαιάνθρακες αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή εκπομπών διοξειδίου του θείου, οι οποίες αποτελούν μία από τις σπουδαιότερες αιτίες του φαινομένου της όξινης βροχής και μία από τις κύριες αιτίες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίζεται σε πολλές αστικές και βιομηχανικές περιοχές.

Το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL επιβάλλει, μεταξύ άλλων, αυστηρότερα όρια περιεκτικότητας των καυσίμων πλοίων σε θείο.

Από 1.1.2020 στις θαλάσσιες περιοχές, εκτός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub>, (SECAs) τα καύσιμα πρέπει να περιέχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,50 % και στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO<sub>x</sub>, 0,10 % από την 1η Ιανουαρίου 2015.

Σύμφωνα με την Οδηγία ΕΕ 2016/802, για να εξασφαλιστεί ένα ελάχιστο επίπεδο ποιότητας των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα πλοία προκειμένου να συμμορφωθούν με ρυθμίσεις που αφορούν είτε στα καύσιμα, είτε στην τεχνολογία, θα πρέπει να μην επιτρέπεται η χρήση στην Ευρωπαϊκή Ένωση καυσίμων πλοίων των οποίων η περιεκτικότητα σε θείο υπερβαίνει το γενικό πρότυπο των 3,50 % κατά μάζα, εκτός αν αυτά τα καύσιμα παρέχονται σε πλοία τα οποία χρησιμοποιούν μεθόδους μείωσης των εκπομπών σε κλειστό σύστημα.

## 2.5. Μέθοδος υπολογισμού εκπομπών αέριων ρύπων από τα πλοία

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency - EEA, 2021) έχει καταρτίσει ένα εγχειρίδιο (Guidebook 2019) για την απογραφή των αέριων ρύπων για το σύνολο των πηγών ρύπων κάθε χώρας, με κοινή μεθοδολογία. Αναφορικά με τον υπολογισμό των ναυτιλιακών ρύπων έχει ορίσει τρεις μεθόδους (αλγόριθμους) ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν και συγκεκριμένα :

### **Tier 1.**

Είναι η προεπιλεγμένη μέθοδος, για τον υπολογισμό της ο χρήστης χρειάζεται την κατανάλωση του καυσίμου και τον συντελεστή εκπομπής του επιλεγμένου ρύπου βάσει συγκεκριμένου καυσίμου. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με τη λογική ότι «οι ποσότητες καυσίμου που έχουν πωληθεί για την ναυτική δραστηριότητα είναι διαθέσιμες κατά τύπο καυσίμου, από τα εθνικά συλλεγμένα δεδομένα».

Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ο παρακάτω αλγόριθμος:

$$E_i = \sum_m (FC_m * EF_{i,m})$$

όπου:

$E_i$  = εκπομπές ρύπου  $i$  σε χιλιόγραμμα,

$FC_m$  = μάζα τύπου καυσίμου  $m$  που έχει πωληθεί σε μια χώρα για τη ναυτιλία (τόνους),

$EF_{i,m}$  = ειδικός συντελεστής εκπομπών καυσίμου για τον ρύπο  $i$  και τον τύπο καυσίμου  $m$  (kg/ τόνο καυσίμου),

$i$  = ρύπος

$m$  = τύπος καυσίμου (bunker fuel oil, marine diesel oil/marine gas oil (MDO/MGO), LNG, gasoline).

### **Tier 2.**

Εφόσον ο χρήστης έχει δεδομένα τα χαρακτηριστικά της μηχανής (ταχύτητα μηχανής, χαμηλόστροφη, μεσόστροφη, υψηλόστροφη), ο υπολογισμός γίνεται βάσει της

κατανάλωσης του καυσίμου και τους τύπους μηχανών στον στόλο. Όπως και για τη μέθοδο Tier 1 χρειάζεται ο συντελεστής εκπομπής για τον ρύπο που θέλει ο χρήστης να υπολογίσει τις εκπομπές και με τη χρήση συγκεκριμένου καυσίμου. Επίσης λόγω του ότι προστέθηκε η παράμετρος του τύπου της μηχανής, ο συντελεστής εκπομπής πρέπει να μετατραπεί από kg ρύπου/τόνο καυσίμου σε g καυσίμου/ kWh με τη χρήση συντελεστή ειδικής κατανάλωσης.

Ο τύπος για τον υπολογισμό των εκπομπών των ρύπων βάσει της μεθόδου Tier 2 είναι:

$$E_i = \sum_m \left( \sum_j (FC_{m,j} * EF_{i,m,j}) \right)$$

όπου:

E = ετήσιες εκπομπές (τόνους),

FC<sub>m,j</sub> = μάζα τύπου καυσίμου m που χρησιμοποιείται από το πλοία με τύπο μηχανής j (τόνους),

EF<sub>i,m,j</sub> = μέσος συντελεστής εκπομπής του ρύπου i από τα πλοία με τύπο μηχανής j που χρησιμοποιούν τύπο καυσίμου m,

i = ρύπος

j = τύπος κινητήρα (ντίζελ αργής, μεσαίας και υψηλής ταχύτητας, αεριοστρόβιλος και ατμοστρόβιλος για μεγάλα πλοία και ντίζελ, βενζίνη 2S και βενζίνη 4S για μικρά πλοία)

m = τύπος καυσίμου (bunker fuel oil, marine diesel oil/marine gas oil (MDO/MGO), LNG, gasoline).

### **Tier 3.**

Εφόσον ο χρήστης έχει διαθέσιμα δεδομένα για τα δρομολόγια των πλοίων, τις φάσεις κίνησής του (δηλαδή κατά τη διάρκεια που το πλοίο είναι εν πλω, κατά τους ελιγμούς και κατά τον ελλιμενισμό του) και τον τύπο της μηχανής, ο υπολογισμός γίνεται βάσει του χρόνου ταξιδιού και της τεχνολογίας των μηχανών.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της συνολικής εκπομπής κάθε ρύπου είναι ο εξής:

$$E_{Trip} = E_{Hotelling} + E_{Manouvering} + E_{Cruising}$$

όπου:

- $E_{\text{Trip}}$  = εκπομπή ενός ολόκληρου ταξιδιού (τόνοι),  
 $E_{\text{Hotelling}}$  = εκπομπή κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού,  
 $E_{\text{Manouvering}}$  = εκπομπή κατά τη διάρκεια του ελιγμού,  
 $E_{\text{Cruising}}$  = εκπομπή κατά τη διάρκεια του ταξιδιού στη θάλασσα.

Ωστόσο, δύο διαφορετικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των εκπομπών ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγονται:

Όταν η κατανάλωση καυσίμου για ένα ταξίδι είναι γνωστή σε κάθε κατάσταση λειτουργίας για κάθε τύπο πλοίου/κινητήρα, η εξίσωση υπολογισμού των εκπομπών του ρύπου  $i$  είναι:

$$E_{\text{trip}, i, j, m} = \sum p (FC_{j, m, p} \times EF_{i, j, m, p})$$

όπου,

- $E_{\text{trip}}$  = Οι εκπομπές από ένα πλήρες ταξίδι (σε τόνους),  
 $FC$  = Η κατανάλωση καυσίμου (σε τόνους),  $EF$  = Ο συντελεστής εκπομπών (kg/kW),  
 $i$  = Οι ρύποι,  
 $j$  = Ο τύπος του κινητήρα (αργής, μεσαίας και υψηλής ταχύτητας diesel, αεριοστρόβιλος, ατμοστρόβιλος),  $m$  = Ο τύπος καυσίμου (bunker fuel oil, marine diesel oil/marine gas oil (MDO/MGO),  
 $p$  = Οι καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου, κρουαζιέρα (cruising), ελιγμοί (maneuvering), ελλιμενισμός (hotelling).

Όταν η κατανάλωση καυσίμου για ένα ταξίδι δεν είναι γνωστή τότε προτείνεται διαφορετική μεθοδολογία για τον υπολογισμό των ρύπων, σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ και τον χρόνο που δαπανήθηκε στις διαφορετικές φάσεις πλεύσεως του πλοίου.

Οι εκπομπές μπορεί να υπολογισθούν από τη γνώση της ισχύος του κινητήρα κύριου και βοηθητικού που έχει εγκατασταθεί από τον συντελεστή φορτίου και από τον

συνολικό χρόνο που χρειάστηκε, σε ώρες, για κάθε φάσεις λειτουργίας του πλοίου και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$E_{TRIP,i,j,m} = \sum_p [T_p * \sum_e (P_e * LF_e * EF_{e,i,j,m,p})]$$

όπου:

$E_{TRIP}$  = εκπομπές σε ένα πλήρες ταξίδι (σε τόνους),

$EF$  = συντελεστής εκπομπών (kg/kW),

$LF$  = συντελεστής φόρτισης κινητήρα (%),

$P$  = ονομαστική ισχύς κινητήρα (kW),

$T$  = χρόνος (hs),

$E$  = κατηγορία κινητήρα (κύριος, βοηθητικός),

$I$  = είδος ρύπου,

$j$  = τύπος του κινητήρα (χαμηλόστροφος, μεσόστροφος, υψηλόστροφος diesel, αεριοστρόβιλους και ατμοστροβίλους)

$m$  = τύπος καυσίμου, (bunker fuel oil, marine diesel oil/marine gas oil (MDO/MGO), LNG, gasoline),

$p$  = φάση λειτουργίας πλοίου (πλεύση (cruising), ελιγμοί (maneuvering), ελλιμενισμός (hotelling).

### 3. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ



Εικόνα 7 IMO-ΕΕ οδικός χάρτης

#### 3.1. Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO)

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ιδρύθηκε το 1948 με αρχική ονομασία ως Διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Συμβουλευτικός Οργανισμός (IMCO - Intergovernmental Maritime Consultative Organization). Το 1982 μετονομάστηκε σε International Maritime Organization και η συνέλευσή του συνεδριάζει μια φορά κάθε δύο χρόνια.

Η Σύμβαση του IMO τέθηκε σε ισχύ το 1958 και ο νέος Οργανισμός συγκροτήθηκε για πρώτη φορά το επόμενο έτος. Οι σκοποί του Οργανισμού, όπως συνοψίζονται στο άρθρο 1(α) της Σύμβασης, είναι «να παρέχει μηχανισμούς συνεργασίας μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και πρακτικών που σχετίζονται με τεχνικά θέματα κάθε είδους που επηρεάζουν τη ναυτιλία που δραστηριοποιείται στο διεθνές εμπόριο, ενθαρρύνουν και διευκολύνουν τη γενική υιοθέτηση των υψηλότερων πρακτικών προτύπων σε θέματα που αφορούν στην ασφάλεια στη θάλασσα, στην αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας και στην πρόληψη και στον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία».

Ο Οργανισμός έχει επίσης την εξουσία να ασχολείται με διοικητικά και νομικά θέματα που σχετίζονται με αυτούς τους σκοπούς. Το πρώτο καθήκον του IMO ήταν να υιοθετήσει μια νέα έκδοση της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), τη σημαντικότερη από όλες τις συνθήκες που αφορούν την ασφάλεια στη θάλασσα. Αυτό επιτεύχθηκε το 1960 και ο IMO έστρεψε τότε την προσοχή του σε θέματα όπως η διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας, οι γραμμές φόρτωσης και η μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων, ενώ αναθεωρήθηκε το σύστημα μέτρησης της χωρητικότητας των πλοίων.

Άλλες πολιτικές του IMO αφορούν στους Κανόνες Ασφάλειας Πλοίων και Λιμένος (ISPS), στο Παγκόσμιο Ναυτιλιακό Σύστημα Κινδύνου και Ασφάλειας (GMDSS) και η σημαντικότερη αφορά στη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία, του 1973, όπως τροποποιήθηκε από το σχετικό Πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL 73/78). Καλύπτει όχι μόνο την τυχαία και λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο αλλά και τη ρύπανση από χημικά, από εμπορεύματα σε συσκευασμένη μορφή, από λύματα, από σκουπίδια και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο IMO ανέλαβε επίσης το καθήκον να δημιουργήσει ένα σύστημα αποζημίωσης σε όσες χώρες είχαν προσβληθεί από τη ρύπανση. Εγκρίθηκαν δύο συνθήκες, το 1969 και το 1971, οι οποίες επέτρεψαν στα θύματα της πετρελαϊκής ρύπανσης να λάβουν αποζημίωση πολύ πιο απλά και γρήγορα από ό,τι ήταν δυνατόν πριν. Και οι δύο συνθήκες τροποποιήθηκαν το 1992, και ξανά το 2000, για να αυξηθούν τα όρια αποζημίωσης που καταβάλλονται στα θύματα της ρύπανσης. Έκτοτε έχουν αναπτυχθεί διάφορες άλλες νομικές συμβάσεις, οι περισσότερες από τις οποίες αφορούν θέματα ευθύνης και αποζημίωσης.

Στον IMO συμμετέχουν 156 κράτη και εκπροσωπούν το 99,42% της παγκόσμιας ναυτιλιακής δυναμικότητας (tonnage). (IMO.org)

### **3.1.1. Στρατηγική IMO για τη μείωση ρύπων – Νομοθετικό πλαίσιο**

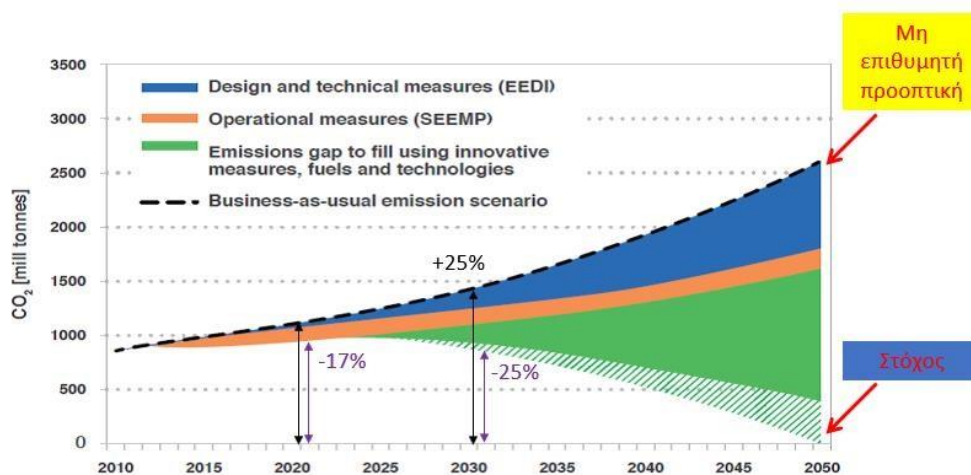
Η Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στην τελευταία σύνοδό της που πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο το 2018, υιοθέτησε μία στρατηγική που ως στόχο έχει τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλία κατά 50% έως το 2050 σε

σύγκριση με το 2008. Η μέση ένταση του άνθρακα πρέπει να μειωθεί κατά 40% έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050, σε σύγκριση με το 2008.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι πρέπει να ληφθούν τα εξής μέτρα:

- Να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση των πλοίων
  - Να εισαχθούν νέες τεχνολογίες και καύσιμα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα
- Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) θα εισαγάγει ένα συνδυασμό τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων τα οποία διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (IOBE, 2022)

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις του παγκόσμιου εμπορίου για μεταφορές αγαθών (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα) θα πρέπει να συνοδευθούν από ριζική μείωση των αντίστοιχων ρύπων. Σε σχέση με το 2020, το 2030 οι απαιτήσεις για τις θαλάσσιες μεταφορές, επομένως και οι αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις, αναμένεται να αυξηθούν κατά 25% (μεταβολή +25%), η αντίστοιχη ρύπανση πρέπει να μειωθεί κατά 25% μεταβολή -25%) (ΕΜΠ, 2022)



Εικόνα 8 Καμπύλες αέριων ρύπων από τη ναυτιλία με στόχο το 2050 (ΕΜΠ, 2022)

### 3.1.2. Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (ΜΕΡC)

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (ΜΕΡC) είναι μία Επιτροπή του ΙΜΟ που ασχολείται με περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως τον έλεγχο και

την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία που καλύπτεται από τη συνθήκη MARPOL, συμπεριλαμβανομένου του πετρελαίου, των χημικών που μεταφέρονται χύμα, των λυμάτων, των σκουπιδιών και των εκπομπών από τα πλοία, συμπεριλαμβανομένων των ατμοσφαιρικών ρύπων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Άλλα θέματα που καλύπτονται περιλαμβάνουν τη διαχείριση θαλασσίου έρματος, τα συστήματα αντιρρύπανσης, την ανακύκλωση πλοίων, την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση της ρύπανσης και τον προσδιορισμό θαλάσσιων περιοχών ως περιοχών ελέγχου ρύπων.

### **3.1.3. Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη και Αντιμετώπιση της ρύπανσης (MARPOL 73/78 – Παράρτημα VI)**

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από πλοία (Marpol) αποτελεί το βασικό νομικό εργαλείο του IMO, το οποίο θεσπίστηκε το 1973 καθώς και το Πρωτόκολλο του 1978, τα οποία ανανεώνεται τακτικά. Στην Ελλάδα η Σύμβαση κυρώθηκε με το Νόμο 1269/1982 και συμπληρώθηκε με το Νόμο 3104/2003 (άρθρο 2) ο οποίος κυρώνει το Πρωτόκολλο του 1997 (Παράρτημα VI).

Η Σύμβαση περιλαμβάνει κανονισμούς που έχουν ως στόχο στην πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από πλοία και αφορά τη ρύπανση από ατύχημα όσο και από τις συνήθεις λειτουργίες των πλοίων.

Περιλαμβάνει έξι τεχνικά παραρτήματα, καθένα εκ των οποίων περιέχει κανονισμούς για συγκεκριμένη μορφή ρύπανσης ως εξής:

Παράρτημα I : Πετρελαιοειδή μίγματα και κατάλοιπα, (τέθηκε σε ισχύ 2.10.83)

Παράρτημα II: Επιβλαβείς υγρές ουσίες χύδην,( τέθηκε σε ισχύ 6.4.87)

Παράρτημα III: Επικίνδυνα συσκευασμένα φορτία, (τέθηκε σε ισχύ 1.7.92)

Παράρτημα IV: Λύματα, (τέθηκε σε ισχύ 27.9.2003)

Παράρτημα V: Στερεά απορρίμματα, (τέθηκε σε ισχύ 31.12.1988)

Παράρτημα VI: Αέρια ρύπανση (τέθηκε σε ισχύ 19.5.2005).

### **Παράρτημα VI**

Το Παράρτημα VI της Marpol, έχει θέσει ως προτεραιότητα τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών ρύπων από τα πλοία και περιέχει διάφορους κανονισμούς. Οι εκπομπές των πλοίων από το χώρο του μηχανοστασίου περιέχουν και άλλους

επιβλαβείς ρύπους όπως μονοξειδίο του άνθρακα και τα αιωρούμενα σωματίδια. Ειδικότερα, το Παράρτημα περιέχει κανονισμούς για τη μείωση των αέριων εκπομπών των ουσιών που καταστρέφουν το όζον, των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), των αιρούμενων σωματιδίων (PM) και των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) των καυσαερίων που παράγονται από τη συνήθη λειτουργία των πλοίων. Στα πλοία πρέπει να υπάρχουν βιβλία, εγχειρίδια, σχέδια και πιστοποιητικά τα οποία πρέπει να τηρούνται και αυτά είναι:

1. Βιβλίο καταγραφής ουσιών που καταστρέφουν το όζον
2. Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (International Air Pollution Certificate -Δ.Π.Π.Ρ.Α.)
3. Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate)
4. Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan- S.E.E.M.P.)
5. Δήλωση Συμμόρφωσης-Αναφορά κατανάλωσης καυσίμου (Statement of Compliance- Fuel Oil Consumption Reporting)

#### Βιβλίο καταγραφής ουσιών που καταστρέφουν το όζον - Κανονισμός 12.2

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 12.2 απαγορεύονται οποιεσδήποτε ηθελημένες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Οι ηθελημένες εκπομπές περιλαμβάνουν εκπομπές που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια της συντήρησης, του προγραμματισμένου ελέγχου επισκευής ή διάθεσης συστημάτων ή εξοπλισμού, εκτός και αν αυτές οι ηθελημένες εκπομπές δεν περιλαμβάνουν ελάχιστες διαρροές που συνδέονται με την ανάκτηση ή ανακύκλωση μίας ουσίας που καταστρέφει το όζον.

Στις ουσίες που καταστρέφουν το όζον, και οι οποίες μπορεί να βρεθούν στο πλοίο περιλαμβάνονται σε αυτές:

- Αλόνιο/Halon 1211 Βρωμοχλωροδιφθορομεθάνιο
- Αλόνιο/Halon 1301 Βρωμοτριφθορομεθάνιο
- Αλόνιο/Halon 2402 1,2 – Δίβρωμο – 1,1,2,2, - τετραφθοροαιθάνιο (γνωστό ως Χάλον 11482)
- CFC -11 Τριχλωροδιφθορομεθάνιο
- CFC – 12 Διχλωροδιφθορομεθάνιο

- CFC – 113 1,1,2 – Τρίχλωρο – 1,2,2 – τριφθοροαιθάνιο
- CFC – 114 1,2 Δίχλωρο – 1,1,2,2 – τετραφθοροαιθάνιο
- CFC – 115 Χλωροπενταφθοροαιθάνιο

Απαγορεύεται η εγκατάσταση εξοπλισμού που περιέχει ουσίες που καταστρέφουν το όζον, εκτός από χλωροφθοριομένους υδρογονάνθρακες (HCFCs):

- α) σε πλοία που έχουν κατασκευαστεί την ή μετά την 19η Μαΐου 2005 ή
- β) στην περίπτωση πλοίων που έχουν κατασκευαστεί πριν από την 19η Μαΐου 2005 και τα οποία έχουν συμβατική ημερομηνία παράδοσης του εξοπλισμού στο πλοίο την ή μετά την 19η Μαΐου 2005 ή, ελλείψει συμβατικής ημερομηνίας παράδοσης, πραγματική παράδοση του εξοπλισμού στο πλοίο την ή μετά την 19η Μαΐου 2005.

Απαγορεύεται επίσης η εγκατάσταση εξοπλισμού που περιέχει χλωροφθοριομένους υδρογονάνθρακες (HCFCs):

- α) σε πλοία που έχουν κατασκευαστεί την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2020 ή
- β) στην περίπτωση πλοίων που έχουν κατασκευαστεί πριν την 1η Ιανουαρίου 2020 και που έχουν συμβατική ημερομηνία παράδοσης του εξοπλισμού στο πλοίο την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2020, ή, ελλείψει συμβατικής ημερομηνίας παράδοσης, πραγματική παράδοση του εξοπλισμού στο πλοίο την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2020.

Τόσο οι ουσίες που καταστρέφουν το όζον και αναφέρονται στον Κανονισμό 12 όσο και ο εξοπλισμός που περιέχει αυτές τις ουσίες, παραδίδονται σε κατάλληλες ευκολίες υποδοχής. Κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 GT και άνω πρέπει στο Συμπλήρωμα του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα να αναγράφει τον εξοπλισμό που φέρει το πλοίο και που αυτός ο εξοπλισμός περιέχει ουσίες που καταστρέφουν το όζον. Επιπλέον, εφόσον το πλοίο αυτό έχει επαναφορτιζόμενα συστήματα που περιέχουν ουσίες που καταστρέφουν το όζον θα τηρεί Βιβλίο Καταγραφής Ουσιών που Καταστρέφουν το Όζον. Αυτό το Βιβλίο μπορεί να αποτελεί μέρος του υπάρχοντος Ημερολογίου Πλοίου ή του Ηλεκτρονικού Συστήματος Καταγραφής όπως έχει εγκριθεί από τη Αρχή.

Οι καταχωρήσεις στο Βιβλίο Ουσιών που Καταστρέφουν το Όζον καταγράφονται με όρους μάζας (Kg) ουσίας και συμπληρώνονται χωρίς καθυστέρηση σε κάθε περίπτωση, που πραγματοποιείται:

1. επαναπλήρωση, πλήρη ή μερική, εξοπλισμού που περιέχει ουσίες που καταστρέφουν το όζον,
2. επισκευή ή συντήρηση εξοπλισμού που περιέχει ουσίες που καταστρέφουν το όζον,

3. απόρριψη ουσιών που μειώνουν το όζον στην ατμόσφαιρα (ηθελημένη και μη ηθελημένη)
4. απόρριψη ουσιών που μειώνουν το όζον σε εγκαταστάσεις υποδοχής στην ξηρά,
5. προμήθεια ουσιών που μειώνουν το όζον στο πλοίο.

Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (International Air Pollution Certificate -Δ.Π.Π.Α.) – Κανονισμός 6

Το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (Δ.Π.Π.Α.) προβλέπεται από τον Κανονισμό 6 του Παραρτήματος VI της ΔΣ MARPOL. Το συγκεκριμένο πιστοποιητικό περιλαμβάνει συμπληρωματικές πληροφορίες αναφορικά με τον εξοπλισμό που φέρει για την εφαρμογή των διατάξεων του Παραρτήματος VI της Σύμβασης Marpol, ενώ ο τύπος του περιέχεται στο Προσάρτημα I του εν λόγω Παραρτήματος. Εκδίδεται από την Αρχή ή από κάθε πρόσωπο ή οργανισμό αρμοδίως εξουσιοδοτημένο από αυτήν μετά από αρχική επιθεώρηση ή επιθεώρηση ανανέωσης σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού 5, για μια χρονική περίοδο που δεν υπερβαίνει τα πέντε (05) έτη. Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα δεν εκδίδεται για πλοίο το οποίο φέρει σημαία κράτους που δεν είναι Μέρος στο Παράρτημα VI της Σύμβασης.

Με το εν λόγω διεθνές πιστοποιητικό εφοδιάζεται κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 GT και άνω που εκτελεί ταξίδια σε λιμάνια ή θαλάσσιους τερματικούς σταθμούς πέραν της ακτής που βρίσκονται στη δικαιοδοσία άλλων Κρατών-Μερών καθώς και κάθε πλατφόρμα ή εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου, η οποία εκτελεί ταξίδια σε ύδατα που βρίσκονται στην δικαιοδοσία άλλων Κρατών Μερών. (Εγκύκλιος ΥΝΑΝΠ, 2020)

Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (International Energy Efficiency Certificate- Δ.Π.Ε.Α.)- Κανονισμός 6.4

Το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (International Energy Efficiency Certificate – Δ.Π.Ε.Α.) προβλέπεται από τον Κανονισμό 6.4. Το εν λόγω πιστοποιητικό περιλαμβάνει πληροφορίες αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση του πλοίου, όπως είναι ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (E.E.D.I.). Ο τύπος του πιστοποιητικού περιέχεται στο Προσάρτημα VIII του εν λόγω Παραρτήματος.

Εκδίδεται από την Αρχή ή από κάθε πρόσωπο ή οργανισμό αρμοδίως εξουσιοδοτημένο από αυτήν μετά από μια επιθεώρηση σύμφωνα με τις διατάξεις του κανονισμού 5.4 του Παραρτήματος VI για κάθε νέο πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 GT και πάνω πριν το πλοίο αυτό εκτελέσει πλόες προς λιμάνια ή θαλάσσιους τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία άλλων Μερών. Ως νέο πλοίο σύμφωνα με τον Κανονισμό 2, ορίζεται το πλοίο το οποίο έχει σύμβαση ναυπήγησης υπογεγραμμένη την ή μετά την 01-01-2013 ή βρίσκεται σε παρόμοιο στάδιο κατασκευής την ή μετά τη 01-07-2013 ή η παράδοσή του έγινε την ή μετά την 01-06-2015.

Το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης έχει ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του πλοίου, ενώ παύει να ισχύει στις εξής περιπτώσεις:

- α) αν το πλοίο αποσύρεται από λειτουργία ή αν ένα νέο πιστοποιητικό έχει εκδοθεί μετά από μετασκευή ευρείας εκτάσεως ή
- β) κατά τη μεταφορά πλοίου σε σημαία άλλου κράτους.

Το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης εκδίδεται μόνο για πλοίο το οποίο φέρει σημαία κράτους που είναι Μέρος στο Παράρτημα VI της Σύμβασης Marpol. (Εγκύκλιος ΥΝΑΝΠ, 2020)

#### Δήλωση Συμμόρφωσης- Αναφορά Κατανάλωσης Καυσίμου (Statement of Compliance- Fuel Oil Consumption Reporting) -Κανονισμός 27

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 27, από το ημερολογιακό έτος 2019, κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 5.000 GT και άνω συλλέγει τα δεδομένα που καθορίζονται στο προσάρτημα IX του Παραρτήματος VI, για το έτος αυτό και για κάθε επόμενο ημερολογιακό έτος ή τμήμα αυτού, ανάλογα με την περίπτωση, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιλαμβάνεται στο Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του πλοίου. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την ετήσια κατανάλωση καυσίμου, την συνολική απόσταση που ταξίδεψε και τις ώρες λειτουργίας του πλοίου. Στο τέλος κάθε ημερολογιακού έτους, το πλοίο αθροίζει τα δεδομένα που συλλέγει στο έτος αυτό ή μέρος αυτού ανάλογα με την περίπτωση. Εντός τριών (03) μηνών μετά το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους, το πλοίο αναφέρει στη Αρχή του ή σε κάθε οργανισμό δεόντως εξουσιοδοτημένο από αυτήν το συνολικό ποσό για κάθε δεδομένο που προσδιορίζεται στο προσάρτημα IX του Παραρτήματος VI, μέσω ηλεκτρονικής επικοινωνίας χρησιμοποιώντας ένα τυποποιημένο μορφότυπο που

αναπτύσσεται από τον IMO. Τα δεδομένα επαληθεύονται με βάση τις διαδικασίες που έχει θεσπίσει η Αρχή, λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες οδηγίες που αναπτύσσονται από τον Οργανισμό.

Με την παραλαβή των αναφερόμενων στοιχείων η Αρχή ή οποιοσδήποτε οργανισμός δεόντως εξουσιοδοτημένος από αυτή αποφασίζει εάν τα στοιχεία έχουν αναφερθεί σύμφωνα με τον κανονισμό 27 αυτού του Παραρτήματος και, εάν ναι, εκδίδει Δήλωση Συμμόρφωσης σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου όχι αργότερα από πέντε (05) μήνες από την έναρξη του ημερολογιακού έτους.

Η Δήλωση Συμμόρφωσης συντάσσεται σε έντυπο σύμφωνα με το υπόδειγμα που παρατίθεται στο προσάρτημα X του Παραρτήματος VI της Σύμβασης, έχει ισχύ για το ημερολογιακό έτος κατά το οποίο εκδίδεται και για τους πρώτους πέντε (05) μήνες του επόμενου ημερολογιακού έτους.

Όλες οι Δηλώσεις Συμμόρφωσης τηρούνται επί του πλοίου τουλάχιστον για την χρονική περίοδο που είναι σε ισχύ. (Εγκύκλιος ΥΝΑΝΠ, 2020)

#### 3.1.3.1 Κανονισμός 13– Οξείδια του Αζώτου NOx

Ο Κανονισμός 13 θέτει τα όρια στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) από τις ναυτικές μηχανές ντίζελ, τα οποία διακρίνονται σε τρεις «βαθμίδες» (Tiers).

Ο τρόπος εφαρμογής αυτών των βαθμίδων εξαρτάται από την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου (ή την ημερομηνία εγκατάστασης των πρόσθετων ή μη ταυτόσημων μηχανών αντικατάστασης) και την ονομαστική ταχύτητα της μηχανής (n=περιστροφές στροφαλοφόρου άξονα/λεπτό, rpm).

Τα όρια της βαθμίδας I έχουν εφαρμογή σε:

- Κάθε ναυτική μηχανή ντίζελ με απόδοση ισχύος άνω των 130 KW εγκατεστημένη επί πλοίου
- Κάθε ναυτική μηχανή ντίζελ με απόδοση ισχύος άνω των 130 kw που υπόκειται σε μετασκευή ευρείας έκτασης την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000 εκτός όταν αποδεικνύεται προς ικανοποίηση της Αρχής ότι αυτή η μηχανή είναι ακριβώς ίδια με αυτή που αντικαθιστά.
- Κάθε ναυτική μηχανή ντίζελ με απόδοση ισχύος άνω των 5.000 kw και εκτόπισμα ανά κύλινδρο ίσο με ή άνω των 90 λίτρων εγκατεστημένη επί πλοίου που

έχει κατασκευαστεί την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 1990 αλλά πριν την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000.

Τα όρια της βαθμίδας II έχουν εφαρμογή σε κάθε ναυτική μηχανή ντίζελ με απόδοση ισχύος άνω των 130 kw εγκατεστημένης σε πλοίο που έχει κατασκευαστεί την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2011.

Τα όρια της βαθμίδας III έχουν εφαρμογή σε κάθε ναυτική μηχανή ντίζελ με απόδοση ισχύος άνω των 750 kw εγκατεστημένης σε πλοίο που έχει κατασκευαστεί την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2016 και δραστηριοποιείται εντός των ECA, της Βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής θάλασσας Ηνωμένων Πολιτειών ή έχει κατασκευαστεί την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2021 και δραστηριοποιείται στην περιοχή της Βαλτικής ή της Βόρειας Θάλασσας. Εντός κάθε ECA η βαθμίδα III θα εφαρμόζεται σε πλοία που έχουν κατασκευαστεί την ή μετά την ημερομηνία που η απόφαση του IMO για ανακήρυξη ECA διανεμηθεί στα Μέρη της Σύμβασης προς υιοθέτηση. Εναλλακτικά ο IMO μπορεί να καθορίσει μία μεταγενέστερη ημερομηνία κατά την οποία προσδιορίζεται η ECA. (imo.org)

Πίνακας 3 Όρια εκπομπής NOx

Πίνακας : Όρια εκπομπής Nox

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh)		
		n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	45·n(-0.2) e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	44·n(-0.23) e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	9·n(-0.2) e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

### 3.1.3.2 Κανονισμός 15 - Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

Ο Κανονισμός 15 αφορά στα δεξαμενόπλοια και οι κυριότερες διατάξεις αφορούν:

- Το Μέρος που ρυθμίζει νομοθετικά δεξαμενόπλοια για τις εν λόγω εκπομπές, θα υποβάλλει γνωστοποίηση στον Οργανισμό, όπου θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των δεξαμενοπλοίων που θα ελέγχονται, τα φορτία στα οποία απαιτούνται συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών και την ημερομηνία ενεργοποίησης αυτών των ελέγχων. Η γνωστοποίηση θα υποβάλλεται τουλάχιστον έξι μήνες πριν από την ημερομηνία ενεργοποίησης.
- Ένα δεξαμενόπλοιο θα εφοδιάζεται με σύστημα περισυλλογής εκπομπών ατμών εγκεκριμένο από την Αρχή, λαμβάνοντας υπόψη τα πρότυπα ασφαλείας για αυτά τα συστήματα που αναπτύχθηκαν από τον Οργανισμό (Απόφαση MSC/Circ.585) και θα χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα κατά τη διάρκεια φόρτωσης σχετικών φορτίων. Λιμένας ή τερματικός σταθμός που έχει εγκαταστήσει συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών σύμφωνα μ' αυτόν τον κανονισμό, δύναται να δέχεται υπάρχοντα δεξαμενόπλοια που δεν έχουν εφοδιασθεί με συστήματα περισυλλογής ατμών για μία περίοδο τριών ετών μετά την ημερομηνία ενεργοποίησης.
- Δεξαμενόπλοιο που μεταφέρει αργό πετρέλαιο θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο και να εφαρμόζει ένα Σχέδιο Διαχείρισης εγκεκριμένο από την Αρχή. Αυτό το σχέδιο θα ετοιμάζεται λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες που αναπτύσσονται από τον Οργανισμό. Το σχέδιο θα είναι συγκεκριμένο για κάθε πλοίο και κατ' ελάχιστο θα προβλέπει γραπτές διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση εκπομπών στη διάρκεια φόρτωσης, θαλάσσιας διέλευσης και απόρριψης φορτίου, θα λαμβάνει υπόψη τις πρόσθετες εκπομπές που προκύπτουν από την πλύση αργού πετρελαίου και θα αναγνωρίζει ένα άτομο υπεύθυνο για την εφαρμογή του σχεδίου.

### 3.1.3.3 Κανονισμός 16 - Αποτέφρωση στο πλοίο

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 16 απαγορεύεται η αποτέφρωση στο πλοίο των παρακάτω ουσιών:

- i. Υπολείμματα φορτίου των Παραρτημάτων I, II ή III ή σχετιζόμενα υλικά συσκευασίας
- ii. Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)

- iii. Απορρίμματα, όπως ορίζονται στο Παράρτημα V, που περιέχουν περισσότερο από ίχνη βαρέων μετάλλων
- iv. Προϊόντα διύλισης πετρελαίου που περιέχουν αλογομένες ενώσεις
- v. Επεξεργασμένα λύματα και βαρέα κατάλοιπα καυσίμου πετρελαίου, κανένα από τα οποία δεν δημιουργήθηκε επί του πλοίου και
- vi. Υπολείμματα συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων

Πέραν των ανωτέρω απαγορεύσεων οι κυριότερες διατάξεις του Κανονισμού είναι:

- Η αποτέφρωση πάνω στο πλοίο πολυβινυλοχλωριδίων (PVCs) απαγορεύονται, εκτός εάν λαμβάνει χώρα σε αποτεφρωτήρες για τους οποίους έχουν εκδοθεί Πιστοποιητικά Έγκρισης Τύπου IMO.
- Αποτέφρωση στο πλοίο επεξεργασμένων λυμάτων ή βαρέων καταλοίπων καυσίμου πετρελαίου που παράγονται κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ενός πλοίου μπορεί επίσης να λάβει χώρα στην κύρια ή βοηθητική μονάδα παραγωγής ισχύος ή στους λέβητες, αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις δεν θα λάβει χώρα εντός λιμανιών, και εκβολών ποταμών.
- Κάθε αποτεφρωτήρας που εγκαθίσταται πάνω σε ένα πλοίο, το οποίο έχει κατασκευαστεί κατά την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000 ή αποτεφρωτήρας που εγκαθίσταται επί πλοίου κατά την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000 θα εγκρίνεται από την Αρχή λαμβάνοντας υπόψη τις πρότυπες προδιαγραφές για αποτεφρωτήρες πλοίων που έχουν αναπτυχθεί από τον Οργανισμό.
- Αποτεφρωτήρες που εγκαθίστανται σε πλοίο που υπόκειται στην έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα, θα εφοδιάζονται με εγχειρίδιο λειτουργίας του κατασκευαστή που πρέπει να διατηρείται στη μονάδα στο οποίο θα εξειδικεύεται η λειτουργία του αποτεφρωτήρα εντός των εγκεκριμένων ορίων.
- Για αποτεφρωτήρες που εγκαθίσταται σε πλοίο που υπόκειται στην έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα, η θερμοκρασία εξόδου αερίων του θαλάμου καύσης θα παρακολουθείται συνέχεια όταν η μονάδα είναι σε λειτουργία. Αν ο αποτεφρωτήρας είναι του τύπου συνεχούς τροφοδοσίας, τα απορρίμματα δεν θα τροφοδοτούνται στη μονάδα όταν η θερμοκρασία εξόδου αερίων θαλάμου καύσης είναι κάτω των 800° C. Αν ο αποτεφρωτήρας είναι μη συνεχούς τροφοδοσίας, η μονάδα θα σχεδιάζεται κατά τρόπο ώστε η θερμοκρασία εξόδου αερίων

θαλάμου καύσης θα φτάνει τους 600° C μέσα σε πέντε λεπτά από την εκκίνηση και στη συνέχεια θα σταθεροποιείται σε θερμοκρασία όχι κάτω των 850° C.

#### 3.1.3.4. Κανονισμός 18 - Διαθεσιμότητα και ποιότητα καύσιμου πετρελαίου

Οι διατάξεις του κανονισμού 18 αφορούν στη διαθεσιμότητα, στην ποιότητα και στις διαδικασίες παράδοσης και ελέγχου του καύσιμου πετρελαίου. Οι κυριότερες διατάξεις είναι:

Κάθε μέρος θα λαμβάνει όλα τα εύλογα μέτρα προώθησης της διαθεσιμότητας των εγκεκριμένων καυσίμων πετρελαίου και θα πληροφορεί τον Οργανισμό για τη διαθεσιμότητα των συμμορφούμενων καυσίμων πετρελαίου στους λιμένες.

Το Καύσιμο πετρελαίου που παραδίδεται και χρησιμοποιείται στα πλοία τα οποία υπόκειται στους κανονισμούς του Παραρτήματος VI θα πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- i. Το καύσιμο πετρελαίου θα είναι μείγμα υδρογονανθράκων που προέρχεται από τη διύλιση του πετρελαίου. Αυτό δεν θα παρεμποδίζει την ύπαρξη μικρών ποσοτήτων πρόσθετων που προορίζονται για βελτίωση από άποψη απόδοσης.
- ii. Το καύσιμο πετρελαίου δεν θα περιέχει ανόργανα οξέα και
- iii. Το καύσιμο πετρελαίου δεν θα περιέχει οποιαδήποτε πρόσθετη ουσία ή χημικό απόβλητο που θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των πλοίων ή επιδρά επιβαρυντικά στη λειτουργία της μηχανής ή είναι επιβλαβής για το προσωπικό ή συνεισφέρει συνολικά σε πρόσθετη ρύπανση του αέρα.
- iv. Καύσιμο πετρελαίου που χρησιμοποιείται για καύση και παράγεται με μεθόδους διαφορετικές από την διύλιση πετρελαίου δεν θα υπερβαίνει την ισχύουσα περιεκτικότητα σε θείο που ορίζεται στον κανονισμό 14 του Παραρτήματος VI, αναγκάζει τη μηχανή να υπερβαίνει τα όρια εκπομπών NO<sub>x</sub> που προβλέπονται στον Κανονισμό 13, περιέχει ανόργανα οξέα ή θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου ή επηρεάζει δυσμενώς την απόδοση των μηχανών, είναι επιβλαβές για το προσωπικό ή συνεισφέρει σε επιπρόσθετη ρύπανση του αέρα.

Αναλυτικά στοιχεία του καυσίμου πετρελαίου θα επιβεβαιώνονται μέσω του δελτίου παράδοσης καυσίμου, τα οποία θα πρέπει να φυλάσσονται για τρία έτη μετά την παραλαβή του καυσίμου πετρελαίου, να μπορούν να επιθεωρηθούν από την αρμόδια

Αρχή του Μέρους ενώ το πλοίο βρίσκεται σε λιμένα και θα συνοδεύεται από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του καυσίμου πετρελαίου που παραδόθηκε.

### 3.1.4. Κανονισμός 14 – Οξείδια του θείου SO<sub>x</sub> - Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Ρύπων (ECAs)

Ο Κανονισμός 14 θέτει όρια στην περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων για τον περιορισμό των εκπομπών και εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία. Ο κανονισμός καθορίζει διαφορετικά όρια για όσα πλοία δραστηριοποιούνται εντός και εκτός των περιοχών ECA. Οι περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (Emissions Control Areas) αφορούν παράκτιες περιοχές και λιμένες, όπου οι έλεγχοι είναι πολύ αυστηροί και υπάρχουν περιορισμοί στις εκπομπές αερίων ρύπων (οξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου).

Ως περιοχές ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου SO<sub>x</sub> σύμφωνα με τον Κανονισμό 14, του Παραρτήματος VI της Marpol είναι: η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα, η περιοχή της Β. Αμερικής και η θαλάσσια περιοχή της Καραϊβικής των ΗΠΑ. Σε αυτές τις περιοχές εφαρμόζονται τα όρια για τα οξείδια του θείου και για τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>).

Επισημαίνεται ότι, από 01-01-2020 ισχύει το νέο όριο περιεκτικότητας σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων πετρελαίου (0,50%) σε περιοχές εκτός ελέγχου εκπομπών SO<sub>x</sub> (SO<sub>x</sub> Emission Control Areas- SECAs), ενώ το αντίστοιχο όριο στις περιοχές ελέγχου εκπομπών SO<sub>x</sub> παραμένει στο 0,10%. Δηλαδή ένα πλοίο σε αυτές τις περιοχές μπορεί να χρησιμοποιεί καύσιμο που έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο ή να εγκαταστήσει ένα σύστημα «καθαρισμού» των καυσαερίων, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιεί καύσιμα (κυρίως μαζούτ) που είναι πιο οικονομικά.

Πίνακας 4 Επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων

Περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων %						
		2007	2010	2012	2015	2020
Sulphur content	Non-SECA (World seas)	4.5	-	3.5	-	0.5
	SECA	1.5	1	-	0.1	-

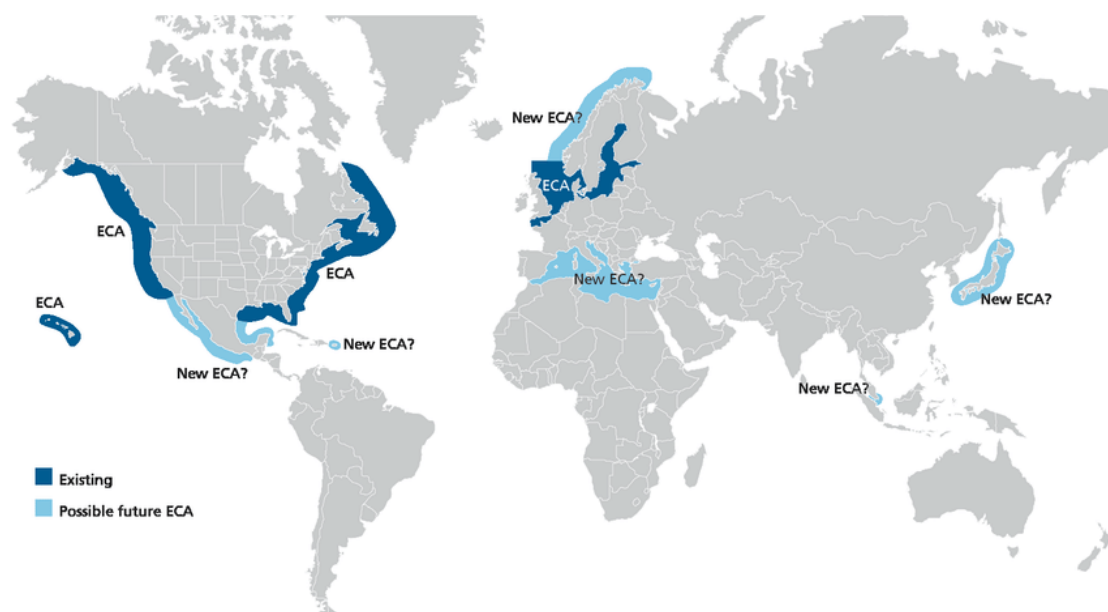
Πολλές συζητήσεις και μελέτες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της Σύμβασης της Βαρκελώνης από τα Μεσογειακά Κράτη, την ΕΕ και τον ΙΜΟ, ώστε η

θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου ή τμήμα της να χαρακτηριστεί ως περιοχή ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου (SOx ECA).

Στην 79<sup>η</sup> Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO που έλαβε χώρα τον Δεκέμβριο 2022, τελικά η Μεσόγειος ορίστηκε ως περιοχή ECA, γεγονός που σηματοδοτεί τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου κατά 80%, και τις εκπομπές μικροσωματιδίων (PM 2,5) κατά 25% με σημαντικά οφέλη στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής η μείωση αυτή θα αποτρέψει 1.000 πρόωρους θανάτους ετησίως και θα μειώσει κατά 2.000 τα νέα κρούσματα παιδικού άσθματος ετησίως.

Οι τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της MARPOL για τη δημιουργία της Μεσογείου ως Περιοχής Ελέγχου Εκπομπών θα τεθούν σε ισχύ την 1η Μαΐου 2024. (EE, 2022)



Εικόνα 9 Χάρτης με περιοχές ECA

### 3.1.5. Μέτρα Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI, SEEMP, EEOI)

Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 4 του αναθεωρημένου Παραρτήματος VI της MARPOL (Κανονισμός 20) που ως στόχο έχει τη μείωση της έντασης του άνθρακα από τη διεθνή ναυτιλία σύμφωνα με τα επίπεδα φιλοδοξίας που έχουν καθοριστεί στην αρχική στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

από τα πλοία, κάθε πλοίο πρέπει να συμμορφώνεται με τις λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις για την ένταση του άνθρακα.

### 3.1.5.1. Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI)

Για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, προτάθηκε από τον IMO η δημιουργία ενός σχεδιαστικού δείκτη που θα έχει εφαρμογή στα νεότευκτα πλοία και θα υπολογίζει πόσο CO<sub>2</sub> εκπέμπει το πλοίο ανά μονάδα μεταφορικού έργου (τόνο – μίλι). Ο δείκτης, Energy Efficiency Design Index -EEDI (Κανονισμός 22) έχει ως κύριο στόχο την απαίτηση ελάχιστου επιπέδου ενεργειακής αποδοτικότητας από τα πλοία εξαρτώμενο από τον τύπο και το μέγεθος αυτών. Ενθαρρύνει μία συνεχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη όλων των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την αποδοτικότητα του καυσίμου ενός πλοίου. Διαχωρίζει τα τεχνικά και τα σχεδιαστικά μέτρα από τα επιχειρησιακά και εμπορικά μέτρα.

Ο EEDI είναι υποχρεωτικός για όλα τα νέα πλοία από 400gt και άνω τα οποία κατασκευάζονται από 1.1.2013 και εκφράζεται από το λόγο:

$$EEDI = \frac{\text{Περιβαλλοντικό κόστος}}{\text{Κοινωνικό όφελος}} \quad \text{ή}$$

$$EEDI = \frac{\text{Συνολικές εκπομπές CO}_2 \text{ (gr)}}{\text{Μεταφορικό έργο (tns.n.m)}}$$

Ο δείκτης EEDI είναι ένας συντελεστής που εκφράζει το λόγο κόστους για το περιβάλλον που οφείλεται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από ένα πλοίο και στο κατά πόσο συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προς το κοινωνικό όφελος που λαμβάνει η κοινωνία από τις μεταφορές των αγαθών μέσω των πλοίων.

Η πρώτη περίοδος των δύο ετών μετά την ημερομηνία ορίζεται ως μηδέν για τα πλοία από 1.1.13 έως 31.12.2014. Εν συνεχεία, ο δείκτης μειώνεται ανά πενταετία σε ποσοστό 10%, από την 1.1.2015 και για τα πλοία που ναυπηγούνται από 1.1.20 έως και 31.12.2024 μειώνεται σε 20% και από 1.1.2025 και μετά μειώνεται κατά 30% και αφορά κάθε τύπο πλοίου σε σχέση με τις αρχικές τιμές των γραμμών αναφοράς.

Οι κανονισμοί επικεντρώνονται μόνο στις επιδόσεις των πλοίων και όχι στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωσή τους. Αυτό επιτρέπει στους σχεδιαστές πλοίων και στους ναυπηγούς να επιλέγουν ελεύθερα τις πιο αποτελεσματικές λύσεις και δίνει κίνητρο για ανάπτυξη ακόμη καλύτερων

τεχνολογιών. Πάνω από το 85% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία προέρχεται από τύπους πλοίων που καλύπτονται από τον EEDI.

Κατά την 76<sup>η</sup> Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC – 10-17/6/2021), αποφασίστηκαν τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL στο Κεφάλαιο 4 καθώς συνίστανται υποχρεωτικές απαιτήσεις για τη μείωση της έντασης του άνθρακα στη ναυτιλία διαμέσου α) της εισαγωγής του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης υφιστάμενου πλοίου (Energy Efficiency Existing Ship Index – EEXI), Κανονισμός 23, 25 και β) της μείωσης της έντασης του άνθρακα (Carbon Intensity Index - CII), Κανονισμός 28, που εκπέμπεται κατά τη λειτουργία του πλοίου για πλοία άνω των 400 gt που διενεργούν διεθνείς πλόες.

Η ένταση του άνθρακα (πιστοποίηση EEXI και CII) συνδέει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με την ποσότητα του φορτίου που μεταφέρεται σε διανυθείσα απόσταση. Τα πλοία βαθμολογούνται σύμφωνα με την ενεργειακή τους απόδοση (A, B, C, D, E - όπου το A είναι το καλύτερο). Ένα πλοίο με βαθμολογία D ή E για τρία συνεχόμενα έτη απαιτείται να υποβάλει σχέδιο διορθωτικών ενεργειών για να δείξει πώς θα επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης (C ή παραπάνω) (Κανονισμός 28.7).

Η πιστοποίηση EEXI και CII ισχύει από την 1η Ιανουαρίου 2023. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη ετήσια έκθεση θα ολοκληρωθεί το 2023, με την πρώτη αξιολόγηση να δίνεται το 2024. Ο IMO σύμφωνα με μια ρήτρα αναθεώρησης, οφείλει να επανεξετάσει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής στις απαιτήσεις CII και EEXI, έως την 1η Ιανουαρίου 2026 το αργότερο, και, εάν είναι απαραίτητο, να προβεί σε περαιτέρω τροποποιήσεις (Κανονισμός 28.11). Οι βασικές προκλήσεις, ωστόσο, είναι η έλλειψη κυρώσεων για τα πλοία που δεν πληρούν βαθμολογίες καλύτερα από το D για τρία συνεχόμενα έτη, τα πλοία που δεν υποβάλλουν πλήρες σχέδιο διορθωτικών ενεργειών ή ότι τα πλοία πληρούν βαθμολογία C κάθε τρίτο χρόνο. Το επίπεδο απόδοσης θα καταγράφεται στο Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου μέρος III (SEEMP III).

#### 3.1.5.2. Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan- S.E.E.M.P.)

Το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου είναι ένα επιχειρησιακό εργαλείο για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου των πλοίων και κατά συνέπεια των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 26 κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 GT και άνω υποχρεωτικά φέρει ένα Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας, το οποίο δύναται να αποτελεί μέρος του Συστήματος Ασφαλούς Διαχείρισης (Safety Management System) του πλοίου. Το εν λόγω σχέδιο, χρησιμοποιείται και για τα νέα και για τα υφιστάμενα πλοία και βασίζεται στις βέλτιστες πρακτικές σε σχέση με την ενεργειακά αποδοτική λειτουργία του πλοίου. Η βελτίωση αυτή δύναται να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους, όπως βελτιστοποίηση της ταχύτητας του πλοίου, πραγματοποίηση αλλαγής πορείας για αντιμετώπιση των δυσμενών καιρικών συνθηκών, καθαρισμός κύτους στη ξηρά, εγκατάσταση μεθόδων ανάκτησης θερμότητας.

Σε πλοία ολικής χωρητικότητας 5000 GT και πάνω (την ή μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2023) το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας θα πρέπει να περιλαμβάνει περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για την συγκέντρωση των δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου σύμφωνα με τον Κανονισμό 28 του Παραρτήματος VI, καθώς και τις διαδικασίες (Κανονισμός 27.1) που χρησιμοποιούνται για την υποβολή της ετήσιας αναφοράς δεδομένων στην Αρχή. Το εν λόγω Σχέδιο διαμορφώνεται για κάθε πλοίο χωριστά, με βάση τις σχετικές κατευθυντήριες οδηγίες του IMO.

Έτσι λοιπόν το SEEMP είναι ένα μέσο για την επίσημη καταγραφή διαδικασιών μέσω των οποίων οι διαχειριστές των πλοίων προσπαθούν να βελτιώσουν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των λειτουργιών τόσο του πλοίου όσο και της εταιρείας. Υπάρχουν τέσσερις διαδικασίες που πρέπει να αντιμετωπίζει το σχέδιο α) σχεδιασμός, β) εφαρμογή γ) παρακολούθηση και δ) αυτοαξιολόγηση και βελτίωση. Κατά την φάση του σχεδιασμού, ο διαχειριστής οφείλει να εξετάζει τις πρακτικές και τη χρήση ενέργειας του κάθε πλοίου με σκοπό τον προσδιορισμό τυχόν ελλείψεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Θα πρέπει να λαμβάνει μέτρα για κάθε πλοίο ξεχωριστά, όπως βελτιστοποίηση της ταχύτητας, λειτουργία μηχανοστασίου κλπ. Μέτρα που καλύπτουν τις ανάγκες και τις απαιτήσεις της εταιρείας όπως βελτιωμένη επικοινωνία, με ναυλωτές, με υπηρεσίες διαχείρισης κυκλοφορίας κλπ. Επίσης πρέπει το προσωπικό της εταιρείας να είναι καταρτισμένο για να υλοποιηθούν αυτοί οι στόχοι.

Κατά τη φάση της εφαρμογής, θα πρέπει να καθορίζονται οι εργασίες και υπεύθυνοι αυτών που απαιτούνται για την επίτευξη του μέτρου.

Για να εκτιμηθεί κατά πόσο τα μέτρα ενεργειακής βελτίωσης επιδρούν πρέπει να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Οι κατευθυντήριες γραμμές της MEPC 213(63) συνιστούν ως ένα διεθνώς καθιερωμένο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του δείκτη ΕΕΟΙ.

Τέλος η αξιολόγηση και η βελτίωση προσδιορίζουν εκτός το πόσο αποτελεσματικό είναι το κάθε μέτρο ενεργειακής βελτίωσης, καθορίζουν το κατά πόσον η διαδικασία με την οποία τίθεται σε εφαρμογή και παρακολούθηση αυτό το μέτρο είναι κατάλληλη και πως μπορεί να βελτιωθεί.

### 3.1.5.3. Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης - Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)

Ο Δείκτης ΕΕΟΙ αφορά στην παρακολούθηση του σχεδίου ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου ο οποίος χρησιμοποιεί τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και το πραγματικό μεταφορικό έργο του πλοίου κατά τη διάρκεια του πλου του.

$$EEOI = \frac{\text{Μάζα CO}_2}{\text{Μεταφορικό έργο}}$$

Για τον καθορισμό του εν λόγω δείκτη ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Καθορισμός της περιόδου για την οποία υπολογίζεται ο ΕΕΟΙ. Τα ταξίδια υπό έρμα (ballast voyages) καθώς και τα ταξίδια που δεν χρησιμοποιούνται για την μεταφορά φορτίου όπως ταξίδια για δεξαμενισμό, ή επισκευές πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και αυτά στον υπολογισμό του ΕΕΟΙ. Ταξίδια που είναι αναγκαία για την ασφάλεια του πλοίου ή για την διάσωση ανθρώπινης ζωής στην θάλασσα δεν συμπεριλαμβάνονται.
- Καθορισμός της πηγής των συλλεγόμενων δεδομένων
- Συλλογή δεδομένων
- Κατάλληλη μορφοποίηση δεδομένων
- Υπολογισμός ΕΕΟΙ

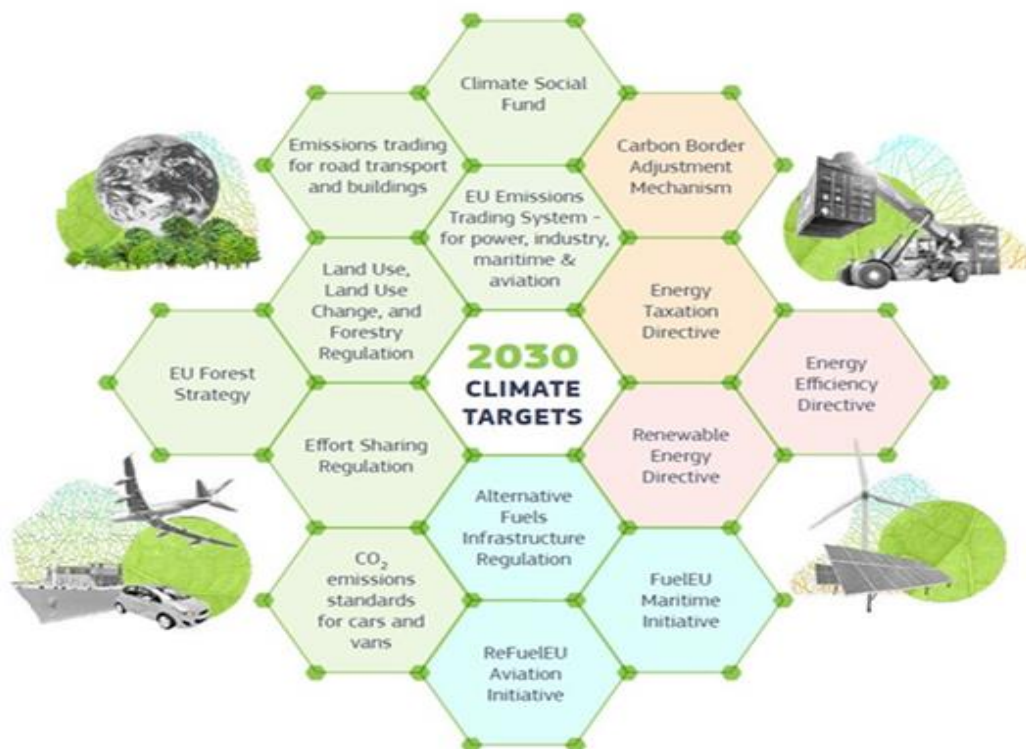
Η μέθοδος καταγραφής πρέπει να είναι ομοιόμορφη και να περιλαμβάνει την διανύομενη απόσταση (όπως αναγράφεται στο ημερολόγιο του πλοίου), την

ποσότητα και τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε η οποία τεκμηριώνεται από τα δελτία παράδοσης του καυσίμου.

Ο Λειτουργικός Δείκτης ΕΕΟΙ, σε αντίθεση με τον ΕΕΔΙ ο οποίος αποτελεί έναν καθαρά σχεδιαστικό δείκτη και εκφράζει μία θεωρητική τιμή, ο ΕΕΟΙ εκφράζει την πραγματική τιμή που επηρεάζεται από τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου.

### 3.2. Ευρωπαϊκή Ένωση - Νομοθετική Δέσμη Μέτρων “Fit for 55”

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιούλιο του 2021, ανακοίνωσε δέσμη προτάσεων (Fit for 55’) στους τομείς ενέργειας, του περιβάλλοντος, της φορολογίας, του εμπορίου και των μεταφορών, για προσαρμογή των κοινοτικών πολιτικών με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990 και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας (net zero emissions) έως το 2050.



Εικόνα 10 Ε.Ε. δέσμη προτάσεων Fit for 55’

Στον τομέα των θαλασσίων μεταφορών στα νομοθετήματα που πρόκειται να αναθεωρηθούν περιλαμβάνονται οδηγίες και κανονισμοί που αφορούν στην επέκταση

του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) της ΕΕ, στην Πρωτοβουλία FuelEU Maritime, στον κανονισμό για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων (Alternative Fuels Infrastructure Regulation - AFID), στην Οδηγία Φορολογίας Ενέργειας (Energy Taxation Directive - ETD).

### **3.2.1 Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων**

Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ETS) της ΕΕ είναι μια αγορά άνθρακouxων εκπομπών η οποία στηρίζεται στο σύστημα ανώτατων ορίων και δικαιωμάτων εμπορίας και αφορά στις ενεργοβόρες βιομηχανίες καθώς και στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Με το εν λόγω Σύστημα οι εκπομπές στην ΕΕ έχουν μειωθεί περίπου 41% από το 2005. Κάθε δικαίωμα καλύπτει την εκπομπή 1 τόνου CO<sub>2</sub> ή ισοδύναμου CO<sub>2</sub> για συγκεκριμένη περίοδο.

Οι θαλάσσιες μεταφορές είχε συμφωνηθεί να ενταχθούν σταδιακά στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ), από το 2023 με μεταβατική περίοδο κατά την οποία θα αυξάνεται το ποσοστό των εκπομπών που θα πρέπει να καλύπτεται με δικαιώματα. Αυτό το σύστημα ευθυγραμμίζεται με το σύστημα παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα (MRV). Για το έτος 2023 θα πρέπει να καλύπτεται το 20%, για το έτος 2024 το 45% και για το έτος 2025 το 70%, έως ότου φτάσει το 100% στο τέλος της μεταβατικής περιόδου το 2026. (IOBE, 2022).

Σύμφωνα με την Οδηγία 2003/87 περί του συστήματος εμπορίας ρύπων, τα πρόστιμα θα επιβάλλονται στα πλοία ρυπογόνας τεχνολογίας (δηλαδή σ' αυτά που κινούνται με συμβατικά καύσιμα) με συνεχείς προσαυξήσεις ανά διετία έως το 2030. Τα πρόστιμα αυτά έχουν ως στόχο να προτρέψουν τους πλοιοκτήτες να επενδύσουν σε πλοία νέας τεχνολογίας φιλικά προς το περιβάλλον (είτε με νέες ναυπηγήσεις, είτε με μετασκευές των υπαρχόντων). Τα έσοδα από τη φορολόγηση των ρύπων θα καταλήγουν στο Ταμείο Καινοτομίας, το οποίο αποσκοπεί στην αξιοποίηση των εσόδων για τη στήριξη της εμπορικής επίδειξης καινοτόμων τεχνολογιών χαμηλών άνθρακouxων εκπομπών.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο κατά τη διάσκεψη της 18.12.2022, συμφώνησαν στα εξής ποσοστά παράδοσης δικαιωμάτων για τις

ναυτιλιακές εταιρίες: 40% για εξακριβωμένες εκπομπές από το 2024, 70% για το 2025 και 100% για το 2026. Επίσης συμφώνησαν ότι όλα τα πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 5.000 τόνων θα συμπεριληφθούν στο ΣΕΔΕ της ΕΕ από το 2027. Τα πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου και τα πλοία ολικής χωρητικότητας 400 – 5.000 τόνων η ένταξή τους στο Σύστημα Ε.Δ.Ε θα επανεξεταστεί το 2026.

Η συμφωνία λαμβάνει υπόψη τις γεωγραφικές ιδιαιτερότητες και προτείνει μεταβατικά μέτρα για τα μικρά νησιά, για τα πλοία κλάσης πάγου και τους πλόες που αφορούν κυρίως απόκεντρες περιοχές και υποχρεώσεις παροχής δημόσιας υπηρεσίας.

Ορισμένα κράτη μέλη με σχετικά μεγάλο αριθμό ναυτιλιακών εταιρειών θα λάβουν επιπρόσθετα το 3,5 % του ανώτατου ορίου των πλειστηριαζόμενων δικαιωμάτων προς κατανομή μεταξύ τους. Επιπρόσθετα συμφώνησαν να συμπεριληφθούν οι εκπομπές εκτός διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου (N<sub>2</sub>O) στο ΣΕΔΕ της ΕΕ από το 2026, κατόπιν ένταξης στο σύστημα MRV το 2024. ([www.consilium.europa.eu](http://www.consilium.europa.eu)) Επίσης η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόσφατα δήλωσε ότι δεσμεύονται από το Ταμείο Καινοτομίας (Innovation Fund) 20 εκατομμύρια δικαιώματα έως το 2030 με στόχο να αποδοθούν αποκλειστικά για την κάλυψη αναγκών της ναυτιλίας.

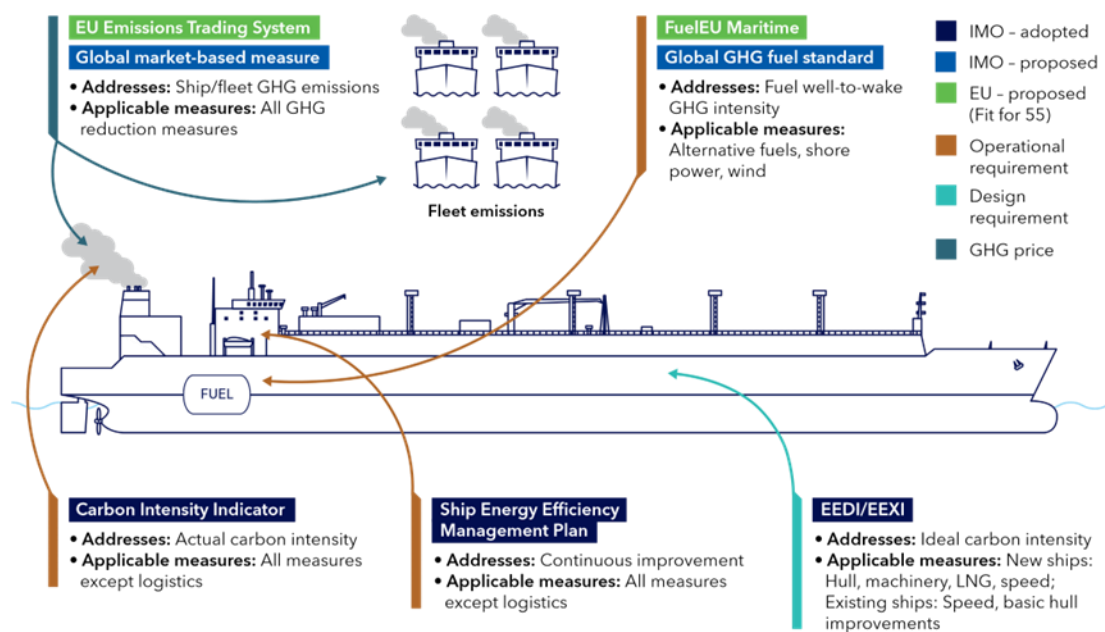
### ***3.2.2. Πρόταση Κανονισμού για τη χρήση ανανεώσιμων και χαμηλών εκπομπών άνθρακα καυσίμων (FuelEU Maritime Regulation)***

Στα πλοία που προσεγγίζουν σε ευρωπαϊκά λιμάνια (κατάπλους, απόπλους, παραμονή εντός λιμένων), σύμφωνα με την Πρόταση Κανονισμού για τη χρήση ανανεώσιμων και χαμηλών εκπομπών άνθρακα (FuelEU Maritime), καθορίζονται ανώτατα όρια ένταξης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των καυσίμων που χρησιμοποιούν. Αυτά τα όρια προσδιορίζονται εφαρμόζοντας συντελεστή μείωσης στη μέση περιεκτικότητα αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα ενέργειας (γραμμάρια CO<sub>2</sub>e ανά MJ) των πλοίων το 2020, κατά τα κατωτέρω ποσοστά: 2 % από την 1η Ιανουαρίου 2025, 6 % από την 1η Ιανουαρίου 2030, 13 % από την 1η Ιανουαρίου 2035, 26 % από την 1η Ιανουαρίου 2040, 59 % από την 1η Ιανουαρίου 2045, 75 % από την 1η Ιανουαρίου 2050, που σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχουν προσμίξεις στο πετρέλαιο που θα προέρχονται από βιοκαύσιμα.

Επίσης κατά τον ελλειμνισμό του, το πλοίο μπορεί να τροφοδοτείται ενεργειακά από τις εξής πηγές ενέργειας: α) κυψέλες καυσίμου, β) ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και γ) μπαταρίες.

Αναφορικά με τα ακτοπλοϊκά πλοία, το Υπουργείο Ναυτιλίας στο Συμβούλιο Υπουργών Θαλασσιών Μεταφορών της ΕΕ, επέτυχε την παράταση εξαίρεσης έως 31.12.2029, από την εφαρμογή των εν λόγω διατάξεων για τα ακτοπλοϊκά πλοία που είναι δρομολογημένα σε λιμένες νησιών με λιγότερους από 200.000 κατοίκους. (ΥΝΑΝΠ, 3.6.2022)

Σύμφωνα με μελέτη (2021) της Ένωσης Ευρωπαίων Πλοιοκτητών ECSA και του Διεθνούς Ναυτιλιακού Επιμελητηρίου (ICS) αναφέρουν ότι η απαίτηση από τα πλοία να συμμορφώνονται με ένα ευρωπαϊκό πρότυπο καυσίμων χωρίς να διασφαλίζεται η διαθεσιμότητα ασφαλών και επαρκών ποσοτήτων καυσίμων χαμηλών και μηδενικών ανθρακούχων εκπομπών, προκαλεί ανησυχία. Γι' αυτό το λόγο προτείνουν τη σύσταση Ταμείου Θαλάσσιας Έρευνας του IMO που θα χρηματοδοτηθεί από τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων, για εξεύρεση τεχνικών και λειτουργικών μέτρων τόσο για τα υφιστάμενα όσο και για τα νέα πλοία ώστε να διασφαλιστεί η ταχεία μετάβαση στη χρήση καυσίμων μηδενικού άνθρακα.



Εικόνα 11 : IMO και ΕΕ ρυθμιστικό πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία. (DNV, 2022)

### **3.2.3. Πρόταση Κανονισμού για την αναθεώρηση του πλαισίου ανάπτυξης υποδομών εναλλακτικών καυσίμων**

Η πρόταση Κανονισμού «για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων και για την κατάργηση της οδηγίας 2014/94/ΕΕ» συμπληρώνει την πρωτοβουλία FuelEU Maritime και προβλέπει μέριμνα από τα κράτη-μέλη για εγκατάσταση ικανού αριθμού σημείων ανεφοδιασμού με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο στους θαλάσσιους λιμένες του Κεντρικού Δικτύου του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών (ΔΕΔ-Μ).

Επιπλέον, προβλέπει την επιβολή υποχρέωσης για τη χρήση ηλεκτρικής τροφοδότησης από ξηράς ή άλλης τεχνολογίας μηδενικών εκπομπών κατά την παραμονή των πλοίων στα λιμάνια της ΕΕ από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2030, σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και σε επιβατηγά πλοία.

Δεν υπάρχει υποχρέωση χρήσης ηλεκτρικής τροφοδότησης από ξηράς εάν τα πλοία α) είναι ελλιμενισμένα για λιγότερο από δύο ώρες, διάστημα υπολογιζόμενο με βάση την ώρα αναχώρησης και άφιξης του πλοίου, β) χρησιμοποιούν τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών, γ) αναγκάζονται να καταπλέουν εκτάκτως σε λιμένα για λόγους ασφάλειας ή διάσωσης ανθρώπινων ζώων στη θάλασσα, δ) δεν είναι σε θέση να συνδεθούν με την ηλεκτρική τροφοδότηση από ξηράς λόγω μη διαθέσιμων σημείων σύνδεσης σε λιμένα, ε) δεν είναι σε θέση να συνδεθούν με την ηλεκτρική τροφοδότηση από ξηράς, διότι η εγκατάσταση από ξηράς στον λιμένα δεν είναι συμβατή με τον εξοπλισμό ισχύος επί του πλοίου, στ) στα οποία, για περιορισμένο χρονικό διάστημα, απαιτείται η χρήση παραγωγής ενέργειας επί του πλοίου, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που συνιστούν άμεσο κίνδυνο για τη ζωή, το πλοίο, το περιβάλλον ή για άλλους λόγους ανωτέρας βίας.

Επίσης προβλέπει ότι μέχρι την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2030 θα πρέπει να έχουν αναπτυχθεί οι κατάλληλες υποδομές για την κάλυψη τουλάχιστον του 90% της αντίστοιχης ζήτησης σε λιμάνια στα οποία ο μέσος ετήσιος αριθμός προσεγγίσεων από ποντοπόρα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ολικής χωρητικότητας άνω των 5000 gt υπερβαίνει τις 50, για τα ποντοπόρα επιβατηγά πλοία Ro-Ro, ταχύπλοα επιβατηγά ολικής χωρητικότητας άνω των 5000 gt υπερβαίνει τις 40 προσεγγίσεις και για τα άλλα επιβατηγά πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 5000 κοχ, υπερβαίνει τις

25 προσεγγίσεις, διαθέτουν επαρκή ισχύ εξόδου στην ξηρά παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. (άρθρο 9)

Επιπρόσθετα, τα κράτη πρέπει να μεριμνήσουν ώστε έως την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2025, για την κατασκευή μίας τουλάχιστον εγκατάστασης που παρέχει από ξηράς ηλεκτρική ενέργεια σε σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας εντός όλων των λιμένων εσωτερικής ναυσιπλοΐας του κεντρικού ΔΕΔ-Μ και για την κατασκευή μίας τουλάχιστον εγκατάστασης που παρέχει από ξηράς ηλεκτρική ενέργεια σε σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας εντός όλων των λιμένων εσωτερικής ναυσιπλοΐας του εκτεταμένου ΔΕΔ-Μ έως την 1η Ιανουαρίου 2030.

#### **3.2.4. Πρόταση Αναθεώρησης Οδηγίας για τη φορολόγηση Ενέργειας**

Η Οδηγία 2003/96/ΕΚ του Συμβουλίου της 27<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2003 «σχετικά με την αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας» θεσπίζει κανόνες και ειδικούς συντελεστές φόρου κατανάλωσης για την φορολόγηση των καυσίμων κίνησης, θέρμανσης και της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στον τομέα της φορολογίας της ενέργειας αποφάσισε ότι τα καύσιμα κίνησης, θέρμανσης και η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να φορολογούνται σύμφωνα με τις επιπτώσεις που επιφέρουν στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στη ναυτιλία απαλλάσσονται πλήρως από τη φορολογία σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

Με την τωρινή πρόταση Οδηγίας τα καύσιμα δεν θα απαλλάσσονται πλήρως από την ενεργειακή φορολογία στην ΕΕ. Τα καύσιμα θα αρχίσουν να φορολογούνται ανάλογα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις. Στα επόμενα δέκα χρόνια οι ελάχιστοι φορολογικοί συντελεστές στο ορυκτά καύσιμα θα αυξηθούν σταδιακά, ενώ στα βιώσιμα καύσιμα ο ελάχιστος φορολογικός συντελεστής θα παραμείνει στο μηδέν. Ειδικότερα για το ναυτιλιακό ηλεκτρικό ρεύμα θα υπάρξει περίοδος πλήρους φοροαπαλλαγής για δέκα χρόνια από το έτος 2030. Επίσης προβλέπεται ειδικό καθεστώς φορολόγησης (πχ αποφυγή διπλής φορολόγησης) για τον

εξοπλισμό λιμενικών υποδομών σχετικό με την ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων (πχ μετασηματιστές).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με αυτόν τον τρόπο ενθαρρύνει τη στροφή προς τα βιώσιμα και εναλλακτικά καύσιμα. Οι συζητήσεις και οι διαβουλεύσεις της Ομάδας Φορολογικών Θεμάτων του Συμβουλίου της ΕΕ συνεχίζονται ώστε να αποφασισθεί το τελικό σχέδιο της Οδηγίας (ΕΕ, 2022).

### **3.2.5. Αναθεώρηση της Οδηγίας για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές (ΑΠΕ)**

Σύμφωνα με την Οδηγία 2018/2001 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Renewable Energy Directive – RED) η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2030 θα ανέρχεται σε 32%. Στον τομέα των μεταφορών για να προωθηθεί η χρήση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ο στόχος είναι αυξημένος κατά 14% μέχρι το 2030 (άρθρο 25).

Στα πλαίσια του «Fit for 55» στον τομέα των μεταφορών προτάθηκε η αναθεώρηση της Οδηγίας (RED II) και ο νέος δεσμευτικός στόχος είναι 40% για την ενέργεια από ΑΠΕ για το 2030 (έναντι 32%) ώστε να μειωθεί η ένταση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 13% έως το 2030. Επίσης άλλοι στόχοι αφορούν στα ανανεώσιμα καύσιμα μη βιολογικής προέλευσης 2,6% με απλή καταμέτρηση και στη χρήση υδρογόνου. (IOBE, 2022).

### **3.2.6. Διεθνές Συμβούλιο Ναυτιλιακής Έρευνας και Ανάπτυξης**

Λαμβάνοντας υπόψη τις εκτιμήσεις για την ανάπτυξη του εμπορίου, η ναυτιλία θα πρέπει να βελτιώσει την απόδοση του άνθρακα κατά περίπου 90% προκειμένου να επιτύχει τον στόχο του IMO για μείωση κατά 50% των παγκόσμιων εκπομπών GHG έως το 2050.

Σύμφωνα με το Διεθνές Ναυτικό Επιμελητήριο ο φιλόδοξος αυτός στόχος μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν αναπτυχθούν καινοτόμες νέες τεχνολογίες, οι οποίες απαιτούν σημαντικές πρόσθετες επενδύσεις. Το Διεθνές Ναυτικό Επιμελητήριο και οι βιομηχανικοί εταίροι προτείνουν τη δημιουργία ενός πρωτοποριακού Ταμείου Έρευνας

και Ανάπτυξης (R&D) το οποίο θα χρηματοδοτηθεί από μια υποχρεωτική εισφορά 2 \$ ανά τόνο στα καύσιμα πλοίων, δημιουργώντας ένα βασικό ποσό 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε μια περίοδο 10 ετών, όπου θα υποστηρίξει την έρευνα, την ανάπτυξη και τις νέες τεχνολογίες μηδενικού άνθρακα, με πιλοτικά έργα και τριτοβάθμια έρευνα που μπορεί να επεκταθεί σε όλο τον κλάδο.

Το Ταμείο – γνωστό ως Διεθνές Συμβούλιο Ναυτιλιακής Έρευνας και Ανάπτυξης (IMRB) – θα εποπτεύεται από τις χώρες μέλη του IMO και θα συσταθεί με τροποποίηση της MARPOL, της Σύμβασης του IMO για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, ώστε να ξεκινήσει το 2023.

Το IMRB θα δημιουργήσει την τεχνολογική και επενδυτική βεβαιότητα για να ωθήσει τους μηχανικούς, τις εταιρείες ενέργειας, τα ναυπηγεία, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και τους κατασκευαστές κινητήρων να επιταχύνουν την προσπάθεια έρευνας και ανάπτυξης για καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα και μηδενικών εκπομπών άνθρακα, πηγών ενέργειας, συστημάτων πρόωσης και άλλων νέων τεχνολογιών μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, που λειτουργούν σύμφωνα με τον εγκεκριμένο χάρτη από τον IMO. (www.ics-shipping.org,2022)

### **3.2.7. Κανονισμός Παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης (MRV)**

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο στις 24.10.2014 τάχθηκε υπέρ ενός δεσμευτικού στόχου της ΕΕ για εγχώρια μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990.

Η καθιέρωση ενός συστήματος παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές αναμένεται ότι θα οδηγήσει σε επίπεδα εκπομπών μειωμένα κατά 2% σε σύγκριση με τα συνήθη επίπεδα και σε συνολική μείωση του καθαρού κόστους έως και 1,2 δισεκατ. ευρώ μέχρι το 2030. (παρ. 13 του Κανονισμού).

Ο Κανονισμός 2015/757 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29<sup>ης</sup> Απριλίου 2015 ορίζει βασικές διατάξεις για την επακριβή παρακολούθηση, υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων συναφών πληροφοριών από τα πλοία που καταπλέουν σε λιμένες, βρίσκονται εντός λιμένων ή αποπλέουν από λιμένες οι οποίοι υπάγονται στη δικαιοδοσία κράτους

μέλους, ώστε να προωθηθεί η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τις θαλάσσιες μεταφορές με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Ο Κανονισμός (MRV) που τέθηκε σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2015, εφαρμόζεται στα πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 5000 κοχ και δεν εφαρμόζεται στα πολεμικά πλοία, στα βοηθητικά πλοία του πολεμικού ναυτικού, στα αλιευτικά σκάφη και πλοία επεξεργασίας αλιευμάτων, στα ξύλινα πλοία πρωτόγονης κατασκευής, στα σκάφη χωρίς μηχανική πρόωση ή στα πλοία που ανήκουν σε δημόσιες αρχές και χρησιμοποιούνται για μη εμπορικούς σκοπούς. (άρθρο 2 Κανονισμού).

Σύμφωνα με το Άρθρο 2 οι εταιρείες οφείλουν από 01-01-2018 να παρακολουθούν και να καταγράφουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> για κάθε πλοίο, ανά πλου και ανά έτος, (σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στο άρθρο 8). Επίσης, οι εταιρείες που διαχειρίζονται υπόχρεα στον Κανονισμό πλοία, υποβάλλουν σε διαπιστευμένους ελεγκτές, σχέδιο στο οποίο αναφέρεται η επιλεγείσα μέθοδος παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων σχετικά με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλες συναφείς πληροφορίες, για κάθε πλοίο τους σύμφωνα με αυτά που αναφέρει το Άρθρο 6.

Σύμφωνα με το Άρθρο 11, παρ.1 του Κανονισμού, από το 2019 και έως την 30<sup>η</sup> Απριλίου κάθε έτους, οι εταιρείες υποβάλλουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και στις αρχές του οικείου κράτους σημαίας, μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας THETIS MRV, έκθεση εκπομπών, η οποία αφορά στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλες συναφείς πληροφορίες για όλη τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς (ήτοι του προηγούμενου ημερολογιακού έτους), για κάθε υπόχρεο πλοίο ευθύνης τους. Το περιεχόμενο της έκθεσης αυτής πρέπει να έχει αξιολογηθεί και εγκριθεί για την επάρκειά του και τη συμμόρφωσή του με τις απαιτήσεις του Κανονισμού από διαπιστευμένο ελεγκτή.

Ο διαπιστευμένος ελεγκτής, εφόσον πληρούνται οι απαιτήσεις που αναφέρονται στην παρ. 1 του Άρθρου 17, βασιζόμενος στην έκθεση εκπομπών, εκδίδει έγγραφο συμμόρφωσης για κάθε υπόχρεο πλοίο, μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας THETIS MRV, ενημερώνοντας την Αρχή της σημαίας του πλοίου και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με την έκδοση του προαναφερθέντος εγγράφου συμμόρφωσης, μέσω του ίδιου συστήματος.

Έγγραφο συμμόρφωσης υποχρεούται να φέρει κάθε πλοίο που υπάγεται στο πεδίο εφαρμογής του Κανονισμού, έως την 30<sup>η</sup> Ιουνίου κάθε έτους που ακολουθεί τη λήξη της περιόδου αναφοράς κατά την οποία καθίσταται υπόχρεο. Το εκδοθέν έγγραφο συμμόρφωσης (αρ. 17 παρ. 3) θεωρείται έγκυρο για περίοδο 18 μηνών μετά τη λήξη

της περιόδου αναφοράς και το οποίο αποτελεί απόδειξη (αρ. 19 παρ. 1) συμμόρφωσης του πλοίου με τις απαιτήσεις παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων που καθορίζονται στα άρθρα 8 έως 12 του εν λόγω Κανονισμού.

Μια εταιρεία εξαιρείται, (Άρθρο 9, παρ. 2 του Κανονισμού), μόνο από την υποχρέωση της παρακολούθησης και καταγραφής ανά πλοιο, των πληροφοριών, για συγκεκριμένο πλοίο της στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- α) όταν όλοι οι πλόες του πλοίου κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς έχουν ως λιμένα αναχώρησης ή άφιξης λιμένα εντός της δικαιοδοσίας κράτους μέλους, και
- β) όταν το πλοίο, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμά του, εκτελεί περισσότερους από 300 πλόες κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, έως την 30η Ιουνίου κάθε έτους, έχοντας λάβει τις πληροφορίες που έχουν δηλωθεί στο “THETIS MRV”, δημοσιοποιεί έκθεση με τα ετήσια συγκεντρωτικά στοιχεία για κάθε πλοίο περιλαμβάνοντας, μεταξύ άλλων, κατανάλωση καυσίμου, εκπομπές CO<sub>2</sub> και μέσο όρο συντελεστών ενεργειακής αποδοτικότητας.

Στο αυτοματοποιημένο σύστημα πληροφοριών “THETIS-MRV”, το οποίο διαχειρίζεται ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA), καταχωρούνται όλες οι σχετικές με τον Κανονισμό πληροφορίες (σχέδιο παρακολούθησης, έκθεση εκπομπών και έγγραφο συμμόρφωσης) και έχουν πρόσβαση, σε διαφορετικά πεδία ανά κατηγορία, οι εταιρίες πλοίων (πλοιοκτήτριες /διαχειρίστριες), οι διαπιστευμένοι ελεγκτές και τα Κράτη Μέλη Σημαίας.

Επιπλέον το 2019 το εν λόγω σύστημα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής επιβεβαίωσε τις επιπτώσεις της ναυτιλίας καθώς πάνω από 138 εκατ. τόνου CO<sub>2</sub> απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα το 2018 (ΥΝΑΝΠ, 2021).

Είναι σε εξέλιξη οι συζητήσεις για το κατά πόσον το σύστημα Παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης (MRV) της ΕΕ μπορεί να ευθυγραμμισθεί με το σύστημα συλλογής δεδομένων του IMO.

#### 4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η αέρια ρύπανση των πλοίων μπορεί να αντιμετωπισθεί με διάφορες τεχνολογίες ελέγχου των ρύπων, με την ηλεκτροδότηση των πλοίων στα λιμάνια και με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων.

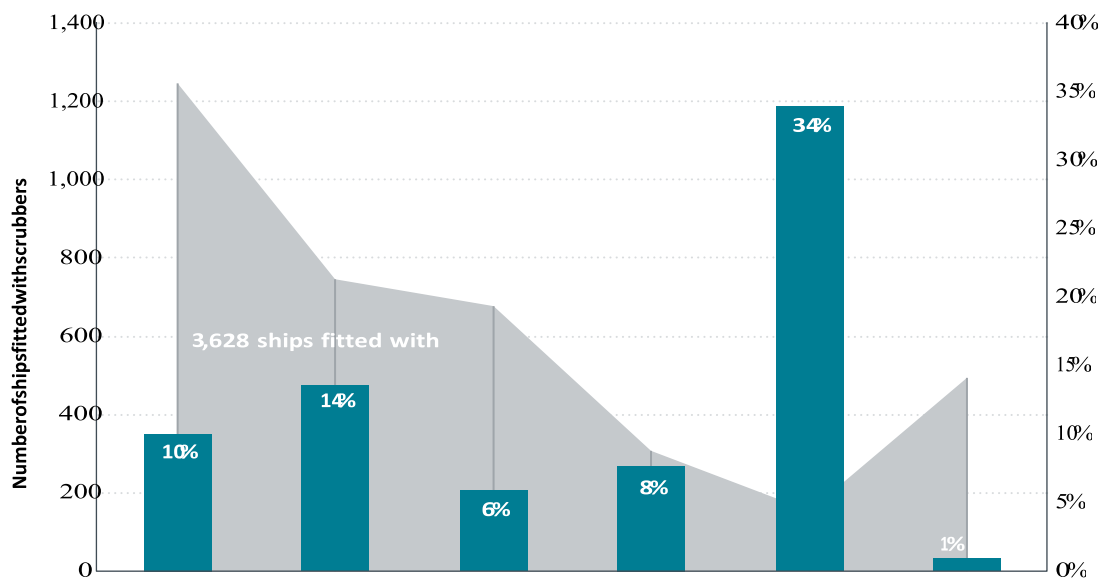
##### 4.1. Πλυντρίδες – Scrubbers

Για να αντιμετωπισθεί η αέρια ρύπανση από τα πλοία, και ιδιαίτερα τα όρια εκπομπής διοξειδίου του θείου (SO<sub>x</sub>), όπως προαναφέρθηκε ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός από 1.1.2020 μείωσε τη μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα των πλοίων από 3,5% σε 0,5%, εκτός εάν τα πλοία διαθέτουν σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers).

Καθώς τα καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο 0,5% είναι πολύ πιο ακριβά οι πλοιοκτήτες τοποθέτησαν scrubbers, όπου επιτρέπεται να χρησιμοποιούν Heavy Fuel Oil χαμηλού κόστους, αλλά υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, λόγω του ότι η πλυντρίδα αφαιρεί ένα μεγάλο μέρος του θείου από τα καυσαέρια πριν εκλυθεί στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα οι εκπομπές διοξειδίου του θείου να είναι τουλάχιστον ισοδύναμες στη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Οι πλυντρίδες (scrubbers) είναι ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων πλοίων και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στις πλυντρίδες υγρού τύπου (wet scrubbing) που χρησιμοποιούν το νερό (θαλασσινό ή γλυκό νερό) ως μέσο έκπλυσης (scrubbing) και στις πλυντρίδες ξηρού τύπου (dry scrubbing) που χρησιμοποιούν ξηρές χημικές ουσίες. Οι πλυντρίδες υγρού τύπου διακρίνονται α) στα συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop), τα οποία χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για την κατεργασία καυσαερίων β) στα συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop) τα οποία χρησιμοποιούν γλυκό νερό με την προσθήκη ενός αλκαλικού χημικού για την κατεργασία καυσαερίων και γ) στα υβριδικά συστήματα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως συστήματα ανοικτού όσο και ως κλειστού βρόχου.

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO, εάν τα νερά πλύσης πρόκειται να απορριφθούν στη θάλασσα πρέπει να ελέγχονται α) η οξύτητα (pH), β) η θολότητα και γ) οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 12 Συνολικός αριθμός πλοίων με εγκατεστημένα scrubbers έως το τέλος του 2020 (γκρίζα ζώνη) και η αναλογία πλοίων με scrubbers (μπλε μπάρες), ανά τύπο πλοίου (ICCT, 2021).

Σύμφωνα με τη μελέτη (2021) του International Council on Clean Transportation (ICCT), από τα 81.297 πλοία, τα 3.628 έχουν εγκαταστήσει ή πρόκειται να εγκαταστήσουν πλυντρίδες μέχρι το τέλος του 2020.

Οι πλυντρίδες ανοικτού βρόχου είναι οι πιο δημοφιλείς καθώς αντιπροσωπεύουν το 85% , οι υβριδικού τύπου το 14% και μόνο το 1% να είναι κλειστού βρόχου.

Πάνω από το ήμισυ του συνόλου των πλυντρίδων εγκαταστάθηκαν το 2019, στο πλαίσιο της προετοιμασίας για τον παγκόσμιο κανονισμό για τη μείωση του θείου στα καύσιμα των πλοίων που τέθηκε σε ισχύ στις αρχές του 2020.

Όπως αποτυπώνεται στο παραπάνω γράφημα, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και τα πετρελαιοφόρα αντιπροσωπεύουν το 74% του στόλου που είναι εξοπλισμένο με πλυντρίδες, ανά αριθμό πλοίων. Τα φορτηγά χύδην φορτίου είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος πλοίων που είναι εξοπλισμένα με πλυντρίδες — 1.246 πλοία, ή το 34% όλων των πλοίων που έχουν τοποθετήσει πλυντρίδες. Ωστόσο, σε κάθε τύπο πλοίου, τα κρουαζιερόπλοια έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο 34% των στόλων που είναι εξοπλισμένα με scrubbers. Παρόλο που οι εταιρείες μεταφοράς χύδην φορτίου είναι οι ηγέτες με απόλυτους αριθμούς, μόνο το 10% όλων των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου έχουν εγκατεστημένο scrubber.

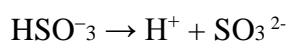
#### 4.1.1. Πλυντρίδες Υγρού τύπου - Συστήματα ανοικτού βρόχου

Όπως προαναφέρθηκε οι πλυντρίδες ανοικτού βρόχου αντλούν θαλασσινό νερό μέσα στην πλυντρίδα και απορρίπτουν τα ύδατα πλύσης πίσω στη θάλασσα.

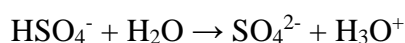
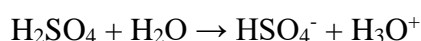
Η διαδικασία γίνεται ως εξής: Το θαλασσινό νερό απορροφάται στο κάτω μέρος του πλοίου και εισάγεται σε μία πλυντρίδα η οποία βρίσκεται στην καπνοδόχο του πλοίου, όπου έρχεται σε επαφή το θαλασσινό νερό με το καυσαέριο. Εσωτερικά η πλυντρίδα έχει φίλτρα (διαφράγματα) σε διάφορα επίπεδα, τα οποία προκαλούν διαφορετικές χημικές αντιδράσεις μεταξύ αυτών. (Lloyd's Register, 2012)

Σε ένα σύστημα ανοικτού βρόχου, τα οξείδια του θείου απομακρύνονται από τα καυσαέρια σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων, οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τη συγκεκριμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται:

α) Για το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)



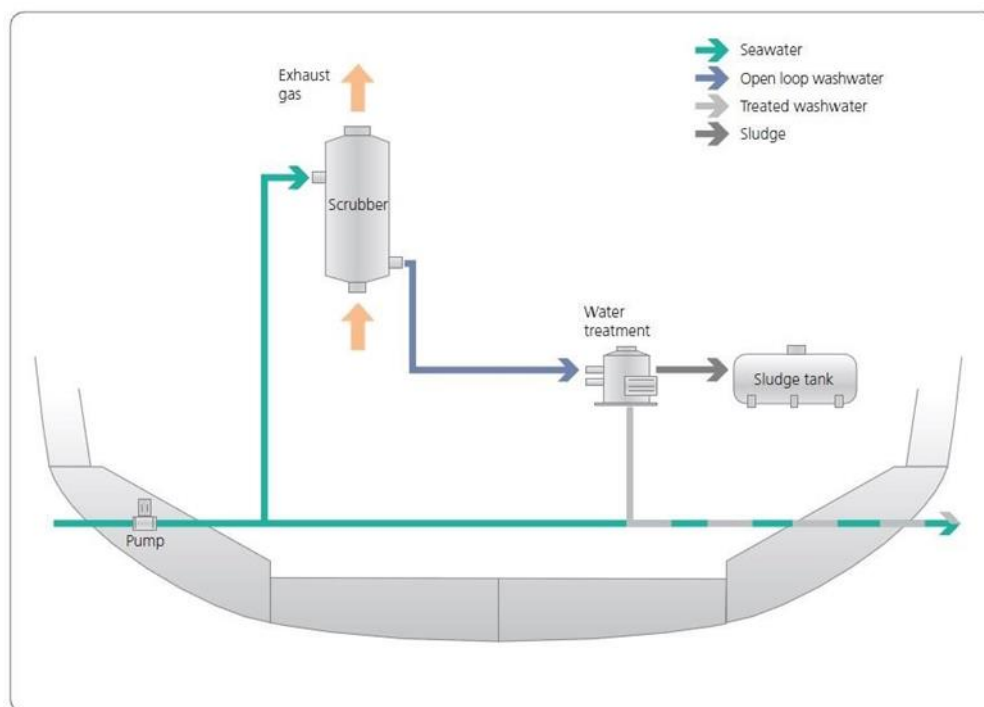
β) Για το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>)



Κατά την έξοδο από την πλυντρίδα, το θαλασσινό νερό καθαρίζεται και συγκεκριμένα είτε αντλείται, είτε στραγγίζεται μέσω βαρύτητας σε μία συσκευή (κυκλωνικό διαχωριστή- cyclonic separation) όπου με τη φυγοκεντρική δύναμη, το διαχωρίζει από βαριά σωματίδια, τα οποία στραγγίζονται και συλλέγονται κυρίως σε μορφή λάσπης, για διάθεση στην ξηρά.

Εν συνεχεία για να αραιωθεί το θαλασσινό νερό και να επανέλθει το κανονικό του pH αναμιγνύεται με ίση ποσότητα νερού, με το νερό που εξέρχεται από τον κυκλωνικό διαχωριστή και απορρίπτεται στη θάλασσα. (Lloyd's Register, 2012, Κοζολίνο, 2018, Ελευθερίου, 2017)

Η τεχνολογία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία των υδάτων πλύσης επηρεάζονται από το ρυθμό εκροής τους στη θάλασσα. Τα συστήματα ανοικτού βρόχου εμφανίζουν υψηλό ρυθμό απόρριψης ( $45\text{m}^3/\text{MWh}$ ).



Εικόνα 13 Διάταξη συστήματος υγρής πλυντρίδας ανοικτού βρόχου (Lloyd's Register, 2012)

Με τον τρόπο αυτό αφαιρείται το 98% των οξειδίων του θείου. Εάν ένα καύσιμο έχει περιεκτικότητα σε θείο 3,5% με την χρήση πλυντρίδας θα είναι ισοδύναμο ενός καυσίμου με περιεκτικότητα 0,10% σε θείο.

Εάν μια πλυντρίδα αφαιρεί το 70% των αιωρούμενων σωματιδίων, τότε περίπου 500 κιλά λάσπης (sluge) μπορεί να αναμένονται για κάθε 100 τόνους καυσίμου μαζούτ που καταναλώνεται από μία μηχανή diesel. Αυτό εξαρτάται από το ρυθμό απομάκρυνσής τους στην πλυντρίδα και την αποδοτικότητα του συστήματος κατεργασίας των υδάτων πλύσης, τόσο στην αφαίρεση των αιωρούμενων σωματιδίων όσο και στη μη χρήση και συγκράτηση περίσσειας νερού. Οι κατασκευαστές των πλυντρίδων υγρού τύπου συνιστούν μία δεξαμενή λάσπης περίπου  $0,5\text{m}^3/\text{MW}$  της ιπποδύναμης της μηχανής που φέρει το αντίστοιχο σύστημα. (Lloyd's Register, 2015)

Τα πλεονεκτήματα των πλυντρίδων ανοικτού βρόχου είναι ότι δεν απαιτούνται επιπλέον επιβλαβή χημικά, το θαλασσινό νερό δεν έχει κόστος και το σύστημα

αποτελείται από λίγα μέρη. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι δε λειτουργεί σωστά σε γλυκό νερό ή νερό διαφορετικής αλκαλικότητας. (Ελευθερίου, 2017)

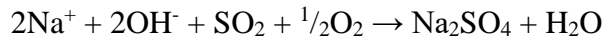
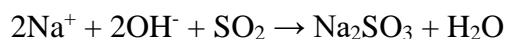
#### 4.1.2 Πλυντρίδες Υγρού τύπου - Συστήματα κλειστού βρόχου

Οι πλυντρίδες κλειστού βρόχου κυκλοφορούν γλυκό νερό στο οποίο προστίθεται χημική δοσολογία σε κατάλληλη ποσότητα για την εξουδετέρωση των οξειδίων του θείου των καυσαερίων.

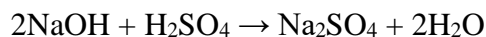
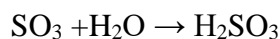
Η διαδικασία είναι η εξής: Το γλυκό νερό αναμιγνύεται με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) το οποίο αντλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης και προωθείται στην πλυντρίδα. Το καυσαέριο έρχεται σε επαφή με το υγρό μίγμα.

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:

α) Για το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)



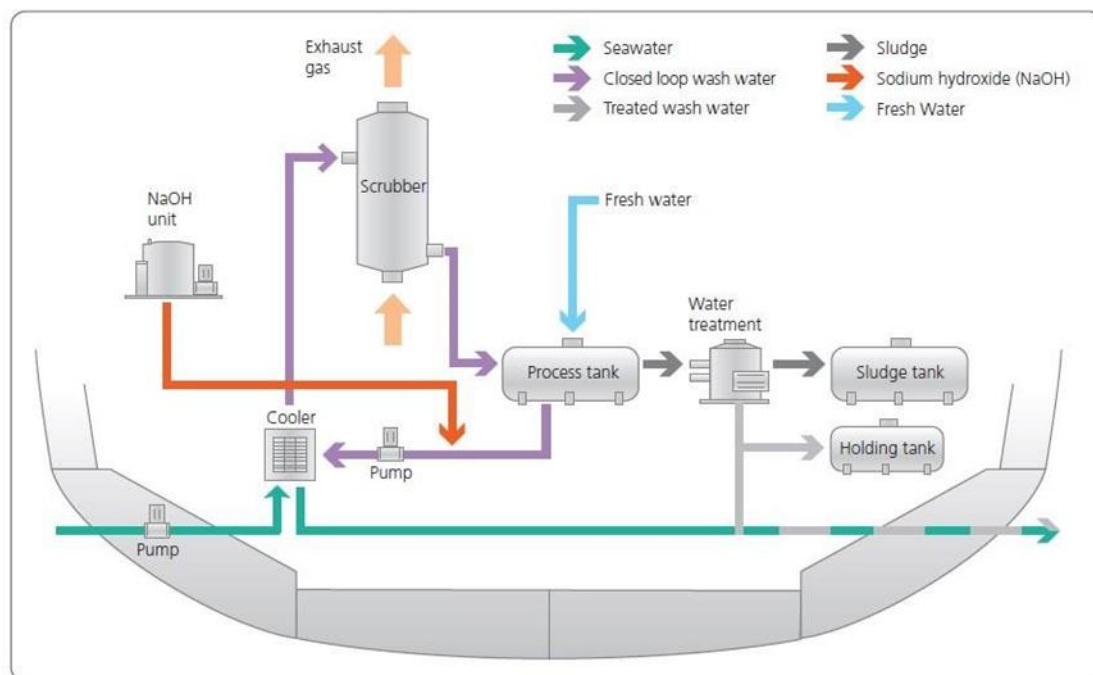
β) Για το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>)



Μετά τον καθαρισμό το γλυκό νερό επιστρέφει στη δεξαμενή. Σ' αυτό το σημείο, μία συσκευή θερμότητας αντλεί θερμότητα από τον κλειστό κύκλο του γλυκού νερού. Αυτή η διαδικασία που επαναλαμβάνεται συνεχώς εξαντλεί τα αποθέματα υδροξειδίου του Νατρίου (NaOH) στη δεξαμενή καθώς έρχεται σε επαφή με το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Μία άλλη μονάδα συμπληρώνει (NaOH) στο διάλυμα για να διατηρείται το pH στα επιθυμητά επίπεδα στην πλυντρίδα.

Ο έλεγχος του pH μέσω της δοσολογίας του υδροξειδίου του νατρίου δίνει τη δυνατότητα στο ρυθμό κυκλοφορίας των υδάτων πλύσης και στην κατανάλωση ενέργειας, να είναι περίπου στο μισό της ιπποδύναμης της μηχανής που υπόκειται σε κατεργασία των εκπομπών της. (Lloyd's Register, 2012)

Για τον καθαρισμό των προϊόντων αντίδρασης χρησιμοποιείται μία μικρή ποσότητα νερού, ενώ μέσω των δεξαμενών γλυκού νερού αναπληρώνεται η ποσότητα που έχει χαθεί στο σύστημα, ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να παραμένει σταθερή. Εν συνεχεία το νερό που στραγγίζεται προωθείται σε κατάλληλη μονάδα επεξεργασίας, σε ένα φυγόκεντρο διαχωριστή, ο οποίος εξάγει τα βαριά σωματίδια και προωθεί το νερό στη θάλασσα σε πολύ μικρές ποσότητες ή συλλέγεται σε δεξαμενές αποθήκευσης (Κοζολίνο, 2018, Παπανδρίκος, 2013)



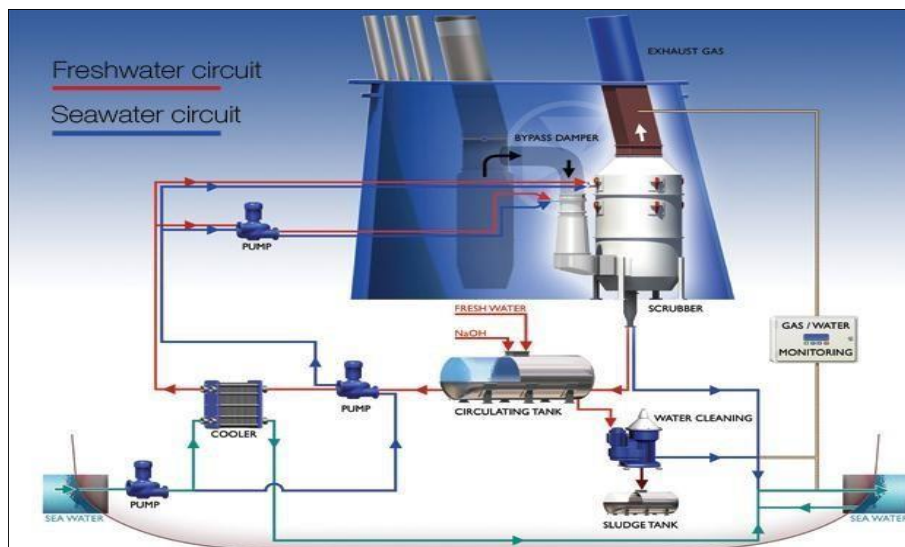
Εικόνα 14 Διάταξη συστήματος πλυντρίδας κλειστού βρόγχου (Lloyd's Register, 2012)

Τα συστήματα κλειστού τύπου έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να τύχουν εφαρμογής σε όλες τις περιοχές χωρίς να υπάρχει περιορισμός στην αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού ή στη θερμοκρασία του καθώς επίσης τα απόβλητα μπορούν να αποθηκευτούν σε δεξαμενές στο πλοίο, χωρίς να χρειάζεται να αποβάλλει τίποτα στη θάλασσα, ιδιαίτερα σε περιοχές που απαγορεύεται.

Τα μειονεκτήματά του αφορούν στο ότι έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης γιατί αποτελούνται από πολλά εξαρτήματα συγκριτικά με τα ανοιχτού τύπου. Επιπρόσθετα η διαδικασία καθαρισμού απαιτεί συνεχή τροφοδότηση με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου. (Κοζολίνο, 2018, Παπανδρίκος, 2013, Lloyd's, 2012)

#### 4.1.3 Πλυντρίδες υβριδικού τύπου

Οι πλυντρίδες υβριδικού τύπου μπορεί να λειτουργήσουν είτε σε κατάσταση ανοικτού βρόχου, είτε σε κλειστού βρόχου. Αυτό παρέχει την ευελιξία να λειτουργούν σε κατάσταση κλειστού βρόχου, όπου η αλκαλικότητα των υδάτων είναι ανεπαρκής, ή δεν το επιτρέπουν οι κανονισμοί, για την απόρριψη των υδάτων πλύσης, επιπρόσθετα και της κατάστασης να μην απορρίπτονται. Επίσης λειτουργούν και σε κατάσταση ανοικτού βρόχου χωρίς να χρησιμοποιούν υδροξείδιο του νατρίου, μειώνοντας έτσι τις διαδικασίες χειρισμού του, την αποθήκευση, τα έξοδα καθώς και την κατανάλωση γλυκού νερού. Στα υβριδικά συστήματα απαιτείται να έχουν δύο συσκευές επεξεργασίας νερού όπου η μεγάλη συσκευή να επεξεργάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ροής νερού κατά τη διαδικασία του φυγοκεντρικού διαχωρισμού. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα λόγω το ότι καταλαμβάνει περισσότερο χώρο στο πλοίο. (Lloyd's Register, 2012)



Εικόνα 15 Διάταξη πλυντρίδας υβριδικού τύπου

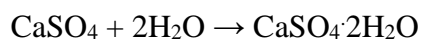
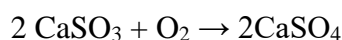
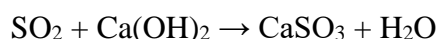
#### 4.1.4. Πλυντρίδες ξηρού τύπου

Οι πλυντρίδες ξηρού τύπου αποτελούνται από μία μονάδα, «απορροφητή» στην οποία εισέρχονται τα καυσαέρια από μία ή περισσότερες μονάδες καύσης σε επαφή με κόκκους υδροξειδίου του ασβεστίου, από ένα σιλό τροφοδοσίας κόκκων και ένα κοχλιωτό μεταφορέα (screw conveyor) για την απόρριψή τους, στο πάνω και κάτω μέρος του απορροφητή. Ένα σύστημα μεταφορέα επιτρέπει στους κόκκους να μεταφέρονται από την εγκατάσταση αποθήκευσης εντός του απορροφητή.

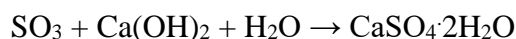
Η απομάκρυνση των χρησιμοποιημένων κόκκων και των αιωρούμενων σωματιδίων που σχετίζονται με τα καυσαέρια είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία η οποία μπορεί να είναι είτε συνεχής ή διακοπτόμενη ώστε να εξασφαλισθεί η σωστή ροή των αρχικών κόκκων με βαρύτητα προς τα κάτω μέσω του απορροφητή.

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι:

α) Για το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)



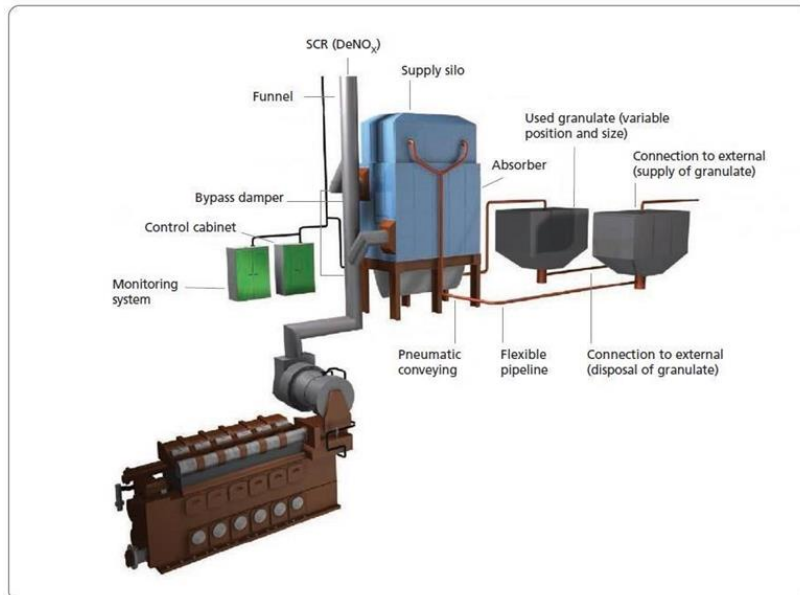
β) Για το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>)



Οι πλυντρίδες ξηρού τύπου λειτουργούν σε θερμοκρασίες καυσαερίων από 240° έως 450° C. Οι κόκκοι υδροξειδίου του ασβεστίου έχουν διάμετρο από δύο έως οκτώ χιλιοστά με πολύ μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας για τη μεγιστοποίηση της επαφής με το καυσαέριο.

Για τη μείωση των εκπομπών οξειδίου του θείου σε επίπεδα που ισοδυναμούν με καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο 0,10% ένας θαλάσσιος κινητήρας που χρησιμοποιεί μαζούτ με περιεκτικότητα σε θείο 2,7% θα καταναλώσει κόκκους υδροξειδίου του ασβεστίου με ρυθμό 40kg/MWh και βάσει μίας πυκνότητας 800kg/m<sup>3</sup>, ο όγκος των κόκκων που απαιτούνται θα είναι περίπου 0,05m<sup>3</sup>/MWh (δηλαδή ένας κινητήρας 20MW θα χρειάζεται 19 τόνους κόκκους ανά ημέρα με ένα όγκο 24m<sup>3</sup>).

Συγκριτικά με τα συστήματα υγρής έκπλυσης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερη και εκτιμάται σε 0,15 -20% της ιπποδύναμης του κινητήρα που φέρει το αντίστοιχο σύστημα.



Εικόνα 16 Σύστημα ξηρής έκπλυσης καυσαερίων

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων ξηρού τύπου είναι ότι δεν παράγουν υγρά απόβλητα που απορρίπτονται στη θάλασσα, ενώ μειώνουν αποτελεσματικά την εκπομπή οξειδίων του αζώτου. Τα μειονεκτήματά τους έγκεινται στο γεγονός ότι οι απαιτούν αποθηκευτικό χώρο για τα αντιδρώντα όσο και για τις προμήθειες υλικών. Επιπρόσθετα, έχουν αυξημένο κόστος από τη διαχείριση οξειδίων του αζώτου και ασβεστίου. (Lloyd's, 2012)

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται οι τεχνολογίες πλυντρίδων.

Πίνακας 5 Σύγκριση των τεχνολογιών πλυντρίδων

<b>Σύγκριση των τεχνολογιών πλυντρίδων (scrubbers)</b>				
	<b>Πλυντρίδα υγρού τύπου, ανοιχτού βρόχου</b>	<b>Πλυντρίδα υγρού τύπου, κλειστού βρόχου</b>	<b>Πλυντρίδα υγρού τύπου, Υβριδικός</b>	<b>Πλυντρίδα ξηρού τύπου</b>
<b>Κύρια μέρη του συστήματος</b>	Πλυντρίδα Σωλήνες υδάτων πλύσης Αντλίες υδάτων πλύσης Εξοπλισμός κατεργασίας υδάτων πλύσης Εξοπλισμός διαχείρισης λάσπης	Πλυντρίδα Σωλήνες υδάτων πλύσης Αντλίες υδάτων πλύσης Δεξαμενή κατεργασίας υδάτων πλύσης Δεξαμενή συγκράτησης υδάτων πλύσης Δεξαμενή αποθήκευσης NaOH Εξοπλισμός κατεργασίας υδάτων πλύσης Εξοπλισμός διαχείρισης λάσπης	Πλυντρίδα Σωλήνες υδάτων πλύσης Αντλίες υδάτων πλύσης Δεξαμενή κατεργασίας υδάτων πλύσης Δεξαμενή συγκράτησης υδάτων πλύσης Δεξαμενή αποθήκευσης NaOH Εξοπλισμός κατεργασίας υδάτων πλύσης Εξοπλισμός διαχείρισης λάσπης	Απορροφητής Χοάνη νέων κόκκων Χοάνη νέων κόκκων χρησιμοποιημένων κόκκων Σύστημα μεταφοράς κόκκων Επιπρόσθετοι κόκκοι Αποθήκη (νέοι και χρησιμοποιημένοι κόκκοι)
<b>Λειτουργία με γλυκό νερό</b>	X	✓	✓ (μόνο σε λειτουργία κλειστού βρόχου)	✓
<b>Λειτουργία χωρίς απόρριψη στη θάλασσα</b>	X	Για περιορισμένο χρονικό διάστημα ανάλογα με το μέγεθος της δεξαμενής συγκράτησης	Για περιορισμένο χρονικό διάστημα ανάλογα με το μέγεθος της δεξαμενής συγκράτησης	✓
<b>Βάρος Βασισμένο σε τυπικές τιμές πυντρίδας 20MW</b>	30-55t (εκτός του συστήματος υδάτων πλύσης και του εξοπλισμού κατεργασίας)	30-55t (εκτός του συστήματος υδάτων πλύσης, του εξοπλισμού κατεργασίας, της δεξαμενής κατεργασίας και της δεξαμενής συγκράτησης υδάτων πλύσης)	30-55t (εκτός του συστήματος υδάτων πλύσης, του εξοπλισμού κατεργασίας, της δεξαμενής κατεργασίας και της δεξαμενής συγκράτησης υδάτων πλύσης)	200t (συμπεριλαμβανομένων των αποθηκευμένων κόκκων που συνοδεύουν τον απορροφητή αλλά εκτός των επιπρόσθετων κόκκων)
<b>Κατανάλωση ισχύος (% της μέγιστης ισχύος μηχανής που φέρει διαχωριστήρα)</b>	1-2%	0,5-1%	0,5-2% (ανάλογα με το αν βρίσκεται σε λειτουργία κλειστού ή ανοιχτού βρόχου)	0,15-0,20%
<b>Αναλώσιμα χημικής έκπλυσης</b>	X	Διάλυμα NaOH	Διάλυμα NaOH (μόνο σε λειτουργία κλειστού ή βρόχου)	Κόκκοι CaOH
<b>Συμβατότητα με το σύστημα ανάκτησης χαμμένης θερμότητας</b>	Ναι, υπό την προϋπόθεση ότι εγκαθίσταται μετά το σύστημα ανάκτησης χαμμένης θερμότητας	Ναι, υπό την προϋπόθεση ότι εγκαθίσταται μετά το σύστημα ανάκτησης χαμμένης θερμότητας	Ναι, υπό την προϋπόθεση ότι εγκαθίσταται μετά το σύστημα ανάκτησης χαμμένης θερμότητας	Ναι. Μπορεί να τοποθετηθεί πριν ή μετά το σύστημα ανάκτησης χαμμένης θερμότητας
<b>Συμβατότητα με το σύστημα SCR</b>	Όχι, εκτός αν ένας αναθερμαντήρας τοποθετηθεί μετά την υγρού τύπου πλυντρίδα για να αυξήσει τη θερμοκρασία των καυσαερίων	Όχι, εκτός αν ένας αναθερμαντήρας τοποθετηθεί μετά την υγρού τύπου πλυντρίδα για να αυξήσει τη θερμοκρασία των καυσαερίων	Όχι, εκτός αν ένας αναθερμαντήρας τοποθετηθεί μετά την υγρού τύπου πλυντρίδα για να αυξήσει τη θερμοκρασία των καυσαερίων	✓
<b>Συμβατότητα με το σύστημα EGR</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Αφαίρεση PM</b>	✓	✓	✓	✓

#### 4.2. Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (selective catalytic reduction -SCR)

Τα συστήματα SCR τοποθετούνται σε τετράχρονες μηχανές μέσης ταχύτητας σε πλοία, όπου μετατρέπουν τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) σε άζωτο (N<sub>2</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O), με τη βοήθεια ενός αναγωγικού παράγοντα που εγχέεται στη ροή των καυσαερίων μηχανής πριν από ένα καταλύτη. Η ουρία (υδατικό διάλυμα αμμωνίας) είναι το αναγωγικό μέσο που χρησιμοποιείται στις εν λόγω μηχανές και αποσυντίθεται για να σχηματίσει αμμωνία σε έναν αγωγό ανάμιξης πριν την προσρόφηση πάνω στον καταλύτη, ο οποίος διευκολύνει την όλη διαδικασία.

Για την αποτελεσματική καταλυτική αναγωγή απαιτείται η θερμοκρασία καυσαερίων που εισέρχονται να είναι πάνω από 300° C και κάτω από 500° C για την πρόληψη θερμικής βλάβης του καταλύτη.

Τα συστήματα SCR εξοικονομούν καύσιμο, σε εκτός ECA περιοχές, καθώς χρησιμοποιούν το εν λόγω σύστημα για να ανταποκριθούν στα όρια της Βαθμίδας II για τα NO<sub>x</sub>. Οι εκπομπές ρύπων NO<sub>x</sub> μπορούν να μειωθούν κατά 80-90% σε κάτω από 2g/kWh. (Lloyd's Register, 2015)

#### 4.3. Επανακυκλοφορία των καυσαερίων – Exhaust Gas Recirculation, EGR

Η τεχνολογία EGR λειτουργεί στα αυτοκίνητα. Τα καυσαέρια τροφοδοτούνται πίσω στο θάλαμο καύσης μέσω της εισαγωγής του αέρα, μειώνοντας το οξυγόνο και αυξάνοντας τη θερμική του ικανότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η καύση και να μειώνεται η θερμοκρασία, ελαττώνοντας έτσι τις εκπομπές NO<sub>x</sub>.

Ένα σύστημα δεύτερης γενιάς EGR, ενσωματώνει τον κινητήρα, το διαχωριστή, τον ψύκτη, τον συλλέκτη υδροσταγονιδίων και τον ανεμιστήρα σε μία ενιαία μονάδα. Με 40% επανακυκλοφορία μπορεί να μειώσει τις εκπομπές στα επίπεδα της Βαθμίδας III σε έναν δίχρονο κινητήρα χαμηλής ταχύτητας. Τα αυξημένα επίπεδα εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα, αιωρούμενων σωματιδίων και η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου ως αποτέλεσμα της μειωμένης απόδοσης καύσης είναι διαχειρίσιμα με ρυθμίσεις του κινητήρα. (Lloyd's Register, 2015)

Η επανακυκλοφορία των καυσαερίων (EGR), όπως προαναφέρθηκε, όπου μέρος των καυσαερίων ανακυκλώνεται μέσω του κινητήρα μειώνοντας έτσι τη

θερμοκρασία και την πίεση καύσης, μπορεί να μειώσει τις εκπομπές NOx από 2χρονους κινητήρες περισσότερο από 80% και σε τετράχρονους κινητήρες κατά 40-50% (Green Transition, 2021)

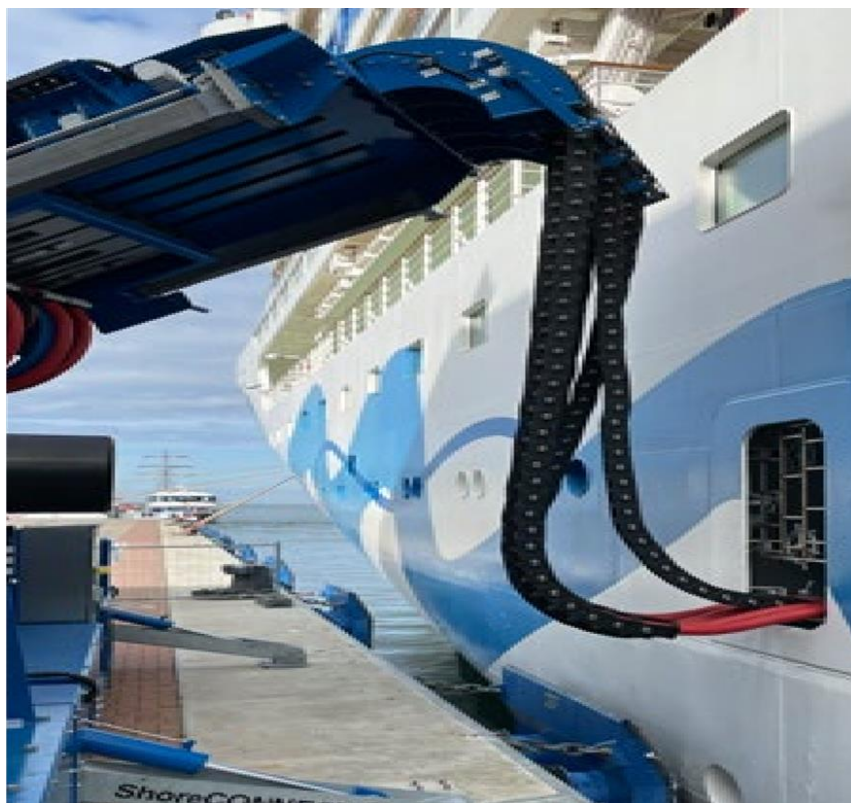
#### 4.4. Ηλεκτροδότηση πλοίων στα λιμάνια

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία αλλά και τις επερχόμενες διατάξεις, όπως προαναφέρθηκαν, στόχος είναι η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τη ναυτιλία και συγκεκριμένα από τα ελλιμενισμένα πλοία. Τα λιμάνια βρίσκονται πολύ κοντά σε αστικές περιοχές με μεγάλο πληθυσμό και τα πλοία που ελλιμενίζονται πρέπει να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές ρύπων κατά την παραμονή τους.

Εκτιμάται ότι το ένα τρίτο των εκπομπών των πλοίων εκλύονται όταν αυτά βρίσκονται στο λιμάνι. Αντικαθιστώντας τη λειτουργία των βοηθητικών συμβατικών (χρήση πετρελαίου) μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την ακτή με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα ελαττωθούν έως και εκμηδενισθούν οι αέριοι ρύποι των πλοίων. Επιπλέον, αν αντικατασταθούν οι συμβατικές μηχανές σε μικρά σκάφη με μπαταρίες, τότε θα έχει γίνει ακόμα ένα σημαντικό βήμα για τη μείωση των ρύπων. (ΕΜΠ, 2022)

Μια ελκυστική εναλλακτική λύση για τη μείωση του επιπέδου ρύπανσης από τα πλοία όταν ελλιμενίζονται σε λιμάνια, είναι τα πλοία να έχουν απευθείας ενεργειακή σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο της στεριάς, γνωστή ως «Cold Ironing». Το «Cold Ironing (ή alternative maritime power ή shore side electricity) έχει τη δυνατότητα να κάνει χρήση της τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μηδενικών εκπομπών από ανανεώσιμες πηγές για την παροχή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας στα ελλιμενισμένα πλοία. (Prousalidis et al, 2014)

Συγκεκριμένα, οι θερμικές μηχανές των πλοίων (που κατά κύριο λόγο στο λιμάνι είναι οι ηλεκτρικές γεννήτριες) παύουν να λειτουργούν, ενώ οι (κατά κύριο λόγο ηλεκτρικές) ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από τη διασύνδεση με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο μέσω κατάλληλων υποδομών δεδομένου ότι η ενέργεια στην ξηρά παράγεται (ολοένα και περισσότερο) από φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους.



Εικόνα 17 Ηλεκτροδότηση πλοίου από τη ξηρά «Cold Ironing»

Τα πλοία κατά τον ελλιμενισμό τους, έχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες ανάλογα με το μέγεθος, τον τύπο, την κατάσταση λειτουργίας τους (φωτισμό, ξενοδοχειακή μονάδα, στάθμευση, φόρτωση, εκφόρτωση) ή ακόμα και ανάλογα την εποχή (λόγω χρήσης κλιματιστικών). (Kumar et al, 2019)

Ειδικά τα κρουαζιερόπλοια, που είναι τεράστια πλωτά ξενοδοχεία (συχνά μεταφέρουν 4.000-6.000 επιβάτες), έχουν πολύ υψηλές εκπομπές ρύπων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι, καθώς καταναλώνουν υψηλές ποσότητες ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας για να διατηρήσουν τις εγκαταστάσεις του πλοίου διαθέσιμες για τους επιβάτες (καζίνο, πισίνες, εστιατόρια κ.λπ.). Εκτιμάται ότι ένα κρουαζιερόπλοιο ρυπαίνει έως και 3.500-5.000 αυτοκίνητα το δευτερόλεπτο. (Green Transition, 2021)

Αν και η τεχνολογία του “cold ironing” έχει ήδη εφαρμοστεί σε ορισμένους θαλάσσιους λιμένες σε πολλές χώρες, όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Γερμανία, η Σουηδία, η Φινλανδία, η Νορβηγία, η Ολλανδία και το Βέλγιο, αντιμετωπίζει ορισμένα τεχνικά και κανονιστικά προβλήματα.

Ένα λιμάνι για να θεωρείται «πράσινο» ή «βιώσιμο» θα πρέπει να:

- Υποστηρίζει διασύνδεση Πλοίου-Ακτής (shore side electricity)
- Διαθέτει έξυπνο δίκτυο μεγάλης χωρητικότητας ισχύος (ευελιξία)
- Υποστηρίζει (φορτίζει) πλοία βασισμένα σε φορτιζόμενη μπαταρία με ηλεκτρική πρόωση
- Διαθέτει σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων
- Εξυπηρετεί δραστηριότητες σχετικά με υπεράκτιες εγκαταστάσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)
- Υποστηρίζει αποθήκευση ενέργειας ώστε να είναι δυνατή η εξομάλυνση των αιχμών ζήτησης ενέργειας (peak shaving) ή εξοικονόμηση περίσσειας ισχύος και/ή αλλαγή μπαταρίας (battery swapping) ή *cloud storage*, δηλαδή κοινή χρήση χωρητικότητας αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ( win-win schemes)
- Διαθέτει προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας
- Μπορεί να συμμετέχει στην Αγορά Ενέργειας
- Υποστηρίζει «αντίστροφο cold ironing» από «πράσινα» πλοία (παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το πλοίο προς στο λιμάνι)

Τα οφέλη από την ηλεκτροδότηση των πλοίων στα λιμάνια αφορούν κυρίως στη

- Δημόσια υγεία και στο περιβάλλον
- Μείωση των εκπομπών στα λιμάνια και κυρίως στις πυκνοκατοικημένες γύρω περιοχές
- Εισαγωγή λύσεων μηδενικών εκπομπών και σύνδεση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τον ναυτιλιακό τομέα
- Μείωση θορύβου και δονήσεων από πλοία στο αγκυροβόλιο
- Αναβάθμιση της ποιότητας ζωής με προοπτική ανάπτυξης σε άλλους τομείς όπως το εμπόριο και ο τουρισμός
- Συμμόρφωση με τους ισχύοντες και μελλοντικούς κανονισμούς
- Χρήση ΑΠΕ για την ηλεκτροδότηση των λιμενικών δραστηριοτήτων
- Εκμετάλλευση ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα που παράγεται από ιδιόκτητους σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο σχεδιασμός ενός λιμενικού δικτύου είναι μια πρόκληση, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά ζητήματα, τεχνικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων ασφάλειας και προστασίας, τυπικών κανονισμών και

συνεχούς ανάπτυξης στον τομέα της θαλάσσιας τεχνολογίας. Τα λιμενικά δίκτυα θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να επιλύουν πολλαπλά προβλήματα: μείωση των εκπομπών, εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, συμμόρφωση με την απαίτηση ισχύος του “cold ironing” και διευκόλυνση της φόρτισης των μπαταριών για μελλοντικά υβριδικά και ηλεκτρικά πλοία. (Kumar, et al, 2019)

#### 4.5. Εναλλακτικά Καύσιμα

Από την δεκαετία του 1970, τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούν κινητήρες ντίζελ οι οποίοι λειτουργούν με Heavy Fuel Oil (HFO). Η διεθνής ναυτιλία αναπτύχθηκε υπό αυτό το καθεστώς, δηλαδή με δίχρονους κινητήρες θαλάσσης με χαμηλή ταχύτητα και με καύση HFO, ένα αξιόπιστο καύσιμο που ήταν ευρέως διαδεδομένο. Η ευρεία χρήση αυτού του καυσίμου οδήγησε στη δημιουργία ενός εκτεταμένου δικτύου υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων σε όλο τον κόσμο για να καλύψει τις ανάγκες του παγκόσμιου εμπορικού στόλου.

Τα τελευταία χρόνια με τις νέες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις αυτή η καθολικότητα χρήσης αυτού του καυσίμου οδεύει προς το τέλος της, καθώς η αναζήτηση νέων, περιβαλλοντικών βιώσιμων καυσίμων για τα πλοία έχει ήδη ξεκινήσει.

Παρόλα αυτά, τα νέα καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών ρύπων άνθρακα δεν είναι τεχνολογικά ώριμα και υπάρχει πιθανότητα να είναι πιο ακριβά από τα συμβατικά καύσιμα, με τη βιομηχανική ναυτιλία να βρίσκεται σε μία αβέβαιη περίοδο μετάβασης καλώντας τη να αποφασίσει ποια τεχνολογία καυσίμου και θαλάσσιας πρόωσης να επιλέξει. Ιδιαίτερα την ποντοπόρο ναυτιλία, που από τον τρόπο λειτουργίας της πρέπει να της παρέχεται ένα καύσιμο που θα είναι διαθέσιμο παγκοσμίως, σε όλα τα λιμάνια που προσεγγίζει. Επιπρόσθετα οι νέες τεχνολογίες απαιτούν και εξειδικευμένο πλήρωμα για τη χρήση τους.

Σύμφωνα με την μελέτη του DNV (2022) το 98,8% του παγκόσμιου στόλου καταναλώνει συμβατικά καύσιμα. Από το υπόλοιπο ποσοστό, 11 πλοία καταναλώνουν μεθανόλη, 923 LNG, 19 LPG και 396 χρησιμοποιεί μπαταρίες/υβριδικά.

Από τα πλοία που βρίσκονται σε παραγγελίες το 78,9% θα χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα, τα 534 θα καίνε LNG, τα 417 θα χρησιμοποιούν μπαταρίες/υβριδικά, τα 57 θα καίνε LPG, τα 35 μεθανόλη και τα 3 Υδρογόνο.

Επίσης η μελέτη αναφέρει ότι απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις τις επόμενες δεκαετίες στον κλάδο της ναυτιλίας, ώστε να καταστεί δυνατή η μετάβαση σε μηδενικές εκπομπές άνθρακα.

Συγκεκριμένα αναφέρει ότι απαιτούνται από 8 έως 28 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ετησίως ως πρόσθετες συνολικές επενδύσεις σε πλοία που βρίσκονται σε μεταβατική φάση προς την απαλλαγή από τον άνθρακα το 2050. Οι μεγαλύτερες επενδύσεις πραγματοποιούνται σε σενάρια με υψηλή πρόσληψη αμμωνίας ή μεθανόλης. Οι επενδύσεις σε υποδομές καυσίμων θα ξεπεράσουν τις επενδύσεις που θα γίνουν στα πλοία. Η πλήρης απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλίας έως το 2050 θα απαιτήσει περίπου 28 έως 90 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ετησίως στην ξηρά για την κλιμάκωση της παραγωγής, της διανομής καυσίμων και των υποδομών ανεφοδιασμού καυσίμων για την παροχή 100% καυσίμων ουδέτερων εκπομπών άνθρακα έως το 2050. Οι μεγαλύτερες επενδύσεις πραγματοποιούνται σε σενάρια με υψηλή πρόσληψη ηλεκτροκαυσίμων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ακριβότερες πηγές ενέργειας και οι χερσαίες επενδύσεις θα μπορούσαν να αυξήσουν το ετήσιο κόστος των καυσίμων κατά περισσότερο από 100 έως 150 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ όταν ολοκληρωθούν οι ανθρακούχες εκπομπές, αύξηση 70% έως 100% συγκριτικά με τα σημερινά δεδομένα. (DNV, 2022).

#### **4.5.1. Υγροποιημένο Φυσικό αέριο -LNG**

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ήδη εμπορικά για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα των πλοίων. Το LNG μακροπρόθεσμα θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον ναυτιλιακό τομέα λόγω της επάρκειάς του και θα μπορούσε να επιτύχει τον στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) του IMO το 2050 (Thepsithar et al., 2020).

Λόγω της αυξημένης παγκόσμιας ζήτησης για LNG, η παραγωγή του στις ΗΠΑ αυξήθηκε το 2018 με αποτέλεσμα να γίνει ο τέταρτος μεγαλύτερος εξαγωγέας στον κόσμο, με την πρώτη θέση να καταλαμβάνει το Κατάρ, τη δεύτερη η Αυστραλία και την τρίτη θέση η Μαλαισία. (UGS, 2021)

Μεταξύ της δεκαετίας του 1980 και του 2000, οι υποδομές ανεφοδιασμού LNG αναπτύχθηκαν με συντηρητικούς ρυθμούς λόγω του υψηλού κόστους τους και των

χρηματοδοτικών περιορισμών. Αν και σήμερα οι υποδομές LNG βρίσκονται στα αρχικά στάδια ανάπτυξης παγκοσμίως και η αβεβαιότητα των μελλοντικών τιμών αποτελούν εμπόδιο για την περαιτέρω ευρεία χρήση του ως καυσίμου πλοίων, πολλοί πιστεύουν ότι θα είναι η εναλλακτική λύση του HFO. Σύμφωνα με τον ναυτιλιακό νηογνώμονα Lloyd's Register, το LNG θα κατέχει το 11% του μεριδίου αγοράς καυσίμων μέχρι το 2030. (UGS, 2021)

Το πρώτο πλοίο που χρησιμοποίησε ως καύσιμο LNG ήταν ένα πορθμείο που κατασκευάστηκε στη Νορβηγία το 2000. Το 2020, κατασκευάστηκαν 173 πλοία με κινητήρα LNG και 227 επιβεβαιωμένες παραγγελίες για νέα πλοία. Υπολογίζεται ότι 6,5 εκατομμύρια τόνοι LNG καταναλώνονται από τα πλοία, που σημαίνει περίπου το 2% της συνολικής θαλάσσιας κατανάλωσης. (DNV, 2020).

Το φυσικό αέριο υγροποιείται με ψύξη στους  $-162^{\circ}$  C και ο χώρος που καταλαμβάνει για αποθήκευση και μεταφορά είναι 600 φορές μικρότερος (Σοφριανίδης, 2021), ενώ έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (Laval et al., 2020). Η ενεργειακή πυκνότητα ενός καυσίμου καθορίζει εν μέρει πόσο εφαρμόσιμο είναι το καύσιμο για ορισμένους τύπους και λειτουργίες πλοίων (DNV, 2019). Σε σύγκριση με το HFO η ενεργειακή πυκνότητα του LNG είναι 40-45% χαμηλότερη με αποτέλεσμα να μην είναι βιώσιμο για ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου (UGS, 2021).

Για την καύση LNG διατίθενται στο εμπόριο διάφοροι τύποι κινητήρες: ανάφλεξη με σπινθήρα, διπλού καυσίμου χαμηλής πίεσης τετράχρονων και δίχρονων, διπλού καυσίμου υψηλής πίεσης και κινητήρες αερίου. (Lindgren et al., 2016, Fernández et al., 2017, Stenersen et al, 2017).

Το LNG ως καύσιμο των πλοίων έχει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, όπως μείωση των εκπομπών SOx και NOx και των σωματιδίων έως και 85%, καθώς και μικρή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως και 20 – 25% (DNV, 2014). Μειώνει αισθητά τις εκπομπές NOx και πληροί το πρότυπο IMO NOx tier III.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της χρήσης LNG, μπορεί να προκύψει αύξηση της συνεισφοράς των αερίων του θερμοκηπίου όταν υπάρχουν διαρροές και διολίσθηση μεθανίου (CH<sub>4</sub>). Η ολίσθηση του μεθανίου συμβαίνει όταν διαφεύγει άκαυστο από τον κινητήρα ή από την ατελή καύση σε συνδυασμό με τα καυσαέρια. Το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου με υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potential, GWP), 36 φορές ισχυρότερο από το CO<sub>2</sub> σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών. Το GWP μιας ένωσης είναι ένα σχετικό μέτρο που συγκρίνει τη

σχετική ποσότητα θερμότητας που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα με μια ισοδύναμη μάζα CO<sub>2</sub> (GWP=1). Όσο μεγαλύτερο είναι το GWP, τόσο περισσότερο το συγκεκριμένο αέριο θερμαίνει τη Γη σε σύγκριση με το CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου (Lindgren et al., 2016, Myhre et al., 2013).

Οι κινητήρες LNG έχουν διολίσθηση μεθανίου 2-5% της συνολικής απόδοσης, ενώ εκτιμάται ότι για τους δίχρονους διπλού καυσίμου υψηλής πίεσης είναι πολύ χαμηλότεροι. (Σοφιανίδης, 2021, Jafarzadeh et al, 2017, Schuller et al, 2017). Από τους κατασκευαστές κινητήρων έχει δοθεί αυξημένη προσοχή για τη μείωση της διαρροής μεθανίου, γεγονός που αναμένεται να επιλυθεί στο εγγύς μέλλον (Wartsila, 2020).

Όπως προαναφέρθηκε, αν και η χρήση LNG αυξάνεται, πρέπει να αντιμετωπισθεί η περιορισμένη υποδομή ανεφοδιασμού του λόγω του υψηλού κόστους κεφαλαιουχικών δαπανών για συστήματα αποθήκευσης (UGS, 2021). Το LNG θεωρείται ως καύσιμο μετάβασης στα βιοκαύσιμα και το συνθετικό LNG που δείχνει μια πορεία προς τα καύσιμα μηδενικών εκπομπών ρύπων έως το 2050.

#### **4.5.2. Υγροποιημένο Αέριο πετρελαίου - LPG**

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) είναι ένα οποιοδήποτε μείγμα προπανίου (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) και βουτανίου (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) σε υγρή μορφή, με μικρά κλάσματα προπυλενίου και άλλα είδη ελαφρών υδρογονανθράκων (GL, 2019a, ABS, 2020a). Η σύνθεση του υγραερίου, όπως και το φυσικό αέριο, ποικίλλει ανάλογα με την πηγή και την εποχή. Περισσότερο από το 60 % παράγεται ως υποπροϊόν της παραγωγής φυσικού αερίου, δίνοντάς του σημαντικό πλεονέκτημα μεταφοράς σε σχέση με άλλα αέρια καύσιμα (Yeo et al., 2022, ABS, 2020a). Το LPG παρέχει περαιτέρω πλεονεκτήματα όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων. Επειδή ο άνθρακας σε υδρογόνο του LPG είναι χαμηλότερος από αυτόν των καυσίμων με βάση το πετρέλαιο, εκπέμπει λιγότερο CO<sub>2</sub> και ο κύκλος ζωής των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου του LPG είναι 17% χαμηλότερος από εκείνον του βαρέος μαζούτ. Το LPG εξαλείφει τις εκπομπές θείου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμμόρφωση με τα τοπικά και διεθνή πρότυπα θείου. Η τεχνολογία του κινητήρα που χρησιμοποιείται καθορίζει πόσο μειώνεται το NO<sub>x</sub>. Σε σύγκριση με τη χρήση HFO, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> από έναν δίχρονο κινητήρα ντίζελ μπορεί να προβλεφθεί ότι θα μειωθούν κατά 10 – 20 %. Ωστόσο, για έναν

τετράχρονο κινητήρα κύκλου Otto, η προβλεπόμενη μείωση είναι μεγαλύτερη και μπορεί να είναι χαμηλότερη από τις απαιτήσεις NOx Tier III. Τα συστήματα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) ή επιλεκτικών καταλυτικών αντιδραστήρων (SCR) μπορεί να εγκατασταθούν σε δίχρονο κινητήρα LPG για να πληρούν αυτές τις προδιαγραφές. Επιπλέον, η χρήση του ως καυσίμου θα μειώσει σε μεγάλο βαθμό τις εκπομπές σωματιδίων και μαύρου άνθρακα (WLPGA, 2017).

Το LPG δεν είναι τοξικό, δεν επηρεάζει το έδαφος ή το νερό και είναι εύκολο στη χρήση του. Η καύση του μπορεί να δώσει μια βραχυπρόθεσμη έως μεσοπρόθεσμη επιλογή σύμφωνα με τα πρότυπα εκπομπών του IMO με αποτέλεσμα να είναι μία καλή επιλογή για τα πλοία. Επιπλέον, ο χειρισμός του υγραερίου μειώνει τις εκπομπές εξάτμισης πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), κάτι που αποτελεί νέα απαίτηση σε λιμάνια σε όλο τον κόσμο (ABS, 2020a). Επειδή το LPG είναι βαρύτερο από τον αέρα, ρέει στην κάτω επιφάνεια, συγκεντρώνεται σε χαμηλά σημεία και δεν διαχέεται τόσο πολύ στο περιβάλλον, όσο το LNG μετά από διαρροή. Για να επιτρέπεται η εξωτερική εκκένωση, το υγραέριο θα πρέπει να διατηρείται σε καλά αεριζόμενο χώρο. Επιπλέον, λόγω του χαμηλότερου σημείου βρασμού του προπανίου, η συγκέντρωση προπανίου του LPG για χρήση ως καύσιμο σε ψυχρές περιοχές θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ό,τι σε θερμότερα κλίματα (Yeo et al., 2022).

#### **4.5.3. Βιοκαύσιμα**

Οι πραγματικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου - GHG από ένα δεδομένο βιοκαύσιμο εξαρτώνται από τον τύπο της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται και τη διαδικασία παραγωγής καυσίμου. Τα βιοκαύσιμα συχνά κατηγοριοποιούνται από την πρώτη ύλη βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς παράγονται γενικά από καλλιέργειες τροφίμων, όπως το καλαμπόκι, η σόγια και το ζαχαροκάλαμο, γεγονός που τα καθιστά μη ελκυστικά από κοινωνικοοικονομική άποψη. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς έχουν σχετικά χαμηλό δυναμικό μείωσης του CO<sub>2</sub>. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς δεν ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες τροφίμων και παράγονται από λιγνοκυτταρινική βιομάζα, όπως τα κοτσάνια καλαμποκιού ή από υπολείμματα τροφίμων, όπως το Υδροεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο - HVO. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαδικασιών για την παραγωγή συμβατικών (πρώτης γενιάς) και προηγμένων (δεύτερης και τρίτης γενιάς) βιοκαυσίμων, που περιλαμβάνουν μια ποικιλία πρώτων

υλών και μετατροπών. Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς προέρχονται από μικροοργανισμούς όπως τα φύκια. Το λάδι εξάγεται από αυτούς τους οργανισμούς για χρήση ως βιοκαύσιμο. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων πρέπει καταρχήν η ίδια να παράγεται βιώσιμα, ως το πρώτο βήμα στην αλυσίδα εφοδιασμού βιοκαυσίμων. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει περαιτέρω το αποτύπωμα άνθρακα τέτοιων καυσίμων κατά την παραγωγή. (UGS, 2021)

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης και τρίτης γενιάς φαίνεται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θαλάσσια πρόωση. Όμως υπάρχει έλλειψη παγκόσμιων υποδομών και εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού βιοκαυσίμων. Λιγότερο από το 1% του παγκόσμιου στόλου λειτουργεί επί του παρόντος με βιοκαύσιμα, παρά την αυξημένη παραγωγή και διαθεσιμότητα στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Ασία. Τα βιοκαύσιμα είναι διαθέσιμα σε πολύ λίγα λιμάνια σε χώρες όπως η Ολλανδία, η Αυστραλία και η Νορβηγία. Το HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), ένα πολλά υποσχόμενο υποψήφιο καύσιμο και στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να διανεμηθεί χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα συστήματα διανομής Marine Gas Oil (MGO) και HFO, αν και μερικές φορές απαιτούνται τροποποιήσεις στους ισχύοντες κινητήρες. (UGS, 2021)

#### 4.5.3.1. Υδρογονοεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο - HVO

Το υδρογονοεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο (Hydrotreated Vegetable Oil -HVO) ή το ανανεώσιμο ντίζελ είναι ένα προηγμένο συνθετικό υγρό βιοκαύσιμο που παράγεται από έλαια σε υδρογονοεπεξεργασίας και διύλισης, συνήθως με παρουσία κατάλληλου καταλύτη για τους ναυτιλιακούς κινητήρες (ABS, 2020a, Tyronola et al., 2017). Είναι ένα μείγμα παραφίνης χωρίς θείο, αρωματικών και εστέρων. Το HVO είναι ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας στο οποίο έχει αφαιρεθεί το οξυγόνο από το υδρογόνο, δίνοντάς του μακροπρόθεσμη σταθερότητα και με υψηλό αριθμό κετανίων. Με την ανάμειξη 10 % HVO στο καύσιμο ναυτιλίας, η καθαρότητα δεν επηρεάζεται ενώ οι εκπομπές καυσαερίων μειώνονται και η απόδοση του κινητήρα βελτιώνεται. Στην πραγματικότητα, τα μείγματα καυσίμων έχουν αποδειχθεί ότι είναι κορυφαίας ποιότητας αφού ο αριθμός κετανίου έχει ενισχυθεί ενώ το αρωματικό περιεχόμενο έχει μειωθεί, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων και καλή

απόδοση ψυχρής εκκίνησης (Tyronola et al., 2017). Επειδή το καύσιμο HVO δεν έχει σχεδόν καθόλου θείο, οι εκπομπές SO<sub>x</sub> είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Μειώνει το επίπεδο θείου των μιγμάτων όταν συνδυάζεται με ναυτιλιακό καύσιμο σε αυξανόμενες ποσότητες. Επιπλέον, πιστεύεται ότι ένας μεγαλύτερος αριθμός κετανίου HVO οδηγεί σε μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης, με αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις αιχμής καύσης, και ως εκ τούτου χαμηλότερα επίπεδα NO<sub>x</sub>. Λόγω της πλεονεκτικής αναλογίας υδρογόνου/άνθρακα (0,18), το HVO παράγει επίσης λιγότερο CO<sub>2</sub>. Θεωρείται ότι η χημική σύνθεση του HVO, η οποία στερείται αρωματικών και διπλών αλυσίδων άνθρακα, διευκολύνει την οξείδωση της αιθάλης, με αποτέλεσμα να εκλύονται μειωμένες εκπομπές μάζας αιωρούμενων σωματιδίων (Ushakov and Lefebvre, 2019).

#### 4.5.3.2. Υγροποιημένο βιοαέριο - LBG

Το υγροποιημένο βιοαέριο ( Liquefied biogas - LBG) ή Bio LNG παράγεται από βιομάζα. Το LBG αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και δεν περιλαμβάνει σημαντικές ποσότητες άλλων υδρογονανθράκων, όπως αιθάνιο ή προπάνιο. Συνήθως δημιουργείται από αναερόβια χώνευση. Ωστόσο, μπορεί επίσης να δημιουργηθεί μέσω αεριοποίησης βιομάζας (Lindgren et al., 2016). Αυτό το καύσιμο μπορεί να βοηθήσει στη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επειδή το LBG είναι χημικά ισοδύναμο με το ορυκτό LNG, κερδίζει δημοτικότητα στη ναυτιλιακή βιομηχανία, καθώς μπορεί να επωφεληθεί από την επεκτεινόμενη υποδομή LNG. Συχνά θεωρείται ως το πιο φιλικό προς το CO<sub>2</sub> από όλα τα καύσιμα (Maritime Knowledge Centre, 2017). Καθώς το LBG έχει χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τα ορυκτά καύσιμα, πρέπει να διατηρείται σε κρυογονικές δεξαμενές. Αυτή η συγκεκριμένη απαίτηση αποθήκευσης μπορεί να έχει επίδραση στην ποσότητα του διαθέσιμου χώρου στο πλοίο.

Το LBG έχει παρόμοιες εκπομπές SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM με το LNG. Λόγω αλλαγών στη σύνθεση του καυσίμου, το LBG συνεισφέρει περισσότερο μεθάνιο στο Global Warming Potential - GWP, που αφορά στην υπερθέρμανση του πλανήτη, από το LNG, ενώ το LNG εκπέμπει περισσότερους υδρογονάνθρακες από το LBG. Επίσης, το LBG έχει χαμηλότερο GWP κύκλου ζωής από το LNG, καθώς το CO<sub>2</sub> που

απελευθερώνεται προέρχεται από βιομάζα παρά από ορυκτά καύσιμα (Brynolf et al., 2014).

Το LBG μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εξαιρετικά ελκυστικό εναλλακτικό καύσιμο ναυτιλίας, οι ιδιότητες του είναι αρκετά κοντά στο LNG και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις υποδομές του LNG. Παρόλα αυτά οι ποσότητες που διατίθεται δεν είναι επαρκείς και απαιτούνται σημαντικές δαπάνες για να επιτευχθεί η παραγωγή μεγάλης κλίμακας που απαιτεί ο κλάδος της ναυτιλίας. (Koumniotis 2021)

#### **4.5.4. Μεθανόλη (Μεθυλική Αλκοόλη)**

Η μεθανόλη (CH<sub>3</sub>OH) ως καύσιμο προσφέρει κλιματικά οφέλη σύμφωνα με τον IMO. Σε θερμοκρασία και πίεση δωματίου, είναι ένα ελαφρύ, πτητικό, άχρωμο, εύφλεκτο υγρό με έντονη οσμή (Ming, 2021). Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από πολλές διαφορετικές πρώτες ύλες, από φυσικό αέριο (90%), βιομάζα ή ακόμα και από καταλυτική υδρογόνωση ενός ρεύματος αποβλήτων διοξειδίου του άνθρακα (UGS, 2021).

Η μεθανόλη είναι ένα πλούσιο σε οξυγόνο καύσιμο που καίγεται σε θαλάσσιους κινητήρες εσωτερικής καύσης χωρίς να εκπέμπει οξειδία θείου (SO<sub>x</sub>), αμελητέα ποσότητα σωματιδίων (PM) και οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) σε σχέση με το HFO ή το MGO. Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως καύσιμο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα γιατί υπό ειδικές διαδικασίες παραγωγής υπάρχει «μπλε» και «πράσινη» μεθανόλη. Η «μπλε» μεθανόλη παράγεται με τη χρήση δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) και φυσικού αερίου. Η «πράσινη» μεθανόλη ή η ανανεώσιμη μεθανόλη με τη μορφή βιομεθανόλης που προέρχεται από βιομάζα ή η ηλεκτρονική μεθανόλη που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει τη δυνατότητα να παράγει ένα καύσιμο μηδενικών εκπομπών άνθρακα (Research, 2022, UGS, 2021). Η ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης 15,7 MJ/L είναι μικρότερη από το ήμισυ των παραδοσιακών ορυκτών καυσίμων (40 MJ/L), γεγονός που απαιτεί μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης καυσίμου σε ένα πλοίο από τα συμβατικά καύσιμα. Ωστόσο ο εξοπλισμός του συστήματος διανομής καυσίμου επί του πλοίου πρέπει να είναι ανθεκτικός στη διάβρωση και τη φθορά λόγω της διαβρωτικής φύσεως της μεθανόλης. Λόγω του χαμηλού σημείου ανάφλεξης (60°C) και της τοξικότητάς της, η μεθανόλη ταξινομείται ως επικίνδυνη χημική ουσία. (Thepsithar et al., 2020, UGS, 2021). Η μεθυλική

αλκοόλη είναι τοξική για τον άνθρωπο όταν καταπίνεται ή όταν εισπνέονται οι ατμοί τους. (UGS, 2021)

Παρόλα αυτά, θεωρείται ότι είναι το ασφαλέστερο εναλλακτικό καύσιμο. Είναι ένα διαφανές, βιοδιασπώμενο υγρό που, όταν χυθεί στο νερό, σύντομα αραιώνεται σε μη τοξικά επίπεδα χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον ή βλάβη στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η ασφάλεια της μεθανόλης επιβεβαιώθηκε εκ νέου τον Νοέμβριο του 2020 όταν ο IMO ενέκρινε κανόνες για τη χρήση της ως ασφαλές καύσιμο πλοίων (Research, 2022). Με μερικές τροποποιήσεις, που αυξάνουν το κόστος κεφαλαίου, η μεθανόλη θα μπορούσε να καεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Αυτοί οι κινητήρες με μεθανόλη είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Επίσης, η χρήση της μεθανόλης στις κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την πρόωση πλοίων είναι επίσης τεχνικά βιώσιμη. (Koumniotis, 2022)

Παρά την απουσία υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων και την έλλειψη πληροφοριών σχετικά με το μελλοντικό κόστος της ουδέτερης σε άνθρακα μεθανόλης, ο κινητήρας μεθανόλης διπλού καυσίμου και τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου (DF methanol ICE) είναι μία από τις πιθανές επιλογές που εξετάζονται. Το πιλοτικό πρόγραμμα της Stena Germanica (2013-2015), το πρώτο πλοίο (51.000 GT, μήκους 240 μέτρων) που κινείται με μεθανόλη, απέδειξε τη σκοπιμότητα της μεθανόλης ως μελλοντικού θαλάσσιου καυσίμου για ένα συγκεκριμένο τμήμα των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων, καθώς δραστηριοποιείται μεταξύ των λιμανιών του Γκέτεμποργκ της Σουηδίας και του Κιέλου της Γερμανίας στη Βαλτική Θάλασσα, δεδομένου του πολύ περιορισμένου αριθμού πλοίων (περίπου 10) που λειτουργούν με μεθανόλη παγκοσμίως (DNV GL, 2020).

Ωστόσο, η μεθανόλη μπορεί να προσφέρει έναν πολύ καλό σταθερό και ασφαλή φορέα υδρογόνου, καθώς είναι η απλούστερη αλκοόλη με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδρογόνο από οποιοδήποτε υγρό καύσιμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου και η βιομηχανία μεθανόλης μελετά τεχνολογίες που θα επιτρέψουν στη μεθανόλη να παράγει υδρογόνο για κυψέλες καυσίμου. Οι ανησυχίες για την ασφάλεια, η χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης και το αυξημένο κόστος του συστήματος αποθήκευσης καυσίμου συνεχίζουν να καθιστούν αυτό το καύσιμο λιγότερο ελκυστικό ιδιαίτερα για τα πλοία χύδην/μεταφοράς. (UGS, 2021)

#### 4.5.5. Υδρογόνο – H<sub>2</sub>

Το υδρογόνο (H<sub>2</sub>) είναι ένα πιθανό θαλάσσιο καύσιμο που εκπέμπει μηδενικό διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μηδενικό οξείδιο του θείου (SO<sub>x</sub>) και πολύ μικρές ποσότητες οξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>) (Forum, 2018).

Η χρήση του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα και ως πράσινο καύσιμο είναι ελκυστική και μπορεί να είναι ένας από τους μοχλούς για την ενεργειακή μετάβαση. Το H<sub>2</sub> μπορεί να παραχθεί από διάφορες και διαφορετικές πηγές και τεχνολογίες ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κινητήρα εσωτερικής καύσης ή κυψέλες καυσίμου. Το 95% της παραγωγής υδρογόνου προέρχεται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, κυρίως φυσικό αέριο (IEA, 2019a) και το 5% της παραγωγής χρησιμοποιεί ηλεκτρόλυση (UGS, 2021). Το υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί από βιομάζα ή από νερό. Χρειάζεται 275 Mtoe (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμα πετρελαίου) ενέργειας για να παραχθεί, που αντιστοιχεί στο 2% της παγκόσμιας συνολικής ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας. Οι κύριες πηγές παραγωγής υδρογόνου είναι το φυσικό αέριο και η αναμόρφωση ατμού μεθανίου (SMR) περίπου 75 %, από άνθρακα περίπου 23 % και από πετρέλαιο και ηλεκτρική ενέργεια περίπου 2 %, που σημαίνει ότι το υδρογόνο έχει μεγάλη ένταση άνθρακα. (Koumniotis, 2022)

Η παραγωγή υδρογόνου με χαμηλές εκπομπές άνθρακα είναι από το νερό και την ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης, από ορυκτά καύσιμα με δέσμευση, χρήση και αποθήκευση άνθρακα (carbon capture use and storage, CCS) και από βιοενέργεια μέσω αεριοποίησης βιομάζας. Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (CCS) είναι η διαδικασία δέσμευσης CO<sub>2</sub> πριν εισέλθει στην ατμόσφαιρα της γης, αποθήκευσης ή επαναχρησιμοποίησής του. (Research, 2022).

Οι ηλιακές, αιολικές και υδροηλεκτρικές πηγές μπορούν να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη διαδικασία παραγωγής της μεθόδου ηλεκτρόλυσης. Αυτό βελτιώνει σημαντικά το συνολικό δυναμικό μετριασμού όταν εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής της παραγωγής του. Σύμφωνα με μια μελέτη του Bicer (2018), το υδρογόνο που παράγεται από την υδροηλεκτρική ενέργεια εκπέμπει 10 φορές λιγότερο CO<sub>2</sub> από το HFO σε όλο τον κύκλο ζωής του. Επιπλέον, ο συνδυασμός υδρογόνου με HFO (50 % του συνολικού καυσίμου) μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> έως και 43 % ανά τόνο km, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλες εκπομπές GHG μπορούν να μειωθούν σημαντικά ακόμη και

όταν τα σημερινά συμβατικά καύσιμα πλοίων (HFO) αντικατασταθούν σε μεγάλο βαθμό από το υδρογόνο (Forum, 2018, Koumniotis, 2022).

Περίπου το 55% του υδρογόνου χρησιμοποιείται για τη σύνθεση αμμωνίας και το 10% για την παραγωγή μεθανόλης. Επίσης, το υδρογόνο χρησιμοποιείται από άλλους κλάδους της βιομηχανίας, όπως για την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, γυαλιού, ηλεκτρονικών, ειδικών χημικών προϊόντων και άλλα.

Το μειονέκτημα της χρήσης του υδρογόνου ως εναλλακτικού καυσίμου στη ναυτιλία αφορά στην έλλειψη αποθήκευσης, καθώς απαιτεί κρυογονική αποθήκευση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περίπου  $-240^{\circ}\text{C}$  ή υπό πίεση μεταξύ 350 bar έως 700 bar, που σχετίζεται με μεγάλες απώλειες ενέργειας κατά τη μετατροπή και χρειάζεται πολύ καλά μονωμένες δεξαμενές καυσίμου (Abb Jiangjin Turbo Systems, 2019). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια χώρου φορτίου λόγω του μεγέθους των δεξαμενών αποθήκευσης.

Το αποτύπωμα άνθρακα του υδρογόνου που παράγεται από φυσικό αέριο είναι μεγαλύτερο από αυτό των HFO και MGO. Το πιό καθαρό καύσιμο είναι το πράσινο υδρογόνο που παράγεται με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση θεωρείται ότι μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί η πλεονάζουσα ανανεώσιμη ενέργεια, σταθεροποιώντας την παραγωγή ηλιακών ή αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Εάν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου είναι πράσινη, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν κατά 85% σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα (UGS, 2021)

Το υψηλό κόστος του καυσίμου, η ενεργειακή ένταση για την παραγωγή και η ακριβή τεχνολογία κυψελών καυσίμου με χαμηλή πυκνότητα ισχύος καθώς και οι συνθήκες αποθήκευσής του, καθιστά δύσκολη την εφαρμογή του. (Maritime Knowledge Centre, 2017). Όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλοία με διαδρομές μικρών αποστάσεων. Η εταιρεία Norwegian Ship Design σχεδίασε δύο πλοία Ro-Pax, πορθμεία, όπου θα εξοικονομούν περίπου 26.500 τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη χρήση υδρογόνου, φυσικά με την μέγιστη ασφάλεια που θα είναι αντίστοιχη των συμβατικών που χρησιμοποιούν πετρέλαιο. (OT.gr, 2022)

#### 4.5.6. Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια που περιέχεται σε ένα καύσιμο απευθείας σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Όλες οι κυψέλες καυσίμου χρειάζονται καύσιμο πλούσιο σε υδρογόνο για τη χημική διαδικασία. Εκτός από τη χρήση καθαρού υδρογόνου, οι χημικοί αντιδραστήρες (fuel reformers) χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή άλλων καυσίμων, όπως το φυσικό αέριο (μεθάνιο-CH<sub>4</sub>), η μεθανόλη (CH<sub>3</sub>OH) σε καύσιμο πλούσιο σε υδρογόνο για τις κυψέλες. Αυτή η διαδικασία άμεσης μετατροπής επιτρέπει την ηλεκτρική απόδοση έως και 60%, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης καυσίμου και του καυσίμου που χρησιμοποιείται. (UGS, 2021) Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου υπό ανάπτυξη. Ο χημικός μηχανισμός, η θερμοκρασία λειτουργίας, η απόδοση και η καταλληλότητα του καυσίμου εξαρτώνται από το υλικό που χρησιμοποιείται στην κυψέλη καυσίμου.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται συνήθως στις κυψέλες καυσίμου εξαλείφουν τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM σχεδόν στο μηδέν. Λόγω της υψηλής απόδοσης των κυψελών καυσίμου, είναι δυνατή η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 30% όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα με βάση τους υδρογονάνθρακες, όπως φυσικό αέριο ή μεθανόλη. Η χρήση κυψελών καυσίμου ελαχιστοποιεί επίσης τις εκπομπές κραδασμών και θορύβου, ένα κύριο χαρακτηριστικό των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου ως μετατροπέας ενέργειας δεν παράγει εκπομπές CO<sub>2</sub> και θα μπορούσε να εξαλείψει τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM από τα πλοία. (UGS, 2021)

Πολλά έργα βρίσκονται σε εξέλιξη για την βιωσιμότητα της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου στα πλοία. Ένα πλοίο που λειτουργεί με τεχνολογία κυψελών καυσίμου στο μέλλον δεν θα χρειάζεται απαραίτητα να έχει κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, η τεχνολογία κυψελών καυσίμου για πλοία βρίσκεται στο αρχικό στάδιο και δεν μπορεί να καταστεί βιώσιμη, απαιτείται σημαντική μείωση του κόστους και αναβάθμιση του μεγέθους τους για να μπορεί να χρησιμοποιείται από τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία. (UGS, 2021)

#### 4.5.7. Μπαταρίες

Η μπαταρία είναι μια ηλεκτρική συσκευή αποθήκευσης. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός πλήρως ηλεκτρικού πλοίου (όπως οι κινητήρες ντίζελ) ή ενός υβριδικού πλοίου (ένα που χρησιμοποιεί μπαταρίες για να αυξήσει τα άλλα καύσιμα και επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά). (koumniotis, 2022)

Όλα τα ηλεκτρικά πλοία είναι σε μεγάλο βαθμό κατάλληλα για τις μεταφορές μικρών αποστάσεων, για το παράκτιο εμπόριο, για μικρά πορθμεία και για χρήσεις ποταμών λόγω της κακής ενεργειακής πυκνότητας των λύσεων που βασίζονται σε μπαταρίες.

Η ηλεκτροδότηση ενός πλοίου μπορεί να εξαλείψει εντελώς τα CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM, σε σύγκριση με ένα πλοίο που τροφοδοτείται από συμβατικά ορυκτά καύσιμα. (Agency, 2021).

Η ενσωματωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή η ηλεκτροδότηση/τροφοδοτικό στην ξηρά (on shore power supply - OPS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα δύο για τη φόρτιση μπαταριών. Μπορεί επίσης να φορτιστεί με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι εφαρμογές μπαταριών στα πλοία αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω της εξαιρετικά υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και των ποσοτήτων ισχύος που απαιτούνται για τις δραστηριότητες του πλοίου, όπως η πρόωση ή η λειτουργία βοηθητικών συστημάτων υψηλής ισχύος. Τα συστήματα μεγάλων μπαταριών είναι δύσκολο να εγκατασταθούν στα πλοία λόγω του βάρους ή του όγκου τους, ιδίως εάν στο σύστημα περιλαμβάνονται παραδοσιακοί χώροι πρόωσης και δεξαμενών καυσίμων. Τα μισά από όλα τα πλοία με μπαταρίες που λειτουργούν συνεχώς είναι υβριδικά πλοία, ενώ περίπου το 18% είναι αποκλειστικά ηλεκτρικά πλοία. Τα επιβατηγά πλοία και τα πορθμεία είναι τα είδη πλοίων που χρησιμοποιούν πολύ περισσότερο τις μπαταρίες αυτή τη στιγμή (Agency, 2021).

Το 2023, ένα νέο ηλεκτρικό πορθμείο που θα ονομάζεται Candela P-12 θα δρομολογηθεί στη Σουηδία, ενώ η Ελληνική εταιρεία Saronic Ferries θα δρομολογήσει το πρώτο ηλεκτρικό της πλοίο στη γραμμή του Αργοσαρωνικού. (OT.gr, 2022)

#### 4.5.8. Αμμωνία – $NH_3$

Η αμμωνία ( $NH_3$ ) είναι μια ένωση αζώτου και υδρογόνου και χρησιμοποιείται στο εμπόριο και ονομάζεται άνυδρη αμμωνία. Ουσιαστικά είναι φορέας υδρογόνου, αλλά έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, με αποτέλεσμα να είναι καλύτερη πηγή καυσίμου. Η ογκομετρική πυκνότητα υδρογόνου της υγρής αμμωνίας είναι περίπου 45% μεγαλύτερη από αυτή του υγρού υδρογόνου, άρα η υγρή αμμωνία μπορεί να περιέχει περισσότερο υδρογόνο στον ίδιο όγκο με το υγρό υδρογόνο. Παράγεται με τη διαδικασία Haber-Bosch, η οποία συνδυάζει αέριο άζωτο και αέριο υδρογόνο σε υψηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες για να σχηματίσει αμμωνία.

Η αμμωνία είναι ένα άχρωμο αέριο υπό συνθήκες περιβάλλοντος με μικρότερη πυκνότητα από τον αέρα (DNV, 2020). Η  $NH_3$  έχει σημείο βρασμού  $-33,3^{\circ}C$  και πρέπει να φυλάσσεται υπό πίεση ή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Εάν η πίεση αυξηθεί σε περίπου 10 bar σε θερμοκρασία 20 – 25 βαθμών Κελσίου, η αμμωνία παραμένει υγρή. (Koumniotis, 2022)

Καθώς η αμμωνία δεν περιέχει άνθρακα, δεν εκπέμπει  $CO_2$  όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι η περισσότερη αμμωνία σήμερα παράγεται από φυσικό αέριο και επομένως από την άποψη του κύκλου ζωής δεν εκπέμπει μηδενικό άνθρακα. Η αμμωνία είναι επίσης ένα καύσιμο χωρίς θείο και δεν απαιτεί κανένα σύστημα αφαίρεσης  $SO_x$  στα καυσαέρια για να συμμορφώνεται με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς σχετικά με τις εκπομπές θείου. Η αμμωνία μπορεί επίσης να παραχθεί από έναν αυξανόμενο αριθμό ανανεώσιμων πόρων, όπως η βιομάζα, καθιστώντας την αλυσίδα παραγωγής της αμμωνίας ευέλικτη. Η μελλοντική χρήση της αεριοποίησης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και το κόστος της διάθεσης βιομάζας. Εάν παράγεται με αεριοποίηση βιομάζας, μπορεί να θεωρηθεί ως καύσιμο ουδέτερο ως προς τον άνθρακα.

Η έλλειψη υποδομών ανεφοδιασμού είναι ένα εμπόδιο για τη χρήση της  $NH_3$  ως εναλλακτικού καυσίμου πλοίων (DNV GL, 2019).

Η αμμωνία διακρίνεται στους ακόλουθους τύπους:

- Η μαύρη (συμβατική) αμμωνία παράγεται με τη χρήση φυσικού αερίου στη βιομηχανία νιτρικών λιπασμάτων. Η μελλοντική χρήση της αμμωνίας ως θαλάσσιου καυσίμου προϋποθέτει σημαντική αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής αμμωνίας,

καθώς η χρήση της στη ναυτιλία θα ανταγωνιστεί τη βιομηχανία λιπασμάτων που χρησιμοποιεί αμμωνία στη γεωργία και πιθανώς και σε άλλους τομείς.

- Η καφέ αμμωνία είναι αμμωνία υψηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα που παράγεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων ως πρώτη ύλη. Η καφέ αμμωνία παράγεται συνδυάζοντας το φυσικό αέριο με την τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS), ελαχιστοποιώντας τις εκπομπές άνθρακα κατά τα δύο τρίτα. Φαίνεται να είναι πιο ελκυστική, σε σύγκριση με τη συμβατική αμμωνία, λόγω της επαναχρησιμοποίησης ενός σημαντικού μέρους του αρχικά απελευθερωμένου CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.
- Η μπλε αμμωνία (αμμωνία χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα). Είναι αμμωνία από ορυκτές πηγές (καφέ αμμωνία) αλλά με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) (DNV, 2020). Ενώ έως και το 90% του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να απορροφηθεί, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή φυσικού αερίου περιορίζουν τις μειώσεις των εκπομπών του κύκλου ζωής έως και 60 – 85% για την αναμόρφωση με ζεύγη ατμού μεθανίου και τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Αυτό το επίπεδο εκπομπής άνθρακα είναι αξιοσημείωτο, αλλά οι τρέχουσες προβλέψεις δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να είναι μόνο ένα μέρος προς μια στρατηγική μηδενικού άνθρακα για καθαρή παραγωγή υδρογόνου μηδενικού άνθρακα. Όμως εάν υπάρχει σημαντική αύξηση στην παραγωγή υδρογόνου και αμμωνίας σε συνδυασμό με την αποδοτική αποθήκευση ενέργειας, αυτό είναι αξιοσημείωτο. (Society, 2020).
- Η πράσινη αμμωνία είναι αμμωνία μηδενικών εκπομπών άνθρακα, που παράγεται με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλεκτρισμό), νερό και αέρα. Το αποτύπωμα CO<sub>2</sub> της πράσινης αμμωνίας ήταν κατά προσέγγιση μηδέν, παρά το γεγονός ότι μια πλήρης αξιολόγηση του κύκλου ζωής θα πρέπει να περιλαμβάνει την κατασκευή και τη μεταφορά της μονάδας στη θέση ανεφοδιασμού. Η μείωση των εκπομπών του κύκλου ζωής για την πράσινη αμμωνία εκτιμάται ότι είναι 90% για την αιολική αμμωνία και >75% για την αμμωνία που τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά. Με την αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατασκευή ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών, η μείωση θα αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου καθώς μειώνονται οι εκπομπές του κύκλου ζωής από τις ανανεώσιμες πηγές (Laval et al., 2020).

## 5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ SCRUBBERS ΣΕ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΟ

### 5.1. Κανονισμός IMO MEPC.259 (68)

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 3, ο Κανονισμός 14 του Παραρτήματος VI της Marpol θέτει τα όρια στην περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων για τον περιορισμό των εκπομπών. Ο Κανονισμός 4 επιτρέπει τη χρήση εναλλακτικής μεθόδου συμμόρφωσης, με τη χρήση των μονάδων καθαρισμού καυσαερίων (EGC) ή αλλιώς scrubbers, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων που ορίζονται στον Κανονισμό 14.

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO, μία μονάδα καθαρισμού καυσαερίων μπορεί να εγκριθεί αν συμμορφώνεται με ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών ή με περιοδικούς ελέγχους. Η χρήση της μεθόδου αναλογίας SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(%) απλοποιεί την παρακολούθηση των εκπομπών SO<sub>X</sub> και διευκολύνει την έγκριση μιας μονάδας EGC. Η συμμόρφωση πρέπει να αποδεικνύεται με βάση τις τιμές του λόγου SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(% v/v), ώστε να επιτευχθεί η ισοδύναμη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο.

*Πίνακας 6 Όρια θείου καυσίμου που καταγράφονται στους κανονισμούς 14.1 και 14.4 και αντίστοιχες τιμές εκπομπών*

Fuel oil sulphur content (% m/m)	Ratio emission SO <sub>2</sub> (ppm)/CO <sub>2</sub> (% v/v)
4.50	195.0
3.50	151.7
1.50	65.0
1.00	43.3
0.50	21.7
0.10	4.3

Πηγή: MEPC.259(68) Annex 1

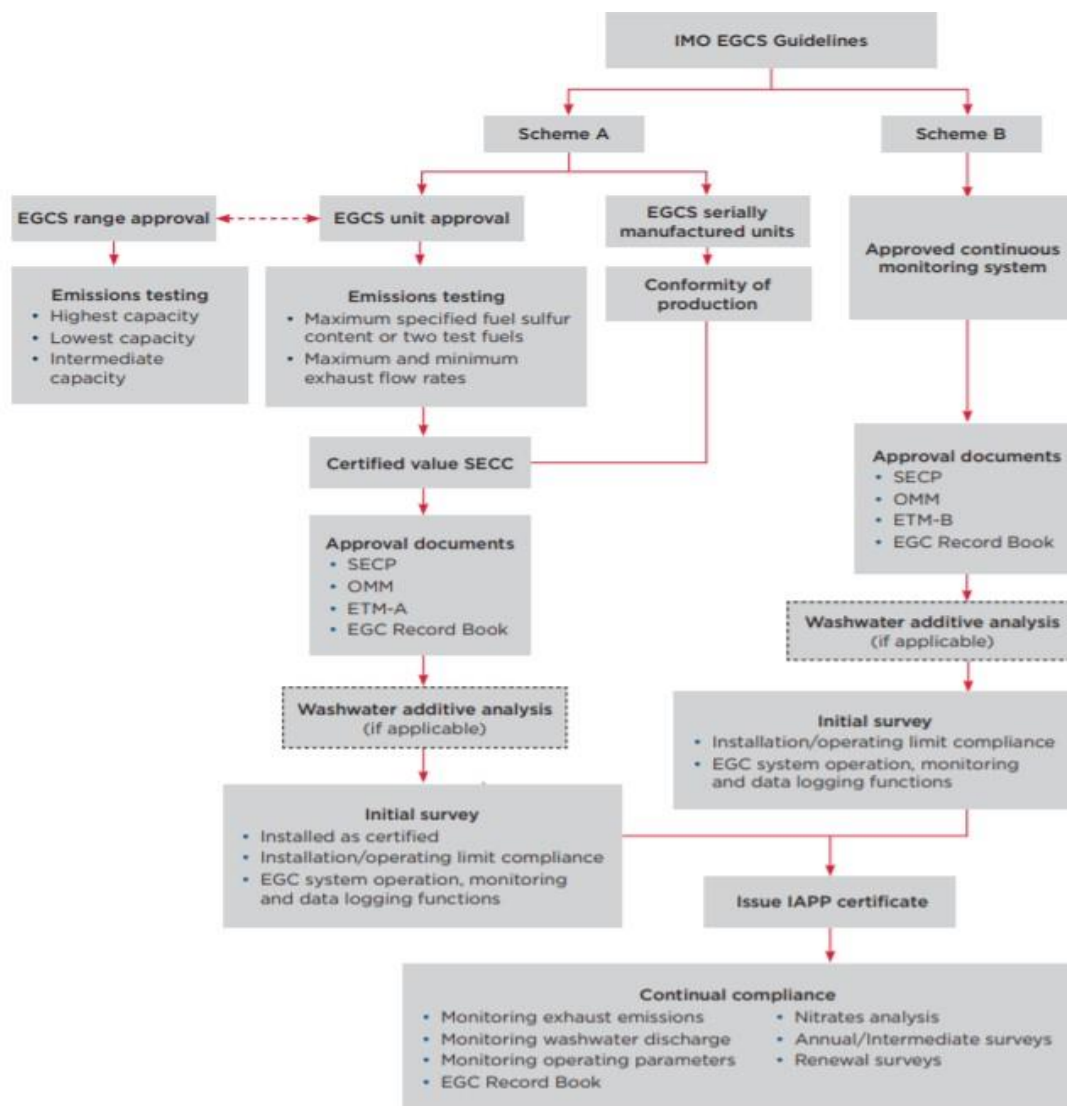
Σκοπός των κατευθυντήριων γραμμών του IMO, είναι να προσδιορίσουν τις απαιτήσεις για τη δοκιμή, την πιστοποίηση και την επαλήθευση των συστημάτων EGC.

Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές επιτρέπουν δύο συστήματα για την εγκατάσταση και λειτουργία των πλυντρίδων:

Το Σχέδιο Α, το οποίο πιστοποιεί τη μονάδα σχετικά με την αποδοτικότητα της στη μείωση εκπομπών διοξειδίου του θείου και με τη συνεχή παρακολούθηση των λειτουργικών παραμέτρων.

Το Σχέδιο Β, δεν απαιτεί πιστοποίηση, αλλά συνεχής παρακολούθηση εκπομπών από ένα έγκυρο σύστημα και έλεγχοι των παραμέτρων σε ημερήσια βάση.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2012/33/ΕΚ (σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο) απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεχής παρακολούθηση των εκπομπών και η μείωση των οξειδίων του θείου.



Εικόνα 18 Διαδικασία πιστοποίησης Μονάδας Καθαρισμού Καυσαερίων

### 5.1.1. Σχέδιο A - EGC System – Technical Manual (ETM-A)

Σύμφωνα με το Σχέδιο A, η μονάδα θα πρέπει να είναι πιστοποιημένη πριν λειτουργήσει. Ο κατασκευαστής έχει ένα εγκεκριμένο EGC System – Technical Manual (ETM-A) από κάποιο Οργανισμό (Νηογνώμονα) και δεν απαιτείται η συνεχής καταμέτρηση των εκπομπών του πλοίου. Όμως απαιτείται ένα πιστοποιητικό το SOx Emissions Compliance Certificate (SECC), σύμφωνα με το οποίο η πλυντρίδα επιτυγχάνει το στόχο μείωσης των εκπομπών οξειδίων του θείου σε συνεχή χρήση και σύμφωνα με τις παραμέτρους του ETM-A. Ο λόγος SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(%) καθορίζει το στόχο μείωσης, ώστε να επιτυγχάνεται το ίδιο επίπεδο μείωσης οξειδίων του θείου όπως με τα συμβατά καύσιμα που αναφέρονται στον Κανονισμό 14 του IMO.

Το ETM-A περιέχει τις κάτωθι πληροφορίες για τη μονάδα πλυντρίδων:

- Τον κατασκευαστή, το μοντέλο/τύπο, τον σειριακό αριθμό, την πλήρη περιγραφή της μονάδας και των βοηθητικών συστημάτων.
- Τα όρια λειτουργίας της: μέγιστος και ελάχιστος ρυθμός ροής μάζας καυσαερίων, την ισχύ, τον τύπο κλπ της μονάδας καύσης όπου πρόκειται να τοποθετηθεί η πλυντρίδα, εάν είναι δίχρονη ή τετράχρονη κλπ
- Μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα ροής νερού πλύσης, πιέσεις εισόδου και ελάχιστη αλκαλικότητα νερού εισόδου
- Κλίμακες θερμοκρασίας εισόδου καυσαερίων και μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων με την μονάδα EGC σε λειτουργία
- Εύρος διαφορετικής πίεσης καυσαερίων και η μέγιστη πίεση εισόδου καυσαερίων με τη μονάδα καύσης να λειτουργεί σε Maximum Continuous Rating (MCR) στο 80% της ονομαστικής της ισχύος ανάλογα με την περίπτωση
- Επίπεδα αλατότητας και άλλους παράγοντες που αφορούν στον σχεδιασμό και στη λειτουργία της μονάδας.
- Διορθωτικές ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης της ισχύουσας μέγιστης επιτρεπόμενης αναλογίας SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, ή των κριτηρίων εκκένωσης νερού πλύσης.
- Διακύμανση απόδοσης εμβέλειας στα χαρακτηριστικά του νερού πλύσης
- Απαιτήσεις σχεδιασμού του συστήματος υδάτων πλύσης.

Η διαδικασία πιστοποίησης της μονάδας γίνεται πριν ή μετά την εγκατάσταση στο πλοίο, όπου δοκιμάζεται η απόδοση της πλυντρίδας σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό επίπεδο ροής καυσαερίων με συγκεκριμένο καύσιμο και εγκρίνονται τα αποτελέσματα από τον αρμόδιο Νηογνώμονα, όπου και του χορηγείται το πιστοποιητικό SECC.

Εν συνεχεία επιθεωρείται το σύστημα, σύμφωνα με το ETM-A και προτείνεται η συνεχή παρακολούθηση των λειτουργικών παραμέτρων.

Επιπρόσθετα στο πλοίο πρέπει να υπάρχουν α) το Σχέδιο Συμμόρφωσης με τις εκπομπές SO<sub>x</sub> (SECP), όπου παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα συνεχούς παρακολούθησης διατηρούνται εντός των συνιστομένων προδιαγραφών του κατασκευαστή, β) το Onboard Monitoring Manual (OMM) όπου καταγράφονται όλες οι πληροφορίες του χρόνου και της θέσης του πλοίου και κρατούνται για 18 μήνες για πιθανούς ελέγχους και γ) το EGC Record Book, όπου καταγράφονται οι τροποποιήσεις, επισκευές και εργασίες συντήρησης των πλυντρίδων. (IMO MEPC.259(68), παρ. 4)

### **5.1.2. Σχέδιο B - EGC System – Technical Manual (ETM-B)**

Σύμφωνα με το Σχέδιο B απαιτείται ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης, καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων των εκπομπών οξειδίου του θείου ώστε να επιτυγχάνεται ο λόγος SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(%), ο οποίος θα πρέπει να είναι ίσος ή και μικρότερος, ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη τιμή εκπομπών (όπως αναφέρεται στο SECP) και συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των κανονισμών του Παραρτήματος της VI Marpol.

Στο Σχέδιο B, υπάρχει ένα εγκεκριμένο EGC System – Technical Manual (ETM-B) από τον κατασκευαστή στο οποίο περιλαμβάνονται όλες οι πληροφορίες, που αναφέρθηκαν παραπάνω στο Σχέδιο A, για τη μονάδα καύσης που τοποθετείται το σύστημα, τις λειτουργικές τιμές και τα όρια.

Επίσης στο πλοίο πρέπει να υπάρχουν α) το Σχέδιο Συμμόρφωσης με τις εκπομπές SO<sub>x</sub> (SECP), όπου να καταγράφονται καθημερινά οι βασικές παράμετροι και να παρουσιάζει ότι η αναλογία SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(%) του πλοίου είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κανονισμού β) το Onboard Monitoring Manual (OMM) και γ) το EGC Record Book, όπως προαναφέρθηκαν για το Σχέδιο A. (IMO MEPC.259(68), παρ. 5).

Πίνακας 7 Έγγραφα/Πιστοποιητικά που απαιτούνται για τα Σχέδια Α και Β

Document	Scheme A	Scheme B
SECP-SOX Emissions Compliance Plan	X	X
SECC-SOX Emissions Compliance Certificate	X	
ETM Scheme A	X	
ETM Scheme B		X
OMM-Onboard Monitoring Manual	X	X
EGC Record Book or Electronic Logging System	X	X

Πηγή: MEPC.259(68) Annex 1

## 5.2. Εγχειρίδιο Παρακολούθησης – Onboard Monitoring Manual (OMM)

Στο Onboard Monitoring Manual (OMM), όπως προαναφέρθηκε, καταγράφονται όλες οι πληροφορίες του χρόνου, της θέσης του πλοίου καθώς και άλλες πληροφορίες για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων παρακολούθησης τα οποία κρατούνται για 18 μήνες σε περίπτωση ελέγχων από την Αρχή.

Το OMM θα πρέπει να περιλαμβάνει α) τους αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος EGC και της παρακολούθησης του νερού πλύσης, των απαιτήσεων συντήρησης κλπ, β) τις θέσεις από τις οποίες πρέπει να λαμβάνονται οι μετρήσεις εκπομπών καυσαερίων και η παρακολούθηση των υδάτων πλύσης μαζί με λεπτομέρειες για τυχόν απαραίτητες βοηθητικές υπηρεσίες, όπως μονάδες επεξεργασίας δειγμάτων και οποιεσδήποτε σχετικές απαιτήσεις συντήρησης, γ) τους αναλυτές που θα χρησιμοποιηθούν, τις απαιτήσεις σέρβις, συντήρησης και βαθμονόμησης και άλλες πληροφορίες ή δεδομένα

σχετικά με την ορθή λειτουργία των συστημάτων παρακολούθησης ή τη χρήση τους για την απόδειξη της συμμόρφωσης. (IMO MEPC.259(68), παρ. 8)

### **5.3. Περιβαλλοντικά κριτήρια του συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (EGC)**

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO MEPC.259(68) για τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων πρέπει να πληρούνται ορισμένα κριτήρια αναφορικά με τις απορρίψεις νερού έκπλυσης στο περιβάλλον. Οι τιμές που παρακολουθούνται και καταγράφονται αφορούν στο pH, στους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH's), στη θολότητα και στα νιτρικά άλατα και θα πρέπει να προσδιορίζονται στο ETM-A ή ETM-B.

Αναφορικά με τα υπολείμματα σε μορφή λάσπης (sludge) που δημιουργούνται από τη μονάδα EGC θα πρέπει να συλλέγονται, να αποθηκεύονται στο πλοίο και εν συνεχεία να παραδίδονται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις υποδοχής στα λιμάνια. Το πλοίο πρέπει να καταγράφει (ημερομηνία, ώρα, τοποθεσία) την αποθήκευση και τη διάθεση των υπολειμμάτων.

#### **5.3.1. Κριτήριο pH**

Το νερό πλύσης που απορρίπτεται στη θάλασσα, θα πρέπει να έχει pH όχι μικρότερο από 6,5, με την εξαίρεση ότι κατά τη διάρκεια των ελιγμών και της πλεύσης, επιτρέπεται η μέγιστη διαφορά pH, μεταξύ του σημείου εισόδου και εξόδου 2 μονάδων. Επίσης μπορεί να πραγματοποιηθεί πρόσμιξη του νερού έκπλυσης με το νερό ψύξης (που και αυτό προορίζεται για απόρριψη) ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη τιμή του pH. Το όριο απόρριψης pH είναι η τιμή που θα επιτευχθεί ως ελάχιστο pH 6,5, στα 4 μέτρα από το σημείο εξόδου του νερού έκπλυσης στη θάλασσα με το πλοίο να είναι ακίνητο και πρέπει να καταγράφεται ως το όριο εκφόρτισης pH στη θάλασσα στο ETM-A ή ETM-B.

Το όριο εκφόρτισης pH στη θάλασσα μπορεί να καθοριστεί είτε μέσω άμεσης μέτρησης, είτε με χρήση μεθοδολογίας που βασίζεται σε υπολογισμούς (υπολογιστική ρευστοδυναμική ή άλλοι εξίσου επιστημονικά τεκμηριωμένοι εμπειρικοί τύποι) που θα

εγκριθεί από την Αρχή και σύμφωνα με τις ακόλουθες συνθήκες που πρέπει να καταγράφονται στο ETM-A ή ETM-B:

α) όλες οι μονάδες EGC, λειτουργούν με το πλήρες φορτίο τους (ή το υψηλότερο δυνατό φορτίο) και με καύσιμο μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο για το οποίο οι μονάδες πρόκειται να πιστοποιηθούν (Σχέδιο Α) ή να χρησιμοποιηθούν (Σχέδιο Β)

β) εάν χρησιμοποιείται καύσιμο δοκιμής με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο και/ή δοκιμαστικό φορτίο χαμηλότερο από το μέγιστο, επαρκές για την απόδειξη της συμπεριφοράς του νερού πλύσης, η αναλογία ανάμειξης πρέπει να καθοριστεί με βάση την καμπύλη ογκομέτρησης του θαλασσινού νερού. Η αναλογία ανάμειξης θα χρησιμοποιηθεί για να αποδειχθεί ότι η συμπεριφορά του νερού πλύσης και ότι το όριο εκκένωσης pH στη θάλασσα έχει τηρηθεί, εάν το σύστημα EGC λειτουργεί με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο καυσίμου και φορτίο για το οποίο είναι πιστοποιημένο το σύστημα EGC (Σχήμα Α) ή χρησιμοποιείται με (Σχήμα Β).

γ) όπου ο ρυθμός ροής του νερού πλύσης ποικίλλει σύμφωνα με τον ρυθμό ροής αερίου του συστήματος EGC, οι επιπτώσεις αυτού για την απόδοση μερικού φορτίου θα πρέπει επίσης να αξιολογηθούν για να διασφαλιστεί ότι το όριο εκφόρτισης pH στη θάλασσα τηρείται υπό οποιοδήποτε φορτίο.

δ) πρέπει να γίνει αναφορά σε αλκαλικότητα θαλασσινού νερού 2.200  $\mu\text{mol}/\text{λίτρο}$  και pH 8,2 και θα πρέπει να εφαρμόζεται μια τροποποιημένη καμπύλη ογκομέτρησης όταν οι συνθήκες δοκιμής διαφέρουν από το θαλασσινό νερό αναφοράς, όπως έχει συμφωνηθεί από την Αρχή.

ε) εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μια μεθοδολογία που βασίζεται σε υπολογισμούς, λεπτομέρειες που επιτρέπουν την επαλήθευσή της, όπως, ενδεικτικά, υποστηρικτικοί επιστημονικοί τύποι, προδιαγραφές σημείου εκκένωσης, ρυθμοί ροής εκροής υδάτων πλύσης, σχεδιασμένες τιμές pH τόσο στη θέση απόρριψης όσο και στα 4 μέτρα, θα πρέπει να υποβληθούν παράμετροι αραίωσης. (IMO MEPC.259(68), παρ. 10.1.2)

### 5.3.2. Κριτήριο Πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων – PAH,s

Το νερό έκπλυσης θα πρέπει να παρακολουθείται για την περιεκτικότητα σε πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και το όριο θα πρέπει να προσδιορίζεται στο ETM-A ή ETM-B. Η μέγιστη συνεχής συγκέντρωση PAH στο

νερό έκπλυσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 50 µg/L PAH<sub>phe</sub> (ισοδυναμία φαινανθρενίου) πάνω από τη συγκέντρωση PAH του νερού εισόδου. Για τους σκοπούς αυτών των κριτηρίων, η συγκέντρωση PAH στο νερό πλύσης θα πρέπει να μετράται κατάντη (μετά την επεξεργασία) του εξοπλισμού επεξεργασίας νερού, αλλά ανάντη (πριν) οποιασδήποτε αραίωσης νερού πλύσης ή άλλης μονάδας δοσομέτρησης αντιδραστηρίου, εάν χρησιμοποιείται, πριν από την απόρριψη. Το όριο των 50 µg/L που περιγράφεται παραπάνω αφορά στο ρυθμό ροής νερού πλύσης μέσω της μονάδας EGC 45 t/MWh, όπου το MW αναφέρεται στο Maximum Continuous Rating (MCR) ή στο 80% της ονομαστικής ισχύος της μονάδας καύσης πετρελαίου μαζούτ. Αυτό το όριο θα πρέπει να προσαρμοστεί προς τα πάνω για χαμηλότερους ρυθμούς ροής νερού πλύσης ανά MWh και αντίστροφα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8 Πίνακας κριτηρίων ορίων PAH's

Flow rate (t/MWh)	Discharge concentration limit (µg/L PAH <sub>phe</sub> equivalents)	Measurement technology
0-1	2250	Ultraviolet light
2.5	900	– " –
5	450	Fluorescence
11.25	200	– " –
22.5	100	– " –
45	50	– " –
90	25	– " –

Πηγή: MEPC.259(68) Annex 1

Για περίοδο 15 λεπτών σε οποιαδήποτε περίοδο 12 ωρών, το όριο συνεχούς συγκέντρωσης PAH<sub>phe</sub> μπορεί να υπερβαίνει το όριο που περιγράφεται παραπάνω έως και 100% και θα πρέπει να ελέγχεται με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας είτε με φθορισμό. (IMO MEPC.259(68), παρ. 10.1.3)

### 5.3.3. Κριτήριο Θολότητας (Turbidity)

Το σύστημα επεξεργασίας νερού πλύσης θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τα αιωρούμενα σωματίδια, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων και της τέφρας.

Η μέγιστη συνεχής θολότητα στο νερό πλύσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 25 FNU (νεφλομετρικές μονάδες φορμαζίνης) ή 25 NTU (νεφλομετρικές μονάδες θολότητας) ή ισοδύναμες μονάδες, πάνω από τη θολότητα του νερού στο σημείο εισόδου. Όλες οι ενδείξεις διαφοράς θολότητας θα πρέπει να είναι ένας κυλιόμενος μέσος όρος για μια περίοδο 15 λεπτών έως το μέγιστο των 25 FNU. Για τους σκοπούς αυτών των κριτηρίων, η θολότητα στο νερό πλύσης θα πρέπει να μετράται κατάντη του εξοπλισμού επεξεργασίας νερού αλλά πριν από την αραίωση του νερού πλύσης (ή άλλη δοσολογία αντιδραστηρίων) πριν από την απόρριψη. Για περίοδο 15 λεπτών σε οποιαδήποτε περίοδο 12 ωρών, το όριο συνεχούς εκκένωσης θολότητας μπορεί να υπερβεί κατά 20%. Το όριο θα πρέπει να καταγράφεται στο ETM-A ή ETM-B. (IMO MEPC.259(68), παρ. 10.1.4)

### 5.3.4. Κριτήριο Νιτρικών αλάτων

Το σύστημα επεξεργασίας νερού πλύσης θα πρέπει να αποτρέπει την απόρριψη νιτρικών αλάτων πέρα από αυτή που σχετίζεται με την απομάκρυνση NOX κατά 12% από τα καυσαέρια ή πέραν των 60 mg/l που είναι μέσα στα πλαίσια για ρυθμό εκκένωσης νερού πλύσης 45 τόνων/MWh, όποιο είναι μεγαλύτερο.

Σε κάθε επιθεώρηση ανανέωσης του πιστοποιητικού scrubber, πρέπει να υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από τα δείγματα του αποβαλλόμενου νερού έκπλυσης και να εκδίδεται το σχετικό πιστοποιητικό. Ωστόσο, η Αρχή μπορεί να απαιτήσει τη λήψη και ανάλυση πρόσθετου δείγματος κατά την κρίση της. Τα δεδομένα απόρριψης νιτρικών αλάτων και το πιστοποιητικό ανάλυσης πρέπει να διατηρούνται στο πλοίο ως μέρος του Βιβλίου Αρχείων EGC και να είναι διαθέσιμα για επιθεώρηση όπως απαιτείται από τον έλεγχο του κράτους λιμένα ή άλλα μέρη. Οι απαιτήσεις σχετικά με τη δειγματοληψία, την αποθήκευση, το χειρισμό και την ανάλυση θα πρέπει να

αναφέρονται λεπτομερώς στο ETM-A ή ETM-B, όπως ισχύει. Όλα τα συστήματα πρέπει να ελέγχονται για νιτρικά άλατα στο νερό εκροής. Εάν οι τυπικές ποσότητες νιτρικών είναι πάνω από το 80% του ανώτατου ορίου, θα πρέπει να καταγράφονται στο ETM-A ή ETM-B. (IMO MEPC.259(68), παρ. 10.1.5)

#### **5.4. Μελέτη περίπτωσης – Τοποθέτηση συστήματος καθαρισμού καυσαερίων σε επιβατηγό ακτοπλοϊκό πλοίο**

Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (EGC) τοποθετήθηκε σε ακτοπλοϊκό επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο το οποίο ναυπηγήθηκε το έτος 2012, έχει μήκος 146 μέτρων, 10.800 περίπου κόρους ολικής χωρητικότητας, με μεταφορική ικανότητα 2.000 επιβατών και 430 οχημάτων.

Το σύστημα scrubber, το οποίο τοποθετήθηκε το έτος 2019, συμμορφώνεται πλήρως με τους κανονισμούς 14.1 του IMO και 14.4 του παραρτήματος VI MARPOL σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ψηφίσματος IMO MEPC.259(68).

Οι τεχνικές πληροφορίες που παρατίθενται κατωτέρω του συστήματος EGC, είναι σύμφωνα με το Τεχνικό εγχειρίδιο ETM-B που απαιτείται, όπως περιγραφή και τεχνικές προδιαγραφές των μονάδων καύσης που θα τοποθετηθούν οι πλυντρίδες, προδιαγραφές του συστήματος EGS – Λειτουργικά δεδομένα.

Η πιστοποίησή του συστήματος ETM-B βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας της εξόδου καυσαερίων και του νερού απόρριψης. Οι εκπομπές καυσαερίων συμμορφώνονται με την αναλογία SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, όπως ορίζεται στο MEPC.259(68) και η ποιότητα του νερού απόρριψης, όπως ορίζεται στην ενότητα 10 του MEPC.259(68).

*Πίνακας 9. Τύποι Scrubber*

Τύποι Scrubber		
Scrubber No1	ME 1	Inline open loop 1700X2900 mm
Scrubber No2	ME 2	Inline open loop 1700X2900 mm
Scrubber No3	ME 3	Inline open loop 1700X2900 mm
Scrubber No4	ME 4	Inline open loop 1700X2900 mm
Scrubber No5	AE 1	Inline open loop $\phi$ 1300X6500 mm
Scrubber No6	AE 2	Inline open loop $\phi$ 1300x6500 mm
Scrubber No7	AE 3	Inline open loop $\phi$ 1300x6500 mm

#### **5.4.1. Μηχανολογικός εξοπλισμός πλοίου**

Το πλοίο διαθέτει τέσσερις (4) κύριους τετράχρονους κινητήρες (ME) και τρεις (3) βοηθητικούς τετράχρονους κινητήρες (AE), καθώς και δύο (2) βοηθητικούς λέβητες και μία (1) γεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Όλοι οι κινητήρες είναι STX MAN B&W και ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιούν είναι Heavy Fuel Oil (HFO) με περιεκτικότητα σε θείο 3,5%. Στους παρακάτω πίνακες καταγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των κύριων και βοηθητικών κινητήρων (μονάδων καύσεων) του πλοίου.

**Πίνακας 10 Μονάδες καύσης κύριων κινητήρων πλοίου (ME 1-4)**

Combustion units fitted to EGCS	ME No.1	ME No.2	ME No.3	ME No.4
Manufacturer	STX MAN B&W	STX MAN B&W	STX MAN B&W	STX MAN B&W
Type	16V 32/40	16V 32/40	16V 32/40	16V 32/40
Engine rated power [MW] 100%	8	8	8	8
Engine rated power [MW] 90%	7,2	7,2	7,2	7,2
Definition	Four-stroke engine	Four-stroke engine	Four-stroke engine	Four-stroke engine
Fuel type	HFO	HFO	HFO	HFO
Fuel Sulphur percentage [%]	3,5	3,5	3,5	3,5
Fuel consumption [kg/MWh]	208	208	208	208
Exhaust gas rate [kg/h] – 100% MCR	55900	55900	55900	55900
Exhaust gas rate [kg/h] – 90% MCR	50310	50310	50310	50310
Exhaust gas temperature max [°C]	354	354	354	354
Without taking exhaust gas boiler in consideration				
Exhaust pipe size [DN]	950	950	950	950
Scrubber differential pressure [mmWC]	150	150	150	150
<b>SO<sub>x</sub> compliance</b>				
EGC unit	Scrubber No. 1	Scrubber No. 2	Scrubber No. 3	Scrubber No. 4
Compliant fuel	Capacity of compliant fuel available			
Bypass to open	NA			
<b>Operation profile</b>				
Scrubber system dimensioning	90%	90%	90%	90%
Maximum exhaust gas simultaneous				

**Πίνακας 11 Μονάδες καύσης Βοηθητικών Κινητήρων (ΑΕ 1-3)**

Combustion units fitted to EGCS	ΑΕ Νο.1	ΑΕ Νο.2	ΑΕ Νο.3
Manufacturer	STX MAN B&W	STX MAN B&W	STX MAN B&W
Type	6L21/31	6L21/31	6L21/31
Engine rated power [MW] – 100%	1,32	1,32	1,32
Engine rated power [MW] – 90%	1,2	1,2	1,2
Definition	Four-stroke engine	Four-stroke engine	Four-stroke engine
Fuel type	HFO	HFO	HFO
Fuel Sulphur percentage [%]	3,5	3,5	3,5
Fuel consumption [kg/MWh]	212	212	212
Exhaust gas rate – 100% MCR [kg/h]	10200	10200	10200
Exhaust gas rate – 90% MCR [kg/h]	9180	9180	9180
Exhaust gas temperature max [°C]	333	333	333
Without taking exhaust gas boiler in consideration			
Exhaust pipe size [DN]	400	400	400
Scrubber differential pressure [mmWC]	150	150	150
<b>SO<sub>x</sub> compliance</b>			
EGC unit	Scrubber No. 5	Scrubber No. 6	Scrubber No. 7
Compliant fuel	Capacity of compliant fuel available		
Bypass to open	NA		
<b>Operation profile</b>			
Scrubber system dimensioning	90%	90%	90%
Maximum exhaust gas simultaneous			

#### 5.4.2. Σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (Exhaust Gas Gleaning)

Στους κύριους και βοηθητικούς κινητήρες του πλοίου τοποθετήθηκαν τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (EGC). Η διάταξη των πλυντρίδων για όλους

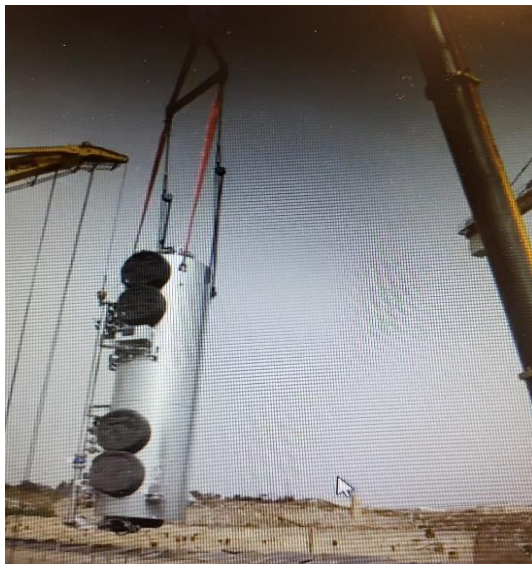
τους κινητήρες/μονάδες καύσης είναι η ίδια. Υπάρχουν επτά (7) μονάδες πλυντρίδων που εγκαταστάθηκαν οι οποίες χρησιμοποιούν το ίδιο σύστημα.

- Σύστημα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών (Orpsis) (και για τις 7 πλυντρίδες)
- Σύστημα παρακολούθησης νερού πλύσης (και για τις 7 πλυντρίδες)
- Μονάδες ψύξης (2)
- Αντλίες διεργασίας θαλασσινού νερού
- Σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης του συστήματος EGCS.

Οι μονάδες EGC είναι ενσωματωμένοι υγρού τύπου πλυντρίδων ανοιχτού βρόχου, που καθαρίζουν τα καυσαέρια των μονάδων καύσης του πλοίου, με δύο δυνατές ρυθμίσεις λειτουργίας:

- Ανοιχτού βρόχου, όπου προστίθεται συνεχώς θαλασσινό νερό και αποβάλλεται από τη μονάδα πλύσης.
- Λειτουργία ξηρού συστήματος, όταν λειτουργεί με συμβατό καύσιμο ή λειτουργεί εκτός περιοχών ECA (πριν από το 2020).

Όταν δεν λειτουργεί η μονάδα scrubber, έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε σύστημα ξηρού καθαρισμού με θερμοκρασίες 450°C, όπως και στο σύστημα ψύξης, διασφαλίζοντας ότι η επένδυση των βαλβίδων δεν θα καταστραφούν από την υψηλή θερμοκρασία.



Εικόνα 19. Τοποθέτηση Scrubber στο πλοίο

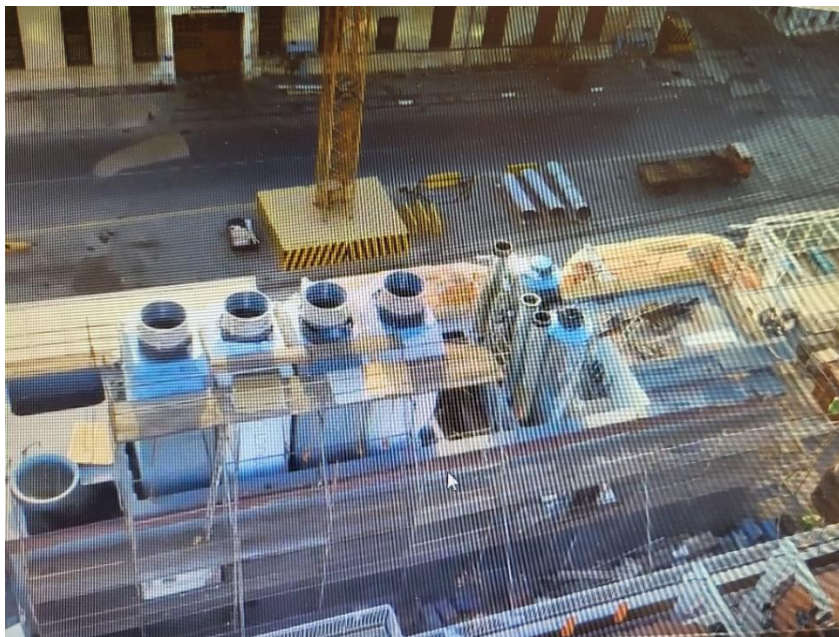
#### 5.4.2.1. Περιγραφή Εξοπλισμού Συστήματος Καθαρισμού Καυσαερίων (EGC)

Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων αποτελείται από:

- Επτά Πύργους Scrubber
- Δύο συστήματα ψύξης που το κάθε ένα περιλαμβάνει: δοχείο διαστολής, θερμαντήρα, ανεμιστήρα και αντλίες κυκλοφορίας. ( SC 1,2,5,6, και SC 3, 4, 7)
- Ένα σύστημα παρακολούθησης εκπομπών- CEMS – OPSIS M800 που αποτελείται από πομπό και δέκτη, καλώδιο οπτικών ινών – δέκτη φωτός, παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) - ερμάριο αναλυτή για μέτρηση SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>.
- Αντλίες διεργασίας (τρεις) – θαλασσινού νερού (50% του πλήρους φορτίου scrubber) με τα ανάλογα εξαρτήματα
- Αντλία διεργασίας – θαλασσινού νερού (αντλία λιμανιού - 100% λειτουργίας λιμανιού) με τα ανάλογα εξαρτήματα
- Σύστημα Παρακολούθησης Νερού Πλύσης (WWMS) – Νερό εισόδου
- Σύστημα Παρακολούθησης Νερού Πλύσης – Απορροή νερού
- Πίνακας ελέγχου (ενσωματωμένος πίνακας HMI που χρησιμεύει ως δευτερεύων σταθμός ελέγχου του συστήματος πλύσης).
- Μετατροπείς συχνότητας (Ελεύθεροι στάσιμοι μετατροπείς συχνότητας – κοντά σε αντλίες – για αντλίες διεργασίας)
- HMI , ένα πάνελ αφής ενσωματωμένο στον Χώρο Ελέγχου Κινητήρα.

Το σύστημα EGC έχει σχεδιαστεί για τις συγκεκριμένες προαπαιτούμενες παραμέτρους, όπως αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4, 5, 6).

Η διαδικασία καθαρισμού των καυσαερίων για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 20 Εργασίες τοποθέτησης scrubbers

#### 5.4.2.2. Λειτουργικά δεδομένα συστήματος EGC

Στους παρακάτω πίνακες εμπεριέχονται οι πληροφορίες που αφορούν τα λειτουργικά δεδομένα της κάθε μονάδας EGC.

*Πίνακας 12 EGC Λειτουργικά Δεδομένα συστήματος*

3601-002	Maximum	Normal operation	Minimum	Comp. fuel
Exhaust gas flow – 90%MCR	228.780 kg/h			NA
Exhaust gas temperature prior scrubbing	Max. 450°C			NA
Exhaust gas temperature post scrubbing	45°C			NA
Gas pressure drop	150 mmWC			
Maximum exhaust gas pressure before scrubber	450mmWC			
Scrubber ambient temperature	60°C			
Scrubber internal humidity	max 100%			
Electric components max ambient temperature	45°C			
Pump pressure, main pump	5,1 bar			NA
Pump operation specification	2x pumps in parallel operation – each loaded 100%. 3 <sup>rd</sup> pump is spare. 4 <sup>th</sup> pump is for harbor operation.			NA
Seawater inlet temperature	32°C		0-5°C	NA
	7-15°C			
Seawater alkalinity	2000 µmol/l	2200 µmol/l	>2500 µmol/l	NA
Seawater salinity	10ppt			
Seawater discharge temperature	Inlet temperature + 10°C			NA
Discharge water, open loop [Reference to seawater alkalinity]	2329 m <sup>3</sup> /h	2118 m <sup>3</sup> /h	1864 m <sup>3</sup> /h	NA

Wash water	Maximum	Minimum
Alkalinity	2000 µmol/l	>2500 µmol/l
Flow rate - total system	2329 m <sup>3</sup> /h	1866 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 1	517 m <sup>3</sup> /h	414 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 2	517 m <sup>3</sup> /h	414 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 3	517 m <sup>3</sup> /h	414 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 4	517 m <sup>3</sup> /h	414 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 5	87 m <sup>3</sup> /h	70 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 6	87 m <sup>3</sup> /h	70 m <sup>3</sup> /h
Scrubber 7	87 m <sup>3</sup> /h	70 m <sup>3</sup> /h

#### 5.4.2.3. Συστήματα συναγερμού και προστατευτικά συστήματα

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα συστήματα συναγερμού (alarm) καθώς και τα συστήματα ασφάλειας.

Πίνακας 13 Συστήματα συναγερμού και προστατευτικά συστήματα Scrubber

Alarm	Component	High/low	Effect
Exhaust gas outlet temperature	TT5.1	High	
Exhaust gas inlet temperature	TT7.1	High	
Differential pressure across scrubber	PDT1.1	High	
		+ High high	Activation of demister flush
Differential pressure across scrubber Redundancy/failsafe of PDT1.1	LT6.1	High	
		+ High high	Activation of demister flush
Valve position deviating from desired	All valves in drain line		Shut down of EGCS
Ship side valves positioning	Inlet/outlet		Shut down of EGCS
Wash water inlet pressure after pumps	PT2.1	Low	
		high	
Wash water inlet temperature	TT2.1	High	
		+ high high	Shut down of EGCS
Wash water inlet flow	FT2.1	low	
		+ low low	Shut down of EGCS
Scrubber bottom swamp level	LT5.1	High	
		+ high high	Shut down of EGCS
Scrubber bottom swamp level Redundancy/fail safe of LT5.1	LS1.1	High high	Shut down of EGCS
Scrubber bottom swamp level Redundancy/fail safe of LT5.1+LS1.1	LS1.1S	High high	Shut down of EGCS

#### 5.4.2.4. Εκπομπές και συστήματα παρακολούθησης εκπομπών

Το πλοίο διαθέτει σύστημα ελέγχου των EGC που αποτελείται από δύο συστήματα α) το Σύστημα Συνεχούς Παρακολούθησης Εκπομπών (CEMS) και το β)

το Σύστημα Παρακολούθησης Νερού Πλύσης (WWMS), τα οποία είναι εγκεκριμένα.

Το σύστημα διαβαθμίζεται ως εξής:

1. Κύριοι έλεγχοι που σχετίζονται με την ασφάλεια – σε περίπτωση απενεργοποίησης της μονάδας EGC. α) LT5.1 – έλεγχος στάθμης βυθού πλυσίματος λάσπης β) LS1.1 – έλεγχος στάθμης βυθού πλυσίματος λάσπης γ) LS1S.1 – έλεγχος στάθμης βυθού πλυσίματος λάσπης
2. Όλες οι εκπομπές/απορρίψεις που σχετίζονται με την παρακολούθηση, όταν ηχήσει το σύστημα συναγερμού στον χειριστή πρέπει να αυξήσει τον όγκο του νερού πλύσης. Ο χειριστής προσαρμόζει χειροκίνητα τις αλλαγές στις ρυθμίσεις λειτουργίας.
  - α) Το σύστημα CEMS (opsis) : Παρακολουθείται το SO<sub>2</sub>.1.1 και το CO<sub>2</sub>.1.1.
  - β) Πράσινα Όργανα :
    - i. PhT30 – Παρακολούθηση pH εισόδου
    - ii. TuT30 – Παρακολούθηση θολότητας εισόδου
    - iii. TT30 – Παρακολούθηση θερμοκρασίας εισόδου
    - iv. PhT31 – Παρακολούθηση pH εξόδου
    - v. TuT31 – Παρακολούθηση θολότητας εξόδου
    - vi. PAHT31 – Παρακολούθηση PAH εξόδου
    - vii. TT31 – Παρακολούθηση θερμοκρασίας εξόδου
3. Δευτερεύοντα χειριστήρια σχετικά με την ασφάλεια, για την ενεργοποίηση συναγερμού στο πλοίο. Ρυθμίζονται : PDT1.1 – Πτώση πίεσης σε όλη την πλυντρίδα LT6.1 – Αντίθλιψη (προς τα πίσω πίεση)
4. Ρυθμίσεις λειτουργίας, αντλίας για λειτουργίες στο λιμάνι κ.λπ.

Πίνακας 14 Όργανα που αφορούν στο Σύστημα Παρακολούθησης Εκπομπών ρύπων και νερού πλύσης

Instrument	PID ref.	Comment
SO <sub>2</sub> emission monitoring	SO <sub>2</sub> -1-1	One measuring path
		Opsis type approved system
CO <sub>2</sub> emission monitoring	CO <sub>2</sub> -1-1	One measuring path
		Opsis type approved system
Seawater pH inlet monitoring	PhT30	Green Instruments type approved system
Seawater temperature inlet monitoring	TT30	Green Instruments type approved system
Seawater turbidity inlet monitoring	TUT30	Green Instruments type approved system
Discharge pH monitoring	PhT31	Green Instruments type approved system
Discharge temperature monitoring	TT31	Green Instruments type approved system
Discharge PAH monitoring	PAHT31	Green Instruments type approved system
Discharge turbidity monitoring	TUT31	Green Instruments type approved system

### 5.5. On-Board Monitoring Manual (OMM) - Όρια εκπομπών – Παρακολούθηση καυσαερίων και νερών πλύσης

Το πλοίο λόγω του ότι εκτελεί δρομολόγια, πρέπει το σύστημα EGC να είναι συνεχώς ενεργό, όταν χρησιμοποιεί καύσιμο που περιέχει περισσότερο θείο (HFO). Το Παράρτημα VI της Marpol δεν ισχύει για τις εκπομπές ρύπων, σε περιπτώσεις που αφορούν στην ασφάλεια του πλοίου, στη διάσωση ζωής στη θάλασσα ή όταν προκύπτει ζημιά στο πλοίο ή στον εξοπλισμό του (Κανονισμός 3.1 Marpol VI).

Η συμμόρφωση με την απόφαση της MEPC.259(68) όπως προαναφέρθηκε, τεκμηριώνεται με την παρακολούθηση και την καταγραφή της αναλογίας SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> των καυσαερίων.

Πίνακας 15 Αναλογία SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> των καυσαερίων

Fuel oil, sulphur content	SO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ratio [ppm/(% v/v)]	Areas of legislation
1,00%	43,3	ECA, prior 2015
0,50%	21,7	Global post 2020
0,10%	4,3	ECA, post 2015

Το πλοίο διαθέτει ένα εγχειρίδιο, το On-Board Monitoring Manual (OMM), για να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού παρακολούθησης καθώς και να επικυρώνεται από τον Επιθεωρητή.

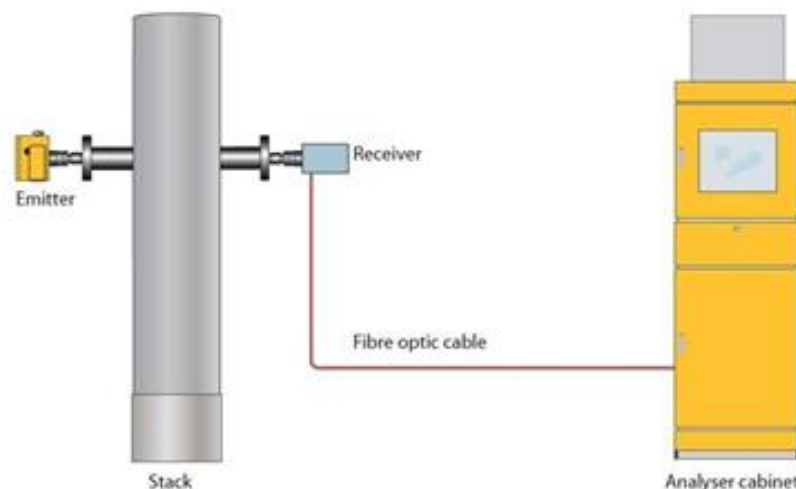
Το σύστημα EGC παρακολουθεί την περιεκτικότητα σε SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> των καυσαερίων, τους PAH, το pH, το νιτρικό άλας και τη θολότητα του νερού απόρριψης από τις πλυντρίδες. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται ο κατάλογος των μονάδων παρακολούθησης, ο κατασκευαστής και το μοντέλο που υπάρχουν στο πλοίο, οι προδιαγραφές των οποίων θα αναφερθούν παρακάτω.

Πίνακας 16 Κατάλογος μονάδων παρακολούθησης

Medium	Measuring ability	Manufacturer	Model
Exhaust gas	SO <sub>2</sub> ppm CO <sub>2</sub> %	Opsis	SYS M800
Seawater inlet	Turbidity NTU pH	Green Instruments	G6100(2)
	Temperature °C		
Wash water discharge	PAH µg/l Turbidity	Green Instruments	G6100
	NTU pH		
	Temperature °C		

### 5.5.1. Παρακολούθηση καυσαερίων

Το σύστημα παρακολούθησης Opsis M800, που είναι εγκαταστημένο στο πλοίο, χρησιμοποιεί μια οπτική, χωρίς επαφή, την τεχνική cross-duct, όπου μια δέσμη φωτός αποστέλλεται κατά μήκος του αγωγού ή της ντάνας που πρόκειται να μετρηθεί και το συλλαμβανόμενο φως στέλνεται μέσω ενός καλωδίου οπτικών ινών σε έναν αναλυτή. Στη συνέχεια, η μονάδα αναλυτή μετρά το συλλαμβανόμενο φως χρησιμοποιώντας απορρόφηση υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι τιμές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> υπολογίζονται στο εξής στον υπολογιστή (PLC), ορίζοντας έτσι την αναλογία SO<sub>2</sub>(ppm)/CO<sub>2</sub>(% v/v), όπως προτείνει η Επιτροπή MEPC.259(68). Τα δεδομένα καταγράφονται κάθε 30 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 21 Παρακολούθηση καυσαερίων -Exhaust Gas Monitoring

Σε περίπτωση που η μονάδα παρακολούθησης Opsis δεν είναι σε θέση να προωθήσει αξιόπιστες μετρήσεις εκπομπών, το σύστημα συναγερμού θα ηχήσει και ο αρμόδιος χειριστής του πληρώματος θα το καταγράψει στο Βιβλίο Καταγραφής 3601-002 EGCS RB, ότι δεν είναι δυνατή η αυτόματη καταγραφή των παραμέτρων εκπομπών λόγω βλάβης του συστήματος και θα το αναφέρει στην Αρχή.

Πίνακας 17 Χαρακτηριστικά συστήματος OPSIS M800

OPSIS M800	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Manufacture	Opsis	Opsis
Type	NDUV	NDIR
Range	0-10.000 ppm	0-30 vol-%
Position	Funnel	Funnel
Service/maintenance	1 month - cleaning	
Calibration	12 months	
Lifetime of components	B-lamp for emitter; 8.000 hours	

### 5.5.2. Όρια νερού πλύσης και παρακολούθηση

Όπως έχει προαναφερθεί, σύμφωνα με τη νομοθεσία MEPC.259(68), πριν από οποιαδήποτε απόρριψη, το νερό πλύσης παρακολουθείται συνεχώς για να πληροί τα

παρακάτω όρια, όπως αποτυπώνονται στον πίνακα και έχουν ήδη αναλυθεί, αναφορικά με το pH, τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, τη θολότητα και το νιτρικό άλας. Από τις μετρήσεις που έγιναν παρατηρούμε ότι συμμορφώνονται με τα όρια της νομοθεσίας.

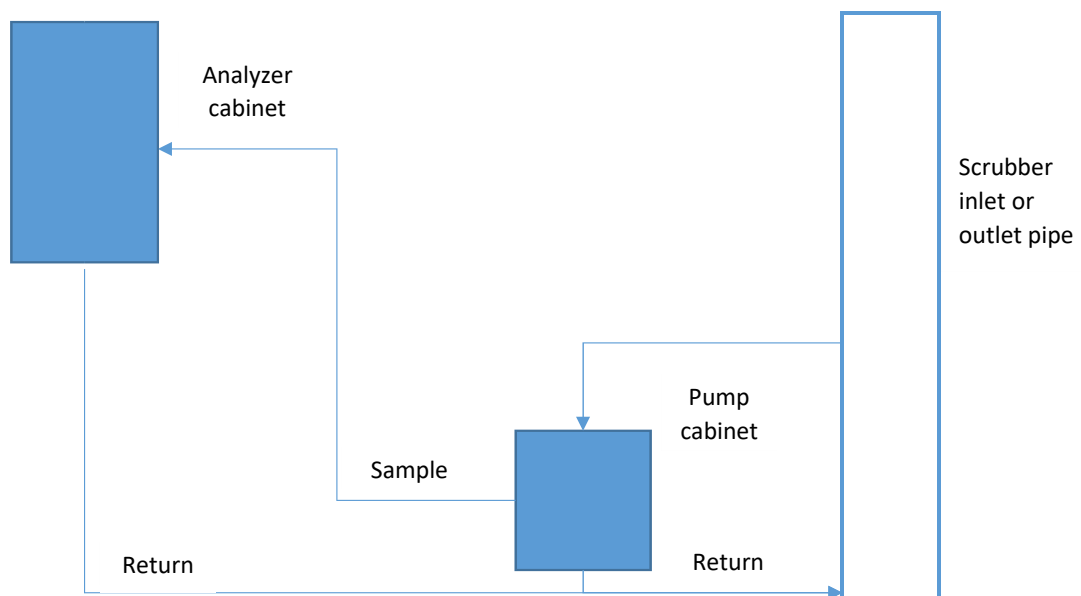
Πίνακας 18 Όρια νερού πλύσης

Measuring focus	Limit		Allowance
pH			Ελάχιστο pH2,8 μετρημένο στο σημείο εξόδου, χρησιμοποιώντας συσκευή ανάμειξης στο σημείο εξόδου εκροής. Ο υπολογισμός του μετρούμενου pH πρέπει να είναι όχι λιγότερο από 6,5 σε απόσταση 4 μέτρων από το σημείο απόρριψης στη θάλασσα.
PAH Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες	Flow rate 0-1t/MWh 2,5t/MWh 5t/MWh 11,25t/MWh 22,5t/MWh 45t/MWh 90t/MWh	Discharge concentration 2250 µg/L PAH <sub>phe</sub> 900 µg/L PAH <sub>phe</sub> 450 µg/L PAH <sub>phe</sub> 200 µg/L PAH <sub>phe</sub> 100 µg/L PAH <sub>phe</sub> 50 µg/L PAH <sub>phe</sub> 25 µg/L PAH <sub>phe</sub>	Συνθήκες λειτουργίας μέγιστου φορτίου σχεδιασμού 32,36 MW και υψηλότερη ροή νερού πλύσης 2118 m <sup>3</sup> /h, η ρύθμιση συναγερμού είναι 33,54 µg/L PAH <sub>phe</sub> , χρησιμοποιώντας την αναλογία των τιμών που αναφέρονται στην διπλανή στήλη. Για μια περίοδο δεκαπέντε λεπτών, σε οποιαδήποτε περίοδο λειτουργίας δώδεκα ωρών, η συνεχής συγκέντρωση PAH <sub>phe</sub> (φαινανθρενίου) επιτρέπεται να υπερβαίνει τα όρια κατά 100% της τιμής PAH <sub>phe</sub> µg/L. Οι τεχνικές μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι του υπεριώδους φωτός ή του φθορισμού.
Turbidity Θολότητα	25 FNU or NTU 15-minute rolling average FNU: Φορμαζινικές νεφομετρικές μονάδες ή μονάδες νεφομετρικής θολότητας		Για δεκαπέντε λεπτά, σε οποιαδήποτε περίοδο λειτουργίας δώδεκα ωρών, οι συνεχές FNU/NTU επιτρέπεται σε 30 FNU/NTU
Nitrates Νιτρικά	Με βάση τη μέγιστη ροή νερού πλύσης 67,08 t/MWh, το όριο απόρριψης νιτρικών ιόντων υπολογίζεται ότι είναι 40,24 µg/L. Τρεις μήνες πριν από τον έλεγχο - επιθεώρηση της Αρχής, πρέπει να ληφθεί και να αναλυθεί δείγμα από τη μονάδα EGC. Πριν από τη λήψη δειγμάτων νερού, πρέπει να σημειωθεί το φορτίο των κύριων κινητήρων, παράλληλα με τη ροή του νερού πλύσης. Ένα αντίγραφο του δελτίου παράδοσης HFO πρέπει να υποβληθεί στην Αρχή. Σύμφωνα με το Παράρτημα 3 του κανονισμού του IMO MEPC 259 (68) ενότητα 3, ο πλοιοκτήτης μαζί με τον κατασκευαστή του		

συστήματος EGCS πρέπει να λαμβάνουν δείγμα και να αναλύουν το νερό πλύσης του συστήματος, κατά τη θέση σε λειτουργία ή λίγο μετά τη θέση σε λειτουργία της μονάδας. Είναι αποκλειστική ευθύνη του πλοιοκτήτη να μεταφέρει, να αποθηκεύει και να αποστέλλει για ανάλυση το δείγμα. Κατά τη λήψη της αναφοράς δοκιμής, αυτή πρέπει να υποβληθεί στην Αρχή μαζί με το φορτίο του κινητήρα, τις τιμές ροής νερού πλύσης και το αντίγραφο του δελτίου παράδοσης του HFO. Η έκθεση δοκιμής φυλάσσεται στο πλοίο, στο Βιβλίο Καταγραφής 3601-002, που είναι διαθέσιμο στη Διοίκηση ή στις Αρχές. Εάν το αποτέλεσμα των τιμών των νιτρικών αλάτων απόρριψης είναι πάνω από 80% των μέγιστων επιτρεπόμενων επιπέδων, αυτό πρέπει να σημειωθεί στο Βιβλίο Εγγραφών.

Το σύστημα EGC παρακολουθεί συνεχώς το εισερχόμενο και εξερχόμενο νερό πλύσης, το οποίο καταγράφεται κάθε τριάντα δευτερόλεπτα.

Το νερό εισόδου αναλύεται για τη θολότητα και το pH, καθώς η επιτρεπόμενη ποιότητα του νερού εκροής ορίζεται από την ποιότητα εισόδου.



Εικόνα 22 Παρακολούθηση νερού πλύσης

Η παρακολούθηση απόρριψης νερού πλύσης ελέγχεται για τη θολότητα, το pH και τα επίπεδα PAH (πολυκυκλικός αρωματικός υδρογονάνθρακας) στο νερό ως ισοδυναμία φαινανθρενίου. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι ο φθορισμός που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία με δυνατότητα ανίχνευσης  $\mu\text{g/l}$  (ppb) στο

νερό. Η μέτρηση θολότητας είναι ικανή να ανιχνεύει διάφορα σωματίδια στο νερό της πλύσης.

Η μονάδα PH/Temperature Module μετρά την τιμή pH και τη θερμοκρασία του νερού, με τη χρήση ηλεκτροδίου pH. Εάν η ροή παρεμποδίζεται με οποιονδήποτε τρόπο, προωθείται συναγερμός ροής από τον εγκεκριμένο τύπο συστήματος WWMS - για να διασφαλιστεί η εγκυρότητα των μετρήσεων.

Επιπλέον, το αρχείο καταγραφής δεδομένων του συστήματος πλύσης θα εμφανίσει την ίδια τιμή μέτρησης εάν το Wash Water Monitoring System έχει αποκλειστεί από τη χρήση ή αποσυνδεθεί μηχανικά, γεγονός που καταδεικνύει ότι δεν υπάρχει συμμόρφωση.

Οι αισθητήρες τοποθετούνται σύμφωνα με τον IMO MEPC.259(68)

- Ο αισθητήρας pH τοποθετείται στο σημείο απόρριψης, μετά από οποιαδήποτε αραίωση.
- Οι αισθητήρες PAH και θολότητας τοποθετούνται προς τη φορά του ρεύματος (κατάντη) οποιουδήποτε εξοπλισμού επεξεργασίας νερού, αλλά αντίθετα στο ρεύμα (ανάντη) οποιασδήποτε αραίωσης.

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται ο εξοπλισμός παρακολούθησης, από τον οποίο διέρχεται η δειγματοληψία του εξαγόμενου νερού.

Πίνακας 19 Εξοπλισμός παρακολούθησης για την απόρριψη νερού

	Turbidity	PAH (outlet only)	pH	Temperature
Manufacturer	Green Instruments	Green Instruments	Green Instruments	
Type designation	G6120 TUT	G6110 PAH	G6130 pH+temp	
Type	Infrared acc. EN ISO 7027	UV fluorescence, Type Approved	EN ISO 607461:2003	EN ISO 607461:2003
Position inlet	Engine room	No measuring – assumed zero PAH reading Engine room	Engine room	Engine room
outlet	Engine room		Engine room	Engine room
Range	0-400 NTU	0100 µg/l phenanthrene equivalence (configurable)	0-14 pH units	0-50°C
Accuracy	Max ±3%	Max ±5% by turbidity compensation applied in G6100WWMS software	Max ±0,1 pH units	Max ±5%
Service/maintenance	Visual inspection 1 month	Visual inspection 1 month Validation of performance 6 months	Visual inspection 1 month	
Validation	3 months	6 months	3 months	
Calibration		If necessary		
Lifetime of sensors	5 years	Replaced with reconditioned sensor every 2 years	Electrode one year	

Σε περίπτωση που η μονάδα παρακολούθησης νερού πλύσης δεν είναι σε θέση να προωθήσει αξιόπιστες μετρήσεις του νερού εισόδου/απόρριψης, θα ηχήσει ο συναγερμός και το σύστημα EGC θα τεθεί σε λειτουργία βάσης δεδομένων.

Οι παράμετροι λειτουργίας ρυθμίζονται όταν το σύστημα παρακολούθησης εισόδου/απόρριψης λειτουργεί σωστά και έχει μετρήσει αποδεκτά επίπεδα εκπομπών. Η σύνδεση μεταξύ της ροής του νερού πλύσης, της αναλογίας εκπομπών καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο και του φορτίου του κινητήρα, υπάγονται προς έλεγχο, όπως και τα ήδη δεδομένα που έχουν καταγραφεί. Το σύστημα ελέγχου EGC συνδέει δεδομένα λειτουργίας με συντεταγμένες GPS και έτσι επιτρέπει τη λειτουργία έκτακτης ανάγκης. Όλες οι λειτουργίες έκτακτης ανάγκης πρέπει να ανακοινώνονται στην Αρχή και να καταχωρούνται στο Βιβλίο Εγγραφών EGCS.

Όλα τα δείγματα νερού ελέγχονται για τιμές/περιεκτικότητα σύμφωνα με τα ISO, όπως αναφέρονται παρακάτω, τα αποτελέσματα των οποίων μαζί με όλα τα σχετικά δεδομένα προωθούνται στην Αρχή, αρχειοθετούνται στο πλοίο και είναι διαθέσιμα κατά τη διάρκεια των επιθεωρήσεων.

Πίνακας 20 Πρότυπα ISO

Value/content	Standard
pH	ISO 10523
PAH	ISO 28540
Oil	ISO 9377-3
Turbidity	ISO 7027
Nitrate/nitrite	EN ISO 13395-1
Metals	EN ISO 17294-2
• Cadmium	
• Copper	
• Nickel	
• Lead	
• Zinc	
• Arsenic	
• Chrome	
• Vanadium	

### 5.5.3. Σύστημα καταγραφής δεδομένων

Όλα τα δεδομένα από τον εξοπλισμό παρακολούθησης είναι διαθέσιμα στις Αρχές κατόπιν αιτήματος, όπως ορίζεται στο 3601-002 EGCS-RB (βιβλίο αρχείων).

Το σύστημα καταγραφής δεδομένων αποτελείται από δύο εγκεκριμένους τύπους υπολογιστών πάνελ αφής – Winmate που χρησιμοποιεί σύστημα λογισμικού συλλογής δεδομένων MEP. Η συσκευή είναι, αδιάβροχη και χρησιμοποιείται μόνο για ανάγνωση. Η καταγραφή δεδομένων λειτουργεί ανά πάσα στιγμή, με συχνότητα εγγραφής μικρότερη από 0,0035 Hz. Κάθε τέταρτο λεπτό, τα δεδομένα καταγράφονται στη βάση δεδομένων. Όλα τα αρχεία διατηρούνται για τουλάχιστον 18 μήνες.

Ένας υπολογιστής βρίσκεται στο δωμάτιο ελέγχου κινητήρα «R1», ο δεύτερος είναι ενσωματωμένος στο SCC1 «R2». Και οι δύο μονάδες περιέχουν τη δική τους βάση δεδομένων MS SQL, που δεν είναι διαθέσιμη σε κανέναν χειριστή.

Τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν από τη βάση δεδομένων με τη χρήση του scrubber HMI σε μορφή .xls. Σε περίπτωση αποσύνδεσης ή βλάβης οποιουδήποτε πίνακα, το δεύτερο θα συνεχίσει να καταγράφει τα δεδομένα, στη βάση δεδομένων.

Όταν επανασυνδεθεί, ο πρώτος πίνακας θα ευθυγραμμίσει όλα τα δεδομένα στη βάση δεδομένων, για να εξασφαλίσει πλήρη δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται ως συμπιεσμένα αρχεία κειμένου και

στους δύο υπολογιστές. Δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση ή η τροποποίηση οποιασδήποτε εγγραφής δεδομένων στη βάση δεδομένων.

Τα δεδομένα που καταγράφονται είναι τα ακόλουθα:

- Ημερομηνία [έτος:μήνας:ημερομηνία]
- Ώρα [ώρα:λεπτό:δευτερόλεπτο] – ώρα UTC
- Θέση GPS πλοίου [Longitude]
- Καυσαέρια SO<sub>2</sub> [ppm]
- Καυσαέρια CO<sub>2</sub> [%]
- Υπολογισμένος λόγος SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> [Κάθε Scrubber]
- Ημερολόγιο βλαβών του εξοπλισμού παρακολούθησης
- Τρόπος λειτουργίας της μονάδας EGC – on/off
- Κατάσταση βαλβίδας εκκένωσης
- pH νερού εισόδου
- Θολότητα νερού εισόδου [FNU]
- Θολότητα νερού εκκένωσης [FNU]
- Θολότητα νερού εκκένωσης 15 λεπτά μέση
- PAH νερού απόρριψης [μg/l]
- PH νερού εκκένωσης
- Θερμοκρασία νερού εκκένωσης
- Πίεση νερού πλύσης [Κάθε Scrubber]
- Ρυθμός ροής στη σύνδεση εισόδου της μονάδας EGC [Κάθε Scrubber]
- Πτώση πίεσης στη μονάδα EGC [Κάθε Scrubber]
- Φορτίο εξοπλισμού καύσης καυσίμου [Κάθε Scrubber]
- Θερμοκρασία καυσαερίων πριν και μετά τη μονάδα EGC [Κάθε Scrubber]
- Ημερολόγιο αστοχίας [PAH 2ο όριο 12 ώρες: PAH μεγαλύτερο από 100 %: Θολότητα 2ο όριο 12 ώρες: Θολότητα μεγαλύτερη από 20 %: εκκένωση pH]

Όλες οι καταγραφές δεδομένων παρακολουθούνται καθημερινά και επαληθεύεται, ότι τα δεδομένα έχουν καταγραφεί σωστά.

Τα δεδομένα, που δεν καταγράφονται από το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, πρέπει να καταχωρούνται στο Βιβλίο Καταγραφής του συστήματος EGC, για να εξασφαλιστεί η συνεχής συμμόρφωση με την MEPC.259(68). Η τεκμηρίωση χρησιμοποιείται στη συνεχή έγκριση του EGCS από την Αρχή για την επικύρωση των δεδομένων από το καταγραφικό δεδομένων.

#### 5.5.4. pH – Προσομοίωση – για συμμόρφωση με την ΜΕΡC.259(68)

Για να εξασφαλισθεί η συμμόρφωση μιας πλυντρίδας με την ΜΕΡC.259(68), όπως έχει προαναφερθεί, πρέπει να γίνει μία αριθμητική προσομοίωση του υγρού απόρριψής της, χρησιμοποιώντας Υπολογιστική Ρευστοδυναμική (CFD) για να επαληθευτεί ότι η τιμή pH δεν θα είναι μικρότερη από 6,5 μονάδες σε απόσταση 4 μέτρων από το σημείο εξαγωγής της.

Η συγκεκριμένη εγκατεστημένη πλυντρίδα έχει βρεθεί ότι συμμορφώνεται με ελάχιστο pH εκκένωσης 2,8. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα βασίζονται στην αξιολόγηση του λόγου αραιώσης και των κλασμάτων μάζας του υγρού πλυσίματος, που αξιολογούνται 4 μέτρα από το σημείο εκκένωσης.

Τα δεδομένα αραιώσης για το συγκεκριμένο pH εκκένωσης καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 21 Δεδομένα αραιώσης για το pH

Parameter	Value
Dilution factor [-]	5.035
Dilution ratio [-]	4.035
Mass fraction [-]	0.199

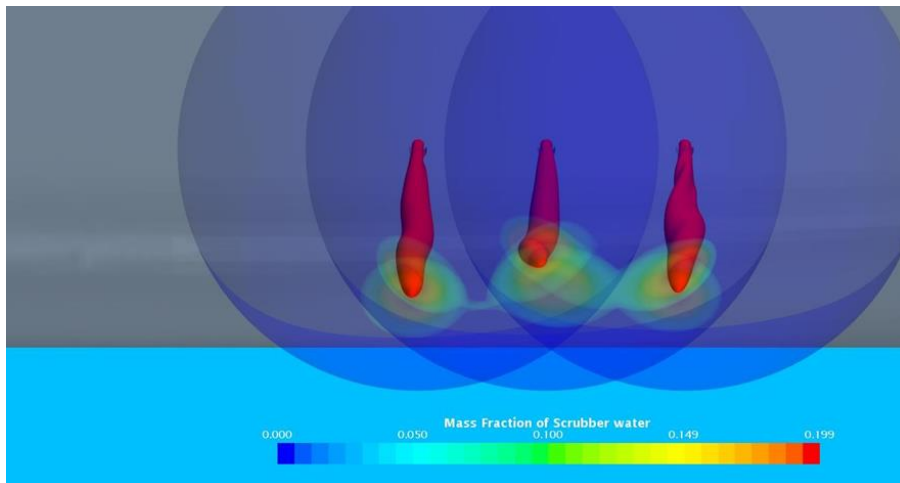
Τα αποτελέσματα ισχύουν για υψηλά και χαμηλά φορτία κινητήρα, τα οποία δίνονται με ανάλυση διαστάσεων:

Πίνακας 22 Ρυθμός ροής

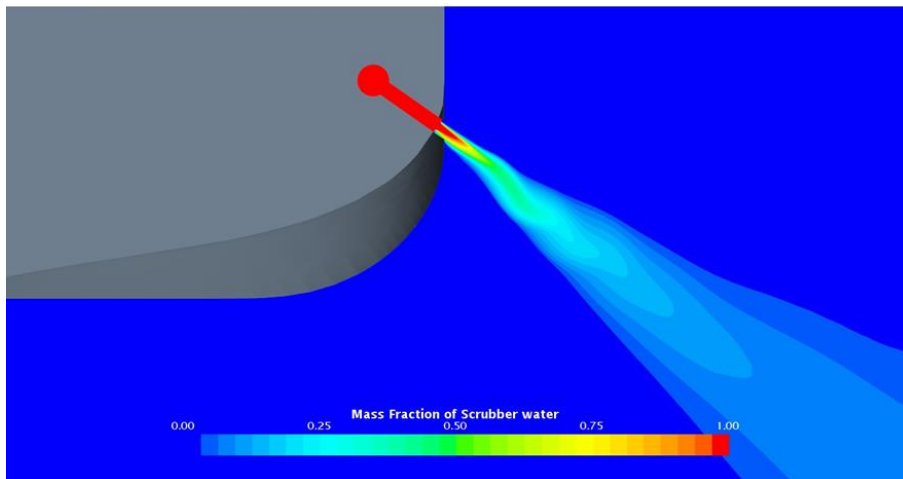
Parameter	Maximum Flowrate	Low Load Flowrate
Flowrate %	100%	35%
Orifice Reynolds Number	2,275,499	539,473
Orifice Richardson number	0.0003	0.0028

### Αποτελέσματα της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD)

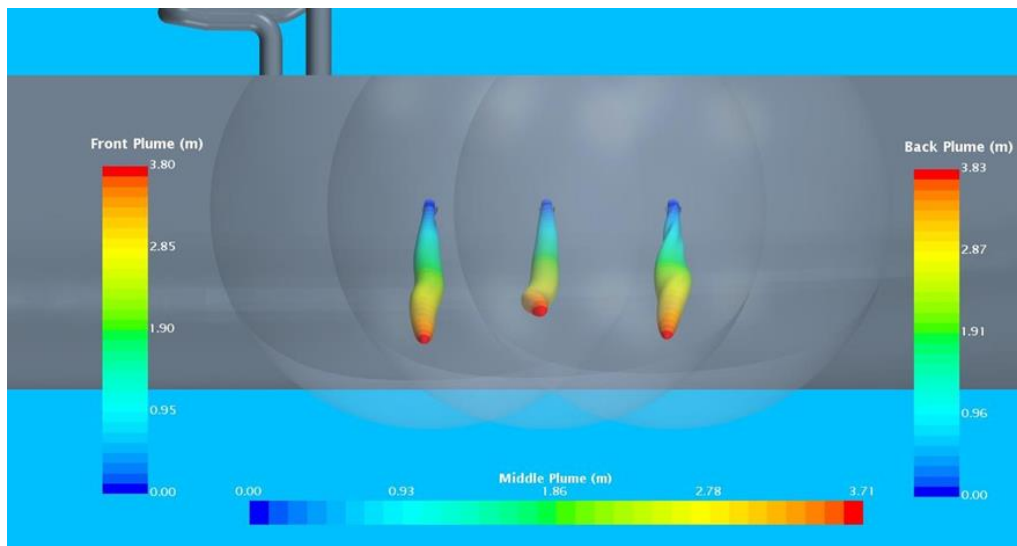
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέγιστης παροχής που έγινε στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται ενδεικτικά, στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 23 Το κλάσμα μάζας έχει περιγράμματα στη σφαίρα 4 m από το σημείο εκφόρτισης και το νέφος σταθερού κλάσματος μάζας που αντιστοιχεί στην αναφερόμενη τιμή pH.



Εικόνα 24 Κλάσμα μάζας υγρού εκκένωσης στο μπροστινό σωλήνα της πλυντρίδας σε επίπεδο τμήμα με κέντρο το σημείο εκκένωσης



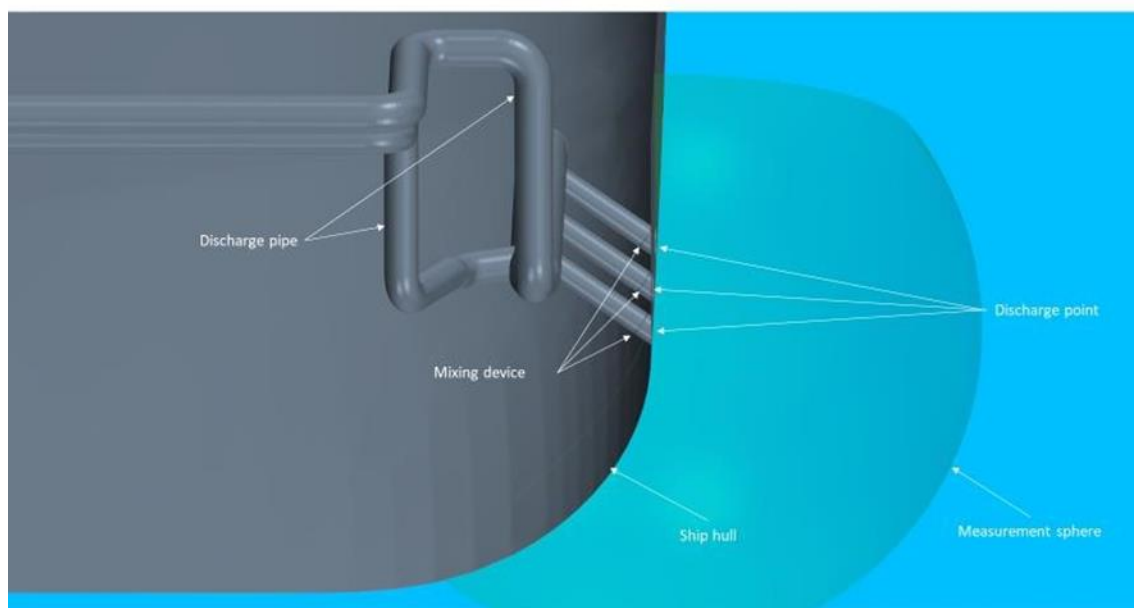
Εικόνα 25 Απόσταση από το σημείο εκφόρτισης για οποιαδήποτε θέση στη στήλη με κλάσμα μάζας που αντιστοιχεί στην αναφερόμενη τιμή pH. Ανεξάρτητα από τη θέση του επαγωγέα αραίωσης, η απόσταση μετράται από το σημείο εκφόρτισης, όπου ο σωλήνας εκκένωσης τέμνει το κύτος του πλοίου.

### Περιγραφή μοντέλου και εισαγωγή δεδομένων

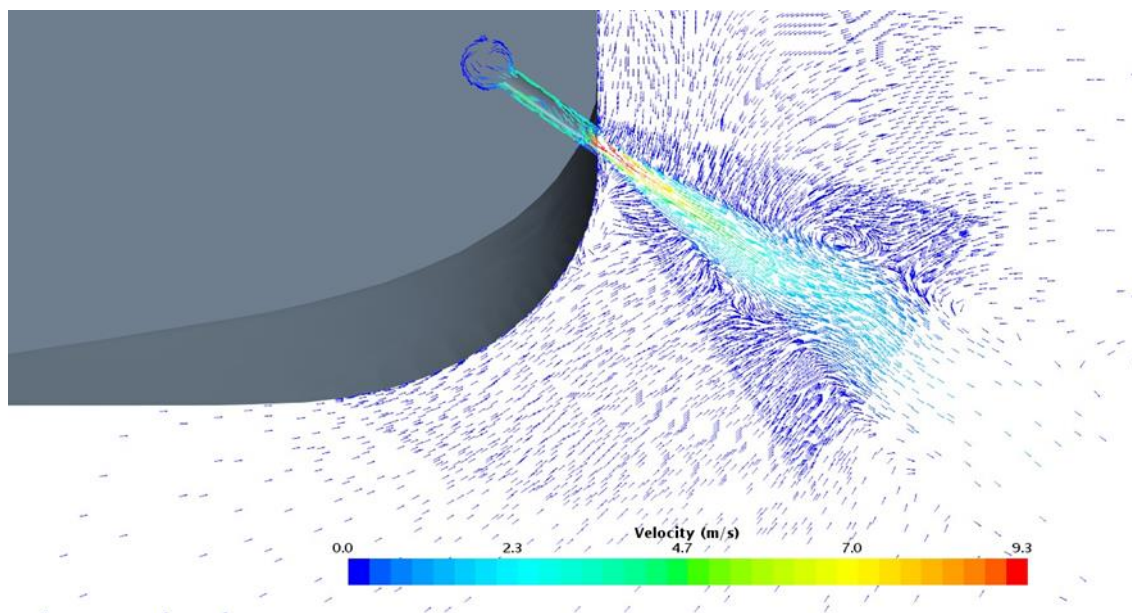
Ένα τρισδιάστατο μοντέλο CAD του κύτους του πλοίου και του σωλήνα εκκένωσης έχει δημιουργηθεί με βάση τα σχέδια του πλοίου. Η γεωμετρία που χρησιμοποιείται για τις παρούσες προσομοιώσεις παρουσιάζεται, στην παρακάτω εικόνα. Οι τιμές pH και η αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού προσομοιώνονται σύμφωνα με το ΜΕΡC.259(68). Επίσης στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για στην προσομοίωση.

Πίνακας 23 Δεδομένα για την προσομοίωση

Sea water conditions:			
Temperature	[°C]	32	
pH	[-]	8,2	
Alkalinity	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	2200	
Density	[ $\text{kg/m}^3$ ]	1022,49	
Viscosity	[ $\text{kg}/(\text{m}^*\text{s})$ ]	7,42E-04	
W a s h w a t e r conditions:		Maximum flowrate	Minimum flowrate
Temperature	[°C]	42	42
Flowrate	[ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	2090	731,5
Outlet diameter	[m]	0,295	0,295
Orifice diameter	[m]	0,2	0,2
Operating pressure (absolute)	[Pa]	101325	101325
Number of pipes	[-]	3	3
Draught of Ship	[m]	5,7	5,7
Density	[ $\text{kg/m}^3$ ]	1018,26	1018,26
Viscosity	[ $\text{kg}/(\text{m}^*\text{s})$ ]	5,51E-04	5,51E-04
Temperature	[K]	315,15	315,15
Volume flow	[ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	0,58	0,2
Area of single outlet	[ $\text{m}^2$ ]	0,07	0,07
Mean velocity at discharge pipe	[m/s]	2,83	0,99
Re number	[-]	1541353	539473
Area of orifice	[ $\text{m}^2$ ]	0,03	0,03
Mean velocity at orifice	[m/s]	6,16	2,16
Re number at orifice	[-]	2275499	796425
Ri number at orifice	[-]	0,0003	0,0028



Εικόνα 26 Γεωμετρία κύτους πλοίου, σωλήνας εκκένωσης και σφαίρα μέτρησης.

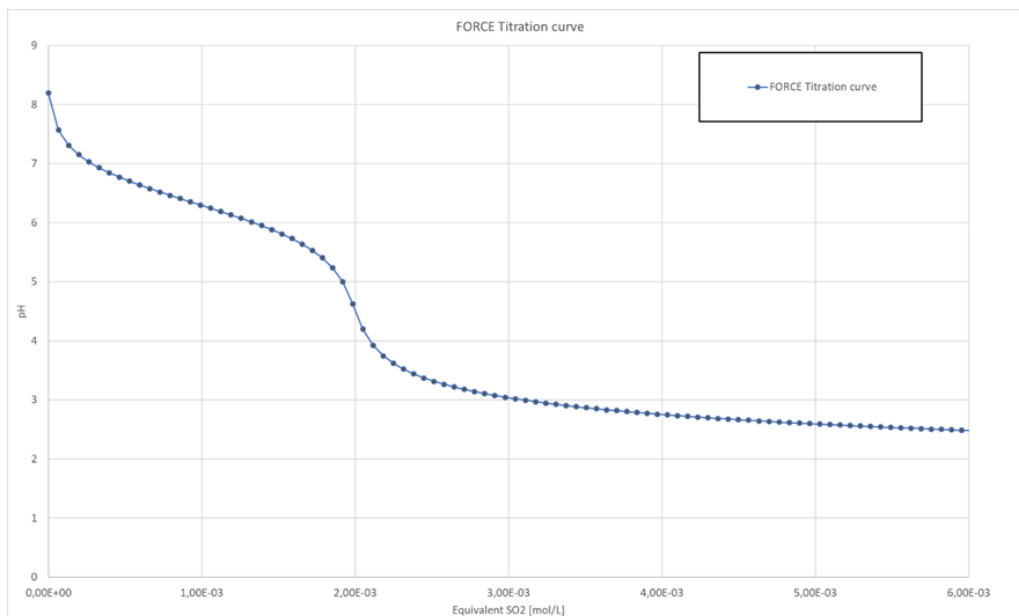


Εικόνα 27 Διανύσματα της ταχύτητας ροής στην περιοχή εκκένωσης του μεσαίου σωλήνα του νέφους εκκένωσης, που υποδεικνύουν επαγόμενες ταχύτητες στη ζώνη εκκένωσης

### Καμπύλη ογκομέτρησης νερού scrubber

Η τεχνολογία FORCE χρησιμοποιεί ένα εσωτερικό μοντέλο για την ανάμειξη και την αραίωση του νερού πλύσης πλυντηρίου, το οποίο υπολογίζει έναν παράγοντα αραίωσης με βάση μια εικονική ογκομέτρηση της πραγματικής σύνθεσης του νερού πλύσης στην πραγματική σύνθεση του θαλασσινού νερού. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο είναι δυναμικό σε σχέση με τις τιμές του pH, την αλκαλικότητα και τις θερμοκρασίες. Το εσωτερικό μοντέλο FORCE για συστήματα εκτόξευσης νερού πλυσίματος ανοιχτού βρόχου, υπολογίζει τις τιμές pH τιτλοδότησης ενός μείγματος θαλασσινού νερού και νερού εκκένωσης του πλυντηρίου με διαφορετικούς συντελεστές αραίωσης. Το μοντέλο περιλαμβάνει όλα τα σημαντικά ρυθμιστικά συστήματα στο μείγμα και βρίσκει το pH ισορροπίας με βάση τις εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία τιμές pKs των ρυθμιστικών διαλυμάτων. Η προκύπτουσα καμπύλη ογκομέτρησης δίνει τη σχέση μεταξύ του συντελεστή αραίωσης και του pH, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του αποτελέσματος CFD. Το μοντέλο λαμβάνει ως είσοδο την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού, τη σχέση μεταξύ συλλαμβανόμενου SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub>

στο νερό πλύσης του scrubber καθώς και του pH του νερού πλύσης, για να παράγει αποτελέσματα που μπορούν να προσαρμοστούν στις πραγματικές συνθήκες του πλοίου και της θάλασσας που θα πλεύσει το συγκεκριμένο πλοίο. Η καμπύλη ογκομέτρησης/τιτλοδότησης που χρησιμοποιείται από την τεχνολογία FORCE φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 28 Καμπύλη τιτλοδότησης της τεχνολογίας Force

## 5.6. Περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα μετά την τοποθέτηση του συστήματος EGC

### 5.6.1. Περιβαλλοντικά αποτελέσματα

Μετά την τοποθέτηση του συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (EGC) και τη λήψη δεδομένων από το σύστημα παρακολούθησης, η ετήσια έκθεση για το επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο καταδεικνύει το πραγματικό εκπεμπόμενο θείο και τις δυνατότητες του δεσμευμένου θείου όταν χρησιμοποιείται βαρύ καύσιμο HSFO με περιεκτικότητα σε θείο 3,5%.

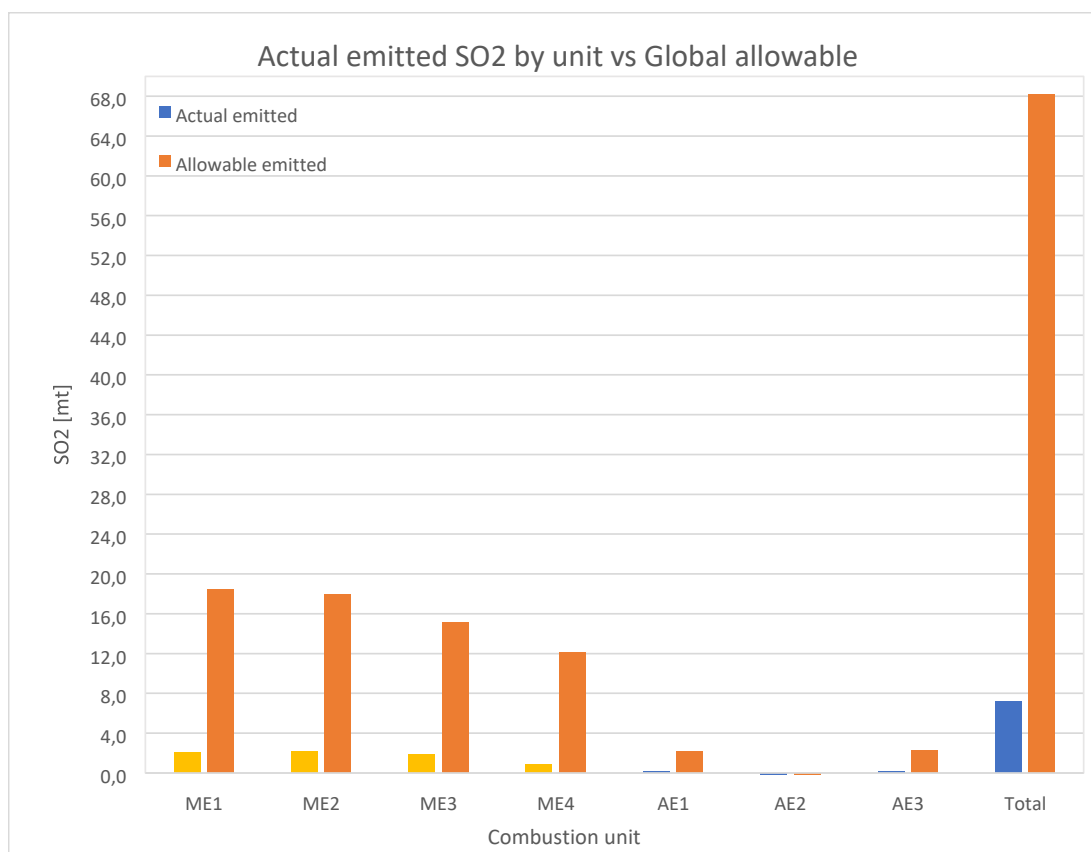
Σύμφωνα με τις μετρήσεις το πλοίο χρησιμοποίησε καύσιμο - HSFO για περίπου 190 ημέρες και μείωσε την επιτρεπόμενη εκπομπή SO<sub>2</sub> με τη χρήση του συστήματος EGC κατά 98,5%.

Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει ανά μονάδα καύσης, πόσο συμβάλλει στην εκπομπή ρύπων, με τη μονάδα καύσης ME3 να συμβάλλει περισσότερο στην εκπομπή ρύπων (2,63%) συγκριτικά με τις άλλες. Επίσης με τη χρήση scrubbers και με καύσιμο HSFO, δεσμεύτηκαν 470,1mt διοξειδίου του θείου.

Σύμφωνα με την MEPC.259(68) το πλοίο, εάν δεν είχε scrubbers, θα έπρεπε να χρησιμοποιεί καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0,5% και σύμφωνα με υπολογισμούς το επιτρεπόμενο εκπεμπόμενο θείο θα ήταν 68,2mt, ενώ με τη χρήση των scrubbers και με καύσιμο HSFO, το πραγματικό εκπεμπόμενο θείο υπολογίζεται σε 7,2 [mt], με διαφορά επιπλέον δέσμευσης 61mt.

Πίνακας 24 Δεδομένα λειτουργίας

Operation data							
Bunkered HSFO Fuel [mt]							
Total days in operation							
	Contribution	Avg Ratio [v/v %]	Avg Ratio [m/m %]	SO2 emitted [mt]	Global allowable emitted [mt]	Additional SO2 captured [mt]	SO2 captured by 3,5% sulphur content [mt]
Combustion unit							
ME1	27,06%	2,36	0,05	2,01	18,45	16,43	127,12
ME2	26,36%	2,57	0,06	2,14	17,97	15,83	123,66
ME3	22,18%	2,63	0,06	1,84	15,12	13,28	104,02
ME4	17,83%	1,5	0,03	0,84	12,16	11,31	84,25
AE1	3,22%	1,4	0,03	0,14	2,2	2,05	15,22
AE2	0,03%	1,7	0,04	0	0,02	0,02	0,13
AE3	3,32%	1,7	0,04	0,18	2,27	2,09	15,68
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>			<b>7,2</b>	<b>68,2</b>	<b>61</b>	<b>470,1</b>



Εικόνα 29 Πραγματικές εκπομπές SO2 ανά μονάδα καύσης έναντι επιτρεπόμενου ορίου

### 5.6.2 Οικονομικά αποτελέσματα

Το κόστος των scrubbers είναι μεγάλο και οι εταιρείες βασίζονται στη διαφορά τιμής μεταξύ HSFO και καυσίμων χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO <0,5% θείο και το MGO <0,10% θείο) για να επενδύσουν.

Για να τοποθετηθεί ένα σύστημα scrubber χρειάζεται να γίνει επένδυση στον εξοπλισμό, στην μεταφορά και εγκατάστασή του, στις μετατροπές στο μηχανοστάσιο και στην καμινάδα του πλοίου, στον έλεγχο αυτού, στο κόστος του ναυπηγείου, στην αμοιβή του νηογνώμονα, και διάφορα άλλα έξοδα, όπου αφορούν στα πάγια έξοδα (capex).

Επιπλέον πρέπει να υπολογισθούν και τα ημερήσια λειτουργικά έξοδα (opex) που αφορούν στην επιπλέον κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί το σύστημα scrubbers (αντλίες και λοιπός εξοπλισμός), το κόστος διάθεσης των αποβλήτων (sludges) μετά τον καθαρισμό καυσαερίων όπου πρέπει να παραδοθούν στις εγκαταστάσεις του λιμανιού, το κόστος επισκευής και συντήρησης που περίπου εκτιμάται σε 2% του κόστους αγοράς του. (Ναυτεμπορική, 2020)

Η περίοδος απόσβεσης εξαρτάται από το κόστος των πλυντρίδων (εξοπλισμός και εγκατάσταση), την ετήσια κατανάλωση καυσίμου όσο και από την διαφορά μεταξύ της τιμής καυσίμου HSFO με VLSFO.

Το κόστος καυσίμου αποτελεί για τις εταιρίες το μεγαλύτερο λειτουργικό έξοδο. Η τιμή του HSFO στις 8.2.23 ήταν 340 ευρώ/mt, ενώ η τιμή VLSFO ήταν 551 ευρώ, δηλαδή η διαφορά τους είναι 211 ευρώ/mt.

Το κόστος κτήσης και εγκατάστασης λειτουργίας των πλυντρίδων ανέρχεται σε περίπου 6,5 εκατ. ευρώ σύμφωνα με τις οικονομικές καταστάσεις εταιρείας.

Εάν υπολογίσουμε, σύμφωνα με το 1ο σενάριο, ότι το συγκεκριμένο πλοίο καταναλώνει περίπου 26.000mt το έτος, η διαφορά καυσίμων VLSFO με το HSFO κατά μέσο όρο ανά έτος να ανέρχεται στα 211 ευρώ/mt, προκύπτει ένα κέρδος της τάξης των 5,5 εκατ. ευρώ από τα καύσιμα και το κόστος θα αποσβεσθεί σε περίπου 1,2 χρόνια.

Σύμφωνα με ένα 2ο σενάριο, εάν υπολογίσουμε ότι το πλοίο λειτουργεί 10 μήνες το χρόνο, η κατανάλωσή του θα είναι 22.000mt, με την ίδια διαφορά τιμής να

είναι 211 ευρώ/mt, το κέρδος από τα καύσιμα θα ανέρχεται στο ποσό των 4,6 εκατ. ευρώ και με περίοδο απόσβεσης 1,4 έτη.

Σύμφωνα με ένα 3<sup>ο</sup> σενάριο, εάν υπολογίσουμε ότι το πλοίο σε ένα χρονικό διάστημα καταναλώνει 24.000mt καυσίμου και η διαφορά τιμής να είναι στα 100 ευρώ, τότε η περίοδο απόσβεσης θα είναι σε 2,7 έτη.

Πίνακας 25 Τύπος και τιμές καυσίμου

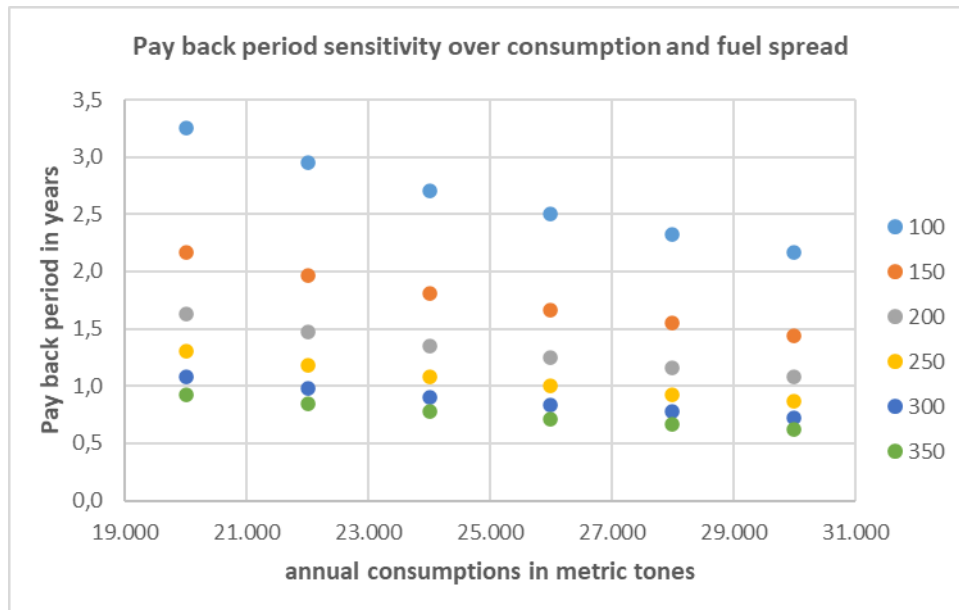
Τύπος καυσίμου	Ποσό σε € /mt
	8/2/2023
Platts VLSFO 0.5%	551
Platts HSFO 3.5%	340
Difference	211

Πηγή: <https://shipandbunker.com/prices/av/global/av-glb-global-average-bunker-price#VLSFO>

Indicative Scrubbers equipment + installation cost	6.500.000
Estimated annual consumption mts	26.000
Fuel spread	211
Annual savings from fuel cost	5.486.000
Pay back period in years	1,2

Πίνακας 26 Σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου με διαφορά τιμής VLSFO-HSFO

Fuel spread (Δ between VLSFO and HSFO)	Consumption - Κατανάλωση----->						
	1,2	20.000	22.000	24.000	26.000	28.000	30.000
100	3,3	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	
150	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	
211	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	
250	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	
300	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	
350	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	



Εικόνα 30 Σύγκριση περιόδου αποπληρωμής με ετήσια κατανάλωση καυσίμου

Επειδή οι τιμές των καυσίμων επηρεάζονται από διάφορα γεγονότα, στον παρακάτω πίνακα που αφορά στο έτος 2022, οι τιμές των καυσίμων (τιμές σε δολάρια) αυξήθηκαν πολύ λόγω του πολέμου στην Ουκρανία, προκύπτει ότι η απόσβεση θα πραγματοποιούνταν σε μισό χρόνο από τον παραπάνω προαναφερόμενο.

Πίνακας 27 Τιμές 2022 HSFO – VLSFO σε δολάρια

Year: 2022	Piraeus 380 CST/\$	Marine Fuel 0.5% Bunker Dlvd Piraeus /\$
Ιαν-22	500,10	702,55
Φεβ-22	533,00	781,20
Μαρ-22	669,26	1.045,26
Απρ-22	694,68	1.053,84
Μάιος-22	676,95	1.096,00
Ιουν-22	682,90	1.286,15
Ιουλ-22	568,90	1.062,43
Αυγ-22	529,45	901,09
Σεπ-22	432,67	856,19
Οκτ-22	440,33	936,90
Νοε-22	451,45	862,14
Δεκ-22	429,30	726,15
<b>Μ.Ο</b>	<b>550,30</b>	<b>943,03</b>

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η επένδυση παράγει θετική αξία και φυσικά είναι λογικό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών καυσίμων, τόσο περισσότερο συμφέρει η επένδυση αυτή.

Τιμές καυσίμων 8.5.2023 - Λιμάνι Πειραιά/Ψ	
IFO 380 - HFO (3,5%)	476
VLSFO (0,5%)	548
MGO (0,1%)	723

Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη μας, όπως έχει προαναφερθεί, ο χαρακτηρισμός της Μεσογείου ως περιοχή ECA (Emission Control Area) τότε θα πρέπει να χρησιμοποιεί καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%, άρα πιο ακριβό από το σημερινό VLSFO 0,5%, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα scrubbers εκτός από την προστασία του περιβάλλοντος, παράγουν και οικονομικά οφέλη για τις εταιρίες.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι θαλάσσιες μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας καθώς το 90% του παγκόσμιου εμπορίου αγαθών και το 72% της Ευρωπαϊκής Ένωσης μεταφέρεται δια θαλάσσης, το οποίο αναμένεται να τριπλασιαστεί το 2025 σε σύγκριση με το 2008.

Αν και η ναυτιλία θεωρείται ότι είναι το πιο ενεργειακά αποδοτικό μέσο μεταφοράς, καθώς συνεισφέρει περίπου το 2,2% των ρύπων, παραμένει σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές, με βάση την τεράστια κλίμακά της.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) η αύξηση των θαλάσσιων εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το τέλος του 2050 θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύσουν το 90-130% των εκπομπών σε σχέση με το 2008, εάν δεν ληφθούν ορισμένες απαραίτητες ενέργειες για τον μετριασμό των εκπομπών και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Η παγκόσμια ναυτιλία εκπέμπει ένα δισεκατομμύριο τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) καθώς και άλλους ρύπους, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και σωματίδια (PM).

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει θέσει στόχους και έχει εκδώσει Κανονισμούς και παρακολουθεί τις εκπομπές ρύπων, το σχεδιασμό, τον εξοπλισμό της κατασκευής των πλοίων και γενικά τη λειτουργία της ναυτιλίας.

Ο IMO έχει θέσει σε ισχύ τη Σύμβαση της MARPOL 73/78 για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία και μέσω του αναθεωρημένου Παραρτήματος VI, που ως στόχο, μεταξύ άλλων, έχει την ελαχιστοποίηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών από πλοία. Περιορίζει την περιεκτικότητα σε θείο από πλοία σε Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) στο 0,10% από 1.1.2015 καθώς και σε αγκυροβόλιο για περισσότερες από δύο ώρες σε λιμένες της ΕΕ και εκτός των περιοχών Ελέγχου σε 0,50% από 1.1.2020, με τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα πλοία καύσιμο HSFO υψηλής περιεκτικότητας σε θείο εάν υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubber).

Αναφορικά με τις εκπομπές NO<sub>x</sub> το ρυθμιστικό πλαίσιο σχετίζεται με βάση τη χρονολογία κατασκευής των μηχανών, με το Tier III να απαιτεί μείωση κατά 80% σε σχέση με το επίπεδο Tier I, για μηχανές που έχουν κατασκευασθεί από 1.1.2016.

Επίσης ο ΙΜΟ έχει θέσει στόχους για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 40% σε σύγκριση με το μεταφορικό έργο του 2008, έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050 και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% σε σύγκριση με το 2008, σύμφωνα με τους στόχους που τέθηκαν από τη Συμφωνία του Παρισιού του 2015 για τη διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από 1,5° C.

Αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, ο ΙΜΟ έχει θεσπίσει το Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) για τα νέα πλοία που ναυπηγήθηκαν από 1.1.2013, το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP), με έναν αντίστοιχο μηχανισμό μέτρησης που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τον Κανονισμό παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης (MRV). Επίσης ο ΙΜΟ εφαρμόζει για τα υφιστάμενα πλοία, τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (EEXI) ακολουθώντας τεχνικά μέσα για να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να καθορίσουν τον ετήσιο επιχειρησιακό δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII) και τη βαθμολογία τους.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιούλιο του 2021, ανακοίνωσε δέσμη προτάσεων (Fit for 55') με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990 και πλήρη απαλλαγή από τον άνθρακα έως το 2050, όπου απαιτείται μείωση των εκπομπών κατά 90% σε όλες τις μεταφορές.

Οι προτάσεις που επηρεάζουν τη ναυτιλία περιλαμβάνουν την αναθεώρηση του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ, την φορολογική απαλλαγή που εφαρμόζεται στα εναλλακτικά καύσιμα για περίοδο δέκα ετών και κατάργηση για τα κοινά καύσιμα μεταξύ των λιμένων της ΕΕ από το 2023, στον Κανονισμό FuelEU Maritime που θα εφαρμοσθεί το 2025, εστιασμένος στην παραγωγή και χρήση καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα και αύξηση της διαθεσιμότητας υγροποιημένου φυσικού αερίου στα κράτη μέλη τη ΕΕ έως το 2025 και στον κανονισμό για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων.

Όλες οι προαναφερόμενες δεσμεύσεις οδήγησαν τη ναυτιλιακή βιομηχανία σε εξεύρεση λύσεων για τον περιορισμό των ρύπων, όπως την επιλεκτική καταλυτική αναγωγή και την ανακυκλοφορία των καυσαερίων για περιορισμό των NO<sub>x</sub>, τη μετάβαση στα καύσιμα χαμηλών εκπομπών θείου καθώς και στη χρήση πλυντρίδων (scrubbers) για περιορισμό του θείου. Επίσης άλλες λύσεις που προκρίνονται είναι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τη ξηρά, “Cold Ironing”, όταν τα πλοία βρίσκονται σε ελλιμενισμό με εφαρμογή από 1.1.2026 στους θαλάσσιους λιμένες του Κεντρικού

Δικτύου Μεταφορών της ΕΕ, ώστε να επιτευχθεί μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τα πλοία σε περιοχές κοντά στα λιμάνια, καθώς οι βοηθητικές γεννήτριες δεν απαιτείται να λειτουργούν, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα στην ξηρά παράγεται με πιο φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους.

Για την επίτευξη αυτών των μακροπρόθεσμων στόχων και συμφωνιών, διάφορα εναλλακτικά καύσιμα έχουν συζητηθεί ως υποκατάστατα των συμβατικών ορυκτών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG). Η χρήση του LNG αυξάνεται συνεχώς και σε αρκετούς λιμένες δημιουργούνται υποδομές ανεφοδιασμού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέα πλοία ως κύριο καύσιμο ή σε υπάρχοντα με μετατροπή του κινητήρα τους για να καίει διπλό καύσιμο, αν και το LNG θεωρείται ως καύσιμο μετάβασης στα βιοκαύσιμα.

Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι τα ανανεώσιμα καύσιμα, όπως το υδρογονοεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο (HVO), μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύριο καύσιμο κινητήρα στον ναυτιλιακό τομέα. Ωστόσο, η χρήση τους ως πρόσθετων σε συμβατικά καύσιμα είναι μια πιο πρακτική και απλή προσέγγιση. Άλλα εναλλακτικά καύσιμα είναι το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG), η μεθανόλη, η αμμωνία, το υδρογόνο, οι κυψέλες καυσίμου, οι μπαταρίες όπου τα περισσότερα βρίσκονται ακόμη σε στάδια περαιτέρω μελέτης.

Όπως προαναφέρθηκε, τα περισσότερα πλοία για να συμμορφωθούν με τις οδηγίες του IMO για το θείο, έχουν στραφεί είτε σε καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, είτε έχουν εγκαταστήσει πλυντρίδες για να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν το Heavy Fuel Oil, που είναι το πιο οικονομικό.

Οι πλυντρίδες καταναλώνουν ενέργεια για να λειτουργήσουν με αποτέλεσμα να αυξάνουν σημαντικά το κόστος λειτουργίας και δεσμεύουν ωφέλιμο χώρο για να τοποθετηθούν, λύση η οποία δεν είναι εφικτή σε όλα τα υπάρχοντα πλοία.

Το κυριότερο πρόβλημά τους έγκειται στη διαχείριση του ρυπασμένου νερού μετά τον καθαρισμό του αερίου. Στις πλυντρίδες ανοικτού τύπου το ρυπασμένο νερό απορρίπτεται στη θάλασσα, ενώ στα κλειστά και υβριδικά συστήματα τα λύματα επανατίθεται σε κυκλοφορία μετά τον καθαρισμό τους εντός του πλοίου, ενώ στα λιμάνια θα πρέπει να υπάρχει σύστημα διαχείρισης της λάσπης που παράγεται στο πλοίο κατά τη διαδικασία.

Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε επιβατηγό οχηματαγωγό ακτοπλοϊκό πλοίο στο οποίο έχει τοποθετηθεί σύστημα καθαρισμού καυσαερίων

(EGCS) και το οποίο χρησιμοποιεί καύσιμο HSFO, μείωσε την επιτρεπόμενη εκπομπή κατά 89,5%. Αναλύοντας τα κατ' εκτίμηση οικονομικά δεδομένα, υπολογίζεται ότι η απόσβεση θα πραγματοποιηθεί σε 1,2 έως 1,4 έτη από την κτήση και εγκατάσταση του συστήματος. Οι συγκρίσεις βασίζονται στην επένδυση με scrubbers, αν κατανάωνε καύσιμο VLSFO περιεκτικότητας σε θείο 0,5% καθώς και στις διαφορές μεταξύ της τιμής των δύο καυσίμων (HSFO με VLSFO), παράμετρος που βρέθηκε ότι έχει την μεγαλύτερη επίδραση στο αποτέλεσμα.

Μπορεί αυτή τη στιγμή η χρήση των scrubbers να αποτελεί τη βέλτιστη λύση για τη συμμόρφωση με τους υφιστάμενους κανονισμούς, αν και μακροπρόθεσμα, με τις ανησυχίες που έχουν εκφρασθεί σχετικά με τη διαθεσιμότητα τέτοιων καυσίμων (HSFO) και την εκπλήρωση των φιλόδοξων στόχων που έχουν τεθεί από τον IMO και την ΕΕ, αναμένεται η ανάπτυξη της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Όμως, σύμφωνα με την πρόσφατη μελέτη του Νορβηγικού Νηογνώμονα (DNV, 2022), το 98,8% του παγκόσμιου στόλου καταναλώνει συμβατικά καύσιμα. Από το υπόλοιπο ποσοστό, το LNG φαίνεται να έχει το προβάδισμα με 923 πλοία, 11 πλοία καταναλώνουν μεθανόλη, 19 πλοία καταναλώνουν LPG και 396 πλοία χρησιμοποιούν μπαταρίες/υβριδικά.

Από τα πλοία που έχουν παραγγελθεί το 78,9% θα χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα, τα 534 θα καίνε LNG, τα 417 θα χρησιμοποιούν μπαταρίες/υβριδικά, τα 57 θα καίνε LPG, τα 35 μεθανόλη και τα 3 Υδρογόνο.

Τα νέα ενεργειακά μέτρα που θα ληφθούν και οι όποιες τεχνολογικές λύσεις επιλεγούν πρέπει να αντισταθμίζουν τα σοβαρά ζητήματα που εγείρονται σχετικά με τις μεθόδους παραγωγής, τη διαθεσιμότητα, τις υποδομές, το υψηλό κόστος των επενδύσεων, την ασφάλεια και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Απαιτούν την ενεργό συμβολή όλων των παραγόντων της ναυτιλιακής κοινότητας, ναυπηγείων, κατασκευαστών θαλάσσιων κινητήρων, ναυτιλιακών εταιρειών, νηογνώμωνων, λιμανιών, εταιρειών ενέργειας, αλυσίδας εφοδιασμού καυσίμων κλπ, ώστε να εξασφαλισθεί ότι όποιες λύσεις και μέτρα προκριθούν να μπορούν τα πλοία να χρησιμοποιούν τα εναλλακτικά καύσιμα με ασφάλεια, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τον τρόπο λειτουργίας της ναυτιλίας σε παγκόσμια κλίμακα, για να επιτευχθούν οι στόχοι του IMO και της ΕΕ για κλιματική ουδετερότητα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ

- Cooper, C., and Alley, H., 2004. Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης. Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας. 3η Τζιόλας. Θεσσαλονίκη.
- Βερούκιος, Ξ., 2003. Διαχείριση Αέριων Ρύπων. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους Ι. Τόμος Α΄, ΕΑΠ, Πάτρα.
- Γεντεκάκης Ι., 1999. Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Ελευθερίου, Α., 2017. Νέοι Κανονισμοί Εκπομπών οξειδίου του θείου από τη ναυτιλία. Το LNG ως καύσιμο – Εναλλακτικά καύσιμα, εγκατάσταση scrubbers (πλυντρίδων) και η επιλογή της οικονομικότερης λύσης. M.Sc., ΠΑΠΕΙ, Πειραιάς.
- ΕΜΠ, 2022. Ηλεκτροδότηση πλοίων στα λιμάνια, Μελέτη.
- Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών, 2022. Ετήσια Έκθεση 2021-2022. <https://ugs.gr/gr/greek-shipping-and-economy/greek-shipping-and-economy-2022/the-strategic-importance-of-greek-shipping-for-greece-the-eu-and-the-world/> (πρόσβαση, 15.12.2022).
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022. Αναθεώρηση της Οδηγίας για τη φορολογία της Ενέργειας. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/qanda\\_21\\_3662](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/qanda_21_3662) (πρόσβαση, 18.12.2022).
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2022. Νέα πρότυπα για τα καύσιμα πλοίων με στόχο τη μείωση των οξειδίων του θείου στη Μεσόγειο κατά 80%. [https://greece.representation.ec.europa.eu/news/nea-protypa-gia-ta-kaysima-plotion-me-stoho-ti-meiosi-ton-oxeidion-toy-theiyou-sti-mesogeio-kata-80-2022-12-16\\_el](https://greece.representation.ec.europa.eu/news/nea-protypa-gia-ta-kaysima-plotion-me-stoho-ti-meiosi-ton-oxeidion-toy-theiyou-sti-mesogeio-kata-80-2022-12-16_el) (πρόσβαση, 15.12.2022).
- Ζάνης, Πρ., 2014. Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Ζιώμας, Ι., Ρεμουντάκη Εμμ., 2003. Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Γ΄. ΕΑΠ, Πάτρα.
- IOBE, 2017. Η συμβολή της επιβατηγού ναυτιλίας στην ελληνική οικονομία.
- IOBE, 2022. Επίδραση της δέσμης προτάσεων «Fit for 55'» στην επιβατηγό ναυτιλία και στη νησιωτική Ελλάδα.

- Καμπεζίδης, Χ., Ματραλής, Χ., 2004. Διαχείριση Αέριων Ρύπων. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους II. Τόμος Β', ΕΑΠ, Πάτρα
- Κλιάνης, Λ.Χ., Νικολός, Ι.Κ., Σιδέρης, Ι.Α., 2017. Μηχανές εσωτερικής καύσεως (2η εκδ.) *Βιβλιοθήκη του Ναυτικού*, Ίδρυμα Ευγενίδου. Αθήνα.
- Κοζολίνο, Ι., 2018. Μελέτη των εκπομπών των πλοίων. Μηχανές και καύσιμα, επεξεργασία των καυσαερίων πριν την εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα, παρόν και μέλλον. M.Sc., ΕΑΠ, Πάτρα.
- Ματθαίου, Δ., 2020. Οι νέοι περιβαλλοντολογικοί κανονισμοί του IMO σε εφαρμογή από 1/1/2020. *Η Ναυτεμπορική* 2.1.2020.  
<https://www.naftemporiki.gr/maritime/7451/oi-neoi-perivallontologikoi-kanonismoι-tou-imo-se-efarmogi-apo-1-1-2020/> (πρόσβαση, 5.2.2023).
- Οικονομικός Ταχυδρόμος – ΟΤ, 2022. Lloyd's Register: Έγκριση για πλοία που χρησιμοποιούν υδρογόνο ως καύσιμο.  
<https://www.ot.gr/2022/09/02/naytilia/lloyds-register-egkrisi-gia-ferry-pou-xrisimoroioun-ydrogono-os-kaysimo/> (πρόσβαση, 15.1.2023)
- Οικονομικός Ταχυδρόμος – ΟΤ, 2022. Πράσινη Ναυτιλία : Από τα ηλεκτρικά πλοία έως την αιολική ενέργεια.  
<https://www.ot.gr/2022/08/03/naytilia/prasini-naytilia-apo-ta-ilektrika-ploia-eos-tin-aioliki-energeia/> (πρόσβαση, 15.1.2023).
- Παπανδρίκος, Α. 2013. Οικονομικές Επιπτώσεις και παρενέργειες μέτρων για τον περιορισμό των εκπομπών SO<sub>2</sub>. M.Sc., ΕΜΠ.
- Ρεμουντάκη, Εμ., Φερεντίνος Γ., Γεωργιάδης Θ., Ζιώμας, Ιω., 2004. Επιπτώσεις των αέριων ρύπων στο περιβάλλον, στο: Γεωργιάδης, Θ., Ζιώμας, Ιω., Ιγνατιάδου, Λ., Καλλέργης, Γ., Καμπεζίδης, Χ., Κομνίτσας, Κ., Παπαθεοδώρου, Γ., Ρεμουντάκη, Εμ., Σκορδίλης, Αδ., Φερεντίνος, Γ., Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση. Διάθεση Αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον. Δ'. ΕΑΠ, Αθήνα, σ.15-147.
- Σοφινίδης Κ., 2021. Αξιολόγηση εναλλακτικών ναυτιλιακών καυσίμων: Βιβλιογραφική επισκόπηση και εφαρμογή πολυκριτικής μεθόδου. M.Sc., ΕΜΠ, Αθήνα.
- Σταυρακάκη, Φ. 2020. Δημιουργία αποθετηρίου εκπομπών αέριων ρύπων από ειδικές κατηγορίες πλοίων για την εκτίμηση της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας. Μελέτη περίπτωσης: Λιμένας Πειραιώς. M.Sc., ΕΑΠ, Πάτρα.
- Συμβούλιο της Ε.Ε, 2022. Fit for 55: Προσωρινή συμφωνία Συμβουλίου και Κοινοβουλίου σχετικά με το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ και το Κοινωνικό Ταμείο για το Κλίμα.

<https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2022/12/18/fit-for-55-council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-eu-emissions-trading-system-and-the-social-climate-fund/> (πρόσβαση, 15.12.2022).

- ΥΝΑΝΠ, 2021. Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.  
<https://www.ynanp.gr/media/documents/2021/07/29/%CE%A3%CE%9C%CE%A0%CE%95%CE%A4%CE%A0%CE%91%CE%A5%CE%9D%CE%91%CE%9D%CE%A0.pdf> (πρόσβαση, 19.11.2022).
- ΥΝΑΝΠ – Δελτίο Τύπου, 2022. Συμβούλιο Υπουργών Θαλασσιών Μεταφορών της Ε.Ε. Εκτός του Κανονισμού «FuelEU Maritime» η ελληνική ακτοπλοΐα μέχρι το 2029.  
<https://www.ynanp.gr/el/gr-epikoinwnias-enhmerwshs/giannhs-plakiwtakhs-symboyl-io-y-pouyrgwn-dalassiwn-metaforwn-ths-ee-ektos-toy-kanonismoy-fueleu-maritime-h-ellhnikh-aktoploia-mexri-to-2029/> (πρόσβαση, 15.1.2023).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2022, Ποιότητα της Ατμόσφαιρας.  
<https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/> (πρόσβαση, 19.10.2022).

#### ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- MARPOL 73/78. Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από πλοία.
- Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 29ης Απριλίου 2015, για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ.
- Οδηγία (ΕΕ) 2003/96/ΕΚ του Συμβουλίου, της 27ης Οκτωβρίου 2003, σχετικά με την αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Νοεμβρίου 2012, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο.
- Οδηγία (ΕΕ) 2016/802 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Μαΐου 2016 σχετικά με τη μείωση της περιεκτικότητας ορισμένων υγρών καυσίμων σε θείο.
- Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

- Προεδρικό Διάταγμα 13, 2023. Αποδοχή τροποποιήσεων στο Παράρτημα του Πρωτοκόλλου του 1997 περί τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη Ρύπανσης από Πλοία, 1973 όπως τροποποιήθηκε από το σχετικό επί αυτής Πρωτόκολλο του 1978 (Αναθεωρημένο Παράρτημα VI της Διεθνούς MARPOL 2021) (ΦΕΚ 28/Α/15-2-2023).
- Πρόταση Κανονισμού του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων και για την κατάργηση της οδηγίας 2014/94/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.
- Πρόταση Κανονισμού του ΕΚ και του Συμβουλίου για τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών στις θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ.
- Πρόταση Οδηγίας της Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Ένωσης, της απόφασης (ΕΕ) 2015/1814 σχετικά με τη θέσπιση και τη λειτουργία αποθεματικού για τη σταθερότητα της αγοράς όσον αφορά το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, και του κανονισμού (ΕΕ) 2015/757.
- ΥΝΑΝΠ, Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος, 2020. Εγκύκλιος 15η 24.6.2020. Έλεγχος πλοίων σε θέματα προστασίας θαλασσιού περιβάλλοντος στο πλαίσιο εφαρμογής της Διεθνούς Σύμβασης Marpol.
- ΥΝΑΝΠ, Υπουργική Απόφαση, 2021. Αριθμ. 2263.1-7/42779/2021 «Έγκριση και αποδοχή του Τεχνικού Κώδικα του ΙΜΟ για τον έλεγχο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από τις ναυτικές ντίζελ μηχανές (Τεχνικός Κώδικας ΝΟx) και των τροποποιήσεων αυτού ως αυτές υιοθετήθηκαν με τις αποφάσεις MEPC.177(58), MEPC.272(69) και MEPC.317(74) της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ)». ΦΕΚ 2706/Β/24-6-2021.

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Abb Jiangjin Turbo Systems, H. B., 2019. Green ammonia for IMO GHG 2050 strategy. 11th CIMAC CASCADES, Wuxi, China.
- ABS, 2020a. Setting the Course to low carbon shipping.
- Andersen, S.O., & Sarma, K.M., 2002. Protecting the Ozone Layer: the United Nations History, Earthscan Press, London.
- Brynolf, S., Fridell, E. & Andersson, K., 2014. Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of cleaner production*, Vol 74, p. 8695.
- De Marco A., A. Screpanti, M. Mircea, A. Piersanti, C. Proietti, M. F. Fornasier, 2017. High resolution estimates of the corrosion risk for cultural heritage in Italy. *Environmental Pollution*, V226, p.p 260-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.066>.
- DNV, G., 2014. LNG as Ship Fuel, The future-Today. Hamburg, Germany.
- DNV, G., 2019. Comparison of alternative marine fuels. For SEALNG, DNV GL.
- DNV, 2020. Ammonia as a marine fuel.  
<https://www.dnv.com/Publications/ammonia-as-a-marine-fuel-191385>  
[Accessed 24-1 2022].
- DNV, 2021. Maritime Forecast to 2050, Energy Transition Outlook 2021.
- DNV, 2022. Maritime Forecast to 2050, Energy Transition Outlook 2022.
- ECSA – ICS, 2021. FuelEU Maritime – Avoiding Unintended Consequences. Green Marine Associates Ltd.
- European Council. 2022. Fit for 55': Council and Parliament reach provisional deal on EU emissions trading system and the Social Climate Fund.  
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/12/18/fit-for-55-council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-eu-emissions-trading-system-and-the-social-climate-fund/> (accessed, 20.1.2023).
- European Environment Agency (2021) Guidebook 2019.  
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-d-navigation/view>  
(accessed, 15.12.2022).
- European Environment Agency, 2022. European Air Quality Index.  
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index> (accessed, 15.1.2023).

- European Environment Agency, (E.E.A), 2022. Air quality in Europe 2021. Health impacts of air pollution in Europe, 2021.  
<https://www.eea.europa.eu/el/highlights/me-katharotero-aera-tha-mporoysan> (accessed, 15.1.2023).
- European Maritime Shipping Agency, (EMSA) 2021. European Maritime Transport Environmental, Report 2021.
- Fernandez I. A., Gomez, M. R., Gomez, J. R. & Insua, Á. B., 2017. Review of propulsion systems on LNG carriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V 67, pp 1395-1411.
- Force Technology (2023). Simulations and CFD. Ph simulation of marine scrubber discharge.  
<https://forcetechnology.com/en/services/simulations-and-cfd/ph-simulation-of-marine-scrubber-discharge> , (πρόσβαση 11.2.2023).
- FORUM, I. T. 2018. Decarbonising Maritime Transport: Pathways to Zero-carbon Shipping by 2035, OECD Publishing IMO (2022). *Air Pollution, Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions*.  
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/AirPollution-Default.aspx>.
- Gore, K., Rigot-Muller, P., Goughlan J., 2022. Cost assessment of alternative fuels for maritime transportation in Ireland, Transportation Research Part D: *Transport and Environment*, Volume 110, pp 103416.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192092200242>  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103416>.
- GL, D., 2019a. Comparison of Alternative Marine Fuels. DNV GL AS Maritime: Hovik, Viken, Norway.
- International Chamber of Shipping, 2022. The Research and Development Fund  
[https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/the-rd-fund/\(accessed, 15.12.2022\)](https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/the-rd-fund/(accessed,15.12.2022)).
- IMO (2022). Fourth Greenhouse Gas Study 2020.  
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx> (accessed, 15.12.2022).
- IMO, 2022. History of IMO.  
<https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx> (accessed, 15.12.2022).
- IMO, 2022. Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13.  
[https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) (accessed, 15.12.2022).

- IEA, 2019a. The Future of Hydrogen, Report Prepared by the IEA for the G20, Japan. IEA Paris, France.
- International Council on Clean Transportation (ICCT), 2021. Global scrubber wash water discharges under IMO's 2020 fuel sulphur limit.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.  
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> (accessed, 2-10-2022).
- Jafarzadeh, S., Paltrinieri, N., Utne, I.B, Ellingsen, H, 2017. LNG-fuelled fishing vessels: A systems engineering approach. Transportation Research Part D: *Transport and Environment*. V. 50, p. 202.
- Koumniotis K., 2022. Ammonia as a marine fuel. M.Sc., University of Piraeus.
- Kristensen, H.O, 2012. Energy Demand and Exhaust Gas Emission of Marine Engines, Technical University of Denmark.
- Kuiken, K. 2017. Emissions in gas – dual fuel and diesel engines. In: Diesel Engines: For ship Propulsion and Power Plants from 0 to 100,000 kw (3rd ed). Target Global Energy Training Eds, Netherlands.
- Kumar, J., Kumpulainen, L., and Kauhaniemi, K., 2018. Technical design aspects of harbour area grid for shore to ship power: State of the art and future solutions. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 104, pp. 840–852.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.07.051>.
- Laval, A., Hafnia, H. T. & Vestas, S. G., 2020. Ammonfuel-an industrial view of ammonia as a marine fuel. Alfa Laval.
- Lindgren, J. F., Brynolf, S., Wilewska-Bien, M. & Andersson, K., 2016. Shipping and the Environment: Improving Environmental Performance in Marine Transportation, Springer Berlin, Heidelberg.
- Maritime Knowledge Centre, T. A. T. D., 2017. Final Report - Framework CO2 reduction in shipping.
- MEPC, 2022. Marine Environment Protection Committee.  
<https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-default.aspx> (accessed, 15.12.2022).
- Ming, D. L., 2021. Methanol as a marine fuel.

- Myhre, G. Shindell, D. Bréon, F.-M., Collins, J., Fuglestedt, J., Huang, J., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. in: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, et al. (eds.), (Ed.). In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Patel M.R., 2012. Shipboard Propulsion. Power Electronics and Ocean Energy.
- Research, L., 2022. All at sea – Methanol and shipping.
- Royal Society. 2020. Ammonia: zero-carbon fertilizer, fuel and energy store. The Royal Society London, UK.
- Prousalidis, J., Antonopoulos, G., Patsios, C., Greig A., and Bucknall, R., 2014. Green shipping in emission-controlled areas: Combining smart grids and cold ironing. International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, pp. 2299-2305.  
<https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2014.6960506>.
- Schuller, O., Reuter, B., Hengstler, J., Whitehouse, S., Zeitzen, L. 2017. Greenhouse Gas Intensity of Natural Gas. Thinkstep AG, Natural & Bio Gas Vehicle Association (NGVA) Europe, p. 180.
- Spezzano, P., 2021. Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution, *Science of the Total Environment*, V 754.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142345>.
- Stenersen, D., Thonstad O., 2017. GHG and NOx emissions from gas fuelled engines. Mapping, verification, reduction technologies. SINTEF Ocean AS, Trondheim, Norway, pp. 1-52.
- Thepsithar, P., Kiong, M.K.E., Piga, M.B., Zengqi, M. X., Yin, S. J., Ming, L., Li, M. P., Xueni, M. G. & Rosario, M. M. K. P., 2020. Alternative fuels for international shipping. Maritime Energy & Sustainable Development (MESD) Centre of Excellence, Nanyang Technological University.
- Tyrovola, T., Dodos, G., Kalligeros, S. & Zannikos, F., 2017. The introduction of biofuels in marine sector. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, Vol. 6, pp 415-421.
- Union of Greek Shipowners (UGS), 2021. Survey of Alternative Fuels-Technologies for shipping.  
[https://www.ugs.gr/media/13685/survey-of-alternative-fuels-technologies-for-shipping\\_may21.pdf](https://www.ugs.gr/media/13685/survey-of-alternative-fuels-technologies-for-shipping_may21.pdf).

- Ushakov, S. & Lefebvre, N., 2019. Assessment of hydrotreated vegetable oil (HVO) applicability as an alternative marine fuel based on its performance and emissions characteristics. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, Vol. 12, pp 109-120.
- Woodyard, D.F., 2009. Exhaust Emissions and Control. In Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines (9th ed). Butterworth-Heinemann Eds., Oxford, UK.
- WLPGA, 2017. LPG for Marine Engines -The Marine Alternative Fuel.
- Yeo, S.-J., Kim, J. & Lee, W.-J., 2022. Potential economic and environmental advantages of liquid petroleum gas as a marine fuel through analysis of registered ships in South Korea. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 330, p.129955.