

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη του κύκλου ζωής του κανονισμού 14 της Marpol ANNEX VI για τον περιορισμό οξειδίων του Θείου. Αποτίμηση των συνεπειών στη βιωσιμότητα κατά τη διάρκεια εφαρμογής του και εκτίμηση για τον μετασχηματισμό του κανονισμού.

Υπεύθυνος Καθηγητής: Ν. Βεντικός

Γιαντσίδης Χρήστος  
10/5/2022

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
<b>Περίληψη</b> .....	4
<b>Abstract</b> .....	5
<b>Εισαγωγή στην Μελέτη του κύκλου ζωής ενός κανονισμού.</b> ....	6
Έννοια του κύκλου ζωής.....	6
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Η επίδραση του διοξειδίου του θείου.</b> .....	7
Δείκτης Ποιότητας Αέρα.....	7
Επίδραση του διοξειδίου του θείου στον άνθρωπο.....	10
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Θέσπιση κανονισμών για την αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού ζητήματος.</b> .....	12
Οι εκπομπές του διοξειδίου στην Ευρώπη. ....	12
Το διοξείδιο του θείου στην Ναυτιλία.....	15
Το θεσμικό πλαίσιο των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η εφαρμογή στην Ελλάδα.....	16
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : REGULATION MARPOL ANNEX VI 14</b> .....	19
Εισαγωγή στον κανονισμό MARPOL ANNEX VI 14.....	19
Εκπομπές που οφείλονται στην ναυτιλιακή δραστηριότητα. ....	19
Διεθνής κανονισμός μείωσης εκπομπών διοξειδίου του θείου.....	20
Αποτελέσματα Marpol Annex Vi 14 Regulation στην Ευρώπη πριν την τροποποίηση του 2020.....	21
Εθνικοί κανονισμοί μείωσης εκπομπών του θείου. ....	23
Κίνα.....	24
Ταϊβάν. ....	28
Ευρωπαϊκή Ένωση.....	29
Τουρκία.....	29
Πολιτεία της Καλιφόρνια. ....	29
Hong Kong. ....	32
Νότια Κορέα. ....	33
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Συμμόρφωση στον Marpol Annex VI 14 Regulation και εφαρμογή στα πλοία.</b> .....	37
Κύριες μέθοδοι.....	37
Exhaust Gas Cleaning Systems. ....	37
Τύποι Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων.....	37
Χρήση Συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων. ....	38

Απόδοση εγκατάστασης Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων.....	40
Εκτίμηση Ισοδύναμου καυσίμου περιεκτικότητας (m/m %) θείου.....	40
Καύσιμα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε Θείο (VLSFO) .....	43
Χρήση διαφορετικών αποσταγμάτων πετρελαίου (Distillate Fuels) .....	46
Προβλήματα λόγω της χρήσης καθαρότερων καυσίμων. ....	47
<b>Κεφάλαιο 5°: Αξιολόγηση κανονισμού στο άμεσο μέλλον.</b> .....	<b>49</b>
Περίληψη Μελέτης. ....	49
Εισαγωγή στην Μελέτη. ....	49
Εκτίμηση Κατανάλωσης Καυσίμου. ....	49
Απογραφές εκπομπών. ....	51
Αποτελέσματα. ....	55
Εκτίμηση επιπτώσεων στην υγεία. ....	56
Συμπέρασμα αξιολόγησης κανονισμού. ....	57
<b>Κεφάλαιο 6°: Εκτίμηση Μετατροπής Του κανονισμού στο μέλλον.</b> .....	<b>58</b>
Μετάβαση σε “πράσινα” εναλλακτικά καύσιμα.....	58
Διαδικασία Παραγωγής.....	59
Υδρογόνο (H <sub>2</sub> ).....	59
Αμμωνία (NH <sub>3</sub> ).....	59
Μεθανόλη (CH <sub>3</sub> OH) .....	60
Σύγκριση των τριών εναλλακτικών καυσίμων. ....	61
Εκτίμηση Μετατροπής Marpol Annex VI. ....	62
Νέες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών. ....	65
Εκτίμηση Νέων Περιοχών .....	66
Συμπέρασμα κύκλου ζωής. ....	69
Αναφορές .....	71

## Ευχαριστίες.

Κατά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση του συγκεκριμένου ζητήματος.

Ευχαριστώ θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου, τον κύριο Νικόλαο Βεντίκο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας το συγκεκριμένο θέμα αμέσως μόλις ζητήθηκε καθώς και την άμεση ανταπόκριση του και επικοινωνία του από την αρχή μέχρι και το πέρας της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κυρία Ειρήνη Σταματοπούλου η οποία επέβλεπε την συγκεκριμένη εργασία και με βοήθησε στην ολοκλήρωση της με την επιστημονική της καθοδήγηση ,τις αντίστοιχες υποδείξεις που χρειάστηκα ,την αρίστη συνεργασία της και την συνεχή υποστήριξη σε οποιοδήποτε ζήτημα προέκυψαν δυσκολίες.

## Περίληψη

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, μελετάμε τον κύκλο ζωής του κανονισμού 14 Marpol (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) Annex VI (παράρτημα VI) του International Maritime Organization (IMO) που στοχεύει στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1, αναλύουμε τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις των εκπομπών διοξειδίου του θείου, εξηγώντας πώς οι μεγάλες ποσότητες εκπομπών (ανεξαρτήτως του τομέα από τον οποίο διαχέονται στο περιβάλλον) βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία και προκαλούν προβλήματα στην λειτουργία του οικοσυστήματος .

Στη συνέχεια, το Κεφάλαιο 2, επικεντρώνεται στα βήματα και στους στόχους που έχουν τεθεί προς επίτευξη από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τον περιορισμό των εκπομπών του θείου στις Ευρωπαϊκές χώρες.

Στο Κεφάλαιο 3 της διπλωματικής εργασίας, εστιάζουμε και επεξηγούμε τον διεθνή 14ο κανονισμό (και τις τροποποιήσεις του από το 2005 μέχρι το 2020) του IMO (παράρτημα VI) της σύμβασης Marpol για την προστασία του περιβάλλοντος από την ναυτιλιακή δραστηριότητα ο οποίος συγκεκριμένα επικεντρώνεται στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία. Επιπλέον, αναφέρουμε και τα διάφορα (ανεξάρτητα) εθνικά μέτρα και κανονισμούς διάφορων χωρών για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα στα δικά τους εγχώρια ύδατα και λιμάνια.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4, εξηγούμε τους τρόπους συμμόρφωσης στον κανονισμό από τα σκάφη ανά την υφήλιο.

Στο 5ο Κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής αξιολογούμε τον κανονισμό. Συγκεκριμένα υπολογίζουμε τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα πριν και μετά την εφαρμογή της τροποποίησης του 2020 στον κανονισμό. Ακόμη, υπολογίζουμε τις ποσότητες των ρύπων του διοξειδίου του θείου για το έτος 2025 και πως αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με την ανάπτυξη του ναυτιλιακού τομέα. Τέλος, λόγω της υιοθέτησης της Μεσογείου θάλασσάς ως περιοχή ελέγχου εκπομπών για το έτος 2024 πραγματοποιούμε μια εκτίμηση της μείωσης στους αναμενόμενους θανάτους στην παράκτια περιοχή της νότιας Ευρώπης που οφείλεται στην αντίστοιχη μείωση της έκθεσης στους ρύπους διοξειδίου θείου από την ναυτιλία.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, ολοκληρώνουμε τη μελέτη του κύκλου ζωής του κανονισμού εκτιμώντας την μετατροπή του κανονισμού τα επόμενα χρόνια όπου οι αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των πλοίων για περαιτέρω μείωση των εκπομπών μοιάζουν να είναι ριζικές, λόγω της μεταστροφής σε νέα εναλλακτικά καύσιμα.

## Abstract

In this diploma thesis, we study the life cycle of policy making of the regulation 14 of Marpol (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) Annex VI of International Maritime Organization (IMO) which targets to reduce the Sulphur dioxide emissions from maritime activity.

In Chapter 1, we analyze the environmental impacts of the Sulphur dioxide emissions where we explain how a massive amount of emissions (regardless of how these are defused to the environment) harm the human health and cause malfunctions to the ecosystem.

Furthermore, Chapter 2, focuses on the milestones and goals that have been set from the European Union that aim to restrict and reduce the Sulphur dioxide emissions in the European countries.

In the third Chapter of our thesis, we focus and explain the international regulation 14 (including its amendments from 2005 until 2020) of IMO (Annex VI) for the protection of the environment from the shipping/maritime activities. This regulation specifically focuses on the reduction of Sulphur dioxide emissions from vessels. In addition, we also mention the various national (independent) measurements and regulation of several countries towards the reduction of the Sulphur dioxide emissions in their national waters.

In Chapter 4, we explain the ways of compliance to the regulation for all ships across the globe.

In the 5th Chapter of our thesis, we evaluate the regulation. Particularly, we calculate the Sulphur dioxide emissions from maritime activity before and after the application of the amendment in 2020 to the regulation. Furthermore, we calculate the amounts of the Sulphur dioxide pollutants for 2025 and how these may vary based on the development of the naval industry. Lastly, as the Mediterranean Sea has been set as an Emission Control Area (ECA) for 2024, we conduct a study on the estimated deaths reduction in South Europe due to the decreased exposure to the pollutants.

Lastly, in Chapter 6, we complete the study of life cycle of policy making of the regulation 14 of IMO. We estimate how the regulation might change in the near future where the changes in maritime industry will be radical and affected by the new alternative fuels for ships.

## Εισαγωγή στην Μελέτη του κύκλου ζωής ενός κανονισμού.

### Έννοια του κύκλου ζωής

Με τον όρο μελέτη του κύκλου ζωής ενός κανονισμού αναφερόμαστε σε μία σειρά διαδικασιών-βημάτων τα οποία ορίζουν τον συγκεκριμένο όρο οι διαδικασίες αυτές είναι:

1. **Εντοπισμός του ζητήματος** : Αφορά τον προσδιορισμό του βασικού προβλήματος που ίσως απαιτεί κυβερνητική δράση με νομοθεσίες.
2. **Σχεδίαση-Ορισμός Στόχων**: Το συγκεκριμένο βήμα μελετά τους τρόπους τους οποίους μπορεί να σημειωθεί βελτίωση στο βασικό πρόβλημα καθώς ορίζει και τους αρχικούς στόχους όσον αφορά την λύση του κύριου ζητήματος.
3. **Υιοθέτηση Μέτρων**: Το επόμενο στάδιο είναι η υιοθέτηση κανονισμών-μέτρων μετά από ψηφοφορία τα οποία έχουν στόχο να περιορίσουν-εξαλείψουν το βασικό πρόβλημα
4. **Διασφάλιση-Εφαρμογή**: Ακολουθεί η διαδικασία κατά την οποία εξετάζονται με διάφορους ελέγχους η συμμόρφωση στους συγκεκριμένους κανονισμούς ώστε να τηρείτε η εφαρμογή του.
5. **Αξιολόγηση**: Στο μέρος αυτό ελέγχεται κατά πόσο ο κανονισμός έχει συμβάλει στην βελτίωση- εξαλείψη του συγκεκριμένου βασικού προβλήματος. Στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και επιτυχίας του κανονισμού γίνεται επιπλέον έλεγχος πιθανών απρόβλεπτων επιπτώσεων που ίσως φέρει ο κανονισμός.
6. **Εξέλιξη-Τερματισμός**: Το βήμα αυτό μελετά πως μπορεί να αναπτυχθεί- εξελιχθεί ο κανονισμός η παρέχει υποστήριξη για την συνέχεια του. Επιπλέον ο κανονισμός μπορεί να τερματιστεί αν θεωρηθεί περιττός μετά την ολοκλήρωση των στόχων ή με αποτελεσματικός.  
(Principles for Responsible Investment, 2014)

Στην συγκεκριμένη εργασία επικεντρωνόμαστε στην ανάλυση του βασικού προβλήματος όπου πρόκειται για την συνεχώς αυξανόμενη εκπομπές διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα, ακολουθεί επεξήγηση στα μέτρα τα οποία έχουν ληφθεί για την αντιμετώπιση (14<sup>ος</sup> κανονισμός του IMO ) και κάνουμε μελέτη για την αξιολόγηση του συγκεκριμένου κανονισμού με στόχο να εντοπίσουμε μια πιθανή μετεξέλιξη- τροποποίηση του κανονισμού στο άμεσο μέλλον.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Η επίδραση του διοξειδίου του θείου.

### Δείκτης Ποιότητας Αέρα

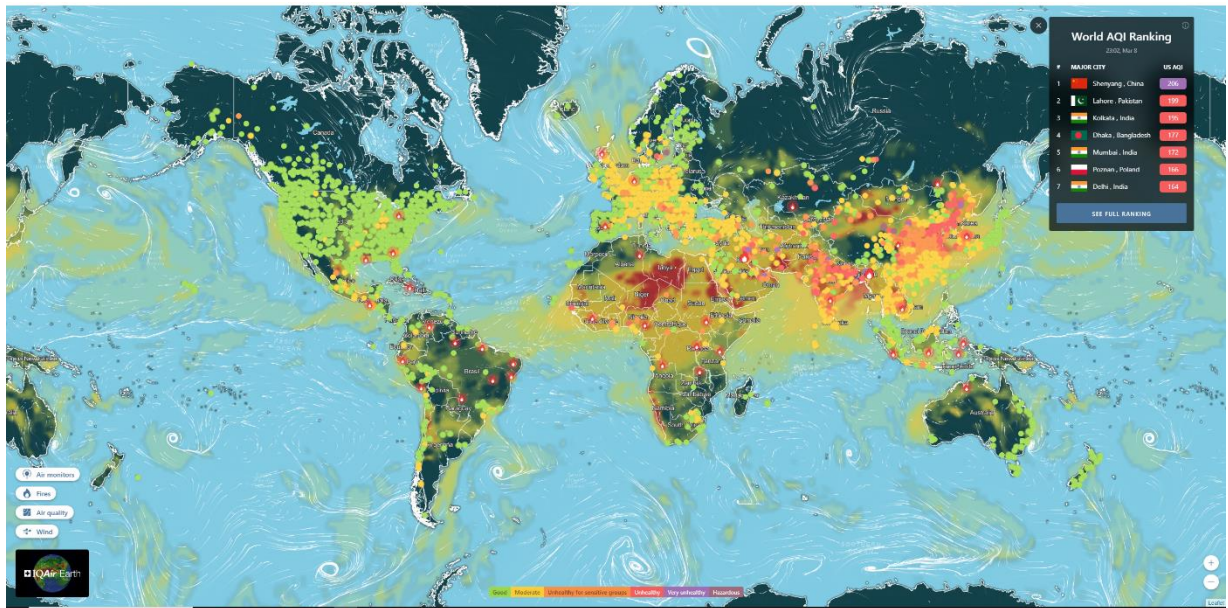
Από τις τελευταίες δεκαετίες μέχρι και σήμερα παρατηρείται ότι το ενδιαφέρον διαφόρων κυβερνήσεων και οργανισμών έχει στρέψει την προσοχή του στην βελτίωση των συνθηκών ζωής και την προστασία του περιβάλλοντος κάτι που είχε αμεληθεί τα προηγούμενα χρόνια στον βωμό της τεχνολογικής εξέλιξης. Ήδη από το 1990 η παγκόσμια κοινότητα με στόχο την ελάττωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει πάρει δραστικά μέτρα για την βελτίωση του δείκτη ποιότητας αέρα (Air Quality Index). Ο δείκτης ποιότητας αέρα με συνεχείς καθημερινές μετρήσεις σχεδόν σε όλα τα μέρη του κόσμου προσδιορίζει με ακρίβεια την περιεκτικότητα του αέρα σε βλαβερές για τον άνθρωπο ουσίες όπως είναι διάφορα σωματίδια PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>5</sub> και PM<sub>10</sub> ανάμεσα σε αυτά και οξείδια του θείου όπως το διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub>. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές οι οποίες λαμβάνει ο δείκτης ποιότητας αέρα καθώς και ποιες από αυτές τις τιμές αναφέρονται σε καλή η επιβλαβή ποιότητα για την ανθρώπινη ζωή.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (Τιμή)	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0 έως 50	Πολύ καλή	Η ποιότητα του αέρα είναι ικανοποιητική και δεν διατρέχεται κανένας κίνδυνος
51 έως 100	Αποδεκτή	Η ποιότητα είναι αποδεκτή, ωστόσο υπάρχει πιθανότητα να επηρεαστεί η υγεία μικρού αριθμού ατόμων τα οποία είναι ευπαθή στην ατμοσφαιρική ρύπανση.
101 έως 150	Επικίνδυνη για Ευπαθείς ομάδες	Τα άτομα ευπαθών ομάδων (αναπνευστικών και καρδιακών νοσημάτων) έχουν μεγάλη πιθανότητα να υποστούν βλάβη στην υγεία τους, την ώρα που ο γενικός πληθυσμός δεν κινδυνεύει.
151 έως 200	Ανθυγιεινή	Ο γενικός πληθυσμός θα έχει επιπτώσεις στην υγεία του ενώ τα άτομα ευπαθών ομάδων θα έχουν σοβαρές επιπλοκές
201 έως 300	Πολύ ανθυγιεινή	Ολόκληρος ο πληθυσμός θα έχει επιπλοκές και συμπτώματα λόγω της έκθεσής του στην ατμόσφαιρα.
300 και πάνω	Βλαβερή για τον άνθρωπο	Πρόκειται για πολύ δυσμενή και επικίνδυνη κατάσταση καθώς κάθε άνθρωπος θα εμφανίσει σοβαρά προβλήματα υγείας με την έκθεση του σε αυτή την ποιότητα αέρα.

πίνακας 1: Δείκτης ποιότητας αέρα

(Researchgate, 2022)



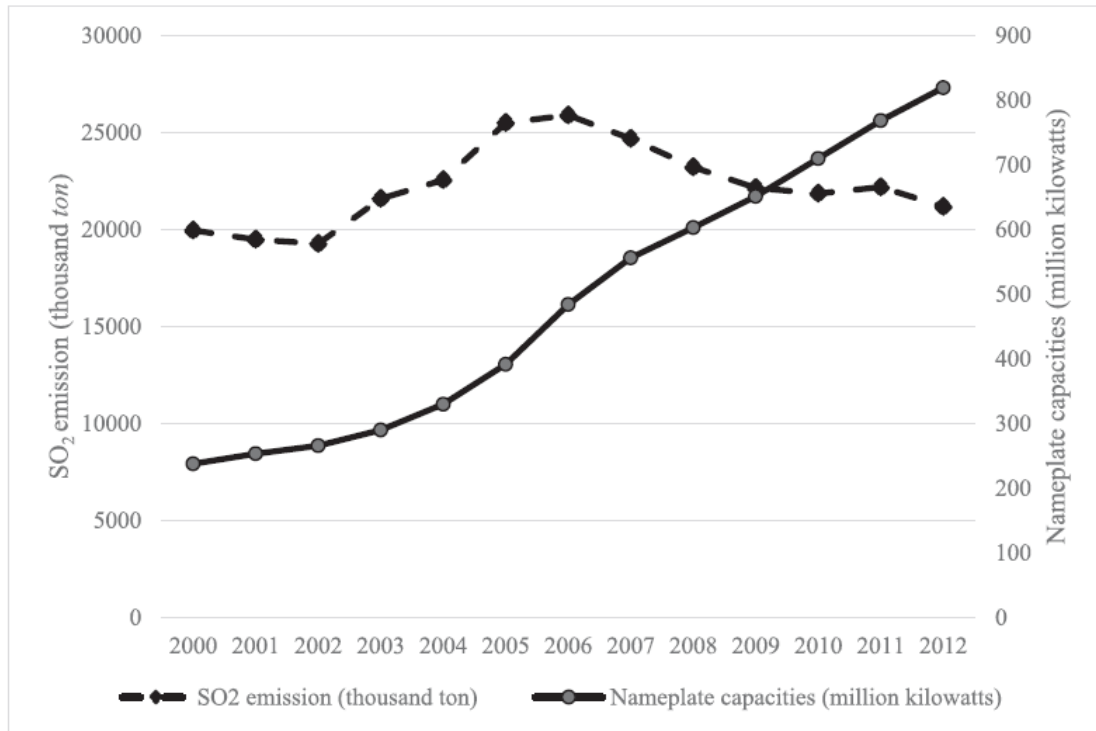


Σχέδιο 1: Δείκτης ποιότητας αέρα σε πραγματικό χρόνο

(IQAir Map, 2022)

Σύμφωνα με τις παγκόσμιες μετρήσεις όπως φαίνεται και στο Σχέδιο 1 η Κίνα λόγω της τεράστιας βιομηχανίας και το πρόβλημα του υπερπληθυσμού που οδηγεί σε αυξημένη χρήση αυτοκινήτων και μέσων μεταφοράς αλλά και λόγω αυξημένης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται με την καύση ορυκτών καυσίμων κατέχει την πρώτη θέση στην κατάταξη αυτή την στιγμή με τον χειρότερο δείκτη ποιότητας αέρα στην πόλη Shenyang με τιμή AQI **206** . Ακολουθούν οι υποανάπτυκτες χώρες όπως το Πακιστάν, η Ινδία και το Μπαγκλαντές με μετρήσεις του δείκτη στις πόλεις Lahore, Kolkata και Dhaka αντίστοιχα στις τιμές **199, 195, 177** σε αντίθεση με την Ευρώπη την Αμερική και τη Ωκεανία με μέσους όρους τιμών **(60,40,25)** που έχουν αποδεκτή και καλή ποιότητα αέρα αντίστοιχα.

Όπως αναφέρθηκε η Κίνα κατέχει σαν χώρα το αρνητικό αυτό ρεκόρ στην κατάταξη των χωρών με την χειρότερη ποιότητα αέρα λόγω του φαινομένου του υπερπληθυσμού που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων. Από το διάγραμμα 1 μπορούμε να δούμε την πορεία των εκπομπών ρύπων του διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub> από το 2000 έως και το 2012 λόγω της αύξησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρατηρούμε τις ελάχιστες εκπομπές να ανέρχονται περίπου στους 19.000 kt διοξειδίου θείου το έτος 2002 , μετά λόγω τις ραγδαίας αύξησης της παραγωγής ενέργειας από 200 million kW στα 600 million kW μόλις από το 2002 στο έτος 2006 σημειώνονται μετρήσεις ρύπων διοξειδίου του θείου που αντιστοιχούν σε 27.000 kt μια σημαντική αύξηση περίπου **42%** . Με τις εκπομπές να μειώνονται πλησιάζοντας το 2012 λόγω της ευαισθητοποίησης για το περιβάλλον που οδήγησε στην εφαρμογή μέτρων και κανονισμών για την προστασία του περιβάλλοντος από τις εκπομπές ρύπων που τα προηγούμενα χρόνια απουσίαζαν.



Διάγραμμα 1: Αύξηση εκπομπών διοξειδίου του θείου λόγω απαιτήσεων ρεύματος στην Κίνα

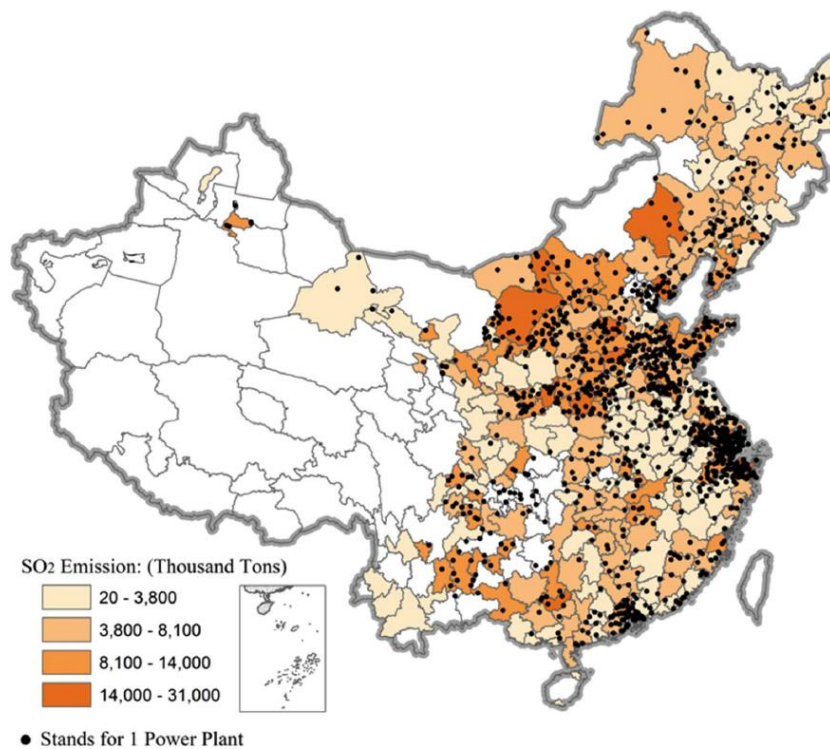


Fig. 2. Geographic distribution of power plants and SO<sub>2</sub> emissions. Note: The blank means there is no related SO<sub>2</sub> emission data. Source: China Industrial Census Database (2004–2010) and China City Statistical Yearbook.

Σχέδιο 2: Απεικόνιση εκπομπών λόγω απαίτηση ρεύματος στον χάρτη της κίνας.

(Shuo Chen, 2018)

Αντίστοιχα στο σχέδιο 2 διακρίνεται στην ανατολική περιφέρεια της Κίνας οι ποσότητες εκπομπών διοξειδίου του θείου για το διάστημα 2004-2010 λόγω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με τιμές συνολικών εκπομπών που αγγίζουν και τις 31.000 kt για συγκεκριμένες περιοχές. .

### Επίδραση του διοξειδίου του θείου στον άνθρωπο.

Είναι φανερό πως ο δείκτης ποιότητας αέρα παρέχει μια ακριβής εκτίμηση στην ποσότητα διαφόρων βλαβερών ουσιών για την ανθρώπινη και όχι μόνο υγεία που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Θα γίνει εστίαση στα οξείδια του θείου και συγκεκριμένα στο διοξείδιο του θείου  $\text{SO}_2$  και πώς η συγκεκριμένη ουσία μπορεί να βλάψει τον ανθρώπινο οργανισμό αν υπάρξει σε μεγάλες ποσότητες στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με την καύση ορυκτών καυσίμων, με καύση καυσίμων που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο καθώς και από τους ντιζελοκινητήρες με την χρήση καυσίμων πετρελαίου. Το διοξείδιο του θείου ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα κυρίως σε αστικά κέντρα και μεγάλες πόλεις χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν μεταφέρεται με τον αέρα από αυτά σε περιοχές λιγότερο πυκνό κατοικημένες. Η απευθείας έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει δερματικούς ερεθισμούς καθώς και μείωση της ορατότητας. Οφείλεται επίσης για διάφορες αναπνευστικές παθήσεις. Ένας υγιής άνθρωπος θα έχει συμπτώματα βρογχοσυστολής (σπασμωδικός βήχας) και δύσπνοιας σε έκθεση μόλις 1.6ppm διοξειδίου του θείου. Μερικά μόνο λεπτά έκθεσης σε ποσότητες 8-12ppm είναι αρκετά για να προκαλέσουν σε έναν υγιή άνθρωπο ερεθισμούς στον λαιμό όπως φαρυγγίτιδα και έντονους πονόλαιμους. Στα 20ppm ο ξηρός βήχας και η ξηρότητα στα μάτια θα εμφανιστούν στα πρώτα κιόλας δευτερόλεπτα μετά την έκθεση στο διοξείδιο του θείου. Σε ποσότητες από 400-500ppm και άνω το διοξείδιο του θείου αποτελεί άμεσο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και την ανθρώπινη ζωή. Το διοξείδιο του θείου βλάπτει την ανθρώπινη υγεία αντιδρώντας στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος με εισπνοή από την μύτη και την ρινική κοιλότητα καθώς και από τον λαιμό. Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες σε αυτή την ένωση είναι ικανή να καταστρέφει τα νεύρα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου οδηγώντας ακόμα και σε απώλεια ζωών. Σε χαμηλές ποσότητες ακίνδυνες για τους υγιείς ανθρώπους το διοξείδιο του θείου είναι ικανό να επηρεάσει τις ευπαθείς ομάδες που πάσχουν από άσθμα, βρογχίτιδα, αναπνευστικά αλλά και καρδιακά προβλήματα. Όσον αφορά το περιβάλλον το διοξείδιο σε ανάμειξη με το νερό δημιουργεί την όξινη βροχή η οποία είναι η αιτία για την καταστροφή μεγάλων δασών σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται συγκεντρωτικά οι επιπτώσεις που θα έχει η ανθρώπινη υγεία με την έκθεση της σε διάφορες περιεκτικότητες στον ρύπο του διοξειδίου του θείου.

SO <sub>2</sub> (Ppm)	Χρόνος έκθεσης	Συμπτώματα
0.037-0.092	Ετήσια έκθεση στην μέση τιμή	Σε αυτή τη συγκέντρωση σε καπνό σημειώνεται αύξηση των παθήσεων στους πνεύμονες και στο αναπνευστικό σύστημα.
0.007	Ετήσια έκθεση στην μέση τιμή	Στις τιμές αυτές αρχίζουν και δημιουργούνται αναπνευστικά προβλήματα και νόσοι και σε παιδιά
0.11-0.19	24 ώρες	Σε τέτοιες συγκεντρώσεις σωματιδίων αυξάνει τα αναπνευστικά προβλήματα στους ηλικιωμένους ανθρώπους
0.19	24 ώρες	Σε αυτές τις συγκεντρώσεις σωματιδίων μπορεί να σημειωθεί αύξηση στην θνησιμότητα.
0.19	24 ώρες	Προκαλεί σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα σε ενήλικες.
0.25	24 ώρες	Σε αυτή την περιεκτικότητα σε καπνό και έκθεση 24 ωρών παρατηρείται απότομη αύξηση στην νοσηρότητα των ατόμων που έχουν εκτεθεί σε αυτή την ποσότητα
0.5	10 λεπτά	Σε ασθενείς άσματος αυξάνει την δύσπνοια κυρίως κατά την διάρκεια σωματικής κόπωσης
5	24 ώρες	Σε υγιείς ανθρώπους προκαλείται δύσπνοια
10	10 λεπτά	Σπασμούς στους βρόγχους του αναπνευστικού συστήματος
20	-----	Βήχας και ξηρότητα στα μάτια

Πίνακας 2: Η επίδραση του διοξειδίου του θείου στην ανθρώπινη υγεία.

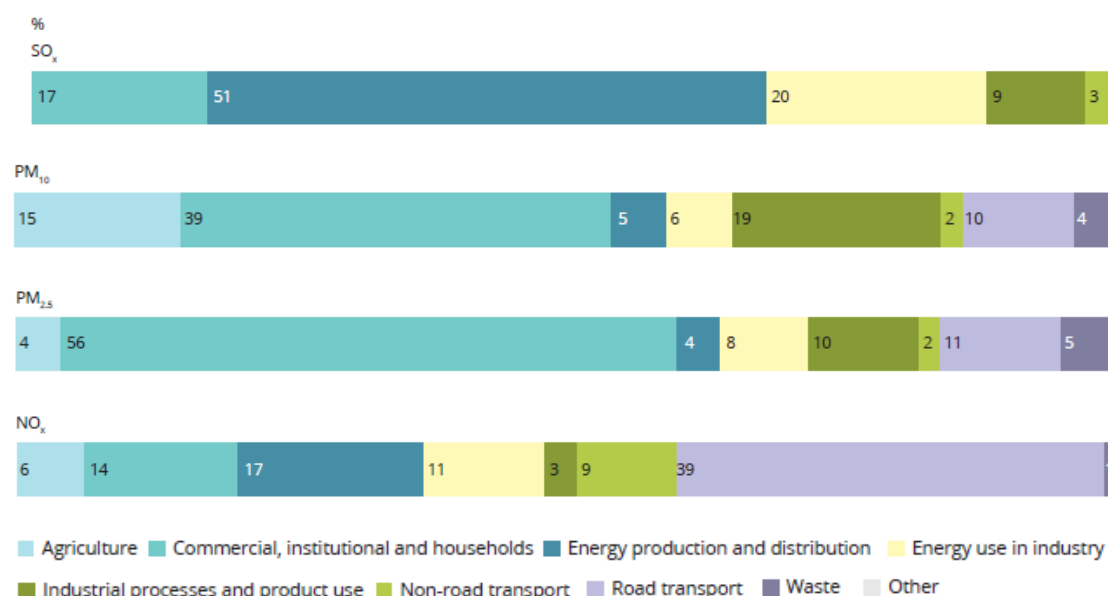
(Khan, 2014)

Ο γενικός όρος Ppm (Parts Per Million) είναι μονάδα μέτρησης της συγκέντρωσης χρησιμοποιείται για να περιγράψει την συγκέντρωση τόσο στερέων και υγρών σωματιδίων που εκπέμπονται ως ρύποι και βρίσκονται στον αέρα σε ποσότητες mg/L.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Θέσπιση κανονισμών για την αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού ζητήματος.

### Οι εκπομπές του διοξειδίου στην Ευρώπη.

Στα πρώτα κιάλας χρόνια της διαπίστωσης ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου μπορούν να αποβούν μοιραίες τόσο για την ανθρώπινη ζωή όσο και για το περιβάλλον η παγκόσμια κοινότητα κλήθηκε να πάρει άμεσα και δραστικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών των οξειδίων από όλους τους τομείς που αθροιστικά συμβάλουν στην τόσο μεγάλη συγκέντρωση της επιβλαβούς αυτής ουσίας στην ατμόσφαιρα. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ξεκίνησε ένα θεσμικό πλαίσιο κανονισμών με ισχύ τα πρώτα κιάλας χρόνια μετά το 1990 με στόχο την άμεση μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου. Τα πρώτα αυτά μετρά εφαρμόστηκαν από όλα τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως και την Ελλάδα με κοινό στόχο την μείωση κατά **74%** έως το 2020 στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου σε ένα θεσμικό πλαίσιο μέχρι και το 2030 που θέτει στόχο την συνολική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου στο **88%**

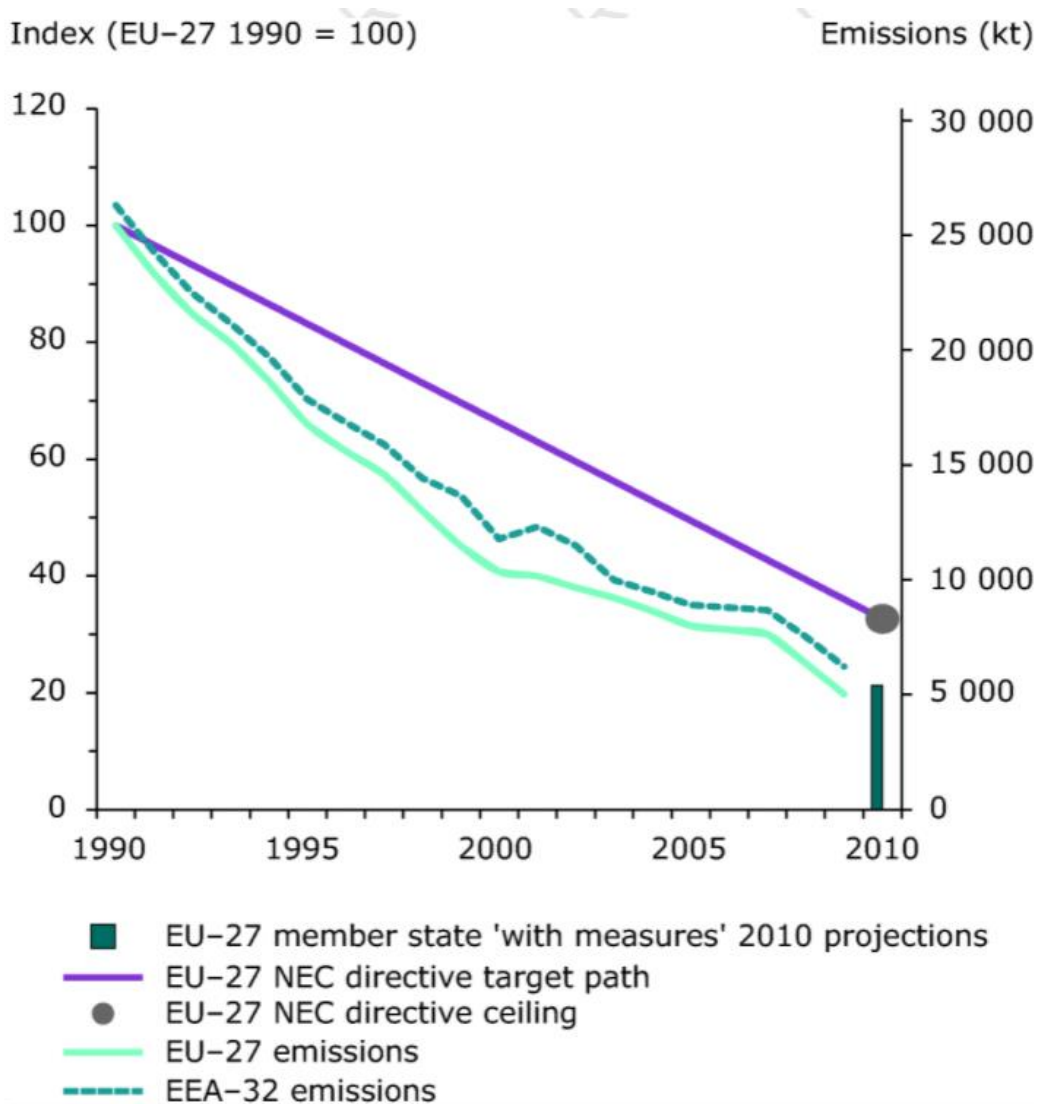


Διάγραμμα 2: Ποσοστά εκπομπών οξειδίων του θείου και άλλων στοιχείων στην Ευρώπη ανά τομέα 2016

(European Environment Agency, 2018)

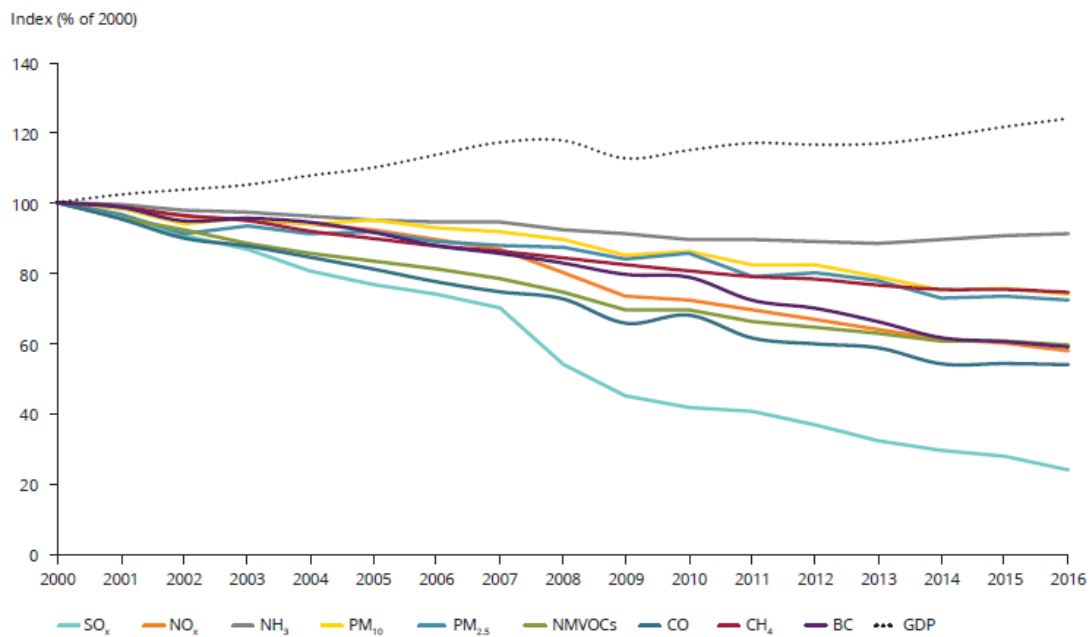
Όπως παρατηρείται σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency) στην μελέτη του 2018 για την ποιότητα αέρα στην Ευρώπη το μεγαλύτερο ποσοστό **51%** στις εκπομπές των οξειδίων του θείου στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και το διοξείδιο το έχει η παραγωγή ενέργειας ακολουθεί η βιομηχανική παραγωγή με **20%** την ώρα που τα νοικοκυριά αγγίζουν ένα ποσοστό του **17%** ενώ οι μεταφορές που αποτελούνται από την ναυτιλία την αεροπορία και τους σιδηροδρομικούς συρμούς κατέχουν ένα φαινομενικά μικρό ποσοστό της τάξεως του **3%**. Βλέπουμε ομοίως πως ο τομέας των μη οδικών μεταφορών εκπέμπει τεράστιες ποσότητες σε οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) σε ένα αξιοσημείωτο ποσοστό του **9%** ενώ οφείλεται και για σωματιδιακή ρύπανση (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) η οποία πρόκειται για μείγμα στερέων σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων που βρίσκονται στον αέρα με ποσοστό εκπομπών από τις μεταφορικές δραστηριότητες στο **2%**.

Το θεσμικό πλαίσιο που ακολούθησαν οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης από αποδείχθηκε αρκετά αποτελεσματικό καθώς ήδη από το 2009 η μείωση στις εκπομπές των οξειδίων του θείου ξεπέρασε τις προσδοκίες του αρχικού στόχου φτάνοντας στο ποσοστό μείωσης κατά **76%** μια τιμή η οποία ήταν λίγο μεγαλύτερη από τον ρεαλιστικό στόχο για το έτος 2020. Από τις συνολικές εκπομπές των 25.000 kt οξειδίων του θείου στην Ευρώπη το 1990 με την εφαρμογή των δραστικών μέτρων το έτος του 2009 καταμετρήθηκαν μόλις εκπομπές λίγο λιγότερες από 5000 kt. Ωστόσο η μείωση αυτή συνεχίστηκε λόγω τροποποιήσεων στα μέτρα μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του θείου με κομβική στιγμή το έτος 2005 στο οποίο ξεκίνησαν να λειτουργούν μονάδες αποθείωσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ορυκτών καυσίμων. Στο διάγραμμα 3 φαίνεται το αποτέλεσμα της υιοθέτησης του νομοσχεδίου για την μείωση των εκπομπών από το 1990 μέχρι το 2010 την ώρα που στο διάγραμμα 4 μπορούμε να δούμε την κομβική στιγμή όπου μετά την χρόνια του 2005 υπάρχει δραστική μείωση των εκπομπών λόγω των περαιτέρω περιορισμών στον βασικότερο τομέα της ηλεκτρικής παραγωγής μέσω των ορυκτών καυσίμων.



Διάγραμμα 3: Επίτευξη στόχων της Ε.Ε από το 2009

(Agency, 2009)

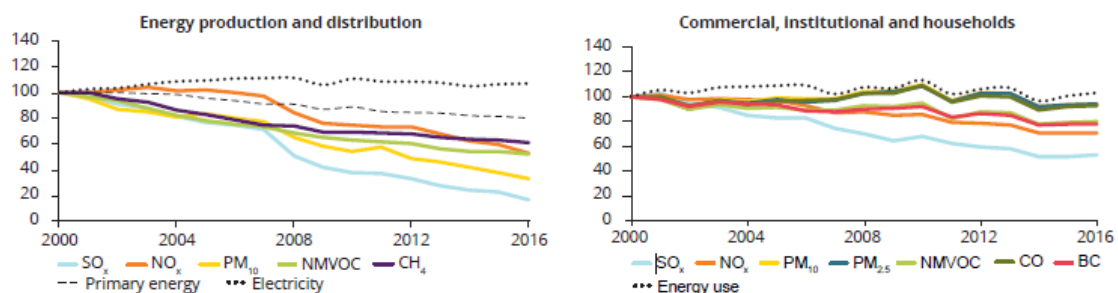


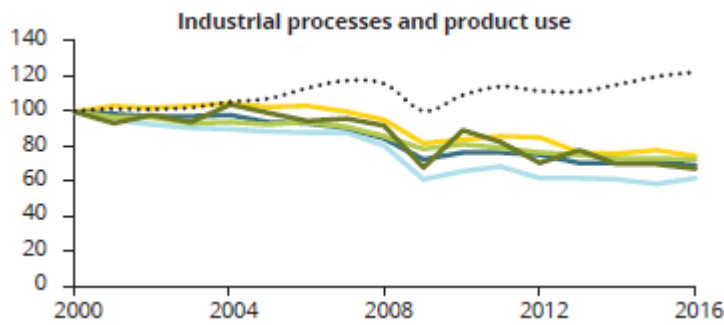
Διάγραμμα 4: Ποσοστά Μείωσης Εκπομπών στην ΕΕ.

(European Environment Agency, 2018)

Σε σύγκριση με του υπόλοιπους ρύπους παρατηρούμε ότι η μείωση των οξειδίων του θείου είχε τα πιο δραστικά αποτελέσματα την ώρα που τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μείωση εξίσου σημαντική στους ρύπους των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) οι οποίοι οφείλονται για την αντίδραση τους με το όζον που οδηγεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και η παγκόσμια κοινότητα έχει στραφεί στον περιορισμό αυτών των οξειδίων.

Το πρώτο αυτό θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόστηκε έθεσε ως στόχο την μείωση των εκπομπών στους τομείς που είχαν υψηλά ποσοστά για αυτόν τον λόγο το αποτέλεσμα στην μείωση των εκπομπών ήταν τόσο δραστικό. Οι εκπομπές των οξειδίων του θείου από την παραγωγή ενέργειας μειώθηκαν σημαντικά σε ποσοστό που αγγίζει το **80%** σε σχέση με το 2000 την ώρα που οι εκπομπές από τις βιομηχανίες είχαν μείωση της τάξεως του **35%** και τα νοικοκυριά μείωση στο **40%**. Την ώρα που σε αυτό το πρώτο πλαίσιο οι εκπομπές των οξειδίων του θείου από την Ναυτιλία και τις αερομεταφορές παρέμειναν στο ίδιο ποσοστό με πριν καθώς δεν υπήρξε κινητοποίηση για την άμεση αντιμετώπιση των εκπομπών του συγκεκριμένου τομέα. Γεγονός που αργότερα έστρεψε την προσοχή των οργανισμών θέτοντας πιο σύγχρονους κανονισμούς που στόχευαν στην μείωση εκπομπών του συγκεκριμένου τομέα.



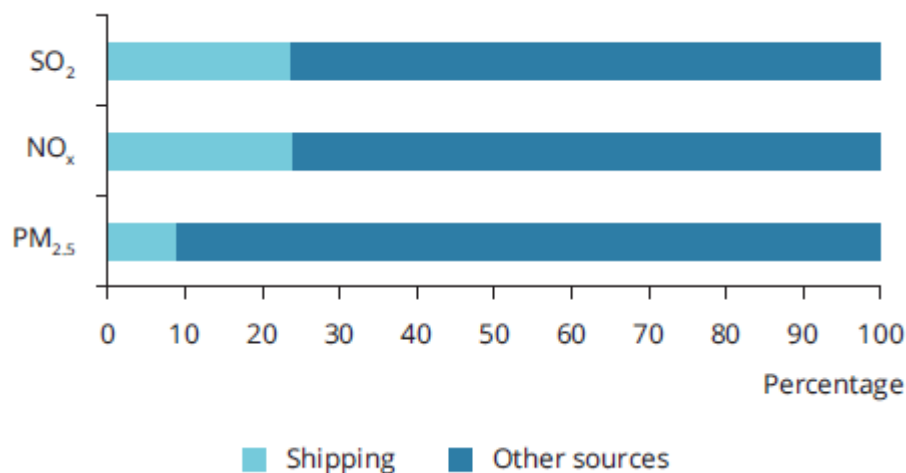


Διάγραμμα 5: Ποσοστό μείωσης εκπομπών οξειδίων του θείου ανά τομέα.

(European Environment Agency, 2018)

### Το διοξείδιο του θείου στην Ναυτιλία.

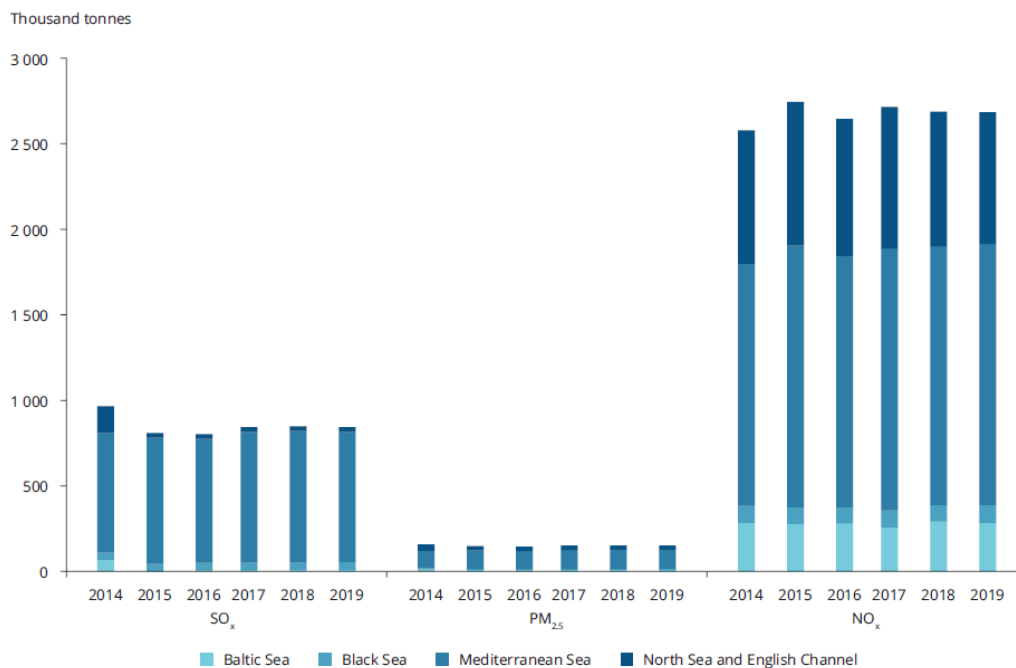
Τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης οφείλουν να υπολογίζουν τις εθνικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και να καταγράφονται για την Εθνική Δέσμευση εκπομπών (National Emission reduction Commitments). Οι εκπομπές λοιπόν αναφέρονται σε ετήσια βάση ανά ρύπο και ανά τομέα τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο. Σύμφωνα με τις τελευταίες καταγραφές τις Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Ηνωμένου Βασιλείου (European Maritime Safety Agency, 2021) προκύπτει ο παρακάτω διαχωρισμός εκπομπών λόγω της θαλάσσιας δραστηριότητας στα αντίστοιχα ύδατα. Από τον οποίο παρατηρούμε για το έτος 2018 ότι στην Ευρωπαϊκή ζώνη το ποσοστό εκπομπών συγκεκριμένα του διοξειδίου του θείου λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας ξεπερνάει το ποσοστό του 20% των ολικών εκπομπών διοξειδίου του θείου από όλους τους τομείς. Πιο αναλυτικά το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών διοξειδίου του θείου λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας στην Ευρώπη το συναντάμε στην Βόρεια θάλασσα που είναι το κέντρο του ναυτικού εμπορίου στην Ευρώπη αφού συναντάμε στα ύδατα αυτά μερικούς από τους μεγαλύτερους λιμένες της Ευρώπης. Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου στην βόρεια θάλασσα αντιστοιχούν σχεδόν σε 1000 τόνους ανά χρονιά από το έτος 2014 έως το 2019, την ώρα που οι εκπομπές στην Μαύρη θάλασσα και στην Μεσόγειο παραμένουν λίγο μικρότερες σύμφωνα με το διάγραμμα 7. Οι αυξημένες αυτές εκπομπές έχουν περιοριστεί δραστικά λόγω του διεθνή κανονισμό μείωσης των διοξειδίων του θείου (MARPOL ANNEX VI) ο οποίος έχει υιοθετήσει προστατευόμενες περιοχές εκπομπών που θα αναλυθούν και θα επεξηγηθούν σε παρακάτω εδάφια.





Διάγραμμα 6: Ποσοστό Εκπομπών Διοξειδίου του θείου στην Ευρώπη για το έτος 2018-2019

(European Maritime Safety Agency, 2021)



Διάγραμμα 7: Κατανομή Εκπομπών διοξειδίου του θείου στις Ευρωπαϊκές Θάλασσες, 2014-2019

(European Maritime Safety Agency, 2021)

### Το θεσμικό πλαίσιο των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η εφαρμογή στην Ελλάδα

Όπως αναφέρθηκε οι κανονισμοί που εφαρμόστηκαν είχαν ως πρώτο στόχο την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου κατά 74% μέχρι το 2030 και από το 2030 οι μειώσεις αυτές να αγγίξουν σημαντικές μειώσεις σε ποσοστά από 88% και πάνω.

Έτος	SO <sub>2</sub>
2020-2030	74%
2030 και μετά	88%

Πίνακας 3 : Εθνικές δεσμεύσεις μείωσης εκπομπών με έτος αναφοράς 2005

(Υπουργείο Περιβάλλοντος, 2018)

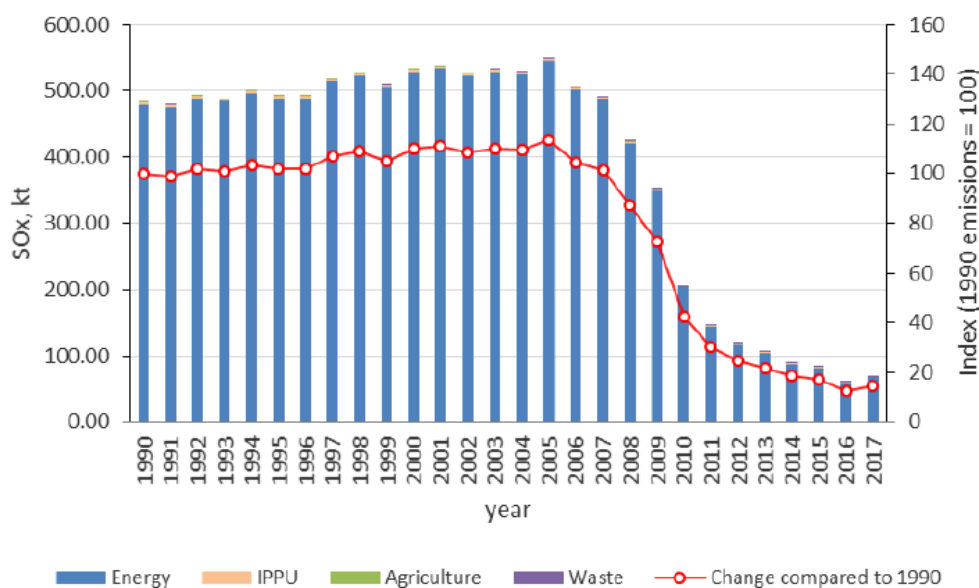
Οι κανονισμοί που θέσπισε το ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο με στόχο την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα,

	Όνομα και περιγραφή πολιτικών μέτρων	Ρύποι	Χρονοδιάγραμμα Έναρξη-Ολοκλήρωση	
Ενέργεια	Αύξηση του μεριδίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή	SO <sub>x</sub>	1994	--
	Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας – Απόσυρση λιγνιτικών μονάδων παραγωγής ενέργειας. Προώθηση φυσικού αερίου ως ενδιάμεσο καύσιμο για την απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος	SO <sub>x</sub>	1996	--
	Λειτουργία μονάδων αποθείωσης σε λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής	SO <sub>x</sub>	2005	--
	Αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στην βιομηχανία και στον οικιακό τομέα.	SO <sub>x</sub>	1996	--
	Περιορισμός περιεκτικότητας θείου σε καύσιμα σταθερών εστιών καύσης.	SO <sub>x</sub>	2003	--
Μεταφορές	<b>Περιορισμός περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα ναυτιλίας.</b>	SO <sub>x</sub>	<b>2020</b>	--
	Μειωμένες εκπομπές ρύπων σε οχήματα EURO 6.3 και μεταγενέστερα	SO <sub>x</sub>	2021	--
	Ηλεκτροκίνηση	SO <sub>x</sub>	2020	--
	Προώθηση εναλλακτικού καυσίμου και φυσικού αερίου στις μεταφορές	SO <sub>x</sub>	2020	--
	Ανανέωση του στόλου των Μεσών Μαζικής Μεταφοράς	SO <sub>x</sub>	2020	--
	Μέτρα διαχείρισης της κυκλοφορίας	SO <sub>x</sub>	2012	--
	Βελτίωση των διαδικασιών ελέγχου των εκπομπών των οχημάτων (πχ κάρτα καυσαερίων)	SO <sub>x</sub>	2020	--
	Βελτίωση σιδηροδρομικών υποδομών και ολοκλήρωση ηλεκτροκίνησης των τρένων	SO <sub>x</sub>	2020	2050
	<b>Ηλεκτροδότηση πλοίων κατά τον ελλιμενισμό του</b>	SO <sub>x</sub>	<b>2025</b>	2040

Πίνακας 4 : Νομικό πλαίσιο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

(Υπουργείο Περιβάλλοντος , 2018)

Με την εφαρμογή των κανονισμών που έθεσε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σύμφωνα με την εθνική απογραφή του 2019, οι εκπομπές των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) έχουν μειωθεί κατά **87.41% το 2017** σε σχέση με το έτος 2005 στο οποίο σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή εκπομπών SO<sub>x</sub> την χώρα μας (**από 549.35 kt το 2005 σε 69.16 kt το 2017**) και η Ελλάδα έχει ήδη επιτύχει την εθνική δέσμευση μείωσης των εκπομπών SO<sub>2</sub> για την περίοδο 2020 - 2029 (74% σε σχέση με το 2005). Η πορεία των εκπομπών SO<sub>2</sub> από το 1990 έως το 2017 φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 8: Πορεία των εκπομπών διοξειδίου θείου από το 1990

(Υπουργείο Περιβάλλοντος , 2018)

Εάν η πορεία των πολιτικών και των μέτρων παραμείνει η ίδια, δηλαδή με την παραδοχή ότι δεν πρόκειται να τροποποιηθούν οι πολιτικές και τα μέτρα που έχουν ήδη εγκριθεί, τότε οι προβλεπόμενες εκπομπές και οι αντίστοιχες μειώσεις θα ισχύουν όπως παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί για τα έτη 2020-2025 και 2030.

Ρύποι	Συνολικές εκπομπές σε kt σύμφωνα με τις απογραφές				Προβλεπόμενο % μείωσης εκπομπών σε σχέση με το 2005			Εθνική δέσμευση 2020-2029	Εθνική δέσμευση 2030 και μετά
	Έτος αναφοράς 2005	2020	2025	2030	2020	2025	2030		
SO <sub>2</sub>	549,35	50,54	38,11	26,39	90,8%	93,1%	95,2%	74%	88%

Πίνακας 5: Προβλεπόμενες εκπομπές διοξειδίου του θείου τα επόμενα χρόνια στην Ελλάδα.

(Υπουργείο Περιβάλλοντος , 2018)

## Κεφάλαιο 3° : REGULATION MARPOL ANNEX VI 14

### Εισαγωγή στον κανονισμό MARPOL ANNEX VI 14

Στο παραπάνω θεσμικό πλαίσιο μεγάλο ενδιαφέρον έχει η εφαρμογή και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων των νομοθεσιών που αφορούν την ναυτιλία την σημερινή εποχή. Είναι φανερό πως ο τομέας της ναυτιλίας και του εμπορίου μέσω θαλάσσιων μεταφορών είναι απότομα αναπτυσσόμενος με αποτέλεσμα να έχει όλο και μεγαλύτερη επιρροή στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization -IMO) με στόχο τον έλεγχο και την μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τις δραστηριότητές στις θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές του πλανήτη θέσπισε έναν κανονισμό οποίος θα περιορίσει τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες και το εμπόριο μέσω της ελάττωσης της περιεκτικότητας του θείου ( S ) στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία. Την σημερινή εποχή λόγω της ανάπτυξης στον τομέα του θαλάσσιου εμπορίου και της ναυτιλίας ο συνεχώς αυξανόμενος παγκόσμιος στόλος παράγει κατά μέσο όρο **5-10%** όλων των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub> σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι εκπομπές αυτές σημειώνονται κυρίως σε μεγάλες πόλεις-λιμάνια έχοντας σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η μείωση των εκπομπών θείου των πλοίων ρυθμίζεται πλέον σε διεθνές επίπεδο από το 6° παράρτημα της σύμβασης του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού ( VI Annex of Marpol conversation of the International Maritime Organization). Οι βασικές διατάξεις του παρόντος κανονισμού περιλαμβάνουν ένα παγκόσμιο ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα καθώς και τις περιοχές ελέγχου (Emission Control Areas ) οι οποίες αποτελούν ζώνες σε θαλάσσιες περιοχές όπου ισχύουν ακόμα αυστηρότερες απαιτήσεις για το περιεχόμενο θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται.

### Εκπομπές που οφείλονται στην ναυτιλιακή δραστηριότητα.

Ο τομέας της ναυτιλίας παράγει σημαντικές ποσότητες εκπομπών βλαβερών ουσιών. Οι βασικές ενώσεις που εκπέμπονται από τα πλοία και τις δραστηριότητες τους στα λιμάνια είναι το διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub> , το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, το μονοξείδιο του άνθρακα CO και οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>. Γενικά παρατηρείται διάκριση μεταξύ των εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και των υπόλοιπων εκπομπών που παράγονται. Οι εκπομπές που επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι βασική πηγή και αιτία της κλιματικής αλλαγής καθώς επηρεάζουν το στρώμα του όζοντος στην ατμόσφαιρα κάτι που έχει αντίκτυπο στην παγκόσμια κοινότητα , αντίθετα λόγω των υπόλοιπων βλαβερών ουσιών που εκπέμπονται οι επιπτώσεις συγκεντρώνονται τοπικά στις περιοχές δραστηριότητας. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν την πηγή ενός μεγάλου μεριδίου των παγκόσμιων εκπομπών από ουσίες που δεν επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου μεταξύ των οποίων και το διοξείδιο του θείου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ναυτιλιακή δραστηριότητα παράγει 5-10% όλων των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του θείου σε παγκόσμιο επίπεδο (International Transport Forum, 2016) κάτι που μεταφράζεται σε 7 έως 15 εκατομμύρια τόνους κατά μέσο όρο ετησίως τα τελευταία χρόνια. Συγκριτικά με τα άλλα μέσα μεταφοράς οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία είναι σημαντικές. Η δραστηριότητα στην θάλασσα παράγει αρκετά μεγάλες ποσότητες εκπομπών σε σχέση με εκείνων των οδικών μεταφορών κατά συντελεστή 1.6 έως 2.7 (ICCT, 2007) και περίπου 80 φορές περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του θείου σε σχέση με τις αερομεταφορές (Eyring et al., 2005) . Μέχρι το 2008 η ναυτιλία είχε μικρή συνεισφορά στην προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταφορές. Κάτι που παρατηρείται εύκολα καθώς μέχρι πρότινος ο

αυστηρότερος κανονισμός για κινητήρα καύσης πετρελαίου στην ξηρά (Euro VI, Ιανουάριος 2013) περιορίζει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου σε 0,40-0,46g/kWh ποσό το οποίο είναι αρκετά χαμηλότερο από τους περιορισμούς του IMO regulation 13 Tier III 2-3,4 g/kWh.

#### Διεθνής κανονισμός μείωσης εκπομπών διοξειδίου του θείου.

Η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου των πλοίων ρυθμίζεται πλέον σε διεθνές επίπεδο με τον κανονισμό (Marpol annex regulation VI) του Διεθνή Οργανισμού Ναυτιλίας ( International Maritime Organization). Ο κανονισμός του συγκεκριμένου εδάφιος σκοπεύει στην πρόληψη και την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Εγκρίθηκε πρώτη φορά το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2000 με μικρές μεταβολές όσον αφορά τα ανώτατα όρια με την πάροδο των χρόνων. Ο συγκεκριμένος κανονισμός έχει τον πιο άμεσο ρόλο στην ρύθμιση των εκπομπών λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας παγκοσμίως καθώς καλύπτει το πάνω από το 95% του εμπορικού στόλου . (International Transport Forum, 2016). Οι βασικές διατάξεις του κανονισμού περιλαμβάνουν ένα ανώτατο παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα και κάποιες περιοχές αυστηρότερου ελέγχου εκπομπών στις οποίες ισχύουν αυστηρότερα όρια περιεκτικότητας ( Emission Control Areas "ECAs" ) . Τα όρια της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα τέθηκαν σε ισχύ το 2000 έγιναν αυστηρότερα μετά την έγκριση αναθεωρήσεων του κανονισμού που προτάθηκαν το 2008 και εφαρμόστηκαν το 2010. Η τροποποίηση του 2008 μείωσε το παγκόσμιο ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου από το 4,50% σε 3,50% με παγκόσμια ισχύ από το 2012 για να μειώσει περαιτέρω το ανώτατο όριο περιεκτικότητας του θείου σε 0.50% μέχρι το 2020 (INTERNATIONAL MARTIME ORGANIZATION, 2022). Η τελευταία αυτή μείωση τέθηκε για επανεξέταση το 2018 από τον IMO ώστε να μελετηθεί αν είναι εφικτή η διαθεσιμότητα καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Οπού σε περίπτωση που το ζήτημα διάθεσης καυσίμων δεν είχε επιλυθεί μέχρι το 2020 η εφαρμογή της αυστηρότερης απαίτησης θα έπαιρνε παράταση μέχρι το 2025. Ο κανονισμός οριοθετεί θαλάσσιες ζώνες ( ECAs)στις οποίες εφαρμόζονται αυστηρότερες απαιτήσεις για το περιεχόμενο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις συγκεκριμένες ζώνες. Η περιεκτικότητα του θείου στις ζώνες αυτές περιορίστηκε επιπλέον από τις τροποποιήσεις του 2008 και του 2012 θέτοντας ως ανώτατο όριο στην τελευταία τροποποίηση το 0,1% ήδη από το 2015 (INTERNATIONAL MARTIME ORGANIZATION, 2022). Αυτή την στιγμή υπάρχουν τέσσερις τέτοιες ζώνες. Πρόκειται για περιοχές στις οποίες συναντάται πολύ μεγάλη ναυτιλιακή δραστηριότητα και μεγάλη συγκέντρωση πλοίων σε παράκτιες περιοχές. Οι δύο πρώτες "περιοχές αυστηρού ελέγχου" που τέθηκαν σε ισχύ βρίσκονται στην Βαλτική και στις Βόρειες θάλασσες στις οποίες έχουν τεθεί όρια μόνο για τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου. Στις επόμενες δύο ζώνες της Βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής θάλασσας υπάρχουν επιπλέον περιορισμοί ελέγχου και οξειδίων του αζώτου πέρα από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου. Επιπλέον η υπερεθνική απαίτηση μπορεί να είναι ακόμα πιο ισχυρή διότι πολλές κυβερνήσεις ανεξαρτήτως του αποτελέσματος της επανεξέτασης του 2018 του IMO εισήγαγαν δικές τους απαιτήσεις για την περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα κάτι που θα αναλυθεί αργότερα σε επόμενο εδάφιο .

Emission Control Areas	Περιορισμός εκπομπών	Υιοθέτηση Κανονισμού	Ισχύ κανονισμού
Baltic Sea	SO <sub>2</sub>	26/09/1997	19/05/2006
North Sea	SO <sub>2</sub>	22/07/2005	22/11/2007
North America	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM	26/03/2010	01/08/2012
U.S. Caribbean Sea	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM	26/07/2011	01/01/2014

Πίνακας 6: Emission Control Areas

(INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2022)

Outside Emission Control Areas	Inside Emission Control Areas
4,5% μέχρι 1 Ιανουαρίου 2012	1,5% μέχρι 1 Ιουλίου 2010
3,5% από 1 Ιανουαρίου 2012 έως 2020	1,0% από 1 Ιουλίου του 2010 έως 1 Ιανουαρίου του 2015
0,5% από 1 Ιανουαρίου του 2020	0,10% από 1 Ιανουαρίου το 2015

Πίνακας 7: Ανώτατα όρια περιεκτικότητας θείου

(INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2022)

Η τελευταία τροποποίηση του κανονισμού για το 2020 η οποία είχε τεθεί για επανεξέταση το 2018 επικυρώθηκε τελικά από τον IMO το 2016, όπου έγινε ξεκάθαρο ότι δεν πρόκειται να υπάρξει αναβολή του κανονισμού για ισχύ μετά το 2020 θέτοντας επίσημα ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα το 0,5% με αυστηρή ισχύ από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020. Στο παρακάτω σχέδιο φαίνονται οι περιοχές που έχουν ορισθεί από των διεθνή Ναυτιλιακό οργανισμό ως περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Area).



Σχέδιο 3: Περιοχές Ελέγχου εκπομπών του IMO.

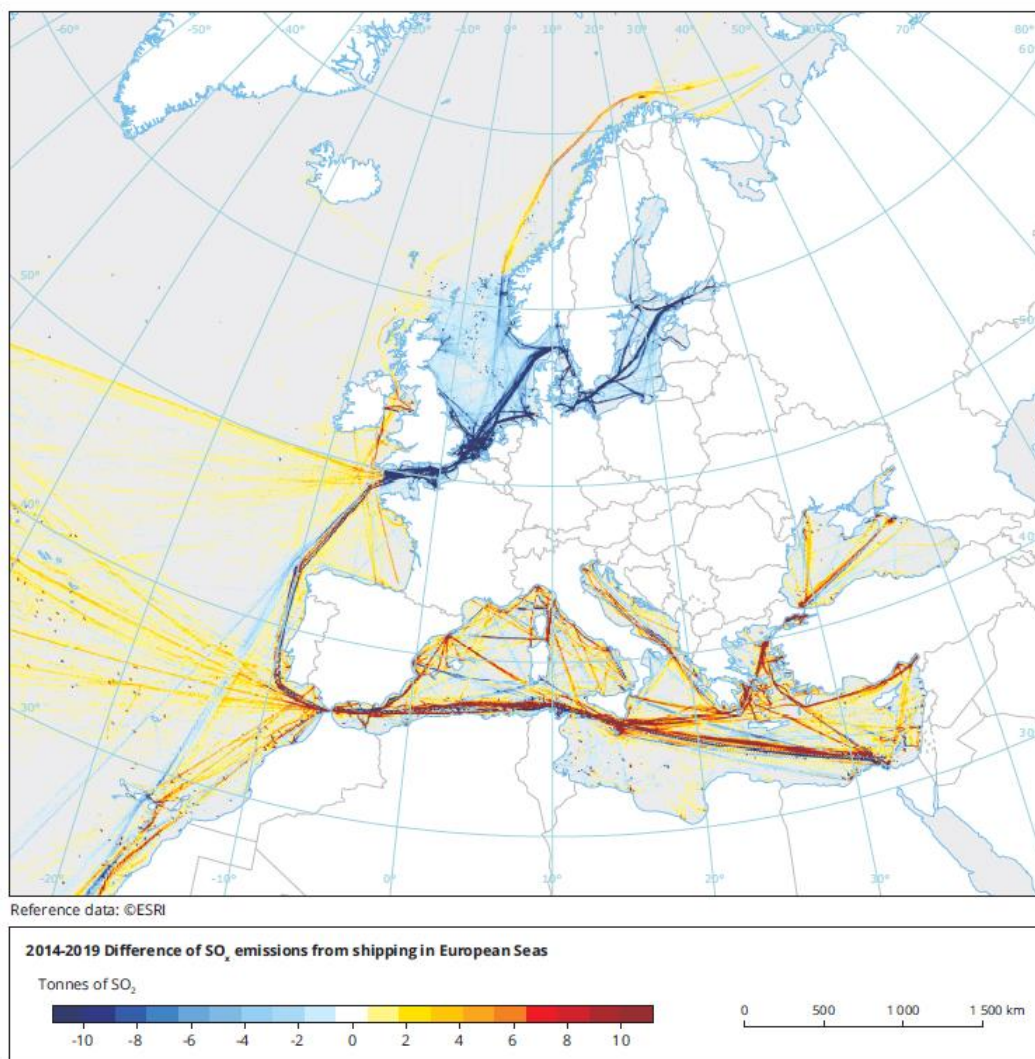
(INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2020)

Αποτελέσματα Marpol Annex Vi 14 Regulation στην Ευρώπη πριν την τροποποίηση του 2020.

Όπως αναφέρεται παραπάνω ο IMO έχει θέσει διάφορες θαλάσσιες ζώνες ελέγχου εκπομπών. Οι ζώνες αυτές έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις όσον αφορά την ναυτιλιακή δραστηριότητα σε σχέση με τις άλλες, συγκεκριμένα από το τέλος του 2014 μέχρι και

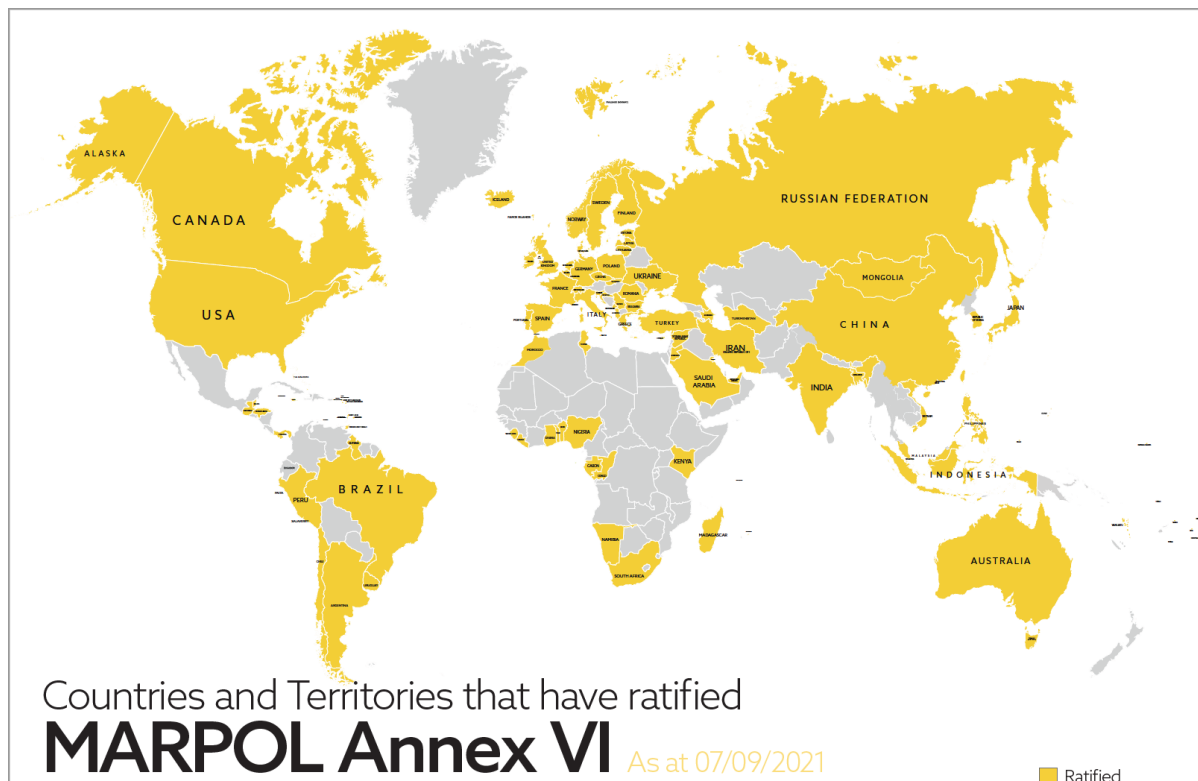
σήμερα το ανώτατο όριο στην περιεκτικότητα του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα των πλοίων που δραστηριοποιούνται σε αυτές τις ζώνες μειώθηκε από 1% στο 0,10%. Η Βαλτική και η βόρεια θάλασσα έχουν επισήμως επικυρωθεί ως περιοχές ελέγχου εκπομπών από το 1997 και το 2005 αντίστοιχα επομένως όλα τα σκάφη που πλέουν η ελλιμενίζονται στις συγκεκριμένες ζώνες ήδη από τις αρχές του 2015 έκαναν μετάβαση σε καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (0,1%) με σκοπό να συμμορφωθούν με τον κανονισμό του IMO. Η συμμόρφωση με αυτά τα μέτρα έκανε ήδη αισθητή την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου καθώς από το 2014 έως το 2019 σημειώθηκε μεγαλύτερη από 10 τόνους μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου λόγω των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων στην περιοχή ελέγχου εκπομπών της βαλτικής θάλασσας σε σχέση με την υπόλοιπη Μεσόγειο Θάλασσα η οποία δεν αποτελεί περιοχή ελέγχου εκπομπών και όπως φαίνεται στο σχέδιο 4 η εκπομπές διοξειδίου του θείου είχαν αύξουσα τάση. Την ίδια στιγμή μπορούμε να δούμε στο σχέδιο 5 την πλειοψηφία και τα κράτη τα οποία τάχθηκαν υπέρ του κανονισμού MARPOL VI του IMO στην υφήλιο με αποτέλεσμα την παγκόσμια υιοθέτησή του.

Map 4.1 Difference in SO<sub>2</sub> emissions in European shipping areas between 2014 and 2019



Σχέδιο 4: Διαφορά εκπομπών διοξειδίου του θείου στις Ευρωπαϊκές Θάλασσες 2014-2019

(European Maritime Safety Agency, 2021)



Σχέδιο 5: Χάρτης χωρών που ψήφισαν υπέρ του κανονισμού Marpol annex 14 VI

(North P&I, 2022)

### Εθνικοί κανονισμοί μείωσης εκπομπών του θείου.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα ωστόσο δεν περιορίζονται μόνο από διεθνείς κανονισμούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις πέρα από τους διεθνείς κανονισμούς διάφορες χώρες έχουν εισάγει δικές τους απαιτήσεις σχετικά με την περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα εθνικά τους ύδατα. Επομένως πέρα από τους διεθνείς κανονισμούς σε αρκετές περιοχές του χάρτη ισχύουν επιπλέον τοπικοί και εθνικοί κανονισμοί. Στις χώρες αυτές έχουν δημιουργηθεί από τις αντίστοιχες κυβερνήσεις διαφορετικές εθνικές περιοχές ελέγχου εκπομπών ( Emission Control Areas) στις οποίες ισχύουν άλλοι κανονισμοί ίσως και αυστηρότεροι από τον διεθνή κανονισμό του IMO. Μερικές από αυτές τις χώρες και περιοχές είναι η Κίνα, η Ταϊβάν , η Τουρκία, η Καλιφόρνια, το Χονγκ Κόνγκ, η νότια Κορέα και η Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρακάτω αναφέρονται ξεχωριστά οι εθνικοί κανονισμοί που έχουν υιοθετήσει οι αντίστοιχες κυβερνήσεις με σκοπό την προστασία των εθνικών παράκτιων και θαλάσσιων περιοχών.



## Κίνα

Ανεξαρτήτως τους διεθνείς κανονισμούς η κυβέρνηση της Κίνας δημιούργησε τρεις επιπλέον εθνικές περιοχές ελέγχου εκπομπών διοξειδίου του θείου την Pearl River Delta , την Yangtze River Delta και τη Bohai Bay.

Από τη 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2016 όπου μέχρι τότε ίσχυαν οι διεθνείς κανονισμοί για τα οξειδία του θείου και του αζώτου υιοθετήθηκε αυστηρότερη εθνική σύμβαση για τις εγχώριες απαιτήσεις. Όλα τα λιμάνια των παραπάνω περιοχών ελέγχου έκαναν δεκτή την δραστηριότητα πλοίων με ανώτατο όριο θείου στα καύσιμα τους το 0,5 %.

Από τη 1<sup>η</sup> Απριλίου του 2016 τα κεντρικά εμπορικά λιμάνια του Yangtze River Delta, Shanghai, Nigbo , Zhoushan, Suzhou και Nantong απαιτούν τα πλοία να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη του 0,50% κατά την διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης τους και παραμονής τους σε αυτούς τους λιμένες. Οι αρχές προτείνουν συγκεκριμένα την χρήση καυσίμων περιεκτικότητας 0,10% θείου για τα πλοία κατά την διάρκεια του αγκυροβολίου σε αυτά τα λιμάνια και την χρήση καυσίμων με περιεκτικότητα 0,50% όταν τα πλοία βρίσκονται σε δρομολόγια εντός των περιοχών ελέγχου.

Από τη 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 2016 όλα τα πλοία που ελλιμενίζονται στο λιμάνι Shenzhen πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,5%. Τα υπόλοιπα κεντρικά λιμάνια στο Pearl River Delta θα εφαρμόσουν το όριο του 0,5% στην περιεκτικότητα του θείου από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2017.

Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2017 τα σκάφη που είναι ελλιμενισμένα σε κεντρικά λιμάνια εντός περιοχής ελέγχου εκπομπών θα πρέπει να κάνουν χρήση καυσίμου μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο 0,5% κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού με εξαίρεση μια ώρα μετά την άφιξη και μία ώρα πριν την προγραμματισμένη αναχώρηση.

Από την 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου του 2017 όλα τα πλοία που εισέρχονται σε οποιοδήποτε λιμάνι εντός της περιοχής ελέγχου του Yangtze River Delta πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο που δεν υπερβαίνει το 0,5% κατά τον ελλιμενισμό τους εξαιρουμένης μιας ώρας πριν και μετά την αναχώρηση.

Από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2018 όλα τα πλοία σε οποιοδήποτε λιμάνι εντός της περιοχής ελέγχου θα πρέπει να κάνουν χρήση καυσίμου μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο 0,5% κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού με εξαίρεση μια ώρα μετά την άφιξη και μία ώρα πριν την προγραμματισμένη αναχώρηση.

Από 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 2018 τα σκάφη κατά την είσοδο στα λιμάνια των περιοχών Yangtze River Delta ECA, Shanghai port Area , Suzhou and Nantong ECA θα έχουν ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου 0,5% στα καύσιμά τους.

Από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2019 τα πλοία που λειτουργούν και κάνουν δρομολόγια σε παράκτιες περιοχές ελέγχου εκπομπών θα πρέπει να κάνουν χρήση καυσίμου με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,5% με εξαίρεση τα ύδατα που υπάγονται στην δικαιοδοσία του Hong Kong , Macao και Tawain.

Από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020 τίθεται σε ισχύ το παγκόσμιο διεθνές ανώτατο όριο 0,5% για την περιεκτικότητα του θείου από τον IMO το οποίο εφαρμόζεται και από την Κίνα για τα υπόλοιπα ύδατα της.

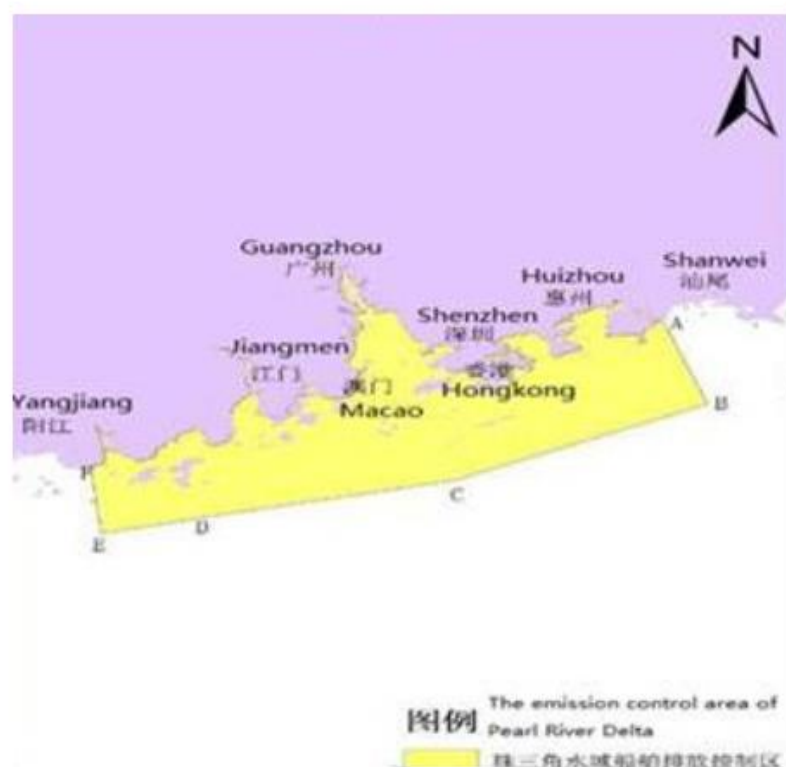
Από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2022 ισχύει ένα ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα 0,10% για τα πλοία που εισέρχονται στα ύδατα του Ηαίηαη εντός της παράκτιας περιοχής ελέγχου εκπομπών.

Στους αυστηρούς αυτούς κανονισμούς η Κίνα έχει επίσης προσθέσει την απαγόρευση απόρριψης των υδάτων πλύσης από τα scrubbers ανοικτού τύπου σε όλα τα παράκτια και λιμάνια των περιοχών ελέγχου εκπομπών. Τα πλοία υποχρεούνται να τηρούν ακριβή αρχεία για την απόρριψη των υδάτων από τα ανοικτού τύπου scrubbers. Σε περίπτωση που κάποια σκάφη δεν έχουν δυνατότητα αποθήκευσης των απορριμμάτων τότε σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς είναι υποχρεωμένο να μεταβεί σε καύσιμο περιεκτικότητας με ανώτατο όριο 0,5% πριν εισέλθει σε οποιαδήποτε περιοχή ελέγχου.

Επιπλέον από 1<sup>η</sup> Ιουλίου του 2019 η CCS (China Classification Society) απαιτεί από τα πλοία που εκτελούν διεθνή ταξίδια τα οποία έχουν την δυνατότητα να λάβουν ηλεκτρική ισχύ από την ξηρά να χρησιμοποιούν κατά το αγκυροβόλιο τους στα λιμάνια ενέργεια από την ξηρά εάν πρόκειται να ελλιμενιστούν για περισσότερες από 3 ώρες. Σε περίπτωση που το λιμάνι βρίσκεται εντός περιοχής ελέγχου εκπομπών το όριο αυτό μειώνεται στις 2 ώρες. Εξαιρούνται τα πλοία τα οποία υπακούν στους παραπάνω κανονισμούς.

Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου το 2021 οφείλουν και τα κρουαζιερόπλοια να χρησιμοποιούν τροφοδοσία από την ξηρά όταν ελλιμενίζονται για περισσότερες από 3 ώρες.

## Pearl River Delta ECA



Σχέδιο 6: Περιοχή ελέγχου εκπομπών Pearl river Delta

(North P&I, 2022)

Τα θαλάσσια όρια της περιοχής ελέγχου εκπομπών του Pearl River Delta (εξαιρουμένων των υδάτων του Hong Kong και του Macao) που προκύπτουν από το παραπάνω σχέδιο είναι.

Σημείο A: Η διασταύρωση της ακτογραμμής Huizhou και Shanwei.

Σημείο B: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το Zhentouyan.

Σημείο C: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το πέλαγος Jiapeng.

Σημείο D: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το νησί Weijia.

Σημείο E: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το νησί Dafanshi.

Σημείο F: Η διασταύρωση της ακτογραμμής Jiangmen και Yanhjiang.

## Yangtze River Delta ECA



Σχέδιο 7 : Περιοχή ελέγχου εκπομπών Yangtze River Delta

(North P&I, 2022)

Τα θαλάσσια όρια της περιοχής ελέγχου εκπομπών Yangtze River Delta που προκύπτουν από το παραπάνω σχέδιο είναι.

Σημείο A: Η διασταύρωση της ακτογραμμής Nantong και Yancheng.

Σημείο B: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το νησί Wai Ke Jiao.

Σημείο C: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το νησί Sheshan.

Σημείο D: 12 ναυτικά μίλια μακριά από το Haijiao.

Σημείο E: 12 ναυτικά μίλια μακριά από τον Νοτιοανατολικό ύφαλο.

Σημείο F: 12 ναυτικά μίλια από τον ύφαλο Two Brothers.

Σημείο G: 12 ναυτικά μίλια μακριά από τα νησιά Tiazhou.

Σημείο I: 12 ναυτικά μίλια μακριά από την διασταύρωση της ακτογραμμής της Taizhou και της ακτογραμμής Wenzhou.

Σημείο J: Η διασταύρωση της ακτογραμμής της ακτογραμμής της Taizhou και της ακτογραμμής Wenzhou.

## ***Bohai-rim Waters ECA (Beijing, Tianjin and Hebei)***



Σχέδιο 8 : Περιοχή ελέγχου εκπομπών Bohai Bay.

(North P&I, 2022)

Τα θαλάσσια όρια της περιοχής ελέγχου εκπομπών του Bohai Bay που ορίζονται από το παραπάνω σχέδιο είναι τα ύδατα εντός των γραμμών που συνδέουν το σημείο διασταύρωσης των ακτών Dandong , Dalian και των ακτογραμμών Yantai, Weihai.

Ταϊβάν.

Στις 4 Δεκεμβρίου του 2018 οι αρχές της Ταϊβάν επιβεβαίωσαν ότι τα πλοία θα πρέπει να κάνουν χρήση καυσίμων με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,5% κατά την δραστηριότητα τους σε λιμενικές περιοχές. Ο κανονισμός αυτός τέθηκε σε ισχύ από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2019. Ακόμα το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών της Ταϊβάν (Ministry of

transportation and communications -MOTC) υποχρεώνει όλα τα πλοία που εισέρχονται σε διεθνείς εμπορικές περιοχές λιμένων υπό την δικαιοδοσία της Δημοκρατίας της Κίνας να επικυρώσουν το 0,5% ως ανώτατο όριο η αν αυτό δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιούν ισοδύναμα μέσα όπως scrubbers τόσο ανοικτού και κλειστού τύπου.

Το MOCT εξέδωσε σε ανακοίνωση την λίστα με τα επτά λιμάνια τα οποία θα τεθεί σε ισχύ ο κανονισμός .

1. Το λιμάνι στο Keelung
2. Το λιμάνι στο Taichung
3. Το λιμάνι στο Kaohsiung
4. Το λιμάνι στο Hualien
5. Το λιμάνι στο Taipei
6. Το λιμάνι στο Suao
7. Το λιμάνι στο Anping

#### Ευρωπαϊκή Ένωση.

Το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο έθεσε σε ισχύ υψηλούς περιορισμούς στα καύσιμα ανεξάρτητα με τις νομοθεσίες του IMO με στόχο την μείωση των εκπομπών του θείου και την βελτίωση ποιότητας του αέρα στην Ευρωπαϊκή ζώνη.

Ήδη από το 2010 όλα τα πλοία πρέπει να μεταβούν σε χρήση καυσίμων με ανώτατο όριο 0,10% περιεκτικότητας θείου όταν βρίσκονται ελλιμενισμένα σε οποιοδήποτε εμπορικό λιμάνι της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Κάτι που είχε ήδη ψηφιστεί στο άρθρο 2005/33/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Ο κανονισμός ισχύει για όλα τα πλοία ανεξαρτήτως της σημαίας και των συμφερόντων που εξυπηρετεί. Η αλλαγή των καυσίμων πραγματοποιείται το συντομότερο δυνατό μετά την άφιξη στον λιμένα και όσο το δυνατόν πιο αργά πριν την αναχώρηση, επομένως επηρεάζει σημαντικά μόνο το καύσιμο που χρησιμοποιείται από τις γεννήτριες και τους λέβητες κατά την διάρκεια του αγκυροβολίου και όχι τόσο το καύσιμο της κύριας μηχανής.

#### Τουρκία.

Η Τουρκία αν και δεν είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης εισήγαγε ακριβώς τον ίδιο κανονισμό που εφαρμόστηκε στην Ευρώπη επικυρώνοντας την ισχύ του από το 2012. Ως εκ τούτου όλα τα πλοία που βρίσκονται ελλιμενισμένα σε τούρκικα λιμάνια η εκτελούν δρομολόγια σε εσωτερικές εθνικές θαλάσσιες οδούς οφείλουν να χρησιμοποιούν καύσιμα όπου η περιεκτικότητα τους σε θείο δεν υπερβαίνει το 0,10%.

#### Πολιτεία της Καλιφόρνια.

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας αποτελεί περιοχή ελέγχου εκπομπών από τον IMO. Ωστόσο η κυβέρνηση της Καλιφόρνιας έχει υιοθετήσει ανεξάρτητους εθνικούς κανονισμούς στους οποίους πρέπει να υπακούν όλα τα πλοία τα οποία δραστηριοποιούνται στα ύδατα της. Ήδη από τον Ιούλιο του 2009 έχει θέσει σε ισχύ κανονισμούς για τα πλοία που κάνουν

ωκεάνια ταξίδια (Ocean Going Vessels-OGV), με στόχο την βελτίωση της ποιότητας του αέρα απαιτώντας από τα πλοία να χρησιμοποιούν καθαρότερα καύσιμα χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο. Η νομοθεσία του 2009 δέχθηκε τροποποιήσεις μετά από επανεξέταση το 2012 αυξάνοντας τις απαιτήσεις μείωσης του θείου στα καύσιμα από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2014, υποχρεώνοντας τους αντίστοιχους φορείς να συμμορφώνονται τόσο με τις απαιτήσεις του διεθνή κανονισμού του IMO για την περιοχή ελέγχου εκπομπών της βόρειας Αμερικής (ECA) όσο και με τον ανεξάρτητο κανονισμό καυσίμων (OGV) της Καλιφόρνιας.

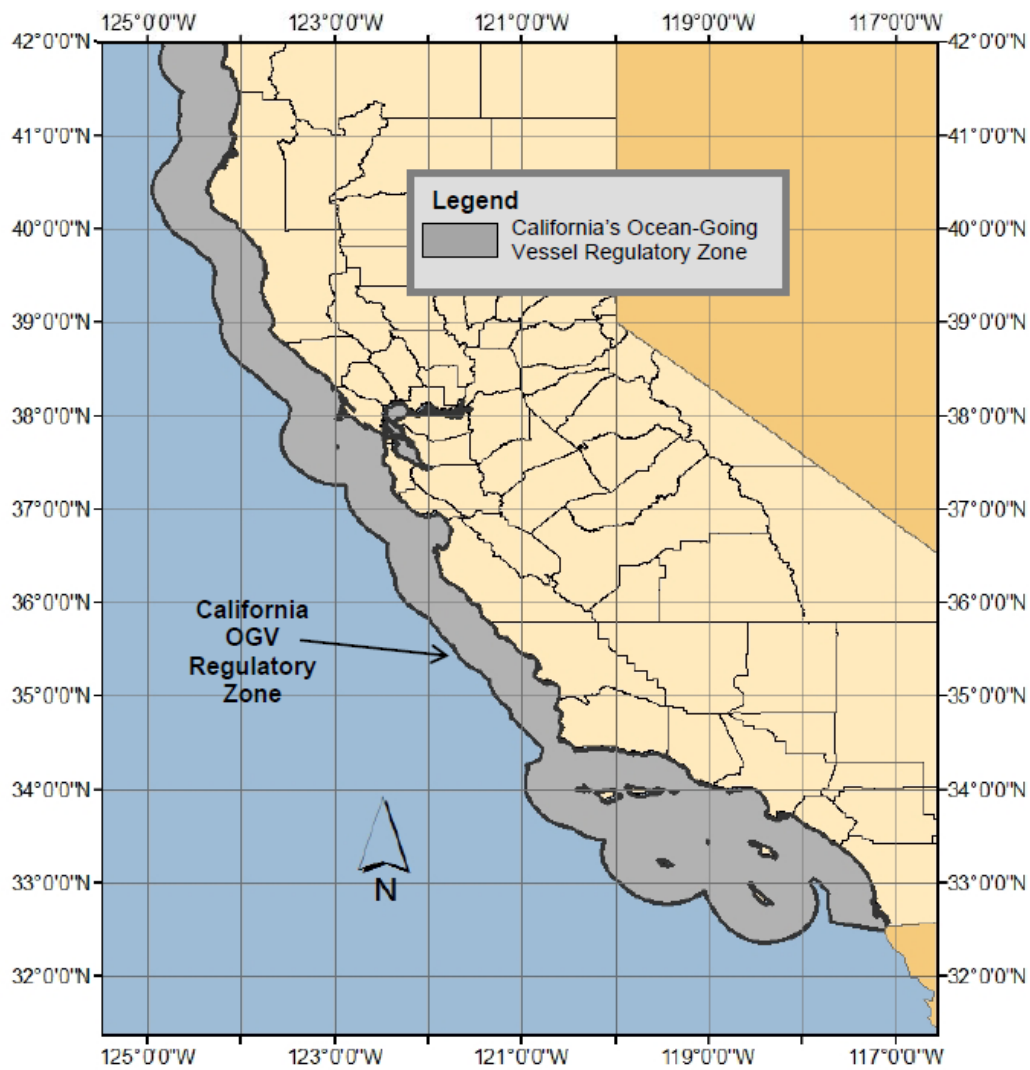
Οι τροποποιήσεις της Φάσης II στις απαιτήσεις καυσίμου (OGV) περιορίζουν την περιεκτικότητα σε θείο τόσο στο πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (gas oil) των πλοίων όσο και στο ντίζελ καύσιμο (diesel oil) της κύριας μηχανής με μέγιστο ανώτατο όριο το 0,1%. Ο ανεξάρτητος κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας ισχύει για όλα τα πλοία που πλέουν εντός 24 ναυτικών μιλίων από την ακτή.

Απαίτηση καυσίμου	Ημερομηνία ισχύος	Κανονισμός (OGV) Καλιφόρνια
<b>Φάση I</b>	1 <sup>η</sup> Ιουλίου 2009	Καύσιμο (Gas Oil) μέγιστης περιεκτικότητας 1.5% σε θείο Καύσιμο (Diesel Oil) μέγιστης περιεκτικότητας 0,5% θείου
	1 <sup>η</sup> Αυγούστου 2012	Καύσιμο (Gas Oil) μέγιστης περιεκτικότητας 1.5% σε θείο Καύσιμο (Diesel Oil) μέγιστης περιεκτικότητας 0,5% θείου
<b>Φάση II</b>	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2014	Καύσιμο (Gas Oil) μέγιστης περιεκτικότητας <b>0,1%</b> σε θείο Καύσιμο (Diesel Oil) μέγιστης περιεκτικότητας <b>0,1%</b> θείου

Πίνακας 8 : Εθνικός κανονισμός Καλιφόρνιας

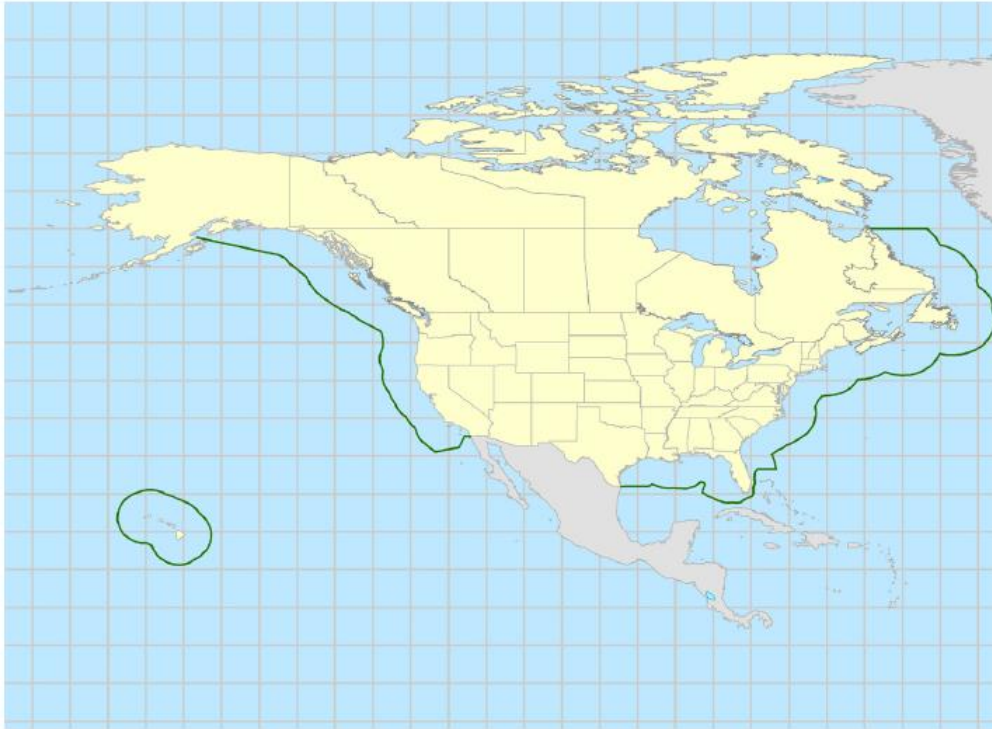
(California Air Resources Board, 2013)

Στο σχέδιο 9 που ακολουθεί μπορούμε να δούμε την εθνική περιοχή ελέγχου εκπομπών την οποία έχει επικυρώσει η κυβέρνηση της Καλιφόρνιας που ισχύουν τα όρια περιεκτικότητας στα ναυτιλιακά καύσιμα που αναφέρονται στον πίνακα 8 ενώ αντίστοιχα στο σχέδιο 10 φαίνεται η ευρύτερη περιοχή ελέγχου εκπομπών που έχει ορίσει ο IMO για την βόρεια Αμερική η οποία εκτείνεται στις παράκτιες περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού αλλά και στις περιοχές που βρέχονται από τον Ατλαντικό στην άλλη πλευρά της Αμερικής.



Σχέδιο 9: Όρια Ισχύος του (OGV) εθνικού κανονισμού  
 (California Air Resources Board, 2013)





Σχέδιο 10 : Περιοχή ελέγχου εκπομπών (ECA) Βόρειας Αμερικής του (ΙΜΟ)

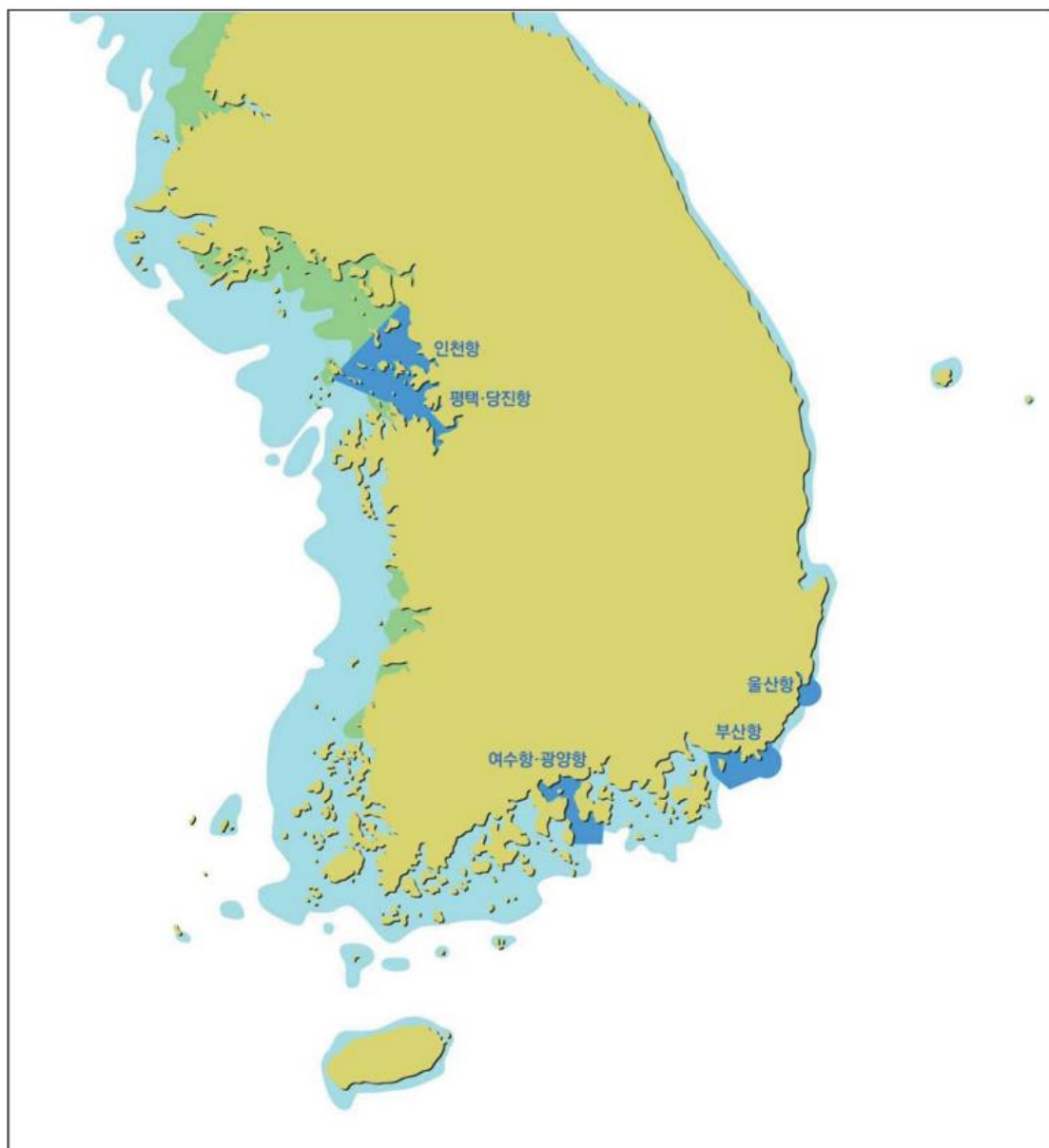
(United States Environmental Protection Agency, 2010)

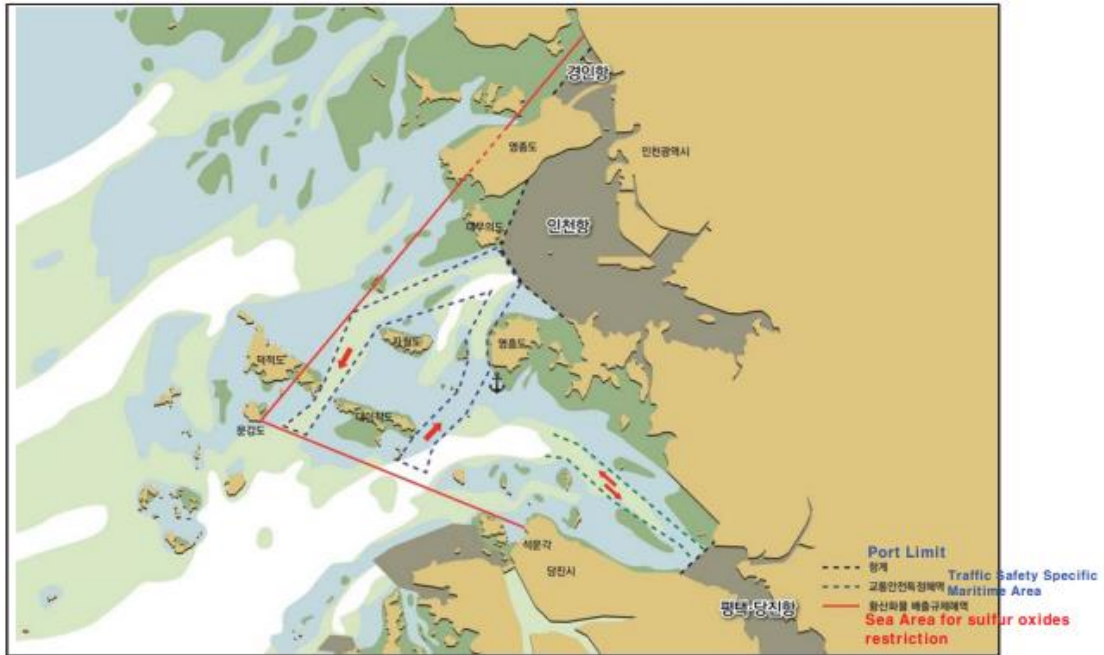
#### Hong Kong.

Στις 12 Ιουλίου του 2018 η Κυβέρνηση του Hong Kong ανακοίνωσε κανονισμούς ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι οποίοι θα τεθούν σε ισχύ από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2019. Οι εθνικοί κανονισμοί υποχρεώνουν όλα τα σκάφη που εισέρχονται στα εθνικά ύδατα του Hong Kong να καίνε καύσιμα συμμορφωμένα με τις απαιτήσεις του κανονισμού. Τέτοια καύσιμα είναι το ντίζελ μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο 0,5% και διαφορετικά αποστάγματα πετρελαίου όπως το Marine Gas Oil (MGO). Εξαιρέσεις είναι τα πλοία τα οποία έχουν εξοπλισμό επί του σκάφους με την δυνατότητα να μειώνουν τις εκπομπές του θείου στα ίδια η μικρότερα επίπεδα εκπομπών. Τα πλοία οφείλουν να καταγράφουν την ημερομηνία και την ώρα αλλαγής καυσίμου αποθηκεύοντας αυτά τα δεδομένα για τουλάχιστον τρία χρόνια σε περίπτωση ελέγχου από της αρμόδιες αρχές του Hong Kong. Η απαίτηση του νομοθετικού συμβουλίου του Hong Kong για τα καύσιμα ισχύει σε όλα τα σκάφη ανεξάρτητα αν το σκάφος πλέει η ελλιμενίζεται. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι ο κανονισμός παραβιάζεται ο πλοίαρχος και ο ιδιοκτήτης του σκάφους θα υπόκεινται σε μέγιστο πρόστιμο 200.000 δολάρια και φυλάκιση 6 μηνών. Ενώ στην περίπτωση μη τήρησης και αποθήκευσης των δεδομένων καταγραφής καυσίμων επιβάλλεται πρόστιμο 50.000 δολάρια και φυλάκιση 3 μηνών.

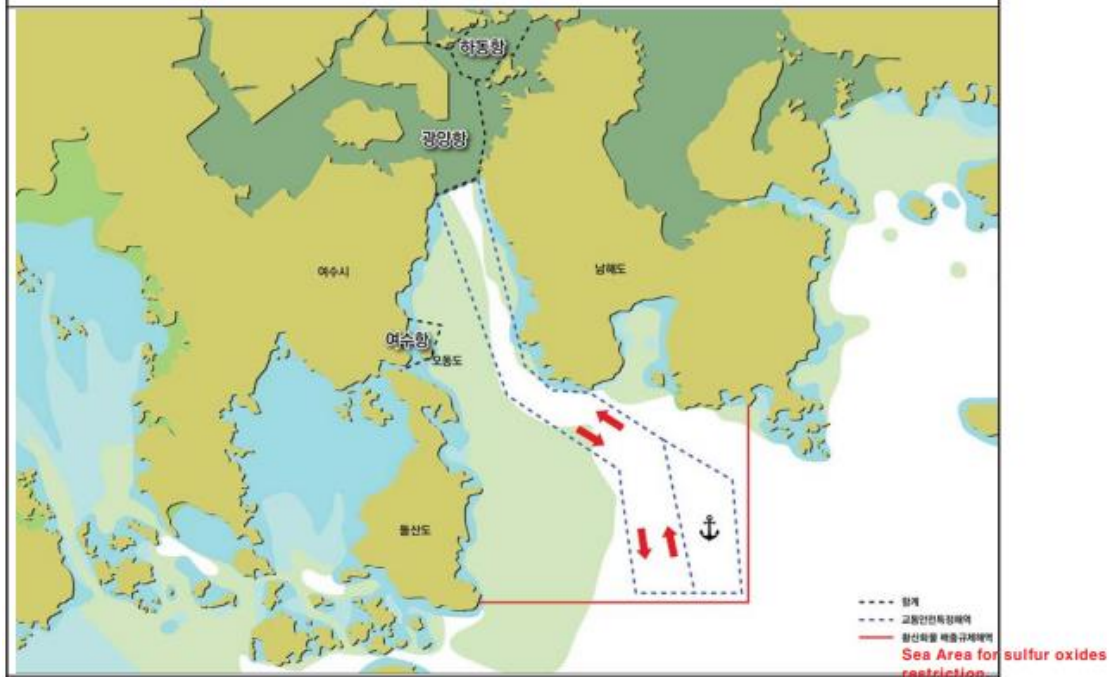
## Νότια Κορέα.

Από την 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου του 2020 τα πλοία ελλιμενισμένα η αγκυροβολημένα στις λιμενικές περιοχές Pyeongtaek, Dangjin, Yeosu, Gwangyang, Busan και Ulsan (Lloyd's Register, 2020) πρέπει να κάνουν αποκλειστικά χρήση καυσίμων με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο το 0,10%. Η αλλαγή στο καύσιμο υπακοής του κανονισμού θα πραγματοποιείται εντός μίας ώρας από την άφιξη και δεν αλλάζει παρά μόνο εντός μίας ώρας πριν την αναχώρηση. Ο εθνικός κορεάτικος κανονισμός για τον περιορισμό του θείου τροποποιήθηκε και έγινε ακόμα αυστηρότερος καθώς από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2022 όλα τα πλοία οφείλουν να λειτουργούν με καύσιμο περιεκτικότητας 0,1% σε θείο κάθε φορά που δραστηριοποιούνται σε καθορισμένες ζώνες γύρω από τα προαναφερθέντα λιμάνια και όχι μόνο κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού. Οι ζώνες αυτές αποτελούν τις εθνικές ζώνες ελέγχου εκπομπών της Κορέας ( Korean ECA) και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχέδιο.

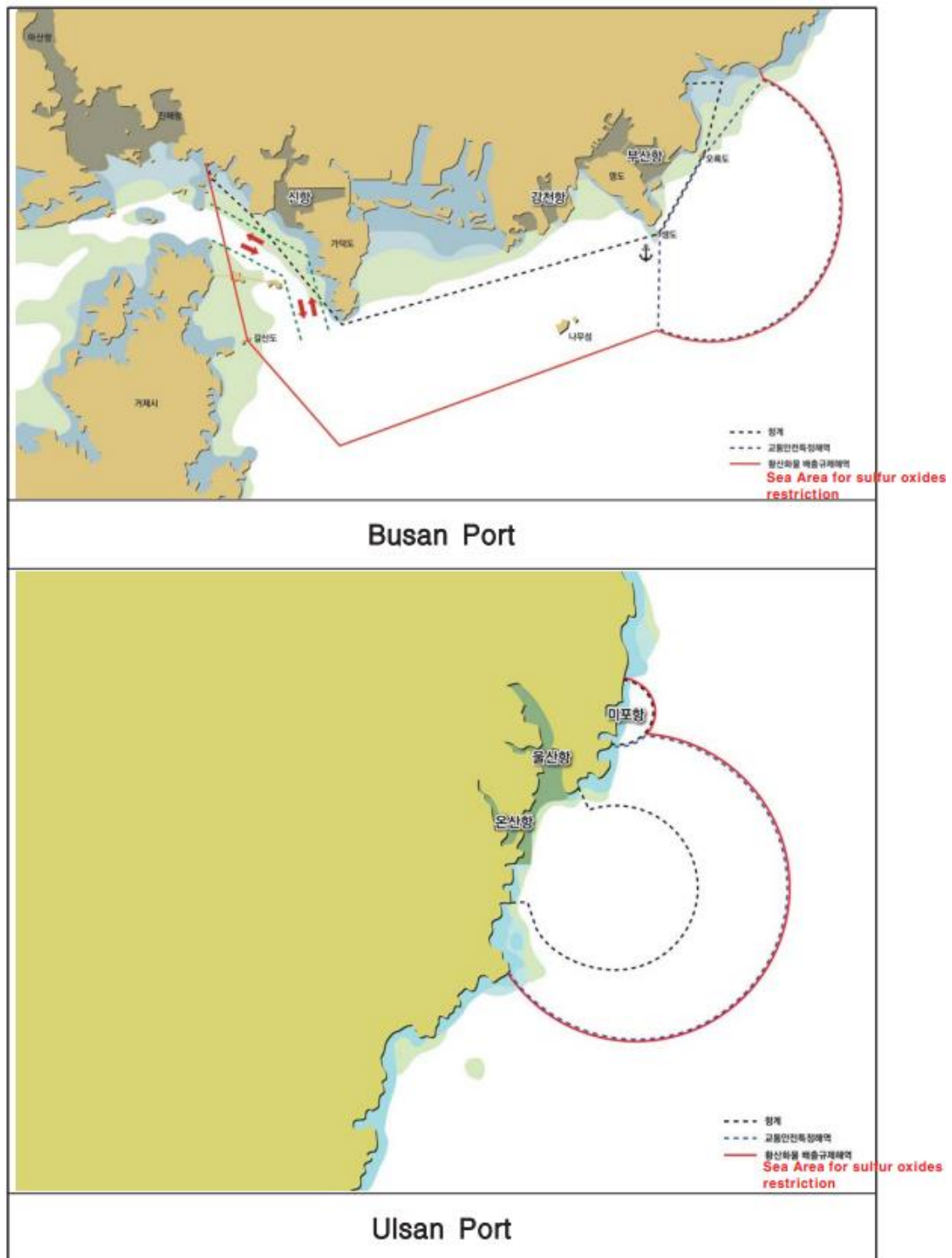




Incheon, Pyoungtaek, Dangjin port



Yeosu & Gwangyang port



Σχέδιο 11: Κορεάτικη εθνική περιοχή ελέγχου εκπομπών.

(Eastern Shipping Co., 2019)

Διεθνής Κανονισμοί		Εθνικοί ανεξάρτητοι Κανονισμοί για την περιεκτικότητα θείου.						
	MARPOL ANEX VI REGULATION	Κίνα	Ταϊβάν	Ευρωπαϊκή Ένωση	Τουρκία	Καλιφόρνια	Hong Kong	South Korea
Ανώτατο όριο (ECA)	0.1%	0.5%/0.1%	0.5%	0.1% AT 'BIRTH'	0.1%	0.1%	0.5%-MGO	0.1%
Ανώτατο όριο (Outside ECA)	0.5%	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός Πίνακας με τα ανώτατα διεθνή και εθνικά όρια περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Συμμόρφωση στον Marpol Annex VI 14 Regulation και εφαρμογή στα πλοία.

### Κύριες μέθοδοι.

Ο κανονισμός που υιοθετήθηκε από τον IMO ( ANNEX VI REGULATION ) για τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα και εφαρμόστηκε από την 1η Ιανουαρίου του 2020 θέτοντας ανώτατο όριο το 0,5% στον παγκόσμιο στόλο για την περιεκτικότητα θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα επέφερε μεγάλη πίεση σε όλες τις εταιρίες που διαχειρίζονται ναυτικό στόλο καθώς όφειλαν αν συμμορφωθούν με τον κανονισμό σε μικρό χρονικό διάστημα. Υπάρχουν τρεις κύριες επιλογές συμμόρφωσης με τον κανονισμό για τους πλοιοκτήτες, η χρήση scrubber, η μετάβαση σε χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil –VLSFO) και η χρήση διαφορετικών αποσταγμάτων καυσίμου ( Distillate Fuels ) όπως το Marine Gas Oil (MGO). Στην παρακάτω ενότητα περιγράφονται οι τρεις αυτές κύριες επιλογές συμμόρφωσης στον κανονισμό και γίνεται μια γενική αξιολόγηση με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τρόπου συμμόρφωσης.

### Exhaust Gas Cleaning Systems.

Τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων ( Exhaust Gas Cleaning System-EGCS) τα οποία είναι γνωστά και ως scrubbers . Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να απομακρύνουν το θείο από τα καυσαέρια τόσο της κύριας μηχανής όσο και των ηλεκτρογεννητριών , επιτρέποντας στο πλοίο να χρησιμοποιεί βαρύ μαζούτ (HFO) μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε θείο ακόμα και στα αυστηρότερα όρια που ισχύουν στις περιοχές ελέγχου εκπομπών. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε δύο διαφορετικές λειτουργίες απομάκρυνσης του θείου. Τα Scrubbers τα οποία κάνουν χρήση νερού για να ξεπλύνουν τα οξείδια του θείου από τα καυσαέρια και τα Scrubbers όπου το θείο μειώνεται μέσω χημικών αντιδράσεων. Τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούν τον πρώτο τύπο συστήματος καθαρισμού καυσαερίων ο οποίος διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας. Τα συστήματα ανοικτού βρόχου, τα συστήματα κλειστού βρόχου και τα υβριδικά που λειτουργούν και με τους δύο τρόπους. Η διαφορά μεταξύ αυτών των συστημάτων πλύσης καυσαερίων είναι ο τύπος του νερού που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση των οξειδίων του θείου.

### Τύποι Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων

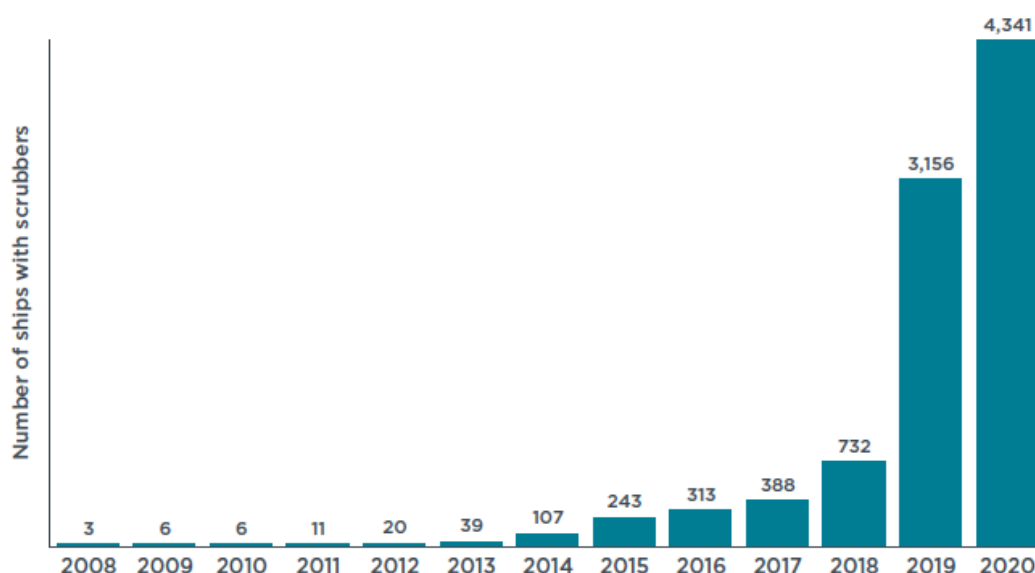
- Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων ανοικτού βρόχου βασίζεται στο φυσικό αλκαλικό χαρακτήρα του θαλασσινού νερού το οποίο χρησιμοποιείται για την πλύση των όξινων καυσαερίων. Μετά την απορρόφηση των μορίων του διοξειδίου του θείου από το θαλασσινό νερό , το σύστημα απορρίπτει το νερό πίσω στο θαλάσσιο περιβάλλον μετά από φιλτράρισμα από φίλτρα που αποθηκεύουν τις χημικές ουσίες και τα ιζήματα της αντίδρασης επί του σκάφους και τις παραδίδουν σε ειδικές εγκαταστάσεις υποδοχής στην ξηρά.
- Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων κλειστού βρόχου χρησιμοποιεί γλυκό νερό με προσθήκη αλκαλίων όπως το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ή υδροξείδιο του

μαγνησίου ( MgOH) . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) από τα καυσαέρια να μετατρέπονται σε θειικά άλατα (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) τα οποία είναι ουδέτερα στοιχεία και αβλαβή για το περιβάλλον. Η χρήση αυτού του τύπου συστήματος είναι εφικτή σε θαλάσσιες περιοχές όπου η φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού δεν επαρκεί για να αντιδράσει από μόνη της με τα θειικά προϊόντα των καυσαερίων. Όπως και με τον προηγούμενο τύπο μετά την πλύση των καυσαερίων δημιουργούνται ενώσεις και ιζήματα τα οποία πρέπει να αποθηκευτούν επί του σκάφους και να παραδοθούν στην ξηρά.

- Τα υβριδικά συστήματα καθαρισμού καυσαερίων χρησιμοποιούνται ως συστήματα ανοικτού βρόχου όταν το πλοίο δραστηριοποιείται στην ανοικτή θάλασσα και ως συστήματα κλειστού βρόχου όταν το σκάφος λειτουργεί σε κάποια περιοχή ελέγχου εκπομπών στην οποία απαγορεύεται η ρίψη του θαλασσινού νερού που αντέδρασε με τα καυσαέρια πίσω στο θαλάσσιο περιβάλλον.

### Χρήση Συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων.

Αν και η εγκατάσταση των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς απαιτεί πολλούς μήνες προγραμματισμού, προσεκτική επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού και υλικών αποτελεί μια άμεση, οικονομική και αποτελεσματική λύση στην συμμόρφωση με τα νέα παγκόσμια πρότυπα καθώς κάθε μονάδα εγκατάστασης κοστολογείται από 3 έως 5 εκατομμύρια δολάρια αναλόγως τον τύπο του πλοίου (NORTH, 2020). Πριν το 2020 η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο έφτανε μέχρι και το 3,5% , δραματική μείωση που επικυρώθηκε οδήγησε σε μεγάλες αυξήσεις στις εγκαταστάσεις και στις παραγγελίες για scrubbers.



Διάγραμμα 9: Αριθμός πλοίων με τοποθετημένο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (EGCS) ανά χρονιά.

(ICCT CONSULTING REPORT -Bryan Comer, 2020)

Μόλις το 2020 καταμετρήθηκαν 4,341 πλοία του παγκόσμιου στόλου που είχαν ήδη εγκατασταθεί συστήματα καθαρισμού καυσαερίων. Ενώ τα συστήματα αυτά είναι

αποτελεσματικά στην μείωση του SO<sub>2</sub>, μέσω της ρίψης του θαλασσινού νερού στα συστήματα ανοικτού βρόχου απορρίπτονται στην θάλασσα ρύποι όπως βαρέα μέταλλα και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH). Πολλοί από αυτούς τους ρύπους δεν βιοδιασπώνται με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στο θαλάσσιο περιβάλλον θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο το αντίστοιχο οικοσύστημα μέσω του τροφικού ιστού. Λόγω της άμεσης απόκρισης και της χρήσης συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων από συνεχώς περισσότερα πλοία για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος πολλές χώρες περιορίζουν οι απαγορεύουν την απόρριψη του χρησιμοποιημένου μέσου πλύσης των καυσαερίων στις εθνικές θαλάσσιες ζώνες. Οι περισσότερες από αυτές αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τους περιορισμούς που έχουν θέσει για την χρήση των EGCS.

Χώρα	Περιορισμοί
<b>Αργεντινή</b>	Απαγόρευση απόρριψης (A.B.) υδάτων σε εθνικά και εσωτερικά ύδατα.
<b>Αυστραλία</b>	Τα πλοία οφείλουν να ενημερώσουν τις Αρχές ναυτικής ασφάλειας πριν την άφιξη στα λιμάνια.
<b>Μπαχρέιν</b>	Απαγορεύεται η απόρριψη (A.B.) σε χωρικά ύδατα με εξαίρεση συμμόρφωσης στις οδηγίες του IMO του 2015.
<b>Βέλγιο</b>	Απαγόρευση απόρριψης εντός λιμανιών, εσωτερικών υδάτων και σε απόσταση μικρότερη από 3 ναυτικά μίλια σε ακτή.
<b>Βερμούδες</b>	Απαγορεύει τις απορρίψεις ανοικτού τύπου σε χωρικά ύδατα ενώ με προηγούμενη έγκριση επιτρέπει απορρίψεις από συστήματα κλειστού τύπου.
<b>Βραζιλία</b>	Απαγορεύονται απορρίψεις σε λιμένες και σε απόσταση 24 μιλίων από τις ακτές.
<b>Κίνα</b>	Απαγόρευση της απόρριψης (A.B) σε ποταμούς και σε εθνικές περιοχές ελέγχου εκπομπών
<b>Αίγυπτος</b>	Απαγορεύεται η απόρριψη σε εθνικά ύδατα και λιμάνια καθώς και στη διώρυγα του Σουέζ.
<b>Εσθονία</b>	Απαγόρευση απορρίψεων σε εκβολές ποταμών και λιμένων.
<b>Φιλανδία</b>	Απαγορεύεται η απόρριψη στο λιμάνι του Ροινσοο.
<b>Γαλλία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B) στα ποτάμια και σε ορισμένα λιμάνια όπως του Bordeaux και του Jerome-Sur-Seine.
<b>Γερμανία</b>	Απαγόρευση απόρριψης σε εθνικά ύδατα.
<b>Γιβραλτάρ</b>	Απαγόρευση απόρριψης (A.B) στα ύδατα του Γιβραλτάρ.
<b>Χονγκ Κονγκ</b>	Η χρήση scrubber απαιτεί ειδική εξαίρεση .
<b>Ιρλανδία</b>	Απαγόρευση σε λιμάνια του Waterford, Dublin και Cork.
<b>Λετονία</b>	Απαγόρευση απόρριψης σε εθνικά ύδατα και λιμάνια.
<b>Λιθουανία</b>	Απαγόρευση απόρριψης σε λιμάνια
<b>Μαλαισία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B) σε χωρικά ύδατα εκτός από πλοία που διέρχονται από τα στενά Malacca όπου δεν προορίζονται για λιμάνι της Μαλαισίας.
<b>Νορβηγία</b>	Απαγόρευση απόρριψης στις θαλάσσιες περιοχές του Geirangerfjord και Heritage Fjords
<b>Πακιστάν</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B) σε λιμένες του Bin Qasim και Karachi
<b>Παναμάς</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B.) στη διώρυγα του Παναμά
<b>Πορτογαλία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B.) στα λιμάνια
<b>Κατάρ</b>	Απαγόρευση απόρριψης στις εθνικές θαλάσσιες περιοχές
<b>Σαουδική Αραβία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B.) στα λιμάνια



<b>Σιγκαπούρη</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B.) στα λιμάνια
<b>Ισπανία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη (A.B.) στα λιμάνια του Huelva , Cartagena και Algeciras
<b>Σουηδία</b>	Απαγορεύει την απόρριψη στα λιμάνια στη Stockholm, Gavle, Sundsvall, Skelleftea , Norrköping και Umea
<b>Αμερική</b>	Καλιφόρνια: Απαγορεύεται η χρήση scrubber ,τα πλοία οφείλουν να κάνουν χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε απόσταση 24 μιλίων από τις ακτές.  Χαβάη: Επιτρέπεται η απόρριψη μετά από ειδική αναφορά.

Πίνακας 10 : Χώρες με περιορισμούς στις απορρίψεις από τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων.

(ICCT CONSULTING REPORT -Bryan Comer, 2020)

### Απόδοση εγκατάστασης Συστημάτων Καθαρισμού Καυσαερίων.

Σύμφωνα με την έρευνα του ICCT (International Council on Clean Transportation) ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει την επίδραση που έχουν τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων στις εκπομπές των πλοίων που χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας 2,6% (παγκόσμιο μέσο όρο) σε θείο "μαζούτ" σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καύσιμα χωρίς την χρήση EGCS. Συμπεριλαμβανομένων καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο 0,5% (VLSFO), Marine Gas Oil ( 0,1% και 0,07).

Σύγκριση : 2,6% S σε HFO + EGCS (SCRUBBER)	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Black Carbon
<b>HFO (2,6% S)</b>	-98%	+2%	-79%	-79%	0%	-11%	-11%
<b>VLSFO (0,5% S)</b>	-90%	+4%	-59%	-59%	0%	-11%	Άγνωστο
<b>MGO (0,10% S)</b>	-52%	+4%	+61%	+61%	0%	-11%	+81%
<b>MGO (0,07% S)</b>	-31%	+4%	+69%	+69%	0%	-11%	+81%

Πίνακας 11: Επίδραση EGCS στις εκπομπές καυσαερίων

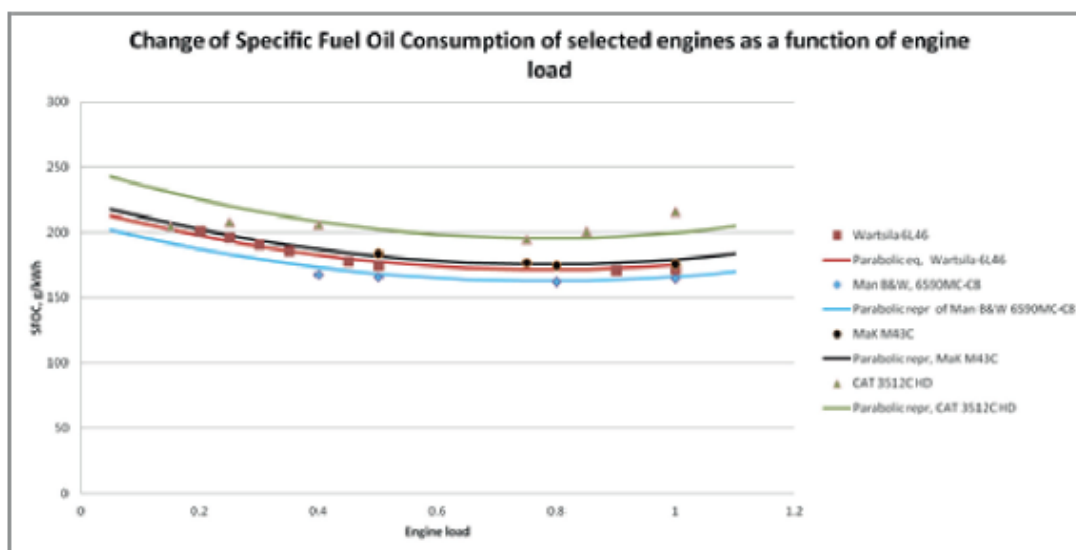
(ICCT CONSULTING REPORT -Bryan Comer, 2020)

Είναι φανερό ότι τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων μειώνουν αποτελεσματικά τις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) έως και 31% χαμηλότερες από την χρήση καυσίμου περιεκτικότητας (0,07% S MGO), πρέπει να γίνει γνωστό πως η απόδοση των EGCS εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, την ισχύ του κινητήρα και την κατάσταση λειτουργίας του, την ροή του νερού πλύσης των καυσαερίων καθώς και την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού αν πρόκειται για ανοικτού βρόχου σύστημα.

### Εκτίμηση Ισοδύναμου καυσίμου περιεκτικότητας (m/m %) θείου.

Με την χρήση των EGCS και με δεδομένες τις παραπάνω παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα του θείου θεωρώντας ένα ισοδύναμο καύσιμο ώστε να γίνει φανερή η συμμόρφωση των πλοίων στο ανώτατο όριο του 0,5% στα ναυτιλιακά καύσιμα. Από την τέταρτη μελέτη του IMO για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αντλούμε το

παρακάτω διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι ειδικές καταναλώσεις για διάφορους ναυτικούς κινητήρες ανάλογα με το ποσοστό φόρτισης



Διάγραμμα 10: Ειδική κατανάλωση συναρτήσει της φόρτισης.

(INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2020)

Θα υπολογίσουμε το ισοδύναμο καύσιμο με την χρήση EGCS σε διάφορες περιπτώσεις δραστηριότητας ενός πλοίου,

1. Την περίπτωση κανονικής πλεύσης του σκάφους (85% φόρτιση κινητήρα)
2. Την περίπτωση αργής πλεύσης (50% φόρτιση κινητήρα)
3. Την περίπτωση ελλιμενισμού (35% χρήση κινητήρα).

Για αυτές περιπτώσεις από το διάγραμμα βρίσκουμε τις σχετικές καταναλώσεις.

1.  $SFOC = 180 \frac{g}{kWh}$
2.  $SFOC = 190 \frac{g}{kWh}$
3.  $SFOC = 200 \frac{g}{kWh}$

Από την συγκεκριμένη έρευνα (Hulda Winnes, Erik Friddel, Jana Moldanova, 2020) εκτιμήθηκε πώς οι εκπομπές από την καύση HFO περιεκτικότητας 2,7% σε θείο με την χρήση EGCS μετρήθηκαν στα

1. 0.08 gSO<sub>2</sub>/kWh για την πρώτη περίπτωση
2. 0.05 gSO<sub>2</sub>/kWh για την δεύτερη περίπτωση
3. 0,16 gSO<sub>2</sub>/kWh για τη περίπτωση ελλιμενισμού

οι τιμές αυτές αποτελούν τους σχετικούς ρύπους εκπομπών (EM<sub>SO2</sub>). Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου του 2020 μπορούμε να

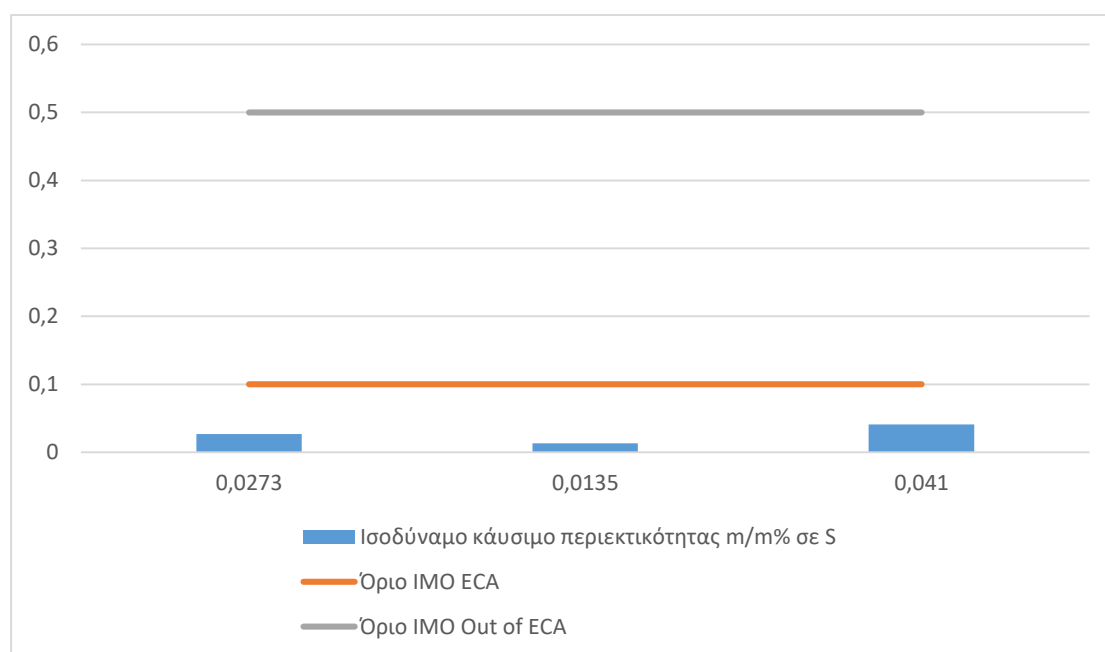
υπολογίσουμε την περιεκτικότητα του ισοδύναμου καυσίμου (Equivalent fuel m/m%) σε θείο και για τις παραπάνω περιπτώσεις.

$$1. \quad Eq.F = \frac{EM_{SO_2}}{(SFOC * 0,97753 * 2)} = \frac{0,08}{(180 * 0,97753 * 2)} = 0,0273 \frac{m}{m} \% S$$

$$2. \quad Eq.F = \frac{EM_{SO_2}}{(SFOC * 0,97753 * 2)} = \frac{0,05}{(190 * 0,97753 * 2)} = 0,0135 \frac{m}{m} \% S$$

$$3. \quad Eq.F = \frac{EM_{SO_2}}{(SFOC * 0,97753 * 2)} = \frac{0,16}{(200 * 0,97753 * 2)} = 0,0410 \frac{m}{m} \% S$$

Η εξίσωση αυτή αντανακλά την υπόθεση ότι το 0,97753 του θείου στο καύσιμο μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) καθώς το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θειικό αεροζόλ, το 2 αντανακλά την αναλογία του μοριακού βάρους του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) στο θείο που περιέχει το καύσιμο. Με τον όρο S ορίζουμε την περιεκτικότητα του καυσίμου στο θείο.



Διάγραμμα 11: Περιεκτικότητα θείου m/m% στο ισοδύναμο καύσιμο από την χρήση EGCS με καύσιμο HFO 2,7%

Υπολογίζοντας την ισοδύναμη περιεκτικότητα σε θείο στα πλοία που κάνουν χρήση (EGCS), βρήκαμε πως τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (EGCS) μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου σε ποσότητες αρκετά χαμηλές για όλες τις δραστηριότητες τους ώστε να επιτευχθεί το ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου 0,5% αλλά και το όριο περιεκτικότητας θείου σε περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) 0,1%. Παρά τις αρκετά χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του θείου παρατηρούμε από τον πίνακα 11 πως οι υπόλοιποι ατμοσφαιρικοί ρύποι (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, Black Carbon) είναι αρκετά πιο υψηλοί για τα πλοία με EGCS σε σχέση με πλοία που κάνουν χρήση καυσίμων συμβατών με το όριο των ECA όπως τα Marine Gas Oil.

Όσον αφορά τους κλιματικούς ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) παρατηρούμε ότι με την χρήση EGCS σημειώνονται εκπομπές υψηλότερες κατά 4% σε σύγκριση με καύσιμο MGO. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο οι αργόστροφοι ναυτικοί κινητήρες

(Slow Speed Diesel-SSD) αλλά και οι μεσό-στροφοί ( Medium Speed Diesel-MSD) επηρεάζονται από την χρήση EGCS, ποιο συγκεκριμένα λόγω της αύξησης της κατανάλωσης με τη χρήση EGCS έχουμε μεγαλύτερη χρήση καυσίμου επομένως αυξημένες εκπομπές CO<sub>2</sub>, για το ίδιο χρονικό διάστημα σε σχέση με έναν κινητήρα που δεν χρησιμοποιεί σύστημα καθαρισμού καυσαερίων καθώς τα συστήματα αυτά δεν επηρεάζουν τον σχηματισμό του διοξειδίου του άνθρακα.

Επομένως από την μία έχουμε μια αποτελεσματική και οικονομική λύση στο ζήτημα μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα αλλά υπάρχουν και επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα λόγω των απορρίψεων του νερού πλύσης των καυσαερίων με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες χώρες να περιορίζουν την χρήση EGCS.

Χρήση EGCS				
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Φθηνή λύση και συμμόρφωση στον κανονισμό (3-5) Εκ. Δολάρια		Χρήση καυσίμου HFO 2,6% που είναι άμεσα διαθέσιμο στην αγορά σε πολύ χαμηλότερες τιμές από καύσιμα που συμμορφώνονται στον ανώτατο όριο.	
<b>Μειονεκτήματα</b>	Τα EGCS πιάνουν μεγάλους χώρους στα πλοία.	Αυξημένη κατανάλωση καυσίμου κατά 5%	Επηρεασμός λειτουργίας σε περίπτωση μη σωστής συντήρησης με αποτέλεσμα αυξημένους ρύπους.	Μη βιώσιμη λύση καθώς υιοθετούνται όλο και πιο αυστηροί κανονισμοί για τις απορρίψεις.

Πίνακας 12: Αξιολόγηση EGCS

### Καύσιμα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε Θείο (VLSFO)

Ένας επιπλέον τρόπος συμμόρφωσης στον κανονισμό του IMO πέρα από τα EGCS είναι η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO). Είναι πιθανό να κυκλοφορούν πολλά διαφορετικά καύσιμα με διαφορετικές ιδιότητες υπό τον γενικό όρο VLSFO. Τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι μείγματα άλλων αποσταγμάτων πετρελαίου η να προκύψουν με νέες τεχνικές διύλισης, όπως αποστάγματα πετρελαίου διύλισης εν-κενό.

Ο ISO (International Organization for Standardization) έχει εκδώσει δημόσιες διαθέσιμες προδιαγραφές στις οποίες παρέχει γενικές εκτιμήσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά αυτών των καυσίμων (PAS 23263), καθώς και οδηγίες για τη σταθερότητα και την συμβατότητα.

Η παραγωγή των VLSFO φαίνεται να διαφέρει σημαντικά μεταξύ της υφηλίου. Η Ευρωπαϊκή παραγωγή βασίζεται στην χρήση μειγμάτων χαμηλής περιεκτικότητας για την παραγωγή καυσίμων, ενώ στην Ασία είναι πιο διαδεδομένη η διύλιση εν κενό την ώρα που η μαζική παραγωγή VLSFO στην Βόρεια Αμερική γίνεται με την χρήση καταλυτών και πυρόλυσης (NORTH, 2020). Οι σημαντικές αυτές διαφορές προκαλούν σοβαρή ανησυχία για την συμβατικότητα μεταξύ των διαφόρων προϊόντων. Μεμονωμένα κάθε προϊόν τηρεί τις

απαιτήσεις για τα κριτήρια σταθερότητας (ISO 8217) ωστόσο στις περιπτώσεις ανάμιξης τα νέα μείγματα εγείρουν κινδύνους συμβατότητας. Με τον όρο συμβατότητα αναφερόμαστε σε περιπτώσεις στις οποίες τα καύσιμα που έχουν αναμιχθεί δημιουργούν μοριακές ουσίες παρόμοιες με αυτές του αργού πετρελαίου (αρωματικοί υδρογονάνθρακες ,ρητίνες, κορεσμένοι υδρογονάνθρακες) με αποτέλεσμα την δημιουργία ιζημάτων σε φίλτρα, διαχωριστών και σωληνώσεις όπου σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στην απώλεια πρόωσης λόγω έλλειψης επαρκούς λίπανσης του κινητήρα. Λύση σε αυτό το ζήτημα έδωσε η απαραίτητη ταυτόχρονη ανάμιξη σε αναλογία 9:1 και η χρήση σταθεροποιητικών χημικών ουσιών.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρατίθενται η τεχνική λίστα της εταιρίας “THE VISWA GROUP” με περιπτώσεις σημαντικών προβλημάτων σε διάφορα πλοία που σημειώθηκαν μετά την χρήση καυσίμων VLSFO.

Case	Supply date	Problem Reported day	Port	Problem Experienced	Root Cause
1	6/12/19	27/12/19	Antwerp	Trouble of Purifier with heavy sludge formation	High sediment
2	7/10/19	17/12/19	Gibraltar	Fuel Frozen in the tank	High pour point
3	5/11/19	10/12/19	Everingen	Heave sludge in in purifier and damage to internal parts	N/A
4	14/11/19	9/12/19	Ghent	8hrs of purifying found excessive quantity of paraffin	Unstable fuel
5	30/10/19	12/12/19	Galveston	Sludge at purifier	N/A
6	2/12/19	14/12/19	Rio de Janeiro	Excessive liner wear in all units	N/A
7	17/12/19	20/12/19	Balboa Panama	No.3 Purifier got problem with sludge accumulated	Possible incompatibility
8	14/11/19	9/12/19	Long Beach	Discharge port blocked by sludge No.1 purifier	Stability issues
9	6/12/19	19/12/19	Long Beach	Fuel frozen in the tank	Wax deposition
10	15/11/19	27/12/19	Antwerp	F.O. Purifier getting choked frequently ,hard asphalt inside	N/A
11	2/12/19	24/12/19	Istanbul	High sludge formation	High sediment
12	5/11/19	24/12/19	Rotterdam	Clogged drain pipe due to hard asphalt	N/A
13	3/11/19	22/12/19	Yeosu	Piston Ring Breakage in M.E , excess sludge generation in purifier	N/A

Πίνακας 13: Τεχνικά προβλήματα μετά την χρήση VLSFO

(THE VISWA GROUP, 2019)



Σχέδιο 11: Δημιουργία ιζήματος σε σωληνώσεις λόγω χρήσης VLSFO

(THE VISWA GROUP, 2019)

Παρατηρούμε από την παραπάνω τεχνική αναφορά πως τα μεγαλύτερα τεχνικά ζητήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης από την χρήση των VLSFO είναι η δημιουργία ιζήματος καθώς σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις βρέθηκε μεγάλη ποσότητα ιζήματος (Sludge) σε διαχωριστές καυσίμου -(purifiers ) καταστρέφοντας διάφορα μέρη τους αλλά σημειώθηκε και πήξη του καυσίμου στις δεξαμενές δημιουργώντας ζημίες τόσο στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και της κύριας μηχανής του σκάφους.

Είναι φανερό πώς με την χρήση συμμορφωμένων καυσίμων VLSFO υπάρχει τήρηση στο ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου, οδηγώντας όμως ταυτόχρονα σε σοβαρές επιπτώσεις στην λειτουργία του πλοίου δημιουργώντας κινδύνους και προβλήματα που ενδέχεται να έχουν πολύ υψηλά κόστη για τους πλοιοκτήτες.

Χρήση VLSFO				
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Δεν χρειάζονται σημαντικές τροποποιήσεις στην λειτουργία του πλοίου παρά μόνο τροποποιήσεις σε συστήματα καθαρισμού δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμου.		Τα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καύσιμα είναι φθηνότερα στην αγορά σε σχέση με τα υπόλοιπα αποστάγματα πετρελαίου που μπορούν να έχουν χρήση στην ναυτιλία.	
<b>Μειονεκτήματα</b>	Αβεβαιότητα με την διαθεσιμότητα σε κάθε λιμάνι	Αποτελούν μείγματα διαφορετικών συστατικών με κίνδυνο αστάθειας.	Αναφέρθηκαν περιπτώσεις καύσιμα τηρούσαν τις προδιαγραφές ISO 8217 στον εφοδιασμό ενώ στην συνέχεια σημειώθηκε αστάθεια	VLSFO με υψηλή περιεκτικότητα σε παραφίνη έχουν χαμηλή θερμοκρασία πήξης. Παρατηρείται επίσης φθορά στον κύλινδρο του κινητήρα λόγω μειωμένης λιπαντικής ιδιότητας.

πίνακας 14: Αξιολόγηση VLSFO

### Χρήση διαφορετικών αποσταγμάτων πετρελαίου (Distillate Fuels)

Ένας τρίτος τρόπος συμμόρφωσης στον κανονισμό που έθεσε ο IMO για τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα είναι η μετάβαση σε διαφορετικά αποστάγματα πετρελαίου που χρησιμοποιούνται ως ναυτιλιακά καύσιμα. Ως γνωστών η χρήση καυσίμων χαμηλής ποιότητας όπως το βαρύ μαζούτ (HFO) ήταν περιορισμένη σε περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA). Παρόλο αυτά γινόταν χρήση τέτοιων καυσίμων σχεδόν σε όλα τα υπόλοιπα ύδατα κάτι το οποίο τα τελευταία χρόνια λόγω της μείωσης του ανώτατου παγκόσμιου ορίου περιεκτικότητας σε θείο 0,5% δεν συμβαίνει πια. Η ναυτιλιακή δραστηριότητα αναγκάστηκε να στραφεί από την χρήση υπολειμμάτων διύλισης σε πιο καθαρά αποστάγματα πετρελαίου με πιο διαδεδομένα το Marine Gas Oil (MGO) και το Marine Diesel Oil (MDO), όπου το πρώτο πρόκειται για ένα καθαρότερο απόσταγμα που παράγεται από την διαδικασία της διύλισης ενώ το δεύτερο δημιουργείται από την μείξη MGO και βαρύ υπολείμματος μαζούτ (HFO). Με την διαρκώς μεταβαλλόμενη τεχνολογία στην λειτουργία των πλοίων αλλά και τις ενδεχόμενες τροποποιήσεις στους κανονισμούς περί των εκπομπών το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) θεωρείται το “καύσιμο του μέλλοντος” ωστόσο η ναυτιλιακή βιομηχανία δεν έχει προσαρμοστεί πλήρως για μία τέτοια ριζική μετάβαση καθώς οι αλλαγές που απαιτούνται στην μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου για να λειτουργήσει με τέτοιο καύσιμο είναι ολοκληρωτικές με μεγάλο κόστος και χρόνο αυτό έχει ως αποτέλεσμα το (MGO) να εξακολουθεί να είναι μία από τις προτιμώμενες λύσεις καθαρότερων καυσίμων που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Το Marine Gas Oil που χρησιμοποιείται στα πλοία είναι μίγμα αποστάγματος πετρελαίου δύλισης μικρού κύκλου (Low Cycle Gas Oil- LCGO) με περιεκτικότητα περίπου 60% αρωματικών στοιχείων. Η πυκνότητα του καυσίμου επηρεάζεται από την υψηλή αρωματική φύση με τιμές περίπου στα 860kg/m<sup>3</sup> στην θερμοκρασία των 15 κελσίου. Τα αποστάγματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε ομάδες ανάλογα την περιεκτικότητά τους σε θείο, έτσι προκύπτουν :

- (Low Sulphur Fuel Oil-LSFO) : Προϊόντα με περιεκτικότητα σε θείο κατά βάρος μεγαλύτερη από 0,10% τηρώντας όμως το παγκόσμιο όριο θείου 0,5%.
- ( Ultra Low Sulphur Fuel Oil-ULSFO): Καύσιμα με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο κατά βάρος 0,10% τηρώντας και τα ανώτατα όρια σε περιοχές ελέγχου εκπομπών.

Σημαντικό ρόλο στα αποστάγματα αυτά που χρησιμοποιούνται ως ναυτιλιακά καύσιμα έχει ο δείκτης κετανίου καθώς ορίζει την ποιότητα ανάφλεξης στην διαδικασία της καύσης του κινητήρα. Γενικά ένας κινητήρας με υψηλές στροφές λειτουργείας απαιτεί καύσιμο με μεγάλο δείκτη κετανίου ωστόσο σημαντικό ζήτημα αυτών των καυσίμων αποτελεί το χαμηλό σημείο ανάφλεξης με τον SOLAS ( International Convention For the Safety of Life at Sea) να έχει απαίτηση ο χώρος αποθήκευσης του καυσίμου να μην ξεπερνάει τους 60 βαθμούς κελσίου λόγω πιθανής αυτανάφλεξης κάτι που θα οδηγήσει σε ολέθριες συνέπειες για το πλοίο.

#### Προβλήματα λόγω της χρήσης καθαρότερων καυσίμων.

Ωστόσο η χρήση νέων καθαρότερων αποσταγμάτων ως ναυτιλιακά καύσιμα πέρα από την συμμόρφωση με τον κανονισμό (Marpol Annex Vi) εγείρει κινδύνους για την ασφαλή και ορθή λειτουργία του πλοίου. Οι σημαντικότεροι από αυτούς τους κινδύνους και τα προβλήματα αναφέρονται παρακάτω.

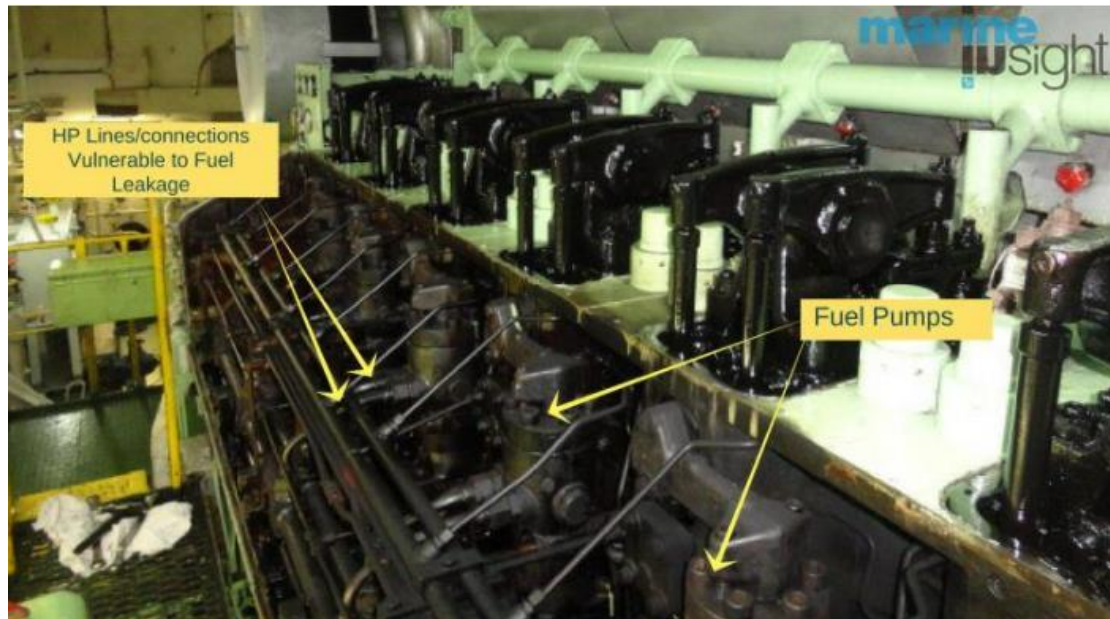
Σε καύσιμα νοθευμένα, λόγω της παρουσίας νερού προκαλείται μικροβιακή μόλυνση από διάφορα βακτήρια και μύκητες που δημιουργούνται λόγω της ύπαρξης του νερού. Το μολυσμένο καύσιμο είναι ικανό να προκαλέσει προβλήματα στην λειτουργία του κινητήρα όπως τα βουλωμένα φίλτρα καυσίμου καθώς και προβλήματα στις αντλίες του καυσίμου. Το καύσιμο το οποίο έχει υποστεί μικροβιακή μόλυνση έχει χαρακτηριστικά όπως :

- Θολή εμφάνιση με κηλίδες στην επιφάνεια του καυσίμου.
- Αιωρούμενες ακαθαρσίες στο καύσιμο
- Παρουσία κολλώδους στρώματος διεπαφής μεταξύ νερού και καυσίμου.

Επιπλέον προβλήματα μπορεί να προκαλέσει το ελάχιστο ιξώδες που έχει το MGO καθώς τα συστήματα του κινητήρα και των αντλιών δεν είναι σχεδιασμένα για τόσο χαμηλό ιξώδες κάτι που οδηγεί σε ανεπαρκή υδροδυναμική λίπανση των συστημάτων προκαλώντας φθορές στις επιφάνειές τριβής. Το χαμηλό αυτό ιξώδες μπορεί να προκαλέσει επίσης διαρροή καυσίμου μεταξύ των εμβόλων της αντλίας όπου ενδέχεται οι αντλίες λόγω της διαρροής να μην παρέχουν το καύσιμο στην απαιτούμενη πίεση γεγονός που παρεμποδίζει την ορθή λειτουργία του κινητήρα και την παραγωγή της απαιτούμενης σχεδιασμένης



ισχύος.



Σχέδιο 12: Σημεία διαρροής καυσίμου χαμηλού ιξώδους σε αντλίες παροχής Ηλεκτροκινητήρα.

(Marine Insight, 2021)

Χρήση Distillate Fuels				
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Δεν χρειάζονται σημαντικές τροποποιήσεις στην λειτουργία του σκάφους	Απλή διαδικασία μεταβάσεις από (LSFMGO) 0,5% σε (ULSMGO) 0,1% κατά την διέλευση ECA	Καθαρότερο καύσιμο με μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης και μειωμένο κίνδυνο στον κινητήρα	
<b>Μειονεκτήματα</b>	Πολύ ακριβότερο σε σχέση με υπολείμματα διύλισης υψηλής περιεκτικότητας σε θείο	Αβεβαιότητα σχετικά με την διαθεσιμότητα σε κάθε λιμάνι	Πιθανά προβλήματα με χαρακτηριστικά της ροής ορισμένων αποσταγμάτων	Αναφορές για σημεία αυτανάφλεξης σε θερμοκρασίες κάτω των 60 βαθμών που ορίζεται ως ελάχιστη σύμφωνα με SOLAS

Πίνακας 15: Αξιολόγηση χρήσης Distillate Fuels.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Αξιολόγηση κανονισμού στο άμεσο μέλλον.

### Περίληψη Μελέτης.

Στο παρών κεφάλαιο θα μελετηθεί η επίδραση του κανονισμού του IMO ( Marpol Annex VI 14 Regulation) και θα γίνει εκτίμηση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου σε παγκόσμιο επίπεδο με στόχο να αξιολογηθεί η νέα τροποποίηση του κανονισμού. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ( IMO), έχει εφαρμόσει πρότυπα για την μείωση της ρύπανσης από το διοξείδιο του θείου λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας. Αυτά τα πρότυπα απαιτούν μείωση της περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα από το μέγιστο ποσοστό 3,5% κατά μάζα (μετά τη 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2012) σε 0.5% περιεκτικότητα θείου (μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2020). Με επιπλέον αυστηρότερη μείωση στο 0,1 % στις περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) από το 2015. Στα παρακάτω εδάφια θα γίνει εκτίμηση των εκπομπών διοξειδίου του θείου και της αποτελεσματικότητας του κανονισμού με την εφαρμογή αυτού του παγκόσμιου ανώτατου ορίου περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα και θα εκτιμηθεί η πιθανή αύξηση των αέριων ρύπων λόγω της ανάπτυξης του ναυτιλιακού κλάδου στο άμεσο μέλλον για το έτος 2025. Ειδικότερα θα προσδιορίσουμε τις εκτιμώμενες εκπομπές από την ναυτιλιακή δραστηριότητα με την εφαρμογή του νέου παγκόσμιου ορίου που έθεσε ο IMO και θα εκτιμήσουμε την επίδραση του κανονισμού στην ανθρώπινη υγεία καθώς η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου οδηγεί σε ταυτόχρονη μείωση των πρόωρων θανάτων λόγω καρδιοαναπνευστικών προβλημάτων που οφείλονται στην ύπαρξη αυτών των ρύπων στην ατμόσφαιρα . Στην μελέτη εφαρμόζεται μεθοδολογία σύμφωνα με την οποία οι απογραφές των γεωχωρικών εκπομπών της ναυτιλίας μεταφράζονται σε ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στην ξηρά. Θα γίνει επίσης εκτίμηση της μείωσης των πρόωρων θανάτων στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης με την εφαρμογή του κανονισμού λόγω καρδιοαναπνευστικών προβλημάτων υγείας και καρκίνου του πνεύμονα που οφείλονται από την έκθεση στους ρύπους του διοξειδίου του θείου καθώς και η εκτιμώμενη μείωση στην περίπτωση που η μεσόγειος θάλασσα ορισθεί ως περιοχή ελέγχου εκπομπών.

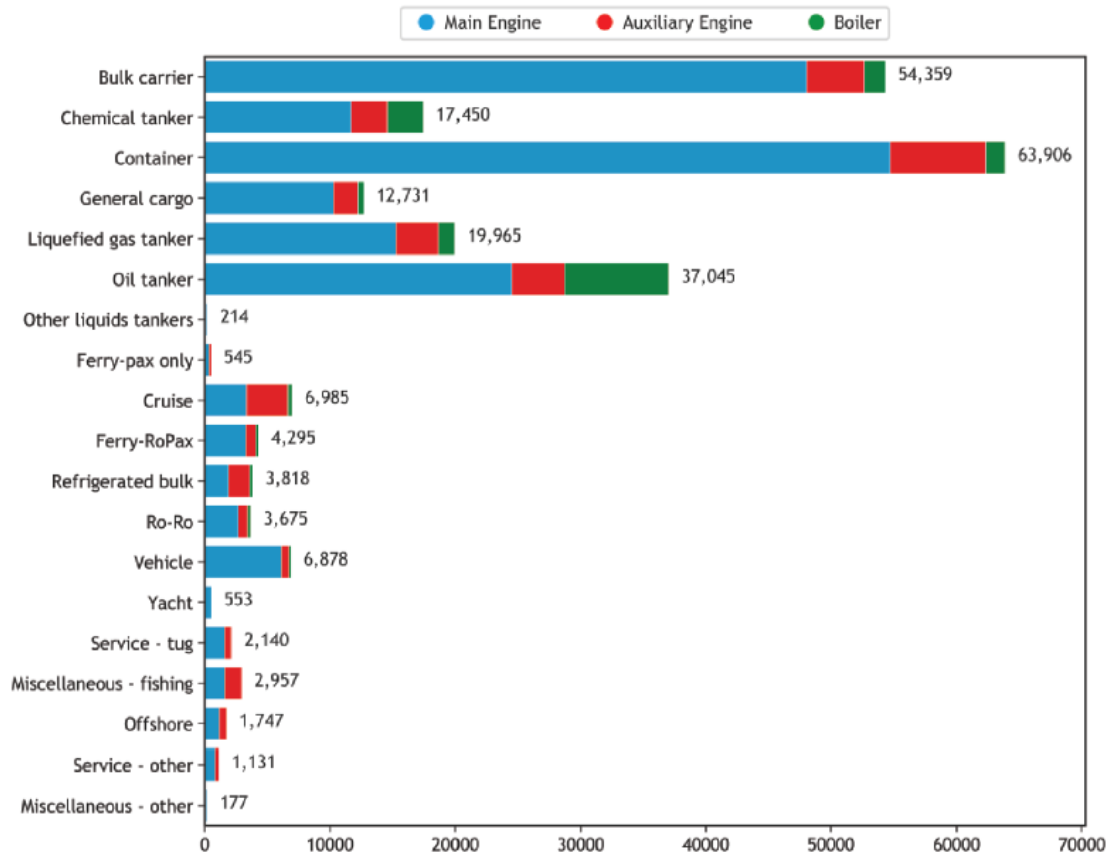
### Εισαγωγή στην Μελέτη.

Η μείωση του παγκόσμιου ανώτατου ορίου περιεκτικότητας σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα (0,5% outside ECA) θα επιφέρει ανάλογες μειώσεις και στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα. Χωρίς αμφιβολία με την εφαρμογή της νέας τροποποίησης του κανονισμού του IMO θα υπάρξει ραγδαία μεταβολή τις εκπομπές διοξειδίου του θείου καθώς και τις συγκεντρώσεις θειικών σωματιδίων (PM) σε σχέση με την χρήση καυσίμου HFO 3.5% τόσο στην ατμόσφαιρα πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές όσο και την ατμόσφαιρα της ξηράς.

### Εκτίμηση Κατανάλωσης Καυσίμου.

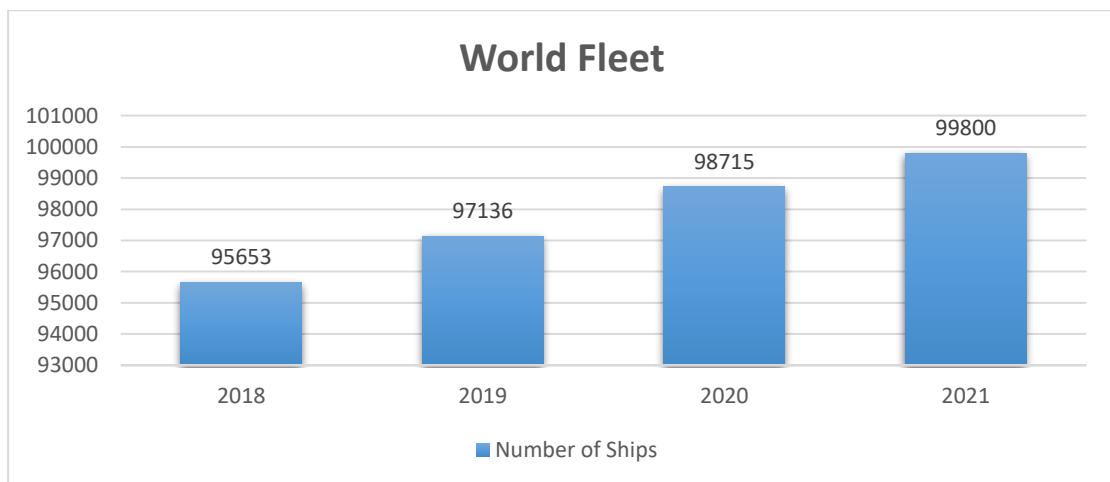
Από την 4<sup>η</sup> μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου σύμφωνα με το διάγραμμα 12 η συνολική ετήσια κατανάλωση για το έτος 2018 αντιστοιχεί σε 240.571.000 τόνους καυσίμου HFO που αποτελεί το 76,7% της χρήσης των ναυτιλιακών καυσίμων (19,6% MDO, 3,6% LNG, 0.05% METHANOL) από την ναυτιλιακή δραστηριότητα του παγκόσμιου στόλου που ανέρχεται στα 95.653 πλοία για το συγκεκριμένο έτος. Για το έτος 2020 βλέπουμε ότι ο παγκόσμιος στόλος ανέρχεται συνολικά στα 98.715 σκάφη μία αύξηση που αντιστοιχεί στο **3,10%** σε σχέση με το 2018. Επομένως για το έτος 2020 συνολική κατανάλωση καυσίμου θα υποστεί αύξηση που οφείλεται στην επέκταση του παγκόσμιου στόλου. Τα αποτελέσματα των αυξήσεων αυτών δίνονται στον παρακάτω πίνακα όπου γίνεται και η εκτίμηση των

ναυτιλιακών καυσίμων που θα καταναλωθούν το έτος 2025( η αύξηση του παγκόσμιου στόλου για το 2025 υπολογίσθηκε κατά **9.35%** σε σχέση με το 2018 το οποίο προέκυψε από το μέσο όρο αθροιστικά για κάθε χρονιά) υποθέτοντας ότι θα έχουμε παρόμοια αναμενόμενη ανάπτυξη του ναυτιλιακού τομέα όπως την προηγούμενη τετραετία (2018-2021).



Διάγραμμα 12: Ετήσια κατανάλωση Ναυτιλιακού ΗΦΟ 3.5% 2018

(INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2020)



Διάγραμμα 13: Παγκόσμιος στόλος για τα έτη 2018-2021

(UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT, 2022)

	2018	2019	2020	2021	2025
<b>Στόλος</b>	95653	97136	98715	99800	105517
<b>Αύξηση %</b>	-	1.52%	1.61%	1.08%	9.35% (έτος αναφοράς 2018)
<b>HFO 3,5%</b>	240.571.000	244.227.679	248.159.744	250.869.869	264.195.072
<b>Marine D. Oil</b>	61470000	-	63394011	-	67506354
<b>Methanol</b>	160000	-	165008	-	175712
<b>LNG</b>	11340000	-	11694942	-	12453588
<b>TOTAL</b>	313.541.000	-	323.260.771	-	342.857.084

Πίνακας 16: Εκτίμηση Κατανάλωσης στο άμεσο μέλλον(tonnes).

Βλέπουμε λοιπόν ότι στο 2020 αντιστοιχεί κατανάλωση 248.160.000 τόνων HFO 3.5% ενώ για το έτος 2025 βρίσκουμε ότι εκτιμάται μια κατανάλωση που αντιστοιχεί στους 264.195.072 τόνους. Αντίστοιχα γίνεται εκτίμηση στις αυξήσεις που θα έχουν τα υπόλοιπα καύσιμα σε περίπτωση τα επόμενα χρόνια η ναυτιλία διατηρήσει το ίδιο ποσοστό στην στην χρήση διαφορετικών τύπων καυσίμου όπως LNG – Μεθανόλη – Marine Diesel Oil.

#### Απογραφές εκπομπών.

Οι εκπομπές των οξειδίων του θείου ποικίλλουν ανάλογα με την κατανάλωση καυσίμου και την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο η με την χρήση εγκατεστημένων scrubber. Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου του 2020 ο συντελεστής εκπομπών διοξειδίων του θείου υπολογίζεται ως:

$$E.F_{SO_2} = 2 \times 0.97753 \times S \frac{gSO_2}{gFuel}$$

Η εξίσωση αυτή αντανακλά την υπόθεση ότι το 0,97753 του θείου στο καύσιμο μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) καθώς το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θειικό αεροζόλ, το 2 αντανακλά την αναλογία του μοριακού βάρους του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) στο θείο που περιέχει το καύσιμο. Με τον όρο S ορίζουμε την περιεκτικότητα του καυσίμου στο θείο, στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συντελεστές εκπομπών διοξειδίου του θείου για τα διάφορα ναυτιλιακά καύσιμα.

Emission Factor So <sub>2</sub> kg/tn Fuel						
HFO (3.5%)	VLSFO (0.5%)	ULSFO (0,1%)	MDO-MGO	LNG	EGCS	Methanol
68.42	9.775	1.995	1.65	0.03	0.53	0,000829

Πίνακας 17: Emission factor καυσίμων.

(η μεθανόλη δεν έχει μηδενικές εκπομπές θείου καθώς κατά την καύση της χρειάζεται ανάμιξη με άλλο καύσιμο στους κινητήρες αυτανάφλεξης)

Στην συγκεκριμένη έρευνα κατασκευάσαμε απογραφές εκπομπών λόγω των θαλάσσιων μεταφορών σύμφωνα με 5 διαφορετικά σενάρια .Γνωρίζοντας πως η ναυτιλιακή δραστηριότητα κατανέμεται περίπου στο 35% σε περιοχές ελέγχου εκπομπών με ανώτατο όριο περιεκτικότητας 0,1% σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα και 65% σε περιοχές που υπακούν με ανώτατο όριο 0,5% περιεκτικότητας σε θείο κάνουμε εκτίμηση εκπομπών για το έτος 2020 χωρίς και με την εφαρμογή του παγκόσμιου ανώτατου ορίου.

Για το έτος 2020 πριν και μετά τη τροποποίηση του κανονισμού υπολογίστηκαν οι παρακάτω ποσότητες ρύπων αντίστοιχα εκτός και εντός ECA (65% της κατανάλωσης για global , 35% της κατανάλωσης θεωρήθηκε σε δραστηριότητες σε ECA)

Η εκπομπές διοξειδίου του θείου υπολογίστηκαν με την χρήση του παρακάτω τύπου.

$$EM_i = FC_i * E.F_{SO_2} (kg)$$

Κατηγορία	Ρύποι so2 (τόνοι)	Ρύποι so2 (τόνοι)	Ρύποι so2 (τόνοι)
	2020 (3.5%) GLOBAL	2020(0.5%) GLOBAL	2020 ECAS
Fuel HFO/ VLSFO	10.552.569	1.503.334	161.898
Scrubber	3.905	3.905	2.103
MDO	67.953	67.953	36.590
LNG	227	227	122
METHANOL	0,174	0,174	0.093
<b>TOTAL</b>	<b>10.594.653</b>	<b>1.575.419</b>	<b>200.712</b>

Πίνακας 18: Εκπομπές So2 για το 2020

Με το προηγούμενο ανώτατο όριο (3,5%) οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του θείου αντιστοιχούν σε 10.795.366 τόνους ενώ με την εφαρμογή της νέας τροποποίησης σε **1.776.131** τόνους . Η μείωση μόνο με την χρήση καυσίμου χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο αντιστοιχεί σε ποσοστό **(83,54%)**. Είναι φανερό πως η νέα τροποποίηση έχει άμεση επίπτωση στις μειώσεις του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα

Παρακάτω κάνουμε εκτίμηση εκπομπών για 5 διαφορετικές περιπτώσεις ανάπτυξης και συμμόρφωσης του παγκόσμιου στόλου στο άμεσο μέλλον συγκεκριμένα για το έτος 2025 έγινε εκτίμηση για τις εξής περιπτώσεις.

- 1. Στην πρώτη περίπτωση** εκτίμησης εκπομπών για το άμεσο μέλλον υποθέσαμε πως τα νέα πλοία θα συμμορφωθούν με την χρήση VLSFO εκτός ECA και με ULSFO εντός( άρα θα έχουμε αύξηση στην κατανάλωση αυτών των καυσίμων για το έτος 2025 ενώ τα υπόλοιπα θα παραμείνουν ως έχουν.) Τα αποτελέσματα των εκπομπών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 GLOBAL	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 ECAS	ΡΥΠΟΙ Global 2025	ΡΥΠΟΙ ECA 2025
VLSFO(0.5%)	166.798.895	0	1.630.459	0
ULSFO(0,1%)	0	93.638.063	0	183.062
Scrubber	7.367.903	3.967.332	3.905	2.103
MDO	41.183.442	22.175.689	67.953	36.590
LNG	7.564.302	4.073.086	227	122
METHANOL	210.120	113.141	0,174	0.093
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>1.702.544</b>	<b>221.877</b>
	2020 Emissions=1.776.131		<b>2025 Emissions=1.924.421</b>	

Πίνακας 19 Εκπομπές SO2 2025 1ης περίπτωσης

Στην περίπτωση που ο νέος στόλος συμμορφωθεί με VLSFO και ULSFO σημειώνεται αύξηση στους συνολικούς ρύπους (1.924.421 τόνοι So2) για το έτος **2025 κατά 7,7%** σε σχέση με το έτος 2020.

2. Στην δεύτερη περίπτωση ο νέος στόλος εξοπλίζεται με EGCS ενώ τα παλαιότερα πλοία όπως ήδη υπάκουαν στον κανονισμό αυτό θα επιφέρει αύξηση στην κατανάλωση (HFO των Scrubber ενώ οι υπόλοιπες καταναλώσεις θα μείνουν ως έχουν.)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 GLOBAL	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 ECAS	ΡΥΠΟΙ Global 2025	ΡΥΠΟΙ ECA 2025
VLSFO(0.5%)	153.793.754	0	1.503.334	0
ULSFO(0,1%)	0	82.812.022	0	183.062
Scrubber	20.105.506	10.826.040	10.656	2.103
MDO	41.183.442	22.175.689	67.953	36.590
LNG	7.564.302	4.073.086	227	122
METHANOL	210.120	113.141	0,174	0.093
TOTAL	-	-	1.582.170	204.347
	2020 Emissions=1.776.131		<b>2025 Emissions=1.786.517</b>	

Πίνακας 20 Εκπομπές SO2 2025 2ης περίπτωσης

Στην περίπτωση που ο νέος στόλος συμμορφωθεί με την χρήση scrubber σημειώνεται αύξηση στους ρύπους για το έτος **2025 κατά 0.58% που αντιστοιχεί μόλις σε 10386 τόνους.**

3. Στην τρίτη περίπτωση ο νέος στόλος κάνει χρήση MDO για την συμμόρφωση με το ανώτατο όριο του κανονισμού άρα έχουμε αύξηση στην κατανάλωση MDO ενώ τα υπόλοιπα πλοία υπακούν όπως πριν.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 GLOBAL	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 ECAS	ΡΥΠΟΙ Global 2025	ΡΥΠΟΙ ECA 2025
VLSFO(0.5%)	153.793.754	0	1.503.334	0
ULSFO(0,1%)	0	82.812.022	0	183.062
Scrubber	7.367.903	3.968.332	3.905	2.103
MDO	53.921.025	29.034.398	88.970	36.590
LNG	7.564.302	4.073.086	227	122
METHANOL	210.120	113.141	0,174	0.093
TOTAL	-	-	1.596.436	212.029
	2020 Emissions=1.776.131		<b>2025 Emissions=1.808.465</b>	

Πίνακας 21 Εκπομπές SO2 2025 3ης περίπτωσης

Στην περίπτωση που ο νέος στόλος συμμορφωθεί με την χρήση MDO σημειώνεται αύξηση στους ρύπους για το έτος **2025 κατά 1.79%.**

4. Στην τέταρτη περίπτωση ο νεόκτιστος στόλος κάνει χρήση LNG την ώρα που ο παλιός συμμορφώνεται ως έχειν.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 GLOBAL	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 ECAS	ΡΥΠΟΙ Global 2025	ΡΥΠΟΙ ECA 2025
VLSFO(0.5%)	153.793.754	0	1.503.334	0
ULSFO(0,1%)	0	82.812.022	0	183.062
Scrubber	7.367.903	3.968.332	3.905	2.103
MDO	41.183.442	22.175.689	67.953	36.590
LNG	20.301.905	10.931.795	609	328
METHANOL	210.120	113.141	0,174	0.093
TOTAL	-	-	1.575.801	200.918
	2020 Emissions=1.776.131		<b>2025 Emissions=1.776.719</b>	

Πίνακας 22 Εκπομπές SO2 2025 4ης περίπτωσης

Στην περίπτωση που ο νέος στόλος συμμορφωθεί με την χρήση LNG σημειώνεται αύξηση στους ρύπους για το έτος **2025 κατά 0.033%** μικρότερη από κάθε άλλη περίπτωση.

5. Τέλος έχουμε το ρεαλιστικό σενάριο όπου ο γηραιότερος στόλος εξοπλίζεται με EGCS ενώ ο νέος αναπτύσσεται τόσο με την χρήση καυσίμου MDO- LNG- METHANOL.

Στην περίπτωση αυτή εκτιμήθηκε ότι το 2025 θα έχουν εξοπλιστεί με scrubber περίπου **14911 πλοία ποσοστό 14.13%** του στόλου. ( Αυτό θα οδηγήσει στην μείωση της χρήσης VLSFO ULSFO του παλαιότερου στόλου καθώς πλέον θα συμμορφώνονται με τη χρήση EGCS περισσότερα παλιά πλοία.) Επιπλέον θα αυξηθεί η χρήση καυσίμων LNG-MDO και μεθανόλης από την ναυτιλιακή δραστηριότητα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 GLOBAL	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ 2025 ECAS	ΡΥΠΟΙ Global 2025	ΡΥΠΟΙ ECA 2025
VLSFO(0.5%)	146.886.362	0	1.434.739	0
ULSFO(0,1%)	0	79.033.426	0	154.510
Scrubber	24.155.037	13.006.558	12.802	6.893
MDO	43.689.992	23.519.996	72.072	38.808
LNG	8.022.856	4.319.999	241	130
METHANOL	222.857	120.000	0.184	0.099
TOTAL	-	-	1.519.854	200.342
	2020 Emissions=1.776.131		<b>2025 Emissions=1.720.195</b>	

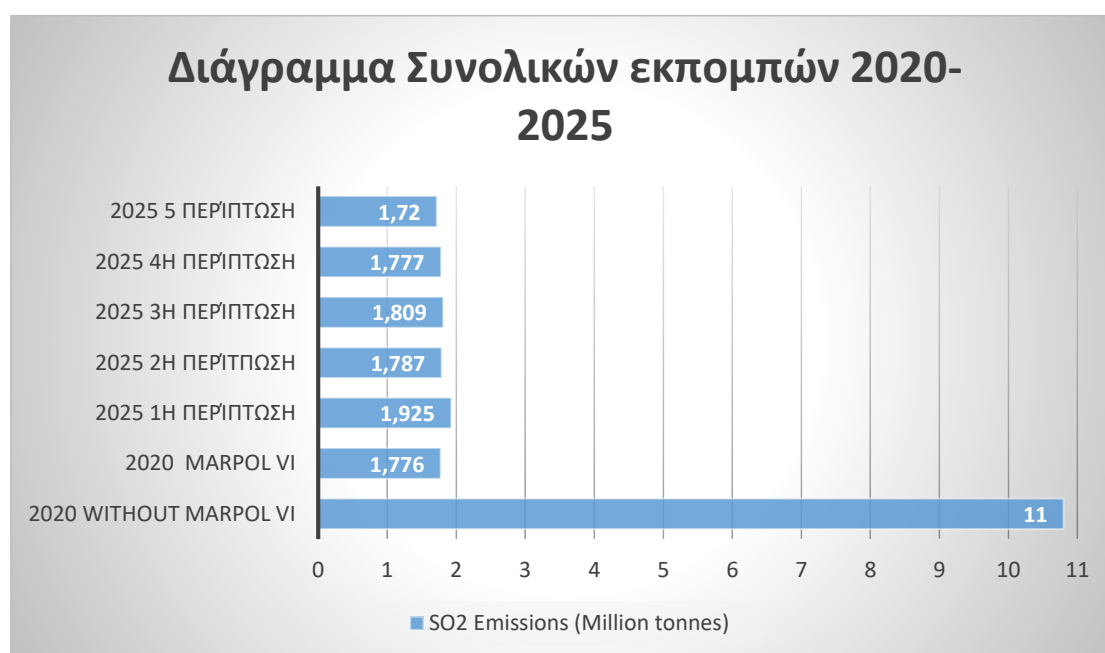
Πίνακας 23 Εκπομπές SO2 2025 5ης περίπτωσης

Στο ρεαλιστικό σενάριο όπου ο παλαιότερος στόλος εξοπλίζεται με Scrubber ενώ ο νεόκτιστος στρέφεται τόσο στην χρήση LNG-MDO-Methanol παρατηρούμε ότι έχουμε ποσοστό **μείωσης των ρύπων για το έτος 2025 ίσο με 3,25%** αυτό συμβαίνει γιατί η χρήση VLSFO-ULSFO μειώνεται καθώς στρεφόμαστε σε άλλα καύσιμα με χαμηλότερους ρύπους την ώρα που ο ήδη υπάρχων στόλος μειώνει της εκπομπές από αυτά τα καύσιμα με την χρήση των EGCS.

## Αποτελέσματα.

	2020	1 <sup>η</sup> περίπτωση	2 <sup>η</sup> περίπτωση	3 <sup>η</sup> περίπτωση	4 <sup>η</sup> περίπτωση	5 <sup>η</sup> περίπτωση
<b>Ρύποι</b>	1.776.131	1.924.421	1.786.517	1.808.465	1.776.719	1.720.195
<b>Ποσοστό με 2020</b>		<b>+7,70%</b>	<b>+0,58%</b>	<b>+1,78%</b>	<b>+0,033%</b>	<b>-3,25%</b>

Πίνακας 24 Συγκεντρωτικός πίνακας εκπομπών.



Διάγραμμα 14: Συνολικές εκπομπές 2020-2025

Συμπερασματικά καταλήγουμε με βάση τις παραπάνω περιπτώσεις πως η χρήση LNG οδηγεί στις χαμηλότερες αυξήσεις των εκπομπών με αύξηση 0,033% για το άμεσο μέλλον την ώρα που όσο ο παλαιότερος στόλος κάνει χρήση EGCS έχουμε το ιδανικό σενάριο μείωσης εκπομπών.

Επομένως η ναυτιλιακή δραστηριότητα οφείλει να στραφεί προς νέα εναλλακτικά καύσιμα μηδενικών εκπομπών (Μαθανόλη-αμμωνία-Υδρογόνο) χρησιμοποιώντας το LNG ως καύσιμο μετάβασης και να εξοπλιστεί ο γηραιότερος στόλος με EGCS ώστε να έχουμε όσον το δυνατόν λιγότερες εκπομπές από τα παλαιά πλοία και στο προσεχές μέλλον να απαλλαγούμε τελείως από της εκπομπές διοξειδίου του θείου που οφείλονται στην ναυτιλιακή δραστηριότητα.



### Εκτίμηση επιπτώσεων στην υγεία.

Στο συγκεκριμένο εδάφιο με την χρήση λογαριθμικών συναρτήσεων συγκεντρώσεων – απόκρισης θα εκτιμήσουμε τους αναμενόμενους θανάτους από καρδιαναπνευστικά αίτια και καρκίνου του πνεύμονα λόγω των εκπομπών των πλοίων στην νότια Ευρώπη λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας στην Μεσόγειο θάλασσα για το έτος 2020 χωρίς αλλά και με την εφαρμογή της τροποποίησης του κανονισμού για τον περιορισμό των οξειδίων του θείου. Ποιο συγκεκριμένα οι θάνατοι οφείλονται στην έκθεση του ανθρώπου σε συγκεντρώσεις ρύπων  $PM_{2.5}$  οι οποίοι εξαρτιούνται άμεσα από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα.

**Στην μεσόγειο θάλασσα σημειώνεται περίπου το 20% της παγκόσμιας ναυτιλιακής δραστηριότητας** σύμφωνα με τον IMO η περιοχή αυτή θα ορισθεί ως περιοχή ελέγχου εκπομπών το έτος 2024 κάτι που θα οδηγήσει σε περεταίρω μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου στην νότια Ευρώπη.

Ο υπολογισμός των πρόωρων θανάτων ανά χρόνο υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο

$$E = P * I * \left\{ 1 - \frac{1}{e^{\beta(C-C_0)}} \right\} \quad (\text{National Library of Medicine, 2019})$$

Όπου :

E: Εκτιμώμενοι θάνατοι ανά χρόνο.

P: Πληθυσμός που εκτίθεται.

151.793.427 Νότια Ευρώπη (Worldometer, 2022)

I: Αντιπροσωπεύει την συχνότητα της επίδρασης στην υγεία μιας δεδομένης ασθένειας.

$I_{\text{LungCancer}} = 2.55 * 10^{-4}$  (Lindsey A. Torre, Freddie Bray, Rebecca L. Siegel, Jacques Ferlay, Joannie Lortet-Tieulent, Ahmedin Jemal, 2012)

$I_{\text{Cardiopulmonary}} = 4 * 10^{-4}$  (World Health Organization, 2004)

$\beta$ : Συντελεστής συναρτήσεων κινδύνου για την θνησιμότητα σε έκθεση PM

$\beta_{\text{LungCancer}} = 0,01267$  (Bart Ostro- World Health Organization, 2014)

$\beta_{\text{Cardiopulmonary}} = 0,00893$  (Bart Ostro- World Health Organization, 2014)

C: Αναφέρεται στις συγκεντρώσεις ρύπων  $PM_{2.5}$  στην περιοχή που γίνεται η εκτίμηση. Το  $C_0$  αναφέρεται ως Background Concentration ή Threshold λαμβάνεται ως 0 στην δική μας περίπτωση. (National Library of Medicine, 2019)

$C_1$ :  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Εκτιμώμενη συγκέντρωση ρύπων αποκλειστικά από την ναυτιλιακή δραστηριότητα στην νότια Ευρώπη χωρίς την εφαρμογή των μέτρων. (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2016)

$C_2$ :  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Εκτιμώμενη συγκέντρωση ρύπων αποκλειστικά από την ναυτιλιακή δραστηριότητα στην νότια Ευρώπη με την εφαρμογή των μέτρων. (INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 2016)

Όπως γνωρίζουμε από το 2024 θα ορισθεί ως ECA υπολογίσαμε λοιπόν της εκπομπές για το 2024 να ανέρχονται στην μεσόγειο σε 40.068 τόνους So2 ποσοστό μειωμένο **κατά 98,11%** σε σχέση με τις εκπομπές πριν την τροποποίηση του 2020 η εκτίμηση των συγκεντρώσεων για τους ρύπους pm2.5 είναι **C3=1.14 mg**

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα τις εκτίμησης των θανάτων στην Νότια Ευρώπη λόγω των ρύπων από την ναυτιλιακή δραστηριότητα στην Μεσόγειο θάλασσα.

Θάνατος Λόγω	2020 με χρήση (3.5%)	2020 με χρήση (0,5%)	2024 ως ECA
<b>ΚΑΡΔΙΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ</b>	<b>1868</b>	<b>808</b>	<b>616</b>
<b>ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΠΝΕΥΜΟΝΑ</b>	<b>1679</b>	<b>729</b>	<b>556</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3547</b>	<b>1537</b>	<b>1173</b>

Πίνακας 25 εκτίμηση θανάτων στην νότια Ευρώπη.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε στην εκτίμηση μας συνολική μείωση τουλάχιστον 2010 πρόωρων θανάτων σε ποσοστό μείωσης **57%** στην νότια Ευρώπη με την εφαρμογή του νέου ορίου περιεκτικότητας σε θείο ενώ με την ένταξη της Μεσογείου ως περιοχή ελέγχου εκπομπών η μείωση αντιστοιχεί σε 2374 θανάτους δηλαδή ποσοστό της τάξης του **68%**

#### Συμπέρασμα αξιολόγησης κανονισμού.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως με την παραμονή στην χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO) και την τήρηση του ανώτατου ορίου περιεκτικότητας 0,5% σε θείο στα ναυτιλιακά καύσιμα παρόλο που τα αποτελέσματα είναι άμεσα στην βελτίωση της ατμόσφαιρας και συνεπώς στην υγεία του ανθρώπου θα είναι θέμα μερικών χρόνων μέχρι οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία να πλησιάσουν τις τιμές που είχαν πριν την τροποποίηση του 2020 του διεθνή κανονισμού για τον περιορισμό εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα (Marpol Annex VI Regulation ) του IMO αποτελώντας ξανά σημαντικό πρόβλημα για την ανθρώπινη υγεία οδηγώντας τους επιστήμονες στην αναζήτηση νέων σύγχρονων τρόπων και την υιοθέτηση νέων όλο και πιο αυστηρών κανονισμών για των περαιτέρω μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία αλλά και την μείωση επιπλέον επιβλαβών ρύπων που εκπέμπονται με την καύση των ορυκτών καυσίμων ακόμα και χαμηλής περιεκτικότητας σε στοιχεία που μετατρέπονται μετά την καύση σε βλαβερές χημικές ενώσεις που εκπέμπονται στο περιβάλλον απειλώντας την τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και την ομαλή λειτουργία του οικοσυστήματος και την ποιότητα της ατμόσφαιρας

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Εκτίμηση Μετατροπής Του κανονισμού στο μέλλον.

### Μετάβαση σε “πράσινα” εναλλακτικά καύσιμα.

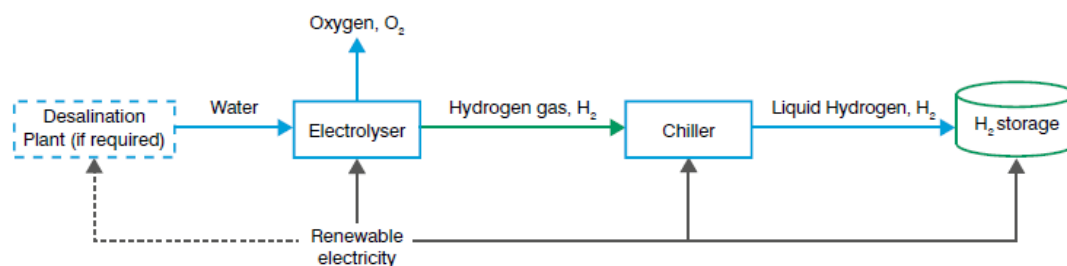
Ως γνωστών ο βασικότερος στόχος των τελευταίων ετών είναι να βρεθεί λύση για την άμεση αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και του περιβαλλοντικού ζητήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όπως έχει αναφερθεί στα πρώτα εδάφια οι εκπομπές διοξειδίων του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό του 3%. Για να επιτευχθούν οι στόχοι της κλιματικής αλλαγής είναι φανερό πως οι εκπομπές ρύπων από διάφορες δραστηριότητες όπως και την ναυτιλιακή θα πρέπει να “εξαλειφθούν”.

Επομένως οι νέες παραγγελίες πλοίων που θα παραδοθούν οφείλουν να έχουν ελάχιστες η αν είναι δυνατόν και μηδενικές εκπομπές κατά την λειτουργία τους στο μέλλον. Τα σκάφη έχουν συνήθως μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20 έτη) επομένως είναι φανερό πως ο σημερινός παγκόσμιος στόλος αποτελείται από πλοία που έχουν σχεδιαστεί με απαιτήσεις προηγούμενων δεκαετιών, ωστόσο θεωρώντας δεδομένη την επανασχεδίαση και την ανανέωση του παγκόσμιου στόλου παρακάτω θα αναλύσουμε τις ενδεχόμενες αλλαγές και τροποποιήσεις που θα ήταν πιθανό να υιοθετηθούν σε νέο νομοθετικό πλαίσιο αλλά ακόμα και σε μετατροπή και τροποποίηση του διεθνούς κανονισμού του IMO με στόχο την μείωση των εκπομπών των διοξειδίων του θείου. Για να επιτευχθεί σημαντική μείωση των εκπομπών από την ναυτιλιακή δραστηριότητα και να δοθεί η δυνατότητα στην ναυτιλία να απαλλαγεί από την χρήση των ορυκτών καυσίμων η μετάβαση σε νέα εναλλακτικά καύσιμα φαίνεται να είναι η πιο ισορροπημένη και εφικτή επιλογή στην οποία ήδη έχει στραφεί η επανασχεδίαση του ναυτιλιακού κλάδου καθώς πέρα από τους ρύπους του διοξειδίου του θείου(SO<sub>2</sub>) σημαντικό πρόβλημα αποτελούν και τα αέρια του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (N<sub>2</sub>O) για τα οποία τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες για τον περιορισμό του. Τα εναλλακτικά καύσιμα όπως η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) το υδρογόνο (H<sub>2</sub>) και η μεθανόλη (CH<sub>3</sub>OH) θα έχουν σημαντικό ρόλο στην μετέπειτα εξέλιξη της ναυτιλίας για την δημιουργία ενός παγκόσμιου στόλου μηδενικών εκπομπών. Τα καύσιμα διαχωρίζονται σε υποκατηγορίες με βάση την ύπαρξη άνθρακα στην χημική τους σύσταση όπως η μεθανόλη ή χωρίς την ύπαρξη άνθρακα όπως το υδρογόνο και η αμμωνία. Τα καύσιμα αυτά ωστόσο έχουν κυριαρχήσει από πολλά υποψήφια εναλλακτικά καύσιμα που έχουν προταθεί στον κλάδο της ναυτιλίας για την μείωση των εκπομπών όπως το υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και η χρήση της βιομάζας και ο λόγος για αυτό είναι ότι θεωρούνται “πράσινα ” καύσιμα καθώς είναι ικανά να παραχθούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ηλεκτρισμού και όχι με τη διαδικασία καύσης η διύλισης ορυκτών καυσίμων η οποία εκπέμπει εξίσου πολλούς και βλαβερούς ρύπους. Το βασικότερο εμπόδιο για την παγκόσμια υιοθέτηση των πράσινων καυσίμων είναι ότι επί του παρόντος η τιμή κόστους ανά μονάδα είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και η άμεση μετάβαση στην χρήση τους από τον σημερινό στόλο του οποίου η λειτουργία δεν είναι εφικτό να υποστηριχτεί απευθείας από αυτά τα καύσιμα. Σε αυτό το σημείο όμως αξίζει να αναφερθεί ότι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει την ισχύ και την ικανότητα με ενδεχόμενες τροποποιήσεις των κανονισμών για τις εκπομπές από την ναυτιλία να υιοθετήσει την χρήση τέτοιων καυσίμων από των ναυτιλιακό κλάδο και να μειώσει τόσο το κόστος παραγωγής όσο και το κόστος διάθεσης αυτών των καυσίμων στην αγορά. Στα επόμενα εδάφια συγκρίνουμε τις τρεις εναλλακτικές “πρασίνων καυσίμων” (Υδρογόνου, Μεθανόλης, Αμμωνίας) τα οποία παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## Διαδικασία Παραγωγής.

### Υδρογόνο ( $H_2$ )

Το υδρογόνο αποτελεί το βασικότερο χημικό στοιχείο σε όλα τα παρακάτω καύσιμα , παρόλο αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ξεχωριστά μόνο του. Η διαδικασία παραγωγής και του υδρογόνου είναι αρκετά απλή καθώς τα συστήματα που χρειάζονται βρίσκονται ήδη σε υψηλή τεχνολογική ανάπτυξη και χρησιμοποιούνται ευρέως ωστόσο όπως θα δούμε παρακάτω αναλυτικότερα το υδρογόνο έχει σημαντικά μειονεκτήματα κυρίως στην διαδικασία αποθήκευσης καθώς πρόκειται για ένα πολύ εύφλεκτο καύσιμο που απαιτεί μεγάλους χώρους αποθήκευσης λόγω της αρκετά μικρότερης ενεργειακής πυκνότητας ( $H_2$  Energy Density:  $1.4 \text{ MWh/m}^3$ ) σε σχέση με το βαρύ μαζούτ ( HFO Energy Density:  $11,7 \text{ MWh/m}^3$ ) (Charles J. McKinlay, Stephen R. Turnock , Dominic A. Hudson, 2021). Επιπλέον για να γίνει η χρήση στον ναυτιλιακό τομέα το υδρογόνο πρέπει να μετατραπεί σε υγρό καύσιμο κάτι το οποίο απαιτεί κρυογονική ψύξη στους  $-253 \text{ }^\circ\text{C}$ . Είναι φανερό πως αυτή η διαδικασία μετατροπής του υδρογόνου καταναλώνει επίσης ενέργεια η οποία μειώνει την συνολική απόδοση του καυσίμου.



Σχέδιο 13: Διαδικασία παραγωγής  $H_2$  ως ναυτιλιακό καύσιμο.

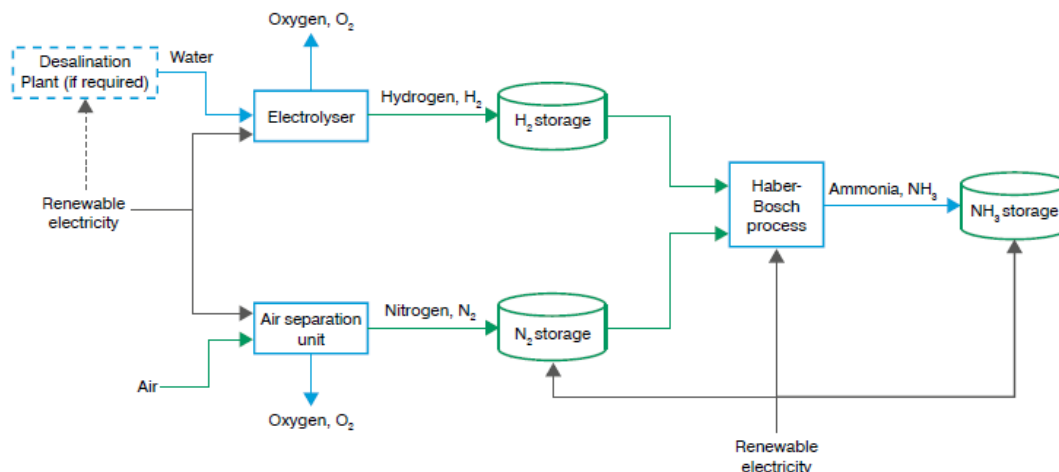
(Nick Ash - Environmental Defense Fund, December 2019)

Όπως φαίνεται και στο σχέδιο η διαδικασία είναι απλή για την παραγωγή του υδρογόνου καθώς με την Ηλεκτρόλυση του νερού και την ψύξη του υδρογόνου που παράγεται ως αέριο αποκτάμε σε μονάδες αποθήκευσης υγρό υδρογόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης και της ψύξης οφείλει να καταναλώνει ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρισμού για να είναι πρακτικά ο κύκλος παραγωγής και χρήσης του υδρογόνου ως καύσιμο μηδενικών εκπομπών.

### Αμμωνία ( $NH_3$ )

Η διαδικασία παραγωγής της αμμωνίας είναι εξίσου τεχνολογικά ώριμη και κατανοητή όπως του υδρογόνου, με την βελτίωση της παραγωγικής διεργασίας Haber-Bosch ώστε να ανταποκρίνεται η λειτουργία της σε ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική η αμμωνία είναι εφικτό να αποτελέσει "πράσινο" καύσιμο για τον κλάδο της ναυτιλίας. Η ενεργειακή πυκνότητα της αμμωνίας ( $NH_3$  Energy Density:  $3,9 \text{ MWh/m}^3$ ) (Charles J. McKinlay, Stephen R. Turnock , Dominic A. Hudson, 2021) είναι μόλις τρεις φορές μικρότερη από τα ήδη υπάρχοντα ναυτιλιακά καύσιμα κάτι που δεν δημιουργεί ζητήματα στην μεταφορά και την αποθήκευσή της ως καύσιμο. Η κύρια πρόκληση για την αμμωνία είναι η τοξικότητα της τόσο για τον άνθρωπο όσο και την υδρόβια ζωή ωστόσο ήδη αποστέλλονται σε όλο τον κόσμο σημαντικά μεγάλες ποσότητες επομένως υπάρχουν ήδη καθιερωμένα διαθέσιμα μέτρα μείωσης κινδύνου στην χρήση και την αποθήκευση

αμμωνίας. Η καύση της αμμωνίας επιπλέον παράγει διοξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ) το οποίο οφείλεται ως γνωστόν για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα τελευταία χρόνια περιορίζονται οι εκπομπές του όλο και σε πιο αυστηρά όρια. Οι εκπομπές βέβαια αυτές δεν αναμένονται να είναι υψηλότερες από τις ήδη παραγόμενες από την χρήση συμβατικών καυσίμων.

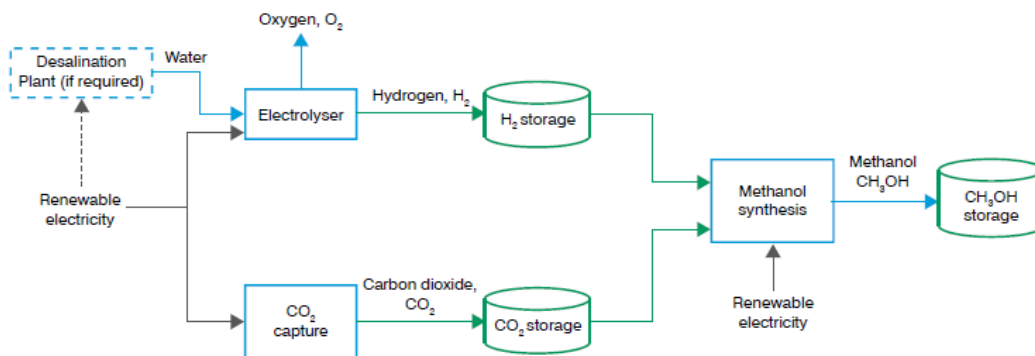


Σχέδιο 14: Διαδικασία παραγωγής Αμμωνίας ως καύσιμο

(Nick Ash - Environmental Defense Fund, December 2019)

### Μεθανόλη ( $CH_3OH$ )

Για την σύνθεση της μεθανόλης υπάρχουν διάφορες επιλογές με διαφορετική τεχνολογική ανάπτυξη και απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας (Mar Perez Fortes, Jan C. Shoneberger, Aikaterini Boylamanti, Evangelos Tzimas, 2016). Τα μειονεκτήματα στην χρήση της μεθανόλης ως ναυτιλιακό καύσιμο προέρχονται από την παρουσία άνθρακα στην χημική του σύνθεση κάτι που κατά την διάρκεια της καύσης οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ). Ο κύκλος παραγωγής της μεθανόλης είναι μια πιο σύνθετη διαδικασία σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο εναλλακτικές καθώς απαιτεί την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα το οποίο αποτελεί βασικό χημικό στοιχείο για την σύνθεση της. Το συγκεκριμένο ζήτημα εγείρει επιπλέον περιορισμούς τόσο στην τοποθεσία της μονάδας παραγωγής μεθανόλης καθώς οι πηγές διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να βρίσκονται κοντά στην μονάδα όσο και στην ενεργειακή απόδοση αφού απαιτείται επιπλέον ενέργεια για την συλλογή του αερίου. Ωστόσο η χρήση της μεθανόλης ως ναυτιλιακό καύσιμο δεν απαιτεί μεγάλο επανασχεδιασμό του στόλου όσον αφορά την αποθήκευσή της καθώς σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος βρίσκεται σε υγρή μορφή με σημείο αυτανάφλεξης τους  $464\text{ }^\circ\text{C}$  (Karin Andersson, Carlos M. Salazar - FCBI ENERGY, 2015) και ενεργειακή πυκνότητα όγκου μόλις περίπου την μισή από τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα ( $CH_3OH$  Energy Density:  $4,99\text{ MWh/m}^3$ ) (Charles J. McKinlay, Stephen R. Turnock, Dominic A. Hudson, 2021)



Σχέδιο 15 : Κύκλος παραγωγής Μεθανόλης.

(Nick Ash - Environmental Defense Fund, December 2019)

### Σύγκριση των τριών εναλλακτικών καυσίμων.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα γίνεται η σύγκριση των τριών διαφορετικών εναλλακτικών καυσίμων.

	Υδρογόνο	Αμμωνία	Μεθανόλη
Θερμοκρασία αποθήκευσης σε υγρή μορφή	-253 °C	-34 °C	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
Συμβατότητα Αποθήκευσης στο πλοίο	Απαιτεί ψυχόμενες δεξαμενές	Απαιτεί ψυχόμενες δεξαμενές	Συμβατό
Διαφορά ενεργειακής πυκνότητας από τα υπάρχοντα καύσιμα	8,35	3	2,34
Απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για παραγωγή καυσίμου σε ημερήσιο ταξίδι πλοίου τύπου PANAMAX	1.2 GWh	1.4 GWh	1.8 GWh
Καύση σε κινητήρα αυτανάφλεξης	Απαιτεί ανάμιξη με καύσιμο υδρογονάνθρακα	Απαιτεί ανάμιξη με καύσιμο υδρογονάνθρακα	Απαιτεί ανάμιξη με καύσιμο υδρογονάνθρακα
Καύση σε κινητήρα σπινθηρισμού	ΝΑΙ	Απαιτεί ανάμιξη με καύσιμο υδρογονάνθρακα	ΝΑΙ
Τοξικό στον άνθρωπο	ΟΧΙ	Ναι αλλά υπάρχουν επικυρωμένα πρωτόκολλα ασφάλειας	Ναι αλλά υπάρχουν επικυρωμένα πρωτόκολλα ασφάλειας

Τοξικό στο θαλάσσιο περιβάλλον	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Ευφλεκτότητα	Πολύ υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή

Πίνακας 26: Σύγκριση Εναλλακτικών “πράσινων καυσίμων”

(Nick Ash - Environmental Defense Fund, December 2019)

Στους κινητήρες αυτανάφλεξης από τους οποίους αποτελείται το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου στόλου η ανάμιξη με ήδη υπάρχον ναυτιλιακό καύσιμο που έχει βάση τον άνθρακα είναι υποχρεωτική για την ύπαρξη σταθερής καύσης και των τριών καυσίμων, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή μειωμένων ρύπων τόσο διοξειδίου του θείου όσο και αέριων του θερμοκηπίου. Ωστόσο τόσο το υδρογόνο όσο και η μεθανόλη είναι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες σπινθηρισμού χωρίς την υποστήριξη άλλου καυσίμου δημιουργώντας έτσι τις συνθήκες για χρήση καυσίμου μηδενικών εκπομπών. Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα ο υπάρχον στόλος δεν έχει την ακόμα ικανότητα αποθήκευσης ναυτιλιακού καυσίμου υδρογόνου και αμμωνίας λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε χώρο και σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με την μεθανόλη που αποθηκεύεται με μεγάλη ασφάλεια σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

#### Εκτίμηση Μετατροπής Marpol Annex VI.

Όπως αναφέρθηκε η αποκλειστική χρήση “πράσινων” εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα της ναυτιλίας θα έχει ως αποτέλεσμα την λειτουργία σκαφών με μηδενικούς ρύπους ωστόσο το συγκεκριμένο πλάνο είναι ένα πλάνο όχι άμεσα υλοποιήσιμο καθώς ο ναυτιλιακός κλάδος δεν είναι προετοιμασμένος για μια τόσο ριζική αλλαγή, παρόλο αυτά όπως δείχθηκε στο κεφάλαιο 5 στην περίπτωση που ο κανονισμός του IMO για τον περιορισμό εκπομπών του διοξειδίου του θείου μείνει ως έχει στο κοντινό μέλλον θα αντιμετωπίσουμε ξανά μεγάλα ζητήματα για την ρύπανση της ατμόσφαιρας λόγω της ναυτιλιακής δραστηριότητας. Για να αποφευχθεί αυτό είναι φανερό πως τα όρια του κανονισμού για την περιεκτικότητα σε θείο θα πρέπει να μειωθούν περαιτέρω τόσο εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών όσο και έξω από αυτά. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) θέτοντας ως τελικό στόχο την χρήση καυσίμου μηδενικής περιεκτικότητας σε θείο οφείλει να ενθαρρύνει τους πλοιοκτήτες για την συντομότερη δυνατή μετάβαση δίνοντας ωστόσο των απαραίτητο χρόνο ώστε να προετοιμαστεί ο κλάδος να υποστηρίξει αυτή την αλλαγή καθώς πρόκειται για μία ριζική αλλαγή τόσο στην λειτουργία του πλοίου όσο και στην παραγωγή καυσίμου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των ενδεχόμενων επιλογών καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή χρησιμοποιούνται ήδη στον ναυτιλιακό κλάδο.

Καύσιμο	Ενέργεια MJ/kg	SO <sub>x</sub> EM. factor g/kWh	NO <sub>x</sub> EM. factor g/kWh	PM EM. factor g/kWh	CO <sub>2</sub> EM. factor g/gFUEL	Sulphur Limit ECA	NO <sub>x</sub> Limit Tier III 3.4 g/kWh
HFO	40.5	3.24	15.8	0.72	3.114	With EGCS	Catalyst
MDO	42.6	0.32	14.8	0.16	3.206	Complies	Catalyst
LNG	48.6	0.003	1.17	0.027	2.750	Complies	Complies
METHANOL	20	0	3.05	0	1.375	Complies	Complies
H <sub>2</sub>	120	0	0	0	0	Complies	Complies
AMMONIA	18,6	0	7-9.9	0	0	Complies	Catalyst

Πίνακας 27 : Συντελεστές εκπομπών για εναλλακτικά και κανονικά καύσιμα.

(Paul Gilbert, Michael Traut, Conor Walsh, Uchenna Kesime, Kayvan Pazouki, Alan Murphy, 9 October 2017), (Niels De Vries, 2019)

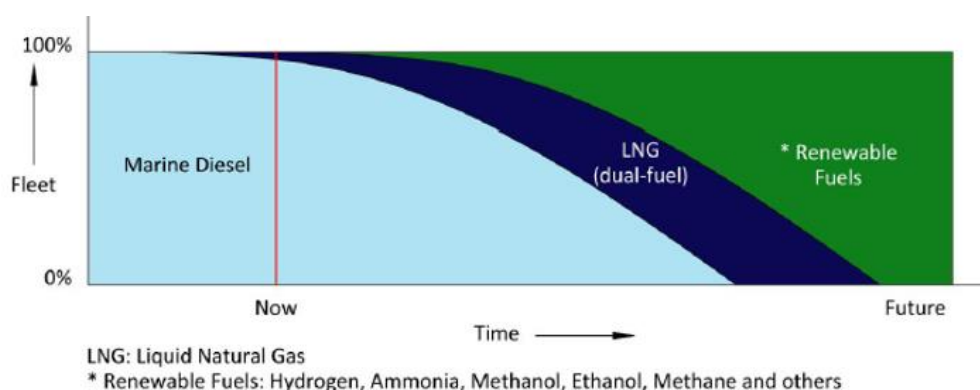
Όπως είναι φανερό από τον συγκεντρωτικό πίνακα την ιδανικότερη λύση στην χρήση εναλλακτικών καυσίμων από περιβαλλοντικής άποψης αποτελεί η καύση του υδρογόνου καθώς πρόκειται για ένα καύσιμο υψηλής ενέργειας με μηδενικούς ρύπους οξειδίων του θείου, διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου. Η χρήση του υδρογόνου συμμορφώνεται με όλους τους σημερινούς περιορισμούς χωρίς την χρήση κάποιου εξωτερικού συστήματος για την μείωση βλαβερών ρύπων. Παρατηρούμε ωστόσο πως η μεθανόλη είναι κατάλληλο καύσιμο όσον αφορά το διοξείδιο του θείου καθώς έχει εξίσου μηδενικούς ρύπους παρόλο αυτά τα οξειδία του αζώτου που εκπέμπονται με την καύση της υπακούουν στο σημερινό αυστηρότερο όριο χωρίς όμως να υπάρχει εγγύηση ότι αυτό δεν θα μειωθεί παράταιρο τα επόμενα χρόνια. Επιπλέον έχουμε μικρές εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα αέριο το οποίο συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και περιορίζεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια, αυτό οφείλεται στη χημική σύσταση του καυσίμου στην οποία συναντάμε άτομα του άνθρακα. Τέλος η αμμωνία έχει σχετικά μικρή ενέργεια σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα την ώρα που το κυριότερο πρόβλημα είναι οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου κάνοντας την χρήση καταλύτη αναγκαστική για την συμμόρφωση με τα ανώτατα όρια εκπομπών, σύμφωνα με την παρακάτω μελέτη (Niels De Vries, 2019) οι τιμές αυτές που αναφέρονται στον πίνακα προέκυψαν από πειραματικές δοκιμές που έγιναν σε κινητήρα αυτοκινήτου ενώ για την χρήση της αμμωνίας σε ναυτικό κινητήρα δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα ώστε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τον συντελεστή εκπομπών οξειδίων του αζώτου ωστόσο σε κάθε περίπτωση οι εκπομπές αυτές είναι αρκετά υψηλότερες από τα ανώτατα όρια εκπομπών.

Ακόμα με βάση τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) κατά την καύση του έχει εκπομπές που τηρούν τα αυστηρότερα όρια που έχει θέσει ο IMO τόσο για τα οξειδία του αζώτου (Emission Factor NO<sub>x</sub>: 0.027 g/kWh) όσο και για τα οξειδία του θείου ακόμα και εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών αφού η περιεκτικότητα σε θείο στο υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι της τάξης του 0.004% m/m με το αυστηρότερο όριο περιεκτικότητας σε θείο που έχει θέσει ο IMO εντός περιοχών ελέγχου εκπομπών να είναι το 0.1%. Το συγκεκριμένο καύσιμο αποτελεί την καλύτερη επιλογή ως καύσιμο μετάβασης καθώς η ενεργειακή απόδοση του είναι πολύ κοντά με αυτή των ήδη χρησιμοποιούμενων καυσίμων ενώ ταυτόχρονα οι κινητήρες που λειτουργούν με



υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι διαθέσιμοι για εγκατάσταση σε νέα πλοία την ώρα που οι κινητήρες ντίζελ που είναι εγκαταστημένοι στον παγκόσμιο στόλο μπορούν με μικρές τροποποιήσεις και μετασκευές να λειτουργήσουν και με καύσιμο LNG ( Dual-Fuel LNG engines).

Η μετεξέλιξη του κανονισμού του IMO για τον περιορισμό του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσον δυνατότερο αποτελεσματική αλλά και φιλική προς τους πλοιοκτήτες. Η υποχρεωτική μετάβαση στην χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι μία τέτοια επιλογή στο άμεσο μέλλον για την περαιτέρω μείωση των ρύπων του διοξειδίου του θείου μέχρι την τελική και αυστηρότερη μορφή στην οποία θα υιοθετηθούν ευρέως τα εναλλακτικά καύσιμα.



Σχέδιο 16: Μελλοντική Μετάβαση Ναυτιλιακών καυσίμων.

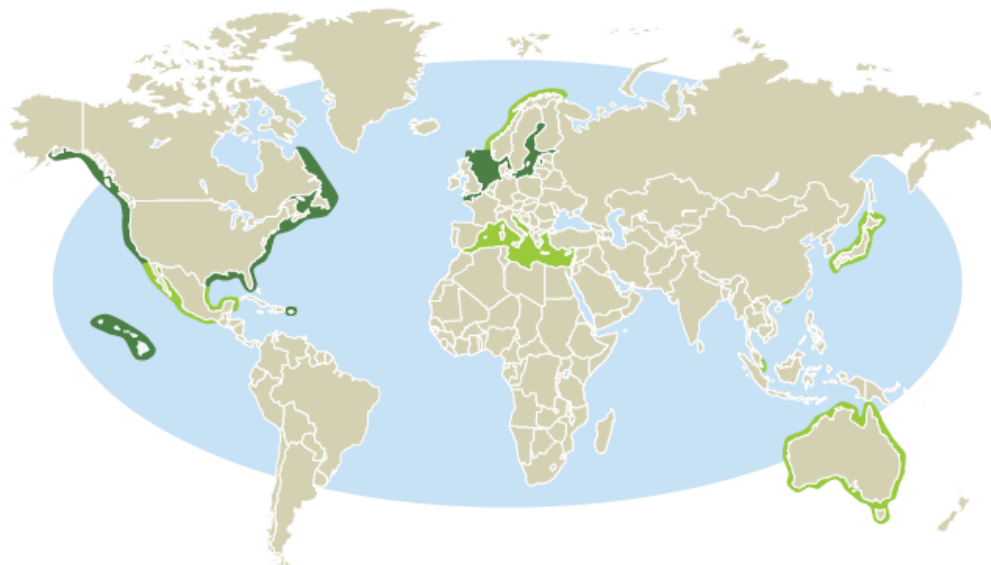
(Niels De Vries, 2019)

Όπως μπορούμε να δούμε και στο παραπάνω σχέδιο προκειμένου να υπάρξει η κατάλληλη προετοιμασία του ναυτιλιακού κλάδου για την εξολοκλήρου στροφή στα ανανεώσιμα εναλλακτικά καύσιμα η χρήση ενός μεταβατικού καυσίμου είναι εξίσου σημαντική με το τελικό στόχο καθώς στην συγκεκριμένη περίπτωση με την χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου στο κοντινό μέλλον οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου θα μειωθούν ακόμα περισσότερο από την τελευταία τροποποίηση του κανονισμού που εφαρμόστηκε το 2020 μέχρι την ολική εξαφάνισή τους από την δραστηριότητα της ναυτιλίας. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία παρατηρούμε πως ο συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του θείου ενός καυσίμου όπως το Marine Gas Oil που υπακούει στο ανώτατο όριο του IMO για τις περιοχές ελέγχου εκπομπών είναι 0.32 g/kWh την ώρα που το υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG έχει συντελεστή εκπομπών διοξειδίου του θείου 0,003 g/kWh κάτι που οδηγεί σε αρκετά μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του θείου από την καύση αυτού του καυσίμου.

### Νέες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών.

Όπως είναι φανερό η μετάβαση στα εναλλακτικά καύσιμα είναι αναγκαίος τρόπος για την εξάλειψη σημαντικών ποσοτήτων από σχεδόν όλους τους ρύπους που προέρχονται από την ναυτιλιακή δραστηριότητα ωστόσο υπάρχουν και άλλα βήματα τα οποία μπορεί να ακολουθήσει ο IMO με στόχο την επιπλέον μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία το αμέσως επόμενο κίονας διάστημα. Τα βήματα αυτά δεν είναι άλλα από την επικύρωση νέων περιοχών ελέγχου στα παγκόσμια ύδατα στα οποία θα εφαρμοστεί άμεσα ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα το 0.1%. Όπως γνωρίζουμε επί του παρόντος υπάρχουν τέσσερις καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών που έχει ορίσει ο IMO οι οποίες αναλύθηκαν σε εδάφιο του κεφαλαίου 3. Στις περιοχές αυτές το ανώτατο όριο για την περιεκτικότητα του θείου που χρησιμοποιείται στα ναυτιλιακά καύσιμα είναι το 0,10%. Ο Παγκόσμιος Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει ήδη ξεκινήσει μελέτες για την αξιολόγηση των οφελών, του κόστους και της σκοπιμότητας εφαρμογής νέων περιοχών ελέγχου εκπομπών για τον περιορισμό του διοξειδίου του θείου από την δραστηριότητα των πλοίων. Ποιο συγκεκριμένα την τεχνική αυτή μελέτη και την μελέτη σκοπιμότητας που εξετάζει τα οφέλη για την ανθρώπινη υγεία στις περιοχές αυτές καθώς και την εκτίμηση του κόστους για τους πλοιοκτήτες την συντονίζει ο κλάδος Αντιμετώπισης έκτακτης θαλάσσιας ρύπανσης του IMO (REMPEC- Regional Marine Pollution Emergency Response Emergency Centre). Συγκεκριμένα η μελέτη επικεντρώνεται στην ένταξη ολόκληρης της Μεσογείου θάλασσας ως περιοχή ελέγχου εκπομπών στο πλαίσιο της σύμβασής για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία. Η Μεσόγειος θάλασσα είναι μια βασική οδός για την ναυτιλία τόσο λόγω της εσωτερικής της δραστηριότητας όσο και για τα δρομολόγια των πλοίων που εισέρχονται σε αυτή κατά μήκος της διαδρομής Σουέζ-Γιβραλτάρ και μέσα από τα στενά του Βοσπόρου. Η επικύρωση της μεσογείου ως περιοχή ελέγχου εκπομπών θα είχε σημαντικό αντίκτυπο βελτιώνοντας την ποιότητα του αέρα όλων των παράκτιων χωρών και σχεδόν ολόκληρης της ευρωπαϊκής ζώνης. Σύμφωνα με το Rempec το επόμενο βήμα για την επικύρωση του της Μεσογείου θάλασσας ως περιοχή ελέγχου εκπομπών είναι η υποβολή και αποδοχή της πρότασης στην 78<sup>η</sup> Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του IMO (Marine Environment Protection Committee MEPC) που έχει προγραμματιστεί προσωρινά να πραγματοποιηθεί από τις 6 έως τις 10 Ιουνίου του 2022. (Regional Marine Pollution Emergency Response Centre, 2021).

Ωστόσο πέρα από την Μεσόγειο θάλασσα προτείνονται επιπλέον περιοχές ελέγχου εκπομπών από τον IMO οι οποίες φαίνονται στο παρακάτω σχέδιο, όπου μπορούμε να διακρίνουμε τις ήδη ορισμένες από τον IMO περιοχές ελέγχου εκπομπών αλλά και τις ενδεχόμενες περιοχές που γίνονται μελέτες για την υιοθέτησή τους. Μέσα σε αυτές είναι η Μεσόγειος θάλασσα, οι παράκτιες περιοχές της Αυστραλίας και τις Ιαπωνίας καθώς και η διεύρυνση των ορίων της περιοχής ελέγχου εκπομπών τόσο της Βόρειας Αμερικής και της Νορβηγικής θάλασσας σε μια ακτογραμμή που καλύπτει ολόκληρο το βόρειο τμήμα της Σκανδιναβικής Χερσονήσου.



An Emission Control Area can be designated for SO<sub>x</sub> and PM or NO<sub>x</sub>, or all three types of emissions from ships, subject to proposal from a Party to Annex VI.

Existing Emission Control Areas include:

- Baltic Sea (SO<sub>x</sub>, adopted: 1997 / entered into force 2005)
- North Sea (SO<sub>x</sub>, 2005/2006)
- Baltic Sea and North Sea SECAs (level of SO<sub>x</sub> in fuel is set at 0.1 % since the 1st of January 2015)
- North American ECA, including most of US and Canadian coast (NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub>, 2016/2012)
- US Caribbean ECA, including Puerto Rico and the US Virgin Islands (NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub>, 2011/2014)

- Existing ECA area
- Potential future ECA area

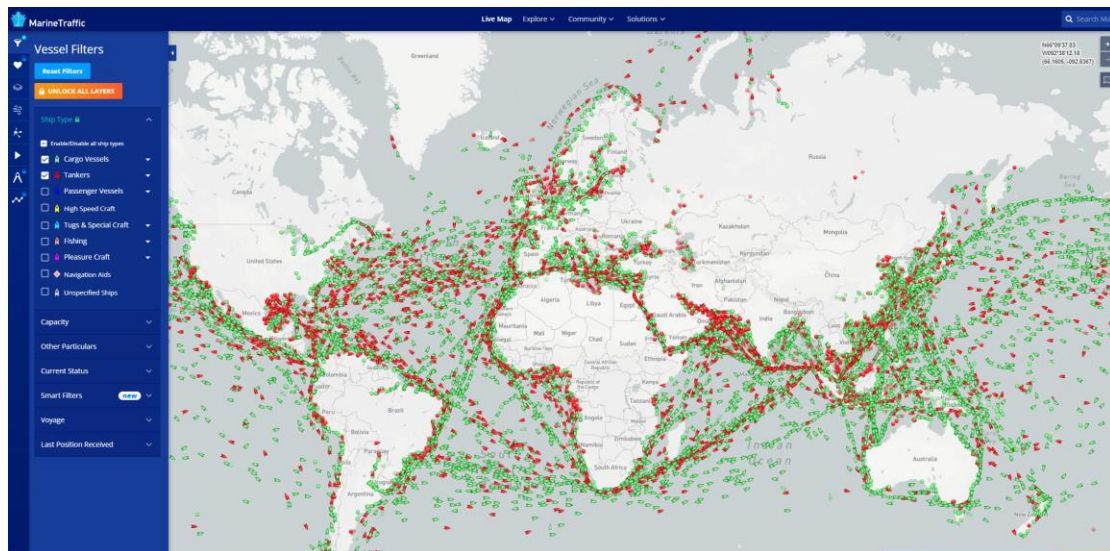
Source: IMO

Σχέδιο 17: Ενδεχόμενες περιοχές ελέγχου εκπομπών IMO

(Karin Andersson, Carlos M. Salazar - FCBI ENERGY, 2015)

### Εκτίμηση Νέων Περιοχών

Εν συνεχεία του ζητήματος του περιορισμού εκπομπών διοξειδίου του θείου από τα πλοία υπάρχουν επιπλέον θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να εξεταστούν και να οριστούν ως περιοχές ελέγχου εκπομπών από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) κάτι που θα οδηγήσει στην άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων ρύπανσης της ατμόσφαιρας από σωματίδια και διοξείδιο του θείου σε πολλές παράκτιες περιοχές που υπάρχουν κεντρικοί λιμένες. Ποιο αναλυτικά στο παρακάτω εδάφιο αναζητήσαμε σε πραγματικό χρόνο περιοχές στις οποίες στις οποίες συναντάμε μεγάλη ναυτιλιακή δραστηριότητα και η γεωχωρική μορφολογία είναι τέτοια ώστε να μην απομακρύνονται εύκολα οι συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία. Συγκεκριμένα μέσω του προγράμματος Marine Traffic αντήσαμε σε πραγματικό χρόνο τον παγκόσμιο χάρτη στον οποίον ορίσαμε ως φίλτρα μόνο πλοία εμπορικών συμφερόντων λόγω ποιο ευδιάκριτης μορφής. Στο σχέδιο όπως είναι φανερό συναντάμε πολύ μεγάλη ναυτιλιακή εμπορική δραστηριότητα στον Καραϊβικό κόλπο και στον κόλπο του Μεξικού. Επιπλέον σημαντική συγκέντρωση πλοίων βλέπουμε στους κόλπους παράκτια της Ινδίας (Αραβική Θάλασσα, Bay of Bengal) καθώς και μεταξύ της Καμπότζης και της Μαλαισίας στην Ινδονήσια. Στις υπόλοιπες περιοχές του χάρτη που συναντάμε μεγάλες συγκεντρώσεις πλοίων όπως στα λιμάνια του Νταλιάν και στις παράκτιες περιοχές της Αυστραλίας και της Νότιας Κορέας υπάρχουν εθνικοί κανονισμοί περιορισμού των εκπομπών του θείου από την ναυτιλία που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια.



Σχέδιο 18: Χάρτης Πλοίων Πραγματικού Χρόνου

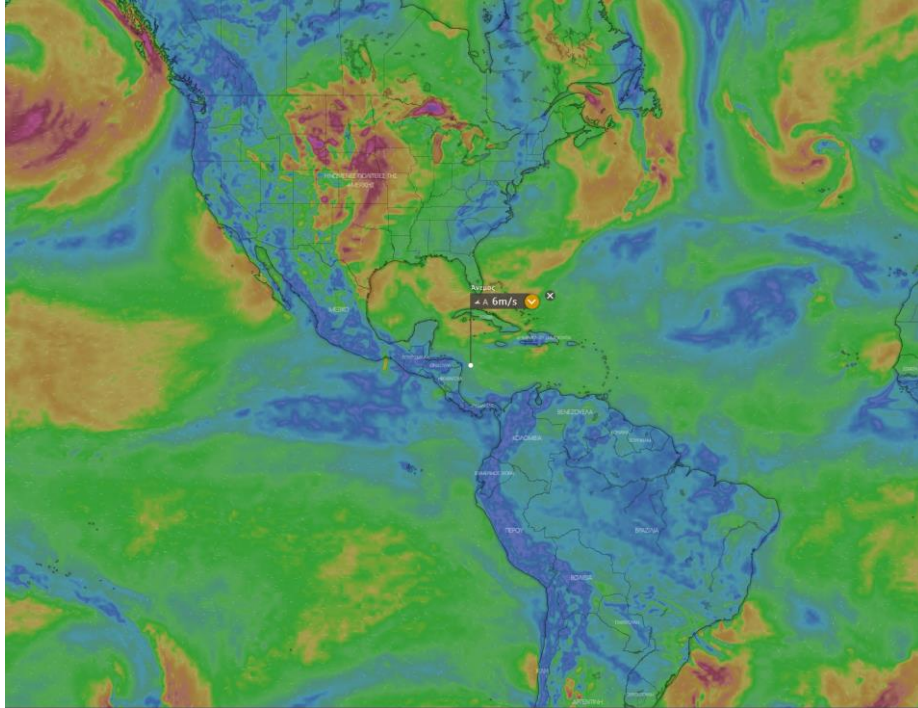
(Marine Traffic, 2022)

Η επιλογή των παρακάτω περιοχών που προτάθηκαν ως περιοχές ελέγχου εκπομπών:

1. Καραϊβικό κόλπο
2. Αραβική Θάλασσα
3. Ινδικός κόλπος (Bay Of Bengal)
4. Κόλπος της Ταϊλάνδης ( Μεταξύ Μαλαισίας και Καμπότζης)

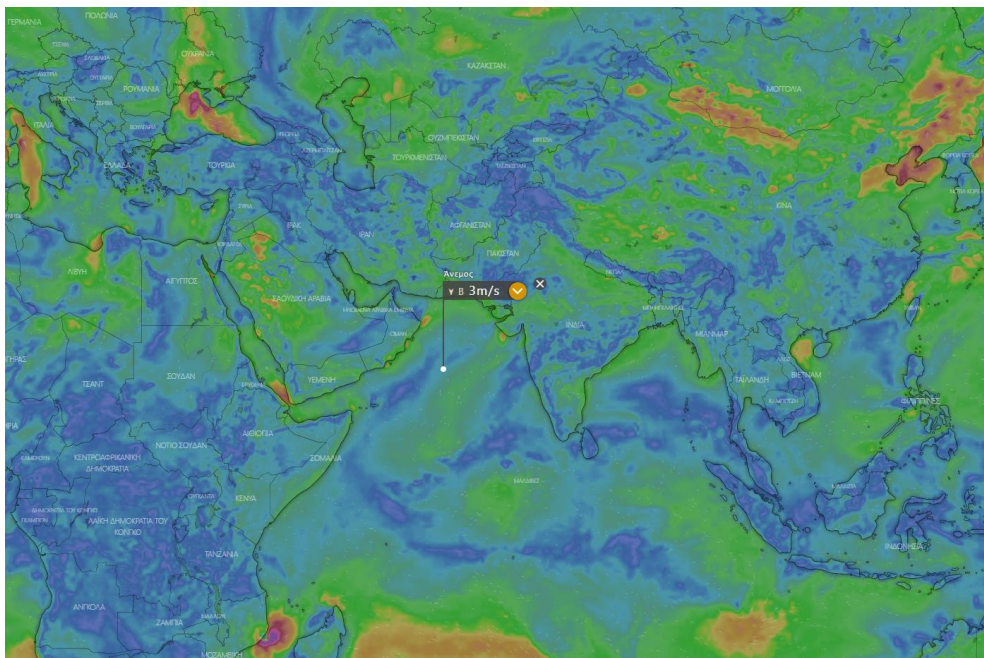
Έγινε με βάση την γεωχωρική μορφολογία των συγκεκριμένων υδάτων καθώς πρόκειται για θαλάσσιες περιοχές οι οποίες είναι σχετικά κλειστής μορφής κόλποι στους οποίους συναντάμε χαμηλούς ανέμους κατά μέσο όρο σε σχέση με άλλες περιοχές του χάρτη κάτι που δυσκολεύει την απομάκρυνση τόσο των ρύπων του διοξειδίου του θείου όσο και των υπόλοιπων ρύπων που συγκεντρώνονται από την ναυτιλιακή δραστηριότητα στην ατμόσφαιρα των συγκεκριμένων περιοχών. Στις περιοχές αυτές σε δεδομένα που αντλήσαμε σε πραγματικό χρόνο από την εφαρμογή του Windy Map συναντήθηκαν μικρής έντασης άνεμοι σε σχέση με υπόλοιπες περιοχές που έχουν παρόμοια μορφολογία οι οποίοι δεν είναι ικανοί να απομακρύνουν αισθητά τους αέριους ρύπους από την τόσο μεγάλη συγκέντρωση πλοίων κάνοντας την ατμόσφαιρα βλαβερή για την ανθρώπινη υγεία. Ποιο συγκεκριμένα από μετρήσεις που διάρκειας 10 ημερών από το συγκεκριμένο πρόγραμμα το οποίο σου παρέχει την δυνατότητα εκτίμησης της ταχύτητας ανέμων ακόμα και μια βδομάδα μετά την μέτρηση σε πραγματικό χρόνο. Ποιο συγκεκριμένα σε μετρήσεις που διήρκησαν από 23/4/2022 έως 2/5/2022 προέκυψαν οι παρακάτω μετρήσεις. Στον Καραϊβικό κόλπο παρατηρήθηκαν κατά μέσο όρο άνεμοι 6 m/s που αντιστοιχούν σε 3 μποφόρ ενώ στην Αραβική Θάλασσα μετρήθηκαν άνεμοι με χαμηλότερη ταχύτητα μόλις 3m/s δηλαδή περίπου 2 μποφόρ την ώρα που στην Μεσόγειο συναντάμε ταχύτητες αέρα κατά μέσο όρο 14 m/s. Όσον αφορά τον κόλπο της Ταϊλάνδης μετρήθηκαν άνεμοι με μέσο όρο την ταχύτητα των 5m/s τιμή παρόμοια με αυτή του Καραϊβικού κόλπου. Όπως φαίνεται και στο [σχέδιο 22](#) οι στις συγκεκριμένες περιοχές σύμφωνα με τις μετρήσεις του (World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index, 2022) παρατηρούνται τιμές ποιότητας αέρα που είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία κυρίως λόγω να υψηλών συγκεντρώσεων σε ρύπους PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> που οφείλονται στην ναυτιλιακή δραστηριότητα. Ωστόσο για την υιοθέτηση νέων περιοχών ελέγχου εκπομπών δεν αρκεί μόνο η αναφορά στην

συγκέντρωση πλοίων στα συγκεκριμένα ύδατα αλλά πρέπει να γίνουν επιπλέον τεχνικές και οικονομικές μελέτες τόσο για τα συμφέροντα των πλοιοκτητών όσο και για την επιρροή που θα έχει η επικύρωση αυτών των περιοχών στο παγκόσμιο εμπόριο και τις επιπτώσεις στον οικονομικό τομέα του ναυτιλιακού εμπορίου, ζήτημα το οποίο είναι πέρα από τους στόχους της συγκεκριμένης μελέτης και δεν αναλύεται σε μεγαλύτερη κλίμακα.



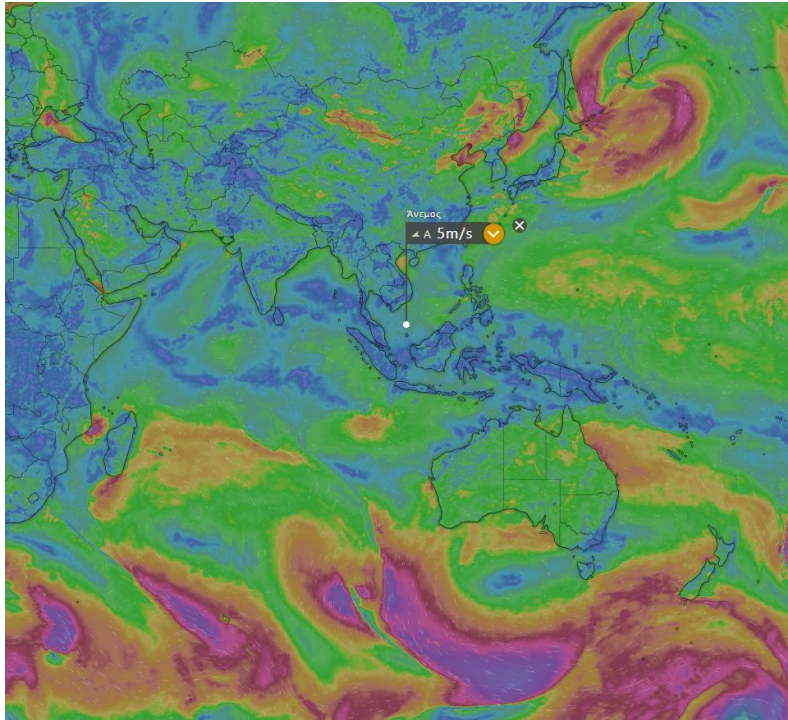
Σχέδιο 19: Ταχύτητα Αέρα Καραϊβικού Κόλπου

(Windy, 2022)



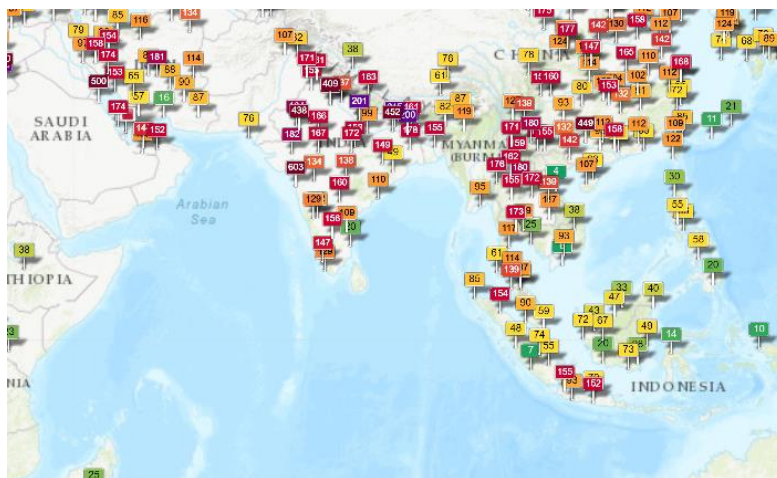
Σχέδιο 20: Ταχύτητα Αέρα Αραβικής Θάλασσας

(Windy, 2022)



Σχέδιο 21: Ταχύτητα Αέρα Κόλπου Ταϊλάνδης

(Windy, 2022)



Σχέδιο 22: Δείκτης ποιότητας αέρα στις Εκτιμώμενες περιοχές ελέγχου εκπομπών

(World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index, 2022)

### Συμπέρασμα κύκλου ζωής.

Είναι φανερό η μετεξέλιξη του κανονισμού του περιορισμού του θείου στο άμεσο μέλλον θα προωθήσει την στροφή στην χρήση νέων εναλλακτικών καυσίμων σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους κανονισμούς οι οποίοι έχουν την τάση να περιορίζουν όλους τους ρύπους των πλοίων οι οποίοι έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μπορεί οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου να μην είναι αέριο το οποίο επηρεάζει το φαινόμενο αυτό ωστόσο είναι ρύπος ο οποίος ευθύνεται για σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και πρόωρους θανάτους. Δεν υπάρχει αμφιβολία λοιπόν για την άμεση αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος το οποίο θα επέλθει σε λύση με την χρήση νέων

“πράσινων” καυσίμων μηδενικών εκπομπών. Ο συγκεκριμένη μετάβαση προφανώς και δεν γίνεται να πραγματοποιηθεί άμεσα αλλά θα επακολουθήσουν τροποποιήσεις του κανονισμού για υιοθέτηση καυσίμων μετάβασης πολύ χαμηλών εκπομπών όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο και επικύρωση νέων περιοχών εκπομπών ελέγχου ώστε να έχουμε περαιτέρω άμεση μείωση τα επόμενα χρόνια σε μεγάλα κεντρικά λιμάνια και αστικά κέντρα καθώς και κινητοποίηση των πλοιοκτητών για άμεση συμμόρφωση με τους κανονισμούς και προετοιμασία για την ριζική αυτή μετάβαση. Σύμφωνα με την αξιολόγηση του κανονισμού που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου και καταλήξαμε ότι το LNG είναι μια περίπτωση καυσίμου στην οποία μειώνονται τόσο οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όσο και του διοξειδίου του θείου καταλήγουμε πως ο 14<sup>ος</sup> κανονισμός πρέπει να λειτουργήσει έτσι ώστε να κατευθύνει την ανάπτυξη του στόλου με την χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Το τέλος του κύκλου ζωής του συγκεκριμένου κανονισμού θα πραγματοποιηθεί όταν ολοκληρωθεί η μετάβαση στα νέα εναλλακτικά καύσιμα όπου και οι ρύποι του διοξειδίου του θείου θα εξαλειφθούν από τον τομέα της ναυτιλίας.

Η ολοκλήρωση λοιπόν του κύκλου ζωής διακρίνεται στα παρακάτω 2 μέρη:

1. **Μετεξέλιξη** : Αφορά την μετέπειτα τροποποίηση του κανονισμού όπου σύμφωνα με την αξιολόγηση μας θα επιβληθούν όρια που πληρούνται με την χρήση LNG ώστε να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι ρύποι διοξειδίου του θείου.
2. **Τερματισμός**: Ο κύκλος ζωής του κανονισμού θα ολοκληρωθεί με την μετάβαση πλέον στα νέα εναλλακτικά καύσιμα όπου οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου από την ναυτιλία θα είναι πλέον μηδενικές.

## Αναφορές

- (Erik Fridell, Hulda Winnes)-Swedish Environmental Emission Data. (2020). *Emmision Factors For Shipping in Scenarios*. Norrkoping: Swedish Environmental protection agency.
- Agency, E. E. (2009). *European Environment Agency*. Ανάκτηση από <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-sulphur-dioxide-so2-emissions-1/assessment-1>
- Bart Ostro- World Health Organization. (2014). *Outdoor Air Polution*. Geneva: World Health Organization.
- Bart Ostro-World Health Organization. (2004). *Outdoor air pollution*. Geneva: World Health Organization Protection of the Human Environment.
- California Air Resources Board. (2013). Marine Notice 2013., (σ. 3).
- Charles J. McKinlay, Stephen R. Turnock , Dominic A. Hudson. (2021). *Route to Zero Emission Shipping : Hydrogen, Amonia or Methanol*. Southampton: University of Southampton .
- Delft University of Technology . (2019). *Report Safe and effective aplication of ammonia as marine fuel*. Netherlands: Dedicated Naval Architects.
- Eastern Shipping Co. (2019). *Pre-Notification for Korea ECA*. KOREA: Multiport Ship Agencies.
- European Environment Agency. (2018). *Air Quality in Europe 2018- Report*. Luxembourg: European Environment Agency.
- European Martime Safety Agency. (2021). *European Maritime Transport Environmental Report 2021*. Copenhagen: European Environment Agency.
- FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE. (2022, Απριλίου 5). SILAM V.5.7 (System for intergraded modeling of atmospheric Composition).
- Hulda Winnes, Erik Friddel , Jana Moldanova. (2020). *Effects of Marin Exhaust Gas Scrubbers on Gas and Particle Emissions*. Gothenburg, Sweden : Marine Science and Engineering.
- ICCT. (2007). *Air Pollution and Greenhouse gas Emissions from Ships*.
- ICCT CONSULTING REPORT -Bryan Comer. (2020). *Air emissions and water pollution discharges from ships with scrubbers*. INTERNATIONAL COUNCIL CLEAN TRANSPORTATION.
- INFOMARITIME.EU. (2022, 4 4). *INFOMARITIME.EU*. Ανάκτηση από World merchant fleet and top 15 shipowning countries: <http://infomaritime.eu/index.php/2021/08/22/top-15-shipowning-countries/>
- Interantional Maritime Organization. (2016). *Study on effects of the entry into force of the global 0.5% fuel oil sulphur content limit*. Finland: IMO.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. (2016). *AIR POLLUTION AND ENERGY EFFICIENCY-Study on effects of the entry into force of the global 0.5% fuel oil sulphur content limit*. Finland: Marine Environment Protection Committee.



- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. (2020). *Fourth IMO GHG Study 2020*. LONDON.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. (2022). *IMO*. Ανάκτηση από IMO:  
<https://www.imo.org/>
- International Transport Forum. (2016). *Reducing Sulphur Emissions from Ships*. Paris, France.
- IQAir Map*. (2022, Μαρτίου 9). Ανάκτηση από Τοποθεσία Web IQAir:  
<https://www.iqair.com/air-quality-map>
- Karin Andersson, Carlos M. Salazar - FCBI ENERGY. (2015). *Methanol As Marine Fuel Report*. Methanol Institute.
- Khan, R. R. (2014). *Review on effects of Particulates : Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide on Human Health*. Lucknow, India: Science Direct.
- Lindsey A. Torre, Freddie Bray, Rebecca L. Siegel, Jacques Ferlay, Joannie Lortet-Tieulent, Ahmedin Jemal. (2012). *Global Cancer Statistics*. American Cancer Society.
- Lloyd's Register. (2020). *South Korea- Designation Of Sox*.
- MAP, I. A. (2022, 3 9). <https://www.iqair.com/air-quality-map>. Ανάκτηση από  
<https://www.iqair.com/air-quality-map>
- Mar Perez Fortes, Jan C. Shoneberger, Aikaterini Boylamanti, Evangelos Tzimas . (2016). *Methanol Synthesis Using Captured CO2 as Raw Material*. Netherlands: Institute for energy and transport.
- Marine Insight. (2021, Ιανουάριος 8). *Marine Insight*. Ανάκτηση από A Guide To Marine Gas Oil and LSFO Used on Ships : <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-marine-gas-oil-and-lsfo-used-on-ships/>
- Marine Traffic. (2022, Απρίλιος 24). *Marine Traffic Live Map*. Ανάκτηση από  
<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-8.4/centery:0.0/zoom:2>
- National Library of Medicine. (2019, 12 13). *National Library of Medicine*. Ανάκτηση από PM2.5 Pollution: Health and Economic Effect Assessment Based on a Recursive Dynamic Computable General Equilibrium Model:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6950478/>
- Nick Ash - Environmental Defense Fund. (December 2019). *Electrofuels For Shipping*. RICARDO.
- Nick Ash-Environmental Defense Fund. (December 2019). *Electrofuels For Shipping*. RICARDO.
- Niels De Vries. (2019). *Safe and effective application of ammonia as a marine fuel*.
- NORTH. (2020). *2020 VISION PREPARING FOR THE BIG SWITCH*. London.
- North P&I. (2022). *North Marine Insurance*. Ανάκτηση από NORTH: <https://www.nepia.com/>
- Paul Gilbert, Michael Traut, Conor Walsh, Uchenna Kesieme, Kayvan Pazouki, Alan Murphy. (9 October 2017). *Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels*.

- Principles for Responsible Investment. (2014, November 265). *PRI*. Ανάκτηση από <https://www.unpri.org/policy/understanding-the-public-policy-life-cycle/292.article>
- Regional Marine Pollution Emergency Response Centre. (2021). *Mediterranean ship emissions control area passes next step*. IMO.
- Researchgate. (2022, 3 1). *Researchgate*. Ανάκτηση από Researchgate: [https://www.researchgate.net/figure/1-The-Air-Quality-Index-AQI\\_tbl1\\_280303159](https://www.researchgate.net/figure/1-The-Air-Quality-Index-AQI_tbl1_280303159)
- Shuo Chen, Y. L. (2018). *The Health Cost of the industrial leap forward in China* . Hong Kong: Science Direct.
- THE VISWA GROUP. (2019). *Operational feedback and problems reported after use of VLSFO*. SINGAPORE: THE VISWA GROUP.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. (2022). *UNCTADSTAT*. Ανάκτηση από <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/tableView.aspx>
- United States Environmental Protection Agency. (2010). *Designation of North American Emission Control Area to Reduce Emissions from Ships*. Office of Transport and Air Quality.
- Windy. (2022, 4 24). *Windy Map*. Ανάκτηση από <https://www.windy.com/?36.668,85.254,3>
- World Health Organization. (2004). *THE GLOBAL BURDEN OF DISEASE*. Switzerland: World Health Organization.
- Worldometer. (2022, 4 28). *Worldometer*. Ανάκτηση από Southern Europe Population: <https://www.worldometers.info/world-population/southern-europe-population/>
- World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index. (2022, 4 27). *World's Air Pollution*. Ανάκτηση από <https://waqi.info/#/c/7.131/56.015/3.3z>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος . (2018). *Σχέδιου εθνικού προγράμματος ελεγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατ' εφαρμογή της οδηγίας 2016/2284 λίου*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.