

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΠΡΑΣΙΝΑ ΠΛΟΙΑ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΑΡΓΥΡΙΟΣ ΚΑΒΟΥΡΑΣ

Α.Γ.Μ: 4534

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 02 – 05 – 2018

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας: – – 2021

Ο ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
1.	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ	ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ Α΄ Ε.Ν.	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
2.	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ	ΦΥΣΙΚΟΣ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
3.	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ			ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΣΟΥΛΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΡΑΣΙΝΑ ΠΛΟΙΑ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΑΡΓΥΡΙΟΥ ΚΑΒΟΥΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΑΝΑΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	iii
Εισαγωγή	v
Κεφάλαιο 1. Ναυτιλία και Ατμοσφαιρική ρύπανση	1
1.1 Γενικές παρατηρήσεις	1
1.2 Αέρια του θερμοκηπίου	2
1.3 Οξείδια του αζώτου	4
1.4 Οξείδια του θείου	6
1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα	8
1.6 Αιωρούμενα σωματίδια	8
1.7 Πτητικές οργανικές ενώσεις	10
Κεφάλαιο 2. Διαχείριση των ατμοσφαιρικών ρύπων	12
2.1 Γενικές παρατηρήσεις	12
2.2 Μέθοδοι περιορισμού των εκπομπών	15
Κεφάλαιο 3. Πράσινη Ναυτιλία	17
3.1 Γενικές παρατηρήσεις	17
3.2 Τα «πράσινα» πλοία	17
3.3 Ενδεικτική βιβλιογραφική ανασκόπηση	18
3.4 Ο δείκτης EEDI	21
3.5 SEEMP	22
Κεφάλαιο 4. Αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και περιορισμός των ατμοσφαιρικών εκπομπών	25
4.1 Εξοικονόμηση ενέργειας	25
4.2 Διαχείριση εκπομπών	26
4.3 Χρήση εναλλακτικών ενεργειακών πηγών	29
4.3.1 Φυσικό αέριο	29
4.3.2 Α.Π.Ε	32

Κεφάλαιο 5. Αντιμετώπιση λοιπών περιβαλλοντικών επιπτώσεων	35
5.1 Πρόληψη διαρροών και θαλάσσιων ατυχημάτων	35
5.2 Διαχείριση έρματος	36
5.3 Χρήση υφαλοχρωμάτων	37
5.4 Διάλυση του πλοίου	38
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα	40
Κατάλογος Σχημάτων	41
Κατάλογος Εικόνων	41
Κατάλογος Πινάκων	42
Βιβλιογραφία	43

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η παρουσίαση διαφόρων μεθόδων με τους οποίους ένα πλοίο μπορεί να θεωρηθεί «πράσινο». Οι μέθοδοι αυτοί εκτείνονται από την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έως την κατάλληλη διαχείριση του θαλάσσιου έρματος. Ακόμη, αναδεικνύεται η δυνατότητα συνδυασμού του περιβαλλοντικού οφέλους με την οικονομική αποδοτικότητα των εφαρμοζόμενων πρακτικών.

Αρχικά, διαπιστώνεται ότι οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας της ναυτιλίας είναι σημαντικές σε ό,τι αφορά κυρίως τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, γι' αυτό το λόγο επιζητούνται εναλλακτικοί τρόποι περιορισμού αυτών. Ο χαρακτηρισμός ενός πλοίου ως «πράσινου» προϋποθέτει μία σύγχρονη προσέγγιση τόσο από τις κατασκευάστριες όσο και από τις πλοιοκτήτριες εταιρείες, καθώς αυτός σχετίζεται κυρίως με την «πράσινη» σχεδίασή του. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της σχεδίασης αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας και υλικών πόρων. Θα πρέπει δε να τονιστεί ότι, παρ' όλο που γενικά θεωρείται ότι η περιβαλλοντική επίδοση ενός πλοίου έρχεται σε αντίθεση με την οικονομική αποδοτικότητά του, σύγχρονες και καινοτόμες μέθοδοι μπορούν να οδηγήσουν στον περιορισμό των λειτουργικών δαπανών, κυρίως σε ό,τι αφορά την προμήθεια καυσίμου.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά για την επίδραση της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και ειδικότερα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, των οξειδίων του αζώτου και του θείου, του μονοξειδίου του άνθρακα, των αιωρούμενων σωματιδίων και των πτητικών οργανικών ενώσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η διαχείριση των ατμοσφαιρικών ρύπων και οι μέθοδοι περιορισμού αυτών, παρουσιάζοντας τους πίνακες που αναφέρονται σε προγράμματα περιορισμού των εκπομπών τους. Ιδιαίτερα, αναλύονται οι μέθοδοι εκείνες που σχετίζονται με την εφαρμοσμένη τεχνολογία, την λειτουργικότητα του πλοίου και τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται λόγος για τη «πράσινη ναυτιλία» και πιο συγκεκριμένα για τις εφαρμογές καινοτόμων αποδοτικότερων πράσινων ναυτιλιακών μεθόδων καθώς και για τον δείκτη EEDI, ο οποίος εκφράζει το πηλίκο του περιβαλλοντικού

κόστους προς το κοινωνικό όφελος. Ακόμη, γίνεται αναφορά στο SEEMP, το υποχρεωτικό αυτό λειτουργικό μέτρο που καθιερώνει ένα τρόπο αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου ούτως ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στον περιορισμό των ατμοσφαιρικών ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας, διαχείρισης των εκπομπών ρύπων και χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο και οι ΑΠΕ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύεται η αντιμετώπιση λοιπών περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της πρόληψης διαρροών και θαλάσσιων ατυχημάτων, της διαχείρισης του έρματος, της χρήσης υφαλοχρωμάτων καθώς και της διάλυσης του πλοίου.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, κάνουμε, με την μορφή συμπερασμάτων, μία συνοπτική επισκόπηση της παρουσίασης των καινοτόμων μεθόδων που εφαρμόζονται στην «πράσινη ναυτιλία» και στα «πράσινα πλοία».

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και ο όρος είναι σχετικά πρόσφατος, η «πράσινη ναυτιλία» αναφέρεται στη δυνατότητα χρήσης των ενεργειακών πόρων στο πλαίσιο μεταφοράς ανθρώπων και αγαθών εις τρόπον, ώστε να μεγιστοποιείται η αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων και συγχρόνως να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Στις τελευταίες υπεισέρχονται τόσο τα λεγόμενα «αέρια του θερμοκηπίου» όσο και οι ρύποι που απειλούν την υγεία των οικοσυστημάτων και, ειδικότερα, των ανθρώπων [25, 26].

Εν τούτοις, η ναυτιλία μπορεί να συνεπάγεται και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως την επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα με υγρούς υδρογονάνθρακες, λόγω διαρροών ή ατυχημάτων, άλλες ουσίες που είναι τοξικές για τα υδάτινα οικοσυστήματα και περιλαμβάνονται στα μεταφερόμενα αγαθά, λύματα, στερεά απορρίμματα, αλλά και η απόρριψη έρματος στο θαλάσσιο περιβάλλον το οποίο έχει επεξεργαστεί πλημμελώς. Οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτυπώνονται στη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL) η οποία και αποσκοπεί στην αντιμετώπισή τους.

Συγκεκριμένα, στη MARPOL [50] ρυθμίζονται τα ακόλουθα ζητήματα:

1. Η θαλάσσια ρύπανση από πετρέλαιο.
2. Η θαλάσσια ρύπανση από υγρό χύδην φορτίο που περιέχει επιβλαβείς ουσίες.
3. Η θαλάσσια ρύπανση από λύματα που παράγονται στο πλοίο.
4. Η θαλάσσια ρύπανση από επιβλαβείς ουσίες οι οποίες μεταφέρονται συσκευασμένες ή σε βυτιοφόρα.
5. Η θαλάσσια ρύπανση από στερεά απόβλητα (απορρίμματα).
6. Η ρύπανση από τα απαέρια της καύσης των καυσίμων.

Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, ο όρος «πράσινα πλοία» έχει συνδεθεί με τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Ο λόγος φαίνεται να σχετίζεται όχι μόνον με το ότι οι εν λόγω επιπτώσεις μπορούν να ποσοτικοποιηθούν πολύ ευκολότερα και να «προβλεφθούν» από ότι, για παράδειγμα, η διαρροή υγρών υδρογονανθράκων, αλλά και λόγω της μεγάλης ποσότητας των ατμοσφαιρικών εκπομπών που εκλύονται σε ετήσια βάση στην ατμόσφαιρα από τα πλοία. Επομένως, στην παρούσα εργασία θα

δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε αυτή την πτυχή των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας.

Η εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων από τον τομέα της ναυτιλίας έχει ακολουθήσει κατά τις τελευταίες δεκαετίες μία αύξουσα πορεία και γι' αυτόν τον λόγο η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα έχει προβεί σε συγκεκριμένες δεσμεύσεις, ούτως ώστε να εφαρμοστούν κανονισμοί με στόχο την ελαχιστοποίηση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από κάθε είδους πλοία σε διεθνές επίπεδο.

Κατά συνέπεια, ο τομέας της λεγόμενης «πράσινης» ανάπτυξης συνιστά τα τελευταία έτη βασικό αντικείμενο μελέτης από τις ναυτιλιακές και τις ναυπηγικές σπουδές. Ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η λειτουργία αποτελεσματικών συστημάτων πρόωσης, καθώς και η αλλαγή στην ποιοτική ή/και την ποσοτική σύνθεση των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του σκάφους θα πρέπει να πραγματοποιούνται με τον πιο αποδοτικό τρόπο προς αυτή την κατεύθυνση.

Έχει παρατηρηθεί ότι καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας τα πλοία εξέπεμπαν αρκετά μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων. Παρ' όλο που με την πάροδο του χρόνου φαίνεται να βελτιώνεται η γενική περιβαλλοντική επίδοση των σκαφών, η διεθνής ναυτιλία εξακολουθεί να συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την κλιματική αλλαγή και την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, ιδίως στο τοπικό επίπεδο.

Μάλιστα, έχει διαπιστωθεί ότι το 70% των ατμοσφαιρικών ρύπων των πλοίων που κινούνται στις παράκτιες ζώνες επηρεάζουν μία έκταση η οποία εκτείνεται έως και 400 km εντός της ξηράς. Σχετικές αναλύσεις που διενεργήθηκαν μεταξύ των ετών 2007 και 2012 έδειξαν πως ο τομέας της παγκόσμιας ναυτιλίας εξακολουθεί να είναι προβληματικός σε ό,τι αφορά την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, ενώ οι ατμοσφαιρικές εκπομπές ναυτιλιακών δραστηριοτήτων είναι δυνατόν να συμβάλλουν αποφασιστικά στην επιδείνωση της ανθρώπινης υγείας [18].

Αν και κατά τα έτη 2007-2012 οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου περιορίστηκαν σε σημαντικό βαθμό (περίπου 10%), κατά τα έτη 2013-2015 αυξήθηκαν κατά 2.4% [16]. Είναι ενδεικτικό ότι, σύμφωνα με τον IMO [18] και τα αποτελέσματα μιας μελέτης [22], οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου του τομέα της ναυτιλίας αντιπροσώπευαν το 2012 το 2.6% των συνολικών αντίστοιχων εκπομπών σε διεθνές επίπεδο και το 14% των εκπομπών του τομέα των μεταφορών. Προβλέπεται δε ότι έως το 2050 οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου του τομέα της ναυτιλίας μπορεί να αντιπροσωπεύουν έως και 17% των συνολικών αντίστοιχων εκπομπών σε διεθνές επίπεδο. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η πραγματοποίηση κατάλληλων επενδύσεων της

ναυτιλίας σε τεχνολογίες, συστήματα και καύσιμα που η χρήση τους θα συνεπάγεται την ελαχιστοποίηση της συνακόλουθης ρύπανσης [34].

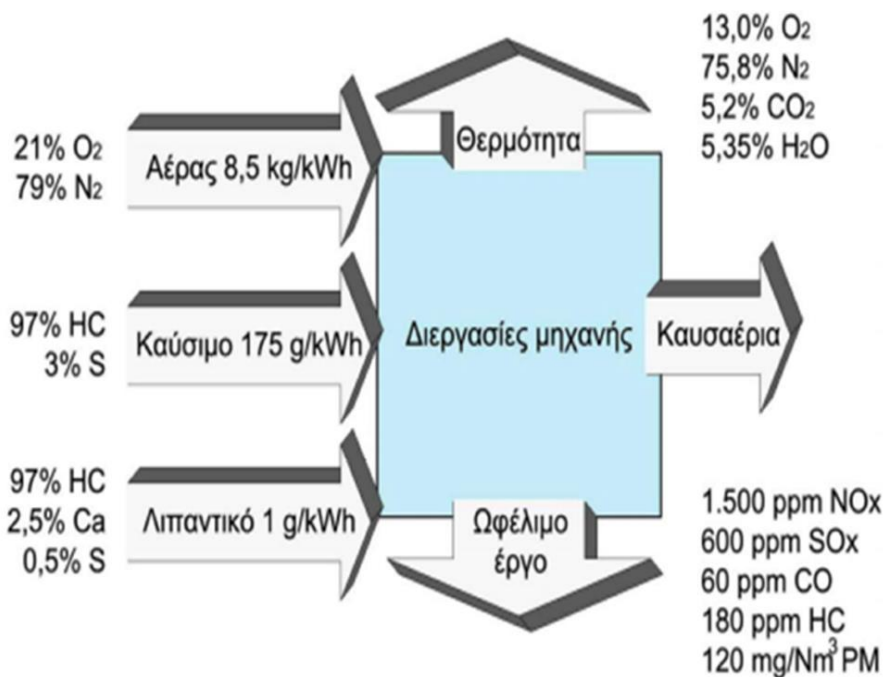
Ακόμη, ο προσανατολισμός των ναυτιλιακών εταιρειών στην «πράσινη» ναυτιλία συνιστά ένα σημαντικό βήμα που λαμβάνει χώρα μέσω του διαρκώς εντεινόμενου ενδιαφέροντός τους για την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και στρατηγικών που θα αυξήσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα των σκαφών και τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων καυσίμων που είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον. Το αρμόδιο όργανο για την χάραξη των παραπάνω πολιτικών αντιστοιχεί στον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (International Maritime Organization, IMO) που στο Παράρτημα VI της MARPOL αναφέρει με σαφήνεια την αναγκαιότητα μίας αποτελεσματικής αποδοτικής και ενιαίας σε ό,τι αφορά τους ρυθμούς υλοποίησής της πολιτικής δέσμευσης και συμμόρφωσης της ναυτιλιακής κοινότητας αναφορικά με τις σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

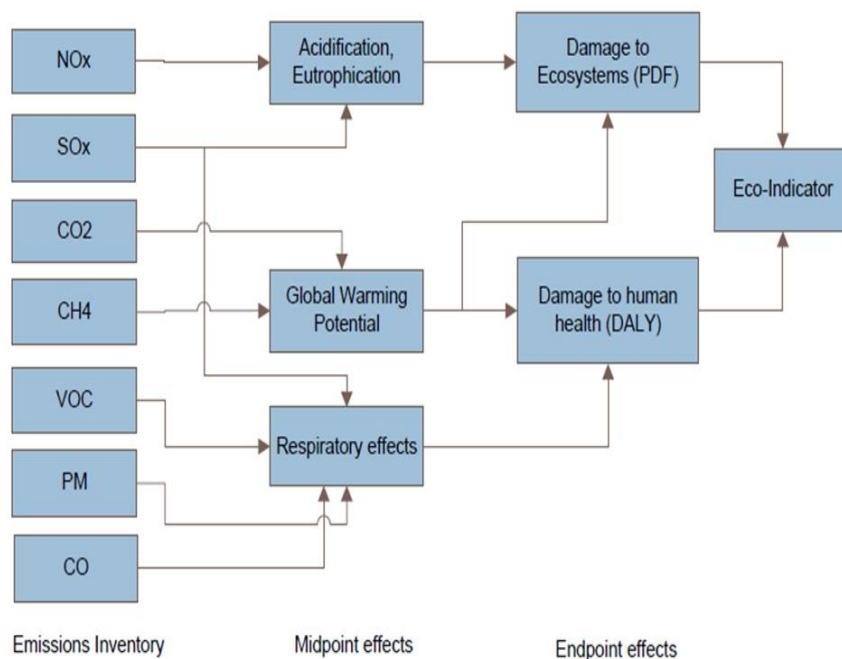
1.1 Γενικές παρατηρήσεις

Η ναυτιλία συνιστά μία από τις βασικές πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων που εντείνουν την κλιματική αλλαγή και βλάπτουν την υγεία των οικοσυστημάτων και των ανθρώπων. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που συνδέονται με τη ναυτιλιακή δραστηριότητα προκύπτουν στη συντριπτική τους πλειοψηφία από τα απαέρια της καύσης η οποία πραγματοποιείται στις μηχανές των σκαφών και, δευτερευόντως, από τις διαφυγούσες ποσότητες μεθανίου στην περίπτωση που μεταφέρεται ή/και χρησιμοποιείται υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG) ως καύσιμη ύλη (Σχήμα 1.1.1) [9]. Σημαντικό τμήμα των εμφραγμάτων, καρκίνων του πνεύμονα, καρδιακών ασθενειών και οξείων ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος (π.χ. άσθματος) έχει αποδοθεί σε μία ποικιλία ατμοσφαιρικών ρύπων.



Σχήμα 1.1.1 Εκπεμπόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι κατά τη λειτουργία ναυτικής μηχανής.

Στο παρακάτω Σχήμα 1.1.2 καταγράφονται οι κυριότεροι ρύποι με τις επιπτώσεις τους στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων.



Σχίμα 1.1.2 Σύνδεση των εκπομπών με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα.

1.2 Αέρια του θερμοκηπίου

Το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αντιστοιχεί στη συγκράτηση τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα από ορισμένα αέρια συστατικά πριν αυτή χαθεί στο διάστημα. Αποτέλεσμα του εν λόγω φαινομένου είναι η επιτάχυνση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

Οι κυριότερες επιπτώσεις του είναι η κλιματική αλλαγή, άνοδος της θαλάσσιας στάθμης, εξαιτίας της τήξης των πάγων, ο περιορισμός της βιοποικιλότητας, η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, η καταστροφή κάποιων καλλιεργειών, η οξίνιση των ωκεανών που συνεπάγεται δυσμενείς επιπτώσεις για τη θαλάσσια βιοποικιλότητα, αλλά και η επιδείνωση του φορτίου των ατμοσφαιρικών ρύπων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Στα αέρια που ευθύνονται για τη συγκράτηση της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνεται κατά κύριο λόγο το διοξείδιο του άνθρακα και, δευτερευόντως (σε ό,τι αφορά την εκλυόμενη ποσότητα και όχι το δυναμικό της υπερθέρμανσης), το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου.

Κατά τη λειτουργία των πλοίων, το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται κατά την τέλεια καύση οργανικών συστατικών, το μεθάνιο συνιστά συστατικό ορυκτών καυσίμων (και, κατά κύριο λόγο, του φυσικού αερίου), ενώ το υποξείδιο του αζώτου σχηματίζε-

ται κατά την οξείδωση του αζώτου του ατμοσφαιρικού αέρα στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας των μηχανών [10].

Το διεθνές πλαίσιο που έχει καθιερωθεί για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έχει διαμορφωθεί στη Σύμβαση-Πλαίσιο του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) για την Κλιματική Αλλαγή το οποίο είχε ανοίξει για υπογραφή το 1992 και τέθηκε σε ισχύ το 1994.

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο (1997) καθορίστηκαν χρονοδιαγράμματα και δεσμευτικές διαδικασίες με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, οι οικονομικά αναπτυγμένες χώρες αποδέχτηκαν μειώσεις στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα της τάξης του 5.2% (κατά μέσο όρο) κατά τα έτη 2008-2012 εν σχέση με τις εκπομπές του 1990. Επίσης, οι συμβαλλόμενες χώρες υποχρεούνταν να υποβάλουν εθνικές ετήσιες απογραφές στις οποίες θα αποτυπώνονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου [59].

Εν τούτοις, η διεθνής ναυτιλία, όπως επίσης και οι αεροπορικές μεταφορές, εξαιτίας της διεθνούς τους φύσης, δεν συμπεριλήφθηκαν στον συνολικό εθνικό απολογισμό των απογραφών, καθώς προέκυπτε ένα σημαντικό πρόβλημα αναφορικά με την κατανομή των εκπομπών από τις εν λόγω πηγές.

Αρχικά, προτάθηκε η αντιστοίχιση των εκπομπών με τα κράτη πωλήσεως των καυσίμων, αναλόγως των ποσοτήτων, η αντιστοίχιση των εκπομπών με τα κράτη αναχώρησης/προορισμού, τα κράτη του διαχειριστή, τα κράτη σημαίας, ή τα κράτη στον θαλάσσιο χώρο εντός του οποίου πραγματοποιούνται τα θαλάσσια ταξίδια.

Όμως, το σύνολο αυτών των λύσεων παρουσίαζαν ποικίλα προβλήματα και εν τέλει, όπως αναφέρθηκε στο Άρθρο 2.2. του Πρωτοκόλλου, αποφασίστηκε ότι οι οικονομικά αναπτυγμένες χώρες όφειλαν να συμβάλουν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου των τομέων της ναυτιλίας και των αεροπορικών μεταφορών συνεργαζόμενες με τους αντίστοιχους διεθνείς οργανισμούς (ΙΜΟ για τη ναυτιλία) και τους αντίστοιχους οργανισμούς του ΟΗΕ για τη ναυτιλία και τις αερομεταφορές.

Οι σχετικές εργασίες του ΙΜΟ ανάγονται στο 2000, όταν παρουσιάστηκε η πρώτη μελέτη του για τα αέρια του θερμοκηπίου και αποφασίστηκε η συγκρότηση μιας ομάδας που θα εργαζόταν επί του θέματος.

Το 2003 ο ΙΜΟ κάλεσε τη Σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee, MEPC) να προβεί στην ανάπτυξη ενός πλαισίου περιορισμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς το αναγνώριζε ως το βασικό αέριο του θερμοκηπίου που παραγόταν από τον ναυτιλιακό

τομέα. Σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβανόταν και η θέσπιση ενός δείκτη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Το 2005 η MEPC ενέκρινε προσωρινές οδηγίες που αφορούσαν την εφαρμογή δείκτη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε εθελοντική βάση και το επόμενο έτος υιοθετήθηκε ένα πρόγραμμα εργασιών με στόχο το 2009 στο οποίο ως στόχοι τίθεντο η βελτίωση του δείκτη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η καθιέρωση των καμπυλών αναφοράς και η μελέτη λειτουργικών, τεχνικών και οικονομετρικών μηχανισμών ούτως ώστε να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η MEPC του Απριλίου του 2008 αποφάσισε την υιοθέτηση 9 αρχών οι οποίες θα αφορούσαν τη συζήτηση για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου. Μεταξύ αυτών περιλαμβανόταν πως τα μέτρα που θα λαμβάνονται οφείλουν να είναι όχι μόνον αποτελεσματικά σε ό,τι αφορά τη μείωση των εν λόγω εκπομπών, αλλά και αποδοτικά από οικονομική άποψη, ούτως ώστε να μην επιβραδύνεται η ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου.

Το 2011 εγκρίθηκε η θέσπιση του EEDI και άλλων προβλέψεων. Έτσι, για να μπορέσει ένα σκάφος να αποκτήσει το λεγόμενο «Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (International Energy Efficiency Certificate, IEEC) οφείλει να τηρεί τις προδιαγραφές για το SEEMP και τον EEDI [59].

Το 2018 η 72η MEPC, έπειτα από σκληρές διαπραγματεύσεις που διήρκεσαν περί τις δύο εβδομάδες, υιοθέτησε μία βασική στρατηγική η οποία προβλέπει τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία κατά 50% έως το 2050 εν συγκρίσει με το 2008 και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων κατά 40% έως το 2030 και η προσπάθεια για περαιτέρω αύξησή της με στόχο το 70% έως το 2050 [19].

1.3 Οξείδια του αζώτου

Στα οξείδια του αζώτου με περιβαλλοντική σημασία εντάσσονται εκτός από το N_2O , το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου και γενικά ως «οξείδια του αζώτου» (NO_x) αναφέρονται τα δύο τελευταία. Το πρώτο, στα επίπεδα στα οποία συναντάται στις παράκτιες ζώνες, δεν έχει ως αποτέλεσμα αξιόλογες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ούτε και επιδρά άμεσα στον σχηματισμό της όξινης βροχής, αλλά η περιβαλλοντική του σημασία έγκειται στο ότι αποτελεί πρόδρομη ένωση του δευτερογενούς ατμοσφαιρικού ρύπου όζον (όπως και το διοξείδιο του αζώτου) και, ως εκ

τούτου, συνδέεται με τη φωτοχημική ρύπανση [11]. Η παραγωγή των οξειδίων του αζώτου οφείλεται στην αντίδραση του οξυγόνου του αέρα που χρησιμοποιείται για την καύση με το ατμοσφαιρικό άζωτο σε υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εντός των συστημάτων καύσης. Ο περιορισμός των συγκεντρώσεών τους αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα, μιας και στην περίπτωση που επιχειρηθεί η μείωσή τους διά της μείωσης των θερμοκρασιών λειτουργίας των συστημάτων καύσης, ο βαθμός απόδοσης των τελευταίων περιορίζεται σημαντικά και, ως εκ τούτου, αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση [63].

Το διοξείδιο του αζώτου, καθώς διαλύεται στις κατακρημνίσεις και την ομίχλη μετατρέπεται σε νιτρικό οξύ, γεγονός που συνεπάγεται τον σχηματισμό όξινης βροχής. Η επίδραση της όξινης βροχής στα υδάτινα οικοσυστήματα, είναι εμφανής και άμεση, εξαιτίας της επαφής αυτών με τις κατακρημνίσεις.

Ενώ το pH των περισσότερων ποταμών και λιμνών είναι μεταξύ του 6 και του 8, στις περιπτώσεις όπου τα εν λόγω υδάτινα οικοσυστήματα δεν διαθέτουν ικανοποιητικά ικανότητα για την εξουδετέρωση των όξινων συστατικών που εισρέουν με τις κατακρημνίσεις, η μείωση του pH έχει συνδεθεί με μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων. Στα τελευταία εντάσσονται η εξαφάνιση ειδών ψαριών, ο περιορισμός του ρυθμού αναπαραγωγής κάποιων ειδών ψαριών, ο περιορισμός του πληθυσμού οργανισμών που εμπίπτουν στο φυτοπλαγκτόν και θαλάσσιων σαλιγκαριών καθώς και η αύξηση της ποσότητας της παραγόμενης αργίλου, η οποία είναι ιδιαίτερα τοξική για πολλούς υδρόβιους οργανισμούς [54].

Επιπλέον, εκτός από τα ψάρια, ιδιαίτερα ευαίσθητα στη μείωση του υδάτινου pH είναι και τα αμφίβια είδη. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι τιμή pH της τάξης του 4 σχετίζεται με 50% θνησιμότητα της πλειοψηφίας αυτών των οργανισμών. Επιπροσθέτως, το εν λόγω φαινόμενο έχει συνδεθεί με αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου αργιλίου [60]. Επίσης, οι φυτικοί οργανισμοί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην ύπαρξη όξινων αποθέσεων, οι οποίες ενδεχομένως συνεπάγονται αναστολή της βλάστησης, αλλά και της αναπαραγωγής φυτικών ειδών, λόγω και της περιορισμένης διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών.

Πέραν τούτου, η όξινη βροχή προάγει χημικές μετατροπές οι οποίες οδηγούν σε ενώσεις που ενέχουν δυσμενείς συνέπειες στην ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1.3.1 απεικονίζεται ένα δάσος το οποίο έχει πληγεί από το φαινόμενο της όξινης βροχής. Κάποια τοξικά συστατικά διαλύονται ευκολότερα και αυτά σε υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων είναι δυνατόν να εμποδίσουν τόσο την

πρόσληψη όσο και την αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών από τους φυτικούς οργανισμούς [53]. Τέλος, οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου έχουν συνδεθεί και με το φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτων [9].



Εικόνα 1.3.1 Δάσος στα όρη Jizera της Τσεχίας που έχει καταστραφεί από όξινη βροχή.

Αναφορικά με τις επιπτώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού, η έκθεση στις συγκεντρώσεις του ενδέχεται να επιφέρει βλάβες στους οφθαλμούς και στο αναπνευστικό σύστημα. Στην περίπτωση δε που οι συγκεντρώσεις του συγκεκριμένου συστατικού είναι υψηλές, το διοξείδιο του αζώτου μπορεί να αντιδράσει με τους υδρατμούς των βρόγχων και των κυψελίδων του αναπνευστικού συστήματος και, κατά συνέπεια, να οδηγήσει σε ερεθισμό αυτών. Το βασικό σύμπτωμα είναι το πνευμονικό οίδημα. Στις περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερες από 150 ppm, επέρχεται ο θάνατος του ανθρώπου. Σημαντικός κίνδυνος παρουσιάζεται έπειτα από 5-72 ώρες μετά από την έκθεση στα επίπεδα των υψηλών συγκεντρώσεων, δηλαδή κατά την περίοδο κατά την οποία η φλεγμονή η οποία μπορεί να συνεπάγεται το πνευμονικό οίδημα βρίσκεται εν εξελίξει. Παρ' όλο που αυτές οι συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα των παράκτιων ζωνών είναι πολύ σπάνιες, τα επίπεδα αυτά μπορεί να παρατηρηθούν στον εισπνεόμενο αέρα ενός εργαζόμενου που δραστηριοποιείται σε περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από τόσο υψηλές συγκεντρώσεις [10].

1.4 Οξείδια του θείου

Με τον όρο «οξείδια του θείου» νοείται κατά κύριο λόγο το διοξείδιο του θείου, ένα άχρωμο αέριο που σε υψηλές συγκεντρώσεις το χαρακτηρίζει η ερεθιστική

και έντονη οσμή [60]. Οι βασικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες που είναι υπεύθυνες για τις εκπομπές οξειδίων του θείου σχετίζονται με τις καύσεις ορυκτών καυσίμων τα οποία περιέχουν θείο [62].

Στον τομέα της ναυτιλίας κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί ουσιαστικές προσπάθειες με στόχο τη μείωση της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο με τη θέσπιση ολοένα και αυστηρότερων προδιαγραφών [9]. Στον αέρα της ατμόσφαιρας το διοξείδιο του θείου αλληλοεπιδρά εύκολα με οξειδωτικά συστατικά ή με σωματιδιακές επιφάνειες προς παραγωγή σουλφιδίων και όξινων σωματιδίων αντιστοίχως. Η έκθεση του πληθυσμού σε όξινα σωματίδια ενέχει σημαντικούς κινδύνους για το αναπνευστικό σύστημα. Έπειτα, το διοξείδιο του θείου αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και παράγεται θειώδες οξύ που μετατρέπεται σε θειικό οξύ εντός υδατικού περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, η τιμή του pH των κατακρημνίσεων μειώνεται, με αποτέλεσμα την εμφάνιση όξινης βροχής [62].

Σε μακροχρόνια έκθεση ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις το διοξείδιο του θείου έχει συσχετισθεί με πολλαπλασιασμό της συχνότητας των αναπνευστικών παθήσεων, ενώ η παράλληλη παρουσία σωματιδίων στην ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση αυτής της δυσμενούς επίδρασης και, ως εκ τούτου, την αύξηση της θνησιμότητας. Εκτός από την επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, όπως προαναφέρθηκε, το οξύ του θείου ευθύνεται και για την όξινη βροχή που όχι μόνον καταστρέφει πολλά φυτικά είδη, αλλά και οικοδομικά υλικά (π.χ. υλικά κατασκευής ιστορικών μνημείων). Η αντίδραση του ανθρακικού ασβεστίου των υλικών αυτών με το θειικό οξύ έχει ως συνέπεια την παραγωγή γύψου και διοξειδίου του άνθρακα, μία διαδικασία που αναφέρεται και ως γυψοποίηση του μαρμάρου (Σχήμα 1.4.1) [10].



Εικόνα 1.4.1 Γυψοποίηση μνημείου η οποία οφείλεται στην έκθεσή του στην όξινη βροχή.

1.5 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άοσμο, άχρωμο, άγευστο και ερεθιστικό αέριο συστατικό που παράγεται κατά την ατελή καύση οργανικής ύλης. Ο τομέας των μεταφορών συνιστά την πλέον σημαντική πηγή εκπομπής του εν λόγω ρύπου [11]. Το μονοξείδιο του άνθρακα συνδέεται με τον μεγαλύτερο αριθμό δηλητηριάσεων εν σχέση με οποιαδήποτε άλλη ένωση. Η τοξικότητά του ανάγεται στη χημική του συγγένεια με την αιμογλοβίνη του αίματος η οποία μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στα σωματικά κύτταρα και το διοξείδιο του άνθρακα από τα τελευταία στους πνεύμονες. Επομένως, η παρουσία του μονοξειδίου του άνθρακα στον εισπνεόμενο αέρα επιφέρει περιορισμό των επιπέδων οξυγόνωσης των σωματικών κυττάρων με αντικατάσταση του οξυγόνου στην αιμοσφαιρίνη (η οποία συναντάται υπό φυσιολογικές συνθήκες ως οξυαιμοσφαιρίνη) και σχηματισμό της καρβοξυαιμοσφαιρίνης. Τα τμήματα του οργανισμού τα οποία δέχονται το σημαντικότερο πλήγμα από το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αυτά που η λειτουργία τους συνδέεται άμεσα με τον ρυθμό οξυγόνωσης και, επομένως, περιλαμβάνουν τον εγκέφαλο, την καρδιά και τυχόν αναπτυσσόμενο έμβryo. Πολύ ευπαθείς ομάδες είναι τα νήπια που διέρχονται ένα κρίσιμο στάδιο νευρικής και εγκεφαλικής ανάπτυξης, άτομα με χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα, καθώς και άτομα με διάφορες αιματικές δυσλειτουργίες. Επίσης, η παρουσία του μονοξειδίου του άνθρακα συμβάλλει στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους [10].

1.6 Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM), πολλά από τα οποία παράγονται κατά την καύση οργανικών συστατικών και, κυρίως, στερεών και υγρών υδρογονανθράκων, μπορούν να επιδράσουν πολλαπλώς στη δημόσια υγεία.

Οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε αναπνευστικές, καρδιαγγειακές και σε γενotoξικές, κατ' εξοχήν εξαιτίας των τοξικών συστατικών τα οποία προσροφώνται σε αυτά, της ικανότητάς τους να μεταφέρονται εύκολα από το ένα χωρικό σημείο στο άλλο, αλλά και της ικανότητάς τους να διεισδύουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα (ιδίως τα σωματίδια μικρής αεροδυναμικής διαμέτρου) [57].

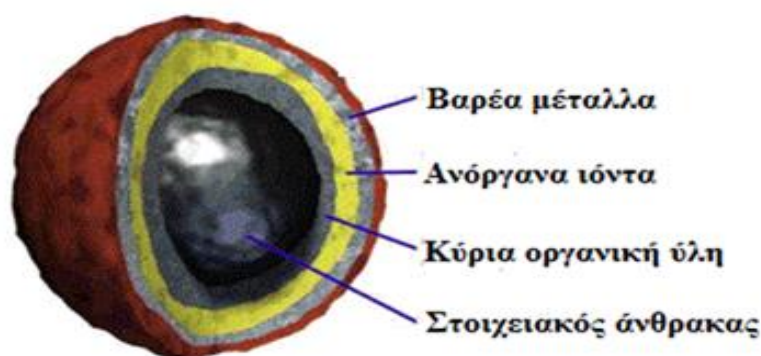
Τις τελευταίες δεκαετίες έχει εκδοθεί ένας μεγάλος αριθμός επιδημιολογικών μελετών που συσχετίζουν την έκθεση στις περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (particulate matter, PM) με τη θνησιμότητα [5, 14]. Πρόσφατες

έρευνες για τη σχέση μεταξύ έκθεσης σε PM και κινδύνου στην υγεία και βελτιωμένες εκτιμήσεις εκπομπών σε διεθνές επίπεδο [2, 4] υποδεικνύουν υψηλότερα επίπεδα έκθεσης σε PM από εκείνα που είχαν εκτιμηθεί προγενέστερα [20].

Τα PM έχουν μεταβαλλόμενη χημική σύσταση, η οποία ποικίλλει σημαντικά και αντανακλά την πηγή από την οποία εκπέμπονται. Γενικά, τα PM αποτελούνται από μια ανόργανη φάση (στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας κ.α.) και μια οργανική φάση, η οποία ανάλογα με τη σωματιδιακή πηγή μπορεί να κυμαίνεται σε περιεκτικότητα από 20 με 80%. Η οργανική φάση μπορεί να διακριθεί σε περαιτέρω τμήματα, στον στοιχειακό άνθρακα ο οποίος εντοπίζεται στον πυρήνα των PM, και στην κύρια οργανική ύλη, που αποτελεί ένα σύνθετο μείγμα διαφόρων πτητικών ή ημιπτητικών προσροφημένων ενώσεων. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του κλάσματος αποτελεί τον λεγόμενο οργανικό άνθρακα.

Σε εναλλακτική διατύπωση, αποτελούνται από πυρήνα στοιχειακού άνθρακα και έναν μεγάλο αριθμό από προσροφημένα συστατικά, όπως βαρέα μέταλλα και ποικίλες πτητικές ή ημιπτητικές ενώσεις, όπως οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα νιτροαρένια κ.α., ύλη βιολογικής προέλευσης, όπως σκόνη μυκήτων, ανόργανα ιόντα (θειικά, νιτρικά) και δραστικά αέρια (όζον, υπεροξείδια, αλδεϋδες), καθώς και ανόργανες ενώσεις.

Οι χημικές ιδιότητες των PM ποικίλλουν ανάλογα με τη σύστασή τους, ενώ οι φυσικές ιδιότητες αποτελούν συνάρτηση του μεγέθους τους [38]. Τα λεπτά PM, αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης από 2.5 μm, είναι και εκείνα τα οποία μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και στην πλειοψηφία τους περιλαμβάνονται σε πρωτογενώς και δευτερογενώς παραγόμενα αερολύματα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή σχηματίζονται μέσω μηχανισμών πυρήνωσης/συμπύκνωσης αερίων χαμηλής τάσης ατμών που έχουν παραχθεί σε υψηλές θερμοκρασίες [10, 21].



Εικόνα 1.6.1 Τυπική σύσταση σωματιδίου.

Ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency, EPA) αναφέρεται σε μια «πυραμίδα» επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, περιλαμβάνοντας τόσο οξείες όσο και μακροχρόνιες επιπτώσεις. Στη βάση της πυραμίδας είναι οι λιγότερο σοβαρές, όπως ερεθισμός των πνευμόνων, βήχας, καρδιακές παθήσεις ή και αυξημένη ευαισθησία στην εκδήλωση λοίμωξης. Σε περισσότερο σοβαρές περιπτώσεις, το εκτεθέν άτομο προβαίνει σε χρήση φαρμακευτικών ουσιών ή/και εμφανίζει άσθμα. Σε έκθεση αυξημένης επικινδυνότητας ή παρατεταμένη διάρκεια έκθεσης το άτομο μπορεί να επισκέπτεται ιατρό, να απουσιάζει από το σχολείο ή την εργασία του, ενώ σε ακόμη σοβαρότερες περιπτώσεις εισάγεται σε νοσοκομείο. Την κορυφή της πυραμίδας αποτελεί η περίπτωση του θανάτου του εκτεθέντος ατόμου. Στα παιδιά, η χρόνια έκθεση σε αυξημένα επίπεδα σωματιδίων σχετίζεται με τριπλάσια αύξηση της συχνότητας μη εξειδικευμένων συμπτωμάτων, όπως χρόνιου βήχα, άσθματος και χρόνιων ασθενειών του αεραγωγού [32].

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στη συσχέτιση των σωματιδιακών συγκεντρώσεων με τα συμπτώματα βρογχικής υπεραπαντητικότητας (airway hyper-responsiveness, AHR), η οποία μαζί με την μείωση της λειτουργικότητας των πνευμόνων, την αυξημένη χρήση φαρμάκων, τις αυξημένες επισκέψεις σε νοσοκομεία κ.ά., αποτελούν ενδείξεις για την εμφάνιση άσθματος σε έναν πληθυσμό. Στις γενοτοξικές επιπτώσεις εντάσσεται ο καρκίνος του πνεύμονα που επάγεται κυρίως λόγω της δράσης των προσροφημένων πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs) οι οποίοι έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν συζεύγματα με το DNA, προωθώντας έτσι την διαδικασία της καρκινογένεσης [57]. Οι PAHs περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό (πάνω από 600 ενώσεις) αδρανών ημιπτητικών αρωματικών ενώσεων ποικίλης τοξικότητας, κατανεμημένων στη σωματιδιακή και την αέρια φάση [47].

1.7 Πτητικές οργανικές ενώσεις

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs) περιλαμβάνουν συστατικά των καυσίμων, όπως το βενζόλιο και το τολουόλιο, τα οποία εμφανίζουν μεγάλη τάση ατμών και σημεία βρασμού μεταξύ 50 και 250°C. Οι συγκεκριμένες ενώσεις, που μαζί με τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στην εμφάνιση φωτοχημικού νέφους, έχουν συνδεθεί με σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, όπως, για παράδειγμα, τον καρκίνο, ενώ συμμετέχουν στην καταστροφή του όζοντος

της στρατόσφαιρας. Κάποια από αυτά τα συστατικά, όπως το αιθυλένιο και η φορμαλδεΰδη θεωρούνται επιβλαβείς για τους φυτικούς οργανισμούς. Καθώς οι συγκεντρώσεις τους είναι συνήθως αρκετά χαμηλές και οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι μακροχρόνιες, είναι δύσκολη η ακριβής αποτίμηση της δυσμενούς τους επίδρασης. Το βενζόλιο, ένωση με γνωστή καρκινογόνο δράση, εξατμίζεται ταχέως στον ατμοσφαιρικό αέρα και οι ατμοί του είναι βαρύτεροι του τελευταίου, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται στα κατώτατα στρώματα της ατμόσφαιρας [10].

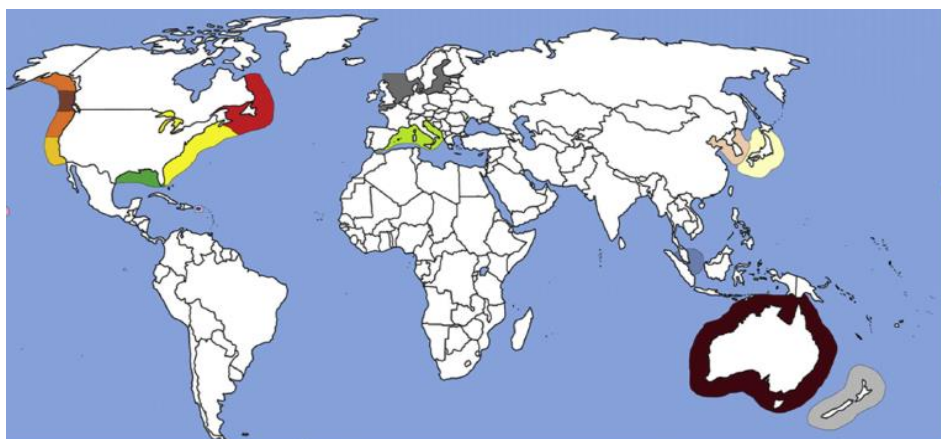
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

2.1. Γενικές παρατηρήσεις

Η υιοθέτηση της MARPOL από τον IMO το 1973 υπήρξε σταθμός στη διαχείριση των εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων. Ωστόσο, η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα αντέδρασε με μεγάλη καθυστέρηση. Ο IMO αξιοποίησε το πλαίσιο της MARPOL, ώστε να εισαγάγει ρυθμίσεις βάσει των οποίων θα ελέγχονταν οι εκπομπές συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων.

Το 1997 υιοθετήθηκε το Παράρτημα VI της MARPOL που υπήρξε σημείο έναρξης προσπαθειών περιορισμού των εκπομπών των οξειδίων του θείου και των οξειδίων του αζώτου με καθιέρωση προτύπων εκπομπής και τέθηκε σε ισχύ το 2005. Τα εν λόγω πρότυπα στόχευαν στη μείωση των εκπομπών αυτών κατά 80% διεθνώς και κατά παραπάνω από 90% σε ειδικές ζώνες ελέγχου οι οποίες θεσπίστηκαν από τον IMO. Οι ζώνες αυτές αναφέρονται ως «ζώνες ελέγχου εκπομπών» (emission control areas, ECAs ή sulfur emission control areas, SECAs) και βρίσκονται κατά μήκος ακτών των ΗΠΑ και της Ευρώπης (Σχήμα 2.1.1).



Εικόνα 2.1.1 Ζώνες ECAs.

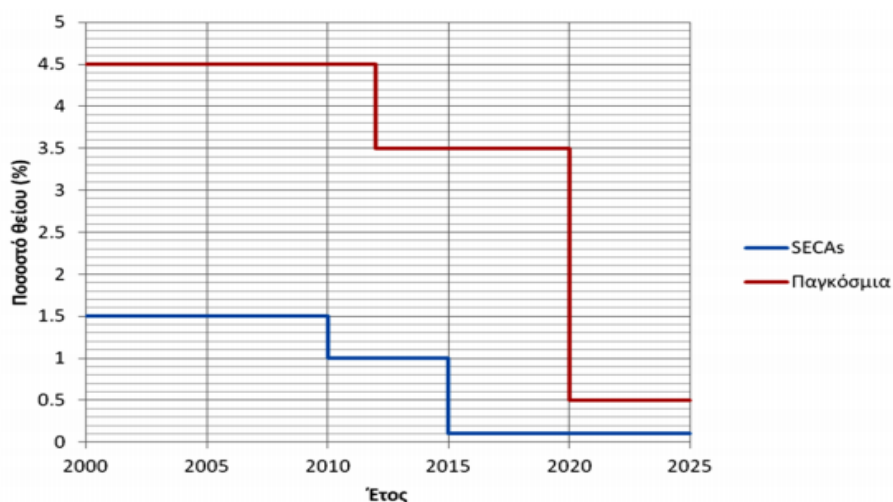
Οι ζώνες αυτές διέπονται από αυστηρότερες προδιαγραφές εκπομπών για σκάφη τα οποία κινούνται εντός αυτών [46]. Σε ό,τι αφορά το σχέδιο του IMO για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου, η στρατηγική που έχει υιοθετηθεί μπορεί να θεωρηθεί αρκετά φιλόδοξη, καθώς αναφέρεται στον περιορισμό των συγκεκριμένων εκπομπών έως 50% το 2050 εν συγκρίσει με το 2008 [16].

Βάσει, λοιπόν, των παραπάνω στοιχείων, διαπιστώνεται ότι η MARPOL καθορίζει τα όρια των οξειδίων του αζώτου και των οξειδίων του αζώτου τόσο στα διεθνή ύδατα όσο και στις ECAs.

Ημερομηνία εφαρμογής	Ανώτατη % κ.β. περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο (διεθνή ύδατα)	Ημερομηνία εφαρμογής	Ανώτατη % κ.β. περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο (ECAs)
Έως 1.1.2010	4.5	Έως 1.7.2010	1.5
Μετά την 1.1.2012	3.5	Μετά την 1.7.2010	1.0
Μετά την 1.1.2020	0.5	Μετά την 1.1.2015	0.1

Πίνακας 2.1.1 Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του θείου.

Στον παραπάνω Πίνακα 2.1.1 αναφέρονται οι περιορισμοί που αφορούν την περιεκτικότητα του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα και είχαν επβληθεί για να πραγματοποιηθεί μία ομαλή μετάβαση της διεθνούς ναυτιλίας στις νέες περιβαλλοντικές προδιαγραφές (Σχήμα 2.1.1).



Σχήμα 2.1.1 Χρονική εξέλιξη των ορίων της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων, σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL.

Πράγματι, οι εκπομπές διοξειδίων του θείου είναι ανάλογες της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο και, επομένως, είναι ευνόητη η προσέγγιση της θέσπισης ανώτατων ορίων της περιεκτικότητας αυτής στα ναυτιλιακά καύσιμα. Επί παραδείγματι, η μείωση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο από το 2.7% στο 0.5% συνεπάγεται περιορισμό των εκπομπών οξειδίων του θείου περίπου κατά 80%.

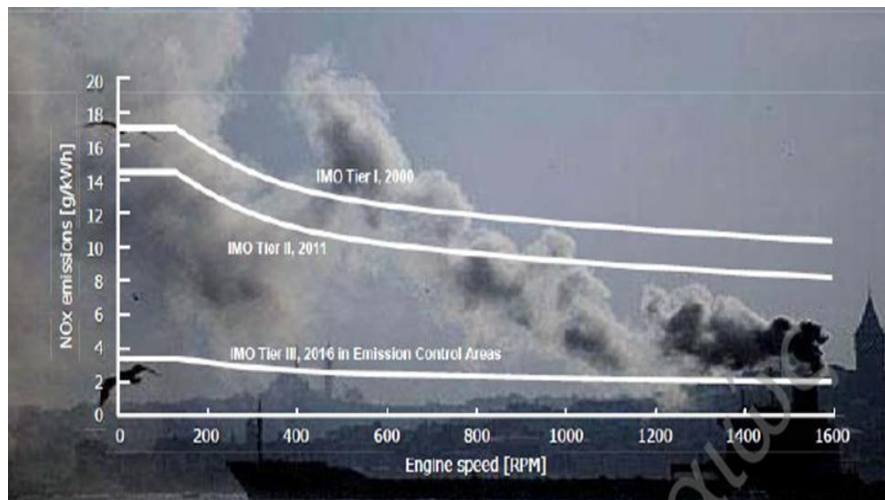
Επιπλέον, αφού η πλειονότητα των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις μηχανές πρόωσης σχετίζεται με τα συστατικά του καυσίμου που περιέχουν θείο, η ελάττωση της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο έχει ως αποτέλεσμα και τη μείωση των εκπομπών PM. Επίσης, η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων οδηγεί σε πιο αποδοτική χρήση των τεχνολογιών αντιρύπανσης που είναι εγκατεστημένες σε ένα πλοίο και εξυπηρετούν τον καθαρισμό των αερίων της καύσης. Από τα γνωστά ναυτιλιακά καύσιμα, στις ECAs χρησιμοποιείται το ντήζελ ναυτιλίας, MDO (Marine Diesel Oil) και σε Ευρωπαϊκά λιμάνια το πετρέλαιο ναυτιλίας, MGO (Maritime Gas Oil) [3].

Από την άλλη, στον Κανονισμό 13 αναφέρονται οι ανώτατες επιτρεπτές εκπομπές του πλοίου ανά kWh, ποσότητες που συναρτώνται με την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα. Προβλέπονται τρία επίπεδα εκπομπών, τα Tier I, II και III (Πίνακας 2.1.2) και μάλιστα όσο νεότερο είναι το σκάφος τόσο αυστηρότερα είναι τα αντίστοιχα όρια.

Επίπεδο	Ημερομηνία ναυπήγησης πλοίου	Ανώτατο όριο εκπομπών NO _x (g/kWh)		
		n < 130	130 ≤ n ≤ 2000	n ≥ 2000
Tier I	1.1.2000	17.0	45×n ^{-0.2}	9.8
Tier II	1.1.2011	14.4	44×n ^{-0.23}	7.7
Tier III	1.1.2016 (στις ECAs)	3.4	9×n ^{-0.2}	1.96

Πίνακας 2.1.2 Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (όπου n οι στροφές της μηχανής σε rpm).

Οι κανονισμοί Tier I αφορούν τις μηχανές που είναι εγκατεστημένες σε σκάφη τα οποία ναυπηγήθηκαν από την 1.1.2000 και ύστερα, τα όρια Tier II μηχανές που είναι εγκατεστημένες σε σκάφη τα οποία ναυπηγήθηκαν μετά την 1.1.2011 και τα όρια Tier III, που είναι και τα πλέον αυστηρά, ισχύουν αποκλειστικά στις ECAs, οι οποίες είναι θαλάσσιες ζώνες της Βόρειας Αμερικής (Σχήμα 2.1.2).



Σχήμα 2.1.2 Ανώτατες επιτρεπτές εκπομπές οξειδίων του αζώτου πλοίων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής.

Τον Ιανουάριο του 2013 τέθηκε σε ισχύ η αναθεωρημένη μορφή του Παραρτήματος VI του 2011 στο οποίο περιλαμβάνεται το Τέταρτο Κεφάλαιο που αναφέρεται στην ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων, ούτως ώστε να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Βάσει αυτού, ο τομέας της ναυτιλίας υποχρεώνεται να εισαγάγει μία νέα παράμετρο που είναι ενδεικτική της αποδοτικότητας στη χρήση των καυσίμων των νέων σκαφών, τον Δείκτη Σχεδιαστικής Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index, EEDI), αλλά και ένα νέο σχέδιο για την παρακολούθηση της αποτελεσματικής ενεργειακής διαχείρισης στα πλοία (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP).

Ο EEDI λαμβάνει υπόψη τη μεταφορική ικανότητα των πλοίων και την ταχύτητά τους δημιουργώντας πρότυπα που αποσκοπούν στον περιορισμό της κατανάλωσης των καυσίμων με υιοθέτηση διαφόρων πρακτικών, όπως με ελαχιστοποίηση των αντιστάσεων, αναβάθμιση των μηχανών, αξιοποίησης αιολικής ενέργειας κ.ο.κ.

2.2. Μέθοδοι περιορισμού των εκπομπών

Οι πρακτικές μείωσης των ατμοσφαιρικών εκπομπών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, σε εκείνες που σχετίζονται με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία, με τη λειτουργικότητα του πλοίου και με τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα.

Οι τεχνολογικές πρακτικές αφορούν αλλαγές στο κύτος, στην έλικα και στις μηχανές των σκαφών, αλλά και την εγκατάσταση συστημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας για τον καθαρισμό των απαερίων της καύσης. Οι πρώτες αποσκοπούν στον περιορισμό των αντιστάσεων που προκαλούνται στην κίνηση του πλοίου. Καθώς οι

εμφανιζόμενες δυνάμεις σχετίζονται με την τριβή μεταξύ της γάστρας και της υδάτινης μάζας, όπως επίσης και με τα κύματα και τις δίνες στην πρύμνη, εφόσον βελτιωθεί ο σχεδιασμός της γάστρας του σκάφους, ιδίως στα μικρά πλοία, περιορίζονται ταυτοχρόνως οι αντιστάσεις της υδάτινης μάζας και, κατά συνέπεια, ελαττώνεται και η κατανάλωση καυσίμου.

Έχει εκτιμηθεί ότι η εν λόγω μείωση μπορεί να ανέλθει στα επίπεδα του 9%. Οι αντιστάσεις μπορούν να περιοριστούν με αξιοποίηση φυσαλίδων αέρα. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί σε νεοαυπηγηθέντα σκάφη των οποίων το ελάχιστο μήκος θα πρέπει να είναι 225 m. Η αερολίπανση της γάστρας αναμένεται ότι θα επιφέρει περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 10-15%.

Επιπλέον, η βελτίωση της απόδοσης της έλικας του πλοίου, στο πλαίσιο του υδροδυναμικού σχεδιασμού, με αύξηση της διαμέτρου των πτερυγίων και μείωση των περιστροφών της έλικας ανά λεπτό, μπορεί να αυξήσει έτι περαιτέρω την αποδοτικότητα στην κατανάλωση των καυσίμων. Στην κατάλληλη αντιρρυπαντική τεχνολογία εντάσσονται κατά κύριο λόγο η χρήση πλυντρίδων (scrubbers) και της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής (Selective Catalytic Reduction, SCR) [16, 42].

Σε ό,τι αφορά τη λειτουργικότητα, ο περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι δυνατόν να επέλθει με τη μείωση της ταχύτητας και τη γενική βελτίωση του ταξιδιού, καθώς είναι ευνόητο ότι η πλεύση με μικρότερη ταχύτητα επιφέρει μείωση της αντίστασης και γενική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Ειδικότερα, έχει διαπιστωθεί ότι ο περιορισμός της ταχύτητας κατά 10% αντιστοιχεί σε μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου ανά t-km κατά 19%. Ως άλλος τρόπος βελτίωσης της λειτουργικότητας αναφέρεται η κατάλληλη κατανομή του φορτίου και του έρματος, συνθήκη που σχετίζεται με μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 0.5-2% [16].

Τέλος, η αύξηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων του σκάφους μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση «καθαρότερων» καυσίμων ή, εν γένει, φιλικότερων προς το περιβάλλον ενεργειακών πηγών, όπως για παράδειγμα με τη χρήση υγρών ναυτιλιακών καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, με τη χρήση φυσικού αερίου ή ακόμη και με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

ΠΡΑΣΙΝΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

3.1. Γενικές παρατηρήσεις

Κατά την τελευταία δεκαετία ο κλάδος της ναυτιλίας έχει επιτύχει μία σημαντική πρόοδο στη συμμόρφωση με αυστηρούς κανονισμούς για την αντιμετώπιση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου, διαδικασία που δρομολογήθηκε ταχύτερα έπειτα από την έκδοση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997.

Από τότε έχουν ληφθεί αρκετές αποφάσεις και έχουν διερευνηθεί και εφαρμοστεί αρκετές πρακτικές που επιχειρούν να καταστήσουν τη ναυτιλία «φιλικότερη» προς το περιβάλλον, με ιδιαίτερη έμφαση στη συνολική ενεργειακή απόδοση των πλοίων και στους δείκτες εξοικονόμησης καυσίμου. Οι εν λόγω πρακτικές ακολουθούν μία ολοένα και ταχύτερη πορεία ανάπτυξης [41].

3.2. Τα «πράσινα» πλοία

Σήμερα, μετά το πέρας των δύο πρώτων δεκαετιών του 21ου αιώνα, έχει εκδηλωθεί μία σημαντική ευαισθησία και πιο έντονες και αυστηρότερες απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές του τομέα της ναυτιλίας. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η αυστηροποίηση των προδιαγραφών μπορεί ενίοτε να έρχεται σε αντίθεση με το εκάστοτε οικονομικό περιβάλλον. Οπωσδήποτε όμως στην υιοθέτηση «πράσινων» πρακτικών συμβάλλει και η αύξηση του κόστους συμβατικών ή και επεξεργασμένων υγρών ναυτιλιακών καυσίμων [18, 46].

Η διαδικασία ναυπήγησης, υπό το πρίσμα των νέων περιβαλλοντικών και οικονομικών προκλήσεων, έχει εξελιχθεί σε ένα έργο πολλών διαστάσεων, καθώς οι σύγχρονες ναυπηγικές εταιρείες υποχρεούνται να συμμορφώνονται με ποικίλες απαιτήσεις και με ρυθμιστικούς κανονισμούς, με στόχο την ελαχιστοποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [59].

Βάσει των σύγχρονων προσεγγίσεων που χρησιμοποιούν την «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» (Life Cycle Assessment, LCA) ως εργαλείο προσδιορισμού περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει να σημειωθεί ότι όρος «πράσινα πλοία» αναφέρεται πλέον σε πλοία σχεδιασμένα κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συνολικές πε-

ριβαλλοντικές επιπτώσεις με γνώμονα όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του πλοίου [9], τα οποία είναι:

1. Η μελέτη και η σχεδίασή του.
2. Η κατασκευή και η εγκατάσταση του εξοπλισμού του.
3. Η λειτουργία του στο θαλάσσιο περιβάλλον.
4. Ο παροπλισμός και η διάλυσή του.

Οι νηογνώμονες έχουν καθιερώσει κανόνες διεθνούς ισχύος αναφορικά με την κατασκευή των πλοίων, με τέτοιον τρόπο ώστε ένα «πράσινο» πλοίο να συμμορφώνεται με τους σχετικούς κανονισμούς. Το «πράσινο διαβατήριο» του πλοίου είναι έγγραφο που το συνοδεύει καθ' όλη τη διάρκεια του λειτουργικού του βίου. Πρόκειται για έναν κατάλογο όπου έχουν απογραφεί τα υλικά που μπορεί να είναι επικίνδυνα τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο. Το πράσινο διαβατήριο καταστρώνεται από το ναυπηγείο και παραδίδεται στην πλοιοκτήτρια εταιρεία.

Ο οργανισμός «Πράσινου Βραβείου» (Green Award) έχει αναλάβει πρόσφατα τον ρόλο της διενέργειας επιθεωρήσεων και της «πράσινης» πιστοποίησης στον τομέα. Ο συγκεκριμένος φορέας ιδρύθηκε το 1994 σε συνεργασία του λιμένα του Rotterdam με το Ολλανδικό Υπουργείο Μεταφορών.

Πρόκειται για ανεξάρτητο οργανισμό με διεθνή, πλέον, εμβέλεια, ενώ η λειτουργία του καλύπτει όλο τον πλανήτη. Έργο του είναι η πιστοποίηση των σκαφών που υπάγονται στα σύγχρονα περιβαλλοντικά κριτήρια. Το «Πράσινο Πιστοποιητικό» έχει, ωστόσο, συμπληρωματικό μόνον ρόλο σε σχέση με τα θεσμικά όργανα του IMO.

Τα «Πράσινα Πιστοποιητικά» πληρώνονται από τις πλοιοκτήτριες εταιρείες και επανεξετάζονται κάθε τρία έτη, παρέχοντας στους κατόχους τους την περιβαλλοντική πιστοποίηση της ποιότητας σε σχέση με το προσωπικό, τη διοίκηση και τον μηχανολογικό εξοπλισμό. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ένα πλοίο υπόκειται σε μικρότερο αριθμό επιθεωρήσεων από τρίτους φορείς, ενώ τα πιστοποιημένα πλοία έχουν σημαντική έκπτωση στα τέλη που αφορούν τις υπηρεσίες που παρέχονται στους λιμένες [43].

3.3. Ενδεικτική βιβλιογραφική ανασκόπηση

Έχουν εκπονηθεί διάφορες μελέτες (υπολογιστικού, πιλοτικού ή πειραματικού χαρακτήρα) με στόχο να διερευνηθούν τα αποτελέσματα εφαρμογής αποδοτικών και «πράσινων» ναυτιλιακών πρακτικών. Πολλές από αυτές εστιάζουν στη σχέση μεταξύ

της μείωσης της ταχύτητας και του ενεργειακού κόστους. Πιο συγκεκριμένα, με βάση το έτος 2007, μελετήθηκε η σχέση μεταξύ μειωμένης ταχύτητας διαφόρων ειδών πλοίων (δεξαμενόπλοιων, φορτηγών, μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, κ.λπ.) και των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να διαπιστωθεί ότι οι τελευταίες θα μπορούσαν να περιοριστούν περίπου κατά 30%.

Ειδικότερα, στην εργασία [13], δημιουργήθηκε και μελετήθηκε ένα μοντέλο αξιολόγησης της ταχύτητας, της κατανάλωσης ενέργειας και του συνολικού κόστους της ενέργειας, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τον περιορισμό των εκπομπών θερμοκηπίου, ενώ διερεύνησαν τη σχέση βέλτιστης ταχύτητας πρόωσης ενός πλοίου εμπορευματοκιβωτίου, των αντίστοιχων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και της τιμής του καυσίμου. Διαπίστωσαν ότι οι εκπομπές θα μπορούσαν να μειωθούν έως 70%, αν η ταχύτητα πρόωσης μειωνόταν κατά 50%.

Παρόμοια μελέτη [7] κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και εμπορευματοκιβωτίων μείωναν την ταχύτητά τους με στόχο ώστε να μην υφίσταται πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα, οι εκπομπές θα μειώνονταν περίπου κατά 30%.

Σε άλλες μελέτες διερευνάται το αποτέλεσμα της υιοθέτησης «πράσινων» πρακτικών από τον τομέα της ναυτιλίας όχι μόνον στην κλιματική αλλαγή, αλλά και στην ανθρώπινη υγεία.

Ειδικότερα, στην εργασία [41] εκτίμησαν τις επιπτώσεις της χρήσης καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο από τον διεθνή ναυτιλιακό τομέα στην κλιματική αλλαγή και την ανθρώπινη υγεία με κριτήριο τη συγκέντρωση των PM στα απαέρια της καύσης των πλοίων και με βάση το έτος 2020. Διαπιστώνεται ότι τα «καθαρότερα» ναυτιλιακά καύσιμα σχετίζονται με μειωμένη πρόωρη θνησιμότητα και νοσηρότητα κατά 34% και 54% αντιστοίχως, καθώς συνδέεται με τη μείωση των θανάτων από καρδιαγγειακά νοσήματα και από καρκίνο του πνεύμονα κατά 2.6%, καθώς επίσης και με τον περιορισμό των περιστατικών παιδικού άσθματος κατά 3.6%. Παρόλα αυτά, η χρήση των καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο σχετίζεται με περίπου 250.000 θανάτους και με περίπου 6,4 εκατομμύρια περιστατικά παιδικού άσθματος σε ετήσια βάση. Επομένως, επιζητείται η καθιέρωση ακόμη πιο αυστηρών προδιαγραφών.

Σε ό,τι αφορά το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» η χρήση των εν λόγω προηγμένων καυσίμων αναμένεται να περιορίσει τη συμβολή των αερολυμάτων που εκπέμπονται από τα πλοία στην παγκόσμια υπερθέρμανση κατά 80%, συνθήκη που αντιστοιχεί σε

έναν συνολικό περιορισμό της ανθρωπογενούς επίδρασης στην παγκόσμια υπερθέρμανση κατά 3%. Επομένως, διαπιστώνεται η ανάγκη εφαρμογής αυστηρότερων διεθνών ναυτιλιακών πρακτικών.

Ο όμιλος NAPA [31] πραγματοποίησε μία έρευνα στις προσεγγίσεις της «πράσινης» ναυτιλίας από τις πλοιοκτήτριες εταιρείες και διαπιστώθηκε ότι οι εταιρείες φρόντισαν απλώς να εξασφαλίσουν τη συμμόρφωσή τους με τις αυστηρότερες προδιαγραφές, διατηρώντας μία κατά βάση συνήθη προσέγγιση, χωρίς να καταρτίζουν ένα SEEMP με γνώμονα τον σημαντικό βαθμό εξοικονόμησης καυσίμων.

Στα ευρήματα της συγκεκριμένης έρευνας διαπιστώθηκε επίσης μία αξιολογή διαφορά σε ό,τι αφορά την ετοιμότητα κατάρτισης SEEMP μεταξύ μικρών και μεγάλων επιχειρήσεων και μεταξύ των ευρωπαϊκών και των ασιατικών εταιρειών. Οι εταιρείες με μικρότερο επενδυτικό εμπόδιο αποτρέπουν την εφαρμογή αποδοτικών τεχνολογιών, ενώ οι ασιατικές εταιρείες είναι οι λιγότερο έτοιμες να προσχωρήσουν στη νέα («πράσινη») λογική. Φαίνεται ότι υφίστανται αρκετά εμπόδια που αποτρέπουν τις εταιρείες να λάβουν τις σχετικές αποφάσεις και να υιοθετήσουν τις αντίστοιχες καινοτομίες, τα οποία έχουν επισημανθεί και από άλλες έρευνες.

Τα εμπόδια αυτά κατατάσσονται σε εσωτερικούς και σε εξωτερικούς παράγοντες της εταιρείας. Οι εσωτερικοί παράγοντες αφορούν μεν τη λεγόμενη «αντίσταση» στην αλλαγή και την καινοτομία, αλλά σχετίζονται κατ' εξοχήν με το υψηλό οικονομικό κόστος και τη μεγάλη εκτιμώμενη αβεβαιότητα αναφορικά με την αποδοτικότητα των σχετικών επενδύσεων. Στους εξωτερικούς παράγοντες εντάσσονται η έλλειψη ευαισθητοποίησης των πελατών και των προμηθευτών, στάσεις που προκύπτουν από τη δυσπιστία αναφορικά με τα περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία μπορούν να προσποριστούν από την αλλαγή στις πρακτικές του τομέα της ναυτιλίας.

Στην εργασία [40] διαπιστώθηκε ότι η έλλειψη ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων και το οικονομικό κόστος αποτελούν τα σημαντικότερα εμπόδια σε ό,τι αφορά την υιοθέτηση τεχνικών και τρόπων που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Τα συγκεκριμένα εμπόδια είναι ενδεικτικά του ότι οι επιχειρηματίες δεν είναι πρόθυμοι να καταβάλουν ένα υψηλό οικονομικό κόστος, εκτός αν διασφαλίζεται εκ των προτέρων η μεγάλη αποδοτικότητα της επένδυσης.

Ακόμη, από τη μελέτη στην εργασία [35] τεκμαίρεται ότι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που αποτρέπουν την υιοθέτηση «πράσινων» πρακτικών αποτελούν η έλλειψη κατάλληλης πληροφόρησης αναφορικά με τη νομοθεσία και η στά-

ση της διοίκησης την οποία διέπει η «αντίσταση στην αλλαγή», εμπόδια που αλληλοσχετίζονται.

Η ικανότητα των εργαζομένων στις ναυτιλιακές εταιρείες να κατανοήσουν και να προβούν στην ανάπτυξη και την εφαρμογή «πράσινων» στρατηγικών δεν πρέπει να λαμβάνεται ως δεδομένη, εφόσον η διαχείριση της διογκούμενης νομοθεσίας δεν είναι μία απλή διαδικασία. Επίσης προτείνεται να επενδυθεί χρόνος στην κατάρτιση των εργαζομένων, ούτως ώστε να αποκομισθεί μία ικανοποιητική εμπειρία που αφορά τα πλεονεκτήματα που μπορούν να συνεπάγονται τα «πράσινα» συστήματα.

Ο IMO [18] σημειώνει ότι ένας τρόπος βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που είναι αποδοτικός από οικονομική άποψη (και, επομένως, συναρτάται με την οικονομική βιωσιμότητα των εφαρμοζόμενων συστημάτων) αφορά τον συνδυασμό επενδύσεων σε συστήματα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που αποσκοπούν στη συνεχή βελτίωση στη διαχείριση της ενέργειας.

3.4. Ο δείκτης EEDI

Ο δείκτης EEDI αποτελεί ένα εργαλείο σχεδιασμού των πλοίων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της «πράσινης» ναυτιλίας. Ο EEDI αποτελεί έναν συντελεστή, υποχρεωτικό για το σύνολο των νέων σκαφών από 400 GT και άνω, που εκφράζει το πηλίκο του περιβαλλοντικού «κόστους» προς το «κοινωνικό όφελος».

Συγκεκριμένα, το περιβαλλοντικό κόστος αντιστοιχεί στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από το πλοίο προς το μεταφορικό έργο που παρέχεται από το πλοίο. Στη σχετική εξίσωση [59] υπεισέρχονται οι ακόλουθες παράμετροι:

1. Η ισχύς των κύριων και βοηθητικών μηχανών πρόωσης, καθώς και κάθε εγκατεστημένου αξονικού κινητήρα.
2. Η μείωση της μηχανικής ισχύος που ανάγεται στην υιοθέτηση και χρήση μηχανικών τεχνολογιών αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας και η αντίστοιχη μείωση από την υιοθέτηση και χρήση τεχνολογιών που συνεπάγονται την ηλεκτρική ενεργειακή εξοικονόμηση.
3. Σχεδιαστικές παράμετροι του πλοίου, δηλαδή:
 - α. Η σχεδιαστική ταχύτητα στη μέγιστη κατάσταση φόρτωσης.
 - β. Η χωρητικότητα εκτοπίσματος (dead weight tonnage, DWT).
 - γ. Η ολική χωρητικότητα.

4. Παράμετροι οι οποίες αναφέρονται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που αφορούν:
- α. Το περιεχόμενο του καυσίμου σε άνθρακα
 - β. Την ειδική κατανάλωση καυσίμου.
 - γ. Παράγοντες προσαρμογής ή διόρθωσης που σχετίζονται κατά βάση με τις σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες των πλοίων, τη μείωση της ταχύτητας σε ιδιαίτερες καταστάσεις της θάλασσας, τη διαθεσιμότητα της καινοτόμου τεχνολογίας, τους περιορισμούς στη χωρητικότητα που ανάγονται σε τεχνικές ιδιαιτερότητες και σε κανονισμούς.

Είναι ευνόητο ότι επιζητείται η ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους και η μεγιστοποίηση του οφέλους, με αποτέλεσμα να πρέπει να επιδιώκεται η σταδιακή μείωση του EEDI.

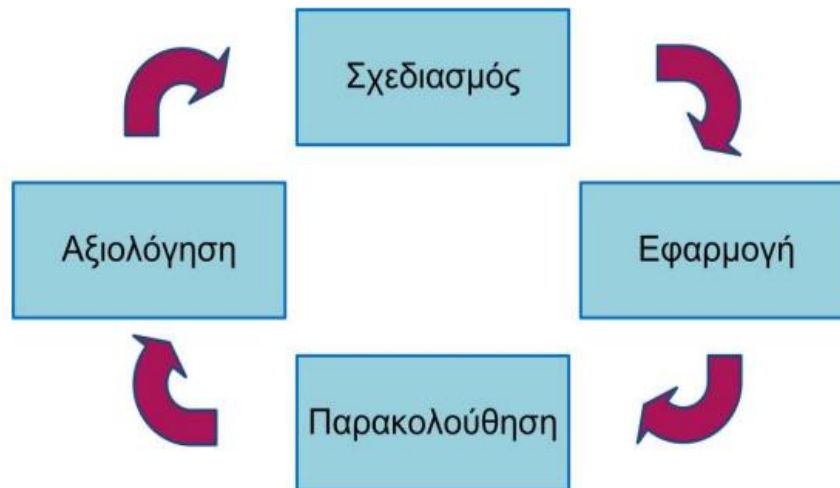
3.5. SEEMP

Το SEEMP αποτελεί υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο που καθιερώνει έναν ορισμένο μηχανισμό αύξησης ενεργειακής αποδοτικότητας ενός πλοίου με τρόπο που είναι οικονομικά αποδεκτός και απαιτείται για να εκδοθεί το σχετικό IEEC.

Κάθε νέο πλοίο άνω των 400 GT οφείλει να είναι εφοδιασμένο με SEEMP το οποίο θα έχει εκπονηθεί βάσει των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών. Ένα SEEMP δεν πρέπει να προσεγγίζεται ως μία απλή γραφειοκρατική διαδικασία, αλλά ως μία καλή ευκαιρία για τη διαχειρίστρια εταιρεία με στόχο τη μείωση του κόστους καυσίμου και, κατ' επέκταση, την αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας του μέσου μεταφοράς [59].

Το SEEMP αναπτύσσεται και εφαρμόζεται σύμφωνα με μία κυκλική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα βασικά στάδια (Σχήμα 3.5.1):

1. Τον σχεδιασμό.
2. Την εφαρμογή.
3. Την παρακολούθηση.
4. Την αυτοαξιολόγηση και τη βελτίωση.



Σχήμα 3.5.1 Στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής SEEMP.

Οι βασικές και πλέον χρονοβόρες διαδικασίες που εντάσσονται στο στάδιο του σχεδιασμού αφορούν την εκτίμηση της υφιστάμενης ενεργειακής αποδοτικότητας πλοίου και στόλου, αλλά και την αξιολόγηση και επιλογή των νέων μέτρων που πρόκειται να εφαρμοστούν. Ειδικότερα, στο εγχειρίδιο [6], οι εργασίες του σχεδιασμού περιλαμβάνουν τα κάτωθι:

1. Την εκτίμηση της υφιστάμενης ενεργειακής αποδοτικότητας πλοίου και στόλου.
2. Τον καθορισμό των μελλοντικών στόχων που αφορούν την ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου, του στόλου και της εταιρείας εν γένει.
3. Την αξιολόγηση και την επιλογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας προς επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί.
4. Τον σχεδιασμό των αναγκαίων αλλαγών σε εξοπλισμό και διαδικασίες που αφορούν το πλοίο και τον στόλο.
5. Τον προσδιορισμό ή/και την ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων που εξυπηρετούν τη μέτρηση και την παρακολούθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.
6. Την εκπόνηση του SEEMP.

Ακολουθεί η εφαρμογή του SEEMP, η οποία προϋποθέτει συγκεκριμένα σχέδια, ούτως ώστε να υλοποιηθούν οι δέουσες αλλαγές στα πλοία, τη λειτουργία και τη διαχείρισή τους.

Ειδικότερα, απαιτούνται τα κάτωθι:

1. Η δημοσίευση του SEEMP.
2. Η πραγματοποίηση των αλλαγών στον εξοπλισμό και τις διαδικασίες του πλοίου.
3. Η ανάθεση των αρμοδιοτήτων.
4. Η παροχή κατάλληλης εκπαίδευσης τόσο στο πλήρωμα του πλοίου όσο και στο προσωπικό ξηράς.

Η παρακολούθηση της αποδοτικότητας στη χρήση ενέργειας υποδηλώνει την αδιάλειπτη συλλογή των σχετικών δεδομένων καθ' όλες τις φάσεις λειτουργίας του σκάφους. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να υλοποιείται με συνδυασμό της αυτόματης καταγραφής και της χειροκίνητης τεκμηρίωσης, ούτως ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο ο χρόνος κατά τον οποίο απασχολείται το προσωπικό.

Επιπλέον, η εταιρεία οφείλει να εφαρμόζει σύστημα παρακολούθησης όπου περιλαμβάνονται η ανάλυση δεδομένων και η υποβολή σχετικών εκθέσεων. Στα εργαλεία παρακολούθησης περιλαμβάνεται ο Δείκτης Αποδοτικής Ενεργειακής Λειτουργίας του σκάφους (Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI) [59].

Τέλος, [6], κατά την αξιολόγηση θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, προσδιορισμένα στο SEEMP, οι εξής διαδικασίες:

1. Η αξιολόγηση της ενεργειακής επίδοσης του σκάφους, καθώς και ολόκληρου του στόλου, σύμφωνα με τα δεδομένα παρακολούθησης και τους σχετικούς δείκτες που έχουν καθοριστεί.
2. Ο προσδιορισμός των αιτιών της παρατηρούμενης ενεργειακής απόδοσης και η παρουσίαση προτάσεων με στόχο τη βελτίωσή της.
3. Η επανεξέταση του βαθμού αποτελεσματικότητας του SEEMP και η παρουσίαση προτάσεων με στόχο τη βελτίωσή του.
4. Η υλοποίηση των αναγκαίων αλλαγών και η συνέχιση της παρακολούθησης.

Το SEEMP, ενώ συνιστά ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο, μπορεί να θεωρηθεί παράλληλα ως ένας κανονισμός μη δεσμευτικού χαρακτήρα με την έννοια ότι δεν υφίσταται μηχανισμός που να παρέχει κίνητρα ή να επιβάλλει στις διαχειρίστριες εταιρείες την εφαρμογή του SEEMP το οποίο έχει καταρτιστεί για κάθε σκάφος τους. Εν ολίγοις, η επιβολή του εν λόγω κανονισμού περιορίζεται απλά στην εξακρίβωση της ύπαρξης του SEEMP επί του σκάφους εντός των επίσημων εγγράφων του και ότι αυτό έχει καταρτιστεί σύμφωνα με τις οδηγίες.

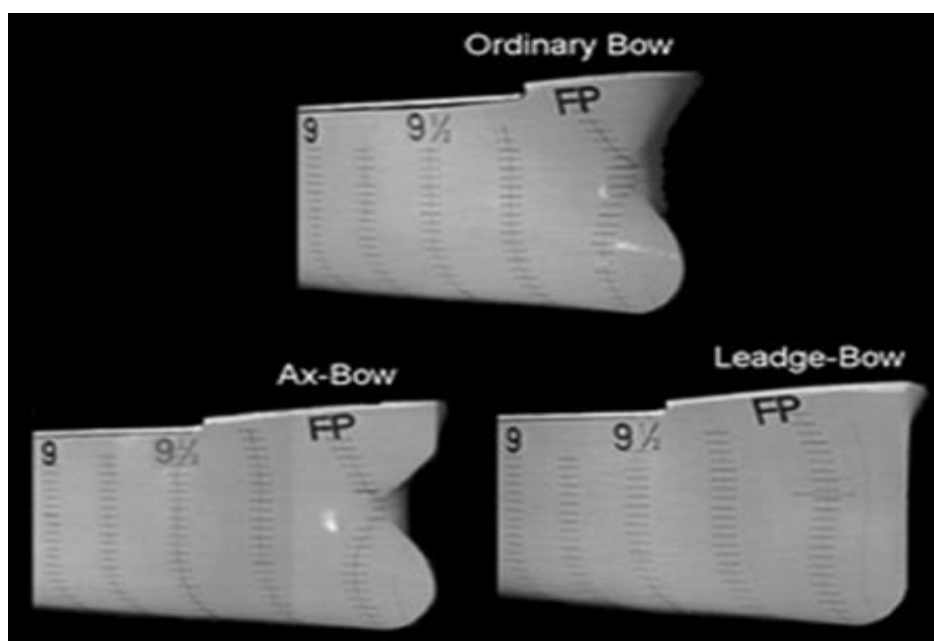
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

4.1. Εξοικονόμηση ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε σε προγενέστερο σημείο της παρούσας εργασίας, η κατανάλωση καυσίμου ενός σκάφους καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από τη μορφή της γάστρας, τις αντιστάσεις μεταξύ πλοίου και νερού και, δευτερευόντως, από την αντίσταση του αέρα. Επιπλέον, συναρτάται με την ταχύτητα του σκάφους, καθώς και από την αντίσταση λόγω των κυμάτων.

Η αντίσταση εξαιτίας της τριβής είναι και η βασικότερη αιτία για την αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου. Κατά συνέπεια, έχουν αναπτυχθεί κατά τα τελευταία έτη διάφορες προτάσεις καινοτόμου χαρακτήρα με στόχο τη βελτιστοποίηση του τύπου της γάστρας. Πέραν των βασικών μορφών πλώρης που συναντώνται στα σύγχρονα πλοία, έχει αναπτυχθεί η πλώρη “LEADGE” (“Leading Edge”) της οποίας η χρήση συνεπάγεται τη μείωση της ισχύος πρόωσης κατά 4% εν σχέσει με τη χρήση μιας συμβατικής πλώρης [48].



Εικόνα 4.1.1 Είδη πλώρης, συμπεριλαμβανομένης της συμβατικής και της πλώρης “LEADGE”.

Η αντίσταση της τριβής ανάγεται στη δυσκολία των διαφορετικών στρωμάτων νερού να ολισθήσουν μεταξύ τους και επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως για παράδειγμα από την παρουσία επικαθίσεων στα ύφαλα του πλοίου και τη φύση της εξωτερικής επιφάνειας (π.χ. μη λεία). Για τη μείωση της αντίστασης λόγω τριβής βρίσκεται σε εξέλιξη η τεχνολογία της εκτόξευσης μικροφουσαλίδων αέρα οι οποίες εκτοξεύονται υπό την πλώρη του πλοίου διατρέχοντας τον πυθμένα και δημιουργώντας κενό μεταξύ του κύτους και του οριακού στρώματος, συνθήκη που επιφέρει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου περίπου κατά 10% [27].

Σε ό,τι αφορά τη μείωση της ταχύτητας του πλοίου, έχει παρατηρηθεί ότι σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 8.000 TEU ο περιορισμός της ταχύτητας από 24 σε 22 κόμβους συνεπάγεται μείωση της ισχύος της κύριας μηχανής από 77 σε 56% και περιορισμό των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων κατά 25% ανά ναυτικό μίλι [56].

Τέλος, σε ό,τι αφορά τις τροποποιήσεις των ναυτικών μηχανών αυτές είναι οι εξής:

1. Εγκατάσταση μηχανής διπλού καυσίμου (περίπτωση που, ωστόσο, υπάγεται κατά κύριο λόγο στη χρήση LNG ως καυσίμου).
2. Εγκατάσταση συστήματος ανάκτησης θερμότητας.

Η εγκατάσταση ενός συστήματος που επιτρέπει την ανάκτηση της θερμότητας περιλαμβάνει τη χρήση ενός λέβητα όπου διοχετεύονται τα απαέρια της καύσης ο οποίος τροφοδοτεί παραγόμενο ατμό σε ατμοστρόβιλο. Ο τελευταίος συνδέεται με γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια η οποία αξιοποιείται για λειτουργίες του πλοίου. Στην ερευνητική βιβλιογραφία αναφέρονται ποσοστά ελάττωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και οξειδίων του θείου κατά 7-14% με χρήση συστήματος ανάκτησης θερμότητας [3].

4.2. Διαχείριση εκπομπών

Η διαχείριση των ατμοσφαιρικών ρύπων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε διά της εφαρμογής της κατάλληλης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, όπως με καταλυτική επεξεργασία των απαερίων με ουρία ή αμμωνία κατά την υιοθέτηση της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής, είτε με ανακυκλοφορία των απαερίων της καύσης και με ψεκασμό νερού στο καύσιμο, με στόχο τη διαχείριση των οξειδίων του αζώτου, είτε ακόμη με τη χρήση πλυντρίδων προς απομάκρυνση των οξειδίων του θείου [3].

Οι πλυντρίδες θαλασσινού νερού απομακρύνουν το 90% των εκπομπών του διοξειδίου του θείου των απαερίων της καύσης και ταυτοχρόνως περιορίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια κατά 80-85%. Οι τύποι πλυντρίδων που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

1. Θαλασσινού νερού (ανοικτού βρόχου).
2. Γλυκού νερού (κλειστού βρόχου).
3. Υβριδικοί.

Παρ' όλο που οι πλυντρίδες (Εικόνα 4.2.1) αποτελούν μία πολύ ώριμη τεχνολογία στα χερσαία συστήματα αποθείωσης (π.χ. στην ηλεκτροπαραγωγή), στη ναυτιλία δοκιμάζεται μόλις κατά τα τελευταία 20 έτη.



Εικόνα 4.2.1 Πλυντρίδα εγκατεστημένη σε πλοίο.

Η εγκατάστασή τους προϋποθέτει σημαντικές δαπάνες, τόσο για τον μηχανολογικό εξοπλισμό όσο και για την εκπαίδευση του πληρώματος, και για την καταναλισκόμενη ενέργεια και την πιθανή ανάγκη διαχείρισης αποβλήτων. Ωστόσο, η λύση αυτή συγκρινόμενη με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο αναφέρεται ως οικονομικά αποδοτικότερη [59]. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μπορούν να

περιοριστούν με την εγκατάσταση συστήματος ανακυκλοφορίας αερίων ρύπων που ενδέχεται να επιτύχει μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου κατά 80%. Η παραγωγή των οξειδίων του αζώτου ελαττώνεται, καθώς η θερμοχωρητικότητα των πρωταρχικών παραγόμενων συστατικών των απαερίων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του αέρα. Ο περιορισμός του ρυθμού τροφοδότησης με οξυγόνο είναι επιπρόσθετος παράγοντας που αποτρέπει τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου.

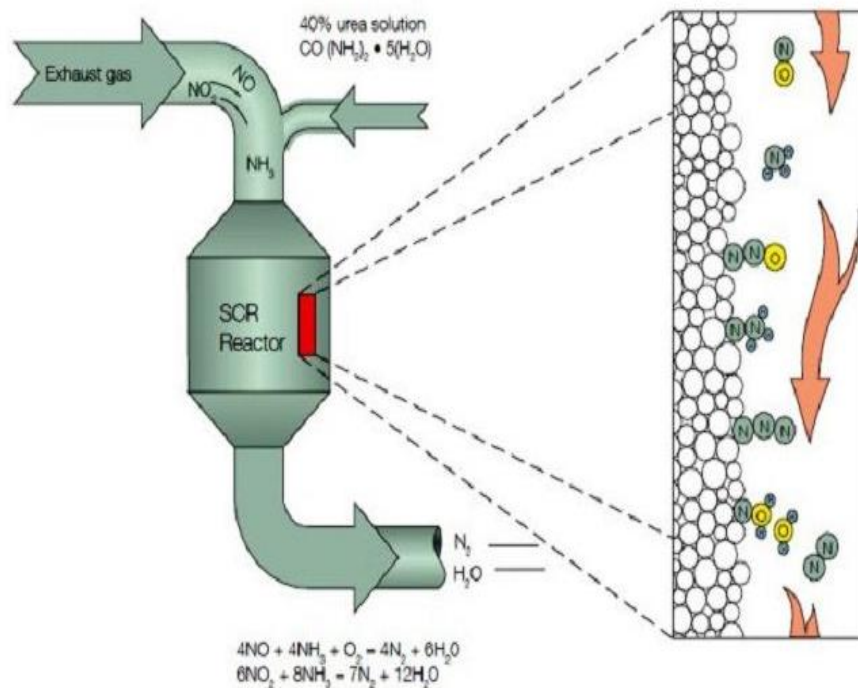
Το μειονέκτημα της εν λόγω τεχνολογίας είναι η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στον ανακυκλοφορούμενο αέρα, γεγονός που ενδέχεται να προκαλέσει την εναπόθεση σωματιδιακής ύλης στη μηχανή και την αλλαγή της σύστασης του λιπαντικού ελαίου [56].

Η μέθοδος ψεκασμού αποσταγμένου νερού υπό πίεση εντός του θαλάμου καύσεως πριν να πραγματοποιηθεί ο ψεκασμός του καυσίμου συνεπάγεται τη μείωση της θερμοκρασίας της καύσης, καθώς το νερό εξατμίζεται απορροφώντας λανθάνουσα θερμότητα. Χαμηλότερες θερμοκρασίες καύσης έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου.

Το μειονέκτημα του εν λόγω συστήματος είναι ότι δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για μικρούς συντελεστές φορτίου, καθώς σε αυτή την περίπτωση εντείνεται η παραγωγή μαύρου καπνού (αιθάλης). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ο συνδυασμός του ψεκασμού νερού με την ανακυκλοφορία των απαερίων της καύσης ικανοποιούν τις προδιαγραφές Tier III.

Τέλος, η τεχνολογία καταλυτικής αναγωγής (Σχήμα 4.2.1) αφορά τον ψεκασμό διαλύματος αμμωνίας ή ουρίας στα απαέρια της μηχανής σε θερμοκρασίες μεταξύ 290 και 350°C. Για την επίτευξη αυτών των θερμοκρασιών απαιτείται ένας ορισμένος χρόνος προθέρμανσης της μηχανής. Τα αναγωγικά σώματα (αμμωνία ή ουρία) αντιδρούν επί καταλυτικής επιφάνειας με τα οξείδια του αζώτου προς σχηματισμό αζώτου και νερού και, επομένως, την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου από τα απαέρια σε ποσοστό 90-99%.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν την πιθανότητα διαφυγής αμμωνίας και, επομένως, διάβρωσης του αγωγού μεταφοράς των απαερίων και το υψηλό κόστος της τεχνολογίας, αφού απαιτείται η παρουσία καταλύτη, δεξαμενής αποθήκευσης του αναγωγικού σώματος και η εγκατάσταση συστημάτων ψεκασμού και αναμείξεως. Το πάγιο κόστος ανέρχεται περίπου σε 40-80 €/kW/h και το λειτουργικό κόστος που δαπανάται κυρίως για την προμήθεια του διαλύματος του αναγωγικού σώματος ανέρχεται περίπου σε 4-6 €/MW/h [59].



Σχήμα 4.2.1 Αρχή λειτουργίας της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής.

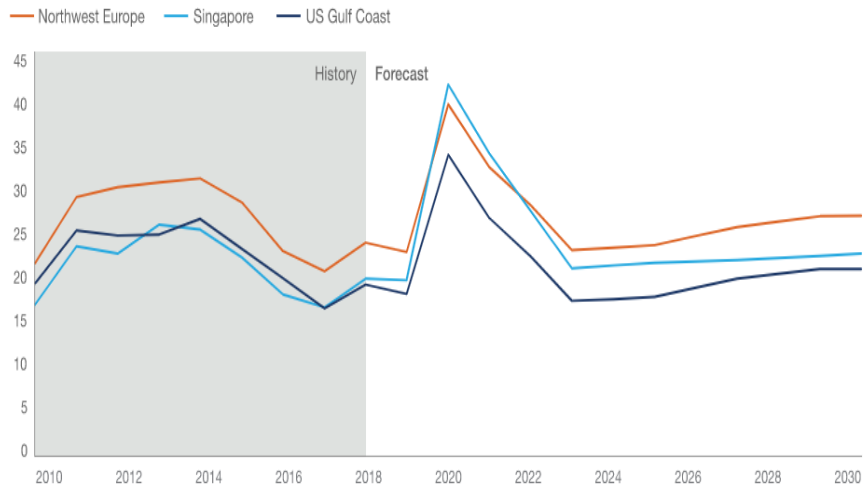
4.3 Χρήση εναλλακτικών ενεργειακών πηγών

4.3.1 Φυσικό αέριο

Οι φυσικοχημικές διεργασίες που απαιτούνται για να παραχθούν τα υγρά ναυτιλιακά καύσιμα που χαρακτηρίζονται από χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο συνεπάγονται υψηλό κόστος, καθώς και ενεργειακή κατανάλωση, η οποία, όπως είναι ευνόητο, αντιστοιχεί σε εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.

Το κόστος προμήθειας των καυσίμων αυτών αναμένεται να καταστήσει τη χρήση των προηγμένων αυτών καυσίμων λιγότερο βιώσιμη από οικονομική άποψη. Μάλιστα, η επιβολή νέων, αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών από τη MARPOL ως προς τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων συνεπάγεται μία διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για επεξεργασμένα καύσιμα, η οποία έχει μεγιστοποιηθεί από το 2020 και εξής, καθώς βρίσκονται σε ισχύ οι νέοι κανονισμοί που αφορούν τη μειωμένη περιεκτικότητα των υγρών ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο.

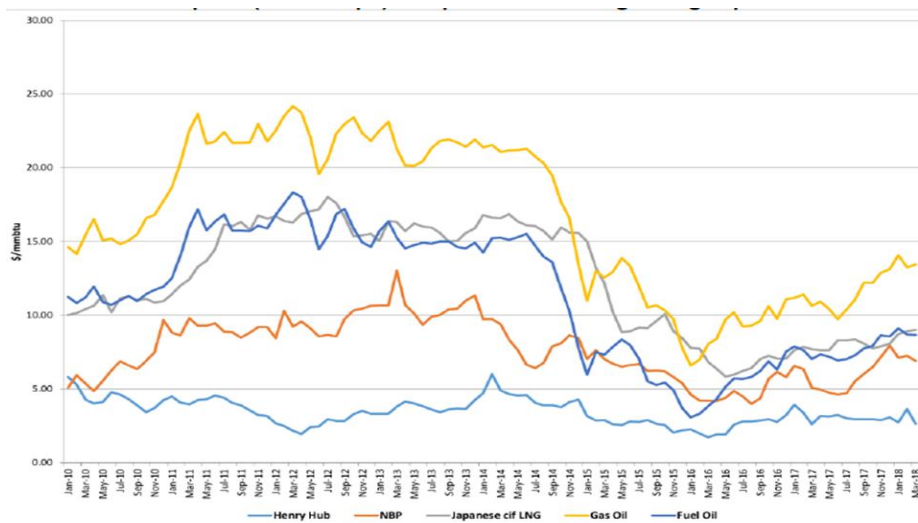
Η αυξημένη ζήτηση θα συνεπάγεται την αύξηση της διαφοράς μεταξύ της τιμής των επεξεργασμένων καυσίμων σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα, γεγονός που επίσης αντανακλά έμμεσα τα οικονομικά πλεονεκτήματα που είναι συνακόλουθα με την αξιοποίηση του φυσικού αερίου στην ακτοπλοΐα (Σχήμα 4.3.1) [29].



Σχήμα 4.3.1 Διαφορά τιμής προμήθειας μεταξύ επεξεργασμένου και ανεπεξεργαστου MGO/MDO, 2010-2018 και προβολή αυτής έως το 2030.

Γι' αυτόν τον λόγο, απαιτείται ο προσανατολισμός της ναυτιλίας σε καύσιμα τα οποία να είναι μεν «φιλικότερα» προς το περιβάλλον, αλλά των οποίων η χρήση να είναι ταυτοχρόνως και οικονομικά αποδοτική.

Μία λύση που έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των πλοιοκτητριών εταιρειών κατά τα τελευταία έτη είναι το φυσικό αέριο, του οποίου η τιμή είναι αρκετά ανταγωνιστική σε σχέση με εκείνη των προηγμένων ναυτιλιακών καυσίμων και η χρήση φαίνεται να ικανοποιεί τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί. Αν και η τιμή του φυσικού αερίου σε διεθνές επίπεδο έχει εμφανίσει σημαντικές διακυμάνσεις κατά την τελευταία δεκαετία, το εν λόγω καύσιμο συνεχίζει να είναι οικονομικά ανταγωνιστικό ως προς τα υγρά ναυτιλιακά καύσιμα (Σχήμα 4.3.2).



Σχήμα 4.3.2 Τιμή προμήθειας ναυτιλιακών καυσίμων (δολάρια ανά MMBtu) .

Τα οικονομικά του πλεονεκτήματα είναι ακόμη μεγαλύτερα στις θαλάσσιες ζώνες στις οποίες το αέριο καύσιμο είναι δυνατόν να παραχθεί και να διανεμηθεί με χρήση των κατάλληλων υποδομών. Αυτές οι περιοχές είναι και οι πλέον αναπτυγμένες, από οικονομική σκοπιά, περιοχές του πλανήτη (Ευρώπη, ΗΠΑ).

Στις γεωγραφικές ζώνες όπου η εγχώρια προσφορά είναι μεγαλύτερη από την περιφερειακή ζήτηση η οικονομική αποδοτικότητα της χρήσης του φυσικού αερίου μπορεί να είναι ευαίσθητη σε μια μεταβολή του κόστους, κάτι που μπορεί να συνεπάγεται ευκαιρίες στην υλοποίηση ναυτιλιακών επενδύσεων στον τομέα της ακτοπλοΐας οι οποίες σχετίζονται με τη μετάβαση στις τεχνολογίες αξιοποίησης φυσικού αερίου με χρήση κινητήρων διπλού καυσίμου [49].

Η χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου στη ναυτιλία συνεπάγεται τη σημαντική μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου, αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του άνθρακα [3], καθώς, εν συγκρίσει με τα συμβατικά υγρά ναυτιλιακά καύσιμα, έχουν παρατηρηθεί τα ακόλουθα:

1. Οι εκπομπές PM είναι αρκετά χαμηλότερες.
2. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου σχεδόν μηδενίζονται, καθώς το φυσικό αέριο περιέχει ελάχιστη μόνον ποσότητα θείου.
3. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου περιορίζονται έως και κατά 80-85%, λόγω της «καθαρότερης» καύσης που πραγματοποιείται στις μηχανές διπλού καυσίμου, όπου και χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο.
4. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση του καυσίμου περιορίζονται περίπου κατά 20-30%, λόγω του μικρότερου λόγου άνθρακα προς υδρογόνο του φυσικού αερίου εν σχέσει με τους υγρούς υδρογονάνθρακες.

Η διεθνής ναυτιλία έχει αντιληφθεί τα οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που ενέχει η αξιοποίηση LNG, με αποτέλεσμα να έχει δρομολογηθεί η ναυπήγηση πλοίων που διαθέτουν μηχανές διπλού καυσίμου, στις οποίες συνδυάζεται η χρήση υγρού ναυτιλιακού καυσίμου με φυσικό αέριο. Ένα παράδειγμα λειτουργίας ενός τέτοιου πλοίου αποτελεί το Isla Bella που είναι το πρώτο σε διεθνές επίπεδο φορτηγό πλοίο εμπορευματοκιβωτίων (containership) που κινείται με χρήση LNG (Εικόνα 4.3.1). Ιδιοκτήτρια εταιρεία του συγκεκριμένου σκάφους είναι η TOTE, σε συνεργασία με την εταιρεία General Dynamics NASSCO. Άλλες δυο πρωτιές του σκάφους διαπιστώνονται αν ληφθεί υπόψιν ότι αποτελεί το πρώτο από τα πλοία με-

ταφοράς εμπορευματοκιβωτίων τύπου Marlin και το μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου που κινείται με κατανάλωση LNG.



Εικόνα 4.3.1 Isla Bella

Το σκάφος έχει εξοπλιστεί με πιστοποιημένο σύστημα καύσης Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME), στη βάση των προδιαγραφών του νόμου Jones (Jones Act) και αντιστοιχεί στο πρώτο πλοίο διεθνώς που λειτουργεί με μηχανή πρόωσης MAN ME-GI, διπλού καυσίμου και χαμηλής ταχύτητας.

Αναφέρεται ότι η χρήση των εν λόγω κινητήρων συνεπάγεται μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου κατά 98%, των εκπομπών οξειδίων του θείου κατά 97% και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 72%, στοιχεία που καθιστούν το σκάφος το φιλικότερο στο περιβάλλον σε σχέση με τα υπόλοιπα πλοία της ίδιας κατηγορίας, διαθέτοντας παράλληλα σύστημα επεξεργασίας έρματος. Το Isla Bella ξεκίνησε τις δραστηριότητές του τον Οκτώβριο του 2015, ενώ το «αδελφό» πλοίο του, Perla del Caribe, το 2016.

4.3.2 ΑΠΕ

Η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά ανεξάντλητη, καθώς πηγάζει από τον ήλιο. Πρόκειται για μία μορφή ενέργειας «φιλική» προς το περιβάλλον και η μετατροπή της σε ηλεκτρισμό δεν συνεπάγεται καθεαυτή την έκλυση ατμοσφαιρικών ρύπων. Έχει εκτιμηθεί ότι οι ηλιακοί συλλέκτες που εγκαθίστανται σε δεξαμενόπλοια είναι

δυνατόν να περιορίσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου κατά 3.5%, ενώ οι ηλιακοί συλλέκτες που εγκαθίστανται σε οχηματαγωγά είναι δυνατόν να περιορίσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου κατά 3.5%.

Παράδειγμα αποτελεσματικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας συνιστά το πλοίο Solar Eagle (Εικόνα 4.3.2), καθώς και τρία παρόμοια σκάφη που κινούνται με χρήση υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ και υγρού ναυτιλιακού καυσίμου. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με βάση την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αποθηκευθεί και να αξιοποιηθεί όταν το πλοίο εισέρχεται σε ένα λιμάνι ή εξέρχεται από αυτό. Στην περίπτωση που το πλοίο κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα στην ανοικτή θάλασσα καταναλώνει ντίζελ [61].



Εικόνα 4.3.2 Solar Eagle

Η αιολική ενέργεια οφείλεται στην κίνηση αερίων μαζών που μεταβαίνουν από τις θερμότερες στις ψυχρότερες περιοχές. Η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας έχει βαθμιαία διεισδύσει στον τομέα της ναυτιλίας [17] με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Με τη χρήση παραδοσιακών ιστίων, για να εξασφαλίζεται η παροχή συμπληρωματικής ισχύος.
2. Με τη χρήση του συστήματος «αετός» του οποίου η χρήση προϋποθέτει την εγκατάσταση σύνθετων συστημάτων ανάκτησης, εκτόξευσης και ελέγχου.

Εκτιμάται ότι η χρήση αυτών των συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στα επίπεδα 10 έως 15%.

3. Στέρια ιστία σε σχήμα πτερυγίου, που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 8.5% (οχηματαγωγά) ή και 21% (δεξαμενόπλοια).
4. Κινητήρες Flettner, με εγκατάσταση ροτόρων στο πλοίο που μετασχηματίζουν την αιολική ενέργεια σε μηχανική στο πλαίσιο λειτουργίας του σκάφους με αξιοποίηση της δυναμικής άνωσης.
5. «Λίπανση» με τη χρήση αέρα, η οποία μπορεί να συνεπάγεται μείωση καυσίμου κατά 3.5% (οχηματαγωγά), 7.5% (πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων) ή 15% (δεξαμενόπλοια).
6. Εγκατάσταση σταθερών ιστιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες.
7. Στροβιλομηχανές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΛΟΙΠΩΝ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

5.1. Πρόληψη διαρροών και θαλάσσιων ατυχημάτων

Η μεταφορά πετρελαίου ενδέχεται να επιφέρει απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων πετρελαϊκών υδρογονανθράκων, εξαιτίας των ατυχημάτων πετρελαιοφόρων, ενώ η χρήση των παραγώγων του στην ναυτιλία μπορεί να συνεπάγεται σταθερή διαρροή μικρών ποσοτήτων κατά τη λειτουργία των μηχανών των σκαφών.

Είναι γεγονός ότι, αν και τα ατυχήματα των δεξαμενοπλοίων κινητοποιούν το ενδιαφέρον της κοινής γνώμης και των αρμόδιων αρχών, λόγω των ορατών αποτελεσμάτων, το ποσοστό συνεισφοράς τους στο εισερχόμενο φορτίο είναι μικρότερο από εκείνο της ρύπανσης που προκαλείται από τη λειτουργία των πλοίων. Εξάλλου, ο αριθμός των μεγάλων πετρελαιοκηλίδων έχει περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό και τη δεύτερη δεκαετία του 21ου αιώνα ήταν λιγότερες από το 1/3 της δεκαετίας του 1980. Οι ποσότητες υδρογονανθράκων που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω των μεταφορών δεν εμφανίζονται σε ορισμένες περιοχές, αλλά μπορούν να παρουσιαστούν σε οποιοδήποτε σημείο διέλευσης [55]. Οι εισερχόμενες ποσότητες υγρών υδρογονανθράκων στα θαλάσσια οικοσυστήματα προκύπτουν κατά 35% από την τυπική λειτουργία των πλοίων και κατά 10% από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων (10%), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.1.



Σχήμα 5.1.1 Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης με πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες.

Ο χαρακτηρισμός ενός πλοίου ως «πράσινου» δεν μπορεί να μη λαμβάνει υπ' όψιν την αποτελεσματική αντιμετώπιση των διαρροών και των περιπτώσεων θαλάσσιων ατυχημάτων. Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά την πρόληψη και την αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης που προκαλείται από την παρουσία πετρελαιοειδών [33] προτείνονται τα εξής μέτρα:

1. Η διαθεσιμότητα σκαφών αντιρρύπανσης που θα βρίσκονται μόνιμα σε επιφυλακή.
2. Η δυνατότητα άμεσης αντιμετώπισης των περιστατικών θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία και τις παράκτιες εγκαταστάσεις.
3. Η διαθεσιμότητα απορροφητικών υλικών, οχημάτων, αντλιών και φραγμάτων, καθώς η εξάπλωση της ρύπανσης μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση αυτών, όπως επίσης και με περισυλλογή διαφυγόντων αποβλήτων.
4. Η εκπόνηση σχεδίων που αφορούν τη φόρτωση των πλοίων (STS Plans).
5. Η οργάνωση και η συγγραφή σχεδίων έκτακτης ανάγκης.
6. Ο τακτικός έλεγχος των επιδόσεων του σκάφους.
7. Η αποτελεσματική χάραξη της θαλάσσιας πορείας.

5.2. Διαχείριση έρματος

Σημαντικό ζήτημα που προκύπτει από την αξιοποίηση του θαλασσινού νερού ως έρματος και ενέχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις τόσο στα θαλάσσια οικοσυστήματα όσο και στον οικονομικό τομέα αφορά την είσοδο μικροοργανισμών και ασπόνδυλων κατά την εισροή των υδάτων στις δεξαμενές ζυγοσταθμίσεως του σκάφους. Οι συγκεκριμένοι οργανισμοί, εφόσον καταφέρουν να επιβιώσουν, θα επανεισέλθουν με την απόρριψη του έρματος στη θάλασσα σε ένα άλλο οικοσύστημα. Η εισβολή αυτή επιδρά στα τοπικά οικοσυστήματα, καθώς προξενούνται αλλοιώσεις στην πανίδα, τη χλωρίδα και τη βιοποικιλότητα με αποτέλεσμα παρενέργειες και στην παράκτια οικονομική δραστηριότητα και την αλιεία [64].

Η Διεθνής Σύμβαση για τον Έλεγχο και τη Διαχείριση του Θαλάσσιου Έρματος, η οποία δημοσιεύτηκε το 2004, αποτελεί την πρώτη ουσιαστική προσπάθεια του IMO να παρέμβει στην προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της διαχείρισης του έρματος. Έτσι λοιπόν, έχουν καθιερωθεί ορισμένοι κανόνες για συγκεκριμένους τύπους

σκαφών τα οποία μεταφέρουν έρμα. Αυτοί εστιάζουν στην υποχρέωση των πλοίων να φέρουν καθ' όλη τη διάρκεια των ταξιδιών ένα ειδικό σχέδιο που αναφέρεται στη διαχείριση του θαλάσσιου έρματος, το αρχείο του ιστορικού του θαλάσσιου έρματος, καθώς και να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που απορρέουν από το σχέδιο διαχείρισης του θαλάσσιου έρματος. Επιπλέον, τα πλοία που αξιοποιούν τη μέθοδο ανταλλαγής του θαλάσσιου έρματος δεν μπορούν να εκφορτώνουν το έρμα σε απόσταση που είναι μικρότερη από 200 ναυτικά μίλια από την πλησιέστερη στεριά [24].

5.3. Χρήση υφαλοχρωμάτων

Οι επικαθίσεις (fouling) ενός σκάφους αναφέρονται στη συσσώρευση μικρο-οργανισμών και φυκιών στα ύφαλα. Η επικάθιση οργανισμών στα ύφαλά του ενέχει δυσμενείς επιπτώσεις στη λειτουργία και την περιβαλλοντική επίδοση του πλοίου και αυτές είναι:

1. Η εμφάνιση αυξημένης τριβής στα ύφαλα.
2. Ο περιορισμός της ταχύτητας του πλοίου.
3. Η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.
4. Οι αυξημένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.
5. Η αυξημένη συχνότητα δεξαμενισμού.
6. Η διάβρωση του μεταλλικού περιβλήματος του σκάφους.

Συγκεκριμένα, ένα στρώμα από φύκια που έχει πάχος περί το 1 mm είναι δυνατόν να αυξήσει την τριβή στα ύφαλα κατά 80%, να επιφέρει μείωση της ταχύτητας κατά 15% και να αυξήσει την κατανάλωση του καυσίμου κατά 17% σε ένα δεξαμενόπλοιο με χωρητικότητας εκτοπίσματος 250.000 DWT. Η τεχνολογική λύση στο παραπάνω ζήτημα περιλαμβάνει τη χρήση υφαλοχρωμάτων [65].

Η συνήθης πρακτική για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος ήταν η χρήση υφαλοχρωμάτων τα οποία περιείχαν υδράργυρο, κασσίτερο και άλλες ουσίες που είναι επιβλαβείς για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Ακολούθως, αξιοποιήθηκαν τα βιοκτόνα χρώματα που στόχευαν στο να προστατεύσουν τα ύφαλα των σκαφών από τον εποικισμό. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό επιχρίσματα αντιρρυπαντικής φύσεως των οποίων η αποτελεσματικότητα εδραζόταν στην απελευ-

θέρωση τριβουτυλικού κασσιτέρου, συστατικού ιδιαίτερου τοξικού, καθώς διαπιστώθηκε ότι ενείχε δυσμενείς επιπτώσεις σε μεγάλο αριθμό θαλάσσιων οργανισμών.

Το 2001 ο ΙΜΟ αποφάσισε την απαγόρευση της χρήσης τριβουτυλικού κασσιτέρου από το 2003, όπως επίσης και η ΕΕ. Επομένως, οι πλοιοκτήτριες εταιρείες κλήθηκαν να διαμορφώσουν λύσεις που να είναι πιο «φιλικές» προς το περιβάλλον. Τα σύγχρονα υφαλοχρώματα περιέχουν βιοκτόνα οργανικά συστατικά με κύριο παράγοντα τον χαλκό. Οι τεχνολογίες που βρίσκονται εν εξελίξει εδράζονται στην προσπάθεια κατανόησης του τρόπου με τον οποίον φύκια και ασπόνδυλα επικάθονται στα ύφαλα των σκαφών. Οι νέες τεχνικές που χρησιμοποιούνται και που διαμορφώνονται βασίζονται στη βιομίμηση, δηλαδή στην ανάπτυξη επιφανειών με γλοιώδες υπόστρωμα, με την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας.

Η εφαρμογή της βιομίμησης σημαίνει τη διαμόρφωση μίας παχύρρευστης επιφάνεια η οποία θα φθείρεται κατά την επαφή της με το νερό και βαθμιαία θα απομακρύνεται, ούτως ώστε θα αποτρέπεται η εγκατάσταση φυτικών και άλλων οργανισμών. Η εν λόγω τεχνολογία βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας περιλαμβάνουν τη χρήση νανοδομικών επιφανειών που εγκλωβίζουν φυσαλίδες νερού μεταξύ του μετάλλου και του νερού και στη χρήση φωτοενεργών υλικών που απελευθερώνουν δραστικές μορφές οξυγόνου οι οποίες αποτρέπουν την εγκατάσταση οργανισμών στα ύφαλα [36].

5.4. Διάλυση του πλοίου

Η πλειονότητα των πλοίων περιέχουν σημαντικές ποσότητες επιβλαβών υλικών, όπως αμιάντου, ελαίων, πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCBs), βαρέων μετάλλων και λασπωδών καταλοίπων υδρογονανθράκων.

Τα περισσότερα διαλυτήρια βρίσκονται στην Νότια Ασία (π.χ. Ινδία, Μπαγκλαντές). Οι διαφορές στο εργασιακό κόστος ή στις απαιτήσεις που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας, καθώς και τα έσοδα από τα ανακυκλώσιμα και μεταχειρισμένα υλικά, συνιστούν τους λόγους για τους οποίους οι επιχειρήσεις της Νότιας Ασίας είναι σε θέση να προσφέρουν πολύ καλύτερες τιμές στους πλοιοκτήτες απ' ό,τι οι εν δυνάμει ανταγωνιστές τους σε άλλες χώρες και ιδίως στην ΕΕ. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις διάλυσης στη Νότια Ασία δεν διαθέτουν καμία διάταξη απομόνωσης για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και των υδάτων από τις ουσίες αυτές. Το αποτέλεσμα είναι μεγάλη ρύπανση των παράκτιων υδάτων και του αι-

γιαλού καθώς και σημαντικές ζημίες στα οικοσυστήματα που πλήττονται. Γι' αυτό το λόγο, ήδη από το 2007, η ΕΕ για τη βελτίωση της διαχείρισης των πλοίων στην επικράτειά της [15] έχει προτείνει τα εξής μέτρα:

1. Την ενίσχυση του ελέγχου της σχετικής νομοθεσίας της ΕΕ αναφορικά με τη μεταφορά αποβλήτων.
2. Την ενίσχυση της δυναμικότητας των διαλυτηρίων των πλοίων των κρατών-μελών της ΕΕ.
3. Τη συνεργασία των κρατών-μελών της ΕΕ στους τομείς της μεταφοράς γνώσεων και τεχνολογίας.
4. Την προώθηση πρωτοβουλιών εθελοντικού χαρακτήρα.
5. Τη χρηματοδότηση της διάλυσης των πλοίων.

Είναι γεγονός ότι η βιομηχανία ανακύκλωσης των πλοίων, εφόσον λειτουργήσει ορθά και βάσει των σύγχρονων διεθνών κανονισμών οι οποίοι τηρούνται από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, αντιστοιχεί σε μία «πράσινη» βιομηχανική δραστηριότητα, καθώς εκτιμάται ότι περί το 95-98% του άφορτου πλοίου μπορεί να ανακυκλωθεί. Βασική αρχή αποτελεί η διαπίστωση ότι η ανακύκλωση επιφέρει μία σταθερή ροή παραγωγής χάλυβα ή και άλλων μετάλλων τα οποία είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθούν. Ο ΙΜΟ ενθαρρύνει σταθερά όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να τηρούν τις προβλεπόμενες διαδικασίες, ώστε να συμβάλλουν στον περιορισμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τη διάλυση των πλοίων [56].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για να χαρακτηριστεί ένα πλοίο ως «πράσινο» απαιτείται μία σύγχρονη θεώρηση και προσέγγιση από τις κατασκευάστριες και τις πλοιοκτήτριες εταιρείες, καθώς αυτός συναρτάται κατά βάση από την «πράσινη» σχεδίασή του.

Οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ναυτιλία, παρά το γεγονός ότι σε σχέση με άλλους τομείς των μεταφορών συνεπάγεται μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού ενώ διενεργεί το 90% των μεταφορών, συμβάλλει μόλις κατά 3% περίπου στις ατμοσφαιρικές εκπομπές [16], συνεπάγονται την ανάγκη ενός είδους σχεδίασης «φιλικότερου» προς το περιβάλλον.

Βασικά χαρακτηριστικά για την εν λόγω σχεδίαση είναι η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και υλικών, η ελάχιστη δυνατή ρύπανση της ατμόσφαιρας και του υδροφόρου ορίζοντα, βέλτιστη διαχείριση του έρματος και ο μέγιστος δυνατός βαθμός επαναχρησιμοποίησης των υλικών από τα οποία συντίθεται το πλοίο στο τέλος του κύκλου ζωής του.

Ενώ συχνά στην κοινή γνώμη υπάρχει η άποψη ότι η εξασφάλιση της συμμόρφωσης με τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές συγκρούεται με την οικονομική βιωσιμότητα μίας επιχείρησης, η λειτουργία ενός «πράσινου» πλοίου μπορεί να συνδυαστεί με την οικονομική αποδοτικότητα, καθώς οι μειωμένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίες είναι και το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που σχετίζεται με τη λειτουργία των πλοίων, συνδυάζονται με την εξοικονόμηση καυσίμου, αλλά και τη χρήση φθηνότερων εναλλακτικών ενεργειακών πηγών.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.1	Εκπεμπόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι κατά τη λειτουργία ναυτικής μηχανής.	1
Σχήμα 1.1.2	Σύνδεση των εκπομπών με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα.	2
Σχήμα 2.1.1	Χρονική εξέλιξη των ορίων της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων, σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL.	13
Σχήμα 2.1.2	Ανώτατες επιτρεπτές εκπομπές οξειδίων του αζώτου πλοίων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής.	15
Σχήμα 3.5.1	Στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής SEEMP.	23
Σχήμα 4.2.1	Αρχή λειτουργίας της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής.	29
Σχήμα 4.3.1	Διαφορά τιμής προμήθειας μεταξύ επεξεργασμένου και ανεπεξέργαστου MGO/MDO, 2010-2018 και προβολή αυτής έως το 2030.	30
Σχήμα 4.3.2	Τιμή προμήθειας ναυτιλιακών καυσίμων (δολάρια ανά MMbtu).	30
Σχήμα 5.1.1	Πηγές θαλάσσιας ρύπανσης με πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες.	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.3.1	Δάσος στα όρη Jizera της Τσεχίας που έχει καταστραφεί από όξινη βροχή.	6
Εικόνα 1.4.1	Γυψοποίηση μνημείου η οποία οφείλεται στην έκθεσή του στην όξινη βροχή.	7
Εικόνα 1.6.1	Τυπική σύσταση σωματιδίου.	9
Εικόνα 2.1.1	Ζώνες ECAs.	12
Εικόνα 4.1.1	Είδη πλώρης, συμπεριλαμβανομένης της συμβατικής και της πλώρης “LEADGE”.	25
Εικόνα 4.2.1	Πλυντρίδα εγκατεστημένη σε πλοίο.	27
Εικόνα 4.3.1	Isla Bella	32
Εικόνα 4.3.2	Solar Eagle	33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1.1	Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του θείου.	13
Πίνακας 2.1.2	Πρόγραμμα περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (όπου n οι στροφές της μηχανής σε rpm) .	14

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- [1] Boylston, J., *Evaluating the use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries – Final Report*, Washington, DC, (2012).
- [2] Brauer, M., Amann, M., Burnett, R. T., Cohen, A., Dentener, F., Ezzati, M., Henderson, S. B., Krzyznowski, M., Martin, R. V., Van Dingenen, R., van Donkelaar, A., & Thurston, G. D., Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environ. Sci. Technol.*, 46 (2), (2012), 652-660.
- [3] Burel, F., Taccani, R. & Zuliani, N., Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. *Energy*, 57, (2013), 412-420.
- [4] Burnett, R. T., Pope III, C. A., Ezzati, M., Olives, C., Lim, S. S., Mehta, S., Shin, H. H., Singh, G., Hubbell, B., Brauer, M., Anderson, H. R., Smith, K. R., Balmes, J. R., Bruce, N. G., Kan, H., Laden, F., Prüss-Ustün, A., Turner, M.C., Gapstur, S. M., Diver, W. R. & Cohen, A. *Environ. Health Perspect.*, 122 (4), (2014), 397-403.
- [5] Cairncross, E. K., John, J. & Zunckel, M. A novel air pollution index based on the relative risk of daily mortality associated with short-term exposure to common air pollutants. *Atmospheric Environment*, 41, (2007), 8442-8454.
- [6] Cayman Maritime *Master's Handbook*. Georgetown: Cayman Islands Shipping Registry, (2020).
- [7] CE Delft *Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport*. (2009), Tender DG ENV.C4/ATA/2008/0016, Delft.
- [8] Centre for Atmospheric Science Acid deposition to ecosystems, (2006). http://www.cas.manchester.ac.uk/resactivities/cloudphysics/background/for_est_damage/
- [9] Chatzinikolaou, S. & Ventikos, N.P., *Applications of Life Cycle Assessment in Shipping*. Istanbul, INT-NAM. (2014), Conference Paper.
- [10] Cheremisinoff, T. P., *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann, (2002).
- [11] Cooper. C. D. & Alley, F. C., *Air Pollution Control, A Design Approach*. 3η ed. Long Grove, IL: Waveland Press Inc., (2002).
- [12] Corbett, J. J. & Fischbeck, P., Emissions from Ships. *Science*, 278 (5339), (1997), 823-824.

- [13] Corbett, J. J., Wang, H. & Winebrake, J.J., The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D*, 14, (2009), 593-598.
- [14] Dominici, F., Peng, R. D., Bell, M.L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S. L. & Samet, J. M., Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *Journal of the American Medical Association*, 295, (2006), 1127-1134.
- [15] European Union (EU) *Πράσινο βιβλίο της Επιτροπής της 22ας Μαΐου 2007 για τη βελτίωση των πρακτικών διάλυσης των πλοίων* [COM(2007) 269 τελικό]. Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2007).
- [16] International Council on Clean Transportation (ICCT), Annual Report (2017).
https://theicct.org/sites/default/files/ICCT_Annual_Report_2017_final.pdf
- [17] International Maritime Organization (IMO), *Second IMO GHG Study 2009*. London: IMO, (2009).
- [18] International Maritime Organization (IMO) *Third IMO GHG Study 2014*. London: IMO, (2014).
- [19] Kanberoglu, B. & Kokkulunk, G. (2021). Assessment of CO2 emissions for a bulk carrier fleet. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124590.
- [20] Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H. & Amann, M., Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120, (2015), 475-483.
- [21] Kennedy, I. M., The health effects of combustion-generated aerosols. *Proceedings of the Combustion Institute*, 31, (2007), 2757-2770.
- [22] Khalili, S., Rantanen, E., Bogdanov, D. & Breyer, C., Global Transportation Demand Development with Impacts on the Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions in a Climate-Constrained World. *Energies*, 12(20), (2019)3870
- [23] Kim, Y., *Green Ship Design & Technology*. Southampton: The LRET Research Collegium, (2011).
- [24] Kurukulasuriya L. & Robinson, N. A., *Training manual on international environmental Law*, (2006).<https://digitalcommons.pace.edu/lawfaculty/791/>
- [25] Lai K.H., Lun V.Y., Wong C.W. & Cheng T.C.E., Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 55 (6) (2011), 631-638.
- [26] Lee, T. & Nam, H. A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33 (4), (2017), 253-262.

- [27] MAN Diesel, Diesel Facts, (2007). <http://www.manbw.com>.
- [28] Marine Insight, IMO MEPC 66 NOx Regulations And Arguments On Selective Catalytic Reduction (SCR) Technology, (2019). <https://www.marineinsight.com/maritime-law/imo-mepc-66-nox-regulations-arguments-scr-technology/>
- [29] McKinley, Energy IMO 2020 and the outlook for marine fuels, (2018). <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/imo-2020-and-the-outlook-for-marine-fuels>
- [30] Naito, S., *Added Resistance, Unsteady Wave Field and My Memories*, (2016). https://old.naval.ntua.gr/sdl/News/Ship_Hydrodynamics.pdf
- [31] NAPA (2012). NAPA survey: 60% of market unaware of SEEMP fuel saving potential. <https://www.napa.fi/news/napa-survey-60-of-market-unaware-of-seemp-fuel-saving-potential/>
- [32] Nicolai, T., Air pollution and respiratory disease in children: What is the clinically relevant impact? *Pediatric Pulmonology*, 27 (S18) (1999), 9-13.
- [33] North Aegean Slops S. A., Πρόληψη & αντιμετώπιση θαλάσσιας ρύπανσης, (2019). <https://northaegeanslops.gr/sea-pollution-prevention/>
- [34] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2009). <https://www.oecd.org/sti/ind/48365833.pdf>
- [35] Perron, G. M., *Barriers to environmental performance improvements in Canadian SMEs*, Ph.D. Thesis, Dalhousie University, Halifax, (2005).
- [36] Salta, M., Wharton, J. A., Stoodley, P., Dennington, S. P., Goodes, L. R., Werwinski, S., Mart, U., Wood, R. J. K. & Stokes, K. R., (2010). Designing biomimetic antifouling surfaces. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368 (1929), 4729-4754.
- [37] Satellitetoday, Tote Maritime Selects Orbcomm's Vessel Connect for Remote Monitoring, (2017). <https://www.satellitetoday.com/telecom/2017/05/09/tote-maritime-selects-orbcomms-vesselconnect-remote-monitoring/>
- [38] Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*,. 2η ed. New York, NY, J. Wiley, (2006).
- [39] Shipspotting Solar Eagle., (2020). <https://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1419409>
- [40] Simpson, M., Taylor, N. & Barker, K., Environmental responsibility in SMEs: does it deliver competitive advantage? *Business Strategy and the Environment*, 13 (3), (2004), 156-171.

- [41] Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P. & Corbett, J. J., Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature Communications*, 9, 406, (2018).
- [42] Song, S., Demirel, Y. K., De Marco Muscat-Fenech, C., Tezdogan, T. & Atlar, M., Fouling effect on the resistance of different ship types. *Ocean Engineering*, 216, (2020), 107736.
- [43] Stevens, H., *The Institutional Position of Seaports: An International Comparison*, Berlin/Heidelberg: Springer Science+Business Media, (1999).
- [44] The Motorship. Scrubber installation alongside pier, (2020). <https://www.motorship.com/news101/exhaust-gas-cleaning-systems/scrubber-installation-alongside-pier>
- [45] The Oxford Institute for Energy Studies. *A review of demand prospects for LNG as a marine transport fuel*. Oxford: University of Oxford, (2018).
- [46] Thompson, H., Corbett, J. J. & Winebrake, J. J., Natural gas as a marine fuel. *Energy Policy*, 87, (2015), 153-167.
- [47] Tsapakis, M. & Stephanou, E. G., Occurrence of gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: study of sources and ambient temperature effect on the gas/particle concentration and distribution. *Environmental Pollution*, 133, (2005), 147-156.
- [48] Yang, K.-K. & Kim, Y. Numerical analysis of added resistance on blunt ships with different bow shapes in short waves. Numerical analysis of added resistance on blunt ships with different bow shapes in short waves. *J. Mar. Sci. Technol*, 22, (2016), 245-258.
- [49] Yoo, B.-Y., Economic assessment of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel for CO₂ carriers compared to marine gas oil (MGO). *Energy*, 121, (2017), 772-780.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- [50] Αλεξόπουλος, Α. Β. & Φουρναράκης, Ν. Γ., *Διεθνείς Κανονισμοί-Ναυτιλιακή Πολιτική και Δίκαιο της Θάλασσας*. 3η έκδοση. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου. (2018).
- [51] Αχιλιάς, Δ., Ελευθεριάδης, Ι. & Νικολαΐδης, Ν., *Βιομηχανική οργανική χημεία*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2015).
- [52] Βασάλος, Ι. & Λεμονίδου, Α., *Ενεργειακές πρώτες ύλες*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2009).

- [53] Γεωργιάδης, Θ., Καλλέργης, Γ., Φερεντίνος, Γ., et al., *Φυσικό περιβάλλον και ρύπανση*, Τόμος Δ', Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις το στους περιβάλλον. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, (2004).
- [54] Γεωργόπουλος, Α., *Γη, Ένας Μικρός και Εύθραστος Πλανήτης*. 4η έκδοση. Gutenberg, (2000).
- [55] Δασενάκης, Ε., Καραβόλτσος, Σ., Λαδάκης, Ε. & Παρασκευοπούλου, Β. (2015). Χημική θαλάσσια ρύπανση. Στο Ε. Δασενάκης, Σ. Καραβόλτσος, Ε. Λαδάκης & Β. Παρασκευοπούλου (επιμ.), *Χημική ωκεανογραφία* (σσ. 45-69). Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- [56] Ζέρβας, Ε., «*Πράσινα*» πλοία (Μεταπτυχιακή διατριβή), Πανεπιστήμιο Πειραιώς, (2014).
- [57] Ζηκόπουλος, Δ., *Εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε PAHs του ατμοσφαιρικού αέρα της Θεσσαλονίκης* (Διπλωματική Εργασία), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2013).
- [58] Κλιάνης, Λ., Νικολός, Ι. & Σιδέρης, Ι., *Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως*. 1η έκδοση, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου, (2003).
- [59] Κοτρίκλα, Α.-Μ., *Ναυτιλία και περιβάλλον*, (2015) [ηλεκτρ. βιβλ.]. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
<http://hdl.handle.net/11419/5478>.
- [60] Κουιμτζή, Θ., Φυτιάνου, Κ. & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Κ., *Χημεία περιβάλλοντος*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, (1997).
- [61] Κουρنيώτη, Β. *Εναλλακτικές πηγές ενέργειας στις θαλάσσιες μεταφορές. Περιβαλλοντικά οφέλη της νέας τεχνολογίας. Οικονομικά κόστη της τεχνολογικής αλλαγής για μια ναυτιλιακή εταιρεία*. (Μεταπτυχιακή διατριβή), Πανεπιστήμιο Πειραιώς, (2013).
- [62] Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ. & Σουλακέλλης, Ν., *Ατμοσφαιρική ρύπανση* [Οδηγός εκπαιδευτικών], Αθήνα: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, (2000).
- [63] Μουστρής, Κ. Π., *Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων – Οι βασικότεροι ρύποι – Οξείδια του Αζώτου NOx*, (2015).
- [64] Σακελλαριάδου, Φ., *Ρύπανση και ναυτιλία*, (2013).
<https://eclass.unipi.gr/modules/document/document.php?course=NAS118&openDir=/4adde4a4tzmc>
- [65] Τσελέντης Β., *Απαγόρευση χρήσης TBT Υφαλοχρωμάτων – Επιπτώσεις στη Ναυτιλία*, (2009).
<https://eclass.unipi.gr/modules/document/document.php?course=NAS211>