

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**ΠΛΟΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

**ΚΑΙ ΑΠΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ**

**ΤΡΑΧΑΝΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως  
μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος  
Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Φεβρουάριος 2021

## **ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

ΤΡΑΧΑΝΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

## **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνέστος (Επιβλέπων)
- Λαγούδης Ιωάννης
- Χατζηνικολάου Στέφανος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Ερνέστο Τζαννάτο, την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη βοήθεια, τη στήριξη και κυρίως την υπομονή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

## Περιεχόμενα

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΛΟΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ</b> .....	8
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΝΑΥΠΗΓΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ .....	8
1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ .....	8
1.3 ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ .....	12
1.4 ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ .....	18
1.5 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ</b> .....	29
2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	30
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ .....	31
2.2.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ .....	32
2.2.1.1 ΣΕΝΤΙΝΟΝΕΡΑ (BILGE WATER).....	32
2.2.1.2 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (SOLID WASTE).....	33
2.2.1.3 ΝΕΡΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (CARGO HOLD CLEANING WATER) ..	35
2.2.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (OIL POLLUTION) .....	35
2.2.3 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (NOISE AT SEA) .....	36
2.2.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (AIR POLLUTION).....	36
2.3 ΚΛΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΟΥ ΔΙΕΠΕΙ ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ</b> .....	44
3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ESI) .....	44
3.2 ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ (SEEMP) .....	52
3.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΟΥ ΙΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (IMO GHG INITIAL STRATEGY).....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΣΩ ΦΙΛΙΚΑ ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ</b> .....	58
4.1 Η ΑΜΜΩΝΙΑ ΩΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ .....	58
4.2 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ .....	61
4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ .....	64
4.4 ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	68
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	74
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	77

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ**

### **ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 1: Γραμμάρια Διοξειδίου του Άνθρακα ανά τόνο-μίλι και ανά τρόπο μεταφοράς

### **ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1: Τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης (3-D Printing Technology)

Εικόνα 2: Ρομποτικά Συστήματα στην κατασκευή πλοίου (Shipbuilding Robotics)

Εικόνα 3: Υλικά από ανθρακονήματα (Buckypaper)

Εικόνα 4: Συστήματα ναυπηγικών ελασμάτων με πτυχές (Sandwich Plate System)

Εικόνα 5: Χρήση συστημάτων μεταβλητής συχνότητας σε αντλίες και ανεμιστήρες [Usage of VFDs (Variable-frequency drives) on pump]

Εικόνα 6: Πλώρη τύπου Leading Edge

Εικόνα 7: Το σύστημα της «αερολίπανσης» με φυσαλίδες αέρα

Εικόνα 8: Σύστημα αερολίπανσης της Vale

Εικόνα 9: Μείωση NOx από την ανακύκλωση καυσαερίων

Εικόνα 10: Σύστημα EGR για θαλάσσια εφαρμογή δίχρονης χαμηλής ταχύτητας που καίει HFO υψηλής περιεκτικότητας σε θείο

Εικόνα 11: Scrubbers at a glance

Εικόνα 12: Hydrogen fuel cells will be built for merchant ships

Εικόνα 13: Το πρώτο αμερικανικό εμπορικό πλοίο που θα τροφοδοτείται αποκλειστικά από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου

Εικόνα 14: Η Alfa Laval και η Wallenius συμφωνούν σε μια κοινή επιχείρηση για την ανάπτυξη σύγχρονης αιολικής πρόωσης

Εικόνα 15: MS Turanor PlanetSolar: το πρώτο ηλιακό πλοίο που έκανε τον γύρο του κόσμου

Εικόνα 16: Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ),  
INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE (IAPC)

Εικόνα 17: Η MOL σχεδιάζει ένα πλοίο εφοδιασμού καυσίμου αμμωνίας

Εικόνα 18: Το Hydra, πλοίο της χρονιάς -Το πρώτο στο κόσμο με καύσιμο υγρό υδρογόνο

Εικόνα 19: Ηλεκτρικά πλοία: Το project Electra και οι επενδύσεις στην Ελλάδα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παγκόσμια ναυτιλία βρίσκεται σε ένα σταυροδρόμι που θα καθορίσει το μέλλον της και τη μετάβασή της στη νέα εποχή. Οι κλιμακούμενες κοινωνικές πιέσεις και οι κανονισμοί του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού επιβάλλουν την παρουσία της ναυτιλίας που δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, ενώ πρέπει ταυτόχρονα να στηρίζει το συνεχώς αυξανόμενο διεθνές εμπόριο και την ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας. Συνεπώς η αναζήτηση περιβαλλοντικά φιλικών και οικονομικά συμφερούσών λύσεων για τη ναυτιλία αποτελεί μια μόνιμη πρόκληση που συχνά εξελίσσεται υπό συνθήκες οικονομικής ύφεσης και υψηλών τιμών ναυτιλιακού καυσίμου.

Η χρήση πλοίων μηδενικών εκπομπών και εναλλακτικών καυσίμων θα έχει αδιαμφισβήτητα οφέλη, ωστόσο η πρόκληση για τη ναυτιλία είναι να καταφέρει την ομαλή μετάβαση χωρίς υψηλό κόστος από το επίπεδο της έρευνας στην αγορά.

## **ABSTRACT**

The global shipping is at a crossroad that will determine its future and the transition to the new era. The escalating social pressures and regulations of the International Maritime Organization dictate the presence of shipping which does not burden the environment whilst it supports the continually increasing international trade and the growth of the global economy. Consequently, the search for environmentally friendly and economically favorable solutions for shipping is a permanent challenge often experienced in conditions of economic recession and high marine fuel prices.

The use of zero-emission vessels and alternative fuels has undeniable benefits, but the real challenge for the maritime industry is to manage a smooth transition without high costs from the level of research to the market.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμπορική ναυτιλία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας. Τα περίπου 100 χιλιάδες πλοία (άνω των 100 gt) παγκοσμίως δραστηριοποιούνται στη στήριξη του 90% του διεθνούς εμπορίου κατά όγκο, στην παροχή επιβατικών υπηρεσιών θαλάσσιας μεταφοράς και περιήγησης, στην αλιεία καθώς και στην προσφορά υπηρεσιών σε πληθώρα άλλων τομέων της παραναυτιλίας και της θαλάσσιας οικονομίας γενικότερα (Stopford, 2018).

Ο μεγάλος αυτός αριθμός των πλοίων έχει συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών εις βάρος του περιβάλλοντος. Αρχικά, η ακουστική ρύπανση έχει αυξηθεί σημαντικά το τελευταίο διάστημα. Ο θόρυβος που παράγεται από τα πλοία μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις και τα θαλάσσια είδη που βασίζονται στον ήχο για τον προσανατολισμό τους, την επικοινωνία και την τροφή τους, η ηχητική αυτή ρύπανση μπορεί να τα βλάψει.

Επιπλέον, τα σεντινόερα είναι μια σημαντική μορφή εκπομπής που παράγουν τα πλοία και θα πρέπει να μειωθεί δραστικά. Ο όρος σεντινόερα σχετίζεται με το λάδι που συχνά διαρρέει από τους χώρους του κινητήρα και των μηχανημάτων ή από τις δραστηριότητες συντήρησης του κινητήρα και αναμιγνύεται με το νερό στη σεντίνα, δηλαδή το χαμηλότερο μέρος του πλοίου. Το νερό αυτό μπορεί να περιέχει στερεά απόβλητα και ρύπους που περιέχουν υψηλά επίπεδα υλικού που απαιτεί οξυγόνο, λάδι και άλλες χημικές ουσίες. Αν και το νερό αυτό φιλτράρεται και καθαρίζεται πριν από την απόρριψή του, το λάδι σε ελάχιστες συγκεντρώσεις μπορεί να σκοτώσει τα ψάρια ή να έχει διάφορες υποθανατηφόρες χρόνιες επιδράσεις (Walker, 2019).

Στη συνέχεια, είναι πολύ σημαντικό να επιτευχθεί μείωση των στερεών αποβλήτων που παράγονται από τα πλοία και περιλαμβάνουν γυαλί, χαρτί, χαρτόνι, κουτιά από αλουμίνιο, χάλυβα και πλαστικά. Τα στερεά απόβλητα που εισέρχονται στον ωκεανό μπορεί να γίνουν θαλάσσια συντρίμια και στη συνέχεια να αποτελέσουν απειλή για τους θαλάσσιους οργανισμούς, τον άνθρωπο, τις παράκτιες κοινότητες και τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν θαλάσσια ύδατα. Για παράδειγμα, οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορούν να τραυματιστούν ή να σκοτωθούν από εμπλοκή με πλαστικά και άλλα στερεά απόβλητα που μπορεί να απελευθερωθούν ή να απορριφθούν από κρουαζιερόπλοια (National Research Council, 2010).

Μία άλλη σημαντική μορφή εκπομπών που παράγουν τα πλοία οφείλεται στο νερό που απαιτείται για να καθαρίσουν τις αποθήκες του φορτίου. Η μη τήρηση των αναμενόμενων απαιτήσεων όσον αφορά τον σωστό καθαρισμό μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε αξιώσεις που σχετίζονται με την ποιότητα του φορτίου, όπως μόλυνση, αλλά ακόμη και σε διαφωνίες στις ναυλώσεις και αξιώσεις εκτός ενοικίασης (SAFETY4SEA, 2013).

Η ρύπανση των υδάτων ωστόσο, αποτελεί και αυτή μία πολύ σημαντική μορφή εκπομπών για την οποία ευθύνονται τα πλοία. Οι εκπομπές αυτής της μορφής αφορούν κυρίως τις πετρελαιοκηλίδες, οι οποίες έχουν καταστροφικές συνέπειες. Ενώ είναι τοξικές για τη θαλάσσια ζωή, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και τα συστατικά του αργού πετρελαίου, είναι πολύ δύσκολο να καθαριστούν και διαρκούν για χρόνια στο ίζημα και στο θαλάσσιο περιβάλλον (Shahryar Jafarnejad, 2017).

Όπως συμβαίνει σε όλα τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, έτσι και τα πλοία παράγουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και πληθώρα άλλων ρύπων που έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής, καθώς και την επιβάρυνση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος αντίστοιχα. Όλες οι μορφές ρύπανσης τις οποίες παράγουν τα πλοία και η αρνητική επίδραση που έχουν στο περιβάλλον οδηγούν τα τελευταία χρόνια σε ραγδαία κλιματική αλλαγή με αρνητικό πρόσημο.

Η ολοένα και αυξανόμενη πίεση από την παγκόσμια κοινότητα για μεγαλύτερη περιβαλλοντική συνείδηση, καθώς και η νέα οικονομική πραγματικότητα έχει αναγκάσει τον κλάδο της ναυτιλίας να στραφεί στην πράσινη οικονομία και σε πιο οικολογικές και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις.

Στη συνέχεια γίνεται εστίαση στη προσπάθεια απόληψης των καυσαερίων εκπομπών των πλοίων και εξ αυτών ειδικότερα των αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) που αναπόφευκτα οδηγεί τη διεθνή ναυτιλία στα ναυτιλιακά καύσιμα μηδενικού άνθρακα. Και αυτό διότι η μεταπήδηση από το σύνολο των εκπομπών των πλοίων προς τα καύσιμα μηδενικού άνθρακα σχετίζεται με τη κλιματική αλλαγή που αδιαμφισβήτητα είναι και θα είναι θέμα αιχμής για την ανθρωπότητα και συνεπώς και για τη ναυτιλία ως ένας από τους πιο ενεργοβόρους κλάδους των μεταφορών και της οικονομίας γενικότερα

Σχετικά με τη δομή της εργασίας, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα πλοία μηδενικών εκπομπών, τη ναυπήγηση και σχεδίαση τους καθώς και τους τρόπους σταδιακής μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα από τα καύσιμα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σχέση μεταξύ της ναυτιλίας και του περιβάλλοντος καθώς και το πως η μία κατηγορία επηρεάζει την άλλη. Αναφέρονται επίσης και διαφορετικές μορφές ρύπανσης (ατμοσφαιρική, θαλάσσια, ακουστική και πετρελαϊκή).

Στο τρίτο κεφάλαιο προσεγγίζουμε το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τα πλοία μηδενικών εκπομπών. Εξετάζονται ακόμη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη ναυτιλία, ο περιβαλλοντικός δείκτης πλοίων, το περιβαλλοντικό πλαίσιο της Marpol, ο δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης και τέλος το σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο τέλος, καταγράφεται η απανθρακοποίηση μέσω φιλικών ουδέτερων προς το περιβάλλον καυσίμων (αμμωνία, υδρογόνο και μπαταρίες) αλλά και η ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης και της εκτίμησης κύκλου ζωής ενός πράσινου πλοίου.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτό το τμήμα αναλύεται η διαδικασία της έρευνας και συλλογής πληροφοριών και δεδομένων για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες πληροφορίες, οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν στην αναζήτηση, οι πηγές αναζήτησης κλπ.

Για το σκοπό της εργασίας συλλέχθηκαν δεδομένα από επιστημονικά περιοδικά, όπως το Maritime Policy & Management, καθώς και από ακαδημαϊκά βιβλία. Η χρήση του διαδικτύου επίσης αποδείχθηκε χρήσιμη για την εύρεση περαιτέρω πληροφοριών για τις ανάγκες της εργασίας. Επίσης, δεδομένα συγκεντρώθηκαν μέσω άρθρων, ερευνών και εργασιών σε διάφορες ιστοσελίδες που αναφέρονται στις πηγές. Τα άρθρα που επιλέχθηκαν περιλάμβαναν στον τίτλο τους ή στο περιεχόμενό τους αναφορές στα πλοία μηδενικών εκπομπών (ZEVs), εναλλακτικές μορφές καυσίμων με μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα, απανθρακοποίηση καυσίμων, περιβαλλοντικό αποτύπωμα, κλιματική αλλαγή.

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Πλοία Μηδενικών Εκπομπών και Απανθρακοποίηση» αποσκοπεί στην ανάδειξη της πράσινης ναυτιλίας, δηλαδή των πλοίων, τα οποία χαρακτηρίζονται από μηδενικές εκπομπές άνθρακα καθώς και την μεθοδολογία που θα πρέπει να ακολουθηθεί επιτυχάνοντας αυτό το εγχείρημα. Το αποτύπωμα όμως των χιλιάδων πλοίων που πλέουν αυτό το χρονικό διάστημα συνοδεύεται με αρνητικό πρόσημο προς το περιβάλλον διότι παράγουν ρύπους που επιδεινώνουν το ήδη επιβαρυνόμενο κλίμα και την ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά το θαλάσσιο περιβάλλον, τα πλοία φέρουν μεγάλη ευθύνη για τη ρύπανση των υδάτων. Αυτό οφείλεται στα σεντινόνερα που παράγουν (ανάμειξη νερού με λάδι), στα στερεά απόβλητα που εισέρχονται στον ωκεανό (γυαλί, χαρτί, χαρτόνι, κουτιά από αλουμίνιο, χάλυβα και πλαστικά), στο νερό με το οποίο καθαρίζουν το φορτίο, στις πετρελαιοκηλίδες και στην ακουστική ρύπανση. Ευθύνονται επίσης και για την ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία διακρίνεται σε συμβατικούς ρύπους, τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ειδικότερα, γίνεται λόγος για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα των πλοίων που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, διότι τα τελευταία χρόνια οι εκπομπές αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη βιωσιμότητα του πλανήτη λόγω της συμβολής τους στην κλιματική αλλαγή.

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται λόγος για την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου που οφείλεται στις αυξημένες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα

και αντιμετωπίζεται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) και το Διεθνές Θεσμικό Πλαίσιο της Ναυτιλίας που ως αρμοδιότητά τους έχουν τον έλεγχο των καυσαερίων εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Ο έλεγχος αυτός θα επιτευχθεί μέσω του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), μέσω του Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP), του Περιβαλλοντικού Δείκτη Πλοίων (ESI), του Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII) και την Αρχική Στρατηγική του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Το Διεθνές Θεσμικό Πλαίσιο της Ναυτιλίας προσπαθεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους που ερμηνεύθηκαν παραπάνω να μειώσουν τα καυσαέρια των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Κάτι το οποίο μας οδηγεί στην αναζήτηση εναλλακτικών καυσίμων (υδρογόνου, αμμωνίας και μπαταρίες) τα οποία χαρακτηρίζονται από μηδενική εκπομπή άνθρακα. Η πρόωση των πλοίων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί το μέλλον της ναυτιλίας και αποσκοπεί στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνάμα της κλιματικής αλλαγής.

Η αμμωνία είναι ένα παγκόσμιο εμπόρευμα με διαφανή τιμολόγηση, επομένως υπάρχει ήδη μια αγορά. Στόχος της ναυτιλίας είναι η παραγωγή «πράσινης» αμμωνίας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αν και αυτό θα είναι πολύ πιο δαπανηρό βραχυπρόθεσμα, οι τιμές θα πρέπει να πέσουν σημαντικά καθώς η παραγωγή κλιμακώνεται. Υπάρχει ήδη ένα παγκόσμιο σύστημα διανομής αμμωνίας, αλλά το καύσιμο πρέπει να είναι διαθέσιμο στις σωστές τοποθεσίες στις σωστές ποσότητες. Το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς αμμωνίας συνδέει τοποθεσίες παραγωγής και αποθήκευσης που εξυπηρετούν τη βιομηχανική αγορά. Δεν φτάνει στα λιμάνια με τρόπο που θα επέτρεπε στα πλοία να ανεφοδιάζονται. Ενώ η αμμωνία δεν είναι ιδιαίτερα εύφλεκτη, συγκεντρώσεις στον αέρα τόσο μικρές όσο 0,25% μπορεί να προκαλέσουν θάνατο, καθιστώντας το καύσιμο εξαιρετικά τοξικό για τους ανθρώπους.

Το υδρογόνο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν. Το μελλοντικό υδρογόνο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα πιθανότατα θα παράγεται από νερό μέσω ηλεκτρόλυσης, το οποίο ουσιαστικά δεν απελευθερώνει εκπομπές άνθρακα. Το κόστος της παραγωγής όμως του πράσινου υδρογόνου είναι σημαντικά υψηλότερο από ότι για το μπλε ή το γκρι υδρογόνο. Ωστόσο, είναι απίθανο οι δραστικές μειώσεις του κόστους που είναι απαραίτητες για να καταστεί το πράσινο υδρογόνο ανταγωνιστικό ως προς το κόστος με τα παραδοσιακά καύσιμα να είναι εφικτές μεσοπρόθεσμα χωρίς την κρατική υποστήριξη.

Ένα πλεονέκτημα της λειτουργίας των πλοίων με μπαταρία είναι ότι ο ηλεκτρισμός είναι πολύ φθηνότερος από το πετρέλαιο και ιδίως, το θαλάσσιο diesel. Τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία πρέπει να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις με μία φόρτιση μπαταρίας. Οι μπαταρίες για αυτό είναι γενικά ακόμα πολύ μεγάλες και πολύ βαριές. Επιπλέον, οι λιμένες χρειάζονται την κατάλληλη υποδομή για την φόρτιση. Αυτό αποτελεί ήδη ένα πρόβλημα με την ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά, καθώς τα κρουαζιερόπλοια χρειάζονται συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια για τις ξενοδοχειακές τους λειτουργίες όταν είναι ελλιμενισμένα. Ωστόσο, εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή όπως αυτές, εξακολουθούν να είναι σπάνιες. Οι λιμένες θα πρέπει επομένως να επενδύσουν πολλά χρήματα για εξοπλισμό φόρτισης. Τέλος, οι μπαταρίες είναι ακόμη πολύ ακριβές για πολλές ναυτιλιακές εταιρείες.

Σύμφωνα με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν, γίνεται σαφές πως το υδρογόνο πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε να καταστεί το κυρίαρχο «καύσιμο» για τη πρόωση των ποντοπόρων πλοίων. Αυτό οφείλεται στην αφθονία διαθεσιμότητας που υπάρχει ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, στην ασφάλεια αλλά και στο υποσχόμενο μελλοντικά κόστος σε σχέση τα πλοία που κινούνται με μπαταρίες και σε αυτά που θα κινούνται με αμμωνία. Το μειονέκτημα της αμμωνίας και των μπαταριών σε σχέση με το υδρογόνο είναι ότι δεν είναι τόσο ασφαλές, διότι οι μπαταρίες μπορεί να εξαντληθούν πιο άμεσα αν το πλοίο πέσει σε μία κακοκαιρία, ενώ η αμμωνία σε περίπτωση διαρροής μπορεί να προκαλέσει ακόμα και θάνατο στο πλήρωμα. Ωστόσο, το πράσινο υδρογόνο Green H<sub>2</sub> είναι εκείνο που μπορεί και παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού, το οποίο λειτουργεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οδηγείται απευθείας ή μέσω δεξαμενών αποθήκευσης στις κυψέλες καυσίμου (fuel cells) και μετατρέπεται χημικά, και όχι μέσω θερμικής καύσης, σε άμεσα διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και κινητική. Σημαντικό επίσης είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του υδρογόνου, δηλαδή η ενέργεια που κρύβει μέσα του, σε αναλογία με οποιοδήποτε άλλο κοινό καύσιμο, είναι πολλαπλασίως μεγαλύτερο ως προς το βάρος. Η ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου δεν είναι μόνο πραγματικά εντυπωσιακή από μόνη της, αλλά και λόγω του ότι μπορεί να αντικαταστήσει μεγάλο μέρος συστοιχιών μπαταριών, ακόμα και πλήρως.

Καταλήγοντας, η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι προφανώς σημαντική από περιβαλλοντική άποψη σήμερα και στρατηγικά επωφελείται από τις συσχετίσεις της με την οικονομική εξοικονόμηση από τη χρήση βελτιστοποίησης καυσίμου. Αν και, ακόμη και μετά την εφαρμογή καυσίμου ουδέτερου αερίου

θερμοκηπίου(μπαταρίες, αμμωνία και υδρογόνο) η ενεργειακή βελτιστοποίηση παραμένει ζωτικής σημασίας. Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, επειδή πιθανότατα θα φτάσουμε στα πλοία μηδενικών εκπομπών προτού καλυφθεί η συνδυασμένη ενεργειακή ανάγκη του κόσμου από ανανεώσιμες πηγές – επομένως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα εξακολουθούν να είναι ένας τρομακτικός πόρος που δεν πρέπει να σπαταλάμε σε αναποτελεσματικότητα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΛΟΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

### **1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΝΑΥΠΗΓΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

Οι λόγοι για την αναγκαιότητα ναυπήγησης ενός πλοίου μηδενικών εκπομπών ποικίλουν και είναι σίγουρο πως αφορούν περισσότερους του ενός τομείς της οικονομικής δραστηριότητας. Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί πως είναι εμφανής η τάση που εμφανίζεται στο Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών (TEN) με βάση την οποία είναι κάτι παραπάνω από επιτακτική ανάγκη της μείωσης των επιπτώσεων των θαλάσσιων μεταφορών στο περιβάλλον. Σε αυτό αποσκοπεί και το ετήσιο πρόγραμμα εργασίας του Marco Polo για το 2012, το οποίο δίνει προτεραιότητα στις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων στις οποίες εφαρμόζονται καινοτόμες τεχνολογίες ή επιχειρησιακές πρακτικές, οι οποίες συντελούν στη σημαντική μείωση των εκπομπών του θαλάσσιων μεταφορών.

Η συνεχής αύξηση στην τιμή των καυσίμων καθιστά αναγκαία την προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, ενώ παράλληλα η περιβαλλοντική απειλή αποτελεί έναν από τους κύριους άξονες προς την αλλαγή αυτή που οδηγεί στη ναυπήγηση πλοίων μηδενικών εκπομπών. Η κλιματική αλλαγή, η αύξηση της τιμής του πετρελαίου, αποτέλεσαν την κινητήρια δύναμη της ανάπτυξης της ναυπηγικής βιομηχανίας προς την κατεύθυνση της πράσινης ναυπήγησης πλοίων και της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Επιπρόσθετα, οι απαιτήσεις ασφαλείας αποτελούν ένα ακόμα λόγο για τον οποίο οι βιομηχανίες στρέφονται σε περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον πλοία. Είναι εμφανές λοιπόν πως η ναυπήγηση ενός πράσινου πλοίου, έχει ως σκοπό τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος της ναυτιλίας, σε παγκόσμιο επίπεδο, μέσω της μείωσης των αερίων (δραστική μείωση εκπομπών SO<sub>x</sub>, σημαντική μείωση εκπομπών NO<sub>x</sub> και σωματιδίων, μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου) ενώ παράλληλα, αποσκοπεί στην εξοικονόμηση πόρων για την βιώσιμη ανάπτυξη.

### **1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

Η σχεδίαση ενός πλοίου, είναι μία πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία κατά την οποία θα πρέπει να υπάρξει συνεργασία πολλών εξειδικευμένων ανθρώπων διαφόρων ειδικοτήτων όπως ναυπηγοί, μηχανολόγοι, μηχανικοί, ηλεκτρολόγοι και



σχεδιαστές. Είναι μία εργασία στην οποία είναι αναγκαία η ομαδική δουλειά και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μία σειρά από διαφορετικούς παράγοντες και παραμέτρους. Οι κανονισμοί των νηογνομών από την άλλη, δημιουργούν μία σειρά από περιορισμούς, απαραίτητους όμως για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου.

Ειδικά για την περίπτωση των πλοίων με την εικόνα εκπομπών και λόγω των περιορισμών που αναφέρθηκαν, δεν είναι πάντοτε δυνατό να επιτύχουμε στο μέγιστο βαθμό τα οφέλη που απορρέουν από τη χρήση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Η ναυτιλιακή η και ναυπηγική βιομηχανία έχει λάβει γνώση για τα μέτρα τα οποία πρέπει να ληφθούν προκειμένου να αντιμετωπίσουν το ζήτημα της μείωσης αερίων εκπομπών (SOx,NOx,CO2) και της θαλάσσιας ρύπανσης. Είναι γεγονός πάντως πως όσο τα εμπορικά πλοία θα καταναλώνουν υδρογονάνθρακες για να παράγουν ενέργεια για τη λειτουργία τους τόσο θα συνεχίζεται η ρύπανση της ατμόσφαιρας. Έτσι γίνεται σαφές πως οι εταιρείες της βιομηχανίας σε συνδυασμό με τα ναυπηγεία έχουν επιτείνει την προσπάθεια τους ούτως ώστε να συμβάλουν στον σχεδιασμό και τη λειτουργία πλοίων με μειωμένες εκπομπές αερίων και μειωμένο οικολογικό αποτύπωμα.

#### *1.2.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ (3-D PRINTING TECHNOLOGY)*

Η αρχή της τρισδιάστατης εκτύπωσης φαίνεται στην εικόνα όπου ένα σχέδιο μπορεί να γίνει η κατασκευή ενός ολόκληρου εξαρτήματος. Χρησιμοποιείται ήδη σε διάφορους άλλους κλάδους των μεταφορών και όχι μόνο. Ο κυριότερος περιορισμός του είναι η ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται και κυρίως για απαιτήσεις εξαρτημάτων με εξειδικευμένες μηχανικές ιδιότητες. Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει ελάχιστα κατάλοιπα και χρησιμοποιείται πειραματικά σε αυτή την φάση για την παραγωγή ανταλλακτικών όπως οι εξειδικευμένες επισκευές εν πλω μειώνοντας τις καθυστερήσεις των πλοίων. (Νικητάκος Ν, 2020)



Εικόνα 1: Τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης (3-D Printing Technology)

Πηγή: <https://libertypress.gr/prasini-naytilia/>

### *1.2.2 ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ (SHIPBUILDING ROBOTICS)*

Η συμβολή των ρομποτικών Συστημάτων είναι στις μέρες μας αναγνωρισμένη στην ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία. Τα ρομπότ μπορούν να εκτελούν εργασία με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι ο άνθρωπος και μπορούν να έχουν πρόσβαση σε περιοχές που είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Η εφαρμογή τους σε εξειδικευμένες εργασίες (π.χ. συγκολλήσεις, βαφές) και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έλλειψη ανθρώπινου δυναμικού είναι σημαντική για κατασκευές όπως τα πλοία. Βασικό πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν αφήνουν σημαντικά περιβαλλοντικά κατάλοιπα και έχουν μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Οι εξελίξεις σε θέματα τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης δημιουργεί σημαντικά πλεονεκτήματα στα ρομπότ και στην χρήση τους σε ναυπηγικές κατασκευές με οποιαδήποτε πολυπλοκότητα (Νικητάκος Ν, 2020).



Εικόνα 2: Ρομποτικά Συστήματα στην κατασκευή πλοίου (Shipbuilding Robotics)

Πηγή: <https://libertypress.gr/prasini-naytilia/>

### *1.2.3 ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ (BUCKYPAPER)*

Η σύγκριση υλικών που χρησιμοποιούν ανθρακονήματα με τα παραδοσιακά ναυπηγικά υλικά (π.χ. χάλυβας) έχει σαν αποτέλεσμα το 1/10 από πλευράς βάρους και 500 φορές σε αντοχή και δύο φορές σε σκληρότητα από διαμάντι. Η χρήση των παραπάνω υλικών καθώς και Οι δοκιμές αυτών των υλικών Στην παρούσα φάση δοκιμάζονται στο πολεμικό ναυτικό εφαρμογή τους σε εμπορικά πλοία θα έχει σαν αποτέλεσμα λιγότερη κατανάλωση καυσίμου, καλύτερη αντοχή στην διάβρωση τη σημαντική βελτίωση της αντοχής του πλοίου σε πυρκαγιές λόγω των ιδιοτήτων του υλικού να αντιστέκονται στην εξάπλωση της πυρκαγιάς (Νικητάκος Ν, 2020).

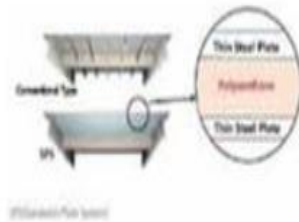


Εικόνα 3: Υλικά από ανθρακονήματα (Buckypaper)

Πηγή: <https://libertypress.gr/prasini-naytilia/>

#### *1.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΤΥΧΕΣ (SANDWICH PLATE SYSTEM)*

Η διαδικασία αφορά τη συνένωση δύο ελασμάτων με ενδιάμεσο ελαστομερές από πολυουρεθάνη. Αυτό επιτρέπει την χρήση μικρότερων ποσοτήτων από χάλυβα κάνοντας την κατασκευή του πλοίου ελαφρύτερη και πιο ανθεκτική στη διάβρωση. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ενός πράσινου πλοίου κατά την διαδικασία διάλυσης και επεκτείνει τον χρόνο ζωής του πλοίου μειώνοντας τις απαιτήσεις συντήρησης (Νικητάκος Ν, 2020).



Εικόνα 4: Συστήματα ναυπηγικών ελασμάτων με πτυχές (Sandwich Plate System)

Πηγή: <https://libertypress.gr/prasini-naytilia/>

#### *1.2.5 ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ [USAGE OF VFDs (VARIABLE-FREQUENCY DRIVES) ON PUMP]*

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης ενός πλοίου και ένας από αυτούς είναι διακόπτης μεταβολής της συχνότητας. Οι διακόπτες αυτοί κυρίως χρησιμοποιούνται στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι φθηνοί και είναι εύκολη η εγκατάστασή τους ακόμη και κατά την διάρκεια του πλου (Νικητάκος Ν, 2020).



Εικόνα 5: Χρήση συστημάτων μεταβλητής συχνότητας σε αντλίες και ανεμιστήρες [Usage of VFDs (Variable-frequency drives) on pump]

Πηγή: <https://libertypress.gr/prasini-navtilia/>

### 1.3 ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΛΟΙΑ

Για να υπάρξει εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία, έχουν αναπτυχθεί μία σειρά από νέες πράσινες τεχνολογίες. Οι πιο βασικές από αυτές είναι: η βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας του πλοίου, μείωση των εκπομπών αερίων μέσω της ανακυκλοφορίας αερίων ρύπων (EGR systems), μείωση της τριβής, μείωση της ταχύτητας του πλοίου.

#### *1.3.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ (SLOW STEAMING)*

Οι μηχανές diesel αποτελούν τις κατεξοχήν προωστήριες μηχανές των εμπορικών πλοίων. Μπορεί να είναι απευθείας συνδεδεμένες με τον άξονα της έλικας ή να παρεμβάλλεται ο μειωτήρας. Στα περισσότερα ποντοπόρα πλοία, οι προωστήριες μηχανές είναι δίχρονες χαμηλόστροφες ντιζελομηχανές. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου, είναι φυσικό να αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου και κατ' επέκταση οι εκπομπές αερίων ρύπων.

Κατά το στάδιο κατασκευής μιας μηχανής πλοίου, πραγματοποιούνται πολλές δοκιμές πιστοποίησης προκειμένου εκπομπές αερίων να ανταποκρίνονται στα όρια που έχει θέσει ο ΙΜΟ. Όταν, επίσης, γίνονται αλλαγές ή ρυθμίσεις στη μηχανή, είναι ευνόητο ότι οι πιστοποιήσεις πρέπει να ανανεωθούν, κάτι που συνεπάγεται κόστος και χρόνο. Η προσπάθεια που γίνεται από τις εταιρείες κατασκευής ναυτικών μηχανών,

είναι να βρεθούν αποδοτικές λύσεις για μείωση του χώρου της μηχανής κατά τη διάρκεια του πλου μέσα από την υπάρχουσα πιστοποίηση.

Λόγω των απαιτήσεων για μείωση της απαιτούμενης ισχύος προώθησης και κατανάλωσης καυσίμου, έχουν διερευνηθεί δύο επιλογές. Η πρώτη επιλογή είναι η μείωση της ταχύτητας του πλοίου άρα και το φόρτου της μηχανής. Έτσι, οι περισσότερες μηχανές που ελέγχονται ηλεκτρονικά, είναι σχεδιασμένες να έχουν την καλύτερη δυνατή κατανάλωση σε κάθε ταχύτητα που επιλέγει ο πλοίαρχος. Ταξιδεύοντας λοιπόν σε συνθήκες χαμηλού φόρτου, επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή κατανάλωση σε χαμηλότερες ταχύτητες. Η δεύτερη λύση αφορά την αποφυγή χρήσης των υπερσυμπιεστών του πλοίου. Αυτή η λύση έχει μεγαλύτερη μείωση στην κατανάλωση καυσίμου. Έχει παρατηρηθεί ότι σε πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (8000 TEU), μείωση της ταχύτητας από 24 σε 22 κόμβους, η ισχύς της κύριας μηχανής μειώνεται από 77% σε 56% και εκπομπές αερίων ρύπων κατά 25% ανά διανυόμενο μίλι. (Green Ship magazine, 2009)

Η επιβράδυνση της ταχύτητας του σκάφους μειώνει επίσης τον χρόνο που ένα σκάφος ρίχνει την άγκυρα περιμένοντας να το καλέσουν στο λιμάνι. Ενώ περιμένουν έξω από το λιμάνι, τα πλοία καταναλώνουν ενέργεια, εκπέμποντας αναθυμιάσεις εις βάρος της τοπικής ποιότητας του αέρα και η έντονη παρουσία τους αυξάνει τον κίνδυνο ατυχημάτων (Gustafsson, 2019).

Η μείωση της ταχύτητας είναι ένα από τα πιθανά μέτρα για την εκπλήρωση των απαιτήσεων του IMO για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Αυτό το μέτρο μπορεί να εφαρμοστεί για την βελτιστοποίηση νέων πλοίων και για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για όσα πλοία λειτουργούν αυτή τη στιγμή. Η προσέγγιση του slow streaming μπορεί να αυξήσει τον χρόνο ενός ταξιδιού μετ'επιστροφής κατά 10% - 20%, ανάλογα με τη διαδρομή πλεύσης και τους χρόνους του λιμανιού, ενώ μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ταυτόχρονα. Ωστόσο, η αύξηση του χρόνου μεταφοράς λόγω χαμηλότερων ταχυτήτων, θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των πλοίων, γεγονός που θα μπορούσε να μειώσει την εξοικονόμηση πόρων. Μία μείωση της ταχύτητας κατά 10% μπορεί να οδηγήσει σε μείωση κατά 19% στις συνολικές μέσες εκπομπές (Ammar, 2018).

Αυτές οι μειώσεις υπολογίζονται με την υπόθεση ότι η απαιτούμενη ισχύς είναι ανάλογη με την τιμή του κυβισμού της ταχύτητας του πλοίου, η οποία είναι μία κοινή υπόθεση στα μοντέλα θαλάσσιων μεταφορών. Τα πλεονεκτήματα του slow steaming ποικίλουν για διαφορετικούς τύπους πλοίων, μεγέθη και διαδρομές ιστιοπλοΐας. Το

κόστος των καυσίμων ενθάρρυνε τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων να εισαγάγουν την προσέγγιση του slow steaming, καθώς το κόστος των καυσίμων αντιπροσωπεύει έως και το 50% του συνολικού λειτουργικού κόστους. Το κόστος των καυσίμων αναμένεται να αυξηθεί με την εφαρμογή των πολιτικών που σχετίζονται με το κλίμα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μείωση της ταχύτητας του πλοίου κάτω από ένα ορισμένο σημείο μπορεί να είναι αντιπαραγωγική και ακόμη και να αυξήσει το κόστος του μαζούτ (Balcombe P., 2019).

### 1.3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Η κατανάλωση καυσίμου ενός πλοίου άρα και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκκρίνει, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την μορφή της γάστρας, την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ νερού και πλοίου αλλά και από την αντίσταση του αέρα σε μικρότερο ποσοστό (περίπου 2%). Επίσης εξαρτάται από την ταχύτητα του πλοίου και την αντίσταση λόγω κυματισμού.

Η αντίσταση λόγω τριβής είναι η κυριότερη αιτία αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες καινοτόμες προτάσεις για την βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας των πλοίων που έχουν ως συνέπεια τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου. Πέρα από τις βασικές μορφές πλώρης με τις οποίες κατασκευάζονται τα σύγχρονα πλοία, πρόσφατα αναπτύχθηκε η πλώρη “Leadge” (Leading Edge) η οποία είναι βέλτιστης διαμόρφωσης. Η συγκεκριμένη πλώρη φαίνεται στη παρακάτω εικόνα και σε αυτή τη διαμόρφωση η απαιτούμενη ισχύ φτάνει να είναι κατά 4% μικρότερη από μία συμβατική πλώρη.

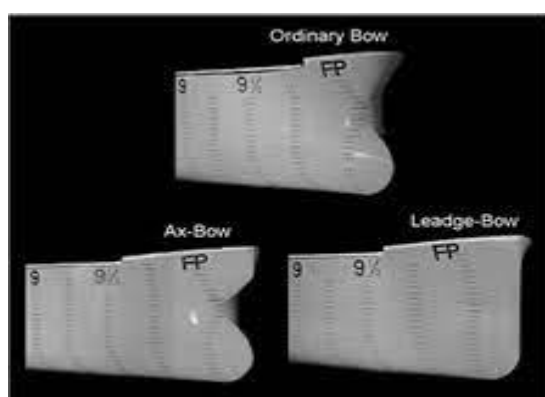


Fig.10 Model Ship of LEADGE-Bow

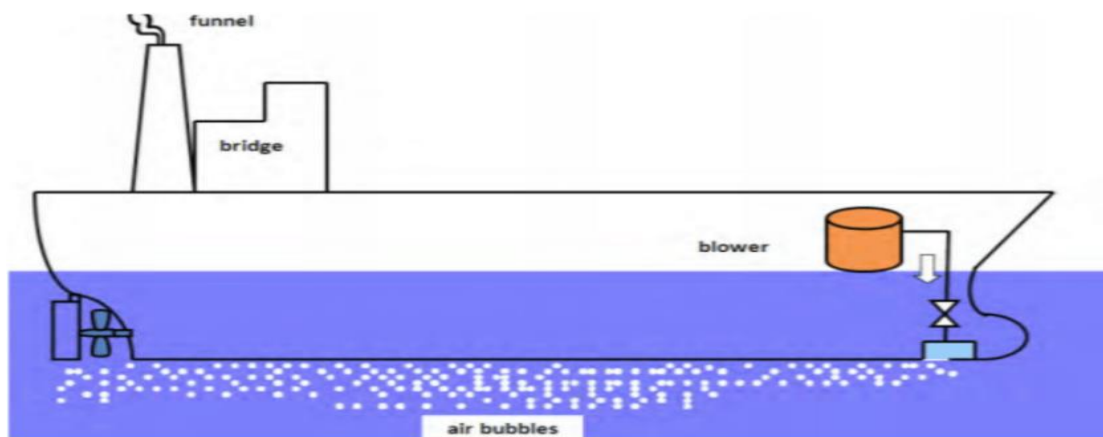
Εικόνα 6: Πλώρη τύπου Leading Edge

Πηγή: [http://old.naval.ntua.gr/sdl/News/Ship\\_Hydrodynamics.pdf](http://old.naval.ntua.gr/sdl/News/Ship_Hydrodynamics.pdf)

### 1.3.3 ΜΕΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Η αντίσταση λόγω τριβής οφείλεται στη δυσκολία που παρουσιάζουν μεταξύ τους τα διαφορετικά στρώματα νερού. Κατά την κίνηση του πλοίου, υπάρχει ένα στρώμα νερού που βρίσκεται σε επαφή με το μεταλλικό περίβλημα και έχει ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του πλοίου. Σε κάποια απόσταση από το κύτος, υπάρχουν άλλα στρώματα νερού με διαφορετική ταχύτητα μέχρι το σημείο όπου αυτή μηδενίζεται. Άρα το εύρος κυμαίνεται από  $V_w = 0$  μέχρι  $V_w = V_s$  όπου  $V_w$  είναι η ταχύτητα του νερού και  $V_s$  είναι η ταχύτητα του πλοίου. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν διαφορετικές στάσεις των οποίων η συνισταμένη είναι αντίθετη προς την κατεύθυνση της κίνησης του πλοίου. Η αντίσταση λόγω τριβής επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η επικάλυψη μικροοργανισμών στα ύφαλα του πλοίου (fouling) και την μη ύπαρξη απόλυτα λείας εξωτερικής επιφάνειας.

Για να μειωθεί η αντίσταση της τριβής, βρίσκεται υπό ανάπτυξη μία νέα τεχνολογία: η εκτόξευση μικρό-φουσαλίδων, δηλαδή φουσαλίδες αέρα που εκτοξεύονται κάτω από την πλώρη του πλοίου και διατρέχουν όλο τον πυθμένα δημιουργώντας ένα κενό ανάμεσα στο κύτος και το οριακό στρώμα νερού, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου κατά περίπου 10%. Η ροή του νερού είναι με κατεύθυνση από τα αριστερά προς τα δεξιά. Μία μονάδα παραγωγής φουσαλίδων η οποία βρίσκεται σε σύνδεση με μία δεξαμενή νερού, παράγει αρχικά τις φουσαλίδες. Στη συνέχεια της διοχετεύει μέσω ακροφυσίων σε μία συσκευή εκτόξευσης η οποία είναι τοποθετημένη στον πυθμένα του πλοίου. Οι φουσαλίδες εξερχόμενες, δημιουργούν ένα κενό ανάμεσα στον πυθμένα του πλοίου και του οριακού στρώμα νερού όπως έχουμε αναφέρει, με αποτέλεσμα τη μείωση της τριβής και κατά συνέπεια της κατανάλωσης καυσίμου.



Εικόνα 7: Το σύστημα της «αερολίπανσης» με φουσαλίδες αέρα

Πηγή: American Bureau of Shipping

Η πιο αποτελεσματική μείωση με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιεί πολύ μικρού μεγέθους φυσαλίδες, στην 0,1 mm. Ωστόσο, οι μικρο-φυσαλίδες είναι δύσκολο να καλύψουν τη γάστρα σε όλο της το μήκος και είναι λιγότερο αποτελεσματικές σε χαμηλές ταχύτητες. Καθώς οι φυσαλίδες, ανερχόμενες, μεγαλώνουν σε μέγεθος, δε μπορούν να διατηρήσουν τη σφαιρικό σχήμα τους και παραμορφώνονται, δημιουργώντας αναταράξεις (Γεώργιου, 2019).

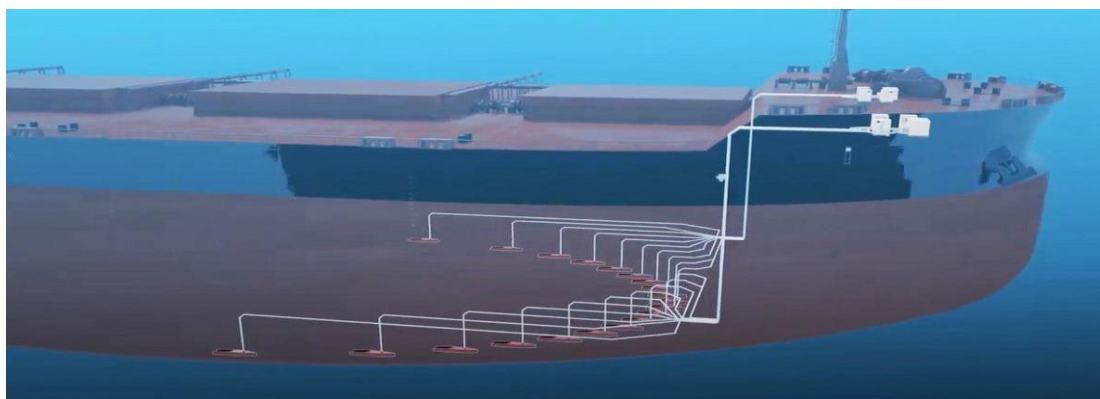
Η εταιρεία Vale προχωρήσει στην εγκατάσταση ενός συστήματος αερολίπανσης στο κατηγορίας Guaibamax και χωρητικότητας 325.000 τόνων φορτηγού της πλοίο «Sea Victoria» (Isalosnet, 2021).

Το σύστημα αερολίπανσης, το οποίο παρέχει η αγγλική εταιρεία Silverstream, θα χρησιμοποιεί δέκα αεροσυμπιεστές στο κατάστρωμα του πλοίου και θα τροφοδοτούν με αέρα είκοσι συσκευές οι οποίες θα βρίσκονται κάτω από το κύτος του πλοίου και θα παράγουν ένα στρώμα φυσαλίδων. Οι φυσαλίδες ελαττώνουν την τριβή ανάμεσα στο κύτος του πλοίου και το νερό, την κατανάλωση καυσίμου και έχουν ως αποτέλεσμα τις παραγόμενες εκπομπές. Το «Sea Victoria» αποτελεί το πρώτο πλοίο μεταφοράς μεταλλευμάτων στον κόσμο το οποίο χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Σύμφωνα με τη Vale, εφόσον η συγκεκριμένη τεχνολογία δοκιμαστεί με επιτυχία στο «Sea Victoria», θα μπορούσε να εγκατασταθεί στη συνέχεια και στα υπόλοιπα πλοία του στόλου της εταιρείας που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεταλλευμάτων. Ο Rodrigo Bermelho, τεχνικός διευθυντής της Vale, αναφέρει: «Συντηρητικές εκτιμήσεις δείχνει πως η χρήση του συστήματος μπορεί να αποφέρει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά περίπου 5-8%, με πιθανή μείωση της τάξης του 4,4% στις ετήσιες εκπομπές της Vale που αφορούν το κομμάτι της μεταφοράς σιδηρομεταλλεύματος» (Isalosnet, 2021).

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας αερολίπανσης αποτελεί μέρος του προγράμματος Ecoshipping, το οποίο υλοποιεί η Vale, σκοπός του οποίου είναι να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης των εκπομπών άνθρακα της εταιρείας σύμφωνα και με όσα συζητούνται στον IMO.





Εικόνα 8: Σύστημα αερολίπανσης της Vale

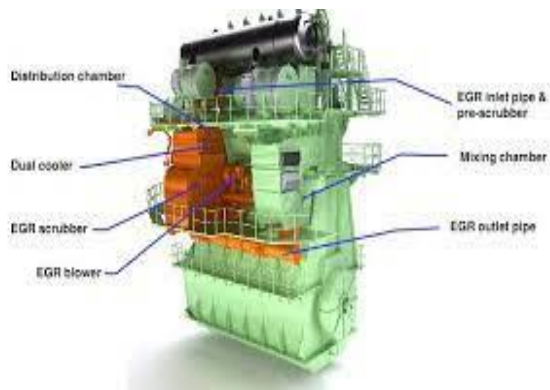
Πηγή: <https://www.isalos.net/2021/09/borei-i-aerolipansi-na-meioseis-tis-ekpompes-ton-ploion/>

#### *1.3.4 ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ NO<sub>x</sub> ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EGR Systems)*

Η Man Diesel (MAN, 2019) ανέπτυξε ένα σύστημα ανακύκλωσης αερίων ρύπων (EGR) για δίχροτους κινητήρες, το οποίο μπορεί να συντελέσει στη μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> από τα πλοία κατά 80%. Ένα μέρος των καυσαερίων φιλτράρεται και ανακυκλοφορείται πίσω στον θάλαμο καύσης. Ο σχηματισμός NO<sub>x</sub> μειώνεται αφού η θερμοχωρητικότητα των αρχικών συστατικών των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από αυτή του αέρα. Η μείωση παροχής οξυγόνου αποτρέπει επίσης στο σχηματισμό NO<sub>x</sub>.

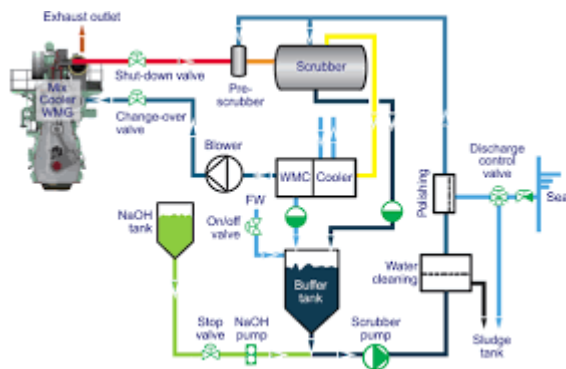
Ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που προκύπτουν στον αέρα που ανακυκλοφορείται. Αυτό μπορεί να προκαλέσει εναπόθεση σωματιδίων στη μηχανή και αλλαγή της σύστασης του λιπαντικού λαδιού. Λόγω της ύπαρξης αερίων θειούχων, μπορεί να προκύψει διάβρωση εξαιτίας της δημιουργίας οξειδίων του θείου. Συνολικά δεν υπάρχει δυνατότητα αυτή τη στιγμή να κυκλοφορεί πάνω από το 15 με 20% των καυσαερίων της μηχανής.

Από το 2002 και μετά, η τεχνολογία EGR βελτιώθηκε σημαντικά με την εισαγωγή δοχείων ψύξης όπου μειώνονται περαιτέρω εκπομπές NO<sub>x</sub>. Ειδικότερα σε ότι αφορά τους νέους κανονισμούς του IMO που τέθηκαν σε ισχύ το 2016 υπήρχε μεγάλη αισιοδοξία πως η τεχνολογία EGR θα αποτελέσει το έναυσμα για την ανάπτυξη και άλλων τεχνολογιών που μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές NO<sub>x</sub> (MAN, 2019).



Εικόνα 9: Μείωση NOx από την ανακύκλωση καυσαερίων

Πηγή: <https://www.egcsa.com/exhaust-gas-recirculation-explained/>



Εικόνα 10: Σύστημα EGR για θαλάσσια εφαρμογή δίχρονης χαμηλής ταχύτητας που καίει HFO υψηλής περιεκτικότητας σε θείο

Πηγή: DieselNet

## 1.4 ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Στον τομέα των ναυτικών μηχανών οι νέες τεχνολογίες είναι οι παρακάτω: Χρήση διπλού καυσίμου στα πλοία, τα συστήματα ανάκτησης και χρήσης απολυμένης θερμότητας, η χρήση του LNG ως καύσιμο, η προσθήκη νερού στα καύσιμα και τέλος τα φίλτρα καθαρισμού καυσαερίων.

### *1.4.1 ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ*

Η χρήση διπλού καυσίμου στα πλοία, είναι μία εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία η οποία μπορεί να αντικαταστήσει τις άλλες προσέχεις μορφές και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του NOx ώστε να επιτυγχάνεται συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του IMO (Tier III). Συνήθως οι μηχανές διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν LNG σε συνδυασμό με Marine Diesel Oil (MDO) ή βιοκαύσιμα ή Heavy Fuel Oil (HFO). Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτών των ναυτικών μηχανών νέας γενιάς είναι ότι μπορεί να υπάρχει

εναλλαγή στη χρήση καυσίμου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους χωρίς να επηρεάζεται η συνολική απόδοση μηχανής (Patel M.R., 2012).

#### *1.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΑΠΟΛΥΜΕΝΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ*

Μία δίχρονη ναυτική μηχανή έχει σε γενικές γραμμές καλό βαθμό απόδοσης σε σχέση με την κατανάλωση καυσίμου. Όμως μπορεί να επέλθει βελτίωση, μέσω της εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμότητας των αερίων ρύπων. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει να τοποθετηθεί επί του πλοίου ειδικό σύστημα, το οποίο θα χρησιμοποιεί την παραγόμενη θερμότητα από τη μηχανή του πλοίου και θα τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια (Green Ship magazine, 2009).

Όταν οι αέριοι ρύποι εκπέμπονται από τη μηχανή του πλοίου, η θερμοκρασία τους είναι υψηλή. Αν απομονώσουμε αυτά τα αέρια που περιέχουν μεγάλη θερμότητα, σε έναν λέβητα, τότε είναι δυνατή η παραγωγή ατμού από αυτή τη θερμότητα.

Τα συστήματα ανάκτησης και χρήσης της παραγόμενης θερμότητας (waste heat recovery systems - WHR) αποτελούνται από ένα λέβητα που διοχετεύονται τα καυσαέρια ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί τον παραγόμενο ατμό σε έναν ατμοστρόβιλο. Στη συνέχεια, ο ατμοστρόβιλος είναι συνδεδεμένος με μία γεννήτρια από όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για κατανάλωση στο πλοίο.

Λόγω της μεγάλης ισχύος των προωθηρίων μηχανών, είναι σκόπιμο να ανακτηθεί ένα μέρος των απωλειών και να χρησιμοποιηθούν σε άλλες καταναλώσεις. Για να έχουμε μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει δυνατότητα χρήσης διπλού ή τριπλού συστήματος συμπίεσης του ατμού. Τέτοια συστήματα αυξάνουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά 11-12% αν υπάρχει ατμοστρόβιλος ή κατά 7% περίπου αν δεν υπάρχει. Τα συστήματα ανάκτησης της απολυμένου θερμότητας κατατάσσονται στον μηχανολογικό εξοπλισμό του πλοίου και επιφέρουν μείωση των αερίων ρύπων ως εξής: μείωση CO<sub>2</sub> κατά 7-14%, μείωση NO<sub>x</sub> κατά 7-14% και τέλος μείωση SO<sub>x</sub> επίσης κατά 7-14% (Green Ship magazine, 2009).

#### *1.4.3 ΧΡΗΣΗ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ*

Καθοριστικός για την επίτευξη των στόχων του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO) όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων των πλοίων πρόκειται να είναι στο εξής ο ρόλος των εναλλακτικών καυσίμων, με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) να κατέχει ηγετική θέση λόγω των μοναδικών συγκριτικών πλεονεκτημάτων,

λειτουργικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών, που το χαρακτηρίζουν ως καύσιμο (Naftemporiki, 2018).

Πέρα από τη διαχείριση του θαλάσσιου έρματος, εδώ και χρόνια έχει ξεκινήσει η ανάπτυξη τεχνολογιών όπως η χρήση καυσίμων LNG (υγροποιημένου φυσικού αερίου) για την προώθηση των πλοίων. Πολλοί θεωρούν τη χρήση LNG από τα πλοία, το μέλλον της βιομηχανίας. Η χρήση του βοηθάει στη μείωση των αερίων ρύπων από τα πλοία και ένας συνδυασμός καυσίμου υγροποιημένου φυσικού αερίου με πετρέλαιο κίνησης, είναι πολύ πιθανόν να οδηγήσει στη βέλτιστη αποδοτικότητα των κύριων μηχανών των πλοίων, και κατά συνέπεια στην εξοικονόμηση καυσίμων. Άλλωστε, η χρήση καυσίμων υγροποιημένου φυσικού αερίου, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης (Patel M.R., 2012).

Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου καυσίμου για τις ενεργοβόρες μηχανές αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εγχείρημα καθώς οι κύριες μηχανές των πλοίων αποτελούν τις κυριότερες πηγές κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον είναι οι μηχανές που είναι διαρκώς σε ισχύ όταν το πλοίο είναι στη θάλασσα. Είναι λοιπόν φανερό πως εφόσον η χρήση αυτών των κινητήρων είναι τόσο εκτεταμένη, η χρήση καυσίμου LNG για αυτούς τους κινητήρες θα μπορούσε να συντελέσει σε μία δραστική μείωση των αερίων εκπομπών του πλοίου.

Το LNG ανταποκρίνεται ήδη στους στόχους του IMO για το 2020 και αποτελεί τη βάση για την επίτευξη των στόχων αυτών σε συνδυασμό με επενδύσεις σε υποδομές που θα υποστηρίζουν τον εφοδιασμό πλοίων με LNG και την υιοθέτηση καινοτόμων λύσεων στη σχεδίαση και λειτουργία των πλοίων.

Το LNG δεν βρίσκεται τυχαία στο επίκεντρο τα τελευταία χρόνια, καθώς πρόκειται για ένα καύσιμο που χαρακτηρίζεται από σειρά συγκριτικών πλεονεκτημάτων απέναντι τόσο στις συμβατικές λύσεις, όσο και στα άλλα εναλλακτικά καύσιμα. Το φυσικό αέριο, ως γνωστόν, είναι ένα διαθέσιμο συγκριτικά φθηνό και ασφαλές καύσιμο, που βασικό του χαρακτηριστικό είναι ότι εκλύει πολύ λιγότερες εκπομπές NOx και SOx και PM αλλά είναι σημαντική και η συνεισφορά του στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το πετρέλαιο (Naftemporiki, 2018).

Διεισδύοντας στα παραπάνω πλεονεκτήματα, το LNG μπορεί να αντικαταστήσει στο άμεσο μέλλον τα υγρά καύσιμα στα πλοία λόγω της δυνατότητάς του να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 25%, τους ρύπους NOx κατά 90% και τους

ρύπους SOx και PM κατά 99%. Μάλιστα, αν συνδυαστεί με ένα κατάλληλο σχεδιασμό πλοίου και εξελιγμένες μηχανές, είναι σε θέση να μειώσει τις εκπομπές έντασης CO<sub>2</sub> (εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά έργο μεταφοράς) κατά 40% ως το 2030, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του κλάδου, προσφέροντας μία ρεαλιστική και βιώσιμη διέξοδο στο ναυτιλιακό τομέα ενόψει του στόχου μείωσης του CO<sub>2</sub> κατά 50% έως το 2050 (Καραγεώργος, 2015).

Αυτό το αποτέλεσμα θεωρείται αδύνατο με τη χρήση των υφιστάμενων υγρών καυσίμων και των συμπληρωματικών τεχνολογιών τους, άρα η στροφή προς το LNG αποτελεί μονόδρομο, ώστε να συμβάλλει η ναυτιλία στην αποτροπή της κλιματικής αλλαγής και τελικά στην απανθρακοποίηση του ναυτιλιακού τομέα με τη συμμετοχή ανθρακικώς ουδέτερων “Carbon Neutral” καυσίμων. Ακόμα και στο απώτερο μέλλον, όταν οι προδιαγραφές ρύπων θα γίνουν ακόμα αυστηρότερες, το LNG θα είναι σε θέση να συνεχίσει να συνδράμει μέσω του συνδυασμού του με ανθρακικώς ουδέτερα καύσιμα (Carbon Neutral), θέτοντας έτσι τη βάση για επιπλέον ενέργειες μείωσης των αερίων εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία.

Στο πλαίσιο του απώτερου στόχου του IMO για μείωση κατά 50% των εκπομπών του άνθρακα ως το 2050, η λύση αυτή θεωρείται σήμερα ως η μοναδική βιώσιμη μακροπρόθεσμα, καθώς δε χρειάζεται να θυσιάσει η αποδοτικότητα των πλοίων υπέρ της μείωσης των εκπομπών (π.χ. ταχύτητα πλεύσης) (Naftemporiki, 2018).

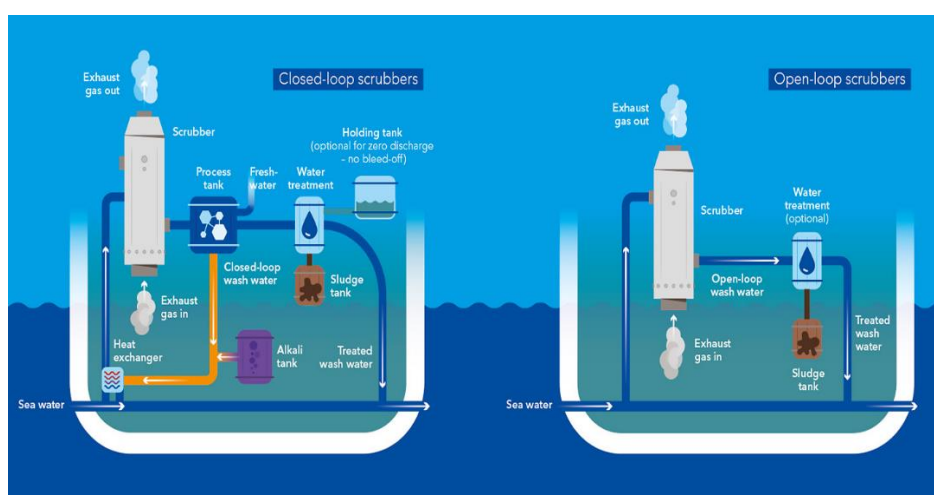
Το LNG μέσω των ανεπτυγμένων τεχνολογιών προώθησης που υπάρχουν σήμερα, είναι ξεκάθαρα καλύτερος το συνολικό προφίλ εκπομπών (well-to-wake) σε σχέση με τα υγρά καύσιμα. Συνεπώς το LNG δεν είναι ένα μεταβατικό καύσιμο, αλλά το καύσιμο του μέλλοντος για πολλά ακόμα χρόνια.

Τέλος, οι επενδύσεις στο LNG θα έχουν μακρόπνοο χαρακτήρα και αποτελούν μονόδρομο προς ένα βιώσιμο μοντέλο μελλοντικής ανάπτυξης χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επενδύοντας στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα πέραν των ισχυόντων προδιαγραφών, ιδιοκτήτες πλοίων μειώνουν την έκθεσή τους σε όποια μελλοντική φορολογία CO<sub>2</sub> και αυξάνουν την ανταγωνιστικότητα των πλοίων τους για όλη τη διάρκεια της ζωής του (Naftemporiki, 2018).

Προς το παρόν τα κρουαζιερόπλοια και τα containerships κυριαρχούν στο LNG fuel, αφού για τη μεγάλη μάζα εμπορικών πλοίων δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές (Τσιμπλάκη, 2019).

#### 1.4.4 ΦΙΛΤΡΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Προσπαθώντας να ικανοποιήσει τους μελλοντικούς περιορισμούς εκπομπών SOx από τα πλοία, η βιομηχανία κατασκευής του ναυτιλιακού εξοπλισμού, έχει προχωρήσει στην εισαγωγή των φίλτρων καθαρισμού καυσαερίων (exhaust gas scrubbers- EGS). Τα EGS χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν τα καυσαέρια από τις τσιμινιέρες των πλοίων προκειμένου να έχουμε μείωση των εκπομπών SOx. Η μείωση που επιτυγχάνεται είναι περίπου αντίστοιχη με το να χρησιμοποιούμε καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (S) το οποίο όμως είναι ακριβότερο.



Εικόνα 11: Scrubbers at a glance

Πηγή: DNV

Η λειτουργία των EGS βασίζεται στη χρήση γλυκού και θαλασσινού νερού καθώς και καυστικής σόδας τα οποία είναι φιλικά προς το περιβάλλον σε αντίθεση με κάποια χημικά που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα για το φιλτράρισμα των καυσαερίων.

Ο μηχανισμός φιλτραρίσματος γίνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα καυσαέρια ψύχονται από τους 350°C στους 160-180°C από μία συμβατική συσκευή ψύξης και η επιπλέον θερμότητα διοχετεύεται σε άλλες καταναλώσεις (Green Ship magazine, 2009, p. 9). Στο δεύτερο στάδιο, τα καυσαέρια διοχετεύονται σε μία δεύτερη συσκευή (special ejector) όπου έχουμε περαιτέρω ψύξη με έγχυση νερού από όπου απομακρύνονται τα περισσότερα σωματίδια αιθάλης. Τέλος τα καυσαέρια οδηγούνται προς ένα απορροφητικό αγωγό που ψεκάζονται με νερό και έτσι καθαρίζονται και τα υπολείμματα διοξειδίου του θείου. Για να αποφευχθεί η διάβρωση λόγω του νερού, τα καυσαέρια θερμαίνονται εκ νέου πριν φτάσουν στην έξοδο της τσιμινιέρας.

Αυτά τα συστήματα καθαρισμού έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία καυσαερίων από κινητήρες, βοηθητικούς κινητήρες και λέβητες ώστε να

διασφαλίζεται ότι δεν προκαλεί ζημιά στην ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον από τοξικά χημικά.

Με βάση τη λειτουργία τους τα φίλτρα καθαρισμού καυσαερίων μπορούν να ταξινομηθούν σε υγρά και ξηρά. Τα ξηρά φίλτρα χρησιμοποιούν στέρεο ασβέστη ως αλκαλικό καθαριστικό υλικό που αφαιρεί το διοξείδιο του θείου από τα καυσαέρια. Τα υγρά φίλτρα χρησιμοποιούν νερό το οποίο ψεκάζεται στα καυσαέρια για τον ίδιο σκοπό.

Τα φίλτρα ταξινομούνται περαιτέρω σε φίλτρα κλειστού ή ανοιχτού βρόχου. Σε φίλτρα στενού βρόχου, ως υγρό καθαρισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί γλυκό ή θαλασσινό νερό. Όταν χρησιμοποιείτε γλυκό νερό σε φίλτρα κλειστού βρόχου, η ποιότητα του νερού που περιβάλλει το πλοίο δεν επηρεάζει την απόδοση και τις εκπομπές λυμάτων του πλυντηρίου. Τα φίλτρα ανοιχτού βρόχου καταναλώνουν θαλασσινό νερό στη διάρκεια του καθαρισμού.

Οι υβριδικοί καθαριστές θαλασσινού νερού μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με κλειστή όσο και σε ανοιχτή λειτουργία με θαλασσινό νερό να χρησιμοποιείται ως μέσο καθαρισμού (Sargun, 2021).

## 1.5 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι πράσινες τεχνολογίες που βρίσκονται υπό έρευνα ή σε πρώιμο στάδιο είναι: η χρήση βιοκαυσίμων και πυρηνικής ενέργειας στα πλοία, οι κυψέλες καυσίμων, αιολική και ηλιακή ενέργεια καθώς και τα ηλεκτρικά πλοία.

### 1.5.1 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Η ναυτιλία εδώ και αρκετό καιρό έχει στραφεί σε νέες μορφές ενέργειας με σκοπό να αντιμετωπίσει τις διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες χωρίς επιπλέον επιβάρυνση του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα επιδιώκοντας τη μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα, στρέφεται σε νέες πηγές καυσίμων, όπως τα βιοκαύσιμα.

Τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να είναι μία από τις επιλογές που θα οδηγούσαν σε χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> στην πρόωση των πλοίων. Τα βιοκαύσιμα έχουν γενικά χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση από ότι τα ορυκτά καύσιμα πλοίων, καθώς επίσης είναι διαφορετική η ενεργειακή απόδοση ανάλογα με τον τύπο του βιοκαυσίμου (Wartsila, 2007). Σήμερα είναι παγκοσμίως διαθέσιμα και μπορούν να παράγονται από πολλούς τύπους βιομάζας και μπορούν να βελτιστοποιούνται για να είναι διαθέσιμα σε όλες τις μορφές μεταφορών. Στη παραγωγή ενέργειας η στέρεα βιομάζα είναι η πιο

διαδεδομένη αυτή τη στιγμή αλλά πλέον τα υγρά βιοκαύσιμα αρχίζουν να χρησιμοποιούνται περισσότερο σε ναυτιλιακές εφαρμογές.

Πολλές από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των βιοκαυσίμων, είναι παρόμοιες με αυτές των ορυκτών καυσίμων και του ναυτιλιακού καυσίμου HFO (Heavy Fuel Oil). Υπάρχουν όμως και βασικές διαφορές όπως, η ενεργειακή απόδοση η οποία είναι χαμηλότερη κατά περίπου 10 με 15%, διότι το σημείο ανάφλεξης είναι πολύ υψηλό και η υγρασία που περιέχει πολλές φορές η βιομάζα είναι μεγαλύτερη.

Πέρα όμως από τα βιοκαύσιμα γίνεται έντονη συζήτηση για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την προώθηση των πλοίων. Αν και η χρήση της πυρηνικής ενέργειας έχει ένα αποδεδειγμένο ιστορικό ως καύσιμο πλοίων σε πολεμικά πλοία, υπάρχουν προφανή συνεπακόλουθα προβλήματα που σχετίζονται με την αντίδραση της κοινωνίας απέναντι στη χρήση της. Αυτό δημιουργεί πολιτικές ευαισθησίες, ιδίως σε σχέση με την υποδοχή ενός πλοίου, που χρησιμοποιεί η πυρηνική ενέργεια, σε λιμάνια και τα περίπλοκα νομικά ζητήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την ανάπτυξή τους για παράδειγμα, σε σχέση με τον ρόλο του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας για τις θαλάσσιες υποθέσεις.

Από την άλλη μεριά ακόμη και αν τα κοινωνικά εμπόδια ξεπεραστούν, είναι αμφίβολο το ποσό επαρκείς είναι οι ικανότητες του πληρώματος του πλοίου να διαχειριστεί μία τέτοια τεχνολογία. Οι ανάγκες κατάρτισης του πληρώματος αποτελούν ένα σημαντικό εμπόδιο για την εμπορική εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας, κυρίως για λόγους κόστους και επαρκούς χρόνου εκπαίδευσης. Ένα ακόμα αμφιλεγόμενο ζήτημα είναι η διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων διότι σε περίπτωση εφαρμογής της πυρηνικής ενέργειας στην ποντοπόρο ναυτιλία, οι ποσότητες τους θα αυξηθούν υπέρμετρα (Wartsila, 2007).

### *1.5.2 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ*

Η τεχνολογία κυψελών καυσίμων έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχής σε διάφορα ναυτιλιακά έργα επίδειξης τεχνολογίας. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία κυψελών καυσίμου δεν είναι νέα, έχει ήδη αρχίσει ο προβληματισμός για το πως αυτή η τεχνολογία θα φανεί χρήσιμη σε εφαρμογές επί του πλοίου. Επίσης, βρίσκονται υπό εξέταση θέματα σχετικά με την ασφάλεια ενός τέτοιου εγχειρήματος και αναπτύσσονται τα σχετικά μαθηματικά μοντέλα που θα προσομοιώνουν την ύπαρξη κυψελών καυσίμου σε πλοία καθώς επίσης και την απόδοσή τους.

Οι βασικές αρχές που διέπουν την φιλοσοφία των κυψελών καυσίμου στα πλοία είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από



τις εκπομπές αερίων ρύπων το σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Ένα ακόμα όφελος είναι η μείωση της ηχορύπανσης και η μείωση του κόστους συντήρησης. Άρα το πλοίο γίνεται πιο ανταγωνιστικό και παράγει μεταφορικό έργο με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος.



Εικόνα 12: Hydrogen fuel cells will be built for merchant ships

Πηγή: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/hydrogen-fuel-cells-will-be-built-for-merchant-ships-58887>

Οι βασικές προκλήσεις του συγκεκριμένου εγχειρήματος περιλαμβάνουν στην απαίτηση για καθαρά καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, μείωση του κόστους της επένδυσης, απόδοση του κεφαλαίου που έχει επενδυθεί και να μειώσει το υπάρχον μέγεθος και το βάρος των εγκαταστάσεων κυψελών καυσίμου.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα κυψελών καυσίμου αποτελείται από δύο μέρη. Ένα μέρος που περιέχει καύσιμο και ένα μέρος που περιέχει αέριο. Μία δέσμη από κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης.

Η διαδικασία μπορεί να περιγραφεί όπως αυτή μιας μπαταρίας με ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μας συμβαίνουν στην επαφή μεταξύ ανόδου, καθόδου και της μεμβράνης του ηλεκτρολύτη με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών τύπων καυσίμου, δηλαδή υδρογόνο, φυσικό αέριο, αιθανόλη, μεθανόλη και αμμωνία. Οι κυψέλες καυσίμου θεωρούνται μία πράσινη τεχνολογία η οποία μπορεί να εξαλείψει τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>,

αιωρούμενων σωματιδίων και να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τις ντιζελομηχανές.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η αποδεδειγμένη αποδοτικότητα, μείωση των εκπομπών αερίων, μείωση του θορύβου και των κραδασμών στο πλοίο λόγω των λιγότερων κινητών μερών της όλης διάταξης με αποτέλεσμα την πιο ευχάριστη διαβίωση του πληρώματος (Χρονικά., 2021).



Εικόνα 13: Το πρώτο αμερικανικό εμπορικό πλοίο που θα τροφοδοτείται αποκλειστικά από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου

Πηγή: [www.switchmaritime.com](http://www.switchmaritime.com)

### 1.5.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα είναι μία διαδεδομένη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την πρόωση των σκαφών. Το πιο κλασικό παράδειγμα είναι τα ιστιοφόρα σκάφη που κινούνται αποκλειστικά με την βοήθεια του ανέμου. Η ολική ενέργεια είναι μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος, δεν αφήνει κατάλοιπα και δεν εκλύει αέρια του θερμοκηπίου. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση αιολικής ενέργειας είναι σχετικά μικρές και για αυτό το λόγο είναι μία πολύ καλή επιλογή για χρήση στη ναυτιλία αφού στη θάλασσα, ο άνεμος είναι μία πηγή ενέργειας που υπάρχει σε αφθονία.

Αιολική ενέργεια βοηθητικής πρόωσης αποδίδεται μέσω καινοτόμων τεχνολογιών μηχανικών ιστών και όχι των κλασικών ιστιοφόρων πανιών, όπως πολλοί ίσως πιστεύουν.

Τα μηχανικά ιστία διαθέτουν μηχανισμούς μεγάλης αεροδυναμικής απόδοσης, ενώ πολλαπλασιάζουν την αποδιδόμενη προωστική δύναμη ανά μονάδα τετραγωνικής επιφάνειας, τουλάχιστον κατά 2 έως και 10 φορές σε σχέση με τα ιστιοφόρα πλοία ίδια συνολικής επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε καταστρώματα υπαρχόντων πλοίων με πολύ μικρές τροποποιήσεις και χωρίς προβλήματα ορατότητας

ή πολυπλοκότητας εγκατάστασης. Ως τέτοια μηχανικά ιστία συγκαταλέγονται συστήματα όπως περιστρεφόμενοι ρότορες (Flettner Rotors), ιστία πτέρυγες (Wing Sails), ιστία πτέρυγες αναρρόφησης (Suction Wings) και ιπτάμενοι αετοί (Airborne Kites).



Εικόνα 14: Η Alfa Laval και η Wallenius συμφωνούν σε μια κοινή επιχείρηση για την ανάπτυξη σύγχρονης αιολικής πρόωσης

Πηγή: <https://bit.ly/30p6aT4>

Εν κατακλείδι, αιολική ενέργεια βοηθητικής πρόωσης είναι άμεσα εφαρμόσιμη και αποδεδειγμένη, μπορεί δε να συνεισφέρει στη μετάβαση της ναυτιλίας στην απανθρακοποίηση και σε πλοία μηδενικών εκπομπών ρύπων (Zero emission vessels), παρέχοντας μικρότερη και φθηνότερη διαστασιολόγηση διαθέσιμης ισχύος από τα εναλλακτικά καύσιμα, ενώ οι σύγχρονες τεχνολογίες αυτοματισμού, τεχνητής νοημοσύνης και ψηφιοποίησης μπορούν να μεγιστοποιήσουν την άντληση ενέργειας από τους θαλάσσιους ανέμους, προς απρόσκοπτη χρήση στα πλοία (Φακιολάς, 2021).

#### *1.5.4 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας σε ένα πλοίο μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και να του προσδώσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ως προς ένα συμβατικό πλοίο. Με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών που τοποθετούνται στο κυρίως κατάστρωμα ενός πλοίου, μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται σε διάφορες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Ήδη σε αρκετά πλοία μικρού εκτοπίσματος (σκάφη αναψυχής, τουριστικά σκάφη) η διαθέσιμη τεχνολογία έχει οδηγήσει σε μεγάλο ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου. Σε πλοία μεγαλύτερου μεγέθους παρόλο που έχουν περισσότερο χώρο στο κατάστρωμα, η τοποθέτηση συλλεκτών ηλιακής ενέργειας μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου μέχρι και 3%, ποσοστό σχετικά μικρό λόγω της μεγάλης απαιτούμενης ενέργειας για την λειτουργία του πλοίου.



Εικόνα 15: MS Turanor PlanetSolar: το πρώτο ηλιακό πλοίο που έκανε τον γύρο του κόσμου

Πηγή: <https://e-nautilia.gr/ms-turanor-planetsolar/>

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ορυκτών καυσίμων και, ως εκ τούτου, βασικός στόχος για όσους αναζητούν καθαρότερες εναλλακτικές λύσεις. Το να καταστούν τα πλοία ηλεκτρικά αποτελεί εξίσου μεγάλη πρόκληση με την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στους δρόμους. Το μόνο που απαιτείται είναι... μεγαλύτερες μπαταρίες. Τα ηλεκτρικά πλοία διαθέτουν τις μεγαλύτερες μπαταρίες και μάλιστα η χωρητικότητά τους αναμένεται να αυξηθεί και άλλο καθώς αυτό αποτελεί βασική προτεραιότητα.

Ένα νέο βελτιωμένο σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου που θα μπορεί να έχει εφαρμογή σε όλους τους τύπους πλοίων ανακοίνωσαν τα κορεάτικα ναυπηγεία Samsung Heavy Industries αποδεικνύοντας πως η νοτιοκορεατική τεχνολογία προχωράει με γοργούς ρυθμούς. Το εν λόγω σύστημα, το οποίο αναπτύχθηκε Από κοινού με την εταιρεία παραγωγής μπαταριών Samsung SDI Co., έλαβε τις σχετικές εγκρίσεις από τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV-GL. Σύμφωνα με την ανακοίνωση των νοτιοκορεάτικων ναυπηγείων, το σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τις ηλεκτρογεννήτριες στα πλοία με έναν αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο με σκοπό τη μείωση του κόστους καυσίμων (Economistas, 2019).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Ο ναυτιλιακός τομέας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο παγκοσμίως στις μεταφορές δημιουργώντας θέσεις εργασίας, ανάπτυξης και σύνδεση ακόμη και των πιο απομακρυσμένων περιοχών με τον υπόλοιπο κόσμο. Η ανταγωνιστικότητα του τομέα είναι μείζονος σημασίας παγκοσμίως κλίμακας. Το ναυτιλιακό σύστημα αποτελείται από διαφορετικούς τομείς όπως οι διηπειρωτικές μεταφορές (deep-sea shipping) για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων, αποστολές μικρών αποστάσεων (short-sea shipping) που έχει να κάνει κυρίως με μεταφορές φορτίων για μικρές αποστάσεις ή και σε διανομή προϊόντων που μεταφέρθηκαν με τη συμβολή των μεταφορών μεγάλων αποστάσεων, και τέλος τις εσωτερικές μεταφορές, στις οποίες περιλαμβάνονται μέσω ποταμών και καναλιών όσον αφορά τις ναυτιλιακές μεταφορές. Απαρτίζεται επίσης από τις επιβατικές μεταφορές, την αλιεία καθώς και τη προσφορά υπηρεσιών σε πληθώρα άλλων τομέων της παραναυτιλίας. Ο ναυτιλιακός κλάδος είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά οποιουδήποτε προϊόντος σε οποιοδήποτε λιμάνι χωρίς τον περιορισμό των γεωγραφικών ορίων. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να είναι από ακατέργαστο πετρέλαιο μέχρι και τυποποιημένα προϊόντα στη τελική τους μορφή (Stopford, 2018).

Οι μεταφορές και ειδικότερα οι θαλάσσιες μεταφορές, αποτελούν βασικό κομμάτι της κοινωνίας που ζούμε και αναπτύσσουμε τις δραστηριότητες μας. Είναι ευρέως γνωστό ότι πλέον τα 4/5 του διεθνούς εμπορίου πραγματοποιούνται μέσω θαλάσσης. Το αποτελεσματικότερο μέσο σε αυτές τις μεταφορές είναι το πλοίο, καλύπτοντας υπερπόντιες αποστάσεις, εκμεταλλεύόμενο ταυτόχρονα οικονομίες κλίμακας. Οι έντονες κλιματικές αλλαγές ωστόσο των τελευταίων δεκαετιών, ώθησαν τη ναυτιλιακή κοινότητα στην εντατική και ενδελεχή εξέταση των βλαβερών ουσιών που εκπέμπουν τα πλοία και στη συνεπακόλουθη προσπάθεια για τη μείωση αυτών και την εξεύρεση ενός περισσότερο οικολογικού τρόπου μεταφοράς. Για να επιτευχθεί ο οικολογικός τρόπος μεταφοράς πρέπει να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές ρύπανσης που παράγουν γενικότερα τα πλοία όπως για παράδειγμα η ηχορύπανση (ατμοσφαιρική και θαλάσσια), η ρύπανση των υδάτων, και γενικότερα οι εκπομπές που παράγει το πλοίο για τον καθαρισμό του φορτίου, τα σεντινόνερα, τα στερεά απόβλητα καθώς και τη ρύπανση από πετρελαιοκηλίδες. Έτσι, έχει βρεθεί ότι το πλοίο δεν είναι καθόλου φιλικό προς το ήδη επιβαρυμένο περιβάλλον και εκπέμπει από τη δραστηριότητα του μεγάλες ποσότητες ρυπογόνων ουσιών, όπως τα NOx, Sox, CO<sub>2</sub>, κ.ά..

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να δώσει περισσότερα στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη της τεχνολογίας των πλοίων για τις μηδενικές εκπομπές που αυτά παράγουν καθώς και των διαφορετικών τύπων καυσίμων για την πρόωση του πλοίου στοχεύοντας στη μείωση του κόστους, λόγω του υψηλού κόστους των καυσίμων. Σε γενικές γραμμές, τα κόστη των πλοίων συχνά συνδέονται με το κόστος λειτουργίας, την περιοδική συντήρηση, τα έξοδα ταξιδιού, τα έξοδα φορτοεκφόρτωσης, και το κόστος του κεφαλαίου. Το κόστος πληρώματος και το κόστος κεφαλαίου είναι κύριο μέλημα για τους εφοπλιστές, αλλά το κόστος των καυσίμων πλέον είναι «το μόνο πράγμα που έχει σημασία».

Με κίνητρο την οικονομική ύφεση, και συνεπώς την αύξηση της τιμής του πετρελαίου και την απαίτηση της επιστημονικής κοινότητας για χρήση των προηγμένων τεχνολογικά λύσεων φιλικών προς το περιβάλλον, η ύπαρξη των πλοίων με μηδενικές εκπομπές που είναι αβλαβείς για το περιβάλλον, καθίσταται πλέον αναγκαίο στη σημερινή εποχή. Δηλαδή είναι μια θεωρητική προσέγγιση της πρωτοποριακής προοπτικής των φιλικών προς το περιβάλλον πλοίων, η οποία γίνεται περισσότερο γνωστή στη χώρα μας με το πέρασμα του χρόνου, αλλά παγκοσμίως κερδίζει συνεχώς έδαφος, ως μια εναλλακτική μέθοδος μείωσης του περιβαλλοντικού κόστους στο καθημερινά αβέβαιο κλίμα που δραστηριοποιούνται σήμερα οι σύγχρονες ναυτιλιακές εταιρείες. Μερικοί πλοιοκτήτες υποστηρίζουν ότι ο σχεδιασμός οικολογικών πλοίων θα αλλάξει τους μέχρι τώρα όρους στη ναυπηγική βιομηχανία, ενώ άλλοι θεωρούν ότι δεν αξίζει να επενδύσουν και πως γίνεται με σκοπιμότητα από τα ναυπηγεία.

## 2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα τελευταία 100 χρόνια το περιβάλλον έχει υποστεί μεγάλη επιβάρυνση με αποτέλεσμα να έχει αναγκάσει τη διεθνή κοινότητα να πιέσει περισσότερο τις κυβερνήσεις και την βιομηχανία της ναυτιλίας με σκοπό να αποφέρει μία πιο «πράσινη» συνείδηση. Η παγκόσμια ναυτιλία ευθύνεται για το 3% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου παγκοσμίως με την έκλυση τεράστιων ποσοτήτων σωματιδίων άνθρακα στην ατμόσφαιρα, επιβαρύνουν τις παράκτιες περιοχές. Με δεδομένη την αδιάκοπη αύξηση του όγκου του εμπορίου φαίνεται αναμενόμενη και η αύξηση των ρύπων που προκαλούν τα πλοία, για τους οποίους ήδη συζητείται η θέσπιση πιο αυστηρών προδιαγραφών (Παπαευθυμίου Σ., 2016).

Η αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συμβάλλει στη διαμόρφωση βιώσιμων λύσεων στον τομέα της μεταφοράς αγαθών. Έτσι, τα τελευταία χρόνια ο IMO (Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας - International Maritime Organization) έχει συντάξει μία σειρά από κανόνες που αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος. Η Διεθνής Σύμβαση για τη Ρύπανση της Θάλασσας από τα πλοία ( International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), MARPOL του 1973 με το πρωτόκολλο του 1978, ήταν το πρώτο βήμα για τη δημιουργία του θεσμικού πλαισίου, για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και τη δημιουργία βάσεων για καθαρές θάλασσες μεταφορές (Asariotis R., 2012).

Τον Απρίλιο του 2018, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) υιοθέτησε μια ιστορική στρατηγική για το κλίμα, καθορίζοντας την πορεία της ναυτιλιακής βιομηχανίας προς ένα μέλλον ουδέτερο από εκπομπές άνθρακα. Απαιτεί από τον παγκόσμιο ναυτιλιακό τομέα να μειώσει έως το 2030 τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μεταφορικό έργο, ως μέσο όρο στη διεθνή ναυτιλία, κατά τουλάχιστον 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008, ενώ συνεχίζονται οι προσπάθειες για το 70% έως το 2050. Επιπλέον, οι συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία θα πρέπει να μειωθούν κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, ενώ θα συνεχιστούν οι προσπάθειες για τη σταδιακή κατάργησή τους ως το συντομότερο δυνατόν σε αυτόν τον αιώνα. Αυτή είναι η πρώτη φορά που τίθενται στόχοι CO<sub>2</sub> για συγκεκριμένους κλάδους σε παγκόσμια κλίμακα.

Η στρατηγική του IMO για το κλίμα προσδιόρισε επίσης έναν κατάλογο υποψήφιων βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων μέτρων για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Οι πλοιοκτήτες της ΕΕ υποστηρίζουν αυτό το φιλόδοξο βήμα και δεσμεύονται να υιοθετήσουν βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα μέτρα και να αποτελούν μέρος της λύσης μέσω της συνεχούς επένδυσής τους σε καινοτόμες και βιώσιμες λύσεις. Αυτή τη στιγμή, η διεθνής ναυτιλία είναι δέσμια ορυκτών καυσίμων. Η πλήρης απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές απαιτεί εναλλακτικά καύσιμα πλοίων χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα ή/και πρωτοποριακές τεχνολογίες πρόωσης, για να γίνουν ευρέως διαθέσιμα (Ecsa).

## 2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΑΙΑ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλίας, ωστόσο, περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ρύπανση των υδάτων, την ακουστική ρύπανση και τη

ρύπανση από το πετρέλαιο. Τα πλοία ευθύνονται για περισσότερο από το 18% ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων. Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) εκτιμά ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία ήταν ίσες με το 2,2% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών το 2012 και αναμένει ότι θα αυξηθούν 50 έως 250% έως το 2050, αν δεν αναλάβουμε δράση.

## 2.2.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

### 2.2.1.1 ΣΕΝΤΙΝΟΝΕΡΑ (BILGE WATER)

Επιπρόσθετα, σε ένα πλοίο, το λάδι συχνά διαρρέει από τους χώρους του κινητήρα και των μηχανημάτων ή από τις δραστηριότητες συντήρησης του κινητήρα και αναμιγνύεται με το νερό στη σεντίνα (σεντινόνερα), το χαμηλότερο μέρος του κύτους του πλοίου. Αν και το νερό της σεντίνας (Bilge Water) φιλτράρεται και καθαρίζεται πριν από την απόρριψή του, το λάδι σε ελάχιστες συγκεντρώσεις μπορεί να σκοτώσει τα ψάρια ή να έχει διάφορες υποθανατηφόρες χρόνιες επιδράσεις. Το νερό σεντίνας μπορεί επίσης να περιέχει στερεά απόβλητα και ρύπους που περιέχουν υψηλά επίπεδα υλικού που απαιτεί οξυγόνο, λάδι και άλλες χημικές ουσίες. Ένα τυπικά μεγάλο κρουαζιερόπλοιο θα παράγει κατά μέσο όρο 8 τόνους πετρελαίου υδροσυλλεκτικού νερού για κάθε 24 ώρες λειτουργίας. Για να διατηρηθεί η σταθερότητα του πλοίου και να εξαλειφθούν οι δυνητικά επικίνδυνες συνθήκες από τους ατμούς λαδιού σε αυτές τις περιοχές, οι χώροι υδροσυλλεκτών πρέπει να ξεπλένονται και περιοδικά να ξηραίνονται με αντλία (Walker, 2019).

Ωστόσο, προτού μπορέσει να καθαριστεί ένας υδροσυλλέκτης και να εκκενωθεί το νερό, το λάδι που έχει συσσωρευτεί πρέπει να εξαχθεί από το νερό σεντίνας, μετά το οποίο το εξαγόμενο λάδι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, να αποτεφρωθεί και/ή να εκφορτωθεί στο λιμάνι. Εάν ένας διαχωριστής, ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως για την εξαγωγή του πετρελαίου, είναι ελαττωματικός ή παρακαμφθεί σκόπιμα, το ακατέργαστο ελαιώδες νερό υδροσυλλεκτών θα μπορούσε να εκκενωθεί απευθείας στον ωκεανό, όπου μπορεί να βλάψει τη θαλάσσια ζωή. Ορισμένες ναυτιλιακές εταιρείες, συμπεριλαμβανομένων μεγάλων ναυτιλιακών εταιρειών κρουαζιέρας, έχουν παραβιάσει ορισμένες φορές τους κανονισμούς παρακάμπτοντας παράνομα τον ενσωματωμένο διαχωριστή λαδιού και νερού και απορρίπτοντας ακατέργαστα ελαιώδη λύματα. Στις ΗΠΑ αυτές οι παραβιάσεις μέσω



του λεγόμενου «μαγικού σωλήνα» διώχθηκαν ποινικά και είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλα πρόστιμα, αλλά σε άλλες χώρες η επιβολή ήταν ανάμεικτη.

#### 2.2.1.2 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (SOLID WASTE)

Τα στερεά απόβλητα (Solid Waste) που παράγονται σε ένα πλοίο περιλαμβάνουν γυαλί, χαρτί, χαρτόνι, κουτιά από αλουμίνιο, χάλυβα και πλαστικά. Μπορεί να είναι είτε μη επικίνδυνο είτε επικίνδυνο στη φύση. Τα στερεά απόβλητα που εισέρχονται στον ωκεανό μπορεί να γίνουν θαλάσσια συντρίμια και στη συνέχεια να αποτελέσουν απειλή για τους θαλάσσιους οργανισμούς, τον άνθρωπο, τις παράκτιες κοινότητες και τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν θαλάσσια ύδατα. Τα κρουαζιερόπλοια διαχειρίζονται συνήθως τα στερεά απόβλητα με συνδυασμό μείωσης στην πηγή, ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων και ανακύκλωσης. Ωστόσο, έως και το 75 τοις εκατό των στερεών αποβλήτων αποτεφρώνεται στο πλοίο και η τέφρα συνήθως απορρίπτεται στη θάλασσα, αν και μερικά εκφορτώνονται στην ξηρά για απόρριψη ή ανακύκλωση. Τα θαλάσσια θηλαστικά, τα ψάρια, οι θαλάσσιες χελώνες και τα πουλιά μπορεί να τραυματιστούν ή να σκοτωθούν από εμπλοκή με πλαστικά και άλλα στερεά απόβλητα που μπορεί να απελευθερωθούν ή να απορριφθούν από κρουαζιερόπλοια (National Research Council, 2010).

Κατά μέσο όρο, κάθε επιβάτης κρουαζιερόπλοιου παράγει τουλάχιστον δύο κιλά μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων την ημέρα. Με μεγάλα κρουαζιερόπλοια που μεταφέρουν αρκετές χιλιάδες επιβάτες, η ποσότητα των απορριμμάτων που παράγεται σε μια ημέρα μπορεί να είναι τεράστια. Για ένα μεγάλο κρουαζιερόπλοιο, παράγονται περίπου 8 τόνοι στερεών αποβλήτων κατά τη διάρκεια μιας κρουαζιέρας μιας εβδομάδας. Έχει υπολογιστεί ότι το 24% των στερεών αποβλήτων που παράγονται από πλοία παγκοσμίως (κατά βάρος) προέρχονται από κρουαζιερόπλοια. Τα περισσότερα σκουπίδια κρουαζιερόπλοιων επεξεργάζονται επί του σκάφους (αποτεφρώνονται, πολτοποιούνται ή αλέθονται) για απόρριψη στη θάλασσα. Όταν τα σκουπίδια πρέπει να εκφορτώνονται (για παράδειγμα, επειδή το γυαλί και το αλουμίνιο δεν μπορούν να αποτεφρωθούν), τα κρουαζιερόπλοια μπορούν να επιβαρύνουν τις λιμενικές εγκαταστάσεις υποδοχής, οι οποίες σπάνια επαρκούν για την εξυπηρέτηση ενός μεγάλου επιβατηγού πλοίου.

Μία άλλη μορφή θαλάσσιας ρύπανσης είναι τα λύματα των πλοίων. Για παράδειγμα, η βιομηχανία των γραμμών κρουαζιέρας απορρίπτει 970.000 λίτρα

(255.000 γαλλ. ΗΠΑ) γκρίζου νερού και 110.000 λίτρα (30.000 γαλλίες ΗΠΑ) μαύρου νερού στη θάλασσα κάθε μέρα.

Το μαύρο νερό (Blackwater) είναι λύματα, λύματα από τουαλέτες και ιατρικές εγκαταστάσεις, τα οποία μπορεί να περιέχουν επιβλαβή βακτήρια, παθογόνα, ιούς, εντερικά παράσιτα και επιβλαβή θρεπτικά συστατικά. Οι απορρίψεις ακατέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων μπορούν να προκαλέσουν βακτηριακή και ιογενή μόλυνση των αλιευτικών και των οστρακοειδών, προκαλώντας κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Τα θρεπτικά συστατικά στα λύματα, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, προάγουν την υπερβολική άνθηση φυκιών, η οποία καταναλώνει οξυγόνο στο νερό και μπορεί να οδηγήσει σε θανάτωση ψαριών και καταστροφή άλλων υδρόβιων ζώων. Ένα μεγάλο κρουαζιερόπλοιο (3.000 επιβάτες και πλήρωμα) εκτιμάται ότι παράγει από 55.000 έως 110.000 λίτρα την ημέρα απόβλητα μαύρου νερού.

Το γκρίζο νερό (Grey water) είναι λύματα από νεροχύτες, ντους, γαλέρες, πλυντήρια ρούχων και δραστηριότητες καθαρισμού σε ένα πλοίο. Μπορεί να περιέχει μια ποικιλία ρυπογόνων ουσιών, όπως κολοβακτηρίδια κοπράνων, απορρυπαντικά, λάδια και λίπη, μέταλλα, οργανικές ενώσεις, υδρογονάνθρακες πετρελαίου, θρεπτικά συστατικά, υπολείμματα τροφίμων, ιατρικά και οδοντιατρικά απόβλητα. Η δειγματοληψία έγινε από την ΕΠΑ και η πολιτεία της Αλάσκας διαπίστωσαν ότι το μη επεξεργασμένο γκρίζο νερό από κρουαζιερόπλοια μπορεί να περιέχει ρύπους σε μεταβλητή ισχύ και ότι μπορεί να περιέχει επίπεδα κολοβακτηριδίων κοπράνων πολλές φορές μεγαλύτερα από ό,τι συνήθως βρίσκεται σε μη επεξεργασμένα οικιακά λύματα. Το γκρίζο νερό έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως λόγω των συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών και άλλων υλικών που απαιτούν οξυγόνο. Το γκρίζο νερό είναι συνήθως η μεγαλύτερη πηγή υγρών αποβλήτων που παράγονται από κρουαζιερόπλοια (90 έως 95 τοις εκατό του συνόλου). Οι εκτιμήσεις για το γκρίζο νερό κυμαίνονται από 110 έως 320 λίτρα την ημέρα ανά άτομο ή 330.000 έως 960.000 λίτρα την ημέρα για ένα κρουαζιερόπλοιο 3.000 ατόμων.

Το παράρτημα IV της MARPOL τέθηκε σε ισχύ τον Σεπτέμβριο του 2003 περιορίζοντας αυστηρά την απόρριψη μη επεξεργασμένων αποβλήτων. Τα σύγχρονα κρουαζιερόπλοια εγκαθίστανται συνήθως με μονάδα επεξεργασίας τύπου βιοαντιδραστήρα μεμβράνης για όλα τα μαύρα και γκρίζα νερά, όπως οι

βιοαντιδραστήρες G&O, Zenon ή Rochem που παράγουν λύματα σχεδόν πόσιμης ποιότητας για επαναχρησιμοποίηση στους χώρους μηχανών ως τεχνικό νερό.

#### 2.2.1.3 ΝΕΡΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (CARGO HOLD CLEANING WATER)

Η αποτελεσματικότητα ενός φορτηγού χύδην φορτίου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις αποθήκες φορτίου του και στον όγκο του φορτίου που μπορεί να μεταφέρει. Η όλη διαδικασία που περιλαμβάνει τη φόρτωση, την ασφαλή μεταφορά και την εκφόρτωση του φορτίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί επιμελή προετοιμασία, βασικό μέρος της οποίας είναι ο καθαρισμός του αμπαριού. Παρά την πίεση χρόνου, αυτό το βήμα δεν πρέπει να παραμεληθεί, καθώς μπορεί να επηρεάσει άμεσα το τελικό αποτέλεσμα της όλης λειτουργίας.

Η συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις για ασφαλή καθαρισμό φορτίου δεν είναι απλή εργασία και περιλαμβάνει τον εξοπλισμό, την απαιτούμενη τεκμηρίωση και το κατάλληλα εκπαιδευμένο πλήρωμα, για να βεβαιωθείτε ότι τα αμπάρια του φορτίου καθαρίζονται σωστά μετά από κάθε εκφόρτωση και είναι προετοιμασμένα για το επόμενο φορτίο. Γιατί όμως είναι τόσο σημαντικός ο καθαρισμός του χώρου αποσκευών;

Η μη τήρηση των αναμενόμενων απαιτήσεων όσον αφορά τον σωστό καθαρισμό μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε αξιώσεις που σχετίζονται με την ποιότητα του φορτίου, όπως μόλυνση, αλλά ακόμη και σε διαφωνίες στις ναυλώσεις και αξιώσεις εκτός ενοικίασης.

#### 2.2.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (OIL POLLUTION)

Μία άλλη μορφή θαλάσσιας ρύπανσης είναι οι Πετρελαιοκηλίδες (Oil Spills). Αν και λιγότερο συχνή από τη ρύπανση που προκύπτει από τις καθημερινές λειτουργίες, οι πετρελαιοκηλίδες έχουν καταστροφικές συνέπειες. Ενώ είναι τοξικές για τη θαλάσσια ζωή, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και τα συστατικά του αργού πετρελαίου, είναι πολύ δύσκολο να καθαριστούν και διαρκούν για χρόνια στο ίζημα και στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα θαλάσσια είδη που εκτίθενται συνεχώς σε PAH μπορεί να παρουσιάσουν αναπτυξιακά προβλήματα, ευαισθησία σε ασθένειες και ανώμαλους αναπαραγωγικούς κύκλους. Μία από τις πιο γνωστές διαρροές ήταν το περιστατικό Exxon Valdez στην Αλάσκα. Το πλοίο προσάραξε και έριξε τεράστια ποσότητα πετρελαίου στον ωκεανό τον Μάρτιο του 1989. Παρά τις

προσπάθειες επιστημόνων, διευθυντών και εθελοντών, πάνω από 400.000 θαλάσσια πτηνά, περίπου 1.000 θαλάσσιες ενυδρίδες και τεράστιος αριθμός ψαριών σκοτώθηκαν.

### 2.2.3 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (NOISE AT SEA)

Η ηχορύπανση που προκαλείται από τη ναυτιλία έχει αυξηθεί το τελευταίο διάστημα. Ο θόρυβος που παράγεται από τα πλοία μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις και τα θαλάσσια είδη που μπορεί να βασίζονται στον ήχο για τον προσανατολισμό, την επικοινωνία και την τροφή τους, η ηχητική αυτή ρύπανση μπορεί να τα βλάψει.

Η Σύμβαση για τη Διατήρηση των Μεταναστευτικών Ειδών έχει αναγνωρίσει τον θόρυβο των ωκεανών ως πιθανή απειλή για τη θαλάσσια ζωή. Η διακοπή της ικανότητας των φαλαινών να επικοινωνούν μεταξύ τους είναι μια ακραία απειλή και επηρεάζει την ικανότητά τους να επιβιώνουν. Σύμφωνα με το άρθρο του Discovery Channel για το Sonic Sea Journeys Deep into the Ocean, τον περασμένο αιώνα, ο εξαιρετικά δυνατός θόρυβος από εμπορικά πλοία, εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου, ασκήσεις ναυτικών σόναρ και άλλες πηγές έχει μεταμορφώσει το ευαίσθητο ακουστικό περιβάλλον του ωκεανού, προκαλώντας ικανότητα των φαλαινών και της άλλης θαλάσσιας ζωής να ευημερούν και τελικά να επιβιώνουν. Οι φάλαινες αρχίζουν να αντιδρούν σε αυτό με τρόπους που είναι απειλητικοί για τη ζωή. Σύμφωνα με τη Διευθύντρια του Προγράμματος Διάσωσης Ζώων της IFAW, Katie Moore, "Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους οι ήχοι μπορούν να επηρεάσουν τα ζώα. Υπάρχει αυτό το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος που ανεβαίνει και ανεβαίνει και ανεβαίνει, που παρεμποδίζει την επικοινωνία και τα μοτίβα κινήσεών τους. Και μετά υπάρχει το πιο οξύ είδος τραυματικής επίδρασης του ήχου, που προκαλεί σωματική βλάβη ή μια πραγματικά ισχυρή συμπεριφορά συμπεριφοράς.

### 2.2.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ (AIR POLLUTION)

Τα καυσαέρια από τα πλοία θεωρούνται σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τόσο για τους συμβατικούς ρύπους όσο και για τα αέρια του θερμοκηπίου.

#### A) Συμβατικοί ρύποι

Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία δημιουργείται από κινητήρες ντίζελ που καίνε πετρέλαιο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (Sox), γνωστό και ως bunker oil, παράγοντας διοξείδιο του θείου, οξείδιο του αζώτου (Nox) και σωματίδια (PM), εκτός

από μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, και υδρογονάνθρακες, τα οποία και πάλι οδηγούν στο σχηματισμό αντιδράσεων αερολυμάτων και δευτερογενών χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων σχηματισμών HCHO, όζοντος κ.λπ. στην ατμόσφαιρα.

Η εξάτμιση του πετρελαίου έχει ταξινομηθεί από την EPA ως πιθανό καρκινογόνο για τον άνθρωπο. Η EPA αναγνωρίζει ότι αυτές οι εκπομπές από κινητήρες ντίζελ πλοίων συμβάλλουν στη μη επίτευξη του όζοντος και του μονοξειδίου του άνθρακα (δηλαδή, στην αποτυχία τήρησης των προτύπων ποιότητας του αέρα), καθώς και στις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις σωματιδίων στο περιβάλλον και την ορατότητα, την ομίχλη, την εναπόθεση οξέος και τον ευτροφισμό και τη νιτροποίηση του νερού. Η EPA εκτιμά ότι οι μεγάλοι πετρελαιοκινητήρες πλοίων αντιπροσώπευαν περίπου το 1,6 τοις εκατό των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από κινητές πηγές και το 2,8 τοις εκατό των εκπομπών σωματιδίων από κινητές πηγές στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2000. Η συνεισφορά των κινητήρων ντίζελ πλοίων μπορεί να είναι υψηλότερη σε συγκεκριμένη βάση για το λιμάνι. Το ντίζελ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSD) είναι ένα πρότυπο για τον ορισμό του καυσίμου ντίζελ με σημαντικά μειωμένη περιεκτικότητα σε θείο. Από το 2006, σχεδόν όλο το καύσιμο ντίζελ με βάση το πετρέλαιο που διατίθεται στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική είναι τύπου ULSD. Ωστόσο, το 2016 ο IMO ενέκρινε νέους κανονισμούς για το θείο που πρέπει να εφαρμοστούν από μεγαλύτερα πλοία από τον Ιανουάριο του 2020.

Από τις συνολικές παγκόσμιες ατμοσφαιρικές εκπομπές, η θαλάσσια ναυτιλία αντιπροσωπεύει το 18 έως 30 τοις εκατό του οξειδίου του αζώτου και το 9% των οξειδίων του θείου. Το θείο στον αέρα δημιουργεί όξινη βροχή που βλάπτει τις καλλιέργειες και τα κτίρια. Όταν εισπνέεται, το θείο είναι γνωστό ότι προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα και ακόμη και αυξάνει τον κίνδυνο καρδιακής προσβολής. Σύμφωνα με την Irene Blooming, εκπρόσωπο του Ευρωπαϊκού περιβαλλοντικού συνασπισμού Seas in Risk, το καύσιμο που χρησιμοποιείται στα πετρελαιοφόρα και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι υψηλό σε θείο και είναι φθηνότερο στην αγορά σε σύγκριση με το καύσιμο που χρησιμοποιείται για οικιακή χρήση. «Ένα πλοίο εκπέμπει περίπου 50 φορές περισσότερο θείο από ένα φορτηγό ανά τονομίλι μεταφερόμενου φορτίου». Η αύξηση του εμπορίου μεταξύ των ΗΠΑ και της Κίνας συμβάλλει στην αύξηση του αριθμού των πλοίων που πλέουν στον Ειρηνικό και επιδεινώνει πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο αριθμός των ταξιδιών αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται.

Σε μια πρόσφατη μελέτη, για το μέλλον των εκπομπών των πλοίων διερευνήθηκε και αναφέρθηκε ότι η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα δεν αλλάζει με τις περισσότερες κοινές εναλλακτικές λύσεις όπως το ντίζελ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSD) ή το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) καθώς και η ανάπτυξη όγκος εκπομπών μεθανίου λόγω της διολίσθησης του μεθανίου μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας LNG.

#### B) Τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση

Μια πηγή περιβαλλοντικών πιέσεων στα θαλάσσια πλοία προήλθε πρόσφατα από κράτη και τοποθεσίες, καθώς αξιολογούν τη συμβολή των εμπορικών θαλάσσιων σκαφών στα περιφερειακά προβλήματα ποιότητας του αέρα όταν τα πλοία ελλιμενίζονται στο λιμάνι. Για παράδειγμα, οι μεγάλοι πετρελαιοκινητήρες θαλάσσης πιστεύεται ότι συμβάλλουν στο 7% των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από κινητές πηγές στο Baton Rouge, και στη New Orleans.

Τα πλοία μπορούν επίσης να έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε περιοχές χωρίς μεγάλα εμπορικά λιμάνια: συνεισφέρουν περίπου το 37% των συνολικών εκπομπών οξειδίου του αζώτου στην περιοχή της Santa Barbara και αυτό το ποσοστό αναμένεται να αυξηθεί στο 61 τοις εκατό μέχρι το 2015. Και πάλι, υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα ειδικά για τον κλάδο της κρουαζιέρας για αυτό το θέμα. Αποτελούν μόνο ένα μικρό κλάσμα του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου, αλλά οι εκπομπές των κρουαζιερόπλοιων ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε τοπική κλίμακα σε συγκεκριμένες παράκτιες περιοχές που επισκέπτονται επανειλημμένα. Οι αποτεφρωτήρες πλοίων καίνε επίσης μεγάλους όγκους σκουπιδιών, πλαστικών και άλλων απορριμμάτων, παράγοντας τέφρα που πρέπει να απορριφθεί. Οι αποτεφρωτήρες μπορεί επίσης να απελευθερώσουν τοξικές εκπομπές.

Το 2005, το παράρτημα VI της MARPOL τέθηκε σε ισχύ για την καταπολέμηση αυτού του προβλήματος. Ως εκ τούτου, τα κρουαζιερόπλοια χρησιμοποιούν τώρα παρακολούθηση CCTV στις καπνοδόχους καθώς και καταγεγραμμένες μετρήσεις μέσω μετρητή αδιαφάνειας, ενώ ορισμένα χρησιμοποιούν επίσης αεριοστρόβιλους καθαρής καύσης για ηλεκτρικά φορτία και πρόωση σε ευαίσθητες περιοχές.

### Γ) Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για το 3,5% έως 4% όλων των εκπομπών της κλιματικής αλλαγής, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα. Αν και η βιομηχανία δεν ήταν στο επίκεντρο της προσοχής της Συμφωνίας του Παρισιού για το κλίμα που υπογράφηκε το 2016, τα Ηνωμένα Έθνη και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) συζήτησαν τους στόχους και τα όρια εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η Πρώτη Διασυνεδριακή Συνάντηση της Ομάδας Εργασίας του ΙΜΟ για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκε στο Όσλο της Νορβηγίας στις 23–27 Ιουνίου 2008. Είχε ως αποστολή την ανάπτυξη της τεχνικής βάσης για τους μηχανισμούς μείωσης που ενδέχεται να αποτελούν μέρος ενός μελλοντικού καθεστώτος του ΙΜΟ για τον έλεγχο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία, και ένα σχέδιο των ίδιων των μηχανισμών μείωσης, για περαιτέρω εξέταση από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (ΜΕΡC) του ΙΜΟ. Το 2018, ο κλάδος συζήτησε στο Λονδίνο την τοποθέτηση ορίων για τη μείωση των επιπέδων από ένα σημείο αναφοράς των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του 2008 κατά 50% έως το έτος 2050.

Ορισμένες μέθοδοι μείωσης των εκπομπών του κλάδου περιλαμβάνουν τη μείωση των ταχυτήτων της ναυτιλίας (η οποία μπορεί να είναι δυνητικά προβληματική για ευπαθή αγαθά) καθώς και αλλαγές στα πρότυπα καυσίμων. Το 2019, διεθνείς ναυτιλιακές οργανώσεις, συμπεριλαμβανομένου του Διεθνούς Ναυτιλιακού Επιμελητηρίου, πρότειναν τη δημιουργία ενός ταμείου 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων για την υποστήριξη της έρευνας και της τεχνολογίας που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Μια άλλη προσέγγιση για τη μείωση του αντίκτυπου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία ξεκίνησε από την υπηρεσία ελέγχου RightShip, η οποία ανέπτυξε μια διαδικτυακή "Κατάταξη Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (GHG)" ως συστηματικό τρόπο για τη βιομηχανία να συγκρίνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ενός πλοίου με ομότιμα πλοία παρόμοιου μεγέθους και τύπου. Με βάση τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ) που ισχύει για πλοία που ναυπηγήθηκαν από το 2013, η κατάταξη GHG της RightShip μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε πλοία που ναυπηγήθηκαν πριν από το 2013, επιτρέποντας την αποτελεσματική σύγκριση σκαφών σε όλο τον κόσμο.

Επιπλέον, η κατάταξη GHG χρησιμοποιεί μια κλίμακα A έως G, όπου το A αντιπροσωπεύει τα πιο αποδοτικά πλοία. Μετρά τη θεωρητική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται ανά τόνο διανυόμενου ναυτικού μιλίου, με βάση τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου τη στιγμή της ναυπήγησης, όπως η ικανότητα μεταφοράς φορτίου, η ισχύς του κινητήρα και η κατανάλωση καυσίμου. Τα πλοία υψηλότερης βαθμολογίας μπορούν να προσφέρουν σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, πράγμα που σημαίνει ότι καταναλώνουν επίσης λιγότερα καύσιμα και είναι φθηνότερα στη λειτουργία τους. Τέλος, η πυρηνική θαλάσσια πρόωση έχει προταθεί ως η μόνη από καιρό αποδεδειγμένη και επεκτάσιμη τεχνολογία πρόωσης που παράγει πρακτικά μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Μία άλλη μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις και ισχύουν μόνο για δεξαμενόπλοια. Ωστόσο, αυτός ο κανονισμός (15) ισχύει επίσης για τα αερομεταφερόμενα αέρια μόνο εάν οι τύποι του συστήματος φόρτωσης και περιορισμού επιτρέπουν την ασφαλή διατήρηση των πτητικών οργανικών ενώσεων χωρίς μεθάνιο επί του σκάφους ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

Υπάρχουν δύο πτυχές του ελέγχου των VOC σε αυτόν τον κανονισμό. Στον πρώτο, τους κανονισμούς 15.1 – 15.5 και 15.7, ο έλεγχος των VOC που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε σχέση με ορισμένα λιμάνια ή τερματικούς σταθμούς επιτυγχάνεται με την απαίτηση χρήσης συστήματος ελέγχου εκπομπής ατμών (VECS). Όπου απαιτείται, τόσο οι ρυθμίσεις επί του πλοίου όσο και της ξηράς πρέπει να είναι σύμφωνες με το MSC/Circ.585 «Πρότυπα για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών». Ένα μέρος μπορεί να επιλέξει να εφαρμόζει τέτοιους ελέγχους μόνο σε συγκεκριμένους λιμένες ή τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία του και μόνο σε ορισμένα μεγέθη δεξαμενόπλοιων ή τύπων φορτίου. Όταν απαιτούνται τέτοιοι έλεγχοι σε συγκεκριμένους λιμένες ή τερματικούς σταθμούς, τα δεξαμενόπλοια που δεν έχουν τοποθετηθεί έτσι μπορούν να γίνουν δεκτά για περίοδο έως και 3 ετών από την ημερομηνία υλοποίησης. Όταν το VECS έχει τέτοια εντολή, το σχετικό Μέρος πρέπει να κοινοποιήσει στον IMO αυτή την απαίτηση και την ημερομηνία εφαρμογής της. Ένα συμβαλλόμενο μέρος που ρυθμίζει τα δεξαμενόπλοια για τις εκπομπές VOC υποβάλλει κοινοποίηση στον IMO. Οι ειδοποιήσεις VOC από τα μέρη είναι διαθέσιμες μέσω του GISIS ((Οι δημόσιοι χρήστες πρέπει να εγγραφούν για να χρησιμοποιήσουν το GISIS).



Η δεύτερη πτυχή αυτού του κανονισμού, ο κανονισμός 15.6, απαιτεί όλα τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο να διαθέτουν εγκεκριμένο και αποτελεσματικά εφαρμοσμένο σχέδιο διαχείρισης πτητικών οργανικών ενώσεων για το πλοίο που καλύπτει τουλάχιστον τα σημεία που αναφέρονται στον κανονισμό.

### 2.3 ΚΛΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) εξέδωσε έκθεση που υποστηρίζει ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ήδη συμβαίνουν σε όλες τις ηπείρους και σε όλους τους ωκεανούς. Ο κόσμος, σε πολλές περιπτώσεις, είναι απροετοίμαστος για τους κινδύνους από την αλλαγή του κλίματος. Η έκθεση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν οι δυνατότητες να ανταποκριθεί ο κόσμος σε αυτούς τους κινδύνους. Είναι διαχειρίσιμη η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω των εκπομπών αν και θα είναι δύσκολο (IPCC, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014).

Ειδικά για τη ναυτιλία οι επιπτώσεις της εσωτερικής ναυσιπλοΐας ενδιαφέρουν λόγω της προβλεπόμενης αύξησης ή πτώση στάθμης των υδάτων. Συνολικά, οι επιπτώσεις για την εσωτερική ναυσιπλοΐα αναμένεται να είναι αρνητικές, και να αφορούν στη συγκεκριμένη περιοχή.

Τα χαμηλότερα επίπεδα νερού προβλέπονται ως αποτέλεσμα από το διπλασιασμό του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και αυτό θα μπορούσε να αυξήσει το ετήσιο κόστος μεταφοράς κατά 29%, ενώ πιο συγκρατημένα η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να αυξήσει σε 13% αύξηση τα ετήσια έξοδα αποστολής. Οι επιπτώσεις ποικίλουν μεταξύ των βασικών προϊόντων λόγω διαφορετικών διαδρομών. Οι πιθανές οικονομικές επιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της χωρητικότητας φορτίου στα πλοία και σε αύξηση στο ναυτιλιακό κόστος. (IPCC, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014).

Τα λιμάνια θα επηρεαστούν από τις κλιματικές αλλαγές, εμφανίζοντας υψηλότερες θερμοκρασίες, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αλλά και πιο έντονες καταιγίδες και αυξημένες βροχοπτώσεις. Ωστόσο, η ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα στη προσαρμογή των λιμένων έχει επισκιαστεί από τις πιθανές επιπτώσεις. Κυρίως, είναι απαραίτητη η κατάρτιση του προσωπικού των λιμένων για να ξεκινήσει η διαδικασία προσαρμογής. Πάνω από \$3.000 δισεκατομμύρια σε περιουσιακά στοιχεία των λιμενικών υποδομών σε 136 μεγαλύτερες πόλεις με λιμάνια στον κόσμο είναι

ευάλωτες σε καιρικά φαινόμενα (IPCC, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014).

Αυξημένες καταιγίδες σε μερικές διαδρομές μπορεί να αυξήσουν το κόστος της ναυτιλίας μέσω πρόσθετων μέτρων ασφαλείας ή υιοθέτηση μεγαλύτερων διαδρόμων που είναι λιγότερο επιρρεπείς σε καταιγίδες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κόστος μεταφοράς να αυξηθεί ή να γίνει αναζήτηση νέων δρομολογίων αν οι καταιγίδες διαταράσσουν τις εφοδιαστικές αλυσίδες, με την καταστροφή των λιμενικών υποδομών που συνδέονται με οδικά ή σιδηροδρομικά δίκτυα. Τέλος, οι πιο έντονες και συχνές καταιγίδες μπορεί να αυξήσουν το κόστος συντήρησης πλοίων και λιμένων και θα οδηγήσουν σε πιο συχνές καθυστερήσεις λόγω καιρικών συνθηκών.

Οι αυξανόμενες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα απορροφώνται από τους ωκεανούς και αλλάζουν πολύ τη χημεία τους, κάνοντας τους πιο όξινους, με αποτέλεσμα να δημιουργήσουν κίνδυνο για τους κοραλλιογενείς υφάλους και άλλους οργανισμούς που παράγουν το ανθρακικό ασβέστιο των κοχυλιών. Θα μπορούσε να οδηγήσει στην κατάρρευση πολλών σημαντικών τροφικών αλυσίδων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων από τις οποίες εξαρτώνται οι άνθρωποι. Η όλο και συνεχιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών προκαλεί το λιώσιμο των θαλάσσιων πάγων και αυξάνει τη στάθμη της θάλασσας, διαταράσσοντας τα θαλάσσια οικοσυστήματα και την κυκλοφορία των ωκεανών.

Η εμπορική ναυτιλία όπως προαναφέραμε είναι μείζονος σημασίας για το διεθνές εμπόριο και τη διεθνή οικονομία παρόλα αυτά ελλοχεύει κινδύνους, που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, στην οξίνιση των ωκεανών, τη ρύπανση των παράκτιων περιοχών και στην επιβάρυνση της Δημόσιας Υγείας. Η ναυτιλία καταναλώνει 335εκ. τόνους καύσιμο/έτος, ενώ μεταφέρει το 85% του παγκόσμιου εμπορίου. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι εκπομπές της Ναυτιλίας αυξάνονται με γοργούς ρυθμούς και προβλέπεται να συνεχίσουν να αυξάνονται.

Οι κυριότερες μορφές ρύπανσης από τη ναυτιλία είναι από τη διαρροή ή την απόρριψη πετρελαιοειδών, τις εκπομπές αερίων, τη διάβρωση των πλοίων και τα ναυάγια.

Ως τώρα η οικολογική συνείδηση ελάχιστα έχει ασχοληθεί με τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία, τους υπεργίγαντες των θαλασσών που καίνε μαζούτ, αφού τα καυσαέρια τους περιέχουν δηλητηριώδεις ενώσεις του θείου. Στα κατά κανόνα μοναχικά ταξίδια τους και στον αγώνα με τα κύματα, η κάπνα ήταν το τελευταίο πράγμα που θα μπορούσε να απασχολήσει ναυτικούς και πλοιοκτήτες. Αυτό που

προείχε, ήταν να φτάσει το φορτίο όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στο λιμάνι προορισμού. Όλες οι μορφές ρύπανσης τις οποίες παράγουν τα πλοία και η αρνητική επίδραση που έχουν στο περιβάλλον οδηγούν τα τελευταία χρόνια σε ραγδαία κλιματική αλλαγή με αρνητικό πρόσημο.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΟΥ ΔΙΕΠΕΙ ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΜΗΛΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ**

Βάσει του νόμου 743/1977 περί Προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων ως ρύπανση ορίζεται: «Η παρουσία εις την θάλασσαν πάσης ουσίας, η οποία αλλοιώνει την φυσική κατάσταση του θαλάσσιου ύδατος ή καθιστά τούτο επιβλαβές, ή στην υγεία του ανθρώπου ή την πανίδα και χλωρίδα των βυθών, και εν γένει ακατάλληλο δια τας προβλεπομένας κατά περίπτωσιν χρήσεις αυτού» (ΦΕΚ, 1977)

Ωστόσο, θαλάσσια ρύπανση χαρακτηρίζεται και η προσβολή του θαλάσσιου χώρου από τη σκόπιμη απόρριψη των άχρηστων υλικών από χερσαίες διαδικασίες, διοχέτευση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων και από τη λειτουργική ή ατυχηματική ρύπανση από πλοία (Βλάχος Γ. , 1995).

Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Αντί να μειωθούν αυξήθηκαν κατά 4,9% οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη δραστηριότητα της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2021 (Τσαμόπουλος, 2022). Πρόκειται για ένα ποσό συγκρίσιμο με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των μεγάλων χώρων. Στην πραγματικότητα, εάν η παγκόσμια ναυτιλία ήταν χώρα, θα ήταν ο έκτος μεγαλύτερος παραγωγός εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μόνο οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, η Ρωσία, η Ινδία και η Ιαπωνία εκπέμπουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι ο παγκόσμιος στόλος (United Nations, 2009).

Τα πλοία εκπέμπουν διάφορους ρύπους συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Ο ρύπος αυτός, συμβάλλει στην παγκόσμια αλλαγή του κλίματος είτε άμεσα, δρώντας ως μέσο του εγκλωβισμού της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, είτε έμμεσα, βοηθώντας στη δημιουργία επιπλέον αερίων θερμοκηπίου.

#### 3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ESI)

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των βλαβερών ουσιών που εκπέμπουν τα πλοία διαφέρει από αντίστοιχα προβλήματα που έχουν μελετηθεί για επίγειες καταστάσεις. Ο λόγος είναι ότι τα καύσιμα που χρησιμοποιούν τα πλοία είναι υπολείμματα της διαδικασίας παραγωγής ευγενών προϊόντων από τα διυλιστήρια. Επομένως και οι εκπομπές που προκαλούνται από την καύση τους είναι διαφορετικές από αυτές που προκαλούνται από τα άλλα μέσα μεταφοράς. Αν τα πλοία έπρεπε να

κάψουν τα ίδια καύσιμα με άλλα μέσα μεταφοράς τότε θα αυξάνονταν σημαντικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), διότι τα διυλιστήρια για να παράγουν το ευγενέστερο καύσιμο, θα εκτελούσαν πιο ενεργοβόρες διαδικασίες (ESI, 2011).

Το λιμάνι του Αμβούργου ανακοίνωσε τη συμμετοχή του στην ομάδα των Ολλανδικών λιμένων οι οποίοι ήδη προσφέρουν εκπτώσεις στα λιμάνια που ρυπαίνουν λιγότερο. Οι εκπτώσεις έχουν τεθεί σε ισχύ από 1η Ιουλίου του 2011 και φτάνουν μέχρι και το 10% ανάλογα με την βαθμολόγηση του πλοίου με βάση τον Environmental Ship Index<sup>4</sup> (ESI).

Ο περιβαλλοντικός δείκτης πλοίων (ESI) προσδιορίζει θαλάσσια πλοία που έχουν καλύτερη απόδοση στην μείωση των εκπομπών αέρα από ότι απαιτείται από τα ισχύοντα πρότυπα εκπομπών του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Ο περιβαλλοντικός δείκτης πλοίων αξιολογεί την ποσότητα οξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξειδίου του θείου (SO<sub>x</sub>), σε μία κλίμακα από 0 έως 100. Ότι δηλαδή απελευθερώνεται από ένα πλοίο και περιλαμβάνει ένα σχέδιο αναφοράς σχετικά με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου του πλοίου. Οι εκπτώσεις εφαρμόζονται όταν ένα πλοίο επιτυγχάνει βαθμολογία από 20 πόντους και άνω. Το ESI είναι μία καλή ένδειξη για τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των θαλάσσιων σκαφών και θα βοηθήσει στον εντοπισμό καθαρότερων πλοίων με γενικό τρόπο. Όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς σε θαλάσσιες μεταφορές μπορούν να χρησιμοποιούν τον δείκτη ESI ως μέσο για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών τους επιδόσεων και ως μέσο για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας τους (ESI, 2011).

Τον Ιανουάριο του 2011 τα Ολλανδικά λιμάνια Amsterdam, Moerdijk, Dordrecht και Rotterdam ξεκίνησαν να εφαρμόζουν εκπτώσεις στα πλοία που επιτυγχάνουν στο δείκτη ESI. Τα λιμάνια της Αμβέρσας και της Βρέμης έχουν ήδη ανακοινώσει την πρόθεσή τους να χρησιμοποιήσουν το ESI. Ο ESI αναπτύχθηκε από την World Ports Climate Initiative (WPCI), μία θυγατρική του International Association of Ports and Harbours (IAPH) (Χρονικά, 2011).

Τώρα πια έχει μετρηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επιβάρυνση που προκαλούν στο περιβάλλον τα ποντοπόρα πλοία και οι κίνδυνοι προδιαγράφονται με σαφήνεια, καθώς αναιρούνται κάποια από τα αισιόδοξα συμπεράσματα του παρελθόντος. Μόλις πριν από μερικά χρόνια έχει καταμετρηθεί ότι οι θαλάσσιες μεταφορές στο σύνολό τους ευθύνονται μόλις για το 1,75% του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, ενώ στις επίγειες μεταφορές φαινόταν να αναλογεί ποσοστό 10,5%. Νεότερες μελέτες (EDF, Environmental Defence Fund, 2011), έδειξαν ότι οι ρυπογόνες

εκπομπές των πλοίων ισοδυναμούν με τις εκπομπές 7,8 εκατομμυρίων καινούργιων αυτοκινήτων. Έτσι, η τελευταία μελέτη του Environmental Defense Fund εμμένει στο γεγονός ότι πρέπει αυστηρά να υιοθετηθεί σε εθνικό επίπεδο μείωση χρήσης άνθρακα στις μεταφορές και αντικατάσταση της με καθαρή ενέργεια (EDF, Environmental Defence Fund, 2013).

Παράλληλα καταγράφεται σημαντική αύξηση των παραγγελιών για πλοία που καίνε LNG και LPG - εκτός δηλαδή από τη μεταφορά τους - και ιδιαίτερα το πρώτο. Ειδικότερα η πλατφόρμα εναλλακτικών καυσίμων του Νορβηγικού Νηογνώμονα DNV κατέδειξε ότι τον Απρίλιο τοποθετήθηκαν παραγγελίες για 31 πλοία με δυνατότητα καύσης LNG, επίδοση αυξημένη κατά 50% συγκριτικά με τον Μάρτιο. Τα στοιχεία αυτά λαμβάνουν ακόμη μεγαλύτερη σημασία αν αναλογιστεί κανείς πως οι 21 παραγγελίες που τοποθετήθηκαν τον Μάρτιο, ήταν ο υψηλότερος αριθμός σε μηνιαία βάση από τότε που ξεκίνησε να ανακοινώνει δεδομένα η εν λόγω πλατφόρμα. Η DNV τόνισε ότι το 20% των πλοίων που είχαν παραγγελθεί μέχρι το τέλος Απριλίου θα καίνε LNG (Γεωργίου, 2021).

Επιπρόσθετα, το EEDI για νέα πλοία είναι το πιο σημαντικό τεχνικό μέτρο και στοχεύει στην προώθηση της χρήσης πιο ενεργειακά αποδοτικού (λιγότερο ρυπογόνου) εξοπλισμού και κινητήρων. Το EEDI απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης ανά μίλι χωρητικότητας (π.χ. τονομίλι) για διαφορετικά τμήματα τύπου και μεγέθους πλοίου. Από την 1η Ιανουαρίου 2013, μετά από μια αρχική φάση μηδέν δύο ετών, ο σχεδιασμός του νέου πλοίου πρέπει να πληροί το επίπεδο αναφοράς για τον τύπο του πλοίου τους. Το επίπεδο θα γίνεται σταδιακά αυστηρότερο κάθε πέντε χρόνια, και έτσι το EEDI αναμένεται να τονώσει τη συνεχή καινοτομία και την τεχνική ανάπτυξη όλων των στοιχείων που επηρεάζουν την απόδοση καυσίμου ενός πλοίου από τη φάση σχεδιασμού του.

Το EEDI είναι ένας μη δεσμευτικός, βασισμένος στην απόδοση μηχανισμός που αφήνει την επιλογή των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο πλοίου στη βιομηχανία. Εφόσον επιτυγχάνεται το απαιτούμενο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές πλοίων είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιούν τις πιο οικονομικές λύσεις ώστε το πλοίο να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς. Το EEDI παρέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό για ένα μεμονωμένο σχέδιο πλοίου, εκφρασμένο σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά μίλι χωρητικότητας πλοίου (όσο μικρότερο είναι το EEDI τόσο πιο

ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός πλοίου) και υπολογίζεται με έναν τύπο που βασίζεται στις παραμέτρους τεχνικής σχεδίασης για ένα δεδομένο πλοίο.

Το επίπεδο μείωσης του CO<sub>2</sub> (γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά τόνο μίλι) για την πρώτη φάση ορίζεται στο 10% και θα γίνεται αυστηρότερο κάθε πέντε χρόνια για να συμβαδίζει με τις τεχνολογικές εξελίξεις των νέων μέτρων απόδοσης και μείωσης. Τα ποσοστά μείωσης έχουν καθοριστεί μέχρι την περίοδο 2025 και μετά, όταν απαιτείται μείωση 30% για τους ισχύοντες τύπους πλοίων που υπολογίζονται από μια γραμμή αναφοράς που αντιπροσωπεύει τη μέση απόδοση για πλοία που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 2000 και 2010.

Το EEDI έχει αναπτυχθεί για το μεγαλύτερο και πιο ενεργοβόρο τμήμα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου και περιλαμβάνει εκπομπές από νέα πλοία που καλύπτουν τους ακόλουθους τύπους πλοίων: δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, πλοία γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία μεταφοράς εμπορευμάτων ψυγείου και μεταφορείς συνδυασμού. Το 2014, η MEPC ενέκρινε τροποποιήσεις στους κανονισμούς EEDI για να επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής της EEDI σε: μεταφορείς LNG, φορτηγά πλοία ro-ro (μεταφορείς οχημάτων), φορτηγά πλοία ro-ro, επιβατηγά πλοία ro-ro και επιβατηγά κρουαζιερόπλοια με μη συμβατική πρόωση. Αυτές οι τροποποιήσεις σημαίνουν ότι οι τύποι πλοίων που ευθύνονται για το 85% περίπου των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη διεθνή ναυτιλία ενσωματώνονται στο διεθνές ρυθμιστικό καθεστώς.

Από το 2012, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) ενέκρινε/ενέκρινε ή τροποποίησε σύμφωνα με σημαντικές κατευθυντήριες γραμμές που αποσκοπούν στην υποβοήθηση της εφαρμογής των υποχρεωτικών κανονισμών για την Ενεργειακή Απόδοση για Πλοία στο Παράρτημα VI MARPOL:

- 2014 Οδηγίες για την έρευνα και την πιστοποίηση του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), όπως τροποποιήθηκε
- 2014 Οδηγίες για τη μέθοδο υπολογισμού του επιτυγχανόμενου Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης για νέα πλοία, όπως τροποποιήθηκε
- 2013 Οδηγίες για τον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς για χρήση με τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI)
- 2013 Οδηγίες για τον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς για χρήση με τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) για κρουαζιερόπλοια επιβατηγών πλοίων με μη συμβατική πρόωση

- 2013 Ενδιάμεσες κατευθυντήριες γραμμές για τον καθορισμό της ελάχιστης ισχύος πρόωσης για τη διατήρηση της ικανότητας ελιγμών των πλοίων σε αντίξοες συνθήκες, όπως τροποποιήθηκε
- 2016 Οδηγίες για την ανάπτυξη Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP)
- 2013 Οδηγίες για την αντιμετώπιση καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης για τον υπολογισμό και την επαλήθευση της EEDI που έχει επιτευχθεί
- Ενδιάμεσες κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό του συντελεστή fw για μείωση της ταχύτητας του πλοίου σε αντιπροσωπευτική κατάσταση θάλασσας για δοκιμαστική χρήση (IMO, International Maritime Organization, 2010).

Το MEPC 76 του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) πραγματοποιήθηκε ουσιαστικά από τις 10 έως τις 17 Ιουνίου 2021, υιοθετώντας τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL που θα απαιτούν από τα πλοία να μειώνουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σύμφωνα με την αρχική στρατηγική του IMO 2018. Στη συνάντηση εγκρίθηκε επίσης απαγόρευση HFO για πλοία στην αρκτική (Safety4Sea, Βασικά σημεία του αποτελέσματος του IMO MEPC 76, 2021).

Τα νέα μέτρα του παραρτήματος VI της MARPOL θα απαιτήσουν από όλα τα πλοία να υπολογίσουν τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης πλοίου (EEXI) σύμφωνα με τεχνικά μέσα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τους και για τον καθορισμό του ετήσιου δείκτη έντασης λειτουργικού άνθρακα και CII. Η ένταση του άνθρακα συνδέει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου με την ποσότητα του φορτίου που μεταφέρεται σε απόσταση. Τα πλοία θα λάβουν βαθμολογία για την ενεργειακή τους απόδοση (A, B, Γ, Δ, E - όπου το A είναι το καλύτερο). Οι διοικήσεις, οι λιμενικές αρχές και άλλοι ενδιαφερόμενοι κατά περίπτωση ενθαρρύνονται να παρέχουν κίνητρα σε πλοία βαθμολογημένα ως A ή B, στέλνοντας επίσης ένα ισχυρό μήνυμα στην αγορά και τον χρηματοπιστωτικό τομέα. Ένα πλοίο με βαθμολογία Δ για τρία συνεχόμενα έτη, ή E, απαιτείται να υποβάλει ένα διορθωτικό σχέδιο δράσης, για να δείξει πώς θα επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης (Γ ή παραπάνω).

Οι τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL αναμένεται να τεθούν σε ισχύ την 1η Νοεμβρίου 2022, με τις απαιτήσεις για πιστοποίηση EEXI και CII να ισχύουν από την 1η Ιανουαρίου 2013. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη ετήσια έκθεση θα ολοκληρωθεί το 2023, με την πρώτη βαθμολογία να δίνεται το 2024. Μία ρήτρα



αναθεώρησης απαιτεί από τον IMO να επανεξετάσει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής των απαιτήσεων CII και EEXI, το αργότερο έως την 1η Ιανουαρίου 2026, και, εάν είναι απαραίτητο, να αναπτύξει και να εγκρίνει περαιτέρω τροποποιήσεις (Safety4Sea, Βασικά σημεία του αποτελέσματος του IMO MEPC 76, 2021).

Το MEPC 76, οφείλεται για την εισαγωγή απαγόρευση στη χρήση και τη μεταφορά ως καύσιμο HFO από πλοία στα αρκτικά ύδατα μετά την 1η Ιουλίου 2024. Η απαγόρευση θα καλύπτει τη χρήση και τη μεταφορά ως καύσιμο, πετρέλαιο με πυκνότητα 15°C υψηλότερη από 900 kg/m<sup>3</sup> ή κινηματικό ιξώδες στους 50°C υψηλότερο από 180 mm<sup>2</sup>/s. Τα πλοία που ασχολούνται με τη διασφάλιση της ασφάλειας των πλοίων ή σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, και τα πλοία που είναι αφιερωμένα στην ετοιμότητα και την αντιμετώπιση της διαρροής πετρελαίου θα εξαιρούνται. Τα πλοία που πληρούν ορισμένα πρότυπα κατασκευής όσον αφορά την προστασία των δεξαμενών καυσίμου πετρελαίου θα πρέπει να συμμορφώνονται από την 1η Ιουλίου 2029 και μετά (Safety4Sea, Ο IMO υιοθέτησε απαγόρευση HFO για πλοία στην Αρκτική, 2021).

Δεδομένου ότι η Διεθνής κοινότητα έχει δεσμευτεί να μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub>, είναι σημαντικό η ναυτιλία να συμβάλει στο συνολικό στόχο με πολιτικές προσαρμοσμένες στον τομέα. Σε αυτό το στόχο θα γίνουν και συζητήσεις από τον IMO για υιοθέτηση πιο αυστηρών ορίων του EEDI και SEEMP.

# INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE

No LDR0/MMO/20150224110303

Issued under the provisions of the Protocol of 1997, as amended by resolution MEPC.176(58) in 2008, to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 related thereto (hereinafter referred to as "the Convention")

under the authority of the Government of

**GOVERNMENT OF IRELAND**

By BUREAU VERITAS

Name of Ship BV No : 09715M	Distinctive Number or Letters	Port of Registry	Gross Tonnage
ARKLOW FREEDOM	EIEX9	ARKLOW	2998

IMO number : 9361756

## THIS IS TO CERTIFY

1. That the ship has been surveyed in accordance with Regulation 5 of Annex VI of the Convention; and
2. That the survey shows that the equipment, systems, fittings, arrangements and materials fully comply with the applicable requirements of Annex VI of the Convention.

Completion date of the survey on which this Certificate is based : 08/02/2013

This Certificate is valid until\* **28 March 2018**

subject to surveys in accordance with Regulation 5 of Annex VI of the Convention.

Issued at CORK, on the 24 February 2015

Valid only when the Supplement No. LDR0/MMO/20150224110547 is available for inspection.



**BUREAU  
VERITAS**

BUREAU VERITAS  
  
M. MORGAN  
By Order of the Secretary



\* Insert date of expiry as specified by the Administration in accordance with regulation 9.1 of Annex VI of the Convention. The day and the month of this date correspond to the anniversary date as defined in regulation 2.3 of Annex VI of the Convention, unless amended with regulation 9.8 of Annex VI of the Convention.

IAPP CERTIFICATE No : LDR0/MMO/20150224110303  
 NAME OF SHIP : ARKLOW FREEDOM  
 BV REGISTER : 09715M

ENDORSEMENT FOR ANNUAL AND INTERMEDIATE SURVEYS

THIS IS TO CERTIFY that at a survey required by Regulation 5 of Annex VI of the Convention the ship was found to comply with the relevant provisions of that Annex :

Annual survey

Signed : M.MORGAN  
 (Surveyor to BUREAU VERITAS)

Place : WATERFORD  
 Date : 03rd MARCH 2014



Annual survey  
 Intermediate survey

Signed : M.MORGAN  
 (Surveyor to BUREAU VERITAS)

Place : CORK  
 Date : 24th FEBRUARY 2015



Annual survey  
 Intermediate survey

Signed :  
 (Surveyor to BUREAU VERITAS)

Place :  
 Date :

Annual survey

Signed :  
 (Surveyor to BUREAU VERITAS)

Place :  
 Date :

Εικόνα 16: Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ),  
 INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE (IAPC)

Πηγή: [https://www.asl.ie/files/18\\_a\\_freedom\\_iapp\\_cert\\_705f604b.pdf](https://www.asl.ie/files/18_a_freedom_iapp_cert_705f604b.pdf)

### 3.2 ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ (SEEMP)

Με τις αυξανόμενες ανησυχίες για την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, ο διοικητικός φορέας της ναυτιλιακής βιομηχανίας IMO έχει ήδη λάβει θετικά βήματα εφαρμόζοντας τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού (EEDI), ο οποίος παρακολουθεί την ποσότητα CO<sub>2</sub> και τις επιβλαβείς εκπομπές από τα πλοία. Καθώς η νέα έννοια του EEDI εισήχθη για τα νεότευκτα πλοία, ο IMO έχει ανάπτυξη και δόμηση ένα ειδικό εργαλείο που ονομάζεται Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) για τη μέτρηση και τον έλεγχο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον ήδη υπάρχοντα ναυτιλιακό στόλο.

Το σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίου παρέχει μία πρακτική προσέγγιση για τους χειριστές πλοίων και τις εταιρείες διαχείρισης πλοίων για τη διαχείριση των εργασιών και της απόδοσης του στόλου με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας τον Ενεργειακό Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI) ως εργαλείο παρακολούθησης. Τα βασικά για τη δημιουργία του SEEMP για ένα συγκεκριμένο πλοίο είναι η εκτίμηση και ο προσδιορισμός της τρέχουσας κατανάλωσης ενέργειας του σκάφους και εφαρμογή διαφόρων μέτρων για τη μείωση του ιδίου (Marine In Sight, 2021):

- Ενίσχυση της αποδοτικότητας του πλοίου.

Ο πρωταρχικός στόχος του SEEMP είναι να βελτιώσει τη συνολική λειτουργική απόδοση του πλοίου μακροπρόθεσμα εφαρμόζοντας σωστές και βελτιστοποιημένες μεθόδους για εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων.

- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου

Οποιοσδήποτε πλοιοκτήτης θα χαρεί να εξοικονομήσει περισσότερο κόστος στο θαλάσσιο πετρέλαιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο πλοίου. Μία κρίσιμη λειτουργία του SEEMP είναι η εφαρμογή μεθόδων που μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου του πλοίου καθώς οδηγεί σε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του κόστους καυσίμου, που είναι ένα από τα σημαντικά λειτουργικά κόστη του πλοίου.

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από το πλοίο

Ο SEEMP δίνει έμφαση στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία παρέχοντας μεθόδους για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και χρησιμοποιώντας εναλλακτικά καύσιμα που προκαλούν λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Τα ακόλουθα βήματα λαμβάνονται για την επίτευξη αποτελεσματικής λειτουργίας του σκάφους στο πλαίσιο του SEEMP (Marine In Sight, 2021):

- Βελτιστοποίηση ταχύτητας:

Η ταχύτητα του πλοίου καθορίζει την ποσότητα καυσίμου που θα χρησιμοποιήσει ο κύριος κινητήρας για την προώθηση του πλοίου. Η βελτιστοποιημένη ταχύτητα είναι η ταχύτητα με την οποία μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου χωρίς να παρεμποδίζεται η ΕΤΑ στην επόμενη θύρα. Το “slow steaming” ήταν μία αποδεδειγμένη στρατηγική για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου του πλοίου εξοικονομώντας εκατοντάδες δολάρια σε κόστος καυσίμου για τον ιδιοκτήτη. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα προβλήματα που σχετίζονται με το “slow steaming”, επομένως η βέλτιστη ταχύτητα καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες. Το Charter Party όντως παίζει σημαντικό ρόλο καθώς οι συμφωνίες θα επιτρέψουν στο χειριστή του πλοίου να οδηγήσει το πλοίο με βελτιστοποιημένη ταχύτητα για να επιτύχει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα μηχανήματα του πλοίου.

- Δρομολόγηση καιρού

Είναι συναρπαστικό πως το πλοίο αντιμετωπίζει μεγάλες καταιγίδες στη θάλασσα. Δεν υπήρξαν σημαντικά ατυχήματα από ζημιές οι βυθίσεις πλοίων λόγω καταιγίδων και κακοκαιρίας, καθώς στις μέρες μας η καιρική δρομολόγηση χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία για να προβλέψει τον επερχόμενο καιρό και να αλλάξει την πορεία του πλοίου. Αυτή η τεχνολογία είναι πολύ χρήσιμη και βοηθά στην ενεργειακή απόδοση του πλοίου καθώς ο κακός καιρός μπορεί να επιβραδύνει ένα πλοίο και ο κινητήρας πρέπει να αποδώσει περισσότερη ισχύ για να προωθήσει την παλίρροια ή τον άνεμο, οδηγώντας σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου. Με τη δρομολόγηση καιρού, μία τροποποιημένη πορεία μπορεί να λύσει αυτό το πρόβλημα, καθιστώντας το ασφαλέστερο για το πλήρωμα και το φορτίο του πλοίου και εξοικονομώντας καύσιμα και αυξάνοντας την ενεργειακή απόδοση του πλοίου (Marine In Sight, 2021).

- Παρακολούθηση και συντήρηση του κήτους

Η τραχύτητα του σκάφους του πλοίου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ταχύτητα του πλοίου. Αυτό σημαίνει ότι ο κινητήρας του πλοίου πρέπει να δουλέψει περισσότερο για να επιταχύνει την επιθυμητή ταχύτητα εάν η γάστρα είναι τραχιά. Η ταχύτητα του σκάφους του πλοίου αναλύεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για καθαρισμό και βαφή της επιφάνειας. Ένα καλύτερο και προηγμένο σύστημα όπως το MGPS μπορεί

να μειώσει τη θαλάσσια ανάπτυξη στο κύτος και να βελτιώσει τη συνολική ενεργειακή απόδοση του πλοίου.

- Αποτελεσματική λειτουργία φορτίου

Είναι μία ομαδική εργασία μεταξύ του πλοίου, του λιμένα, των πρακτόρων και άλλων εμπλεκομένων μερών. Η καλή και σαφής επικοινωνία μεταξύ τους θα εξασφαλίσει ομαλότερη λειτουργία φορτίου, οδηγώντας σε λιγότερο χρόνο στο λιμάνι. Αυτό θα βοηθήσει το πλοίο να διατηρήσει την ΕΤΑ για τα άλλα λιμάνια, διαφορετικά το πλοίο πρέπει να πλεύσει με μεγαλύτερη ταχύτητα για την επόμενη κλήση που θα οδηγήσει σε επιπλέον κατανάλωση καυσίμου, επηρεάζοντας την ενεργειακή απόδοση του πλοίου.

- Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Ο ηλεκτρικός σταθμός του πλοίου παράγει αρκετή ενέργεια για να διασφαλίσει ότι όλη η πρόωση, το φορτίο και άλλος βοηθητικός εξοπλισμός μπορεί να λειτουργήσει ανά πάσα στιγμή (Marine In Sight, 2021). Η χρήση μιας γεννήτριας σε χαμηλό φορτίο, η χρήση πολλαπλών αντλιών κ.λπ., θα οδηγήσει σε περισσότερη κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας, επηρεάζοντας την ενεργειακή απόδοση. Γυμναστική πρέπει να εκπαιδευτούν στο πώς να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τα μηχανήματα του πλοίου, έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας να είναι στο βέλτιστο επίπεδο.

### 3.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΟΥ IMO ΓΙΑ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (IMO GHG INITIAL STRATEGY)

Η αρχική στρατηγική για τα GHG προβλέπει, ειδικότερα, μείωση της έντασης άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας (για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μεταφορικό έργο, κατά μέσο όρο στη διεθνή ναυτιλία, κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, συνεχίζοντας τις προσπάθειες προς 70% έως το 2050, σε σύγκριση έως το 2008)· και ότι οι συνολικές ετήσιες εκπομπές GHG από τη διεθνή ναυτιλία θα πρέπει να μειωθούν κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008 (IMO, 2019).

Η στρατηγική περιλαμβάνει ειδική αναφορά σε «μια οδό μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> σύμφωνα με τους στόχους θερμοκρασίας της Συμφωνίας του Παρισιού».

Η αρχική στρατηγική αντιπροσωπεύει ένα πλαίσιο για τα κράτη μέλη, που καθορίζει το μελλοντικό όραμα για τη διεθνή ναυτιλία, τα επίπεδα φιλοδοξίας για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τις κατευθυντήριες αρχές, και

περιλαμβάνει υποψήφια βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα περαιτέρω μέτρα με πιθανά χρονοδιαγράμματα και τις επιπτώσεις τους στα κράτη. Η στρατηγική προσδιορίζει επίσης φραγμούς και υποστηρικτικά μέτρα, συμπεριλαμβανομένων της ανάπτυξης ικανοτήτων, της τεχνικής συνεργασίας και της έρευνας και ανάπτυξης (E&A).

Η στρατηγική προβλέπει ότι μια αναθεωρημένη στρατηγική θα εγκριθεί το 2023. Τροφοδοτώντας τη διαδικασία προς την υιοθέτηση της αναθεωρημένης στρατηγικής το 2023 θα είναι το σύστημα συλλογής δεδομένων για την κατανάλωση μαζούτ πλοίων άνω των 5.000 μικτών τόνων, το οποίο ξεκίνησε την 1η Ιανουαρίου 2019 (IMO, 2019).

Η αρχική στρατηγική περιλαμβάνει τα εξής:

- Όραμα

Ο IMO παραμένει προσηλωμένος στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία και, επειγόντως, στοχεύει να τις καταργήσει το συντομότερο δυνατό αυτόν τον αιώνα.

- Επίπεδα φιλοδοξίας

Η αρχική στρατηγική προσδιορίζει επίπεδα φιλοδοξίας για τον διεθνή ναυτιλιακό τομέα, σημειώνοντας ότι η τεχνολογική καινοτομία και η παγκόσμια εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων ή/και πηγών ενέργειας για τη διεθνή ναυτιλία θα είναι αναπόσπαστα στοιχεία για την επίτευξη της συνολικής φιλοδοξίας. Οι ανασκοπήσεις θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ενημερωμένες εκτιμήσεις εκπομπών, τις επιλογές μείωσης των εκπομπών για τη διεθνή ναυτιλία και τις εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC). Τα επίπεδα φιλοδοξίας που κατευθύνουν την Αρχική Στρατηγική είναι τα εξής:

1. μείωση της έντασης άνθρακα του πλοίου μέσω της εφαρμογής περαιτέρω φάσεων του δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (EEDI) για νέα πλοία

να επανεξετάσει με στόχο την ενίσχυση των απαιτήσεων σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης για πλοία με το ποσοστό βελτίωσης για κάθε φάση που θα καθοριστεί για κάθε τύπο πλοίου, ανάλογα με την περίπτωση.

2. μείωση της έντασης άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας, να μειωθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μεταφορικό έργο, κατά μέσο όρο στη διεθνή ναυτιλία, κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, συνεχίζοντας τις προσπάθειες προς το 70% έως το 2050, σε σύγκριση με το 2008· και
3. Οι εκπομπές GHG από τη διεθνή ναυτιλία σε κορύφωση και μείωση. Να κορυφωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία το συντομότερο δυνατό και να μειωθούν οι συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, ενώ συνεχίζονται οι προσπάθειες για τη σταδιακή εξάλειψή τους, όπως απαιτείται στο Όραμα ως σημείο σε μια διαδρομή CO<sub>2</sub> μείωση των εκπομπών σύμφωνα με τους στόχους θερμοκρασίας της Συμφωνίας του Παρισιού.

Στην αρχική στρατηγική του IMO, υπάρχει σαφής φιλοδοξία να συνεχιστούν οι προσπάθειες για τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία εξ ολοκλήρου, έως το τέλος αυτού του αιώνα. Αυτό πρέπει να γίνει πραγματικότητα (IMO, 2019).

Όπως είπε ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών Αντόνιο Γκουτέρες , «Πρέπει να βάλουμε φρένο στις θανατηφόρες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να προωθήσουμε τη δράση για το κλίμα.... Ο κόσμος βασίζεται σε όλους μας για να ανταποκριθούμε στην πρόκληση πριν να είναι πολύ αργά». Η έρευνα και η ανάπτυξη θα είναι ζωτικής σημασίας, καθώς οι στόχοι που συμφωνήθηκαν στην αρχική στρατηγική του IMO δεν θα επιτευχθούν με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Υπάρχει ανάγκη να γίνουν πιο ελκυστικά τα πλοία με μηδενικές εκπομπές άνθρακα και να κατευθυνθούν οι επενδύσεις σε καινοτόμες βιώσιμες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα.

Μερικά από τα πράγματα που έχουν εντοπιστεί στη στρατηγική GHG περιλαμβάνουν την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από πλοία και από την ξηρά/στην ξηρά από ανανεώσιμες πηγές και την ανάπτυξη υποδομής για την υποστήριξη της προμήθειας εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα και μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Η ανάγκη περαιτέρω βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας και του σχεδιασμού της, συμπεριλαμβανομένων των λιμένων, προσδιορίζεται επίσης ως υποψήφιο βραχυπρόθεσμο μέτρο, μαζί με την έναρξη δραστηριοτήτων έρευνας και ανάπτυξης που αφορούν τη θαλάσσια πρόωση, εναλλακτικά καύσιμα χαμηλής



περιεκτικότητας σε άνθρακα και μηδενικές εκπομπές άνθρακα και καινοτόμα τεχνολογίες για την περαιτέρω ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Μεσοπρόθεσμα, η στρατηγική προσδιορίζει υποψήφια μέτρα, συμπεριλαμβανομένου ενός προγράμματος εφαρμογής για την αποτελεσματική απορρόφηση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης των εθνικών σχεδίων δράσης για την ειδική εξέταση τέτοιων καυσίμων. Από την άποψη αυτή, ίσως χρειαστεί να εξεταστεί περαιτέρω ο τρόπος παροχής κινήτρων για την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών.

Ως υποψήφιο βραχυπρόθεσμο μέτρο προσδιορίζεται επίσης η ανάγκη διενέργειας πρόσθετων μελετών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εξέτασης άλλων μελετών για την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης των καμπυλών οριακού κόστους μείωσης και εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα (IMO, 2019).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΣΩ ΦΙΛΙΚΑ ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **4.1 Η ΑΜΜΩΝΙΑ ΩΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ**

Εκπέμποντας μηδενικό CO<sub>2</sub> κατά την καύση, αμμωνία θεωρείται από καιρό ως ένα από τα πιο πολλά υποσχόμενα εναλλακτικά καύσιμα για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου(GHG) στη ναυτιλιακή βιομηχανία, κάτι που είναι σύμφωνο με τη στρατηγική του Διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού (IMO) για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το 2050. Συγκεκριμένα η πράσινη αμμωνία διαθέτει μεγάλες δυνατότητες καθώς παράγεται μόνο από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, νερού και αέρα χωρίς εκπομπές CO<sub>2</sub>. Υπάρχουν Επίσης τρεις κατηγορίες αμμωνίας (Γεωργούλης, 2021):

A) Πράσινη αμμωνία: Αμμωνία χωρίς άνθρακα που συντίθεται από άζωτο και υδρογόνο χωρίς άνθρακα που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

B) Μπλε αμμωνία: Αμμωνία ουδέτερη σε άνθρακα που παράγεται από φυσικό αέριο, με το CO<sub>2</sub> που παράγεται από τις διεργασίες να δεσμεύεται και να εμποδίζεται να εισέλθει στην ατμόσφαιρα

Γ) Καφέ αμμωνία: συμβατική αμμωνία που παράγεται από φυσικό αέριο.

Η αμμωνία αναγνωρίστηκε ως καύσιμο μηδενικού άνθρακα που μπορεί να εισέλθει στην παγκόσμια αγορά σχετικά γρήγορα και να βοηθήσει στην επίτευξη του στόχου μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (decarbonization) για το 2050 που έθεσε ο IMO. Η αμμωνία προσφέρει στους ιδιοκτήτες πλοίων και στους διαχειριστές ένα προφίλ μηδενικών εκπομπών άνθρακα, ανεξάρτητα από την πηγή του καυσίμου. Η αμμωνία δημιουργείται συνήθως συνδυάζοντας άτομα αζώτου και υδρογόνου. Ως εκ τούτου, οι εκπομπές από την παραγωγή του υδρογόνου ως πρώτης ύλης και εκπομπές που προκύπτουν από τη σύνθεση της αμμωνίας πρέπει να θεωρούνται μέρος των εκπομπών κύκλου ζωής καυσίμου αμμωνίας.

Η αμμωνία στο σύνολο, από την παραγωγή και την καύση της, είναι ακόμα λιγότερο φιλική στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) και από το καθαρό υδρογόνο στο στάδιο της παραγωγής, ενώ είναι το ίδιο φιλική στο στάδιο της καύσης.

Παρά την τοξικότητα και τις αυστηρές απαιτήσεις χειρισμού, κινητήρες αμμωνίας έχουν αναπτυχθεί και στο παρελθόν και σήμερα οι μηχανές των πλοίων αναπτύσσονται επί του παρόντος εφαρμόζοντας τις υπάρχουσες τεχνολογίες διπλού καυσίμου (DF) για την αμμωνία.

Σχέδια για πλοία τροφοδοσίας με αμμωνία παρουσιάστηκαν επίσης από κοινοπραξίες που περιλαμβάνουν σχεδιαστές, νηογνώμονες και ναυπηγεία. Έχει καλύτερες προδιαγραφές στις μειώσεις αερίων ρύπων από ότι τα περισσότερα από τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο, η πυρηνική ενέργεια και η βιομάζα. Είναι ένα καύσιμο που βρίσκεται σε παγκόσμια κλίμακα και υπάρχουν σήμερα πολύ μικρότεροι μεταφορείς φυσικού αερίου που μπορεί να υποστηρίξουν υπηρεσίες παροχής αμμωνίας ως καυσίμου στα πλοία.

Ωστόσο, για να γίνει η αμμωνία εμπορικά βιώσιμη μακροπρόθεσμη επιλογή καυσίμου, θα πρέπει να κατασκευαστεί ολοκληρωμένη και καθετοποιημένη υποδομή από την πλευρά της προσφοράς και να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν αυστηροί νέοι κανονισμοί ασφαλείας (Γεωργούλης, 2021).



Εικόνα 17: Η MOL σχεδιάζει ένα πλοίο εφοδιασμού καυσίμου αμμωνίας

Πηγή:<https://www.isalos.net/2022/01/i-mol-schediazai-ena-ploio-efodiasmou-kafsimou-ammonias/>

Η μεταφορά αμμωνίας έχει πλεονεκτήματα έναντι του υδρογόνου, καθώς είναι υγρή σε συνθήκες περιβάλλοντος, απαιτώντας μικρότερους όγκους αποθήκευσης. Το κόστος της μεταφοράς υδρογόνου μπορεί να μειωθεί με την παραγωγή αμμωνίας από το υδρογόνο στην πηγή, τη μεταφορά της αμμωνίας που προκύπτει και στη συνέχεια την αναμόρφωση πίσω στο υδρογόνο στον προορισμό, αλλά χρειάζεται περισσότερη δουλειά για τον υπολογισμό αυτής της μείωσης του κόστους.

Τα οικονομικά έχουν μακροπρόθεσμες δυνατότητες. Η αμμωνία είναι ένα παγκόσμιο εμπόρευμα με διαφανή τιμολόγηση, επομένως υπάρχει ήδη μια αγορά. Το μεγαλύτερο μέρος της τρέχουσας προσφοράς είναι «γκρίζα» αμμωνία, που παράγεται από υδρογόνο που δημιουργείται από φυσικό αέριο, το οποίο παράγει σημαντικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Στόχος της ναυτιλίας είναι η παραγωγή «πράσινης» αμμωνίας από

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αν και αυτό θα είναι πολύ πιο δαπανηρό βραχυπρόθεσμα, οι τιμές θα πρέπει να πέσουν σημαντικά καθώς η παραγωγή κλιμακώνεται (Γεωργούλης, 2021).

Υπάρχει ήδη ένα παγκόσμιο σύστημα διανομής αμμωνίας, αλλά το καύσιμο πρέπει να είναι διαθέσιμο στις σωστές τοποθεσίες στις σωστές ποσότητες. Το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς αμμωνίας συνδέει τοποθεσίες παραγωγής και αποθήκευσης που εξυπηρετούν τη βιομηχανική αγορά. Δεν φτάνει στα λιμάνια με τρόπο που θα επέτρεπε στα πλοία να ανεφοδιάζονται.

Η αντίληψη της αμμωνίας από την ευρύτερη κοινότητα, εκτός των φορέων εκμετάλλευσης του στόλου, θα πρέπει να αλλάξει για να γίνει αποδεκτή ως καύσιμο. Οι λιμενικές αρχές και οι ρυθμιστικές αρχές είναι προς το παρόν απρόθυμες να επιτρέψουν την ανεφοδιασμό αμμωνίας λόγω των κινδύνων τοξικότητας, ενώ η αντίδραση των πολιτών στη μεγάλη κλίμακα αποθήκευση αμμωνίας στα λιμάνια δεν έχει δοκιμαστεί. Ενώ οι ισχύοντες κανονισμοί αποκλείουν τη χρήση αμμωνίας ως καυσίμου για τη ναυτιλία, οι νηογνώμονες και άλλες ομάδες εργάζονται για την αξιολόγηση του κινδύνου και την παροχή καθοδήγησης που θα οδηγήσει σε νέους κανόνες και πρότυπα.

Ενώ η αμμωνία δεν είναι ιδιαίτερα εύφλεκτη, συγκεντρώσεις στον αέρα τόσο μικρές όσο 0,25% μπορεί να προκαλέσουν θάνατο, καθιστώντας το καύσιμο εξαιρετικά τοξικό για τους ανθρώπους. Τα σημερινά υπολείμματα και τα αποστάγματα μαζούτ (ακόμα και το φυσικό αέριο) παρουσιάζουν όλα χαμηλότερους κινδύνους από την αμμωνία. Τα συστήματα καυσίμων πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται, να λειτουργούν και να συντηρούνται ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια των πληρωμάτων των πλοίων, του προσωπικού του λιμένα και των προμηθευτών καυσίμων.

Τα σημερινά πλοία είναι κατασκευασμένα σε τυπικές διαμορφώσεις στις οποίες οι κινητήρες και τα συστήματα καυσίμων βρίσκονται συχνά σε περιορισμένους χώρους σε χαμηλότερα καταστρώματα. Οι διαφορετικές απαιτήσεις της αμμωνίας θα μπορούσαν να αλλάξουν τη διάταξη των πλοίων ή ακόμη και να οδηγήσουν σε πλήρη επανασχεδιασμό.

Ο χειρισμός της αμμωνίας στα πλοία θα απαιτήσει ένα πλήρες νέο σύνολο δεξιοτήτων και διαδικασιών ασφάλειας. Υπάρχει ανάγκη να κατανοηθούν οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, το νερό και το έδαφος σε περίπτωση διαρροής ή ατυχήματος, και πώς να μετριαστούν αυτοί οι τύποι κινδύνων. Χρειάζεται επομένως μια νέα οδός ασφάλειας για την υιοθέτηση της αμμωνίας. Ευτυχώς, υπάρχει

η δυνατότητα να αξιοποιηθούν οι ισχύοντες κανόνες σχετικά με τη μεταφορά αμμωνίας (Haskell, 2021).

Επίσης, η καύση της αμμωνίας στους κινητήρες απελευθερώνει υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ), ένα αέριο θερμοκηπίου ακόμη πιο ισχυρό από το  $CO_2$ . Ως εκ τούτου, θα απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός επί του σκάφους για τον έλεγχο των εκπομπών  $NO_x$ .

Συνολικά, η αμμωνία φαίνεται να είναι ένα πολλά υποσχόμενο εναλλακτικό καύσιμο με δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές της ναυτιλίας. Τώρα τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου πρέπει να συνεργαστούν για να αναπτύξουν και να αποδείξουν τη σκοπιμότητα πρακτικών λύσεων.

#### 4.2 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ

Από τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις καθαρού καυσίμου που χρησιμοποιούνται σήμερα πιλοτικά, το υδρογόνο είναι ο ξεκάθαρος ηγέτης. Μία μελέτη του παγκόσμιου ναυτιλιακού φόρουμ από το Μάρτιο του 2021 εξέτασε 106 έργα που εξετάζουν μηδενικές εκπομπές στη θάλασσα και διαπίστωσε ότι σχεδόν οι μισές από αυτές τις πρωτοβουλίες επικεντρώθηκαν στο υδρογόνο ως πηγή καυσίμου χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ένα βασικό πλεονέκτημα του υδρογόνου έναντι άλλων εναλλακτικών καυσίμων είναι η σχετική ευκολία μετασκευής των υπαρχόντων πλοίων με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Το υδρογόνο θα μπορούσε να αντικαταστήσει το 43% των ταξιδιών μεταξύ ΗΠΑ και Κίνας χωρίς καμία αλλαγή και το 99% των ταξιδιών με μικρές αλλαγές στη χωρητικότητα ή τις λειτουργίες καυσίμου.

Επίσης, υδροκίνητα πορθμεία και μικρότερα πλοία έχουν δρομολογηθεί πιλοτικά στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Βέλγιο, τη Γαλλία και τη Νορβηγία. Η μεγάλη πετρελαϊκή εταιρεία Royal Dutch Shell έχει επενδύσει σε πολλά έργα παραγωγής υδρογόνου στην Ευρώπη και την Κίνα, υποστηρίζοντας ότι το υδρογόνο πλεονεκτεί έναντι άλλων πιθανών καυσίμων μηδενικών εκπομπών για τη ναυτιλία (Reinsch, 2021).

Το υδρογόνο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν. Το μελλοντικό υδρογόνο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα πιθανότατα θα παράγεται από νερό μέσω ηλεκτρόλυσης, το οποίο ουσιαστικά δεν απελευθερώνει εκπομπές άνθρακα. Το υδρογόνο χωρίζεται γενικά σε τρεις διαφορετικούς τύπους ανάλογα με την ένταση άνθρακα της διαδικασίας παραγωγής:

A. Το γκρίζο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα μέσω της αναμόρφωσης με ατμό .

B. Το μπλε υδρογόνο, το οποίο παράγεται μέσω αναμόρφωσης με ατμό, αλλά οι μονάδες παραγωγής είναι εξοπλισμένες με τεχνολογία δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα.

C. Τέλος, το πράσινο υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση, η οποία διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια. Δεδομένου ότι η ηλεκτρόλυση δεν εκπέμπει CO<sub>2</sub> ως υποπροϊόν, το πράσινο υδρογόνο είναι η μόνη μορφή υδρογόνου με διαδικασία παραγωγής ουσιαστικά χωρίς άνθρακα.

Η ηλεκτρόλυση με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ή αιολική ενέργεια) παράγει λιγότερο από το 5% των εκπομπών CO<sub>2</sub> του γκρίζου υδρογόνου (μη μηδενική λόγω των εκπομπών που παράγονται κατά τη μεταφορά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Το κόστος της παραγωγής όμως του πράσινου υδρογόνου είναι σημαντικά υψηλότερο από ότι για το μπλε ή το γκρι υδρογόνο. Το υδρογόνο από ηλεκτρόλυση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει τη μοναδική βιώσιμη και μαζικής παραγωγής λύση ουδέτερων φιλικά καυσίμων για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Μόλις παραχθεί αέριο υδρογόνο, μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί σε δεξαμενές καυσίμων. Ωστόσο, δεδομένου ότι το υδρογόνο έχει πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, πρέπει να συμπιεστεί και να ψυχθεί όπως παρόμοια γίνεται με τη συμπίεση του μεθανίου για την παραγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG).

Παρά τις προκλήσεις κόστους, το υδρογόνο είναι η πιο υποσχόμενη επιλογή καθαρού καυσίμου για την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία. Πολλοί ηγέτες στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας το έχουν συνειδητοποιήσει και έχουν αρχίσει να επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη (E&A) για να μειώσουν το κόστος παραγωγής και να διερευνήσουν την επεκτασιμότητα. Ωστόσο, είναι απίθανο οι δραστικές μειώσεις του κόστους που είναι απαραίτητες για να καταστεί το πράσινο υδρογόνο ανταγωνιστικό ως προς το κόστος με τα παραδοσιακά καύσιμα να είναι εφικτές μεσοπρόθεσμα χωρίς την κρατική υποστήριξη.



Εικόνα 18: Το Hydra, πλοίο της χρονιάς -Το πρώτο στο κόσμο με καύσιμο υγρό υδρογόνο  
Πηγή:<https://www.naftemporiki.gr/finance/story/1773603/to-hydra-ploio-tis-xronias-to-protostokosmo-me-kausimo-ugro-udrogonono>

Από τη στιγμή που εφαρμόστηκε, έστω δειλά-δειλά προ δεκαετίας, από την πρωτοπόρο στα υβριδικά συστήματα αυτοκίνησης, Toyota, το καύσιμο που χρησιμοποιείται πολλές δεκαετίες τώρα στα υποβρύχια και τους πυραύλους, κατέστη φανερό ότι το υδρογόνο ως καύσιμο, κυρίως ως καθαρή και άπλυτα διαθέσιμη πρώτη ύλη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας -άρα και ηλεκτροπρόωσης- έδωσε ένα τρανταχτό παρόν για ένα βιώσιμο ναυτιλιακό μέλλον (Σπανός, 2020).

Πλέον, η υβριδική τεχνολογία των πλοίων μπορεί να συμπεριλάβει ηλεκτροπρόωση σε συνεργασία με νέες dual μηχανές biodiesel και LNG, και ανταποκρίνεται στους κανονισμούς εκπομπών θείου αλλά και στον ερχομό των νέων καυσίμων e-Fuels. Οι πρωτοπόροι σε όλα αυτά, είναι για ακόμη μία φορά οι Νορβηγοί και πρόσφατα όλες οι χώρες της Βαλτικής, που με τη στήριξη του νορβηγο-γερμανικού νηογνώμονα DNV-GL αλλά και τις εθνικές τους νομοθεσίες (της σημαίας τους δηλαδή) έχουν ενσωματώσει πολλά χρόνια τώρα τους απαραίτητους κανονισμούς λειτουργίας και ασφάλειας υβριδικών πλοίων, ώστε ολοένα και περισσότερα ferries να λειτουργούν είτε ως αμιγώς ηλεκτρικά, είτε ως υβριδικά (diesel-electric).

Παρόλο που το υδρογόνο θεωρείται «καύσιμο», διότι μπορεί να γίνει «καύση» του από μία μηχανή εσωτερικής καύσης, έχει διανυθεί ήδη πολύς δρόμος τα τελευταία χρόνια και δίνεται πλέον η μεγαλύτερη έμφαση στο λεγόμενο «πράσινο» υδρογόνο.

Το Green H<sub>2</sub> είναι εκείνο που μπορεί και παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού, το οποίο λειτουργεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οδηγείται απευθείας ή μέσω δεξαμενών αποθήκευσης στις κυψέλες καυσίμου (fuel cells) και

μετατρέπεται χημικά, και όχι μέσω θερμικής καύσης, σε άμεσα διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και κινητική.

Σημαντικό επίσης είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του υδρογόνου, δηλαδή η ενέργεια που κρύβει μέσα του, σε αναλογία με οποιοδήποτε άλλο κοινό καύσιμο, είναι πολλαπλασιώς μεγαλύτερο ως προς το βάρος. Η ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου δεν είναι μόνο πραγματικά εντυπωσιακή από μόνη της, αλλά και λόγω του ότι μπορεί να αντικαταστήσει μεγάλο μέρος συστοιχιών μπαταριών, ακόμα και πλήρως (Σπανός, 2020).

#### 4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

Ορισμένα πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας ήδη πλέουν με ηλεκτρισμό, κυρίως φέρρυ και σκάφη αναψυχής. Αυτό συμβαίνει επειδή ταξιδεύουν σε μικρότερες αποστάσεις και μπορούν επομένως να χρησιμοποιούν μικρότερες μπαταρίες. Αρκετοί κατασκευαστές σκαφών σχεδιάζουν επίσης υβριδικά κρουαζιερόπλοια. Ωστόσο, οι μπαταρίες εξακολουθούν να μην είναι αρκετά αποδοτικές, αντίθετα είναι πολύ βαριές για πλοία που ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις στην ανοιχτή θάλασσα. Σε πολλές περιπτώσεις, οι φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις για το πετρέλαιο είναι κατάλληλες για την εσωτερική ναυσιπλοΐα- και επίσης για τα ποντοπόρα πλοία στο μακρινό μέλλον. Ένα πλεονέκτημα της λειτουργίας των πλοίων με μπαταρία είναι ότι ο ηλεκτρισμός είναι πολύ φθηνότερος από το πετρέλαιο και ιδίως, το θαλάσσιο diesel.

Τα ηλεκτρικά σκάφη θα είναι πιο σημαντικά στο άμεσο μέλλον. Η εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές που σχετίζονται με συμβατικά πλοία. Παρά τα οφέλη ενός πλήρως ηλεκτρικού σκάφους, υπάρχουν πολλά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν πριν υιοθετηθούν τα ηλεκτρικά σκάφη. Το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών σκαφών είναι γενικά χαμηλό σε διάφορες χώρες. Η έρευνα έχει εντοπίσει διαφορετικά εμπόδια που συμβάλλουν στη σχετικά χαμηλή ανταγωνιστικότητα, που σχετίζονται με το πραγματικό κόστος και της αντίληψης κόστους, τους κινδύνους, τον τεχνολογικό συντηρητισμό, την εξοικείωση και την έλλειψη γνώσης.

Μία έκθεση του IDTchEx δείχνει ότι η αγορά υβριδικών και καθαρών ηλεκτρικών σκαφών και πλοίων θα αυξηθεί γρήγορα σε πάνω από 20 δισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως το 2027 για τα πλοία των καταναλωτών. Η αγορά σκαφών αναψυχής είναι μεγάλη και ταχέως αναπτυσσόμενη, ειδικά για ηλεκτρικά θαλάσσια σκάφη. Υπάρχουν πολλά εμπόδια για την εφαρμογή ηλεκτρικών σκαφών στην αγορά, από τεχνικές προκλήσεις έως αποδοχή ενός ηλεκτρικού σκάφους. Είναι σημαντικό να



βρούμε καινοτόμους τρόπους μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από σκάφη αναψυχής, καθώς ένα τυπικό οικογενειακό σκάφος καταναλώνει τεράστια ποσότητα βενζίνης όταν ταξιδεύει. Τα σκάφη πρέπει να είναι πιο αποτελεσματικά για να επιτρέψουν την ηλεκτρική πρόωση.

Ο κόσμος αναζητά νέες, πιο αποτελεσματικές πηγές ενέργειας, δημιουργώντας μία νέα ενεργειακή εποχή. Οι αυστηρότεροι κανονισμοί σε συνδυασμό με ελαφρύτερες και ισχυρότερες μπαταρίες, παίζουν σημαντικό ρόλο στο να κάνουν την ηλεκτρική πρόωση μία ελκυστική επιλογή, εξήγησε η Lucy Gilliam, ειδικός στην αεροπορία και την ναυτιλία στον μη κυβερνητικό οργανισμό μεταφορές και περιβάλλον. Ένα από τα επιχειρήματα για τους οποίους οι μπαταρίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ότι τα πλοία δεν έχουν αρκετή χωρητικότητα. Αυτό δεν είναι απαραίτητα αλήθεια είπε η Lucy Gilliam, εξηγώντας ότι, ειδικά σε σύντομα ταξίδια, οι μπαταρίες δεν προσθέτουν περισσότερο βάρος σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοία. Μιλώντας στο SAFETY4SEA, ο Jan Kjetil Paulsen, Ανώτερος Σύμβουλος της Ναυτιλίας στο Ίδρυμα Bellona, φαινόταν αισιόδοξος και για το μέλλον των ηλεκτρικών πλοίων.

Η ηλεκτροδότηση της ναυτιλίας θα αντιπροσωπεύει στις περισσότερες περιπτώσεις μία κερδοφόρα επιχειρηματική υπόθεση: Η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες να ανταγωνιστεί την ενέργεια από ορυκτές πηγές. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι λιγότερο περίπλοκοι από τους κινητήρες καύσης, οι οποίοι και πάλι θα αυξήσουν τη διάρκεια ζωής και θα μειώσουν τη συντήρηση και τη συντήρηση κόστους για τον εξοπλισμό. Οι αρχικές επενδύσεις στην τεχνολογία μπορεί να είναι μία πρόκληση, καθώς και οι επενδύσεις στην απαιτούμενη υποδομή για υποδομή ακτής σύνδεσης και φόρτισης. Η τελευταία πρέπει να θεωρηθεί ως δημόσια ευθύνη που χρηματοδοτείται από την κυβέρνηση και διαχειρίζεται από τις τοπικές λιμενικές διοικήσεις. Ο κ. Paulsen πρόσθεσε επίσης ότι έχουμε ήδη την τεχνολογία για τη μόχλευση ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι δοκιμασμένο και επαληθευμένο τόσο όσον αφορά τη λειτουργικότητα όσο και την ασφάλεια. Οι προμηθευτές που έχουν κλίση προς τα εμπρός θα είναι εύκολα σε θέση να προσαρμοστούν στη νέα τεχνολογία όπου αυτό ισχύει - αλλά με κίνητρο την κερδοφόρα επιχειρηματική περίπτωση. Επίσης, οι αναλυτές της IDTechEx έχουν εκδώσει μία νέα έκθεση, που ονομάζεται Electric Boats and Ships 2017-2027, εξετάζοντας αυτόν τον κατακερματισμό αλλά συχνά εξαιρετικά κερδοφόρο και αναπτυσσόμενο τομέα. Σύμφωνα με την έκθεση υπάρχουν ήδη περισσότεροι από 100 κατασκευαστές ηλεκτρικών σκαφών και πλοίων. Η έκθεση διαπιστώνει επίσης ότι η

αγορά υβριδικών και καθαρών ηλεκτρικών σκαφών και πλοίων θα αυξηθεί γρήγορα σε πάνω από 20 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ παγκοσμίως το 2027 για μη στρατιωτικές εκδόσεις.

Η ζήτηση ηλεκτρικών σκαφών αυξάνεται λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων και προβλημάτων υγείας και οι ηλεκτρικές μεταφορές αποτελούν απάντηση σε αυτό. Λόγω της απαγόρευσης της χρήσης κινητήρων θαλάσσης καύση σε συγκεκριμένες περιοχές και της επιβολής αυστηρών περιορισμών σε άλλες περιοχές, η ηλεκτρική βάρκα και ιστιοπλοΐα έχουν γίνει πιο δημοφιλή, ειδικά στην Αυστρία. Ως αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών περισσότεροι Αυστριακοί απαιτούν ηλεκτρικά σκάφη ή ηλιακά σκάφη τα οποία επιτρέπονται. Εκτιμάται ότι τα ηλεκτρικά και ηλιακά σκάφη αντιπροσωπεύουν το 1/4 όλων των σκαφών στην Αυστρία.

Τα πράσινα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία του μέλλοντος, που θα φορτίζονται ακόμη και από το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού στο οποίο βρίσκονται θα αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ή θα χρησιμοποιούν διάφορες μορφές ιστίων για να εκτελούν τα δρομολόγια τους με ελάχιστους ρύπους. Σε αυτά τα πλοία του μέλλοντος, οι μηχανές που τον θέτουν σε κίνηση (diesel κινητήρες) περιστρέφουν την προπέλα θα αντικατασταθούν από ηλεκτρικούς κινητήρες.

Ηλεκτρική ενέργεια θα χρησιμοποιείται επίσης σε όλες τις διατάξεις κατανάλωσης ισχύος, όπως είναι οι αντλίες, οι συμπιεστές και τα συστήματα ελέγχου, αλλά και ο κλιματισμός. «Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο χαρακτηρίζεται από σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αυξημένη δυνατότητα ελιγμών, ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητας και τη θέση του πλοίου, η εξοικονόμηση χώρου, καθώς και τα χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών θορύβου και αέριων ρύπων» σύμφωνα με τον κ. Προυσαλίδη.

Με αυτή την τεχνολογία, το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι αποθηκευμένο στο καράβι, ή θα παράγεται εν πλω και θα δαπανάται και την πλεύση του. Παρά το ότι η ηλεκτροκίνηση είναι σήμερα αρκετά ανεπτυγμένη, αφού εφαρμόζεται ήδη σε αυτοκίνητα και τρένα, στην περίπτωση των πλοίων ηλεκτρικές μηχανές θα πρέπει να είναι πολύ πιο ισχυρές (Energy In, 2015).



Εικόνα 19: Ηλεκτρικά πλοία: Το project Electra και οι επενδύσεις στην Ελλάδα

Πηγή:<https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/i-ellada-proselkii-ependisis-gia-ilektrika-plita/>

Στις παρακάτω λίστες παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα:

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Φιλικό προς το περιβάλλον
2. Αποφυγή του θορύβου του κινητήρα
3. Λιγότερη δόνηση
4. Λιγότερη συντήρηση κινητήρα- χωρίς αλλαγή λαδιού, αλλαγή στροφείου, αλλαγή φίλτρου diesel κ.λπ.
5. Οικονομία καυσίμων
6. Αποφυγή της τοπικής μόλυνσης
7. Ο ηλεκτρικός κινητήρας ζυγίζει πολύ λιγότερο από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, εάν δεν χρειάζεται μεγάλη απόσταση επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση αρκετού βάρους
8. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς τις αποθηκεύσεις μπαταριών είναι μικρότερος από τον κίνδυνο πυρκαγιάς που σχετίζεται με την αποθήκευση βενζίνης και πετρελαίου.

#### **Μειονεκτήματα**

- Αρκετά περιορισμένο εύρος λειτουργίας της μπαταρίας. Οι μπαταρίες δεν είναι κοντά σε ανταγωνισμό με το Diesel ή το αέριο όταν πρόκειται για το πεπωμένο της ενέργειας και για παράδειγμα, τα ηλιακά κύτταρα δεν παρέχουν αρκετή ισχύ για να επιτύχουν αυτό που θεωρείται κανονική ταχύτητα στη θάλασσα.

- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος και ταχύτητα. Ένα άγκιστρο μετατόπισης που πηγαίνει για ταχύτητα μη σου κοιτούσα απαιτεί λίγη ενέργεια.
- Τα ηλεκτρικά σκάφη που είναι ισχυρά κοστίζουν πολύ.

Προκειμένου να υπάρξουν περισσότερα ηλεκτρικά πλοία στο μέλλον, πρέπει να ξεπεραστεί μία βασική πρόκληση. Οι μπαταρίες για την αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας πρέπει να είναι πολύ πιο αποτελεσματικές. Μέχρι σήμερα, η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι ακόμα πολύ χαμηλή. Αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες δεν μπορούν να αποθηκεύσουν αρκετή ενέργεια σε σχέση με το μέγεθος και το βάρος τους. Τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία πρέπει να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις με μία φόρτιση μπαταρίας. Οι μπαταρίες για αυτό είναι γενικά ακόμα πολύ μεγάλες και πολύ βαριές.

Επιπλέον, οι λιμένες χρειάζονται την κατάλληλη υποδομή για την φόρτιση. Αυτό αποτελεί ήδη ένα πρόβλημα με την ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά, καθώς τα κρουαζιερόπλοια χρειάζονται συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια για τις ξενοδοχειακές τους λειτουργίες όταν είναι ελλιμενισμένα. Συχνά, την παράγουν μέσω κινητήρων και βοηθητικών μονάδων ισχύος και εκπέμπουν ρύπους. Θα ήταν πολύ πιο φιλική προς το περιβάλλον η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στους λιμένες. Ωστόσο, εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή όπως αυτές, εξακολουθούν να είναι σπάνιες. Οι λιμένες θα πρέπει επομένως να επενδύσουν πολλά χρήματα για εξοπλισμό φόρτισης. Τέλος, οι μπαταρίες είναι ακόμη πολύ ακριβές για πολλές ναυτιλιακές εταιρείες.

#### 4.4 ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Οι πράσινες τεχνολογίες που σχετίζονται με την ασφάλεια και βρίσκονται υπό έρευνα και ανάπτυξη είναι η αποτελεσματική χάραξη θαλάσσιες πορείας και ο έλεγχος επιδόσεων του πλοίου και βελτιστοποίησης της διαγωγής.

##### *4.4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΧΑΡΑΞΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ*

Το 1983 ο IMO υιοθέτησε την οδηγία για τη χάραξη θαλάσσιας πορείας. Η οδηγία συνιστούσε πως οι κυβερνήσεις πρέπει να συμβουλεύουν τα πλοία να πλέουν σε πορεία που συνίσταται από τις οδηγίες ειδικών υπηρεσιών εγκεκριμένες από τον WMO (World Meteorological Organization) (Heike Deggim, 2020).

Διαλέγοντας την πιο αποτελεσματική θαλάσσια πορεία, προσαρμόζοντας την ταχύτητα του πλοίου και αποφεύγοντας τις άσχημες καιρικές συνθήκες, μπορεί να οδηγήσει στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης του πλοίου. Η εγκατάσταση ενός οδηγού πλοήγησης είναι δυνατόν να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Η Force Technology και ο DFDS εγκατέστησαν ένα σχετικά νέο εργαλείο θαλάσσιας πορείας και το αποτέλεσμα ήταν πως ακόμα και μία μικρή μείωση κατανάλωσης καυσίμου αλλά ταξίδι μπορεί να οδηγήσει σε μία σημαντική συνολική μείωση κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Χάρη στα νέα τεχνολογικά μέσα πλοήγησης και επικοινωνιών, το πλήρωμα των πλοίων είναι σε θέση να έχει έγκυρη πρόγνωση καιρού καθώς και να έχει πλήρη εικόνα μέσω δορυφορικών συστημάτων για τον καιρό του δρομολογίου που ακολουθεί, ενώ οι πλοίαρχοι και οι αξιωματικοί μπορούν να αξιολογήσουν τις επικίνδυνες μετεωρολογικές μεταβολές, όπως καταιγίδες. Ομοίως, με την βελτιστοποίηση των συστημάτων πλοήγησης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν ευνοϊκά ρεύματα ή να αποφύγουν τις κακές καιρικές συνθήκες ανά περιοχή. Σε αυτό συνδράμουν και εξωτερικές οι μετεωρολογικές υπηρεσίες δίνοντας τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν την ασφάλειά τους και να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου.

Επίσης ένα υπολογιστικό πρόγραμμα εξοικονόμησης καυσίμου μπορεί να συνδράμει στο σχεδιασμό της διαδρομής και σε μία αποτελεσματική επιχείρηση στη θάλασσα. Επιπλέον η μείωση του χρόνου αναμονής στο λιμάνι κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση μπορεί επίσης να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των λιμένων.

#### *4.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΓΩΓΗΣ*

Ως διαγωγή (Trim) ορίζεται η διαφορά μεταξύ προωαίου και πρυμνέου βυθίσματος του πλοίου. Όταν τα βυθίσματα είναι ίσα, τότε λέμε ότι το πλοίο είναι ισοβύθιστο (even keel), όταν το πρυμναίο βύθισμα είναι μεγαλύτερο τότε έχουμε διαγωγή προς πρύμα (trim by stern) ενώ όταν το προωαίο είναι μεγαλύτερο, τότε έχουμε διαγωγή προς πλώρα (trim by bow).

Η αντίσταση πρόωσης του πλοίου συνδέεται με την διαγωγή του. Αν το πλοίο ταξιδεύει με την κατάλληλη διαγωγή, τότε η αντίσταση τριβής με το νερό μειώνεται, με αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Έχει ήδη αναπτυχθεί σχετικό

λογισμικό το οποίο τοποθετείται στο πλοίο και απεικονίζει γραφικά στην κατανάλωση καυσίμων σε συνάρτηση με την διαγωγή και τα βυθίσματα. Έτσι, σε κάθε περίπτωση και ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσης του πλοίου, μπορεί ο πλοίαρχος να επιλέγει τις παραμέτρους εκείνες που του δίνουν τη δυνατότητα να εξοικονομεί καύσιμα. Οι θετικές συνέπειες είναι προφανείς τόσο στην εξοικονόμηση πόρων όσο και στο περιβάλλον. Η εταιρεία Force Technology έχει αναπτύξει το σχετικό υπολογιστικό πρόγραμμα, το οποίο έχει τοποθετηθεί δοκιμαστικά σε έξι Πλοία που διαχειρίζεται η εταιρεία CLIPPER. Τα αποτελέσματα μέχρι τώρα είναι θετικά αφού έχουμε μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 3%, μείωση NO<sub>x</sub> κατά 3% και μείωση SO<sub>x</sub> κατά 3%.

#### *4.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΝΕΙΔΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ*

Όπως αναλύσαμε παραπάνω, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί μία σειρά από πράσινες τεχνολογίες που αφορούν στα πλοία και πολλές έρευνες συνεχίζονται με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ναυτιλίας στο περιβάλλον.

Όμως τα τεχνολογικά επιτεύγματα από μόνα τους, δεν αρκούν για να χαρακτηρίσουμε ένα πλοίο ως πράσινο ώστε να έχουμε πιο ποιοτική ναυτιλία. Ένας βασικός παράγοντας που συμπληρώνει την όλη προσπάθεια για πιο «καθαρή» ναυτιλιακή βιομηχανία, είναι ο ίδιος ο άνθρωπος και όταν αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται από άτομα με περιβαλλοντική συνείδηση, αποδίδουν στο μέγιστο.

Η εκπαίδευση που παρέχεται από τα πανεπιστήμια και τις ναυτικές σχολές σε γενικές γραμμές εμπεριέχει την ανάπτυξη οικολογικής συνείδησης. Θα πρέπει όμως να εντατικοποιηθεί η προσπάθεια αυτή αυτό το ανθρώπινο δυναμικό, είτε βρίσκεται στη θάλασσα είτε στη στεριά να είναι προσηλωμένο στην προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας στα πλοία.

Ένα άρτια οργανωμένο και εξειδικευμένο προσωπικό, γνωρίζει πως κάθε ενέργεια ή εργασία που πραγματοποιείται σε ένα πλοίο, μπορεί να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το κατάλληλα εκπαιδευμένο πλήρωμα είναι σε θέση να το αντιληφθεί ώστε κάθε φορά να προβεί στις απαιτούμενες ενέργειες και να κρίνει αν η εργασία που εκτελεί έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Θα πρέπει λοιπόν, η ναυτική εκπαίδευση να συνδέσει την θεωρία με την πράξη. Από τη μία να παρέχεται η γνώση σε θεωρητικό επίπεδο σχετικά με τις πράσινες τεχνολογίες και από την άλλη να δίνετε το κατάλληλο υπόβαθρο ότι το προσωπικό να τις εφαρμόζει σωστά και να παράγει αποτελέσματα

χρήσιμα στην έρευνα και περαιτέρω ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Πολλά από τα ερευνητικά προγράμματα πανεπιστημίων ή εταιρειών στηρίζονται στα αποτελέσματα και τις μετρήσεις που γίνονται επί πλοίου. Άρα, οι ερευνητές έχουν πρόσβαση σε πρακτικά δεδομένα και το προσωπικό των πλοίων έρχεται σε επαφή με ερευνητικά προγράμματα σχετικά με τις πράσινες τεχνολογίες.

Τέλος, μερικοί από τους βασικούς τομείς της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης στο πλαίσιο της αποστολής του κλάδου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: Μία εξαιρετικά σημαντική πρωτοβουλία είναι τα σεμινάρια που παρέχονται από τους διάφορους νηογνώμονες και συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, στην ασφάλεια κατά την εκτέλεση εργασιών και την σωστή συντήρηση του πλοίου. Επίσης με τις έρευνες είναι οι αγνώμονες επανεξετάζουν την πιστοποίηση και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του πλοίου (Πράσινο διαβατήριο, Lloyds).

#### *4.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΠΛΟΙΟΥ*

Προσπαθώντας να κάνουμε μία εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός πράσινου πλοίου, μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από 6 στάδια τα οποία είναι κάθε σειρά:

- 1) Υλικά κατασκευής
- 2) Διαδικασία ναυπήγησης
- 3) Τοποθέτηση εξοπλισμού
- 4) Τοποθέτηση ενεργειακά αποδοτικών Συστημάτων
- 5) Ασφάλεια στη θάλασσα
- 6) Λειτουργία στο θαλάσσιο περιβάλλον
- 7) Παροπλισμός

Ο κύκλος ζωής του πλοίου ξεκινάει από τις πρώτες ύλες, όπου στη ναυπηγική η κυρία πρώτη ύλη είναι ο ναυπηγικός χάλυβας. Στις Ευρωπαϊκές χώρες κυρίως οι κατασκευαστές προτιμούν διαφορετικά υλικά, προσπαθώντας να μειώσουν το οικολογικό αποτύπωμα του πλοίου.

Το δεύτερο στάδιο στον κύκλο ζωής του Πράσινου πλοίου είναι η διαδικασία ναυπήγησης του. Στο στάδιο αυτό, ανακύπτουν όλα τα ζητήματα σχετικά με τα περιβαλλοντικά θέματα σε ότι αφορά την κατασκευή του πλοίου. Ειδικότερα, οι ευρωπαίοι κατασκευαστές εξοπλισμού του πλοίου φροντίζουν να συμμορφώνονται με τα αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα κατά το στάδιο του σχεδιασμού του πράσινου πλοίου. Η εισαγωγή των εργαλείων ηλεκτρονικών επικοινωνιών, αυξάνει την απόδοση

της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ παράλληλα συντελεί στη μείωση των αστάθμητων παραγόντων από το εξωτερικό περιβάλλον.

Το τρίτο στάδιο είναι ο εξοπλισμός του πλοίου με συστήματα τα οποία είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς σχετικά με το περιβάλλον. Σχεδόν το 70% της αξίας του πλοίου είναι ο εξοπλισμός του, για αυτό το λόγο πρέπει να διασφαλιστεί πως είναι σύμφωνα με τα πρότυπα ασφαλείας και μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια και αποδοτικά μέσα στο περιβάλλον (Khoο, 2011).

Το τέταρτο στάδιο αφορά την τοποθέτηση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων. Αντικειμενικός σκοπός του τομέα ναυπήγησης πλοίων είναι να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα κατά 30% βραχυπρόθεσμα. Έχει υπολογιστεί ότι τα πράσινα πλοία μακροπρόθεσμα και ανάλογα με τα χρόνια υπηρεσίας του πλοίου, μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή τους αποδοτικότητα κατά 60%. Ωστόσο αυτοί οι φιλόδοξοι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν μέσα από μία διαδικασία συνεχών τεχνολογικών καινοτομιών.

Το πέμπτο στάδιο του κύκλου ζωής ενός πράσινο πλοίο αφορά την ασφάλεια στη θάλασσα. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη ναυπηγική βιομηχανία εδώ και πολλά χρόνια, έχει οδηγήσει στην κατασκευή ολοένα και πιο ασφαλών πλοίων για τα πληρώματα, τους επιβάτες και το περιβάλλον. Στο σχεδιασμό των Συστημάτων ασφαλείας του πλοίου πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες όπως παραδείγματος χάριν οι σκληρές καιρικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ο ειδικός εξοπλισμός μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό παράγοντα για την αποφυγή ατυχημάτων στη θάλασσα. Επιπλέον μέσω της ανάπτυξης και των συστημάτων ασφαλείας, διασφαλίζεται πως θα ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες ενός ναυτικού ατυχήματος, που θα έχουν ως συνέπεια εκτός από τις απώλειες ζώων και τη θαλάσσια ρύπανση.

Στη συνέχεια, το έκτο στάδιο του κύκλου ζωής του πλοίου είναι η διαδικασία της λειτουργίας στη θάλασσα. Το πλοίο πρέπει να υπόκειται στις τακτικές ετήσιες επιθεωρήσεις αλλά και στην ειδική επιθεώρηση που γίνεται κάθε 4 χρόνια όπου γίνεται και ο δεξαμενισμός του. Η έγκαιρη και σωστή συντήρηση του πλοίου και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς που αφορούν το περιβάλλον, εγγυώνται την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας του. Η συντήρηση της γάστρας του πλοίου και των λοιπών συστημάτων, όχι μόνο κάνει τα πλοία πιο φιλικά προς το περιβάλλον αλλά επίσης διατηρεί και την αξία τους.



Τέλος, εφόσον η ωφέλιμη ζωή του πλοίου παρέλθει, ξεκινάει το έβδομο και τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής του. Το στάδιο αυτό είναι το στάδιο της απόσυρσης του πλοίου. Κατά την ανακύκλωση του πλοίου ο σχεδιασμός της γάστρας αλλά και των λοιπών συστημάτων, καθώς επίσης και η επιλογή των υλικών διευκολύνει τη διαδικασία. Τα περισσότερα μέρη του πράσινου πλοίου μπορεί να παραμένουν χρήσιμα και σε καλή κατάσταση ακόμα και μετά τη διάλυση του πλοίου. Συγκεκριμένα το 98% του πλοίου μπορεί να ανακυκλωθεί σε αντίθεση με τα αεροπλάνα, που μόνο ένα 60% του αεροσκάφους είναι ανακυκλώσιμο (Khoο, 2011).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τη σημερινή εποχή υπάρχει μία σειρά από αλλαγές και καινοτομίες που θα επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία. Η κυριότερη από αυτές είναι η μετάβαση στην κοινωνία χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα και στη δραστική μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Η ναυτιλιακή κοινότητα δουλεύει αυτή τη στιγμή με εντατικό ρυθμό να βρει λύσεις που να είναι εφικτές εμπορικά, τεχνικά αποδεκτές και να εξασφαλίζουν την ασφάλεια των θαλασσιών μεταφορών (Νικητάκος Ν, 2020).

Η τεχνολογία στα πλοία στοχεύει στην απλοποίηση των διαδικασιών εξυπηρετώντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητα. Οι εξελίξεις στην ψηφιακή τεχνολογία και η χρήση μεγάλης ποσότητας δεδομένων είναι σημαντικά στοιχεία για τον μετασχηματισμό και τη σχεδίαση μακροπρόθεσμα συνεχούς σύνδεσης πλοίου και ξηράς με αποτέλεσμα την συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας του πλοίου από πλευράς περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του. Οι κανονιστικές αλλαγές που επιβλήθηκαν το 2020 και αναμένεται πολύ περισσότερες τα επόμενα χρόνια δημιούργησαν επανάσταση στον τρόπο λειτουργίας της εμπορικής ναυτιλίας. Ο κυριότερος στρατηγικός στόχος που υπάρχει τώρα είναι η αποτίμηση των υπάρχουσών τεχνολογιών και στρατηγικών ώστε να επιτευχθεί ο στόχος των καθαρότερων και χαμηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα εκπομπών συμπεριλαμβανομένης της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Επίσης είναι σημαντικός στόχος ο περιορισμός της ρύπανσης του πλοίου στο θαλάσσιο χώρο (Νικητάκος Ν, 2020).

Η άσκηση της βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας είναι προφανώς σημαντική από περιβαλλοντική άποψη σήμερα και στρατηγικά επωφελείται από τις συσχετίσεις της με την οικονομική εξοικονόμηση από τη χρήση βελτιστοποίησης καυσίμου. Αν και, ακόμη και μετά την εφαρμογή καυσίμου ουδέτερου αερίου θερμοκηπίου, η ενεργειακή βελτιστοποίηση παραμένει ζωτικής σημασίας. Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, επειδή πιθανότατα θα φτάσουμε στα πλοία μηδενικών εκπομπών προτού καλυφθεί η συνδυασμένη ενεργειακή ανάγκη του κόσμου από ανανεώσιμες πηγές – επομένως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα εξακολουθούν να είναι ένας τρομακτικός πόρος που δεν πρέπει να σπαταλάμε σε αναποτελεσματικότητα.

Από οικονομική άποψη θα είναι ακόμη πιο σημαντικό από σήμερα, επειδή όλες οι πιθανές εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προβλέπεται να είναι πολύ πιο ακριβές από το καύσιμο που χρησιμοποιείται σήμερα, επομένως η μελλοντική επιχειρηματική περίπτωση της βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας θα είναι

ανώτερη από τη σημερινή. Ως εκ τούτου, οι επενδύσεις στις τεχνολογίες σήμερα δεν θα ωφελήσουν μόνο το περιβάλλον, αλλά είναι επίσης δυνατό να γίνουν με τρόπο που να έχει βραχυπρόθεσμο οικονομικό νόημα. Τέλος, οι γνώσεις και η τεχνογνωσία που αντλούνται από επενδύσεις που γίνονται σήμερα σε τεχνολογία βελτιστοποίησης ενέργειας, θα αποδειχθούν ότι θα αποτελέσουν πηγή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στο μέλλον και θα αυξήσουν την πιθανότητα συνεχούς κερδοφορίας.

Ο προσεκτικός σχεδιασμός της μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα σε καθαρές ενεργειακά λύσεις αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των πλοίων μηδενικών εκπομπών σε άνθρακα. Ακόμη σημαντικό στοιχείο αποτελεί και η δημιουργία και η υλοποίηση υποστηρικτικών πολιτικών και η παροχή κινήτρων για την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας με στόχο την εμπορική βιωσιμότητα για τις λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας στη ναυτιλία. Σημαντικό ρόλο παίζει και θα συνεχίσει και στο μέλλον να παίζει ο ρόλος και η δράση του IMO, ο οποίος με τους κανονισμούς του θα καθορίσει το σχεδιασμό των μελλοντικών πλοίων και τη βελτίωση και τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των νέων τεχνολογιών ώστε εκείνες να είναι σύμμαχος στην προσπάθεια μείωσης του περιβάλλοντος (Stopfard, 2018).

Η μετάβαση της ναυτιλίας στην «πράσινη» εποχή της μπορεί να είναι ακόμα στο πρώιμο στάδιο της και να κάνει τώρα τα πρώτα της βήματα από το θεωρητικό επίπεδο σε εκείνο της παγκόσμιας αγοράς ωστόσο με την τεχνολογία να εξελίσσεται με γεωμετρική πρόοδο δεν θα αργήσει να έρθει η στιγμή που ναυτιλία θα έχει αρκετά διαφορετικό πρόσωπο. Θα έχει λοιπόν ενδιαφέρον αν η παγκόσμια αγορά, που πάντα λειτουργεί ανταγωνιστικά και με το φόβο πως όποιος δεν επενδύσει νωρίς στις τεχνολογίες του αύριο ίσως μείνει πίσω στη μελλοντική οικονομική πραγματικότητα, θα αντιδράσει με τρόπο που αυτή μετάβαση θα γίνει στα αμέσως επόμενα χρόνια. Οι προϋποθέσεις για μια βιώσιμη ναυτιλία με χρήση ανανεώσιμης ενέργειας, έχουν ήδη χαραχθεί. Εκτενέστερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στις ακόλουθες ερευνητικές μελέτες: (DNV, 2014), (Lloyds Register and UCL, 2014), (Smith et al., 2014a), (EffShip, 2013a),(RoyalAcademy of Engineering, 2013), (Sustainable Shipping Initiative, 2013), (Ecofys, 2012b), (Forum for theFuture, 2011).

Ωστόσο με όλο και περισσότερες χώρες και ναυπηγεία να προσανατολίζονται προς την κατασκευή οικολογικών πλοίων είναι φανερό πως η νέα τάση είναι υπαρκτή και όχι μόνο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά στην πράξη. Σίγουρα ο μετασχηματισμός της ναυτιλίας σε “οικολογική” θα αποτελέσει μια χρονοβόρα και οικονομικά δαπανηρή διαδικασία. Η μετάβαση αυτή προϋποθέτει τη μετατόπιση από τη χρήση ορυκτών

καυσίμων στις μεταφορές, προς τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών σχεδιαστικών λύσεων και τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Αν και μέχρι σήμερα η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη «ενεργειακή σύνθεση» της ναυτιλίας είναι περιορισμένη οι κατασκευαστές συνεχίζουν όλο και περισσότερο βελτιώνουν τον σχεδιασμό των πλοίων ενώ οι πιλοτικές εφαρμογές φέρνουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Βέβαια δεν πρέπει να αγνοούνται και τα εμπόδια που επιδρούν ανασταλτικά στην αύξηση της διείσδυσης των λύσεων που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ναυτιλία. Τόσο η έλλειψη εμπορικής βιωσιμότητας τέτοιων συστημάτων όσο και η ύπαρξη διαφορετικών κινήτρων μεταξύ των ιδιοκτητών και των διαχειριστών των πλοίων έχουν αποτέλεσμα στην καθυστέρηση της ανάπτυξης καθαρών ενεργειακά λύσεων στον τομέα. Ο προσεκτικός σχεδιασμός της μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα σε καθαρές ενεργειακά λύσης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη των οικολογικών πλοίων. Ακόμη σημαντικό στοιχείο αποτελεί και η δημιουργία και υλοποίηση υποστηρικτών πολιτικών και η παροχή κινήτρων για την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας με στόχο την εμπορική βιωσιμότητα για τις λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας στη ναυτιλία.

Σημαντικό ρόλο παίζει και θα συνεχίσει και στο μέλλον να παίζει η δράση του ΙΜΟ, ο οποίος με τους κανονισμούς του θα καθορίσει το σχεδιασμό των μελλοντικών πλοίων και τη βελτίωση και μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των νέων τεχνολογιών ώστε εκείνες να είναι σύμμαχοι στην προσπάθεια μείωσης της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

## Βιβλιογραφία

- Ammar, N. (2018, May 28). Energy- and cost-efficiency analysis of greenhouse gas emission reduction using slow steaming of ships: case study RO-RO cargo vessel. *Ships and Offshore Structures*, σσ. 868 - 876.
- Anagnostopoulos, M. S. (2018). Αντιρρυπαντικά χρώματα. Αθήνα. Ανάκτηση από <https://marineshop.gr/antifouling-paints/>
- Arai M, .. &. (2009). Ballast free ship: a new concept for resolving the ballast water. *10th International Marine Design Conference*, σσ. 138-147.
- Asariotis R., H. B. (2012). *Maritime Transport and the Climate Change Challenge*.
- Balcombe P., B. J. (2019). Τρόπος απαλλαγής από τον άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας: Επιλογές για καύσιμα, τεχνολογίες και πολιτικές. σσ. 72-88. Ανάκτηση από [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418314250?casa\\_token=atldsCOC11QAAAAA:A5pc4p694nGwmdVfLqtqD8L6464d42dTHTRJPPT9W9yprxthc-viz8INi8LcT4JQ0FtLSbFb1lw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418314250?casa_token=atldsCOC11QAAAAA:A5pc4p694nGwmdVfLqtqD8L6464d42dTHTRJPPT9W9yprxthc-viz8INi8LcT4JQ0FtLSbFb1lw)
- Berger, J. (2017, Σεπτέμβριος). IMO NOx Tier III emission standards for NECA areas. Ανάκτηση από [http://www.bergermaritiem.nl/nox\\_tier\\_iii\\_neca](http://www.bergermaritiem.nl/nox_tier_iii_neca)
- Collins, N. (2000). *The Essential Guide to Chartering and the Dry Freight Market*.
- DNV. (2019). Όριο θείου στα ECA - αυξημένος κίνδυνος ελλείψεων και κρατήσεων PSC. Ανάκτηση από <https://www.dnv.com/news/sulphur-limit-in-ecas-increased-risk-of-psc-deficiencies-and-detentions-142911>
- Economistas. (2019, Αύγουστος 1). Νοτιοκορεάτικη καινοτομία σε σύστημα μπαταριών για πλοία.
- Ecsa. (χ.χ.). *Climate and Sustainability*. Ανάκτηση από <https://www.ecsa.eu/strategic-priorities/climate-and-sustainability>
- EDF, E. D. (2011). *Environmental Defence Fund*. Ανάκτηση από <https://www.edf.org/annual-reports/2011>
- EDF, E. D. (2013). *Environmental Defence Fund*. Ανάκτηση από <https://www.edf.org/annual-reports/2011>
- Energy In. (2015, Νοέμβριος 2). Τα νέα ηλεκτρικά... πλοία του μέλλοντος. Ανάκτηση από <https://energyin.gr/2015/11/02/%CF%84%CE%B1-%CE%BD%CE%AD%CE%B1-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%BC%CE%AD%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82/>
- ESI, E. S. (2011). *Environmental Ship Index*. Ανάκτηση από <https://www.environmentalshipindex.org/>

- Green Ship magazine. (2009). Green Ship magazine. *Green Ship of The Future*, σ. 9. Ανάκτηση από <https://www.yumpu.com/en/document/read/52896056/green-ship-of-the-future>.
- Green ship Technology Book. (2010). Existing technology by the marine equipment industry: A contribution to the reduction of the environmental impact of shipping. *Green ship Technology Book*. Ανάκτηση από <https://www.oecd.org/sti/ind/48365856.pdf>
- Gripaios, H. S. (1959, 1975, 1964). «Tramp Shipping», «Shipping Economics: Collected Papers», «Ocean Freight and Chartering».
- Gustafsson, A. (2019, February 6). Slow steaming to arrive at the right time. *Wartsila*. Ανάκτηση από <https://www.wartsila.com/insights/article/slow-steaming-to-arrive-at-the-right-time>
- Haskell, C. (2021, May 6). Decarbonising shipping – could ammonia be the fuel of the future?
- Heike Deggim. (2020). The IMO and WMO - Providing weather information to support safe navigation. *World Meteorological Organization*. Ανάκτηση από [https://public-wmo-int.translate.google/en/resources/bulletin/Partnerships/IMO?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=el&\\_x\\_tr\\_hl=el&\\_x\\_tr\\_pto=nui,op,sc](https://public-wmo-int.translate.google/en/resources/bulletin/Partnerships/IMO?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=nui,op,sc)
- I.M.O. (2020). Πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία. Λονδίνο, Αγγλία. Ανάκτηση από <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx>
- IACS, I. A. (2021). IACS Vision and Mission Statement.
- IAPPC, I. A. (χ.χ.). INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE. Ανάκτηση από [https://www.asl.ie/files/18\\_a\\_freedom\\_iapp\\_cert\\_705f604b.pdf](https://www.asl.ie/files/18_a_freedom_iapp_cert_705f604b.pdf)
- IMO. (2007, Νοεμβρίου 30). REVIEW OF MARPOL ANNEX VI AND THE NOx TECHNICAL CODE. *IMO*, σ. 2.
- IMO. (2010). *International Maritime Organization*. Ανάκτηση από <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- IMO. (2020). Μείωση των Εκπομπών Οξειδίου του Θείου. London, England.
- IMO. (2020). Περιοχές ελέγχου εκπομπών (ΕΕΣ) που ορίζονται στο παράρτημα VI της MARPOL. Λονδίνο, Αγγλία. Ανάκτηση από [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Emission-Control-Areas-\(ECAs\)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-\(NOx-emission-control\).aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Emission-Control-Areas-(ECAs)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-(NOx-emission-control).aspx)
- IMO. (χ.χ.). Energy Efficiency Design Index (EEDI). London, England. Ανάκτηση από <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- IMO. (χ.χ.). Οξείδια του αζώτου (NOx) - Κανονισμός 13. Λονδίνο, Αγγλία. Ανάκτηση από [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)

- IMO. (χ.χ.). Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) - Κανονισμός 15. Λονδίνο, Αγγλία. Ανάκτηση από [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Volatile-organic-compounds-\(VOC\)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Volatile-organic-compounds-(VOC)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx)
- IPCC, I. P. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Ανάκτηση από *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IPCC, I. P. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- Isalosnet. (2021, Σεπτέμβριος 9). Μπορεί η αερολίπανση να μειώσει τις εκπομπές των πλοίων;. Ανάκτηση από <https://www.isalos.net/2021/09/borei-i-aerolipansi-na-meioseis-tis-ekpompes-ton-ploion/>
- Khoo, Y. K. (2011, June 22-24). Life-cycle impact analysis of green ship design/operation alternatives based on environmental and monetary aspects. *International Conference on Technologies, Operations, Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping*.
- Louise, H. (2015, Φεβρουάριος). Απαιτήσεις θείου σε περιοχές ελέγχου εκπομπών IMO. Ανάκτηση από <https://www.shipownersclub.com/louise-hall-sulphur-requirements-imo-emission-control-areas/>
- MAN, M. E. (2019). High power combined with high efficiency: Our two-stroke engines. Ανάκτηση από <https://www.man-es.com/marine/products/two-stroke-engines/two-stroke-engines-portfolio>
- Marine In Sight. (2021, January 8). Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP). London, England. Ανάκτηση από <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-energy-efficiency-management-plan/>
- Naftemporiki. (2018, Δεκεμβρίου 14). LNG: Το καύσιμο του μέλλοντος - Μια ρεαλιστική και βιώσιμη διέξοδος για το ναυτιλιακό τομέα. *Naftemporiki*. Ανάκτηση από <https://www.naftemporiki.gr/finance/story/1424019/lng-to-kausimo-tou-mellontos-mia-realistiki-kai-biosimi-dieksodos-gia-ton-nautiliako-tomea>
- National Research Council, C. o. (2010, December 15). *EveryCRSReport.com*. Ανάκτηση από *Cruise Ship Pollution: Background, Laws and Regulations, and Key Issues*: <https://www.everycrsreport.com/reports/RL32450.html>
- News, M. (2010, Ιούνιος). Fouling vs Anti-fouling (MER 1996b).
- Patel M.R. (2012). *Shipboard Propulsion, Power Electronics and Ocean Energy*.
- Pike K., e. a. (2011). *Global Sustainable Shipping Initiatives: Audit and Overview*. Southampton Solent University, School of Maritime and Technology.
- Reinsch, W. A. (2021, April 13). *Hydrogen: The Key to Decarbonizing the Global Shipping Industry?* Ανάκτηση από <https://www.csis.org/analysis/hydrogen-key-decarbonizing-global-shipping-industry>
- SAFETY4SEA. (2013, August 8). *Bulk Cargo Hold Wash Water Discharge and Cargo Declarations under MARPOL Annex V*. Ανάκτηση από SAFETY4SEA.

- Safety4Sea. (2021, Ιούνιος 18). Βασικά σημεία του αποτελέσματος του IMO MEPC 76. Πειραιάς. Ανάκτηση από <https://safety4sea.com/key-points-of-the-imo-merc-76-outcome/>
- Safety4Sea. (2021, Ιουνίου 18). Ο IMO υιοθέτησε απαγόρευση HFO για πλοία στην Αρκτική. Πειραιάς.
- Sargun, S. (2021, September 21). A guide to scrubber system on ship. *Marine Technology*. Ανάκτηση από <https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/>
- Shahryar Jafarinejad. (2017). *Petroleum Waste Treatment and Pollution Control*. Ανάκτηση από Science Direct: Oil-Spill Response: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128092439000043>
- Stopford, M. (2018). *Ναυτιλιακή Οικονομική*. 209. Αθήνα: Παπαζήση.
- United Nations, D. o. (2009). *Millennium Development Goals Indicators*. Ανάκτηση από [www.mdgs.un.org](http://www.mdgs.un.org)
- Walker, T. A. (2019). Environmental Effects of Marine Transportation. (2019, Επιμ.) *World Seas: An Environmental Evaluation*, σσ. 505-530.
- Wartsila. (2007). *Alternative fuels for medium speed diesel engines*.
- Βλάχος, Γ. (1995). *Η Διακίνηση των Αγαθών και η Ρύπανση του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Βλάχος, Γ. (2011). *Ναυτική Οικονομία*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Γεώργιου, Γ. (2019, Ιουνίου 3). Πως επηρεάζει η αερολίπανση της γάστρας την ενεργειακή απόδοση του πλοίου;. *Isalosnet*. Ανάκτηση από <https://www.isalos.net/2019/06/pos-epireazei-i-aerolipansi-tis-gastras-tin-energeiaki-apidosi-tou-ploiou/>
- Γεωργίου, Γ. (2021, Ιούνιος 2). *Capital.gr*. Ανάκτηση από <https://www.capital.gr/epixeiriseis/3549866/ti-blepoun-oi-efoplistes-kai-paraggelnoun-ploia-metaforas-fusikou-aeriou>
- Γεωργούλης, Γ. (2021, Ιανουάριος 30). Η αμμωνία ως ναυτιλιακό καύσιμο. *Isalos*. Ανάκτηση από <https://www.isalos.net/2021/01/i-ammonia-os-naftiliako-kafsimo/>
- Γουλιέλμος, Α. (1998). Χρηματοδότηση Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων. *Σταμούλη*, 110-114.
- ΕΟΚΕ, Ε. Ο. (2014). Ευρωπαϊκός τομέας συντήρησης, επισκευής και μετατροπής πλοίων: ανθεκτικότητα, ανταγωνιστικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο και τήρηση των πολιτικών της ΕΕ για βιώσιμη ανάπτυξη.
- IMO. (2019). *Initial IMO GHG Strategy*. Ανάκτηση από International Maritime Organization: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>
- Καραγεώργος, Λ. (2015). Πώς θα μειώσει η διεθνής ναυτιλία τους ρύπους CO2 έως το 2050. *Naftemporiki*. Ανάκτηση από <https://www.naftemporiki.gr/finance/story/1009971/pos-tha-meiose-i-diethnis-nautilia-tous-rupous-co2-eos-to-2050>



- Μυλωνόπουλος, Δ. Ν. (1999). *Βασικές Ναυτιλιακές Γνώσεις Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλης*.  
Αθήνα: Σταμούλης.
- Νικητάκος Ν. (2020, Νοεμβρίου 21). Πράσινη Ναυτιλία. Ανάκτηση από  
<https://libertypress.gr/prasini-naytilia/>
- Παπαευθυμίου Σ., Α. Κ. (2016). Η «πράσινη» ναυτιλία και ο ρόλος της Ελλάδας.  
*ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*.
- Παυλίδης, Θ. (2003, Ιούνιος). Μελέτα ναυλαγοράς Δεξαμενοπλοίων και Εφαρμογή  
Μεθοδολογιών Μονοπαραμετρικής Πρόβλεψης. 23, 25. Αθήνα: Διπλωματική  
Εργασία.
- Σπανός, Γ. (2020, Οκτωβρίου 31). Ναυτιλιακό καύσιμο του μέλλοντος το υδρογόνο.  
*Naftemporiki*. Ανάκτηση από  
<https://www.naftemporiki.gr/story/1652830/nautiliako-kausimo-tou-mellontos-to-udrogonο>
- Τσαμόπουλος, Μ. (2022, Ιανουάριος 26). Αυξήθηκαν κατά 4,9% οι εκπομπές διοξειδίου του  
άνθρακα από τα πλοία. *News Money*. Ανάκτηση από  
<https://www.newsmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/afxithikan-kata-49-i-ekprompes-dioxidιου-tou-anthraka-aro-ta-plia/>
- Τσελέντης, Β. (2008). *Διαχείριση θαλασσιού περιβάλλοντος και ναυτιλία*. Αθήνα: Σταμούλη.
- Τσιμπλάκη, Α. (2019, Αυγούστου 12). Αρχίζει νέα εποχή για το LNG ως καύσιμο στην  
«πράσινη» ναυτιλία. *Naftemporiki*.
- Φακιολάς, Κ. (2021, Μάιος 27). Αιολική ενέργεια: Το επόμενο βήμα για πλοία μηδενικών  
εκπομπών;. *Isalosnet*. Ανάκτηση από <https://www.isalos.net/2021/05/aioliki-energeia-epomeno-vima-gia-ploia-midenikon-ekprompon/>
- ΦΕΚ. (1977). Περί προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και ρυθμίσεων συναφών  
θεμάτων. *ΦΕΚ*, 1.
- Χρονικά, Ν. (2011, 7 5). *Ναυτικά Χρονικά*. Ανάκτηση από  
<https://www.naftikachronika.gr/2011/07/05/4490/>
- Χρονικά., Ν. (2021, Σεπτέμβριος 2). Καθελκύστηκε το πρώτο αμερικανικό εμπορικό πλοίο  
που θα τροφοδοτείται αποκλειστικά από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. *Ναυτικά  
Χρονικά*. Ανάκτηση από <https://www.naftikachronika.gr/2021/09/02/kathelkystike-to-protο-amerikaniko-emporiko-ploio-pou-tha-trofodoteitai-apokleistika-aro-kypseles-kafsimou-ydrogonou/>

