

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ-
ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΩΝ ΠΛΟΙΩΝ»

ΕΥΣΤΑΘΙΑΔΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΡΟΥΣΑΛΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ : ΚΟΥΡΜΠΕΛΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Ιούνιος 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
Εισαγωγή	9
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
Κεφάλαιο 1: Ναυτιλία και Ρύπανση	11
Κεφάλαιο 1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση	11
Κεφάλαιο 1.2 Συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	16
Κεφάλαιο 1.3 : Συμβολή της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση.....	17
Κεφάλαιο 2 : Μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος	19
Κεφάλαιο 2.1 Δράση της MARPOL	19
Κεφάλαιο 2.2 Κανονισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος	21
Κεφάλαιο 3 : Καύσιμα στη ναυτιλία	36
Κεφάλαιο 3.1 Συμβατικά καύσιμα	37
Κεφάλαιο 3.2 LNG	42
Κεφάλαιο 3.3 Εναλλακτικά καύσιμα	48
Κεφάλαιο 4 : Ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου (Cold Ironing).....	61
Κεφάλαιο 5 : Ηλεκτρικά πλοία	67
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ : Ερευνητικό Μέρος	70
Κεφάλαιο 1 : Σκοπός της εργασίας	70
Κεφάλαιο 2 : Δεδομένα και Μεθοδολογία	70
ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ : Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	80
Κεφάλαιο 1 : Αποτελέσματα και Επεξήγηση	80
Κεφάλαιο 2 : Συμπεράσματα και Περαιτέρω Έρευνα.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ρύποι πλοίων.....	17
Εικόνα 2: Οι περιοχές ελέγχου εκπομπών μέχρι το 2030	23
Εικόνα 3: Κύκλος ζωής καυσίμου.....	30
Εικόνα 4: Κατηγορίες LNG και σύσταση (Liquefied Gas Carrier, 2023).....	43
Εικόνα 5: LNG EXPORT 2021 (International Institute of Refrigeration, 2023)	44
Εικόνα 6: Τυπική αλυσίδα εφοδιασμού LNG	45
Εικόνα 7: Πλοίο μεταφοράς LNG	47
Εικόνα 8: Παραγωγή και χρήσεις της μεθανόλης	50
Εικόνα 9: Πλοίο Stena Germanica (Stena Line, 2023)	51
Εικόνα 10: Μηχανολογική εγκατάσταση για χρήση καυσίμου μεθανόλης (Stena Line, 2023).....	51
Εικόνα 11: Χάρτης πορείας για την οικονομία της αμμωνίας που δείχνει τις τρέχουσες και προβλεπόμενες συνεισφορές των σημερινών τεχνολογιών παραγωγής αμμωνίας και γενιάς 1 (μωβ), γενιάς 2 (γαλάζιο) και γενιάς 3 (πράσινης). (Valera-Medina et al, 2021)	54
Εικόνα 12: Τύποι υδρογόνου και η διαδικασία παραγωγής τους (Green Building Africa, 2023)	56
Εικόνα 13: Το πλοίο «Hydroville» (Lloyd's Register, 2017)	58
Εικόνα 14: Το πλοίο «MF Hydra» (The Elizabeth Swann, 2023).....	59
Εικόνα 15: Σχέδιο ηλεκτρικής διασύνδεσης πλοίου με λιμάνι (BALUCO, 2019).....	63
Εικόνα 16: Γενικό σχέδιο ηλεκτρικής διασύνδεσης πλοίου με ξηρά (Battistelli et al, 2012). 64	
Εικόνα 17: Ενδεικτικό σχέδιο των βασικών στοιχείων στο λιμάνι διασύνδεσης (Smits, 2008)	65
Εικόνα 18: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής CII.....	73
Εικόνα 19: Υπολογισμός επιτευχθέντα δείκτη CII	73
Εικόνα 20: Διαδικασία συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.....	78

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Υπολογισμός φόρου EU ETS.....	34
Διάγραμμα 2: Παραγωγή διαφορετικών καυσίμων από το πετρέλαιο	37
Διάγραμμα 3: Ανάπτυξη των στόλων που καίνε LNG ανά έτος (Wang et al, 2021)	48
Διάγραμμα 4: Εκπομπές CO ₂ ανά τύπο υδρογόνου (ABS, 2021).....	57
Διάγραμμα 5: Σύνδεση μεταξύ διανυσμάτων dd και κατηγοριών A-E (MEPC.339(76), 2021)	76
Διάγραμμα 6: Μέσος όρος ετήσιων τόνων καυσίμου ανά σενάριο ανά πλοίο	84
Διάγραμμα 7: Ετήσιοι τόνοι καυσίμου του στόλου ανά σενάριο.....	84
Διάγραμμα 8: Μέσος όρος ετήσιων εκπομπών ρύπων CO ₂ ανά σενάριο ανά πλοίο	85
Διάγραμμα 9: Ετήσιες εκπομπές ρύπων CO ₂ του στόλου ανά σενάριο	85
Διάγραμμα 10: Ποσοστιαία διαφορά εκπομπόμενων ρύπων CO ₂ για το στόλο ανά σενάριο. 86	
Διάγραμμα 11: Δείκτης CII του στόλου ανά σενάριο για το 2023.....	86
Διάγραμμα 12: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT < 10,000 για το 2023	87
Διάγραμμα 13: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT 10,000 – 20,000 για το 2023	87

Διάγραμμα 14: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT 20,000-30,000 για το 2023	88
Διάγραμμα 15: Ετήσιο κόστος παραγωγής και απόκτησης ενέργειας για χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου.....	88
Διάγραμμα 16: Μέσο ετήσιο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας ανά σενάριο ανά πλοίο	89
Διάγραμμα 17: Ετήσιο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας του στόλου ανά σενάριο	89
Διάγραμμα 18: Ποσοστιαία διαφορά στο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας του στόλου ανά σενάριο.....	90
Διάγραμμα 19: Μέση ετήσια φορολογία εκπομπών CO ₂ ανά σενάριο για το 2024 ανά πλοίο ανά πλοίο	91
Διάγραμμα 20: Ετήσια φορολογία εκπομπών CO ₂ για το στόλο ανά σενάριο για το 2024	91
Διάγραμμα 21: Ποσοστιαία διάφορα στην ετήσια φορολογία CO ₂ για το στόλο ανά σενάριο για το 2024	92
Διάγραμμα 22: Διακύμανση των φόρων EU ETS για κάθε σενάριο έως το 2026	92
Διάγραμμα 23: Μέσος όρος ετήσιων συνολικών εξόδων ανά σενάριο για το 2024 ανά πλοίο	93
Διάγραμμα 24: Συνολικά έξοδα απόκτησης καυσίμου και φορολογίας για το στόλο ανά σενάριο για το 2024.....	93
Διάγραμμα 25: Ποσοστιαία διαφορά στα ετήσια συνολικά έξοδα για το στόλο ανά σενάριο για το 2024	94

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ημερομηνίες υιοθέτησης περιοχών ελέγχου εκπομπών (MEPC.1/Circ.778/Rev.3, 2018).....	23
Πίνακας 2: Τιμές σταθερών ανά τύπο πλοίου για το γραμμή αναφοράς του EEDI.....	27
Πίνακας 3: Ποσοστό μείωσης CO ₂ ανά τύπο πλοίου	27
Πίνακας 4: Τιμές συντελεστών GWP (AR6) για κάθε ρύπο (IPPC, 2023)	31
Πίνακας 5: Καθορισμένοι στόχοι μείωσης ρύπων ανά έτος	32
Πίνακας 6: Φόρος στα διάφορα είδη καυσίμου	33
Πίνακας 7: Ιδιότητες/Χαρακτηριστικά MDO και MGO (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)	40
Πίνακας 8: Ιδιότητες/Χαρακτηριστικά Residual Fuels (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)	41
Πίνακας 9: Ιδιότητες καυσίμων (ISWG-GHG 11/2/3, 2022).....	71
Πίνακας 10: Κόστη απόκτησης καυσίμων	71
Πίνακας 11: Κόστη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος	71
Πίνακας 12: Συντελεστής μείωσης απαιτούμενου δείκτη CII ανά έτος.....	75
Πίνακας 13: Τιμές παραμέτρων του CII δείκτη αναφοράς	76
Πίνακας 14: Τιμές μεταξύ των κατηγοριών A-E (MEPC.339(76), 2021)	77
Πίνακας 15: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 1	80
Πίνακας 16: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 2	80
Πίνακας 17: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 3	80
Πίνακας 18: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 4.....	81
Πίνακας 19: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 5.....	81
Πίνακας 20: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 6.....	81
Πίνακας 21: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 7.....	81
Πίνακας 22: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 8.....	81

Πίνακας 23: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 9.....	82
Πίνακας 24: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 10.....	82
Πίνακας 25: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 11.....	82
Πίνακας 26: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 12.....	82
Πίνακας 27: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 13.....	82
Πίνακας 28: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 14.....	83
Πίνακας 29: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 15.....	83
Πίνακας 30: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 16.....	83

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

«Με το πέρας της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ιωάννη Προυσαλίδη και τον εξωτερικό συνεργάτη της παρούσας εργασίας Θεόδωρο Κουρμπέλη για τη διαρκή επικοινωνία και υποστήριξη. Η βοήθεια τους ήταν πολύτιμη και καθοριστική καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας και συνέβαλε στην επιτυχή ολοκλήρωση της.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα φιλικά μου πρόσωπα, για όλη την αγάπη και την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν τους τελευταίους μήνες.»

Ιωάννα Ευσταθιάδου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παγκόσμια οικονομία οδηγείται με ταχύτατους ρυθμούς στην ενεργειακή μετάβαση και απανθρακοποίηση, με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την περιβαλλοντική κρίση να το επιτάσουν. Η διεθνής ναυτιλία αποτελεί ένα βασικό τομέα της οικονομίας, ωστόσο είναι και ένας από τους πιο δύσκολους για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η επίδραση ορισμένων εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών στην ενεργειακή απόδοση επιβατηγών/οχηματαγωγών πλοίων καθώς και το περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος που επιφέρει η χρήση τους.

Η εργασία αποτελείται από τρία κύρια μέρη. Στο πρώτο μέρος παρατίθεται όλο το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την καλύτερη κατανόηση της εργασίας. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται οι στόχοι της εργασίας και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Και στο τρίτο και τελευταίο μέρος παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Λέξεις κλειδιά : CO₂, Συμβατικά καύσιμα, LNG, Μεθανόλη, Cold Ironing

ABSTRACT

The global economy is rapidly moving towards energy transition and decarbonization, with the greenhouse effect and the environmental crisis exacerbating it. International shipping is a key sector of the economy, but it is also one of the most challenging to decarbonize.

This diploma thesis studies the impact of certain alternative fuels and technologies on the energy efficiency of passenger/car ferries as well as the environmental and economic benefits of their use.

The work consists of three main parts. The first part presents all the theoretical background required for a better understanding of the work. The second part presents the objectives of the work and the methodology followed. The third and final part presents the results and conclusions that emerged from this work.

Keywords: CO₂, Conventional fuels, LNG, Methanol, Ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 5000 χρόνια η ναυτιλία έχει υπηρετήσει την παγκόσμια οικονομία και σήμερα παρέχει μια εξελιγμένη υπηρεσία μεταφοράς σε κάθε μέρος του πλανήτη. Ήδη από το 3000 π.Χ. στη Μεσοποταμία, οι έμποροι είχαν καταλάβει ότι η μεταφορά αγαθών μέσω θαλάσσης ήταν πολύ πιο γρήγορη, οικονομική και μπορούσε να καλύψει πολύ μεγαλύτερη έκταση από ότι η παραδοσιακή μεταφορά μέσω ξηράς. (Stopford, 2009)

Σωζόμενες πήλινες πινακίδες και δοχεία καταγράφουν τη χρήση πλωτών αγγείων ήδη από το 4000 π.Χ. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία των πλοίων βρίσκονται στην Αίγυπτο κατά την 4η χιλιετία π.Χ. Τα ταξίδια στην Κρήτη ήταν από τα πρώτα, ακολουθούμενα από ταξίδια στη Φοινίκη και, αργότερα, χρησιμοποιώντας την πρώιμη διώρυγα που έδενε τον Νείλο με την Ερυθρά Θάλασσα, με εμπορικά ταξίδια που έπλεαν στις ανατολικές ακτές της Αφρικής (Britannica, 2023). Εκτός από τους Αιγύπτιους, οι Μυκηναίοι, οι Μινωίτες, οι Κυκλαδίτες αλλά και οι λαοί της Μεσοποταμίας ανέπτυξαν σημαντική εμπορική δραστηριότητα μέσω θαλάσσης. Στα 5.000 έτη της ναυτιλίας, το κέντρο του θαλάσσιου εμπορίου έχει αλλάξει πολλές φορές και φαίνεται να κινείται επάνω σε μια νοητή γραμμή η οποία έχει ως κατεύθυνση τα δυτικά. Η γραμμή αυτή ξεκινάει στη Μεσοποταμία το 3.000 π.Χ. και καταλήγει σήμερα στη Σαγκάη της Κίνας. (Stopford, 2009)

Κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων τα συστήματα πρόωσης των πλοίων έχουν εξελιχθεί δραστικά. Προς τα τέλη του 18^ο αιώνα οι ατμομηχανές εξελίσσονται και εγκαθίστανται στα πλοία, ενώ το 1822 το Aaron Manby γίνεται το πρώτο πλοίο με σιδερένια ατμομηχανή. Το 1827 ανακαλύπτεται η πρώτη προπέλα πλοίου από τον Joseph Ressel, ενώ το 1838 εμφανίζεται το πρώτο πλοίο που κινείται με τη βοήθεια λοξής προπέλας. Το 1876 ανακαλύπτεται η πρώτη μηχανή καύσης, γεγονός που οδήγησε στα περισσότερα οχήματα που κινούνται με καύσιμα. Την περίοδο εκείνη απαιτούνταν μεγάλη ποσότητα ακριβού πετρελαίου για την χρήση σε πλοία. Το 1892 ο Rudolf Diesel εφευρίσκει και κατοχυρώνει την πιο οικονομικά βιώσιμη και αποδοτική δίχρονη μηχανή καύσης Diesel στην MAN. Μετά το 1940, και το Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο, τα πλοία που κινούνταν με ατμομηχανές αντικαθίστανται από ντιζελοκίνητα πλοία. Το 1954 παρουσιάζεται το σύστημα πρόωσης water-jet, το οποίο προσέφερε υψηλή ταχύτητα και καλύτερη απόδοση πρόωσης, ωστόσο ήταν αρκετά ακριβό σύστημα για να διατηρηθεί. Το 1959 εμφανίζεται το πρώτο πλοίο LNG. Μέχρι σήμερα ο αριθμός των πλοίων που κινούνται με χρήση LNG δεν ξεπερνούν τα 200. Το 1970 η πετρελαϊκή κρίση οδήγησε σε χαμηλότερης ποιότητας, και μεγαλύτερης πυκνότητας βαρέως καυσίμου. Με την τιμή των καυσίμων να κορυφώνεται τα 2007, τα πλοία ξεκίνησαν να κινούνται σε χαμηλότερες ταχύτητες μειώνοντας την κατανάλωση ισχύος απαιτώντας λιγότερο καύσιμο και

εκπέμποντας λιγότερο άνθρακα. Λόγω αυτού η αγορά ξεκίνησε να κινείται με πιο αργούς ρυθμούς επηρεάζοντας την εφοδιαστική αλυσίδα. Η περιβαλλοντική κρίση και η αύξηση της τιμής των καυσίμων οδήγησε και στη στροφή σε εναλλακτικές λύσεις όπως ο αέρας και ο ήλιος. Το 2008 η ναυτιλία γίνεται πιο πράσινη με το πρώτο πλοίο που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια. Το 2015 εμφανίζονται προπέλες που βοηθούν στην εξοικονόμηση καυσίμου, με την εγκατάσταση των Hi-FIN. Το 2017 η Rolls-Royce λανσάρει το πρώτο πλοίο που κινείται μέσω απομακρυσμένης λειτουργίας. Τέλος το 2018 εμφανίζονται και τα πρώτα ηλεκτρικά αυτοπροωθούμενα πλοία. (Maritime Cyprus, 2021)

Σήμερα το 80% του παγκόσμιου εμπορίου διακινείται μέσω θαλάσσης ενώ θεωρείται ο πιο αποδοτικός τρόπος μεταφοράς σε τόνους καυσίμου ανά μίλια. Οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από τα πλοία αντιπροσωπεύουν ένα μη αμελητέο μέρος των απογραφόμενων εκπομπών και επιδρούν στην ποιότητα του αέρα, την ανθρώπινη υγεία και τα προβλήματα της κλιματικής αλλαγής σε τοπικό, περιφερειακό και διεθνές επίπεδο. Η τρίτη μελέτη GHG εκτιμά ότι η ναυτιλία αντιπροσωπεύει περίπου το 2,2% της παγκόσμιας ανθρωπογενούς εκπομπής CO₂, ποσοστό χαμηλότερο κατά 0.5% συγκριτικά με τις εκτιμήσεις της δεύτερης μελέτης GHG (IMO, 2009). Οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για το 5-8% των παγκόσμιων εκπομπών SO_x και περίπου το 15% των εκπομπών NO_x.

Με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου να αποτελεί σήμερα μία από τις μεγαλύτερες απειλές για τον πλανήτη και με τις συνέπειες της να είναι ολοένα πιο εμφανής και επικίνδυνες (υπερθέρμανση του πλανήτη κ.α.), πλήθος νομοθετικών και θεσμικών κανονισμών έχει θεσπιστεί τα τελευταία χρόνια θέτοντας ένα αυστηρό πλαίσιο για τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών και της ρύπανσης που οφείλεται στα πλοία. Μέσω αυτών των κανονισμών η ναυτιλία οδηγείται σταδιακά στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών υψηλότερης ενεργειακής αποδοτικότητας και στην αντικατάσταση των κοινών ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του 21^{ου} αιώνα είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος. Ως ρύπανση εννοείται «η ύπαρξη στο περιβάλλον, σε βαθμό μεγαλύτερο από το φυσιολογικό, ουσιών βλαβερών για τους ζωντανούς οργανισμούς». (Χρηστικό λεξικό της Νεοελληνικής Γλώσσας, 2014) Πρόκειται για μια ευρεία έννοια, η οποία περιλαμβάνει τη ρύπανση των διαφόρων βιολογικών συστατικών των φυσικών στοιχείων του πλανήτη, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Δεν είναι δηλαδή τίποτε άλλο, παρά η αλλοίωση της μορφής του περιβάλλοντος και της ισορροπίας του ανθρώπου με τη φύση.

Η περιβαλλοντική ρύπανση διαχωρίζεται σε διάφορους τύπους ανάλογα με την παράμετρο που εξετάζουμε, όπως ο ρύπος, το μολυσμένο μέρος, και συνοψίζονται στους εξής (National Geographic, 2023) :

- Ρύπανση των υδάτων
- Θαλάσσια ρύπανση
- Ατμοσφαιρική ρύπανση
- Μόλυνση του εδάφους
- Ηχορύπανση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες και πιο επιβλαβείς για τον άνθρωπο μορφές ρύπανσης και αποτελεί ένα τοπικό πρόβλημα όλης της Ευρώπης και του βόρειου ημισφαιρίου. Τα αιρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το τροποσφαιρικό όζον θεωρούνται κατά κανόνα οι τρεις πιο σημαντικοί ρύποι όσον αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία. Περίπου 90% του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις ρύπων που υπερβαίνουν τα όρια ποιότητας του αέρα τα οποία κρίνονται επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.1 : ΑΙΤΙΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, τόσο ανθρωπογενούς όσο και φυσικής προέλευσης. (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2020)

Φυσικοί Παράγοντες

- Τέφρα και εκπομπές από ηφαίστεια
- Καπνός και αέρια από απρόβλεπτες πυρκαγιές
- Καταιγίδες σκόνης
- Φυτά, σπόρια και γύρη

Ανθρωπογενείς Παράγοντες

- Εκπομπές ρύπων από αυτοκίνητα και μέσα μεταφοράς
- Ναυτιλιακή δραστηριότητα και θαλάσσιες μεταφορές
- Καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Βιομηχανικές διεργασίες και χρήση διαλυτών, σε βιομηχανίες χημικών και ορυκτών
- Νοικοκυριά
- Γεωργία και χρήση φυτοφαρμάκων
- Απόβλητα
- Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από εργοστάσια

Σύμφωνα με μελέτες, περίπου το 45% των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και σημαντικό ποσοστό των συνολικών ρύπων στην Ευρώπη, οφείλεται στις μεταφορές. Η παραγωγή και η διανομή ενέργειας είναι οι κύριες πηγές εκπομπής οξειδίων του θείου και σημαντικές πηγές εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Ακόμη ο αγροτικός τομέας είναι υπεύθυνος για ποσοστό μεγαλύτερο του 90% των εκπομπών αμμωνίας στην Ευρώπη και για ποσοστό της τάξης περίπου 20% των πτητικών οργανικών ενώσεων, πλην του μεθανίου, που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Η οικιακή θέρμανση αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης από τη σκόνη. Περίπου το 53% των εκπομπών λεπτών σωματιδίων (PM) οφείλονται σε εμπορικά, διοικητικά και οικιστικά κτήρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.2 : ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν διάφορες μορφές ενώ διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.

Οι πρωτογενείς ρύποι είναι επιβλαβείς ουσίες που απορρίπτονται απευθείας στην ατμόσφαιρα.

Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι εξής :

- Διοξείδιο του άνθρακα CO₂
- Μονοξείδιο του άνθρακα CO
- Χλωροφθοράνθρακες CFC
- Επικίνδυνοι ατμοσφαιρικοί ρύποι HAP

- Μόλυβδος
- Οξείδια του αζώτου
- Οξείδια του θείου
- Αιωρούμενα σωματίδια
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)

Αντίθετα με τους πρωτογενείς ρύπους, οι δευτερογενείς δεν απορρίπτονται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα αλλά προκύπτουν μετά από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δευτερογενούς ρύπου είναι το όζον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.2.1: ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ – CO₂

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι χημική ένωση του οξυγόνου με άτομο άνθρακα και είναι αέριο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας. Αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου, ενώ είναι άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις και κανονικές συνθήκες παραμένει άοσμο και άγευστο. Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων αλλά και του ξύλου, πλαστικών κ.ά. οργανικών ενώσεων. Παράγεται ακόμα από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα εκπέμπονται επίσης από τα ηφαίστεια και από τις θερμές πηγές αλλά και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Ενωμένο, με τη μορφή ανθρακικών αλάτων, βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στο στερεό φλοιό της γης.

Ενώ αποτελεί ένα αέριο το οποίο παράγεται και βρίσκεται φυσικά στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας στη γη, ταυτόχρονα αποτελεί και απειλή για τον πλανήτη καθώς έχει τις πιο επιβλαβείς μακροπρόθεσμες συνέπειες όσον αφορά την παγκόσμια θέρμανση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία μέσω της αυξημένης εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα διαταράσσει το ισοζύγιο με συνέπεια το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τη συνεπαγόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διεργασία η οποία διατηρεί τη θερμοκρασία της γης σε βιώσιμα επίπεδα. Ωστόσο η υπερπαραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, μέσα από την χρήση ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές και στη βιομηχανία, συμβάλει στην έξαρση του φαινομένου με αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας και την κλιματική αλλαγή. Η υπερβολική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί φαινόμενα όπως καύσωνες, λιώσιμο των πάγων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας, ανυδρία και πυρκαγιές.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Διεθνούς Ινστιτούτου Ανάλυσης Εφαρμοσμένων Συστημάτων της Αυστρίας, για να υπάρξει σταθεροποίηση στην παγκόσμια θέρμανση θα πρέπει να υπάρξει σταδιακή μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με τις υπόλοιπες πηγές μόλυνσης του περιβάλλοντος να παίζουν δευτερεύοντα ρόλο στο φαινόμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.2.2 : ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ - SO_x

Τα οξείδια του θείου είναι χημικές ενώσεις του οξυγόνου με το θείο. Το πιο επικίνδυνο οξείδιο του θείου είναι το διοξείδιο. Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο που σε υψηλές συγκεντρώσεις έχει έντονη ερεθιστική οσμή. Λόγω της ιδιότητας του να αντιδρά με οξειδωτικά ή σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, καθίσταται αρκετά επικίνδυνο, καθώς τα προϊόντα των χημικών αυτών αντιδράσεων, όπως τα σουλφίδια και τα όξινα σωματίδια του θείου είναι πιο επικίνδυνα από το ίδιο το διοξείδιο. Οι κυριότερες πηγές διοξειδίου του θείου είναι οι καύσεις ορυκτών καυσίμων καθώς και η επεξεργασία ορυκτών μεταλλευμάτων.

Οι ρύποι αυτοί είναι εξαιρετικά επιβλαβείς για την υγεία. Μικρής διάρκειας έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ασθματικά επεισόδια ενώ η χρόνια έκθεση προκαλεί στένωση στην τραχεία. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι σημαντικότερες οφείλονται στο μετασχηματισμό του διοξειδίου του θείου σε θειικό οξύ και η εναπόθεση του ως όξινη βροχή. Η όξινη βροχή δύναται να δημιουργήσει διάβρωση του εδάφους, να αλλάξει τη σύσταση της ατμόσφαιρας, να μεταβάλλει το τοπικό κλίμα και να επηρεάσει την ισορροπία της χλωρίδας και της πανίδας. Το διοξείδιο του θείου έχει συσχετιστεί με την διάβρωση του χάλυβα και άλλων μετάλλων, την διάσπαση του ψευδάργυρου και άλλων προστατευτικών επιστρωμάτων, την φθορά των οικοδομικών υλικών (σκυρόδεμα και ασβεστόλιθος) όπως επίσης και την υποβάθμιση της ποιότητας του χαρτιού, των δερμάτινων ειδών, και των έργων και μνημείων ιστορικού ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.2.3 : ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ - NO_x

Τα οξείδια του αζώτου είναι ένα σύνολο αέριων ρύπων που προκύπτουν από τις διάφορες αναμίξεις οξυγόνου και αζώτου. Τα οξείδια αυτά παράγονται κατά την ανάφλεξη καύσιμης ύλης ενώ είναι προϊόντα και φωτοχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Τα δύο κύρια οξείδια του αζώτου είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το μονοξείδιο του αζώτου (NO).

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι ένα άχρωμο αέριο και αποτελεί πρόδρομο του τροποσφαιρικού όζοντος και του νιτρικού οξέος. Κύρια πηγή εκπομπής του είναι από τα μικρόβια στο χώμα και τα φυτά με τη διαδικασία της απονιτροποίησης ενώ παράγεται επίσης κατά τις καύσεις ορυκτών καυσίμων (πλοία, αεροπλάνα, αυτοκίνητα, διυλιστήρια, κλπ) και βιομαζών και τις φωτοχημικές αντιδράσεις.

Το διοξείδιο του αζώτου είναι ένα κιτρινωπό-καφέ αέριο που δίνει στην αιθαλομίχλη (αστικό νέφος) το χαρακτηριστικό της καφέ χρώμα. Πρόκειται για ένα πολύ δραστικό χημικό συστατικό και ανήκει στην κατηγορία των οξειδωτικών, δηλαδή έχει την ικανότητα να

απομακρύνει ηλεκτρόνια από τα μόρια. Σε αυτή την ιδιότητα του διοξειδίου του αζώτου οφείλεται η δράση του ως καταλύτης για την παραγωγή όζοντος από πτητικές οργανικές ουσίες παρουσία ηλιακού φωτός και το καθιστά βιολογικά επιβλαβές. Ακόμη από το διοξείδιο του αζώτου σχηματίζεται νιτρικό οξύ και όξινα σωματίδια, όταν αυτό αντιδρά με τους υδρατμούς και με άλλες ουσίες στην ατμόσφαιρα. Παράγεται κυρίως από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου ενώ και οι καύσεις ορυκτών καυσίμων και βιομαζών συμβάλλουν στην δημιουργία του. Παραγωγή του διοξειδίου του αζώτου μπορεί να συμβεί και από συσκευές που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους όπως συσκευές που λειτουργούν με αέριο, οι θερμάστρες κηροζίνης, οι θερμάστρες που λειτουργούν με καύση ξύλων (ξυλόσομπες) και τα τσιγάρα.

Οι κυριότερες πηγές οξειδίων του αζώτου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εργοστάσια (45%) καθώς και τα μεταφορικά μέσα (49%).

Τα οξείδια του αζώτου έχουν πολλές επιπτώσεις τόσο στην υγεία όσο και στο περιβάλλον. Το διοξείδιο του αζώτου, το οποίο είναι το πιο τοξικό οξείδιο, προκαλεί βλάβη στα ευαίσθητα κύτταρα των πνευμόνων χωρίς να εμφανίζει συμπτώματα παρά μόνο όταν η έκθεση είναι μεγάλη και συνήθως μετά από ένα χρονικό διάστημα, όταν έχει ήδη προκληθεί φλεγμονή που μπορεί να αποβεί θανατηφόρα. Η μακροχρόνια έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου μπορεί να προκαλέσει χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα, καθώς και λοιμώξεις κυρίως σε μικρά παιδιά. Όσον αφορά το περιβάλλον τα νιτρικά οξέα που παράγονται από τα οξείδια του αζώτου, προκαλούν οξίνιση των υδάτων η οποία επηρεάζει τα ψάρια και άλλους οργανισμούς, καθώς και το φαινόμενο της όξινης βροχής που σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, οδηγεί στην μείωση των δασικών εκτάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1.2.4 : ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ – PM

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται τα διάφορα υγρά ή στερεά διακριτά σωματίδια. Αποτελούν έναν από τους πιο επικίνδυνους ρύπους λόγω ότι περιέχουν καρκινογόνες ουσίες, όπως ο αμίαντος και ο καπνός και ταυτόχρονα επιδεινώνουν τις συνέπειες των υπόλοιπων ρύπων. Οι ιδιότητες τους διαφέρουν ανάλογα το είδος των σωματιδίων, ενώ η επικινδυνότητα τους εξαρτάται από τη διάμετρος τους. Τα μικρότερα σωματίδια είναι πιο βλαβερά καθώς εισπνέονται πιο βαθιά στους πνεύμονες βλάπτοντας τους ευαίσθητους ιστούς ενώ ταυτόχρονα διευκολύνουν την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων λόγω μεγάλης ελεύθερης επιφάνειας επιτρέποντας σε τοξικές ουσίες να προσκολληθούν πιο εύκολα. Ακόμη λόγω μικρού βάρους μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο διάστημα και να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με τον αέρα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια κυρίως προέρχονται από τα μεταλλεύματα, τις κατασκευαστικές δραστηριότητες, τις πυρκαγιές

και την ατμοσφαιρική σκόνη. Εναποτίθενται γρηγορότερα από τα μικρά σωματίδια και επομένως αποτελούν κίνδυνο κυρίως κοντά στην πηγή τους.

Η κύρια πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες και οι στάσιμες πηγές καύσεις. Σημαντική συμβολή έχουν και τα μέσα μεταφοράς καθώς εκπέμπουν το μεγαλύτερο ποσοστό αιωρούμενων σωματιδίων που εισπνέονται από μεγάλο μέρος του πληθυσμού και που είναι πάνω από το επιτρεπτό όριο.

Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν αρκετά προβλήματα στην υγεία, με τις επιπτώσεις να είναι πιο σοβαρές κυρίως σε άτομα με αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα. Η έκθεση σε αυτούς τους ρύπους μακροπρόθεσμα μπορεί να προκαλέσει ζημιά στους πνευμονικούς ιστούς οδηγώντας σε χρόνια αναπνευστική πάθηση, καρκίνο, κυρίως του πνεύμονα, πρόωρη ασθένεια και θάνατο. Ακόμη, παιδιά που ζουν σε περιοχές με αυξημένα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, εμφανίζουν πιο συχνά κρυολογήματα, βήχα και άλλα συμπτώματα. Αρκετά σοβαρές είναι και οι περιβαλλοντικές συνέπειες, καθώς τα σωματίδια αυτά απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης αποτελούν πυρήνες συμπύκνωσης για τη δημιουργία νεφών και προκαλούν ζημιές σε κτίρια και υλικά. Τέλος εξαιτίας της ένωσης τους με το διοξείδιο του θείου και το μονοξείδιο του αζώτου δημιουργούνται όξινα σωματίδια, τα οποία μεταφέρονται στο έδαφος μέσω της όξινης βροχής αλλάζοντας τη χημεία των γλυκών νερών και επιδρώντας στην καταστροφή των δασών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές συνέπειες τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον. Πιο αναλυτικά οι επιπτώσεις είναι :

Υλικά: Η ατμοσφαιρική ρύπανση διαβρώνει τα υλικά και καταστρέφει ιστορικά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία. Η κύρια αιτία αυτών των καταστροφών είναι η όξινη βροχή, η οποία προκαλείται από την οξίνιση και τη διάλυση του νερού της βροχής λόγω των σταγόνων των ενώσεων του θείου και του αζώτου. Και οι φυσικές βροχοπτώσεις είναι ασθενώς όξινες λόγω του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά η παρουσία των προαναφερθέντων ρύπων επιδεινώνει την κατάσταση.

Φυτά: Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να ξηράνει τα φυτά, να περιορίσει την ανάπτυξή τους. Και πάλι, ο πιο επικίνδυνος τύπος ρύπανσης είναι η όξινη ρύπανση.

Ορατότητα: Όπως είναι γνωστό, η αιθαλομίχλη μειώνει την ορατότητα.

Ανθρώπινη υγεία: Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία είναι εμφανής σε ορισμένες ευάλωτες ομάδες ανθρώπων.

Χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα παραδείγματα.

- I. Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και σε υψηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να προκαλέσει οπτικές ανωμαλίες. Έλλειψη χωρικής και χρονικής κρίσης και μπορεί να προκαλέσει αναισθησία.
- II. Το διοξείδιο του θείου επηρεάζει το αναπνευστικό σύστημα, ιδίως όταν μαζί με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.
- III. Ορισμένες ενώσεις υδρογονανθράκων είναι καρκινογόνες.
- IV. Το όζον είναι εξαιρετικά τοξικό και μπορεί να προκαλέσει καρκίνο εάν εκτεθεί σε υψηλές τιμές όζοντος μπορεί να προκαλέσει ζάλη και εμετό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3 : ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν σήμερα μείζονες προκλήσεις για βιώσιμες βιομηχανικές εξελίξεις και η ναυτιλία αποτελεί σημαντικό βασικό στοιχείο της βιομηχανικής αλυσίδας. (Inal et al, 2022) Η αύξηση της ποσότητας των εμπορευμάτων που μεταφέρονται με πλοία έχει προκαλέσει αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Οι κύριες εκπομπές καυσαερίων από τη ναυτιλία, δηλαδή CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα), NO_x (οξειδία του αζώτου), SO_x (οξειδία του θείου), CO (μονοξείδιο του άνθρακα), υδρογονάνθρακες και PM (σωματίδια), έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα του αέρα. Τα πλοία εκπέμπουν επίσης μαύρο άνθρακα, μικροσκοπικά μαύρα σωματίδια που παράγονται από την καύση και απελευθερώνονται από τα καυσαέρια του πλοίου, τα οποία συμβάλλουν σε καρδιακές και πνευμονικές παθήσεις και αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον.



Εικόνα 1: Ρύποι πλοίων

Οι θαλάσσιες μεταφορές θεωρούνται ως ο πιο αποτελεσματικός και ενεργειακά αποδοτικός τρόπος μεταφοράς εμπορευμάτων και επιβατών. Ωστόσο, το 99% του παγκόσμιου στόλου διαθέτει σύστημα πρόωσης με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Συνέπεια αυτού είναι η χρήση μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων και η συνεπαγόμενη εκπομπή ρύπων. Σύμφωνα με την έρευνα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), 300 εκατομμύρια τόνοι ορυκτών καυσίμων καταναλώνονται ετησίως. Περίπου, το 72% της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων είναι βαρύ μαζούτ (HFO), το 26% είναι πετρέλαιο πλοίων (MDO) και το 2% είναι υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Ανάλογα με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, παρατηρείται αύξηση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, μεθάνιο και υποξείδιο του αζώτου) από 977 εκατομμύρια τόνους σε 1076 εκατομμύρια τόνους και εκπομπές CO₂ από 962 εκατομμύρια τόνους σε 1056 εκατομμύρια τόνους από το έτος 2012-2018. Οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για περίπου το 3,1% των συνολικών εκπομπών CO₂ παγκοσμίως, που ισοδυναμεί με την έκτη χώρα με τις περισσότερες εκπομπές CO₂ στον κόσμο, και οι εκτιμήσεις του IMO δείχνουν ότι οι εκπομπές CO₂ θα αυξηθούν μεταξύ 50% και 250% έως το 2050, εάν δεν υπάρξει σχέδιο ή στρατηγική μετριασμού. (Inal et al, 2022)

Το 2005, στις θάλασσες που περιβάλλουν την Ευρώπη (Βαλτική Θάλασσα, Βόρεια Θάλασσα, βορειοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού, Μεσόγειος και Μαύρη Θάλασσα), οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) από τη διεθνή ναυτιλία εκτιμήθηκαν σε 1,7 εκατομμύρια τόνους ετησίως, οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO_x) σε 2,8 εκατομμύρια τόνους και τα σωματίδια (PM 2,5) σε 195.000 τόνους. Λόγω της εφαρμογής από τις αρχές του 2015 του ορίου MARPOL 0,1% στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου (ΠΕΕΘ) στη Βόρεια και Βαλτική Θάλασσα και τη Μάγνη, οι εκπομπές θείου από πλοία έχουν μειωθεί σημαντικά σε αυτές τις περιοχές. Επιπλέον, από το 2020 και μετά, λόγω της εφαρμογής του παγκόσμιου ανώτατου ορίου θείου, που περιορίζει το θείο στο 0.5% στα ναυτιλιακά καύσιμα, οι εκπομπές θείου έχουν μειωθεί σημαντικά και στις υπόλοιπες θάλασσες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (Transport & Environment, 2023)

Σύμφωνα με μελέτες, η διεθνής ναυτιλία ευθυνόταν για περίπου 400.000 πρόωρους θανάτους ετησίως, οι οποίοι σχετίζονταν με την κακή ποιότητα αέρα. Οι θάνατοι αυτοί είχαν ετήσιο κόστος για την κοινωνία άνω των 58 δισεκατομμυρίων ευρώ. Μέσω χημικών αντιδράσεων στον αέρα, το SO₂ και το NO_x μετατρέπονται σε λεπτά σωματίδια, θειικά και νιτρικά αερολύματα. Εκτός από τα σωματίδια που εκπέμπονται απευθείας από τα πλοία, όπως ο μαύρος άνθρακας, αυτά τα δευτερεύοντα σωματίδια αυξάνουν τις επιπτώσεις της ναυτιλιακής ρύπανσης στην υγεία. Μικροσκοπικά αερομεταφερόμενα σωματίδια συνδέονται με πρόωρους θανάτους. Τα σωματίδια εισέρχονται στους πνεύμονες και είναι αρκετά μικρά για να περάσουν από τους ιστούς και να εισέλθουν στο αίμα. Στη συνέχεια, μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονές

που τελικά προκαλούν καρδιακές και πνευμονικές αποτυχίες. Οι εκπομπές των πλοίων μπορεί επίσης να περιέχουν καρκινογόνα σωματίδια.

Η ναυτιλία έχει κάνει σημαντικά βήματα προς τη μείωση της επίδρασης της στην ποιότητα και τη ρύπανση του αέρα. Ήδη έχουν υιοθετηθεί αρκετοί κανονισμοί που απαιτούν τη συμμόρφωση των πλοίων με καθορισμένα όρια εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα και περιεκτικότητας σε θείο των ναυτικών καυσίμων. Ωστόσο, πληθώρα τεχνολογιών και επιλογών, που θα περιορίσουν τις εκπομπές ρύπων και θα βελτιώσουν το αποτύπωμα των πλοίων, είναι διαθέσιμες σε μεγάλη κλίμακα και εύκολα εφαρμόσιμες. Παραδείγματα τέτοιων είναι :

- Χρήση τεχνολογίας ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου ή παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία από τη στεριά, καθ' όλη τη διάρκεια του ελλιμενισμού διατηρώντας όλες τις κύριες και βοηθητικές μηχανές του πλοίου κλειστές.
- Αντικατάσταση των συμβατικών ναυτικών καυσίμων με εναλλακτικά, πιο φιλικά προς το περιβάλλον και αειφόρα καύσιμα, όπως το υδρογόνο και η αμμωνία.
- Εγκατάσταση συστημάτων scrubbers, τα οποία μειώνουν τις εκπομπές SO₂ κατά 99% και τις εκπομπές άλλων ρυπογόνων σωματιδίων κατά σημαντικό ποσοστό.
- Χρήση συστήματος επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής (SCR), το οποίο είναι σύστημα επεξεργασίας των καυσαερίων μετά την παραγωγή τους αλλά πριν από την πραγματική τους εκπομπή. Το SCR είναι πολύ αποτελεσματικό στη μείωση των εκπομπών NO_x.
- Ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως η ηλεκτρική πρόωση και η αιολική πρόωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1 ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ MARPOL

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που καλύπτει την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία από επιχειρησιακά ή τυχαία αίτια. Η σύμβαση MARPOL εγκρίθηκε στις 2 Νοεμβρίου 1973 από τον IMO. Το Πρωτόκολλο του 1978 εγκρίθηκε ως απάντηση σε μια σειρά ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων το 1976-1977. Δεδομένου ότι η σύμβαση MARPOL του 1973 δεν είχε ακόμη τεθεί σε ισχύ, το πρωτόκολλο MARPOL του 1978 απορρόφησε τη μητρική σύμβαση. Το συνδυασμένο μέσο τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983. Το 1997 εγκρίθηκε πρωτόκολλο για την τροποποίηση της σύμβασης και προστέθηκε νέο παράρτημα VI, το οποίο

τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Η MARPOL έχει επικαιροποιηθεί με τροποποιήσεις με την πάροδο των ετών. Η Σύμβαση περιλαμβάνει κανονισμούς που αποσκοπούν στην πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από τα πλοία - τόσο της τυχαίας ρύπανσης όσο και της ρύπανσης από συνήθεις εργασίες - και περιλαμβάνει επί του παρόντος έξι τεχνικά παραρτήματα. Στα περισσότερα παραρτήματα περιλαμβάνονται ειδικοί χώροι με αυστηρούς ελέγχους των λειτουργικών απορρίψεων. (IMO, 2019)

Annex I: εφαρμόστηκε στις 2 Οκτωβρίου 1983 και καλύπτει την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο από επιχειρησιακά μέτρα καθώς και από τυχαίες απορρίψεις. Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος I του 1992 κατέστησαν υποχρεωτικό για τα νέα πετρελαιοφόρα να έχουν διπλό κύτος και εισήγαγαν ένα χρονοδιάγραμμα σταδιακής εφαρμογής των υπάρχοντων δεξαμενόπλοιων στο διπλό κύτος, το οποίο στη συνέχεια αναθεωρήθηκε το 2001 και το 2003.

Annex II: τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 και περιλαμβάνει λεπτομέρειες σχετικά με τα κριτήρια απόρριψης και τα μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες που μεταφέρονται χύδην. Περίπου 250 ουσίες αξιολογήθηκαν και συμπεριλήφθηκαν στον κατάλογο που επισυνάπτεται στη σύμβαση. Η απόρριψη των καταλοίπων τους επιτρέπεται μόνο στις εγκαταστάσεις υποδοχής έως ότου τηρηθούν ορισμένες συγκεντρώσεις και συνθήκες (οι οποίες ποικίλλουν ανάλογα με την κατηγορία των ουσιών). Σε κάθε περίπτωση, δεν επιτρέπεται η απόρριψη καταλοίπων που περιέχουν επιβλαβείς ουσίες εντός 12 μιλίων από την πλησιέστερη γη.

Annex III: τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 1992 και περιέχει γενικές απαιτήσεις για την έκδοση λεπτομερών προτύπων σχετικά με τη συσκευασία, τη σήμανση, την επισήμανση, την τεκμηρίωση, τη στοιβασία, τους περιορισμούς των ποσοτήτων, τις εξαιρέσεις και τις κοινοποιήσεις. Για τους σκοπούς του παρόντος παραρτήματος, ως "επιβλαβείς ουσίες" νοούνται οι ουσίες που προσδιορίζονται ως θαλάσσιοι ρύποι στον Διεθνή Ναυτιλιακό Κώδικα Επικίνδυνων Εμπορευμάτων (κώδικας IMDG) ή που πληρούν τα κριτήρια του προσαρτήματος του παραρτήματος III.

Annex IV: τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003 και περιέχει απαιτήσεις για τον έλεγχο της ρύπανσης της θάλασσας από λύματα. η απόρριψη λυμάτων στη θάλασσα απαγορεύεται, εκτός εάν το πλοίο διαθέτει εγκεκριμένη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων ή όταν το πλοίο απορρίπτει θρυμματισμένα και απολυμασμένα λύματα χρησιμοποιώντας εγκεκριμένο σύστημα σε απόσταση μεγαλύτερη των τριών ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ξηρά· τα μη αποφλοιωμένα ή απολυμασμένα λύματα πρέπει να απορρίπτονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 12 ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ξηρά.

Annex V: τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988 και ασχολείται με διάφορους τύπους απορριμμάτων και καθορίζει τις αποστάσεις από την ξηρά και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να απορριφθούν. το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του παραρτήματος είναι η πλήρης απαγόρευση της διάθεσης στη θάλασσα όλων των μορφών πλαστικών.

Annex VI: τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005 και θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίων του θείου και οξειδίων του αζώτου από τις εξατμίσεις των πλοίων και απαγορεύει τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Οι καθορισμένες περιοχές ελέγχου των εκπομπών θέτουν αυστηρότερα πρότυπα για τα SO_x, τα NO_x και τα αιωρούμενα σωματίδια. Ένα κεφάλαιο που εγκρίθηκε το 2011 καλύπτει τα υποχρεωτικά τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία.

Από τον Ιανουάριο του 2018, 156 κράτη είναι συμβεβλημένα με τη σύμβαση. Όλα τα πλοία που φέρουν σημαία χωρών που έχουν υπογράψει τη MARPOL υπόκεινται στις απαιτήσεις της, ανεξάρτητα από το πού πλέουν, και τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για τα πλοία που είναι νηολογημένα στο εθνικό τους μητρώο πλοίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Οι προσπάθειες για τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος δεν σταμάτησαν μετά την ολοκλήρωση του έργου και την εφαρμογή των παραρτημάτων της MARPOL. Οι σχετικές οργανώσεις και επιτροπές επισημαίνουν συχνά τις αρνητικές επιπτώσεις της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική και κλιματική ρύπανση του ναυτιλιακού τομέα και προσπαθούν για μια πιο πράσινη ναυτιλιακή βιομηχανία μέσω ερευνών και πειραματισμών, καθώς και μέσω συνεδρίων και ομιλιών. Έτσι έχουν προταθεί και εφαρμοστεί πολυάριθμοι κανονισμοί για την καταπολέμηση της ρύπανσης. Παράλληλα με αυτούς τους κανόνες, έχουν καθοριστεί συγκεκριμένοι και μετρήσιμοι στόχοι για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της επιλεγμένης πορείας και των κανονισμών στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος της περιβαλλοντικής ευημερίας.

Ένας τέτοιος στόχος είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 2008, με περαιτέρω μείωση κατά 70% έως το 2050. Υπάρχουν επίσης σχέδια για την παροχή κινήτρων και την επιβράβευση όσων συμμορφώνονται με τους κανονισμούς, ενώ παράλληλα προβλέπεται η τιμωρία και η επιβολή προστίμων σε όσους δεν τους τηρούν. (MEPC.76/INF.60, 2021)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.1 : ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ECAS

Η σύμβαση MARPOL, που περιγράφηκε παραπάνω, θέσπισε ένα πρωτόκολλο με τίτλο «Πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία», το οποίο εφαρμόστηκε το 2005. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, οι χώρες μέλη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού συμφωνούν να ακολουθούν αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών καυσίμων σε επιλεγμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECAs) όπου οι εκπομπές μετρώνται από την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου δεξαμενής ως ποσοστό της μάζας του (% m / m). Στις αρχές της δεκαετίας του 2010, τα πρότυπα SO_x ήταν 4,5% m/m εκτός των ECAs και 1,5% m/m εντός των ECAs. (Port Economics, Management and Policy, 2023) Από την 1η Ιανουαρίου 2020, επιβλήθηκε νέος περιορισμός της περιεκτικότητας σε θείο του μαζούτ που χρησιμοποιείται στα πλοία, σηματοδοτώντας σημαντική πρόοδο προς τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, την προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας.

Ο κανονισμός, που ονομάστηκε "IMO 2020", περιορίζει το θείο στο μαζούτ που χρησιμοποιείται σε πλοία που λειτουργούν πέρα από καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών σε 0,50% m / m (μάζα κατά μάζα) - μια αξιοσημείωτη μείωση από το προηγούμενο όριο του 3,5%. Τα όρια ήταν ήδη αυστηρότερα (0,10%) εντός συγκεκριμένων καθορισμένων περιοχών ελέγχου εκπομπών. Το νέο αυτό όριο κατέστη υποχρεωτικό μετά από τροποποίηση του παραρτήματος VI της διεθνούς σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία (MARPOL). (IMO, 2020) Σημαντική είναι και η μείωση εκπομπής NO_x με τη χρήση των περιοχών ECAs, που φτάνει στο 1/5 σε σύγκριση με το 2000.

Η επακόλουθη μείωση των εκπομπών οξειδίου του θείου (SO_x) από τα πλοία δημιουργεί σημαντικά οφέλη για την υγεία και το περιβάλλον παγκοσμίως, ιδίως για τους πληθυσμούς που κατοικούν κοντά σε λιμάνια και ακτές.

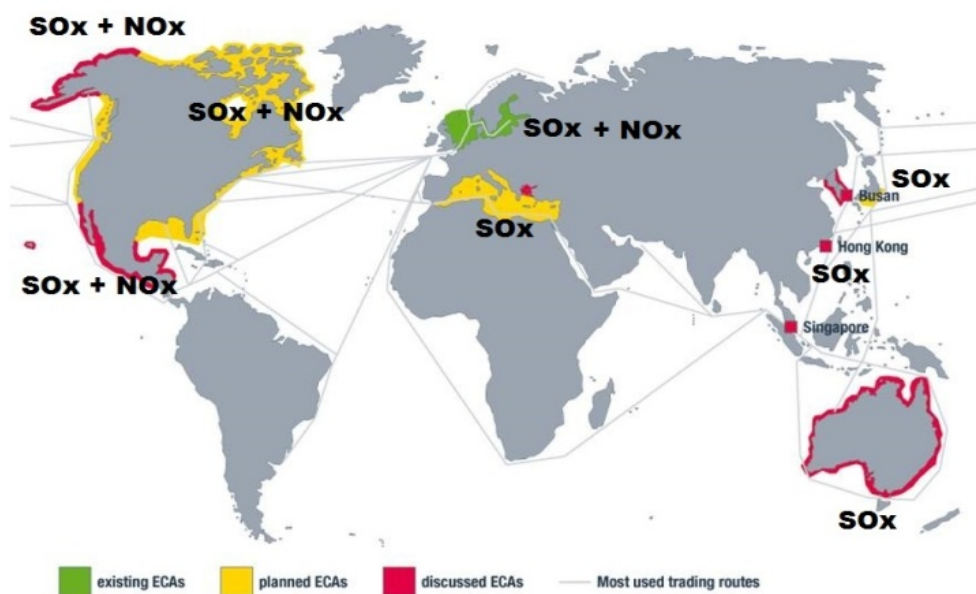
Πριν από την εφαρμογή του νέου ορίου, τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούσαν βαρύ μαζούτ. Προερχόμενο από υπολείμματα απόσταξης αργού πετρελαίου, το βαρύ μαζούτ είχε πολύ υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο, το οποίο κατέληξε στις εκπομπές των πλοίων μετά την καύση στον κινητήρα. Τώρα, η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων χρησιμοποιεί μαζούτ πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO) για να τηρήσει το νέο όριο και δεν έχουν αναφερθεί ανησυχίες για την ασφάλεια στον IMO μέχρι στιγμής.

Οι ECAs περιλαμβάνουν τη Βαλτική Θάλασσα, τη Βόρεια Θάλασσα, τη Βόρεια Αμερική, την Καραϊβική Θάλασσα και τις ΗΠΑ. (MEPC.1/Circ.778/Rev.3, 2018) Ακολουθεί ένας πίνακας με τις περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων SO_x και NO_x καθώς και πότε υιοθετήθηκαν και τέθηκαν σε ισχύ αυτές.

Emission Control Areas	Amendments adopted to the MARPOL Annex	Entry into force of the amendments	More stringent measures in effect from
MARPOL Annex VI: Air pollution (Emission Control Areas)			
Baltic Sea ⁴ (SO _x)	-	-	19 May 2006
(NO _x)	7 Jul 2017 (MEPC.286(71))	1 Jan 2019	1 Jan 2021 ⁵
North Sea (SO _x)	22 Jul 2005 (MEPC.132(53))	22 Nov 2006	22 Nov 2007
(NO _x)	7 Jul 2017 (MEPC.286(71))	1 Jan 2019	1 Jan 2021 ⁵
North America (SO _x and PM)	26 Mar 2010 (MEPC.190(60))	1 Aug 2011	1 Aug 2012
(NO _x)			1 Jan 2016 ⁶
United States Caribbean Sea (SO _x and PM)	15 Jul 2011 (MEPC.202(62))	1 Jan 2013	1 Jan 2014
(NO _x)			1 Jan 2016 ⁶

Πίνακας 1: Ημερομηνίες υιοθέτησης περιοχών ελέγχου εκπομπών (MEPC.1/Circ.778/Rev.3, 2018)

Τα πλοία που δραστηριοποιούνται τόσο εντός όσο και εκτός των ECAs πρέπει να ενημερώνονται αμέσως για τυχόν εφαρμοστέες αλλαγές (διαχείριση πρακτόρων) και πρέπει να συμμορφώνονται αμέσως με τα αντίστοιχα όρια. Ως εκ τούτου, πριν από την είσοδο σε μία περιοχή ελεγχόμενων εκπομπών, πρέπει να πραγματοποιηθεί πλήρης αλλαγή καυσίμου με τον καθορισμένο ρυθμό και σύμφωνα με τις γραπτές διαδικασίες επί του πλοίου.



Εικόνα 2: Οι περιοχές ελέγχου εκπομπών μέχρι το 2030

Ο αντίκτυπος των ECAs στις ναυτιλιακές οδούς είναι περιορισμένος, δεδομένου ότι οι υφιστάμενες ECAs δεν είναι αρκετά εκτεταμένες ώστε να τις επηρεάσουν. Η κυκλοφορία που

διέρχεται από τη Μάγγη ή τη Βόρεια Θάλασσα συνδέεται ήδη με λιμένες της περιοχής Αμβούργο-Χάβρη και, ως εκ τούτου, υπόκειται στους κανονισμούς των ECA. Η κυκλοφορία μεγάλης κυκλικής απόστασης που διέρχεται από το ECA της Δυτικής Ακτής της Αμερικής, όπως οι λωρίδες Ασίας - Νότιας Αμερικής, μπορεί να την αποφύγει μέσω απόκλισης. Ωστόσο, εάν η Μεσόγειος μετατραπεί σε ECA, ο αντίκτυπος στις ναυτιλιακές οδούς θα μπορούσε να είναι σημαντικός, καθώς ένας μεγάλος όγκος διέρχεται μέσω της περιοχής. (Port Economics, Management and Policy, 2023)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.2 : EEDI : ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Ο σχεδιαστικός δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας (EEDI) κατέστη υποχρεωτικός για τα νέα πλοία και το σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (SEEMP) για όλα τα πλοία στην MEPC 62 (Ιούλιος 2011) με την έγκριση τροποποιήσεων στο παράρτημα VI της MARPOL (ψηφίσμα MEPC.203(62)), από τα μέρη του παραρτήματος VI της MARPOL. Αυτή ήταν η πρώτη νομικά δεσμευτική συνθήκη για την αλλαγή του κλίματος που εγκρίθηκε μετά το Πρωτόκολλο του Κιότο. Από αυτή τη σημαντική ανακάλυψη, η MEPC 63 (Μάρτιος 2012) ενέκρινε τέσσερις σημαντικές κατευθυντήριες γραμμές (ψηφίσματα MEPC.212(63), MEPC.213(63), MEPC.214(63) και MEPC.215(63)) με στόχο να βοηθήσει στην εφαρμογή των υποχρεωτικών κανονισμών για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων στο παράρτημα VI της MARPOL. (Marpol Annex VI, 2023)

Ο δείκτης EEDI είναι ένας μη περιοριστικός μηχανισμός που επιτρέπει στη ναυτιλιακή βιομηχανία να χρησιμοποιεί τις τελευταίες τεχνολογίες για το σχεδιασμό εμπορικών πλοίων, εφόσον πληρούν τα απαιτούμενα επίπεδα και παραμέτρους ενεργειακής απόδοσης. Ο EEDI καθορίζει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, ανά μίλι χωρητικότητας για διαφορετικούς τύπους και μεγέθη πλοίων με στόχο την προώθηση της χρήσης πιο ενεργειακά αποδοτικό και λιγότερο ρυπογόνο εξοπλισμό και κινητήρες. Οι ισχύοντες τύποι πλοίων περιλαμβάνουν δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, πλοία γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία μεταφοράς φορτίου-ψυγεία και πλοία μεταφοράς συνδυασμένου φορτίου. Το 2014, οι κανονισμοί EEDI τροποποιήθηκαν από τη MEPC. Αυτές επέκτειναν το πεδίο εφαρμογής της σε πλοία μεταφοράς LNG, μεταφορείς οχημάτων, πλοία ro-ro και κρουαζιερόπλοια με υβριδικά συστήματα πρόωσης ή μη συμβατική πρόωση. (Marpol Annex VI, 2023)

Από την 1η Ιανουαρίου 2013, τα νεόδμητα πλοία έπρεπε να πληρούν το επίπεδο για τον τύπο του πλοίου τους. Το επίπεδο μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα για τη Φάση I είναι 10%. Κάθε πέντε χρόνια το επίπεδο EEDI θα γίνεται αυστηρότερο για την ενίσχυση της καινοτομίας και της τεχνικής ανάπτυξης και των μέτρων μείωσης, επηρεάζοντας τελικά την απόδοση

καυσίμου ενός σκάφους ήδη από τη φάση σχεδιασμού του ή το αρχικό στάδιο σχεδιασμού. Τα ποσοστά μείωσης ορίστηκαν έως το 2025. Τηρώντας αυτές τις οδηγίες, ο τομέας της ναυτιλίας μπορεί να είναι λιγότερο ρυπογόνος. Το μέτρο αυτό εφαρμόστηκε σε όλα τα νέα πλοία άνω των 400 GT, τα μερικώς κατασκευασμένα πλοία και τις παραγγελίες κατασκευής μετά τον Ιανουάριο του 2013. (Marine Insight, 2023)

Ο EEDI δίνει στους ιδιοκτήτες πλοίων ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Τα πλοία με επιτευχθεί EEDI έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να κερδίσουν συμβάσεις ναύλωσης. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δηλώσει την πρόθεσή της να δημοσιεύσει την τεχνική αποδοτικότητα (EEDI ή EIV) για κάθε πλοίο που καταπλέει σε λιμένες της ΕΕ στον πρόσφατα εγκριθέντα κανονισμό για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση (MRV) των εκπομπών από τις θαλάσσιες μεταφορές (κοινώς γνωστός ως κανονισμός MRV).

Ο δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης νέων πλοίων (EEDI) είναι ένα μέτρο της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (g/t . nm), βασίζεται σε τεχνικές σχεδιαστικές παραμέτρους για ένα δεδομένο πλοίο και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{\left(\sum_{j=1}^n f_j \left(\sum_{i=1}^{ME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^* \right) + \left(\sum_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{PTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{eff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{eff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

Με βάση τη (MEPC.308(73), 2018) οι παράμετροι ορίζονται ως εξής :

P_{ME} = Ισχύς των κύριων μηχανών.

$P_{PTO(i)}$ = Ισχύς γεννήτριας άξονα.

$P_{PTI(i)}$ = Ισχύς κινητήρα άξονα.

$P_{eff(i)}$ = Καινοτόμος μηχανική ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για τον κύριο κινητήρα.

P_{AEff} = Καινοτόμος μηχανική ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για βοηθητικό κινητήρα.

P_{AE} = Βοηθητική ισχύς κινητήρα

$SFC_{ME/AE}$ = Πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου, μετρούμενο σε g/kWh, των κινητήρων ή των αμοστροβίλων.

f_j = Διορθωτικός παράγοντας συγκεκριμένων σχεδιαστικών στοιχείων του πλοίου.

1. Συντελεστής διόρθωσης ισχύος για πλοία κατηγορίας πάγου.
2. Συντελεστής διόρθωσης ισχύος για βυτιοφόρα με πλεονασμό πρόωσης

3. Συντελεστής διόρθωσης για φορτηγά και επιβατηγά πλοία ro-ro (f_{JRoRo})
4. Συντελεστής διόρθωσης για πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου

f_w = Συντελεστής μείωσης ταχύτητας στη θάλασσα.

$f_{eff(i)}$; Συντελεστής κάθε καινοτόμου τεχνολογίας ενεργειακής απόδοσης.

f_i = Συντελεστής διόρθωσης χωρητικότητας για τεχνικό/ρυθμιστικό περιορισμό της χωρητικότητας.

1. $f_{i,ice\ class}$ = Συντελεστής διόρθωσης χωρητικότητας για πλοία κατηγορίας πάγου
2. $f_{i,VSE}$ = Συντελεστής διόρθωσης για ειδική εθελοντική δομική ενίσχυση του πλοίου
3. $f_{i,CSR}$ = Συντελεστής διόρθωσης για πλοία σύμφωνα με τους Κοινούς Δομικούς Κανόνες (CSR)

f_c = Συντελεστής διόρθωσης κυβικής χωρητικότητας.

1. Συντελεστής διόρθωσης για δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών προϊόντων.
2. Συντελεστής διόρθωσης για πλοία μεταφοράς αερίων
3. Συντελεστής διόρθωσης για φορτηγά και επιβατηγά πλοία
4. Συντελεστής διόρθωσης για πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην με το R μικρότερο από 0.55

f_i = Συντελεστής για πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου εξοπλισμένα με γεραμούς και εξοπλισμό που σχετίζεται με το φορτίο.

f_m = Συντελεστής για πλοία κλάσης πάγου IA Super και IA.

Για να κρίνεται ένα πλοίο ως συμμορφούμενο με τον κανονισμό του EEDI θα πρέπει να ισχύει:

$$\text{Επιτευχθέντας δείκτης EEDI} \leq \text{Απαιτούμενος δείκτης EEDI.}$$

Ο απαιτούμενος δείκτης EEDI υπολογίζεται με βάση τη χωρητικότητα του πλοίου και κάποιους συντελεστές που καθορίζονται από τον τύπο του πλοίου.

$$\text{Required EEDI} = (1-X/100) \times \text{Reference}$$

X: παράγοντας μείωσης ανάλογα με τη φάση

Reference = $a \times b^{-c}$: τιμή αναφοράς του δείκτη EEDI ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, όπου: a, b και c οι σταθερές που αντιστοιχούν σε τύπο πλοίου. Οι τιμές των σταθερών αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ship type defined in regulation 2	a	b	c
2.25 Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
2.26 Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
2.27 Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
2.28 Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201
2.29 General cargo ship	107.48	DWT of the ship	0.216
2.30 Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT of the ship	0.244
2.31 Combination carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488

Πίνακας 2: Τιμές σταθερών ανά τύπο πλοίου για το γραμμή αναφοράς του EEDI

Υπάρχουν τέσσερις φάσεις :

- Φάση 0 από 1 Ιανουαρίου 2013 έως 31 Δεκεμβρίου 2014,
- Φάση 1 από 1 Ιανουαρίου 2015 έως 31 Δεκεμβρίου 2019,
- Φάση 2 από 1 Ιανουαρίου 2020 έως 1 Δεκεμβρίου 2024,
- Φάση 3 από 1 Ιανουαρίου 2025 και εξής.

Για πλοία που κατασκευάστηκαν την χρονική περίοδο μεταξύ του 2000 και του 2010, κατά την πρώτη φάση το ποσοστό μείωσης του CO₂ είναι 10%, ενώ στην Τρίτη φάση ανέρχεται στο 30%.

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Πίνακας 3: Ποσοστό μείωσης CO₂ ανά τύπο πλοίου

Τα πλοία που υπόκεινται στον κανονισμό θα πρέπει να φέρουν στο διεθνές πιστοποιητικό ενεργειακής αποδοτικότητας (IEEC) τον επιτευχθέντα δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας ο οποίος θα πρέπει να συμμορφώνεται με τον απαιτούμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.3 : ΕΕΧΙ : ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Στις 17 Ιουνίου 2021, ο ΙΜΟ ενέκρινε τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI MARPOL στο ΜΕΡC 76, εισάγοντας τους κανονισμούς 23 και 25 - τον Δείκτη Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (ΕΕΧΙ) και τον κανονισμό 28 - την απαίτηση μείωσης της Λειτουργικής Έντασης Άνθρακα μέσω του Δείκτη Έντασης Άνθρακα (C) . Τα πλοία που επηρεάζονται από το ΕΕΧΙ πρέπει να αποδείξουν τη συμμόρφωση με την επόμενη έρευνά τους – ετήσια, ενδιάμεση ή ανανεωτική – για το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης της Ρύπανσης του Αέρα (ΙΑΡΡC) ή την αρχική επιθεώρηση πριν το πλοίο τεθεί σε υπηρεσία για την έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΙΕΕC) , όποιο είναι το πρώτο την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2023. Η έναρξη ισχύος θα είναι την 1η Νοεμβρίου 2022. (Lloyd's Register, 2023) Ο δείκτης ΕΕΧΙ αφορά πλοία με χωρητικότητα 400 GT και πάνω, σύμφωνα και με τις διαφορετικές τιμές ανάλογα τον τύπο και τις κατηγορίες μεγέθους των πλοίων. (ΙΜΟ, 2023)

Ο επιτυγχανόμενος δείκτης ενεργειακής απόδοσης του υφιστάμενου πλοίου (Attained EEXI) είναι ένα μέτρο της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου (g/t*nm) και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{ME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^* \right) + \left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{ref} f_{ef(i)} \cdot P_{AEef(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{ref} f_{ef(i)} \cdot P_{ef(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

Ο απαιτούμενος δείκτης ΕΕΧΙ υπολογίζεται με βάση τη χωρητικότητα του πλοίου και κάποιους συντελεστές ανάλογα με τον τύπο του πλοίου.

Ο τύπος υπολογισμού είναι ίδιος με τον τύπο υπολογισμού του δείκτη ΕΕΔΙ όπως αυτός αναλύθηκε παραπάνω, και ακολουθεί τις οδηγίες της (ΜΕΡC.308(73), 2018).

Γενικά το πλοίο για να συμμορφώνεται με τον κανονισμό θα πρέπει να ισχύει

$$\text{Επιτευχθέντας δείκτης ΕΕΧΙ} \leq \text{Απαιτούμενος δείκτης ΕΕΧΙ.}$$

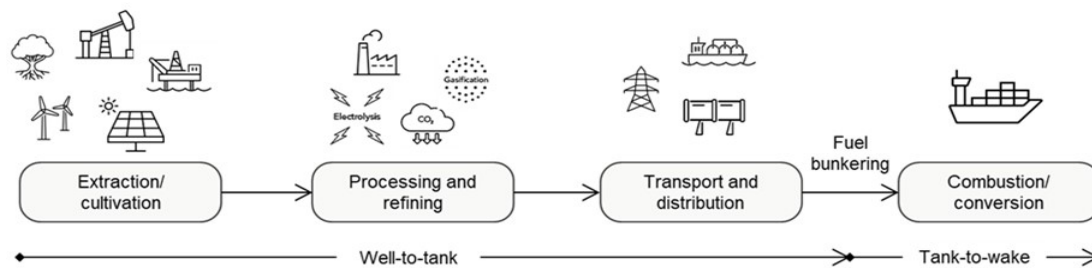
Τα πλοία τα οποία δεν συμμορφώνονται με τον κανονισμό θα πρέπει να προβούν σε λύσεις που θα βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητά τους και θα επιφέρουν τη συμμόρφωση. Η πιο αποτελεσματική λύση για να επιτευχθεί η συμμόρφωση με τον ΕΕΧΙ, ακόμα και σε περιπτώσεις που η απόκλιση από τη συμμόρφωση είναι μεγάλη, είναι η μείωση της ισχύος της μηχανής μέσω ενός μη μόνιμου συστήματος όπως ΕΡL (Engine Power Limitation) , SHaPoLi (Shaft Power Limitation) και άλλα.

Μια άλλη λύση για να επιτευχθεί η συμμόρφωση είναι η εγκατάσταση τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτές χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες :

- Τεχνολογίες κατηγορίας Α : είναι εκείνες που μειώνουν την αντίσταση του πλοίου ή αυξάνουν την απόδοση πρόωσης και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να μετρηθούν μεμονωμένα. Τέτοιες τεχνολογίες είναι οι επιστρώσεις χαμηλής τριβής, η βελτιστοποίηση της γάστρας του πλοίου, διάφορα εξαρτήματα, η βελτιστοποίηση της έλικας και του πηδαλίου. Αυτές οι τεχνολογίες θα αυξήσουν δυνητικά την ταχύτητα του πλοίου στο ποσοστό που χρειάζεται ώστε να επιτευχθεί η συμμόρφωση.
- Τεχνολογίες κατηγορίας Β : είναι εκείνες που μειώνουν την ισχύ πρόωσης στην ταχύτητα του πλοίου και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η λίπανση της γάστρας με φυσαλίδες αέρα και η πρόωση με τη βοήθεια του ανέμου.
- Τεχνολογίες κατηγορίας Γ: είναι εκείνες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και μειώνουν τις εκπομπές μέσω της μείωσης της ισχύος των βοηθητικών μηχανών με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κανονικό μέγιστο θαλάσσιο φορτίο. Τέτοιες τεχνολογίες είναι τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας και φωτοβολταϊκά στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.4 FLL : ΕΤΙΚΕΤΑ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Το περιβάλλον επιβαρύνεται σημαντικά από την χρήση των συμβατικών καυσίμων, ωστόσο η ρύπανση δεν συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια της καύσης των καυσίμων αλλά και πριν από αυτή. Λόγω της συνθήκης αυτής, και για να καταπολεμηθεί πιο αποτελεσματικά η ρύπανση του περιβάλλοντος, αποφασίστηκε να μελετάται ολόκληρος ο κύκλος ζωής του κάθε καυσίμου. Οι υπολογισμοί επικεντρώνονται κυρίως σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η Well-to-Tank (WtT) η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις εκπομπές ρύπων που λαμβάνουν χώρα κατά το στάδιο της παραγωγής και της εξόρυξης των καυσίμων. Η δεύτερη φάση είναι η Tank-to-Wake (TtW) η οποία αναφέρεται στις εκπομπές ρύπων που οφείλονται στην καύση του καυσίμου ή τη μετατροπή της ενέργειας σε άλλη μορφή, συμπεριλαμβανομένης και της ποσότητας ενέργειας που χάνεται. Η δεύτερη φάση μπορεί να αναφέρεται και ως Tank-to-Propeller (TtP) στην περίπτωση που η διαρροή ενέργειας είναι μηδενική. Συνολικά και οι δυο φάσεις μαζί αποτελούν τη φάση Well-to-Wake (WtW). (IMO, 2023)



Εικόνα 3: Κύκλος ζωής καυσίμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.5 FUEL EU MARITIME REGULATION

Πρόκειται για έναν κανονισμό που εγκρίθηκε από τον IMO και θα τεθεί σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2025. Έχει επίσης προταθεί στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Ο κανόνας περιγράφει τις μεθοδολογίες για τον υπολογισμό των προτύπων που αφορούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου για κάθε τύπο καυσίμου. Καθορίζει στόχους για τη μείωση των αναλογιών κατά 64 εντός συγκεκριμένης περιόδου και ορίζει επίσης κυρώσεις για τη μη συμμόρφωση.

Ο πρωταρχικός στόχος του κανόνα αυτού είναι να ενθαρρύνει τις ναυτιλιακές εταιρείες να χρησιμοποιούν πλοία που είναι φιλικά προς το περιβάλλον ή έχουν σημαντικά χαμηλές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ένας άλλος στόχος είναι η μείωση των εκπομπών κατά 75% ανά μονάδα ενέργειας έως το 2050. Επιπλέον, για τα επιβατηγά πλοία και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχει τεθεί στόχος, έως την 1η Ιανουαρίου 2030, να μην εκπέμπουν ρύπους κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στα λιμάνια, εκτός από περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή όταν τα πλοία παραμένουν στο λιμάνι για λιγότερο από δύο ώρες.

Οι ρύποι για τις παραπάνω φάσεις WtT και TtW υπολογίζονται σύμφωνα με τους τύπους (ISWG-GHG 11/2/3, 2022)

$$\begin{aligned}
 & \text{Well - to - Tank GHG emissions [gCO2eq]} \\
 & = \sum_i^{n_{fuel}} M_i \times CO2eq, WtT, i \times LCV_i + \sum_k^c E_k \times CO2eq, electricity, k
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Tank - to - Wake GHG emissions [gCO2eq]} \\
 & = \sum_i^{n_{fuel} \times m_{consumer}} \sum_j M_{ij} [(1 - Cslip, j) \times (CO2eq, TtW, i) \\
 & + (Cslip, j \times GWPCH4)]
 \end{aligned}$$

GHG emissions [g_{CO_2eq}] = Well-to-Tank GHG emissions + Tank-to-Wake GHG emissions

Όπου, $CO_{2eq,TtW,I} = (C_{f,CO_2} \times GWP_{CO_2} + C_{f,CH_4} \times GWP_{CH_4} + C_{f,N_2O} \times GWP_{N_2O})_I$

- i : δείκτης που αναφέρεται σε διαφορετικά καύσιμα
- j : δείκτης που αναφέρεται στους διάφορους καταναλωτές. Καταναλωτής μπορεί να είναι η κύρια μηχανή, οι βοηθητικές ηλεκτρογεννήτριες κτλ.
- k : δείκτης που αναφέρεται στα σημεία σύνδεσης όπου παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια
- c : δείκτης που αναφέρεται στον αριθμό των σημείων σύνδεσης που σχετίζονται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας
- m : δείκτης που αναφέρεται στον αριθμό των καταναλωτών ενέργειας
- M_{ij} : η μάζα ενός συγκεκριμένου καυσίμου που καταναλώνεται από έναν καταναλωτή j (μετράται σε g)
- $CO_{2eq,WtT,i}$ = οι ρύποι που εκπέμπονται κατά τη φάση WtT ενός καυσίμου ανά μονάδα ενέργειας, οι οποίοι έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με εγκεκριμένη μεθοδολογία (π.χ. RED II) (μετράται σε g_{CO_2eq}/MJ)
- $CO_{2eq,TtW,i}$ = οι ρύποι που εκπέμπονται κατά τη φάση TtW ενός καυσίμου που καταναλώνεται από έναν καταναλωτή j (π.χ. RED II) (μετράται σε g_{CO_2eq}/g_{FUEL})
- C_{f,CO_2} , C_{f,CH_4} , C_{f,N_2O} : συντελεστές ρύπων (Carbon Factors) για το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) (μετρώνται σε g_{GHG}/g_{FUEL}) αντίστοιχα
- LCV_i : η ελάχιστη θερμογόνο δύναμη (Lower Calorific Value) ενός καυσίμου (μετράται σε MJ/g_{FUEL})
- $C_{slip,j}$: διαρροή καυσίμου σε ποσοστό επί τις εκατό της μάζας του καυσίμου που καταναλώνεται από έναν καταναλωτή j
- GWP_{CO_2} , GWP_{CH_4} , GWP_{N_2O} : συντελεστές που δείχνουν τη θερμότητα που απορροφάται από την ατμόσφαιρα λόγω κάθε ενός ρύπου (Global Warming Potential) σε 100 χρόνια. Οι τιμές των συντελεστών των ρύπων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΡΥΠΟΣ	GWP
CO_2	1
CH_4	27
N_2O	273

Πίνακας 4: Τιμές συντελεστών GWP (AR6) για κάθε ρύπο (IPPC, 2023)

- E_k : η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται σε k σημεία σύνδεσης/φόρτισης του πλοίου (μετράται σε MJ έπειτα από μετατροπή σε MWh)
- $CO_{2eq,electricity,k}$: οι ρύποι που σχετίζονται με την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο κατά τον ελλιμενισμό (μετράται σε CO_{2eq}/MJ)

Επίσης, υπολογίζονται οι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας σύμφωνα με τον τύπο :

$$GHG\ INDEX\ [\frac{gCO_{2eq}}{MJ}] = \frac{WtT\ GHG\ emissions}{\sum_i^{nfuel} Mi \times LCVi + \sum_k^c Ek} + \frac{TtW\ GHG\ emissions}{\sum_i^{nfuel} Mi \times LCVi + \sum_k^c Ek}$$

Σύμφωνα με τον τύπο αυτόν καθορίζονται ποσοστιαία οι στόχοι μείωσης των ρύπων για κάθε έτος. Οι στόχοι που έχουν τεθεί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Έτος	Ποσοστιαία μείωση σε σχέση με το έτος αναφοράς
2020	Έτος αναφοράς
2025	-2%
2030	-6%
2035	-13%
2040	-26%
2045	-59%
2050	-75%

Πίνακας 5: Καθορισμένοι στόχοι μείωσης ρύπων ανά έτος

Δηλαδή,

$$GHG\ TARGET\ (2025) = \frac{100-2}{100} \times GHG\ INDEX\ (2020) = 0.98 \times GHG\ INDEX\ (2020)$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το Compliance Balance το οποίο αποτελεί το κριτήριο για το αν το πλοίο πληροί τις προϋποθέσεις, και κατ' επέκταση, για το αν απαιτείται να επιβληθεί στην πλοιοκτήτρια εταιρεία χρηματικό πρόστιμο. Το Compliance Balance υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο :

$$Compliance\ Balance\ [\frac{gCO_{2eq}}{MJ}] = (GHG\ TARGET - GHG\ ACTUAL) \times \sum_i^{nfuel} Mi \times LCVi + \sum_k^c Ek$$

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις :

- Αν το Compliance Balance είναι θετικός αριθμός, τότε οι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας που παράγει το πλοίο βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων που έχουν καθοριστεί ως στόχος για το έτος αυτό και για το συγκεκριμένο πλοίο και, κατ' επέκταση, η πλοιοκτήτρια εταιρεία δεν υποχρεούται να πληρώσει πρόστιμο
- Αν το Compliance Balance είναι αρνητικός αριθμός, τότε οι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας που παράγει ένα πλοίο σε ένα συγκεκριμένο έτος ξεπερνούν το επιτρεπτό όριο που έχει τεθεί, και επομένως θεωρείται ότι το πλοίο δεν πληροί τις προϋποθέσεις και πρέπει να του επιβληθεί πρόστιμο (υπολογισμένο σε Ευρώ) που υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο :

$$\text{PENALTY [EUR]} = \frac{\text{Compliance Balance}}{\text{GHG ACTUAL}} \times (2.439 \times 10^{-5}) \times \text{EUR}2400$$

Εκτός από την προαναφερθείσα ποινή, έχει θεσπιστεί φόρος για τα είδη καυσίμων που χρησιμοποιούνται από κάθε πλοίο, ο οποίος θα τεθεί σε ισχύ το 2033. Ο φόρος αυτός είναι σημαντικά μικρότερος για τα «πράσινα» καύσιμα σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Σκοπός του είναι να επιταχύνει τη μετάβαση από τα συμβατικά, μολυσματικά καύσιμα στα εναλλακτικά καύσιμα, τα οποία έχουν σημαντικά χαμηλότερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται περαιτέρω ο κανονισμός «FUEL EU», καθώς η αξιοποίηση των «πράσινων» καυσίμων αποτελεί μία από τις διαθέσιμες μεθόδους για την επίτευξη των στόχων της μείωσης των ρυπογόνων εκπομπών. Οι φορολογικοί συντελεστές για διάφορους τύπους καυσίμων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα :

FUEL	RATE BY 2033 (EUR/MJ)
MGO / HFO / VLSFO	0.0009
LNG / LPG / non-sustainable biogas	0.0009
Non-sustainable biofuel	0.01075
Sustainable biofuel	0.00045
Advanced biofuels / renewable from non-biological origin / low-carbon fuel	0.00045
Electricity	0.00015

Πίνακας 6: Φόρος στα διάφορα είδη καυσίμου

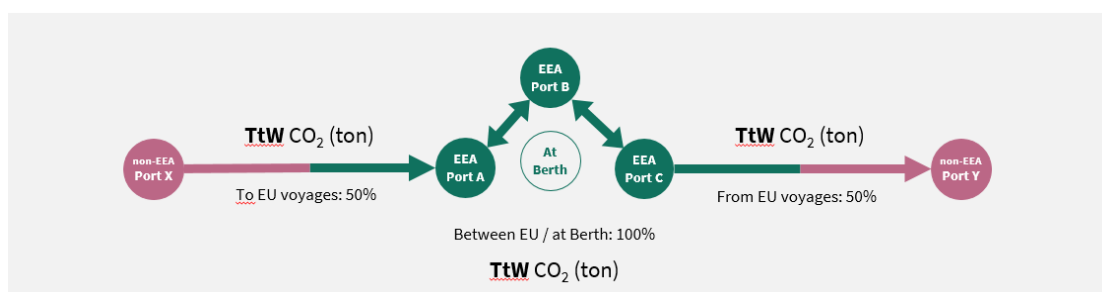
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.6 EU ETS

Το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU ETS) αποτελεί ουσιαστικό μέρος της πολιτικής της για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Το EU ETS είναι ένα

σύστημα «ανώτατων ορίων και εμπορίας» όπου τίθεται όριο (το ανώτατο όριο) στο δικαίωμα εκπομπής συγκεκριμένων ρύπων σε μια γεωγραφική περιοχή και οι εταιρείες μπορούν να εμπορεύονται δικαιώματα εκπομπών εντός αυτής της περιοχής, ενώ εκείνες που εκπέμπουν λιγότερες εκπομπές μπορούν να εμπορεύονται τα επιτρεπόμενα δικαιώματά τους με τις βιομηχανίες που εκπέμπουν περισσότερο από ό,τι τους επιτρέπεται. (Lloyd's Register, 2023) Είναι το βασικό εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη βιομηχανία. Το EU ETS καθιστά τις επενδύσεις σε φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία οικονομικά επωφελείς για τη βιομηχανία και τις αεροπορικές εταιρείες.

Ο τομέας της ναυτιλίας μέχρι το 2023 δεν είχε εισέλθει στο EU ETS. Ωστόσο από το 2024 και μετά, προκειμένου να ενισχυθεί η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας και η πράσινη οικονομία, οι πλοιοκτήτες θα πρέπει να παραδώσουν επαρκείς άδειες CO₂ για να καλύψουν το 40% των εκπομπών τους το 2024. Αυτό θα αυξηθεί σε 70% το 2025 και από το 2026, οι πλοιοκτήτες θα πρέπει να παραδώσουν αρκετές άδειες για να καλύψουν το 100% των εκπομπών τους που καλύπτονται από το ETS. Οι εταιρείες που εκπέμπουν περισσότερο από το δικαίωμά τους και δεν είναι σε θέση να αγοράσουν πρόσθετα δικαιώματα πρέπει να καταβάλουν χρηματική ποινή στο σύστημα EU ETS.

Ο τρόπος υπολογισμού του φόρου αυτού περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα :



Διάγραμμα 1: Υπολογισμός φόρου EU ETS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2.7 FLM : ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ

Οι αρμόδιες επιτροπές εξετάζουν μια εναλλακτική μέθοδο για τον έλεγχο της ενεργειακής απόδοσης με επίκεντρο τον δείκτη CII. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος ολόκληρου του στόλου στο οποίο ανήκει ένα πλοίο και όχι ο έλεγχος καθενός μεμονωμένου. Ολόκληρος ο στόλος θα πρέπει να ερευνάται και να παρακολουθείται για κάθε πλοίο. Ειδικότερα, οι δοκιμές και η επιθεώρηση των πλοίων θα πρέπει να συνεχίσουν να διενεργούνται και κάθε πλοίο θα πρέπει να κατατάσσεται στην κατάλληλη κατηγορία. Ωστόσο,

οι εταιρείες που κατέχουν και εκμεταλλεύονται πλοία δεν θα πρέπει να κρίνονται όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και την ενεργειακή απόδοση, με βάση την κατάταξη ενός πλοίου μεμονωμένα αλλά από τον στόλο ή τους στόλους στο οποίο ανήκει αυτό. Το μέτρο αυτό δεν επηρεάζει από μόνο του την ενεργειακή απόδοση και την αποτελεσματικότητα του πλοίου και του στόλου. Ωστόσο, για τους πλοιοκτήτες έχει αρκετά πλεονεκτήματα, των οποίων η εκμετάλλευση διευκολύνει την επίτευξη των επιπέδων-στόχων που έχουν τεθεί για το 2030 και το 2050. Η συμμόρφωση με τα επίπεδα-στόχους δίνει στους διαχειριστές των πλοίων την ελευθερία και την ευελιξία να επενδύουν με τον τρόπο και στο βαθμό που επιθυμούν στα δικά τους πλοία. Ο χρόνος και το κόστος των ενεργειακών αναβαθμίσεων για κάθε πλοίο (για C" έως "B"), θα επενδύεται μόνο στα πλοία που εκείνοι επιθυμούν, αφού σημασία θα έχει η αναβάθμιση συνολικά του στόλου. Με αυτόν τον τρόπο, ο πλοιοκτήτης εξοικονομεί χρήματα, τα οποία μπορεί στη συνέχεια να διατεθεί σε άλλα πλοία. Με αυτόν τον τρόπο, λύσεις όπως η χρήση εναλλακτικών «πράσινων» καυσίμων με μηδενικές εκπομπές CO₂ και η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών, που δεν εφαρμόζονται τόσο εύκολα, θα είναι πιο ελκυστικές και εφαρμόσιμες. (MEPC.76/ INF.60, 2021)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

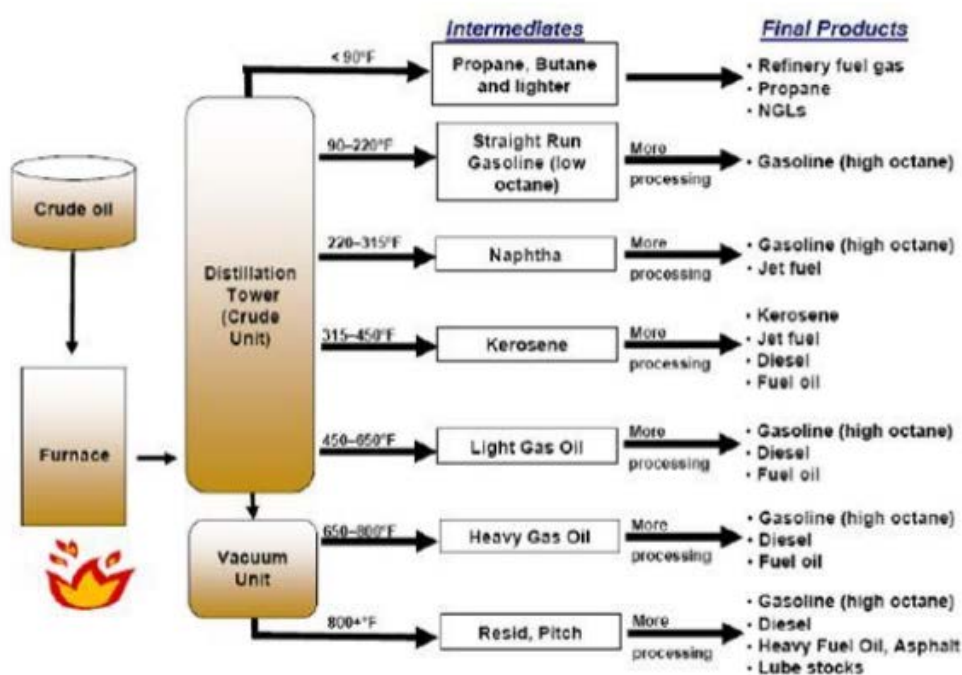
Το παγκόσμιο εμπόριο με βάση τη θάλασσα ήταν πάντα μια κρίσιμη συνιστώσα της παγκόσμιας οικονομίας. Στο παρελθόν, τα πλοία κινούνταν από τον άνεμο, αλλά τα σύγχρονα πλοία βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση ορυκτών καυσίμων συμβάλλει σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη, με εκπομπές άνθρακα που ανέρχονται σε περίπου 940 MtCO₂ ετησίως, και ενέχει επίσης κινδύνους για την υγεία των κοινοτήτων κοντά σε λιμάνια λόγω της απελευθέρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κινητήρων ορυκτών καυσίμων επιδεινώνονται περαιτέρω από τη χρήση τους σε λιμενικές υποδομές, τον εξοπλισμό ελλιμενισμού και τον αντίκτυπο της βιολογικής ρύπανσης στην απόδοση καυσίμου.

Τα ατμοκίνητα πλοία της Βιομηχανικής Επανάστασης αντικατέστησαν τα ιστιοφόρα και το τελευταίο ανεμοκίνητο εμπορικό πλοίο, το Παμίρ, βυθίστηκε στα ανοικτά των Αζορών το 1957 με μόνο έξι επιζώντες. Ο άνθρακας, ένα διαβόητα βρώμικο καύσιμο, ήταν το κύριο καύσιμο για τα ατμόπλοια. Με την ανακάλυψη του αργού πετρελαίου, αυτό έγινε η κύρια πηγή καυσίμων για τα πλοία, και παραμένει έτσι σήμερα. Η ναυτιλιακή βιομηχανία βασίζεται σε μια ποικιλία καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου του βαρέος μαζούτ (HFO), του μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, του πετρελαίου εσωτερικής καύσης πλοίων, του ναυτιλιακού πετρελαίου ντίζελ και του υγρού φυσικού αερίου (LNG). Αυτά τα καύσιμα είναι απαραίτητα για τη διαχείριση φορτίου από την πλευρά της αποβάθρας, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου και την πρόωση των πλοίων.

Προκειμένου να μπορέσει ο κρίσιμος ναυτιλιακός τομέας να ευδοκιμήσει σε μια εποχή χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, σχεδιάζονται και εφαρμόζονται επί του παρόντος νέες τεχνολογίες και πηγές ενέργειας. Οι σύγχρονες επαναλήψεις της ισχύος των πανιών έχουν επανεισαχθεί, οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας και ενσωματώνονται φιλικά προς το περιβάλλον καύσιμα, όπως τα επαναχρησιμοποιημένα φυτικά έλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Τα πιο διαδεδομένα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα στη ναυτιλία είναι τα βαρέα υπολειμματικά καύσιμα και τα ελαφριά αποστάγματα αργού πετρελαίου. Η ποιότητα αυτών των ελαίων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το αρχικό αργό πετρέλαιο και τη διαδικασία διύλισης του. Διάφοροι παράγοντες, όπως η προδιύλιση, ο βαθμός διύλισης, η ανάμειξη με ελαφρύτερα προϊόντα και οι μέθοδοι μεταφοράς, μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία διαφορετικών ποιοτήτων καυσίμων. Αυτά τα καύσιμα διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως ιξώδες (αντοχή στη ροή), πυκνότητα, σημείο ανάφλεξης, περιεκτικότητα σε θείο, περιεκτικότητα σε νερό, περιεκτικότητα σε τέφρα και άλλα. Γενικά, τα καύσιμα κατηγοριοποιούνται ως τύποι ενδιάμεσου μαζούτ (IFO) με βάση το ιξώδες τους στους 50°C.



Διάγραμμα 2: Παραγωγή διαφορετικών καυσίμων από το πετρέλαιο

Οι κινητήρες θαλάσσης που λειτουργούν με ντίζελ μπορούν να χρησιμοποιούν διάφορους τύπους καυσίμων. Ωστόσο, ο κατασκευαστής παρέχει οδηγίες σχετικά με το συνιστώμενο καύσιμο και την ποιότητά του για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης, κατανάλωσης και οικονομίας.

Τα διυλιστήρια και οι εταιρείες εμπορίας πετρελαίου δεν χρειάζεται να αποθηκεύουν όλους τους τύπους καυσίμων που είναι κατάλληλοι για πλοία. Αντίθετα, παράγουν τρία βασικά

προϊόντα: MDO, IFO 180 και IFO 380. Διαφορετικοί τύποι καυσίμων πλοίων δημιουργούνται με την κατάλληλη ανάμειξη αυτών των προϊόντων.

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει καθιερώσει προδιαγραφές καυσίμων πλοίων για δύο λόγους. Πρώτον, να διασφαλιστεί ο εφοδιασμός με καύσιμα με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που είναι άμεσα διαθέσιμα στους λιμένες με λογικό κόστος και σε επαρκείς ποσότητες. Δεύτερον, να καθοριστούν μέγιστα όρια για την περιεκτικότητα σε ρύπους και ιδιότητες που συμβάλλουν στην καλή λειτουργία του κινητήρα. Το τρέχον πρότυπο ISO 8217 καλύπτει 15 ποιότητες καυσίμου που διαφέρουν μεταξύ τους.

- Marine Gas Oil (DMX)
- Marine Diesel Oil (DMA, DMB, DMZ)
- Residual Fuel (RMA10, RMB30, RMD80, RME180, RMG180, RMG380, RMG500, RMG700, RMK380, RMK 500, RMK700)

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται συχνότερα στους ναυτικούς κινητήρες είναι :

- Marine Gas Oil (MGO): Αυτός ο τύπος καυσίμου είναι μια μορφή ελαφρού αργού πετρελαίου που θεωρείται υψηλής ποιότητας. Περιέχει μόνο μια μικρή ποσότητα θείου, καθιστώντας το ένα από τα ασφαλέστερα καύσιμα για χρήση στα πλοία. Οι φυσικές του ιδιότητες και τα χημικά χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με αυτά του ντίζελ και έχει διαφανή και λαμπερή εμφάνιση. Ωστόσο, έχει κόκκινο χρώμα για να είναι εύκολα αναγνωρίσιμο και να αποτρέπει τη χρήση κατώτερων καυσίμων. Το MGO είναι εξαιρετικά σταθερό και δεν απαιτεί προθέρμανση πριν από τη χρήση, ακόμη και μετά από μεγάλες περιόδους αποθήκευσης. (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)
- Marine Diesel Oil (MDO): Αυτός ο τύπος καυσίμου ταξινομείται επίσης ως ελαφρύ καύσιμο. Είναι ένα κλάσμα αργού πετρελαίου και έχει χαμηλό επίπεδο περιεκτικότητας σε θείο. Το MDO κατηγοριοποιείται σε δύο τύπους, δηλαδή το ελαφρύ MDO και το βαρύ MDO. Το πετρέλαιο ντίζελ από απόσταξης θαλάσσης, γνωστό και ως ελαφρύ MDO, έχει μικρή διάρκεια ζωής, αλλά είναι ένα εξαιρετικό κλάσμα με χαμηλό ιξώδες και χαμηλή περιεκτικότητα σε άνυδρο ($< 0,2\%w / w$). Μεταφέρεται μέσω δεξαμενόπλοιων εξοπλισμένων με επίπεδες παχυντές. Αυτές οι δεξαμενές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά βαρέων κλασμάτων αργού πετρελαίου. Το βαρύ MDO αποτελείται από 80-90% ελαφρύ MDO και 20-10% υπολειμματικό MDO. Αυτός ο τύπος καυσίμου χρησιμοποιείται ειδικά σε κινητήρες πλοίων που έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται βαριά κλάσματα. Δεν απαιτείται προθέρμανση πριν από τη χρήση του. (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)

- Heavy Fuel Oil (HFO): το είδος αφορά την ταξινόμηση του «βαρέος μαζούτ». Αποτελεί βαριά υποπροϊόντα/υπολείμματα που προέρχονται από την εξόρυξη αργού πετρελαίου. Είναι ένα εισαγόμενο μαζούτ. Τα υποπροϊόντα αποτελούνται από ατμοσφαιρικά υπολείμματα, υπολείμματα κενού, υπολείμματα καταλυτικής πυρόλυσης και υπολείμματα από οξείωση. Το επίπεδο θείου του είναι αυξημένο. Επιπλέον, έχει ήπιο χρώμα και μεγάλο ιξώδες. Η προθέρμανση είναι επίσης απαραίτητη πριν από τη χρήση. (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)
- Light Fuel Oil (LFO): Αυτός ο τύπος καυσίμου ανήκει στην κατηγορία του «ελαφρού μαζούτ», το οποίο αναφέρεται στο «βαρύ μαζούτ» που έχει αναμειχθεί με αργό πετρέλαιο ή άλλα προϊόντα πετρελαίου για να μειώσει το ιξώδες του. Ταξινομείται ως διάθεση βαρέων προϊόντων/αποβλήτων και εμπίπτει στο αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα πετρελαίου. Η τιμή του είναι σχετικά πιο ευέλικτη σε σύγκριση με το HFO και πρέπει να υποβληθεί σε προθέρμανση πριν από τη χρήση.

Συχνά, τα υπολείμματα πετρελαίου (HFO, LFO) δεν συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή λόγω του αυξημένου κινηματικού ιξώδες και της πυκνότητάς τους. Κατά συνέπεια, αναμειγνύονται με ελαφρύτερες ουσίες σε καθορισμένες αναλογίες για να χρησιμοποιηθούν σε τυπικούς κινητήρες. Αυτό βελτιώνει την κινηματική τους απόδοση, την πυκνότητα, την περιεκτικότητα σε άνθρακα και βανάδιο και άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά. (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες με τα βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των παραπάνω καυσίμων. Μερικές από τις παρακάτω τιμές χρησιμοποιήθηκαν και για τους υπολογισμούς της παρούσας εργασίας.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΟΡΙΟ	DMX	DMA	DMZ	DMB	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ
Κινηματικό Ιξώδες, 40 °C	mm ² /s	Μεγ.	5,50	6,00		11,00	ISO 3104
		Ελαχ.	1,40	2,00	3,00	2,00	
Πυκνότητα, 15 °C	kg/m ³	Μεγ.	-	890,00		900,00	ISO3675 ISO 12185
Περιεκτικότητα σε θείο	% mm	Μεγ.	1,00	1,50		2,00	ISO 8754 ISO 14596
Περιεκτικότητα σε νερό	% v/v	Μεγ.	-			0,30	ISO 3733
Εξανθράκωμα (10 °C)	% m/m	Μεγ.	0,30			-	ISO 10370
Ολικό υπόστημα	% m/m	Μεγ.					ISO 10307-1
Τέφρα	% m/m	Μεγ.	0,01				ISO 6245
Σημείο ανάφλεξης	°C	Ελαχ.	43,00	60,00			ISO 2719
Σημείο ροής (καλοκαίρι)	°C	Μεγ.	-	0,00		6,00	ISO 3016
Σημείο ροής (χειμώνας)	°C	Μεγ.	-	-6,00		0,00	
Σημείο θόλωσης	°C	Μεγ.	-16,00	-			ISO 3015
Δείκτης κετανίου		Ελαχ.	45,00	40,00		35,00	ISO 4264
Αριθμός οξύτητας	mgKOH/g	Μεγ.	0,50				ASTM D664
Οξειδωτική σταθερότητα	g/m ³	Μεγ.	25,00				ISO 12205
Λυταντική ικανότητα	Mm	Μεγ.	520,00				ISO 12156-1
Υδρόθειο	Mg/kg	Μεγ.	2,00				IP 570

Πίνακας 7: Ιδιότητες/Χαρακτηριστικά MDO και MGO (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΟΡΙΟ	RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK			ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΙΧΟΥ	
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700		
Κινηματικό Ιξώδες, 40 °C	mm ² /s	Μεγ.	10,00	30,00	80,00	180,00	180,00	380,00	500,00	700,00	380,00	500,00	700,00	ISO 3104	
Πυκνότητα, 15 °C	kg/m ³	Μεγ.	920,00	960,00	975,00	991,00				1010,00			ISO 3675 ISO 12185		
Περιεκτικότητα σε θείο	% m/m	Μεγ.	Εξαρτάται από τις απαιτήσεις της περιοχής χρήσης (ζώνες SECA)											ISO 8754 ISO 14596	
Περιεκτικότητα σε νερό	% v/v	Μεγ.	0,30	0,50											ISO 3733
Δείκτης αρωματικότητας CCAI		Μεγ.	850	860			870								
Σημείο ανάφλεξης	°C	Ελαχ.	60,00											ISO 2719	
Σημείο ροής (καλοκαίρι)	°C	Μεγ.	6,00			30,00							ISO 3016		
Σημείο ροής (χειμώνας)	°C	Μεγ.	0,00			30,00									
Αριθμός οξύτητας	mgKOH/g	Μεγ.	2,50											ASTM D664	
Υδροθείο	mg/kg	Μεγ.	2,00											IP 570	
Τέφρα	% m/m	Μεγ.	0,04	0,07			0,10			0,15			ISO 6245		
Ολικό υπόστημα	% m/m	Μεγ.	0,10											ISO 10307-2	
Εξανθράκωμα	% m/m	Μεγ.	2,50	10,00	14,00	15,00	18,00				20,00			ISO 10370	
Νάτριο	mg/kg	Μεγ.	50,00	100,00			50,00				100,00			IP 501 IP 470	
Βανάδιο	mg/kg	Μεγ.	50,00	150,00			350,00				450,00			IP 501 IP 470 ISO 14597	
Αργίλια + Πυρίτιο	mg/kg	Μεγ.	25,00	40,00		50,00	60,00						IP 501 IP 470 ISO 10478		
Χρησιμοποιημένα λυπαντικά έλαια (ULO) Ασβέστιο + Ψευδαργυρος ή Ασβέστιο + Φωσφόρος	mg/kg	Μεγ.	Το καύσιμο δεν πρέπει να περιέχει ULO. Ένα καύσιμο θεωρείται ότι περιέχει ULO όταν ικανοποιείται μία από τις εξής συνθήκες: Ασβέστιο > 30 και Ψευδαργυρος > 15 ή Ασβέστιο > 30 και Φωσφόρος > 15											IP 501 ή IP 470 IP 500	

Πίνακας 8: Ιδιότητες/Χαρακτηριστικά Residual Fuels (Λόης Ζαννίκος Καρώνης, 2014)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2 LNG

Το πιο διαδεδομένο καύσιμο, μετά τα συμβατικά καύσιμα, που χρησιμοποιείται ευρέως στις θαλάσσιες μεταφορές είναι το LNG. Από τη δεκαετία του 1970, το LNG χρησιμοποιείται ως πηγή καυσίμου για τα πλοία μεταφοράς LNG. Σε αυτές τις συγκεκριμένες περιπτώσεις, το αέριο που βράζει μέσα στις δεξαμενές LNG χρησιμοποιείται σε συμβατικά συστήματα λέβητα / ατμοστρόβιλου. Πιο πρόσφατα, οι χώρες της περιοχής της Βαλτικής βρέθηκαν στην πρώτη γραμμή της χρήσης LNG ως καυσίμου για πλοία όπως πορθμεία και πλοία υπεράκτιας εξυπηρέτησης για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επιπλέον, οι χώρες της Βόρειας Θάλασσας, ιδιαίτερα η Νορβηγία, έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη διάδοση της χρήσης LNG για πλοία τα τελευταία 13 χρόνια. Σύμφωνα με την DNV GL (2019), το 43% όλων των πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG βρίσκονταν στη Νορβηγία το 2016. Ο αριθμός των πλοίων που τροφοδοτούνται με LNG αυξάνεται και σημαντικά πλοία, όπως πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην και κρουαζιερόπλοια, βρίσκονται επί του παρόντος υπό κατασκευή. (Iannaccone et al, 2020)

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο, όπως υποδηλώνει και το όνομά του, είναι φυσικό αέριο που έχει υγροποιηθεί. Η διαδικασία δημιουργίας υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) περιλαμβάνει τη συμπίεση του φυσικού αερίου και την ψύξη του σε θερμοκρασία κάτω των $<-160^{\circ}\text{C}$, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε κρυογονικό υγρό. Ο μετασχηματισμός αυτός επιτρέπει την ευκολότερη μεταφορά και αποθήκευση του φυσικού αερίου, καθώς μειώνει σημαντικά τον όγκο του. Στην πραγματικότητα, ένα λίτρο LNG είναι περίπου ίσο με 600 λίτρα φυσικού αερίου σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση. Αποτελείται από υδρογονάνθρακες, με κύριο συστατικό το μεθάνιο (CH_4), αντιπροσωπεύοντας το 85-96% του μείγματος. Ο υπόλοιπος συνδυασμός αποτελείται από άλλους υδρογονάνθρακες, συμπεριλαμβανομένου του αιθανίου (C_2H_6), του προπανίου (C_3H_8), του βουτανίου (C_4H_{10}) και του πεντανίου (C_5H_{12}), με μικρή ποσότητα θείου. Το μείγμα αυτό είναι άχρωμο, άοσμο και μη τοξικό.

Γενικά, το LNG μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις ομάδες με βάση τη σύνθεσή του.

- Ελαφρύ (Light) LNG, στο οποίο το κύριο συστατικό, το μεθάνιο, βρίσκεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%
- Βαρύ (Heavy) LNG, στο οποίο το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο και οι υπόλοιποι «δευτερεύοντες» υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10% LNG με μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο

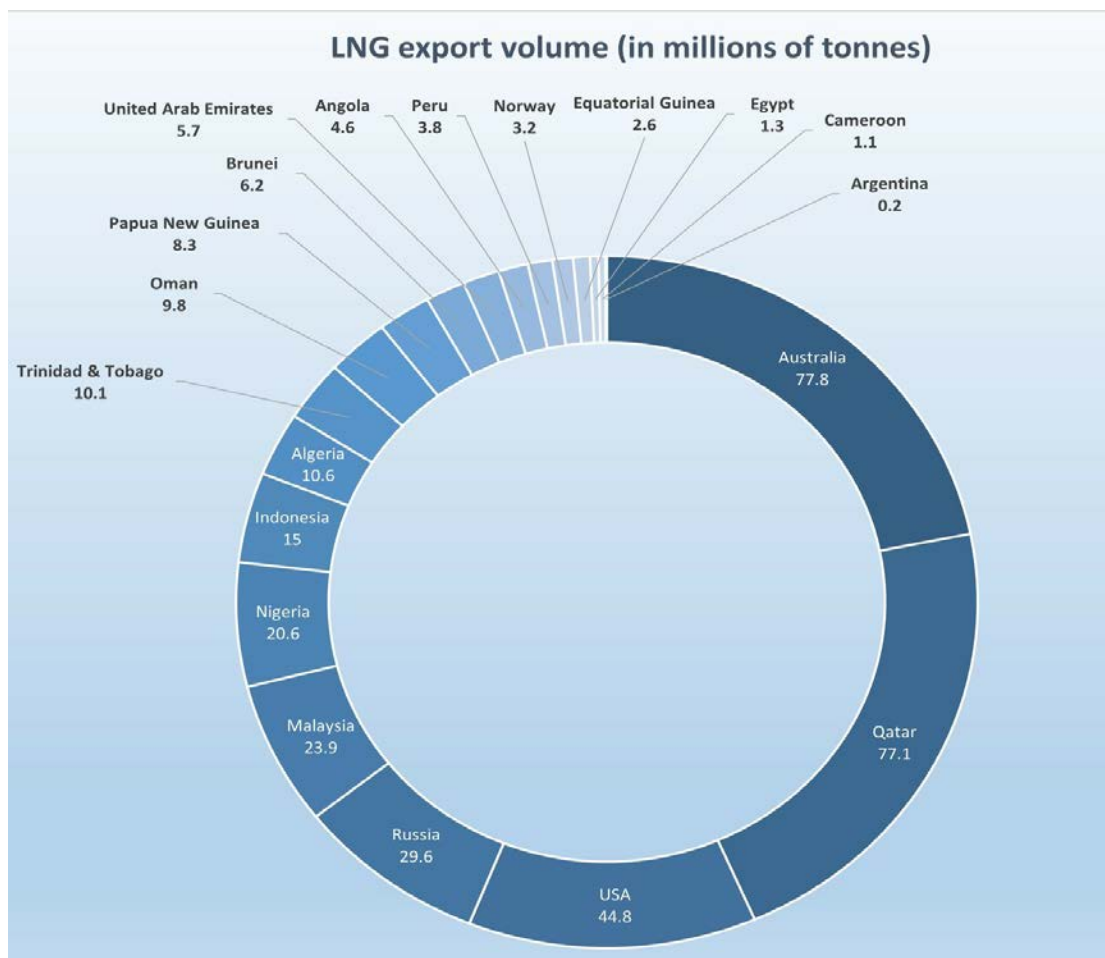
		Ras Laffan	Das Islands	Standard
Methane	CH ₄	90.28%	84.5%	89.63%
Ethane	C ₂ H ₆	6.33%	12.9%	6.32%
Propane	n-C ₃ H ₈	2.49%	1.5%	2.16%
Butane	n-C ₄ H ₁₀	0.49%	0.5%	1.20%
Iso-Butane	i-C ₄ H ₁₀	0.00%	0.00%	0.00%
Pentane	n-C ₅ H ₁₂	0.02%	0.00%	0.00%
Iso-Pentane	i-C ₅ H ₁₂	0.00%	0.00%	0.00%
Nitrogen	N ₂	0.41%	0.6%	0.69%
Average Mol. Weight		17.88	18.56	18.12
Boiling Point at Atmospheric Pressure		-160.8	-161.0	-160.9
Density kg/m ³		461.8	456.8	459.4
Higher Specific Energy kJ/kg		54.414	54.031	54.090

Εικόνα 4: Κατηγορίες LNG και σύσταση (Liquefied Gas Carrier, 2023)

Αλυσίδα εφοδιασμού LNG (supply chain)

LNG παραγωγή και επεξεργασία

Από τον Φεβρουάριο του 2021, 21 αγορές είχαν λειτουργικές εγκαταστάσεις εξαγωγής LNG, σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Φυσικού Αερίου (IGU). Οι δύο κορυφαίοι εξαγωγείς LNG το 2020 ήταν η Αυστραλία (77,8 MT) και το Κατάρ (77,1 MT), ακολουθούμενες από τις ΗΠΑ (44,8 MT) και τη Ρωσία (29,6 MT). Μια τυπική αλυσίδα εφοδιασμού LNG αποτελείται από την παραγωγή φυσικού αερίου, την υγροποίηση, τη ναυτιλία, την επαναεριοποίηση και την παράδοση αγωγών. Το LNG μεταφέρεται κρυογονικά με φορτηγό, τρένο ή πλοίο. Μια μονάδα υγροποίησης μπορεί να εξυπηρετήσει αρκετές μονάδες επαναεριοποίησης και αντίστροφα. Οι μικρής κλίμακας και οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις LNG επιτρέπουν την εκμετάλλευση μικρών, απομακρυσμένων πόρων φυσικού αερίου, για τους οποίους δεν είναι οικονομικό να κατασκευαστεί αγωγός. Οι χερσαίοι αγωγοί μήκους άνω των 5.000 χιλιομέτρων και οι υπεράκτιοι αγωγοί μήκους άνω των 1.500 χιλιομέτρων δεν είναι οικονομικοί σε σύγκριση με το LNG. Η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι ίσες για χερσαίους αγωγούς και LNG με αποστάσεις μεταφοράς 13.000 km και 7.500 km, αντίστοιχα. (International Institute of Refrigeration, 2023)



Εικόνα 5: LNG EXPORT 2021 (International Institute of Refrigeration, 2023)

Διεργασίες υγροποίησης του φυσικού αερίου σε χερσαίες και σε υπεράκτιες μονάδες.

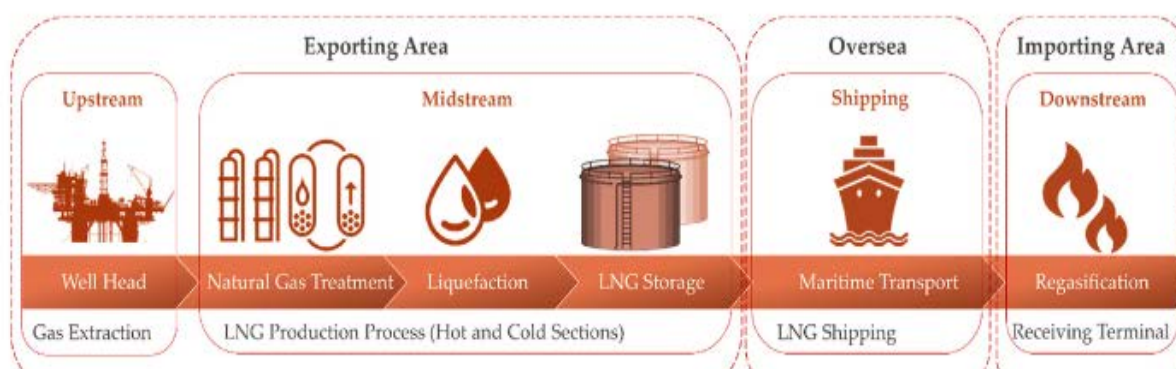
Αυτές οι μονάδες υγροποίησης κατηγοριοποιούνται με βάση το μέγεθος και τη χωρητικότητά τους, σε χερσαίες μονάδες μεγάλης κλίμακας με δυναμικότητα μεγαλύτερη από 1 εκατομμύριο τόνους LNG ετησίως (MTPA), χερσαίες μονάδες μικρής κλίμακας με δυναμικότητα μικρότερη από 1 MTPA και υπεράκτιες διεργασίες. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Αερίου (IGU), η παγκόσμια δυναμικότητα υγροποίησης ήταν 452,9 MTPA μέχρι το τέλος του 2020. Οι τρεις μεγάλες αγορές εξαγωγής LNG αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας ικανότητας υγροποίησης. (International Institute of Refrigeration, 2023)

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου επιτυγχάνεται μέσω διαφόρων κύκλων ψύξης που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: διεργασίες υγροποίησης καταρράκτη (χρησιμοποιώντας καθαρά συστατικά ως ψυκτικά μέσα), μικτές ψυκτικές διεργασίες και διεργασίες με βάση την επέκταση αερίου. Οι διεργασίες που βασίζονται στην επέκταση αερίου χρησιμοποιούνται γενικά για εφαρμογές μικρής κλίμακας, ξηρίσματος αιχμής και πλωτού LNG (FLNG). Εκτιμάται ότι περίπου το 30-35% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την αλυσίδα

αξίας LNG καταναλώνεται κατά τη διαδικασία υγροποίησης. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή LNG εξαρτώνται όχι μόνο από την τεχνολογία υγροποίησης αλλά και από τις συνθήκες της εγκατάστασης. Επιπλέον, όλες οι παράμετροι της διαδικασίας πρέπει να βελτιστοποιηθούν σχολαστικά. (International Institute of Refrigeration, 2023)

LNG Επαναεριοποίηση και διανομή

Σύμφωνα με την IGU, η Ιαπωνία (74,43 MT), η Κίνα (68,91 MT) και η Νότια Κορέα (40,81 MT) ήταν οι κύριοι αγοραστές LNG το 2020, αντιπροσωπεύοντας το 51% της τρέχουσας παγκόσμιας παραγωγής LNG. Επί του παρόντος, υπάρχουν 39 αγορές με τερματικούς σταθμούς εισαγωγής LNG, παρέχοντας παγκόσμια ικανότητα επαναεριοποίησης 850,1 MTPA, από τον Φεβρουάριο του 2021. Το LNG θερμαίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος στον τερματικό σταθμό εισαγωγής, με αποτέλεσμα την παροχή φυσικού αερίου υπό πίεση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εξειδικευμένων εναλλακτών θερμότητας που τροφοδοτούνται με αντλίες υψηλής πίεσης, οι οποίες βοηθούν στην επίτευξη της τελικής πίεσης αερίου. Η πλειοψηφία των τερματικών επαναεριοποίησης χρησιμοποιούν ανοιχτούς ατμοποιητές (ORV) για τη μετατροπή του LNG σε αέριο. Οι ατμοποιητές ανοιχτού ραφιού (ORV) είναι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούν το θαλασσινό νερό ως άμεση πηγή θερμότητας για την εξάτμιση του LNG. Άλλοι τύποι ατμοποιητών περιλαμβάνουν βυθισμένους ατμοποιητές καύσης (SCV), ατμοποιητές ατμοσφαιρικού αέρα (AAV), ατμοποιητές ανταλλαγής θερμότητας κελύφους και σωλήνων (STV) και ενδιάμεσους υγρού ψεκαστήρες (IFV). Οι υπεράκτιοι τερματικοί σταθμοί παραλαμβάνουν LNG από πλοία μεταφοράς LNG, το μετατρέπουν σε φυσικό αέριο και το μεταφέρουν σε χερσαίους πελάτες μέσω αγωγών. Οι δομές με βάση τη βαρύτητα (GBS) και οι πλωτές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (FSRU) είναι οι δύο κύριες έννοιες για τους υπεράκτιους τερματικούς σταθμούς LNG. Οι FSRU είναι πλοία LNG που έχουν σχεδιαστεί ή τροποποιηθεί ώστε να περιλαμβάνουν εγκατάσταση επαναεριοποίησης. Πρόκειται για πλωτές κατασκευές που είτε είναι αγκυροβολημένες στο βυθό είτε δεμένες σε προβλήτα σε λιμενική περιοχή.



Εικόνα 6: Τυπική αλυσίδα εφοδιασμού LNG

Boil-off Gas

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του LNG είναι το αέριο βρασμού του. Κατά τη μεταφορά, ένα μέρος του LNG μεταφέρεται στις δεξαμενές του πλοίου, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται από υγρό σε ατμό. Αυτός ο ατμός μπορεί να μεταβάλει την πίεση μέσα στις δεξαμενές, οδηγώντας σε πιθανές διαρροές, πυρκαγιές ή βλάβη του εξοπλισμού. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να εξαλειφθεί ο παραγόμενος ατμός. Συνήθως χρησιμοποιείται ως προωθητικό για την πρόωση του πλοίου ή, εάν υπάρχει, μπορεί να υγροποιηθεί εκ νέου με πηγή ενέργειας ως εναλλακτική διαδικασία. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για την εμφάνιση αερίου βρασμού. Ένας από αυτούς είναι η ευθύνη του περιβάλλοντος και των αντλιών που μεταφέρουν θερμότητα στο LNG. Επιπλέον, οι αλλαγές στην ατμοσφαιρική πίεση και η ισορροπία των δεξαμενών μπορούν επίσης να δημιουργήσουν αέριο βρασμού. Ένας άλλος λόγος είναι η κίνηση του πλοίου, η οποία προκαλεί το LNG να χτυπήσει τα τοιχώματα της δεξαμενής και να εξατμιστεί.

Methane Slip

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του LNG είναι γνωστό ως «Ολίσθηση μεθανίου», το οποίο θεωρείται το μόνο μειονέκτημά του. Η ολίσθηση μεθανίου αναφέρεται στην κατάσταση όπου ένα μέρος του κύριου συστατικού, το μεθάνιο, δεν καίγεται πλήρως κατά την καύση. Αυτό είναι μειονεκτικό επειδή το άκαυστο μεθάνιο συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, οι σύγχρονοι δίχρονοι κινητήρες έχουν ως επί το πλείστον εξαλείψει αυτό το πρόβλημα και οι τετράχρονοι κινητήρες αναμένεται να μειώσουν το φαινόμενο καθώς συνεχίζουν να αναπτύσσονται. (MAN Energy Solutions, 2023)

Από οικολογική άποψη, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) είναι ένα καύσιμο που μπορεί να συμβάλει σημαντικά στο «πρασίνισμα» του περιβάλλοντος, καθώς είναι μια ενεργειακά αποδοτική πηγή καυσίμων. Σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα, το LNG μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) έως και 25%, τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) έως και 90% και τις εκπομπές σωματιδίων (PM) και οξειδίων του θείου (SO_x) έως και 100%. Επιπλέον, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και αναπτύσσονται συστήματα για την περαιτέρω μείωση της ποσότητας μεθανίου που δεν καίγεται, ο θετικός αντίκτυπός του στην προστασία του περιβάλλοντος θα αυξηθεί. Είναι επίσης οικονομικά αποδοτική σε σύγκριση με άλλες επιλογές χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών, καθιστώντας την μια ολοένα και πιο δημοφιλή επιλογή. (elengy, 2023)

Το LNG χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια με σημαντικό επίπεδο ασφάλειας για την ανθρώπινη ζωή και το πλοίο. Δεν είναι εύφλεκτο ή εκρηκτικό και η πίεση στην οποία υποβάλλεται μέσα στις δεξαμενές είναι σε ατμοσφαιρικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, είναι απίθανο να συμβούν περιστατικά όπως πυρκαγιά ή ρήξη, τα οποία θα μπορούσαν να θέσουν

σε κίνδυνο τη ζωή του πλοίου και των ατόμων επί του πλοίου. Αυτές οι πτυχές, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν είναι δηλητηριώδες, καθιστούν το LNG ασφαλές καύσιμο, ιδιαίτερα σε σύγκριση με άλλες επιλογές, είτε συμβατικές είτε εναλλακτικές.



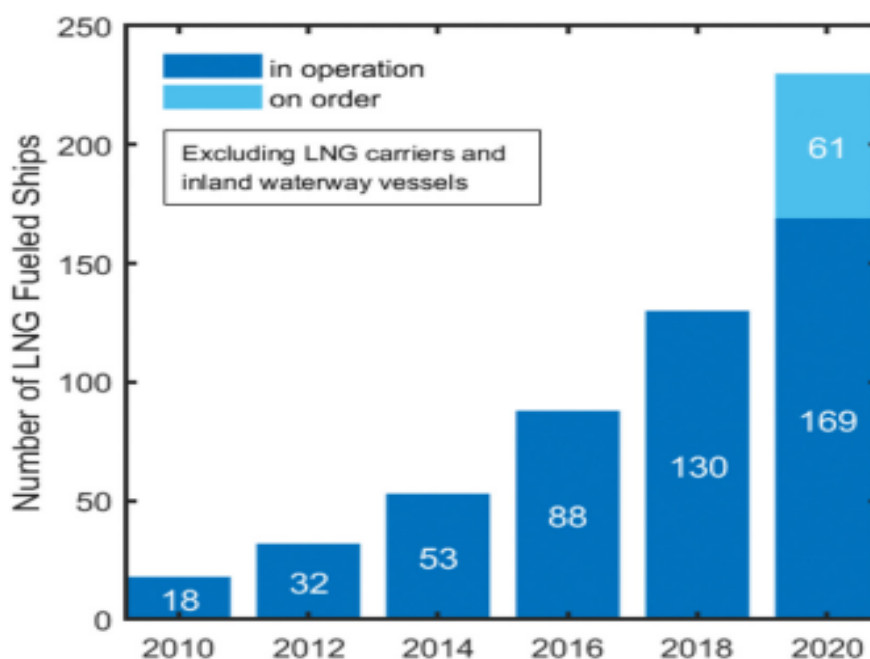
Εικόνα 7: Πλοίο μεταφοράς LNG

Το LNG παρουσιάζει σημαντικά οφέλη όσον αφορά την απαλλαγή από τον άνθρακα, τη μεταφορά και τη χρήση ως ναυτιλιακό καύσιμο. Αυτά τα πλεονεκτήματα είναι οι κύριοι παράγοντες πίσω από τη σημαντική ανάπτυξη της διεθνούς αγοράς LNG από την έναρξή της μέχρι σήμερα και αναμένεται να συνεχίσει να επεκτείνεται. Μόνο τα τελευταία τρία χρόνια, μεταξύ 2017 και 2019, η παραγωγή και ο όγκος LNG αυξήθηκαν κατά 322 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, ενώ η προσφορά LNG αυξήθηκε κατά 270 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Μέχρι το 2025, η προσφορά LNG προβλέπεται να φτάσει τα 449 εκατομμύρια μετρικούς τόνους, αντιπροσωπεύοντας αύξηση 23% από το 2020, με ετήσια αύξηση 26-34 εκατομμυρίων μετρικών τόνων (14% σε σύγκριση με το 2020).

Όσον αφορά τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στις θαλάσσιες μεταφορές, η πρώτη περίπτωση χρήσης του παρατηρήθηκε το 1959 στο πλοίο Methane Pioneer. Το Methane Pioneer είχε κατασκευαστεί ως φορτηγό πλοίο κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου το 1945. Ωστόσο, το 1959, το πλοίο υπέστη μετατροπή και μετατράπηκε σε πλοίο μεταφοράς LNG. Η διαδικασία μετατροπής περιελάμβανε την εγκατάσταση δεξαμεμών αλουμινίου, οι οποίες κρίθηκαν ασφαλέστερες, χωρητικότητας 5000 κυβικών μέτρων.

Από την εισαγωγή του πρώτου οχηματογωγού Glutra στον κόσμο, το οποίο τροφοδοτήθηκε με LNG, στη Νορβηγία το 2000, πάνω από 200 πλοία που χρησιμοποιούν LNG λειτουργούν ή κατασκευάζονται επί του παρόντος σε όλο τον κόσμο, με εξαίρεση τους μεταφορείς LNG και τα πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας. (Wang et al, 2021) Το ποσοστό των νεότευκτων πλοίων που μπορούν να χρησιμοποιούν LNG αυξήθηκε από 5% το 2015 σε 13% το 2018. Ωστόσο, τα

οφέλη του LNG μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από τις εκπομπές μεθανίου κατά την παραγωγή καυσίμου και τη λειτουργία του κινητήρα. Σύμφωνα με μελέτη, τα υψηλά επίπεδα εκπομπών μεθανίου μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από εκείνες που παράγονται από υγρά ορυκτά καύσιμα. Αυτές οι εκπομπές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και τις διαδρομές της αλυσίδας εφοδιασμού. (Balcombe et al, 2021)



Διάγραμμα 3: Ανάπτυξη των στόλων που καίνε LNG ανά έτος (Wang et al, 2021)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Η χρήση μη συμβατικών πηγών ενέργειας αντί του HFO έχει αναγνωριστεί ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη μείωση των εκπομπών και την προώθηση της φιλικής προς το περιβάλλον ναυτιλίας. Παρ' όλα αυτά, είναι συνήθως δύσκολο για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να καθορίσουν τη βέλτιστη επιλογή μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών καυσίμων πλοίων.

Τα εναλλακτικά καύσιμα αποτελούνται από αέρια καύσιμα όπως υδρογόνο, φυσικό αέριο και προπάνιο, αλκοόλες όπως αιθανόλη, μεθανόλη και βουτανόλη, έλαια που προέρχονται από λαχανικά και απορρίμματα και ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε ένα εξειδικευμένο σύστημα που καίει ένα μοναδικό καύσιμο είτε σε ένα υβριδικό σύστημα με άλλα καύσιμα, συμπεριλαμβανομένης της τυπικής βενζίνης ή ντίζελ, όπως ευέλικτο καύσιμο ή υβριδικά-ηλεκτρικά οχήματα.

Ορισμένα οχήματα και κινητήρες είναι ειδικά κατασκευασμένα για να λειτουργούν με εναλλακτικά καύσιμα από τον κατασκευαστή. Ενώ άλλα μετατρέπονται για να λειτουργούν με υποκατάστατα καύσιμα αλλάζοντας τα χειριστήρια του κινητήρα και το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου από την αρχική τους διαμόρφωση.

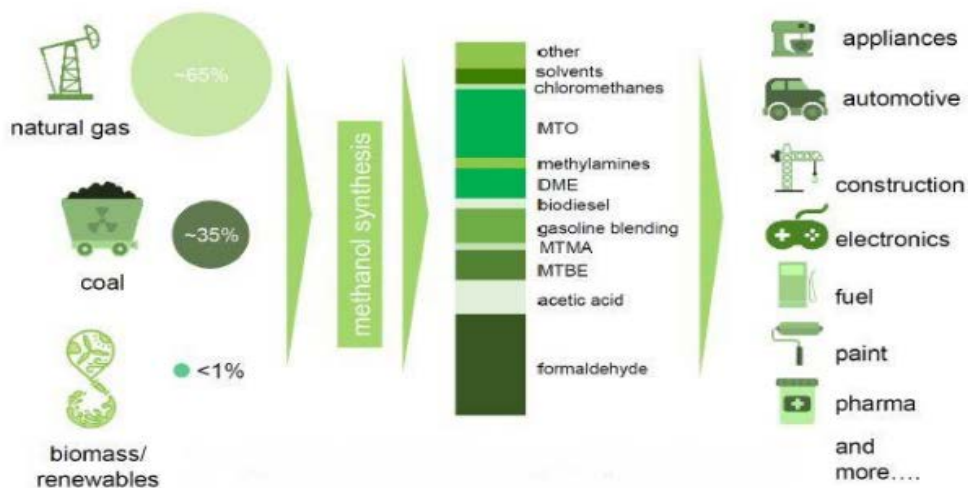
Τα πιο διαδεδομένα εναλλακτικά καύσιμα είναι τα εξής :

- Μεθανόλη
- Αμμωνία
- Υδρογόνο
- Βιο-καύσιμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3.1 ΜΕΘΑΝΟΛΗ

Η μεθανόλη (CH_3OH) είναι μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων που υποβλήθηκαν σε εκτεταμένες δοκιμές στόλου στη δεκαετία του 1980 και του 1990 και επί του παρόντος επανεισάγεται σε διάφορες εφαρμογές και τοποθεσίες. Μπορεί να προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και από βιομάζα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε προγράμματα δέσμευσης και αξιοποίησης άνθρακα. Είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί στην καθαρή του μορφή ή ως συστατικό μείγματος, σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE) ή σε κυψέλες καυσίμου άμεσης μεθυλικής αλκοόλης (DMFC). Αυτά τα χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι υγρό καύσιμο, το καθιστούν μια αποτελεσματική μέθοδο αποθήκευσης και διάδοσης ενέργειας και το καθιερώνουν ως μία από τις πιο επιθυμητές, επεκτάσιμες επιλογές. (Verhelst et al, 2019)

Η διαδικασία παρασκευής απαιτεί τη δημιουργία ενός μείγματος σιταριού που αποτελείται από αέριο CO , CO_2 και υδρογόνο. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη παρασκευή της μεθανόλης. Η αρχική μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση φυσικού αερίου, ενώ η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση οποιουδήποτε φυτικού υλικού, όπως ξύλο, απορρίμματα, γεωργικά απόβλητα και υγρά.



Εικόνα 8: Παραγωγή και χρήσεις της μεθανόλης

Χρησιμοποιείται σε μείγματα που περιέχουν μικρές, μεσαίες ή μεγάλες ποσότητες βενζίνης, ενισχύοντας την ποιότητα του καυσίμου και ενισχύοντας την διαθεσιμότητα του. Αυτή η ουσία χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή βιοκαυσίμων. Επιπλέον, διευκολύνει την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών όπως οι κυψέλες καυσίμου.

Η μεθανόλη έχει πολλά επιθυμητά χαρακτηριστικά που την καθιστούν ένα εξαιρετικό καύσιμο κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα. Αυτά περιλαμβάνουν: (Verhelst et al, 2019)

- Υψηλή θερμότητα εξάτμισης («λανθάνουσα θερμότητα»)
- Χαμηλή στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου (AFR)
- Υψηλή αναλογία ειδικής ενέργειας (δηλαδή, ενέργεια ανά μονάδα μείγματος καυσίμου-αέρα)
- Υψηλή ταχύτητα φλόγας
- Υψηλός λόγος γραμμομοριακής διαστολής
- Χαμηλή θερμοκρασία καύσης
- Υψηλός λόγος υδρογόνου προς άνθρακα
- Υγρό σε κανονική θερμοκρασία και πίεση (STP)

Η αξιοποίηση της μεθανόλης ως καύσιμο έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Πρώτον, είναι ευρέως διαθέσιμο και μπορεί να προσεγγιστεί σε πολλά λιμάνια. Μόνο μικρές προσαρμογές στις εγκαταστάσεις παροπλισμού και μεταφοράς είναι απαραίτητες για τη διανομή μεθανόλης σε πλοία που φιλοξενούν, καθώς έχει ήδη διανεμηθεί σε 88 από τα 100 μεγαλύτερα λιμάνια παγκοσμίως. Επιπλέον, είναι συγκρίσιμο με το LNG στην εφαρμογή του, αλλά μπορεί να αποσυμπιεστεί σε τυποποιημένες, δοκιμασμένες δεξαμενές με συγκεκριμένες τροποποιήσεις. Το κόστος επένδυσης είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα

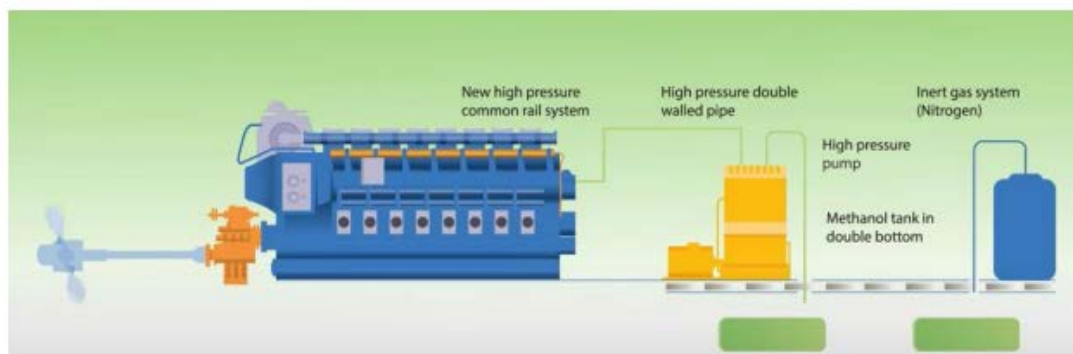
και δεν αντιμετωπίζει επίσης ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την υγεία των ανθρώπινων ζώων και του ίδιου του πλοίου. Η μεθανόλη ενέχει μικρότερο κίνδυνο πυρκαγιάς και εξάπλωσής της σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα.

Το πρώτο πλοίο με μεθανόλη, το Stena Germanica, κατελκύστηκε το 2015 και κινήθηκε με συνδυασμό μεθανόλης και θαλάσσιου πετρελαίου εσωτερικής καύσης. Κατά το συγκεκριμένο έτος, η Stena Line έκανε τροποποιήσεις στο Stena Germanica ώστε να μπορεί να κινείται με μεθανόλη.



Εικόνα 9: Πλοίο Stena Germanica (Stena Line, 2023)

Μια άλλη εταιρεία που έχει εδραιώσει μια αξιολογημένη παρουσία στη «σφαίρα της μεταγωγής» είναι η Watfront Transport Inc. η οποία απέκτησε το 2021 την κατοχή του κύριου σκάφους της που λειτουργεί με μεθανόλη. Πρόκειται για το πλοίο μεταφοράς Mari Innovator 50000 τόνων νεκρού βάρους και μεγέθους 186 μέτρων. με κινητήρα διπλού καυσίμου μεθανόλης.



Εικόνα 10: Μηχανολογική εγκατάσταση για χρήση καυσίμου μεθανόλης (Stena Line, 2023)

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) διεξήγαγε μελέτη για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μεθανόλης, χρησιμοποιώντας ανάλυση κύκλου ζωής (LCA). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μεθανόλη έχει υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής (GHG) από τα συμβατικά καύσιμα. Ενώ η εφαρμογή μεθανόλης είναι δυνατή, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας εξαρτάται από την περιοχή πλοήγησης, την τιμή της μεθανόλης και το κόστος επένδυσης. (Percic et al, 2020)

Η ανανεώσιμη μεθανόλη, γνωστή και ως βιομεθανόλη, είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η παραγωγή βιομεθανόλης είναι εφικτή και μπορεί να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται υδρογόνο και CO₂ με βάση την αιολική ενέργεια, όπως αποδείχθηκε σε μελέτη. Τα βιοκαύσιμα παράγονται από ανανεώσιμες πηγές όπως φυτική βιομάζα, φυτικά έλαια ή απόβλητα και έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή τα τελευταία χρόνια. Τα βιοκαύσιμα θεωρούνται «ουδέτερα ως προς τον άνθρακα», καθώς οι εκπομπές CO₂ από την καύση βιοκαυσίμων απορροφώνται από νέα βιομάζα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Οι εκπομπές αυτές δεν περιλαμβάνονται στις συνολικές εκπομπές κύκλου ζωής, ενώ οι εκπομπές CH₄ και N₂O θεωρούνται αμελητέες. Μελέτες για τη μεθανόλη και τον διμεθυλαιθέρα (DME) ως εναλλακτικά καύσιμα που παράγονται από ανανεώσιμο υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα έδειξαν ότι αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα θα μπορούσαν να επιτύχουν μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 82-86% σε σύγκριση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. (Percic et al, 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3.2 ΑΜΜΩΝΙΑ

Η αμμωνία είναι ένα μόριο που κερδίζει περισσότερη προσοχή ως πηγή καυσίμου και έχει εξεταστεί για την τροφοδοσία των μεταφορών, την παραγωγή ενέργειας και την παροχή θερμότητας για πολλά χρόνια. Ωστόσο, τα μοναδικά χαρακτηριστικά του το καθιστούσαν πάντα λιγότερο συμφέρουσα χημική ουσία σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα. Τα τελευταία χρόνια όμως, η επείγουσα ανάγκη μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην οικονομία έχει καταστήσει ζωτικής σημασίας τη διερεύνηση νέων μεθόδων για τη χρήση χημικών ουσιών όπως η αμμωνία που μπορούν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς να εκπέμπουν οξείδια του άνθρακα. Ως αποτέλεσμα, η τρέχουσα έρευνα σε αυτόν τον τομέα ωθεί τους επιστήμονες, τις βιομηχανίες και τις κυβερνήσεις να επενδύσουν σημαντικές προσπάθειες στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων που μπορούν να καταστήσουν την αμμωνία ένα εφικτό καύσιμο για τη μετάβαση σε ένα καθαρότερο μέλλον. (Valera-Medina et al, 2021)

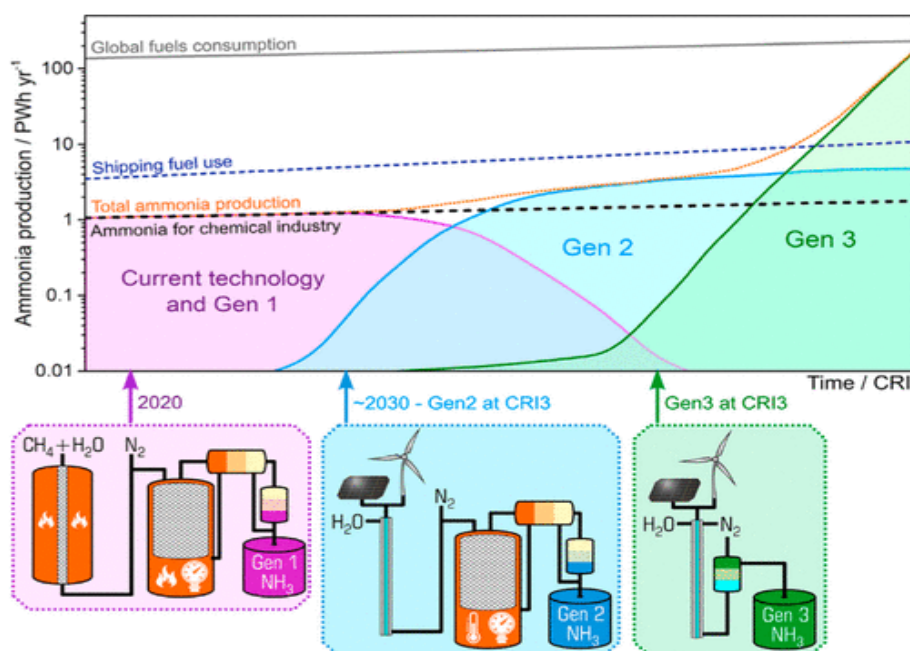
Η αμμωνία, ένα μόριο που αποτελείται από ένα άτομο αζώτου και τρία άτομα υδρογόνου, έχει υψηλή αναλογία υδρογόνου και δεν περιέχει άτομα άνθρακα. Είναι ένα άχρωμο, πικάντικο αέριο και η απλούστερη σταθερή ένωση αζώτου και υδρογόνου. Προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα όσον αφορά την αποθήκευση και τη μεταφορά. Μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί για παράδειγμα, να ψυχθεί στους $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ υπό ατμοσφαιρική πίεση ή στους 0,8-1,0 MPa σε θερμοκρασία δωματίου), καθιστώντας την ένα εύελκτο μέσο. Η αμμωνία μπορεί να καεί απευθείας σε κινητήρες ντίζελ και μπορεί εύκολα να μεταφερθεί μέσω αγωγών, σιδηροδρόμων και πλοίων στην περιοχή κατανάλωσης, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή υδρογόνου, χημικών ουσιών και λιπασμάτων για τη γεωργία, καθώς και ως καύσιμο για μεταφορές, ειδικά σε θαλάσσιες εφαρμογές. Είναι ένας βιώσιμος φορέας ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε πρωτογενή πηγή ενέργειας και μπορεί να συμβάλει στη διεύρυνση των πόρων καυσίμων οχημάτων. Επιπλέον, μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές, καθιστώντας το μια μακροπρόθεσμη επιλογή. Όταν καίγεται, η αμμωνία παράγει κυρίως νερό και άζωτο, καθιστώντας την έναν αποτελεσματικό τρόπο μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. (Bicer et al, 2018)

Λόγω της ευελιξίας του, αυτό το μόριο διανέμεται ευρέως σε εμπορική και παγκόσμια κλίμακα, με ετήσια παραγωγή 180 εκατομμυρίων τόνων παγκοσμίως, γεγονός που το καθιστά το δεύτερο πιο εμπορευματοποιημένο χημικό στον κόσμο. (Valera-Medina et al, 2021)

Οι νέοι κανόνες που διέπουν τα πλοία που κινούνται με αμμωνία μπορεί να είναι παρόμοιοι με εκείνους που ορίζονται στους ισχύοντες κανονισμούς για πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμο LNG. Η αμμωνία μεταφέρεται στο εξωτερικό μέσω δεξαμενόπλοιων για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, γεγονός που δείχνει ότι η υποδομή για αμμωνία επί του πλοίου είναι ήδη σε ισχύ. Όταν πρόκειται για χημικές διαρροές, η αμμωνία είναι βιοδιασπώμενη, πράγμα που σημαίνει ότι αραιώνεται γρήγορα, χωρίς να αποτελεί απειλή για την άγρια ζωή. Επιπλέον, η υπόλοιπη αμμωνία μεταβολίζεται εύκολα και με ασφάλεια από ζωντανούς οργανισμούς, κάτι που δεν συμβαίνει με τις πετρελαιοκηλίδες που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες που διαρκούν για δεκαετίες. Το γεγονός ότι η αμμωνία είναι ελαφρύτερη από τον αέρα είναι ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα. Αν και η αμμωνία είναι τοξική, αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με ακριβή σχεδιασμό μηχανικής και αντλώντας από προηγούμενες εμπειρίες στον τομέα. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η εισαγωγή αμμωνίας ως καυσίμου στις θαλάσσιες μεταφορές θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως καλό παράδειγμα και να ανοίξει το δρόμο για τη χρήση της και σε άλλα οχήματα. (Bicer et al, 2018)

Το καύσιμο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως «καφέ» (παράγεται από ορυκτές πηγές), «μπλε» (παράγεται από ορυκτές πηγές με δέσμευση άνθρακα) ή «πράσινο» (παράγεται από υδρογόνο ανανεώσιμης προέλευσης σε μια διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτρόλυση). «Ενώ η παραγωγή

μπλε αμμωνίας έχει ως αποτέλεσμα 85% λιγότερες εκπομπές CO₂ από τις καφέ παραλλαγές, μόνο η πράσινη αμμωνία είναι καύσιμο μηδενικού άνθρακα». (DNV, 2023) Προκειμένου να επιτευχθεί λοιπόν μια οικονομία μηδενικών εκπομπών άνθρακα, είναι επιτακτική ανάγκη να παραχθεί αμμωνία με ελάχιστο ή μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα. Σύμφωνα με μελέτη προτείνεται μια μετάβαση μέσω της ανάπτυξης τριών τύπων τεχνολογιών, ή «γενεών» για την επίτευξη αυτού του στόχου. Η πρώτη γενιά θα παράγει «μπλε υδρογόνο», διασφαλίζοντας παράλληλα τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (CCS) του CO₂ που παράγεται κατά την παραγωγή αμμωνίας (η ευκολότερη μέθοδος μεταφοράς υδρογόνου). Η δεύτερη γενιά θα χρησιμοποιήσει ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή «πράσινου υδρογόνου», το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή «πράσινης αμμωνίας». Τέλος, η τρίτη γενιά τεχνολογιών θα αποφύγει εντελώς την παραγωγή υδρογόνου και αντ' αυτού θα παραδώσει αμμωνία μέσω ηλεκτροαναγωγής του N₂, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για τη γνωστή διαδικασία Haber-Bosch που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αμμωνίας σε εμπορική κλίμακα. Ενώ το κόστος είναι το κύριο εμπόδιο για τις γενιές 1 και 2, και η τεχνολογική σκοπιμότητα εξακολουθεί να αποτελεί περιορισμό για την εμπορική ανάπτυξη της γενιάς 3, η παγκόσμια κίνηση προς αυτήν την «οικονομία αμμωνίας» εξελίσσεται συνεχώς. Οι τρέχουσες βιομηχανικές εξελίξεις στην Αυστραλία, μια κοινοπραξία μεταξύ της BAE και της Yara, επικεντρώνονται στην παραγωγή πράσινης αμμωνίας, ενώ η CCS εξετάζεται για μονάδες αμμωνίας στη Νορβηγία. (Valera-Medina et al, 2021)



Εικόνα 11: Χάρτης πορείας για την οικονομία της αμμωνίας που δείχνει τις τρέχουσες και προβλεπόμενες συνεισφορές των σημερινών τεχνολογιών παραγωγής αμμωνίας και γενιάς 1 (μωβ), γενιάς 2 (γαλάζιο) και γενιάς 3 (πράσινης). (Valera-Medina et al, 2021)

Η MAN Energy Solutions αναπτύσσει έναν ευέλικτο σε καύσιμα, δίχρονο κινητήρα αμμωνίας ως βασική τεχνολογία για τη θαλάσσια ενεργειακή μετάβαση και στοχεύει να έχει έναν εμπορικά διαθέσιμο δίχρονο κινητήρα αμμωνίας ήδη από το 2024, ακολουθούμενο από ένα πακέτο μετασκευής για τη σταδιακή ανακατασκευή των υπαρχόντων θαλάσσιων πλοίων έως το 2025. (MAN Energy Solutions, 2023)

Οι ισχύοντες κανονισμοί ασφαλείας του IMO δεν επιτρέπουν τη χρήση της ως καύσιμο πλοίων, λόγω της διάβρωσης και τοξικότητας της αμμωνίας που αυξάνουν τις ανησυχίες για την ασφάλεια που σχετίζονται με την χρήση τους. Εν προκειμένω, απαιτούνται προσαρμογές στα πρωτόκολλα ασφαλείας και στους κανονισμούς του IMO. (Christodoulou et al, 2022)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3.3 ΥΔΡΟΓΟΝΟ

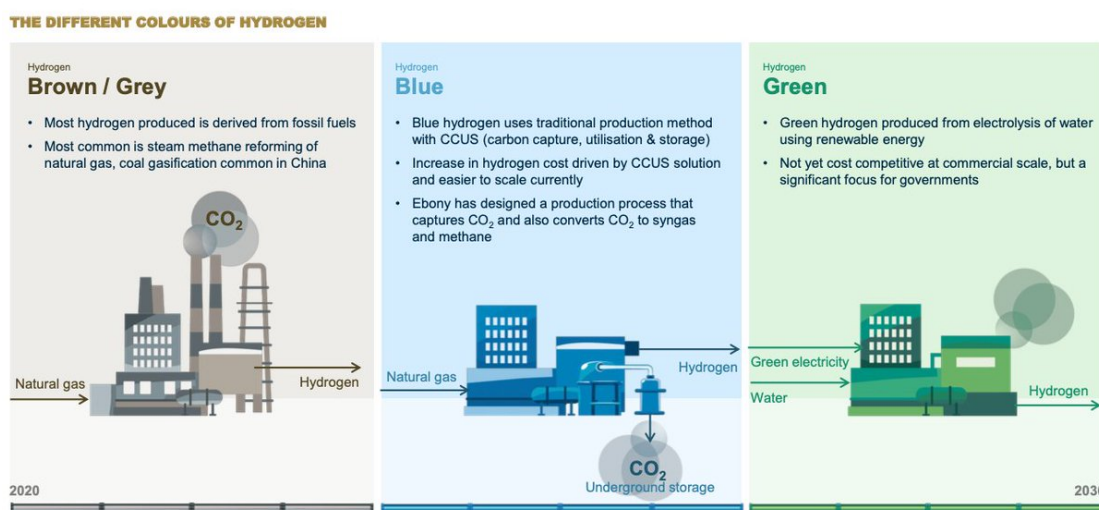
Το υδρογόνο θεωρείται ως ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο μεταξύ των πιθανών εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κυρίως λόγω των ελάχιστων περιβαλλοντικών επιπτώσεών του. Η καύση του έχει ως αποτέλεσμα μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μπορεί να μειωθεί σημαντικά ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής. Η παγκόσμια αγορά υδρογόνου αναμένεται να επεκταθεί από 70 εκατομμύρια τόνους το 2019 σε 120 εκατομμύρια τόνους το 2024. (Atilhan et al, 2021)

Το υδρογόνο δεν μπορεί να βρεθεί στη στοιχειακή ή μοριακή του κατάσταση στη φύση. Αντίθετα, πρέπει να εξάγεται από άλλες ενώσεις. Η χαμηλή πυκνότητα και το ιξώδες του είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που καθορίζουν την παρουσία του σε αέρια μορφή. (Teoh et al, 2023) Ταξινομείται ως γκρι, μπλε ή πράσινο ανάλογα με τις πρώτες ύλες και τη διαδικασία παραγωγής.

Το γκρίζο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα μέσω αναμόρφωσης ατμού. Το 95% των 70 εκατομμυρίων μετρικών τόνων υδρογόνου που παράγονται ετησίως είναι γκρίζο υδρογόνο και πάνω από το 70% του γκρίζου υδρογόνου παράγεται από φυσικό αέριο (κυρίως μεθάνιο). Το γκρι υδρογόνο παράγει περίπου 10kg CO₂ ανά kg παραγόμενου H₂, τοποθετώντας το αποτύπωμα άνθρακα μεταξύ αυτού του φυσικού αερίου και του άνθρακα. (Center For Strategic & International Studies, 2023)

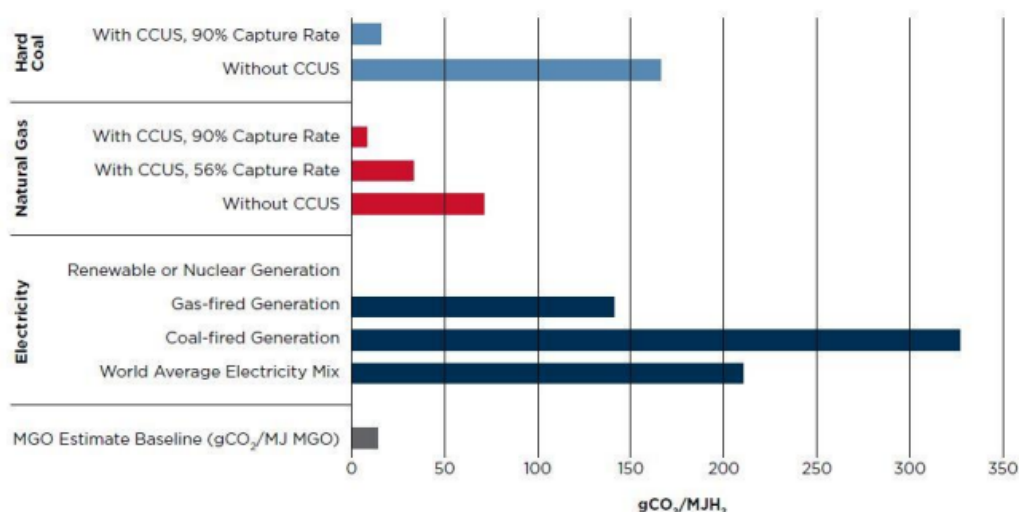
Το μπλε υδρογόνο παράγεται μέσω αναμόρφωσης ατμού, αλλά οι μονάδες παραγωγής εξοπλίζονται εκ των υστέρων με τεχνολογία δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS). Ανάλογα με την τεχνολογία και τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται, οι μονάδες μπλε υδρογόνου μπορούν να συλλάβουν το 50-90% των εκπομπών CO₂, παράγοντας περίπου 2-5 kg CO₂ ανά παραγόμενο kg H₂. Για παράδειγμα, το εργοστάσιο μπλε υδρογόνου στο Port Arthur του Τέξας δεσμεύει περίπου το 60% του CO₂ που δημιουργείται στην παραγωγή. (Center For Strategic & International Studies, 2023)

Το πράσινο υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση, η οποία διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια. Επειδή η ηλεκτρόλυση δεν παράγει CO₂ ως υποπροϊόν, το πράσινο υδρογόνο είναι η μόνη μορφή υδρογόνου με διαδικασία παραγωγής σχεδόν χωρίς άνθρακα. Η ηλεκτρόλυση με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ή αιολική ενέργεια) παράγει λιγότερο από το 5% των εκπομπών CO₂ του γκριζού υδρογόνου (μη μηδενικές λόγω των εκπομπών που παράγονται κατά τη μεταφορά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Αυτή η τεχνική παραγωγής δεν είναι νέα - η αλκαλική ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται εμπορικά εδώ και έναν αιώνα - αλλά το κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου είναι σημαντικά υψηλότερο από ό,τι για το μπλε ή το γκρι υδρογόνο. Το υδρογόνο από ηλεκτρόλυση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχει τη μόνη βιώσιμη και μαζικής παραγωγής πηγή καυσίμου για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. (Center For Strategic & International Studies, 2023)



Εικόνα 12: Τύποι υδρογόνου και η διαδικασία παραγωγής τους (Green Building Africa, 2023)

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής γκριζού και μπλε υδρογόνου είναι σημαντικά υψηλές, με τις εκπομπές CO₂ να φτάνουν περίπου τα 830 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ ετησίως παγκοσμίως. Συγκεκριμένα, η παραγωγή υδρογόνου από φυσικό αέριο εκπέμπει 71 kg CO₂/MJ H₂, ενώ η παραγωγή από άνθρακα εκπέμπει 166 kg CO₂/MJ H₂. Η χρήση τεχνολογιών CCUS (μπλε υδρογόνο) μειώνει σημαντικά αυτούς τους αριθμούς, ενώ η παραγωγή καθαρού υδρογόνου οδηγεί σε σχεδόν μηδενικές εκπομπές. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, η παραγωγή υδρογόνου εκπέμπει μεταξύ 325 kg CO₂ / MJ H₂ και 0 kg CO₂ / MJ H₂, σε σύγκριση με το MGO, το οποίο εκπέμπει 14,2 kg CO₂ / MJ H₂ κατά τη διάρκεια της παραγωγής.



Διάγραμμα 4: Εκπομπές CO₂ ανά τύπο υδρογόνου (ABS, 2021)

Ωστόσο, διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή, η πυρηνική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και η βιομάζα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή υδρογόνου μέχρι σήμερα. Οι περισσότερες από τις μεθόδους παραγωγής πράσινου υδρογόνου περιλαμβάνουν την απόκτηση υδρογόνου μέσω αντιδράσεων διάσπασης νερού (π.χ. ηλεκτρόλυση νερού, θερμόλυση νερού, φωτοκαταλυτική διάσπαση νερού και θερμοχημική διάσπαση νερού) ή μέσω αφυδρογόνωσης μορίων φορέα υδρογόνου. Η μεγαλύτερη μονάδα πράσινου υδρογόνου στον κόσμο, η οποία θα λειτουργεί με δυναμικότητα 650 τόνων / ημέρα παραγωγής υδρογόνου χρησιμοποιώντας ηλεκτρόλυση και 4 GW ανανεώσιμης ενέργειας από ηλιακή, αιολική ενέργεια και αποθήκευση, προγραμματίζεται να κατασκευαστεί το 2025. (Atilhan et al, 2021)

Όσον αφορά τη συμπεριφορά του, το υδρογόνο λαμβάνεται και μεταφέρεται σε υγρή μορφή σε κρυογονικές δεξαμενές με θερμοκρασία -253 °C ή σε φιάλες υψηλής πίεσης με πίεση έως 80 MPa, ή εναλλακτικά, μπορεί να παραχθεί από άλλες χημικές ουσίες όπως η αμμωνία. Επιπλέον, μοιράζεται κάποιες ομοιότητες με το LNG, αλλά έχει και ορισμένες διαφορές. Πρώτον, καταλαμβάνει διπλάσιο χώρο σε μια δεξαμενή από το LNG, το οποίο απαιτεί μεγαλύτερες δεξαμενές καυσίμου και μειώνει τη χωρητικότητα φορτίου. Ωστόσο, είναι 20 φορές ελαφρύτερο από το LNG, το οποίο απαιτεί μεγαλύτερα πλοία και νέα σχέδια. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για ενεργοποίηση και ανάφλεξη, είναι ευκολότερο να καεί από το LNG. Το γεγονός όμως ότι έχει υψηλά σημεία συγκέντρωσης εντός του χώρου όπου απελευθερώνεται, αυξάνει τον κίνδυνο έκρηξης. Ακόμη, η φωτιά εξαπλώνεται πιο γρήγορα όταν έρχεται σε επαφή με κακό οξυγόνο, πράγμα που σημαίνει ότι οποιαδήποτε διαρροή σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο μπορεί να προκαλέσει σημαντική ζημιά. Παρ' όλα αυτά, οι εκλάμψεις υδρογόνου είναι αόρατες, καθιστώντας δύσκολη την ανίχνευση πυρκαγιών.

Ως εκ τούτου, πρέπει να ληφθούν μέτρα πυρασφάλειας, όπως η παροχή κατάλληλης εκπαίδευσης στο πλήρωμα, η εγκατάσταση κατάλληλων τεχνολογιών και εξοπλισμού, συστημάτων εξαερισμού που εξασφαλίζουν τη σωστή διαχείριση των καυσίμων, της πίεσης και της θερμοκρασίας και ανιχνευτών υδρογόνου για την άμεση ανίχνευση τυχόν διαρροής.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία πλοίων μέσω κινητήρων καύσης, μέσω της ανάμειξής του με άλλα καύσιμα ή της αποθήκευσής του σε υγρό οργανικό διάλυμα ή ως αμμωνία. Η πιο διαδεδομένη και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος παραγωγής ενέργειας από το H_2 είναι η χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου, η οποία αποτελεί τον κύριο στόχο της πρωτοβουλίας MarHySafe. Κάθε βήμα μετατροπής ενέργειας στην αλυσίδα αξίας οδηγεί σε απώλειες ενέργειας, καθιστώντας το υδρογόνο ιδανική λύση ως επέκταση εμβέλειας και συμπλήρωμα για εφαρμογές παράκτιων και θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων, όταν οι ηλεκτρικές εναλλακτικές λύσεις μπαταρίας δεν είναι βιώσιμες λόγω ανεπαρκούς τοπικής χωρητικότητας δικτύου. Όποτε είναι εφικτό, η άμεση χρήση υδρογόνου μπορεί να μειώσει τις απώλειες ενέργειας που προκύπτουν κατά τη μετατροπή του υδρογόνου σε άλλα καύσιμα και αποτελεί την προτιμώμενη επιλογή για την εφαρμογή αξιακών αλυσίδων μηδενικών εκπομπών. (DNV, 2023)

Αν και η χρήση υδρογόνου ως ναυτικό καύσιμο είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, ήδη ο ναυτιλιακός όμιλος της Αμβέρσας Compagnie Maritime Belge (CMB) έθεσε σε λειτουργία το νέο υδρογονοκίνητο επιβατηγό πλοίο του, Hydroville. Το σκάφος πληρώματος καταμαράν είναι το πρώτο σκάφος που χρησιμοποιεί υδρογόνο για να τροφοδοτήσει έναν κινητήρα ντίζελ.



Εικόνα 13: Το πλοίο «Hydroville» (Lloyd's Register, 2017)

Ακόμη, το 2021 παραδόθηκε και το πρώτο πλοίο που τροφοδοτείται από υγρό υδρογόνο. Ο λόγος για το MF Hydra, ένα πλοίο τύπου ferry-boat 82 μέτρων για τη μεταφορά 300 επιβατών και 80 αυτοκινήτων στο Rogaland στη νοτιοδυτική Νορβηγία. Το πλοίο έχει 80 μέτρα δεξιά καταστρώματα από τα οποία τα 3 είναι γεμάτα με LH_2 . (The Elizabeth Swann, 2023)



Εικόνα 14: Το πλοίο «MF Hydra» (The Elizabeth Swann, 2023)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3.4 ΒΙΟ-ΚΑΥΣΙΜΑ

Τα βιοκαύσιμα, δηλαδή ανανεώσιμα καύσιμα τα οποία δημιουργούνται από τη μετατροπή πρωτογενούς βιομάζας ή υπολειμμάτων βιομάζας σε αέρια ή υγρά καύσιμα, έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις εκπομπές άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Επί του παρόντος, η πλειοψηφία των βιοκαυσίμων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι παραλλαγές του βιοντίζελ, συμπεριλαμβανομένων των μεθυλεστέρων λιπαρών οξέων (FAME) και των υδρογονοκατεργασμένων φυτικών ελαίων (HVO). Αυτά τα καύσιμα παράγονται κυρίως χρησιμοποιώντας φυτικά έλαια όπως κραμβέλαιο, σόγια και φοινικέλαιο, αλλά είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν υπολείμματα και απόβλητα λίπη ως πρώτες ύλες.

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να θεωρηθούν η πλέον «τεχνολογικά έτοιμη» από τις υφιστάμενες επιλογές εναλλακτικών καυσίμων μηδενικών εκπομπών. Ενώ η βιωσιμότητα και η επεκτασιμότητα τους εξακολουθεί να μελετάται, είναι δυνατόν να υποθέσουμε ότι θα είναι πιο άμεσα διαθέσιμα σε σχέση με τα άλλα είδη εναλλακτικών καυσίμων.

Τρεις κατηγορίες βιοκαυσίμων μπορούν να εφαρμοστούν στη ναυτιλιακή βιομηχανία (DNV, 2023):

- Το FAME (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων) προέρχεται από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη ή απόβλητα μαγειρικών ελαίων μέσω μετεστεροποίησης, όπου διάφορα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται σε μεθυλεστέρες. Αυτός είναι ο πιο συχνά προσβάσιμος τύπος βιοντίζελ στον τομέα και συχνά αναμιγνύεται με κανονικό θαλάσσιο ντίζελ. Διεθνή πρότυπα: ISO 8217:2017, EN 14214, ASTM D6751, EN 590

- Τα BTL (Βιομάζα σε υγρά) καύσιμα είναι συνθετικά καύσιμα που παράγονται από βιομάζα μέσω θερμοχημικής μετατροπής χρησιμοποιώντας τη διαδικασία Fischer-Tropsch ή τη διεργασία μεθανόλης-βενζίνης. Το τελικό προϊόν μπορεί να είναι καύσιμα που είναι χημικά διαφορετικά από τα συμβατικά καύσιμα όπως η βενζίνη ή το ντίζελ, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες ντίζελ. Διεθνή πρότυπα: EN 16709, EN 15940
- Το HVO / HDRD (φυτικό έλαιο υδρογόνου / ανανεώσιμο ντίζελ που προέρχεται από υδρογόνωση) είναι το αποτέλεσμα λιπών ή φυτικών ελαίων - μόνα τους ή αναμειγμένα με πετρέλαιο - εξευγενισμένα με μια διαδικασία υδρογονοκατεργασίας γνωστή ως υδρογονοκατεργασία λιπαρών οξέων σε υδρογονάνθρακες. Το ντίζελ που παράγεται χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδικασία ονομάζεται συχνά ανανεώσιμο ντίζελ για να διαφοροποιηθεί από το βιοντίζελ FAME. Το HVO/HDRD μπορεί να εισαχθεί απευθείας στις εγκαταστάσεις διανομής και ανεφοδιασμού, καθώς και στους υπάρχοντες κινητήρες ντίζελ χωρίς περαιτέρω τροποποίηση. Διεθνή πρότυπα: ASTM D 975

Επί του παρόντος, το FAME είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο βιοκαύσιμο σε θαλάσσιες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται είτε σε μείγματα με παραδοσιακά καύσιμα πετρελαίου είτε ως 100% βιοκαύσιμο. (DNV, 2023)

Το απλό φυτικό έλαιο (SVO) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση έναντι του HFO σε κινητήρες χαμηλών στροφών, το βιοντίζελ για αντικατάσταση MDO/MGO σε κινητήρες χαμηλών έως μεσαίων στροφών και το βιουγροποιημένο φυσικό αέριο (βιο-LNG) σε μηχανές αερίου που χρησιμοποιούν LNG.

Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα κυμαίνεται ανάλογα με την τεχνική, τις πρώτες ύλες και την πηγή των πρώτων υλών. Ενώ τα προηγμένα καύσιμα που παράγονται από υπολείμματα καλλιέργειών, αστικά στερεά απόβλητα ή κυτταρινούχες ενεργειακές καλλιέργειες θα μπορούσαν να ξεπεράσουν τη μείωση των εκπομπών κατά 100%, τα βιοκαύσιμα που παράγονται από σόγια και φοίνικα μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένες εκπομπές κύκλου ζωής από εκείνα από ορυκτά καύσιμα όταν λαμβάνονται υπόψη τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες αλλαγές χρήσης γης. (WBCSD, 2023)

Το κύριο εμπόδιο για την επέκταση της χρήσης βιοκαυσίμων στη ναυτιλία είναι το κόστος, καθώς τα βιοκαύσιμα τιμολογούνται κατά 50-150% υψηλότερα από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων και η ικανότητα παραγωγής βιοκαυσίμων είναι περιορισμένες, ενώ άλλες βιομηχανίες, όπως η αεροπορία και τα πλαστικά, ανταγωνίζονται επίσης για βιοενέργεια. Επιπλέον, η ανησυχία για

τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που συνδέονται με τη χρήση βιοκαυσίμων, όπως η αλλαγή της χρήσης γης και οι κοινωνικές επιπτώσεις, περιορίζει το ενδιαφέρον του ναυτιλιακού τομέα για τα βιοκαύσιμα. (WBCSD, 2023)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΛΙΜΕΝΑ - ΠΛΟΙΟΥ (COLD IRONING)

Ως «ψυχρό σιδέρωμα» (Cold Ironing) αναφέρεται η διαδικασία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε ελλιμενισμένα σκάφη από την ξηρά, ώστε να εκτελούνται οι απαραίτητες λειτουργίες του πλοίου στο λιμάνι. Κατά συνέπεια, οι βοηθητικές μηχανές των πλοίων, οι οποίες συνήθως τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια το πλοίο για τη διατήρηση της λειτουργίας του, παραμένουν κλειστές. (Alba et al, 2021) Τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιούν «cold ironing» είτε από πλοίο σε πλοίο (στρατιωτικές εφαρμογές) είτε από ξηρά σε πλοίο με μόνο το τελευταίο να έχει περιβαλλοντικά οφέλη.

Η παροχή ενέργειας από την ξηρά ή shore-power είναι ένας γενικός όρος που περιγράφει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία, μικρά σκάφη, αεροσκάφη και οδικά οχήματα ενώ βρίσκονται σε στάση. Στη ναυτιλία ο όρος «cold ironing» δηλαδή «ψυχρό σιδέρωμα», χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όταν όλα τα πλοία είχαν κινητήρες που χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμο τον άνθρακα. Όταν ένα πλοίο ήταν δεμένο στο λιμάνι, δεν χρειαζόταν να τροφοδοτεί τη φωτιά με αποτέλεσμα οι σιδερένιες μηχανές κυριολεκτικά να κρυώνουν εντελώς, εξ ου και όρος ψυχρό σιδέρωμα.

Τα οφέλη από τη χρήση της μεθόδου είναι κυρίως τοπικά, καθώς με την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των πλοίων από τον σταθμό παραγωγής ενέργειας (ή άλλο είδος ενέργειας) που παρέχει ρεύμα στο λιμάνι, παύουν να απελευθερώνονται ρύποι καθ' όλη τη διάρκεια του ελλιμενισμού. Ως αποτέλεσμα, με τη χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου τοπικά υπάρχουν μειωμένες εκπομπές πλοίων (στον ελλιμενισμό μόνο οι λέβητες των πλοίων θα λειτουργούν και θα εξακολουθούν να εκπέμπουν). (Zis, 2018) Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διασύνδεση του πλοίου με το λιμάνι, το ηλεκτρικό ρεύμα που το τροφοδοτεί προέρχεται κυρίως από φιλικές προς το περιβάλλον πηγές μειώνοντας έτσι περαιτέρω το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. (Προυσαλίδης, 2020)

Η ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου ως μέθοδος μείωσης περιορισμού της ρύπανσης από τα πλοία, πλεονεκτεί σε σύγκριση με άλλες μεθόδους διότι μειώνει ταυτόχρονα την εκπομπή όλων των ρύπων. Το ακριβές ποσοστό μείωσης εξαρτάται από το πραγματικό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Στις περιπτώσεις των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα ελληνικά νησιά του Αιγαίου, που σήμερα χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής

καύσης με βαρύ μαζούτ, υπάρχει δυνατότητα μείωσης λόγω του βελτιωμένου συντελεστή πληρότητας των μηχανών που διαχειρίζεται ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τους συντελεστές πληρότητας των βοηθητικών μηχανών θαλάσσης των ελλιμενισμένων πλοίων. Οι τοποθεσίες των σταθμών παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται συνήθως εκτός των ορίων της πόλης βελτιώνουν περαιτέρω την κατάσταση. (Kotrikla et al, 2016) Έχει υπολογιστεί ότι το «ψυχρό σιδέρωμα» μειώνει το σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη ναυτιλία κατά λιγότερο από 0,5%. αν και μεγαλύτερη σημασία έχουν τα οφέλη που σχετίζονται με τη μείωση των SO_x, NO_x και PM και τη βελτίωση της ποιότητας του τοπικού αέρα. (Spengler et al, 2020). Σύμφωνα με μελέτες, με τη χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν κατά ποσοστό 30% ενώ οι εκπομπές NO_x και των λοιπών ρύπων μπορούν να μειωθούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%. (SAFETY4SEA, 2019)

Τα οφέλη από την τροφοδότηση των πλοίων με ηλεκτρική ενέργεια από τη ξηρά πολλαπλασιάζονται αν η ενέργεια αυτή προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως ο ήλιος και ο άνεμος. Οι ηλιακοί και αιολικοί πόροι είναι σε αφθονία στα νησιά του Αιγαίου, γεγονός που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί κατάλληλα συμβάλλοντας έτσι περαιτέρω στη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Ωστόσο η χρήση αποκλειστικά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενέχει περιορισμούς, καθώς τόσο η ηλιακή ενέργεια όσο και η αιολική εξαρτώνται από φυσικούς παράγοντες. Η ένταση της ηλιακής ενέργειας ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και κατά τη διάρκεια των εποχών και επηρεάζεται από τη νεφοκάλυψη, ενώ η αιολική ενέργεια επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου και την πυκνότητα του αέρα. Επομένως, δεν είναι εφικτό να καλύψουν τις ηλεκτρικές ανάγκες των πλοίων ανά πάσα στιγμή. (Kotrikla et al, 2016)

Μέχρι το 2018 τουλάχιστον 43 λιμάνια είχαν ήδη εγκαταστήσει είτε προγραμματίζουν να εγκαταστήσουν υποδομές ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου . Μερικά από αυτά τα λιμάνια είναι τα εξής (SAFETY4SEA, 2019) :

- Το λιμάνι του Los Angeles
- Το λιμάνι του Long Beach
- Το λιμάνι του Seattle
- Το λιμάνι του Antwerp
- Το λιμάνι της Κυλλήνης, αποτελεί και το πρώτο λιμάνι με τέτοιες υποδομές στην Ανατολική Μεσόγειο.

Στα λιμάνια της Καλιφόρνια η χρήση της ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου είναι υποχρεωτική για τους ναυλωτές και συνεπώς οι ναυλωτές και τα λιμάνια είναι υποχρεωμένοι να επενδύσουν σε αυτή την τεχνολογία. Ακόμη, στην Ευρώπη, όλα τα λιμάνια θα πρέπει

υποχρεωτικά να έχουν τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου μέχρι το τέλος του 2025. (Zis, 2018)

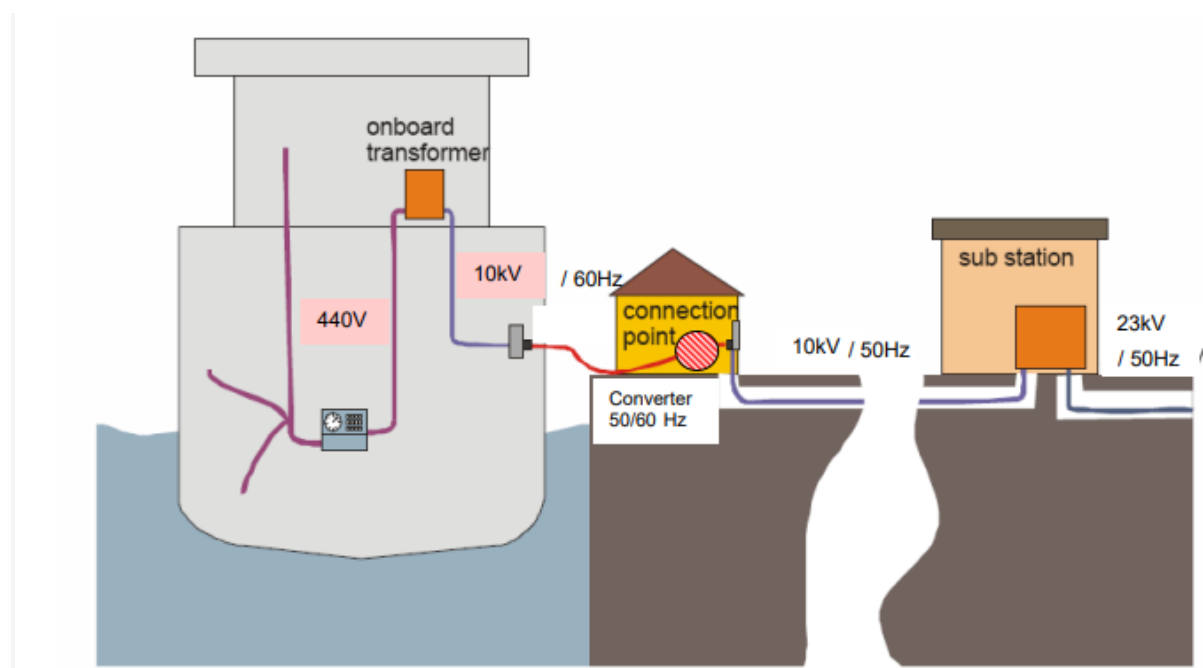


Εικόνα 15: Σχέδιο ηλεκτρικής διασύνδεσης πλοίου με λιμάνι (BALUCO, 2019)

Το συνολικό κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση τεχνολογίας «ψυχρού σιδερώματος» σε μεσαίου μεγέθους λιμάνια, σύμφωνα με έκθεση, θα ήταν περίπου 6,6 εκατομμύρια λίρες (7,4 εκατομμύρια ευρώ), ενώ το σύστημα θα εξοικονομούσε ετήσιες εκπομπές 108 τόνων NO_x, 2,7 τόνων PM και 4.767 τόνων εκπομπών CO₂ αξίας 1,3 εκατομμυρίων λιρών (1,4 εκατομμύρια ευρώ). Όσον αφορά την απόσβεση αυτής της διαδικασίας, η έκθεση αναφέρει ότι στην καλύτερη περίπτωση, τα οφέλη εξωτερικού κόστους θα επέστρεφαν το κεφάλαιο του συστήματος και το λειτουργικό κόστος σε μόλις 7,0 χρόνια, ή 3,5 χρόνια εάν επιδοτούνταν κατά 50% από την ΕΕ. (SAFETY4SEA, 2019)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 20 05/33/EC που ήρθε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2010, η οποία απαιτεί ότι η περιεκτικότητα σε θείο των ναυτικών καυσίμων να είναι μικρότερη από 0.1% όταν τα πλοία είναι δεμένα. Η οδηγία δεν ισχύει για πλοία τα οποία είναι στο λιμάνι για λιγότερο από 2 ώρες και για πλοία που όταν βρίσκονται στο λιμάνι όλες οι μηχανές τους είναι απενεργοποιημένες και τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από τη στεριά. Επιπλέον με τη σύσταση 20 06/339/EC, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει σε όλα τα κράτη μέλη την εγκατάσταση δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας από τη στεριά, ιδίως σε λιμάνια τα οποία υπερβαίνουν το όριο ποιότητας αέρα ή στα οποία έχει εκφραστεί δημόσια ανησυχία για υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Μια υποστηρικτική πολιτική είναι η οδηγία 20 03/96/EC η οποία καλύπτει τη φορολογία των ηλεκτρικών προϊόντων και ενέργειας και επιτρέπει στα κράτη μέλη να κατοχυρώνουν εξαιρέσεις ή μειώσεις στην φορολογία που

σχετίζεται με την ηλεκτρική ενέργεια για συγκεκριμένες πολιτικές προσεγγίσεις. Η Γερμανία και η Σουηδία έχουν ήδη αποκτήσει τις απαραίτητες άδειες για να εξασφαλίσουν μειωμένους φορολογικούς συντελεστές στην ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στα πλοία όταν είναι σταθμευμένα στο λιμάνι ως ένα ενθαρρυντικό μέσο για την προώθηση της υιοθέτησης του συστήματος ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου από τα λιμάνια. (Kotrikla et al, 2016)



Εικόνα 16: Γενικό σχέδιο ηλεκτρικής διασύνδεσης πλοίου με ξηρά (Battistelli et al, 2012)

Εξοπλισμός

Προκειμένου ένα λιμάνι να μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα του «ψυχρού σιδερώματος» θα πρέπει οι ηλεκτρικές διασυνδέσεις λιμένα – πλοίου να ακολουθούν το διεθνές πρότυπο IEC/IEEE80005-1/2/3. Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν είναι οι εξής: (Προυσαλίδης, 2020)

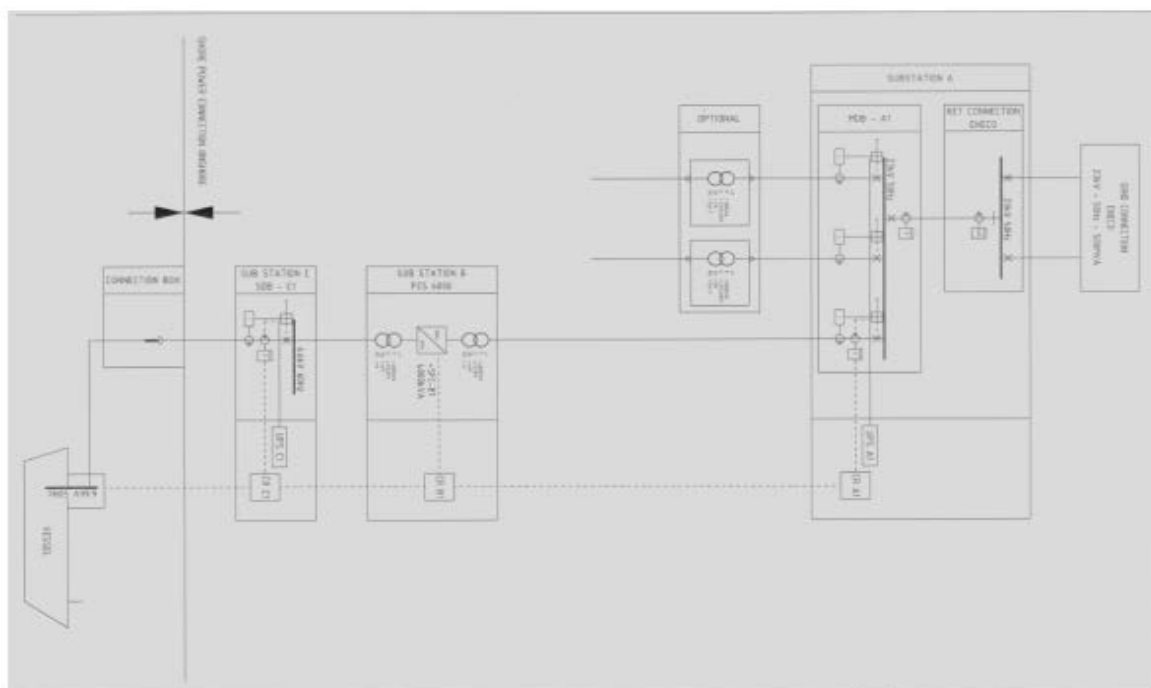
- Διασυνδέσεις με μεγαλύτερη ονομαστική τάση από 1000 V πρέπει να ακολουθούν το πρότυπο 80005-1 το οποίο εφαρμόζεται όταν οι απαιτήσεις ισχύος υπερβαίνουν το 1 MW. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθείται το πρότυπο 80005-3.
- Με βάση το πρότυπο 80005-2 απαιτείται η συνεργασία μεταξύ του συστήματος διαχείρισης του πλοίου και του λιμένα ώστε να αποφεύγεται η στιγμιαία διακοπή λειτουργίας κατά τη διασύνδεση.

Εκτός από τις ανωτέρω προδιαγραφές, τόσο το λιμάνι διασύνδεσης όσο και το πλοίο θα πρέπει να φέρουν και τα απαραίτητα μέσα και εξοπλισμό ώστε να μπορεί να γίνει η τροφοδότηση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (Smits, 2008):

Για το λιμάνι διασύνδεσης απαιτούνται :

- Καθαρή (κύρια) σύνδεση
- Καλωδιακές συνδέσεις
- Μετασχηματιστές διανομής
- Τοπικός κεντρικός πίνακας διανομής (εγκατάσταση υψηλής τάσης)
- Χώρος στάθμευσης Υποσταθμού
- Μετασχηματιστής (για τη ρύθμιση της τάσης του δικτύου και της τάσης του σκάφους στην τάση εισόδου / εξόδου του μετατροπέα)
- Μετατροπέας συχνότητας (για τη ρύθμιση της συχνότητας του πλέγματος στη συχνότητα του δοχείου)
- Ανάλογα με τον τύπο του μετατροπέα που επιλέγεται, απαιτείται υπο-πίνακας διανομής 10 kV
- 10kV / 6,6 kV υποσταθμός διανομής
- Υποσταθμοί Περιοχή πλοίων
- Κουτί σύνδεσης ισχύος ξηράς



Εικόνα 17: Ενδεικτικό σχέδιο των βασικών στοιχείων στο λιμάνι διασύνδεσης (Smits, 2008)

Για το πλοίο απαιτούνται :

- Πίνακας διανομής χαμηλής τάσης
- Σύστημα ελέγχου πλακέτας διακοπών
- Δρομολόγηση καλωδίων
- Καλώδιο υψηλής τάσης
- Ερμάριο απομόνωσης
- Πλευρική σύνδεση ξηράς

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου συνοψίζονται στα εξής :

- Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις επικίνδυνες εκπομπές (π.χ. SO_x, NO_x, VOC, PM, CO, N₂O, CH₄) στο τοπικό περιβάλλον. Δεδομένου ότι η ισχύς που παρέχεται από το εθνικό δίκτυο (δηλαδή από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής) υπόκειται σε αυστηρότερο έλεγχο εκπομπών (συμπεριλαμβανομένου του CO₂) από ότι η ενέργεια που παρέχεται από ηλεκτρομηχανές, το συνολικό επίπεδο εκπομπών καυσαερίων από πλοία που χρησιμοποιούν ενέργεια από ξηρά μειώνεται σημαντικά.
- Το μικροκλίμα στα λιμάνια και τις περιοχές γύρω από αυτά θα βελτιωθεί σημαντικά.
- Αν και τα πλοία θα χρειάζονται πάντα ηλεκτρομηχανές για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στη θάλασσα, το λειτουργικό κόστος λειτουργίας και οι επενδύσεις κεφαλαίου για αυτούς τους κινητήρες θα είναι χαμηλότερα εάν η χρήση τους είναι περιορισμένη. Ταυτόχρονα η διάρκεια «ζωής» των ηλεκτρογεννητριών θα είναι μεγαλύτερη λόγω της μη χρήσης τους κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού.
- Εξαλείφεται ο θόρυβος και οι δονήσεις που δημιουργούνται από τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών όσο το πλοίο παραμένει στο λιμάνι.
- Το κόστος εργασίας των κρουαζιερόπλοιων που συνδέεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ΑΕ κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού θα μειωθεί.
- Βελτιώνονται οι συνθήκες εργασίας για τους ναυτικούς.

Αντίστοιχα όπως κάθε σύστημα, έτσι και η ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα/περιορισμούς , τα οποία είναι τα εξής (Ballini et al, 2015):

- Η ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτείται από τις ηλεκτρομηχανές είναι γενικά φθηνότερη από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γη.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτείται από ηλεκτρομηχανές απαλλάσσεται από τον εθνικό φόρο ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας εντός της ΕΕ. Ωστόσο, το 2011 η ΕΕ

χορήγησε εξαιρέσεις για να επιτρέψει στις χώρες να παρέχουν χερσαία ενέργεια με μειωμένο συντελεστή (δηλαδή χωρίς να καταβάλλουν τοπικούς περιβαλλοντικούς ενεργειακούς φόρους) ως κίνητρο για τις ναυτιλιακές εταιρείες να χρησιμοποιούν χερσαία ενέργεια.

- Πρέπει να πραγματοποιηθούν σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που βασίζονται στη γη.
- Η τροφοδοσία ξηράς μπορεί να παρέχεται μόνο όταν τα σκάφη είναι αγκυροβολημένα και όχι κατά τους ελιγμούς ή κατά τη διάρκεια της ναυσιπλοΐας. Ως εκ τούτου, τα λιμενικά περιβάλλοντα θα εξακολουθήσουν να υπόκεινται σε ένα ορισμένο επίπεδο εκπομπών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

Η χρήση της ισχύος της μπαταρίας έχει αποκτήσει τεράστια δημοτικότητα στον κλάδο των μεταφορών, καθώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν γίνει κοινό θέαμα στους δρόμους. Ο θαλάσσιος τομέας έχει επίσης ενταχθεί στη μόδα ενσωματώνοντας μπαταρίες στα πλοία για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και την προώθηση της ενεργειακής μετάβασης. Επί του παρόντος, περισσότερα από 150 πλοία λειτουργούν με μπαταρίες επί του σκάφους, και άλλα 100 πλοία εξοπλισμένα με μπαταρίες βρίσκονται υπό κατασκευή.

Οι παραδοσιακές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή εφεδρικής ισχύος στα πλοία είναι μπαταρίες μολύβδου, οι οποίες διέπονται από μακροχρόνια πρωτόκολλα εγκατάστασης και συντήρησης. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος με εξαερισμό ή οι μπαταρίες μολύβδου οξέος ρυθμιζόμενες με βαλβίδα βρίσκονται συνήθως σε πλοία και απαιτούν σχετικά χαμηλές επενδύσεις CAPEX. Αυτές οι μπαταρίες είναι αξιόπιστες, ανακυκλώσιμες και λειτουργούν ως εφεδρικά συστήματα ισχύος σε όλα τα είδη σκαφών.

Η πιο πρόσφατη πρόοδος στην ισχύ της μπαταρίας είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες προσφέρουν μια σειρά εφαρμογών για τους πλοιοκτήτες. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρική ισχύς και να υποστηρίξουν το λειτουργικό προφίλ του πλοίου, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης συστημάτων δυναμικής τοποθέτησης (DP). Μπορούν επίσης να επιτρέψουν στα πλοία να λειτουργούν σε λειτουργία μηδενικών εκπομπών, με τις μπαταρίες να χρησιμεύουν ως μοναδική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επιτρέποντας στα πλοία να συμμορφώνονται με αυστηρούς λιμενικούς κανονισμούς και να πλέουν σε περιβαλλοντικά ελεγχόμενες περιοχές (ECA). Επιπλέον, οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για «μέγιστο ξύρισμα» αναλαμβάνοντας από τα ενσωματωμένα σετ γεννητριών για να παραδώσουν το μέγιστο φορτίο ενέργειας. (Bureau Veritas, 2023)

Τα επιβατηγά πλοία ανάλογα το δρομολόγιο τους, δένουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα στις ίδιες τοποθεσίες. Αυτό το χαρακτηριστικό τα καθιστά κατάλληλα για πλήρη ηλεκτρική πρόωση ως αποτέλεσμα των μικρότερων αποστάσεων και των σύντομων περιόδων πρόσδεσης. Κατά την τελευταία δεκαετία, οι εταιρείες πορθμείων στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Ασία πειραματίζονται και εφαρμόζουν υβριδικά συστήματα πρόωσης. Το σκωτσέζικο πλοίο ro/rax Hallaig ήταν το πρώτο που υιοθέτησε αυτή την τεχνολογία το 2013 και από τότε, τα υβριδικά συστήματα έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή μεταξύ των επιβατηγών πλοίων όλων των μεγεθών, συμπεριλαμβανομένου του Color Hybrid 3.200 dwt, ενός πλοίου ro/rax που λειτουργεί μεταξύ Νορβηγίας και Σουηδίας υπό την αιγίδα της Color Line. (Bencki, 2021)

Οι σκανδιναβικές ακτοπλοϊκές εταιρείες πρωτοστάτησαν στην υιοθέτηση υβριδικής πρόωσης, αλλά οι ομόλογοί τους στη Βόρεια Αμερική ακολουθούν γρήγορα το παράδειγμά τους. Η Washington State Ferries ανακοίνωσε σχέδια για τη χρήση plug-in υβριδικών πλοίων στις περισσότερες διαδρομές της μέχρι το 2040 και η πολιτεία έχει αναθέσει μια σειρά νέων υβριδικών πορθμείων μπαταρίας από την Vigor Industrial, με την ABB να παρέχει τα συστήματα ισχύος. Επιπλέον, με την οικονομική υποστήριξη της Ναυτιλιακής Διοίκησης των ΗΠΑ, η εταιρεία μετατρέπει ένα από τα μεγαλύτερα υπάρχοντα πορθμεία της από ντίζελ-ηλεκτρικό σε υβριδικό μπαταρίας. (Bencki, 2021)

Η Casco Bay Lines, μια μη κερδοσκοπική εταιρεία πορθμείων με έδρα το Πόρτλαντ του Μέιν, ολοκλήρωσε πρόσφατα το σχεδιασμό για ένα νέο υβριδικό πορθμείο μπαταρίας που θα εξυπηρετεί τη διαδρομή του προς το Peaks Island, μια μικρή κοινότητα ανατολικά της προκουμιάς στο κέντρο της πόλης. Πρόκειται για ένα plug-in υβριδικό σύστημα πρόωσης που θα επαναφορτίζεται ενώ βρίσκεται στην προβλήτα στην πλευρά του Πόρτλαντ της διαδρομής. (Bencki, 2021)

Όμοια με τα επιβατηγά πλοία και στα ρυμουλκά η επιχειρησιακή διαδικασία μπορεί συχνά να αναπαραχθεί με συνέπεια: ταξίδι στο πλοίο – παροχή ελαφριάς βοήθειας κυρίως – παροχή βαριάς βοήθειας όταν είναι απαραίτητο – επιστροφή στη ζώνη ελλιμενισμού. Με επιμήκη διάρκεια στην αποβάθρα, αυτό παρουσιάζει μια βολική ευκαιρία επαναφόρτισης των μπαταριών. Το επιχειρησιακό περίγραμμα για την πλειοψηφία των ρυμουλκών που έχουν ανατεθεί για ρυμουλκά είναι απολύτως κατάλληλο για πλήρως ηλεκτρική πρόωση, λόγω των σύντομων αυξήσεων της ανάγκης υψηλής ισχύος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βαριάς υποβοήθησης και των μικρότερων διαστημάτων 3-4 ωρών που περνούν μακριά από την ακτή. (Wartsila, 2023)

Άλλο ένα είδος πλοίων που μπορούν να μετατραπούν σε πλήρως ηλεκτρικά είναι τα εσωτερικά σκάφη, τα οποία επίσης διαθέτουν το πλεονέκτημα του συχνού ελλιμενισμού, ωστόσο, ο τρόπος λειτουργίας τους διαφέρει σημαντικά από τα πορθμεία και τα ρυμουλκά. Λειτουργούν

χωρίς στάση μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους, ο οποίος αλλάζει με βάση το χρονοδιάγραμμα φορτίου. Για αυτή την κατηγορία σκαφών, τα ανταλλάξιμα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες εμπορευματοκιβωτίων) είναι μια τέλεια λύση. Τα ανταλλάξιμα εμπορευματοκιβώτια αποθηκεύονται και τροφοδοτούνται κατά διαστήματα κατά μήκος της πλωτής οδού και αντικαθίστανται όταν το πλοίο διέρχεται ή μπορούν να συγχρονιστούν με φόρτωση ή εκφόρτωση φορτίου. (Wartsila, 2023)

Οι μπαταρίες προσφέρουν πληθώρα ευκαιριών για τη ναυτιλία. Αυτή η ταχέως αναπτυσσόμενη αγορά μπορεί να δώσει στους πλοιοκτήτες ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, να βοηθήσει τα ναυπηγεία να αποκτήσουν τεχνογνωσία και να δημιουργήσουν νέες αγορές για τους κατασκευαστές εξοπλισμού. Αν και το ενσωματωμένο ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης είναι συνήθως απλό, η υποδομή φόρτισης στην ξηρά δεν είναι. Η διάρκεια επαναφόρτισης του πλοίου είναι περιορισμένη λόγω του σύντομου χρόνου διεκπεραίωσης. Συνήθως, το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ανεπαρκές, απαιτώντας ένα χερσαίο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για να λειτουργήσει ως buffer για την ηλεκτρική ενέργεια και να επιτρέψει ταχύτερη φόρτιση σε υψηλότερες εξόδους ισχύος. Ακόμη, υπάρχουν και άλλες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως οι ανησυχίες για την ασφάλεια και το κόστος και ο κύκλος ζωής των μπαταριών, προτού καταστεί δυνατή η τακτική ενσωμάτωση των μπαταριών στα πλοία.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα ερευνητικό πρότζεκτ, το οποίο σε συνεργασία με τον βρετανικό νηογνώμονα Lloyd's Register, στοχεύει στη διερεύνηση της επίδρασης εναλλακτικών καυσίμων στους δείκτες απόδοσης επιβατηγών/οχηματαγωγών πλοίων. Πιο συγκεκριμένα στο τέλος αυτής της εργασίας αναμένεται να έχουν απαντηθεί τα εξής ερωτήματα :

1. Πως διαμορφώνεται ο δείκτης έντασης άνθρακα CII και ποια η κατηγοριοποίηση σε βάθος 6 ετών για πλοία που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα;
2. Πως επιδρά στο δείκτη έντασης άνθρακα CII και στην κατηγοριοποίηση σε βάθος 6 ετών η χρήση εναλλακτικών καυσίμων;
3. Ποιο είναι το οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος από την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά;

Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν 19 επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία ενός στόλου. Πρόκειται για πλοία διαφόρων μεγεθών και χωρητικότητας (Gross Tonnage).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δεδομένα

Για τα 19 πλοία του στόλου λάβαμε τις αναλυτικές καθημερινές καταγραφές (noon reports) για ένα ολόκληρο έτος. Από τα δεδομένα που περιείχαν αυτές οι καταγραφές έπειτα από φιλτράρισμα διαχωρίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή τα παρακάτω :

- Η χωρητικότητα τους σε Gross Tonnage.
- Οι συνολικές ετήσιες καταναλώσεις των πραγματικών καυσίμων των πλοίων, σε τόνους (tonnes).
- Η συνολική απόσταση που διανύουν μέσα στο έτος, σε ναυτικά μίλια (nm).
- Οι ετήσιες καταναλώσεις των πραγματικών καυσίμων των πλοίων για όση διάρκεια τα πλοία παραμένουν στο λιμάνι, σε τόνους (tonnes).

Ακολουθούν οι πίνακες με τις ιδιότητες των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς :

Type of Fuel	Lower Calorific Value (LCV) (kJ/kg)	Carbon Factor C_{f, CO_2}
HFO	40,200	3.114
MGO	42,700	3.206
LFO	41,200	3.151
LNG	48,000	2.750
METHANOL	19,900	1.375

Πίνακας 9: Ιδιότητες καυσίμων (ISWG-GHG 11/2/3, 2022)

Type of Fuel	\$/t	€/t
HFO	455	430.5
MGO	925	875.1
LFO	641	606.4
LNG	630	596.0
GREEN METHANOL	950	898.8
GREY METHANOL	370	346.2

Πίνακας 10: Κόστη απόκτησης καυσίμων

Electricity production	\$/kWh	€/kWh
Cold Ironing	0.18	0.1692
Generated on board	0.26	0.2444

Πίνακας 11: Κόστη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος

Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ενδεικτικές τιμές :

- Το επενδυτικό κόστος υποδομών για τεχνολογία ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου στο πλοίο θεωρήθηκε ίσο με 940,000€/ πλοίο.
- Το κόστος του διοξειδίου του άνθρακα στα πλαίσια του κανονισμού EU ETS θεωρείται ίσο με 82.09€, τιμή αναφοράς τη χρονική περίοδο που διεξάγεται η ερευνητική εργασία.

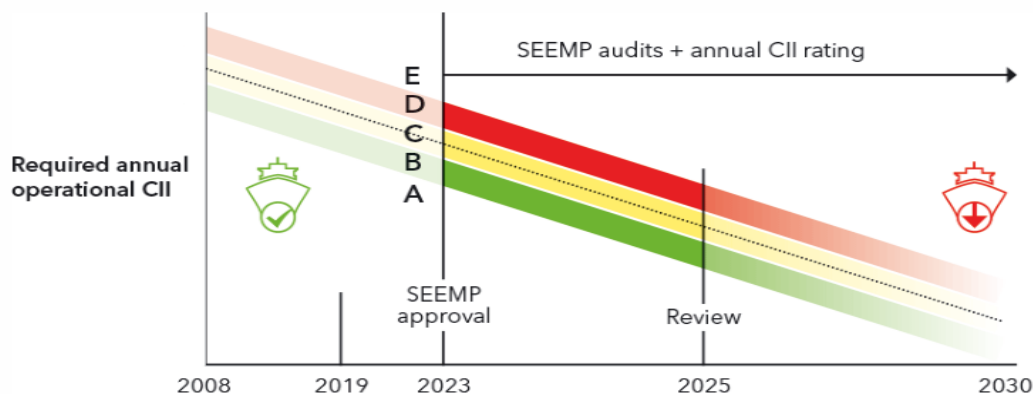
Μεθοδολογία

Για την απάντηση των ερωτημάτων που τέθηκαν, εξετάζονται τα παρακάτω σενάρια και η επίδραση τους στο δείκτη έντασης άνθρακα CII καθώς και το περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος που επιφέρουν:

- Μηχανές με συμβατικό καύσιμο
- Μηχανές με καύσιμο LNG
- Μηχανές με καύσιμο μεθανόλη
- Χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου (cold ironing) κατά τον ελλιμενισμό
- Μηχανές με καύσιμο LNG και χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα – πλοίου (cold ironing) κατά τον ελλιμενισμό
- Μηχανές με καύσιμο μεθανόλη και χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου (cold ironing) κατά τον ελλιμενισμό.

CII: Δείκτης Έντασης Άνθρακα

Ο δείκτης έντασης άνθρακα (CII) που μελετάται στο παρόν πρότζεκτ, είναι ένα σύστημα διαβάθμισης για πλοία που ανέπτυξε ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO). Πρόκειται για υποχρεωτικό μέτρο σύμφωνα με το παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL, το οποίο τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2023. Το μέτρο θα επηρεάσει όλα τα φορτηγά, RoPax και κρουαζιερόπλοια άνω των 5.000 τόνων ολικής χωρητικότητας (GT) και το διεθνές εμπόριο. Το CII καθορίζει τον ετήσιο συντελεστή μείωσης που απαιτείται για τη συνεχή βελτίωση της λειτουργικής έντασης άνθρακα του πλοίου εντός συγκεκριμένου επιπέδου ικανότητας. Το πραγματικό ετήσιο επιχειρησιακό CII που επιτυγχάνεται θα πρέπει να τεκμηριώνεται και να επαληθεύεται σε σχέση με το απαιτούμενο ετήσιο επιχειρησιακό CII. Αυτό θα επιτρέψει στη συνέχεια τον προσδιορισμό της λειτουργικής έντασης άνθρακα σε κλίμακα A, B, C, D ή E, υποδεικνύοντας ένα μείζον ανώτερο, δευτερεύον ανώτερο, μέτριο, δευτερεύον κατώτερο ή κατώτερο επίπεδο απόδοσης. Το επίπεδο επιδόσεων θα πρέπει να καταγράφεται στο σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (SEEMP). (Lloyds Register, 2023)



Εικόνα 18: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής CII

Η μονάδα του CII είναι "γραμμάρια CO₂ που εκπέμπεται ανά ικανότητα μεταφοράς φορτίου και ναυτικό μίλι", όπου η χωρητικότητα φορτίου είναι είτε νεκρού βάρους είτε μικτών τόνων ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Επιπλέον, για την αντιμετώπιση ειδικών συνθηκών σχεδιασμού και λειτουργίας, οι διορθωτικοί συντελεστές, που βρίσκονται υπό ανάπτυξη, και οι προσαρμογές ταξιδιού μπορούν να εφαρμοστούν στους βασικούς υπολογισμούς CII για τους σκοπούς του προσδιορισμού της ικανότητας.



Εικόνα 19: Υπολογισμός επιτευχθέντα δείκτη CII

Στην απλούστερη μορφή του, το επιτευχθέν ετήσιο λειτουργικό CII μεμονωμένων πλοίων υπολογίζεται ως ο λόγος της συνολικής μάζας του CO₂ (M) που εκπέμπεται προς το συνολικό μεταφορικό έργο (W) που πραγματοποιήθηκε σε ένα δεδομένο ημερολογιακό έτος, ως εξής:

$$\text{attainedCII}_{\text{ship}} = M / W$$

Σύμφωνα με τη (MEPC.352(78), 2022) ο τύπος υπολογισμού ορίζεται ως εξής :

Μάζα εκπομπών CO₂ (M)

Η συνολική μάζα CO₂ είναι το άθροισμα των εκπομπών CO₂ (σε γραμμάρια) από το σύνολο του μαζούτ που καταναλώθηκε σε ένα πλοίο σε ένα δεδομένο ημερολογιακό έτος, ως εξής:

$$M = FC_j \times C_{Fj}$$

Όπου :

- j είναι ο τύπος καυσίμου
- FC_j είναι η συνολική μάζα (σε γραμμάρια) του καταναλωθέντος τύπου καυσίμου j κατά το ημερολογιακό έτος, όπως αναφέρεται στο σύστημα συλλογής δεδομένων του IMO
- C_{Fj} αντιπροσωπεύει τον συντελεστή μετατροπής μάζας καυσίμου σε CO_2 για τον τύπο καυσίμου j , σύμφωνα με εκείνους που καθορίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές του 2018 σχετικά με τη μέθοδο υπολογισμού του επιτευχθέντος δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI) για νέα πλοία (ψήφισμα MEPC.308(73)), όπως ενδέχεται να τροποποιηθεί περαιτέρω. Σε περίπτωση που ο τύπος του καυσίμου δεν καλύπτεται από τις κατευθυντήριες γραμμές, ο συντελεστής μετατροπής θα πρέπει να λαμβάνεται από τον προμηθευτή του καυσίμου συνοδευόμενος από αποδεικτικά έγγραφα.

Μεταφορικό έργο (W)

Ελλείψει δεδομένων σχετικά με το πραγματικό μεταφορικό έργο, το μεταφορικό έργο βάσει προσφοράς (W_s) μπορεί να ληφθεί ως υποκατάστατο, το οποίο ορίζεται ως το γινόμενο της χωρητικότητας ενός πλοίου και της διανυθείσας απόστασης σε ένα δεδομένο ημερολογιακό έτος, ως εξής:

$$W_s = C \times D_i$$

Όπου :

- C αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του πλοίου:
 - Για τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην, τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, τα πλοία μεταφοράς LNG, τα πλοία γενικού φορτίου, τα πλοία μεταφοράς φορτίου ψυγεία και τα πλοία μεταφοράς συνδυασμένου φορτίου, η χωρητικότητα νεκρού φορτίου (DWT) θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως χωρητικότητα
 - Για τα επιβατηγά κρουαζιερόπλοια, τα φορτηγά πλοία ro-ro (μεταφορείς οχημάτων), και τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία, η ολική χωρητικότητα (GT) θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως χωρητικότητα
- D_i αντιπροσωπεύει τη συνολική διανυθείσα απόσταση (σε ναυτικά μίλια), όπως αναφέρεται στο DCS του IMO.

Γενικά σύμφωνα με τον κανονισμό πρέπει να ισχύει ότι η τιμή του δείκτη CII ενός πλοίου να μην ξεπερνάει μία συγκεκριμένη τιμή που σχετίζεται με τον τύπο του πλοίου.

$$\text{Attained CII} \leq \text{Required annual operational CII}$$

Η τιμή – όριο του δείκτη CII υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο :

$$\text{Required annual operational CII} = (1 - Z/100) \times \text{CII}_{\text{REF}}$$

Όπου :

- Z: ο παράγοντας μείωσης ανάλογα με το έτος. Οι τιμές του Z φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Year	Reduction factor relative to 2019
2023	5%*
2024	7%
2025	9%
2026	11%
2027	- **
2028	- **
2029	- **
2030	- **

Πίνακας 12: Συντελεστής μείωσης απαιτούμενου δείκτη CII ανά έτος

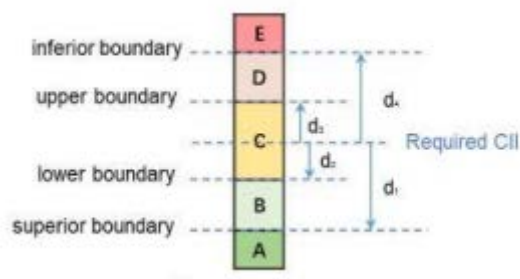
- $\text{CII}_{\text{ref}} = a \text{Capacity}^{-c}$

Όπου : CII_{ref} είναι η τιμή αναφοράς του έτους 2019 με βάση τη (MEPC.353(78), 2022), και είναι πανομοιότυπη με εκείνη που ορίζεται στον ειδικό δείκτη έντασης άνθρακα (CII) για έναν τύπο πλοίου, και a και c είναι παράμετροι που εκτιμώνται μέσω διάμεσης προσαρμογής παλινδρόμησης, λαμβάνοντας ως δείγμα τον επιτευχθέντα CII και τη χωρητικότητα μεμονωμένων πλοίων που συλλέχθηκαν μέσω του DCS του IMO το έτος 2019. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων που καθορίζουν τον δείκτη αναφοράς.

Ship type		Capacity	a	c
Bulk carrier	279,000 DWT and above	279,000	4745	0.622
	less than 279,000 DWT	DWT	4745	0.622
Gas carrier	65,000 and above	DWT	14405E7	2.071
	less than 65,000 DWT	DWT	8104	0.639
Tanker		DWT	5247	0.610
Container ship		DWT	1984	0.489
General cargo ship	20,000 DWT and above	DWT	31948	0.792
	less than 20,000 DWT	DWT	588	0.3885
Refrigerated cargo carrier		DWT	4600	0.557
Combination carrier		DWT	40853	0.812
LNG carrier	100,000 DWT and above	DWT	9.827	0.000
	65,000 DWT and above, but less than 100,000 DWT	DWT	14479E10	2.673
	less than 65,000 DWT	65,000	14479E10	2.673
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)		GT	5739	0.631
Ro-ro cargo ship		DWT	10952	0.637
Ro-ro passenger ship		GT	7540	0.587
Cruise passenger ship		GT	930	0.383

Πίνακας 13: Τιμές παραμέτρων του CII δείκτη αναφοράς

Ακόμη, έχουν υπολογιστεί κάποια διανύσματα “dd”, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, τα οποία βοηθούν στο να τεθούν τα όρια που υποδεικνύουν την κατηγορία “A”, “B”, “C”, “D” και “E” στην οποία ανήκει το πλοίο. Συγκεκριμένα το d1 δείχνει το όριο μεταξύ των κατηγοριών “A” και “B”, το d2 δείχνει το όριο μεταξύ των κατηγοριών “B” και “C”, το d3 μεταξύ των κατηγοριών “C” και “D” και το d4 μεταξύ των κατηγοριών “D” και “E”. (MEPC.339(76), 2021)



Διάγραμμα 5: Σύνδεση μεταξύ διανυσμάτων dd και κατηγοριών A-E (MEPC.339(76), 2021)

Τα όρια των κατηγοριών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

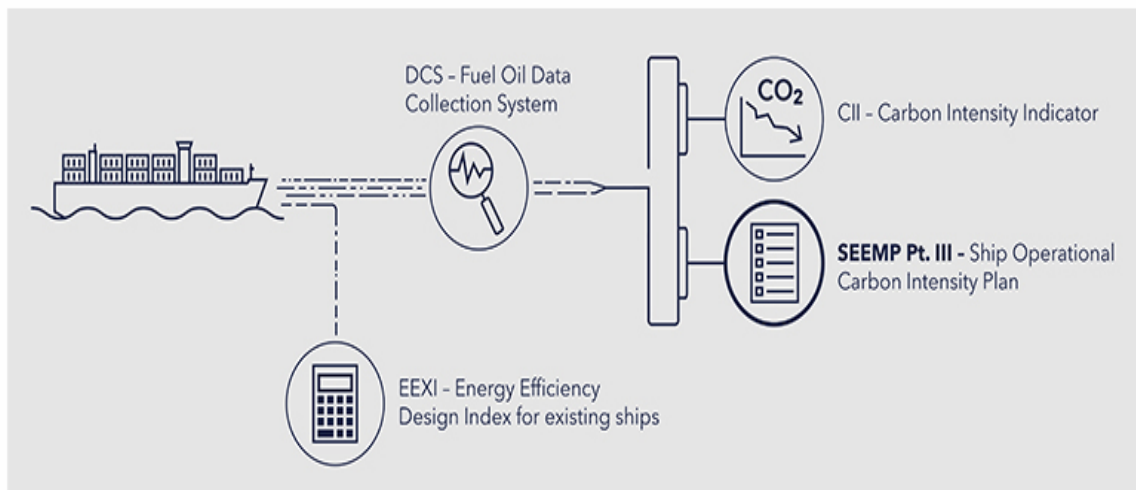
Ship type		Capacity in CII calculation	dd vectors (after exponential transformation)			
			exp(d1)	exp(d2)	exp(d3)	exp(d4)
Bulk carrier		DWT	0.86	0.94	1.06	1.18
Gas carrier	65,000 DWT and above	DWT	0.81	0.91	1.12	1.44
	less than 65,000 DWT	DWT	0.85	0.95	1.06	1.25
Tanker		DWT	0.82	0.93	1.08	1.28
Container ship		DWT	0.83	0.94	1.07	1.19
General cargo ship		DWT	0.83	0.94	1.06	1.19
Refrigerated cargo carrier		DWT	0.78	0.91	1.07	1.20
Combination carrier		DWT	0.87	0.96	1.06	1.14
LNG carrier	100,000 DWT and above	DWT	0.89	0.98	1.06	1.13
	less than 100,000 DWT		0.78	0.92	1.10	1.37
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)		GT	0.86	0.94	1.06	1.16
Ro-ro cargo ship		DWT	0.66	0.90	1.11	1.37
Ro-ro passenger ship		GT	0.72	0.90	1.12	1.41
Cruise passenger ship		GT	0.87	0.95	1.06	1.16

Πίνακας 14: Τιμές μεταξύ των κατηγοριών A-E (MEPC.339(76), 2021)

Προκειμένου να καθορισθεί, τελικά, η κατηγορία στην οποία ανήκει το υπό μελέτη πλοίο υπολογίζεται ο λόγος Attained CII / Required CII.

Από το 2024, το αργότερο έως τις 31 Μαρτίου, οι CII πρέπει να υπολογίζονται και να αναφέρονται στον ελεγκτή DCS μαζί με τα συγκεντρωτικά δεδομένα DCS για το προηγούμενο έτος, συμπεριλαμβανομένων τυχόν διορθωτικών συντελεστών και προσαρμογών ταξιδιού. Σε περίπτωση διαβάθμισης D για τρία συναπτά έτη ή μίας διαβάθμισης E, το SEEMP μέρος III πρέπει να επικαιροποιείται με σχέδιο διορθωτικών ενεργειών και να επαληθεύεται πριν από την έκδοση του SOC. Η προθεσμία για την έκδοση του SoC παραμένει η ίδια (31 Μαΐου). Το σχέδιο διορθωτικών ενεργειών θα πρέπει να συνίσταται σε ανάλυση των λόγων για τους οποίους δεν επιτεύχθηκε το απαιτούμενο CII και να περιλαμβάνει αναθεωρημένο σχέδιο εφαρμογής. Η πρόθεση της ενισχυμένης SEEMP είναι να διασφαλίσει τη συνεχή βελτίωση και η εφαρμογή της θα υπόκειται σε ελέγχους της εταιρείας. (DNV, 2023)

Το μέρος III της SEEMP έχει ως στόχο να βοηθήσει τις εταιρείες να επιτύχουν τον απαιτούμενο δείκτη CII (δείκτης έντασης άνθρακα). Σε σχέση με αυτόν τον ετήσιο χαρακτηρισμό, το μέρος III του SEEMP είναι ένα υποχρεωτικό έγγραφο για συγκεκριμένο πλοίο που καθορίζει το σχέδιο βελτίωσης του CII και, ως εκ τούτου, της λειτουργικής ενεργειακής απόδοσης του σκάφους για τα επόμενα τρία έτη. Το SEEMP μέρος III είναι ένα δυναμικό έγγραφο που υπόκειται σε τακτικές επικαιροποιήσεις και αναθεωρήσεις, το οποίο αντικατοπτρίζει τις μεταβαλλόμενες επιδόσεις και τα απαιτούμενα μέτρα. Πρέπει να επαληθευτεί και να διατηρηθεί στο αντίστοιχο σκάφος από την 1η Ιανουαρίου 2023 μαζί με την Επιβεβαίωση Συμμόρφωσης (CoC).



Εικόνα 20: Διαδικασία συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς

Οι υπολογισμοί βασιστήκαν στις παρακάτω θεωρήσεις :

- Ο δείκτης CII υπολογίζεται για κάθε σενάριο που αναφέρθηκε παραπάνω με βάση των παρακάτω τύπο :

$$CII = \frac{\text{Annual Fuel Consumption} \cdot \text{Carbon Factor}}{\text{Annual Distance Travelled} \cdot \text{Capacity}}$$

- Οι διορθωτικοί συντελεστές δεν λαμβάνονται υπόψη καθώς την περίοδο που διεξάγεται η παρούσα εργασία δεν βρίσκονται σε ισχύ.
- Για επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία, τα οποία μελετούνται, ως Capacity λαμβάνεται το Gross Tonnage σύμφωνα με την MEPC.353(78).
- Με βάση το ποσοστό μείωσης της τιμής αναφοράς του απαιτούμενου δείκτη CII εκτιμάται η κατηγοριοποίηση (κατάταξη A-E) κάθε πλοίου σε βάθος έξι ετών όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ως πρώτο έτος θεωρείται το 2023 όπου ήρθε και σε ισχύ ο σχετικός κανονισμός.
- Το ποσοστό μείωσης από το 2026 και έπειτα γίνεται η υπόθεση ότι μειώνεται σταθερά κατά 2.75%.
- Οι καταναλώσεις των καυσίμων και οι αποστάσεις σε ναυτικά μίλια για κάθε πλοίο παραμένουν σταθερές κάθε χρόνο και ίσες με αυτές που καταγράφηκαν σε ένα έτος για τα υπό εξέταση πλοία.
- Όλοι οι υπολογισμοί αφορούν ένα έτος λειτουργίας του εκάστοτε πλοίου.
- Η αναγωγή των καυσίμων από συμβατικά σε οποιοδήποτε άλλο καύσιμο γίνεται μέσω της κατώτερης θερμογόνου δύναμης (Lower Calorific Value-LCV), δηλαδή της ενέργειας που μπορεί να προσφέρει κάθε καύσιμο ανά κιλό καυσίμου.

- Οι βαθμοί απόδοσης των κινητήρων δεν λαμβάνονται υπόψη καθώς τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα έως και σήμερα δεν επαρκούν για να καλυφθούν όλες οι περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα η μεθανόλη.
- Για τη μελέτη της χρήσης τεχνολογίας ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου θεωρείται ότι η ισχύς που χρειάζεται κάθε πλοίο ισούται με τις πραγματικές ενεργειακές απαιτήσεις του στο λιμάνι, όπως αυτές υπολογίζονται από τις πραγματικές καταναλώσεις καυσίμου των πλοίων στο λιμάνι.
- Για τα σενάρια χρήσης LNG και μεθανόλης και τα σενάρια χρήσης LNG και μεθανόλης σε συνδυασμό με χρήση τεχνολογίας ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου χρησιμοποιείται MGO ως πιλοτικό καύσιμο που προσδίδει μόλις το 1% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας του πλοίου έτσι ώστε να διευκολυνθεί η ανάφλεξη και η έναρξη λειτουργίας του κινητήρα.
- Για τη μελέτη του LNG ως καύσιμο θεωρούνται δίχρονες μηχανές LNG χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το methane slip.
- Εκτός από τον δείκτη CII, υπολογίζεται και ο φόρος επί των παραγόμενων ρύπων «EU ETS» ώστε να διερευνηθεί το οικονομικό όφελος από τη πιθανή χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Δεδομένου ότι το ποσοστό επί των παραγόμενων ρύπων που φορολογείται μεταβάλλεται από 40% το 2024 σε 100% το 2026, στον υπολογισμό το ποσοστό “p” μεταβάλλεται ανάλογα με το έτος, ωστόσο η τιμή διοξειδίου του άνθρακα θεωρείται σταθερή και ίση με την τιμή αναφοράς για το 2023. Επομένως ο φόρος αυτός υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Penalty}_{\text{EUETS}} = 82.09\text{€}(\text{Carbon Price}) * p\% \text{ TtW Emissions}$$

- Τα πλοία του στόλου που μελετώνται εκτελούν δρομολόγια μόνο εντός ευρωπαϊκών λιμανιών, επομένως χρησιμοποιείται το 100% των εκπομπών CO₂ για τον υπολογισμό του φόρου EU ETS.
- Για την οικονομική μελέτη, διερευνώνται δύο είδη μεθανόλης : η γκρι και η πράσινη, λόγω διαφορετικού κόστους απόκτησης.
- Τα τρία από τα πλοία του στόλου εξαιρούνται από τη μελέτη και τα αποτελέσματα, καθώς σύμφωνα με τα δεδομένα τα πλοία αυτά χρησιμοποιούν ως καύσιμο LNG και το κατάταξη τους υπολογίζεται ως A μέχρι και το τελευταίο έτος επομένως δεν χρήζουν βελτιστοποίησης.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα παρατίθενται με μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα αφορούν συνολικά όλα τα πλοία του στόλου.

CII Κατάταξη

Οι πίνακες που ακολουθούν δείχνουν τη διαμόρφωση της CII κατάταξης για κάθε πλοίο και κάθε σενάριο σε βάθος έξι ετών, με έτος αναφοράς το 2023.

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
	2023	2024	2025	2026	2027	2028
ΠΛΟΙΟ 1						
Conventional Fuel	D	D	E	E	E	E
LNG	C	C	C	C	C	C
Methanol	D	D	D	D	D	D
Cold Ironing	D	D	D	D	D	E
LNG & Cold Ironing	B	B	B	C	C	C
Methanol & Cold Ironing	C	C	C	C	D	D

Πίνακας 15: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 1

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
	2023	2024	2025	2026	2027	2028
ΠΛΟΙΟ 2						
Conventional Fuel	D	D	E	E	E	E
LNG	C	C	C	C	C	C
Methanol	D	D	D	D	D	D
Cold Ironing	D	D	D	D	D	E
LNG & Cold Ironing	B	B	B	C	C	C
Methanol & Cold Ironing	C	C	C	D	D	D

Πίνακας 16: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 2

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
	2023	2024	2025	2026	2027	2028
ΠΛΟΙΟ 3						
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	C	C	C	C	C	C
Methanol	D	D	D	D	E	E
Cold Ironing	D	D	D	E	E	E
LNG & Cold Ironing	C	C	C	C	C	C
Methanol & Cold Ironing	C	C	D	D	D	D

Πίνακας 17: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 3

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 4	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	D	D	D	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	D	D	D	D	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 18: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 4

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 5	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	D	D	D	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	D	D	D	D	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 19: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 5

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 6	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	E	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	D	D	D	E	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 20: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 6

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 7	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	E	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	E	E	E	E	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 21: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 7

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 8	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	E	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	E	E	E	E	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 22: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 8

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 9	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	C	C	C	D	D	D
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	C	C	C	C	C	C
Methanol & Cold Ironing	D	D	D	D	D	E

Πίνακας 23: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 9

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 10	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	C	D	D	D	D	D
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	C	C	C	C	C	C
Methanol & Cold Ironing	D	D	D	D	E	E

Πίνακας 24: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 10

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 11	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	D	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	C	D	D	D	D	D
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 25: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 11

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 12	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	C	C	C	C	C	C
LNG	A	A	B	B	B	B
Methanol	B	B	C	C	C	C
Cold Ironing	B	B	C	C	C	C
LNG & Cold Ironing	A	A	A	A	A	A
Methanol & Cold Ironing	B	B	B	B	B	B

Πίνακας 26: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 12

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 13	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	C	D	D	D	D	D
LNG	B	B	B	B	C	C
Methanol	C	C	C	C	C	D
Cold Ironing	C	C	C	C	D	D
LNG & Cold Ironing	B	B	B	B	B	B
Methanol & Cold Ironing	C	C	C	C	C	C

Πίνακας 27: CII Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 13

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 14	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	C	C	D	D	D	D
LNG	B	B	B	B	B	C
Methanol	C	C	C	C	C	C
Cold Ironing	C	C	C	C	C	D
LNG & Cold Ironing	A	B	B	B	B	B
Methanol & Cold Ironing	B	C	C	C	C	C

Πίνακας 28: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 14

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 15	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	D	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	D	D	D	D	E	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 29: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 15

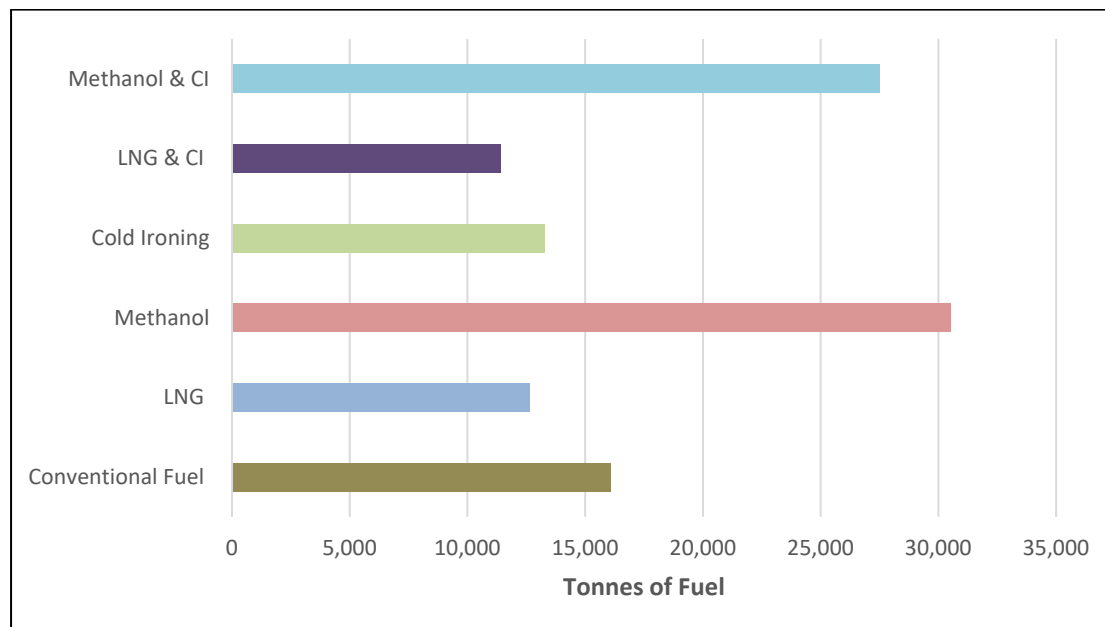
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΤΟΣ					
ΠΛΟΙΟ 16	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Conventional Fuel	E	E	E	E	E	E
LNG	E	E	E	E	E	E
Methanol	E	E	E	E	E	E
Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
LNG & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E
Methanol & Cold Ironing	E	E	E	E	E	E

Πίνακας 30: CΠ Κατάταξη ΠΛΟΙΟ 16

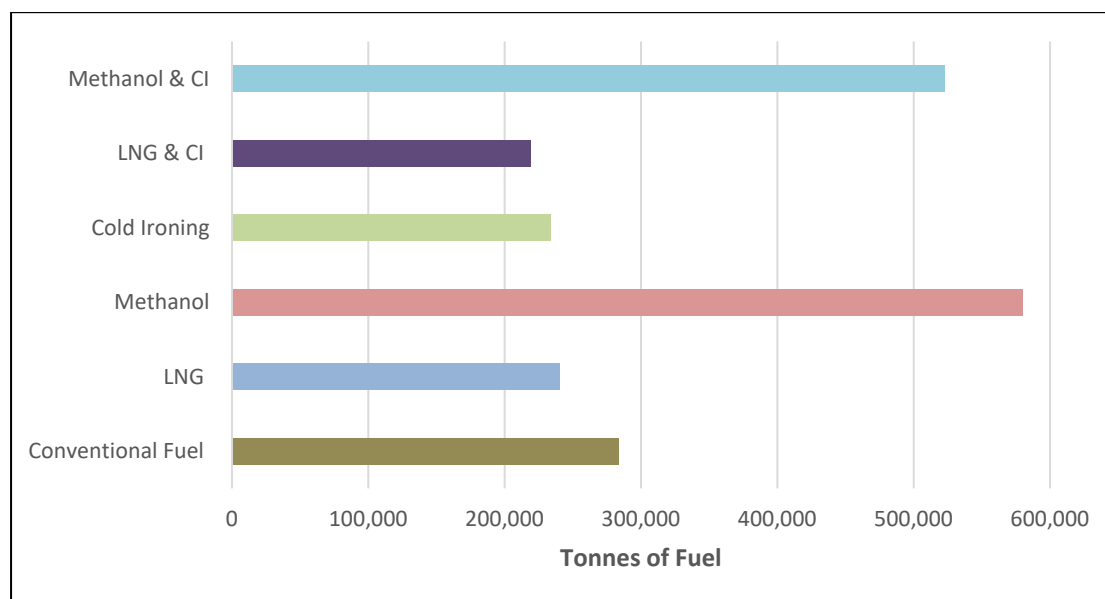
Όπως παρατηρείται, η χρήση καυσίμου LNG φαίνεται να έχει αρκετά θετική επίδραση στο κατάταξη των πλοίων. Ακόμα και για κάποια πλοία με κακή απόδοση, το σενάριο χρήσης μηχανής LNG μπορεί να βελτιώσει την συμπεριφορά και την απόδοσή τους. Πιο συγκεκριμένα παρατηρώντας τα πλοία 1,2,3,9 και 10 (Πίνακας 15, 16, 17, 23 και 24) είναι εμφανές ότι με τη χρήση LNG το κατάταξη τους από D και E γίνεται C και για τα τρία πρώτα πλοία αυτό διατηρείται σε όλα τα έτη. Περαιτέρω, με τον συνδυασμό LNG και ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου τα πλοία 1 και 2 κατάσσονται στην κατηγορία B για τα πρώτα τρία έτη. Επιπλέον για τα ίδια σενάρια το πλοίο 12 (Πίνακας 26) μετατρέπεται από κατηγορία C σε A. Για το σενάριο συνδυασμού LNG και ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου το πλοίο 12 διατηρεί το κατάταξη A για όλα τα έτη της μελέτης. Αντίστοιχη θετική επίδραση έχει η χρήση του συγκεκριμένου καυσίμου και στα πλοία 13 και 14 (Πίνακας 27 και 28) βελτιώνοντας τα από C και D σε B διατηρώντας το σε βάθος χρόνου. Ωστόσο, είναι εμφανές ότι για τα πλοία 4,5,6,7,8,11,15 και 16 (Πίνακας 18, 19, 20, 21, 22, 25, 29 και 30) που έχουν πολύ κακή απόδοση η χρήση εναλλακτικών καυσίμων βελτιώνει ελάχιστα ή και καθόλου το κατάταξη τους στο βάθος των 6 ετών. Στον αντίποδα η χρήση μεθανόλης και ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα -

πλοίου δεν προσφέρει τόσο μεγάλη αναβάθμιση στην κατηγοριοποίηση των πλοίων που μελετήθηκαν, εκτός από μερικές εξαιρέσεις (π.χ. πλοίο 1 και 2).

Τόνοι καυσίμου



Διάγραμμα 6: Μέσος όρος ετήσιων τόνων καυσίμου ανά σενάριο ανά πλοίο

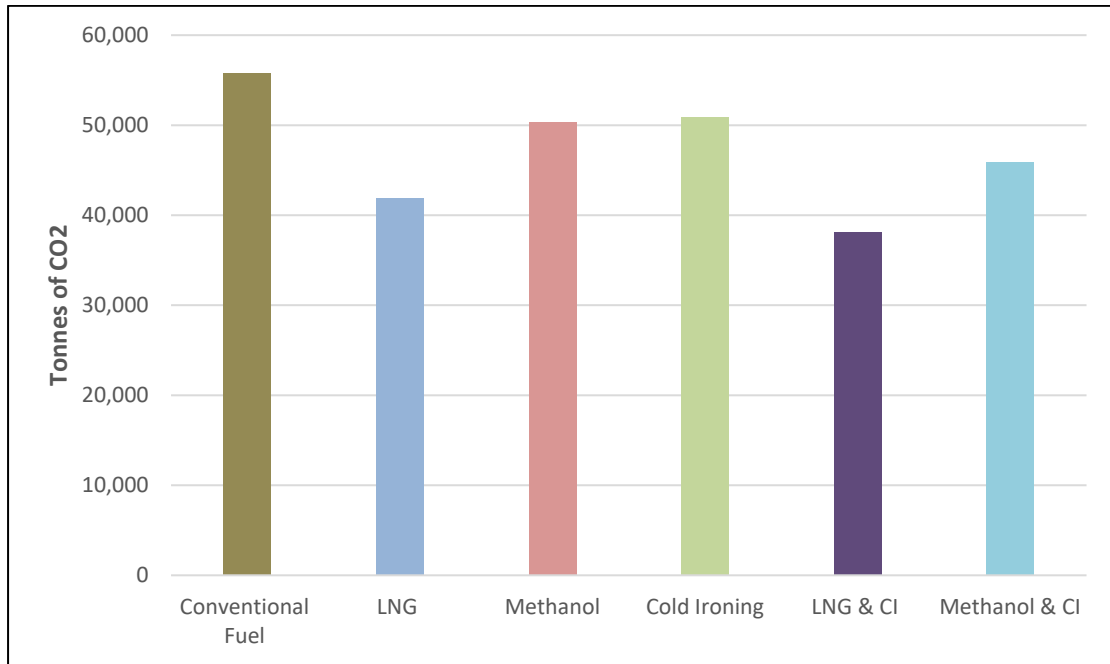


Διάγραμμα 7: Ετήσιοι τόνοι καυσίμου του στόλου ανά σενάριο

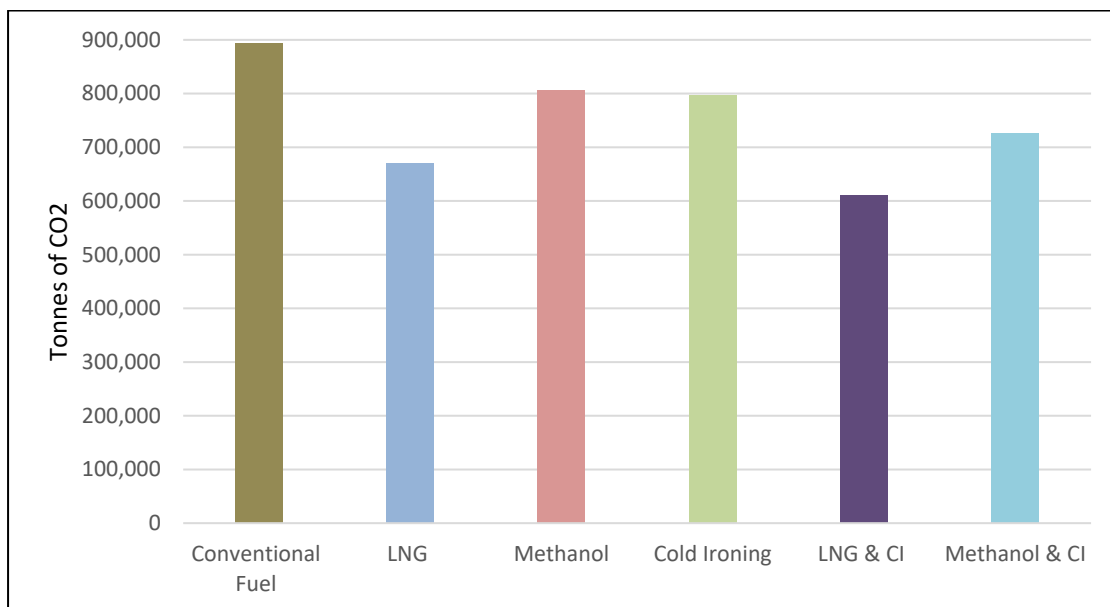
Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις των πλοίων χρειάζεται σχεδόν η διπλάσια ποσότητα μεθανόλης συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα. Πιο συγκεκριμένα για το σενάριο χρήσης μεθανόλης το ποσοστό αύξησης της ποσότητας καυσίμου είναι 105% ενώ για το σενάριο χρήσης μεθανόλης και τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου το ποσοστό είναι 87%. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή

θερμογόνο δύναμη της μεθανόλης, με αποτέλεσμα την απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Αντίθετα η χρήση LNG και ο συνδυασμός του με τεχνολογία ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου κατά -15% και -23% αντίστοιχα.

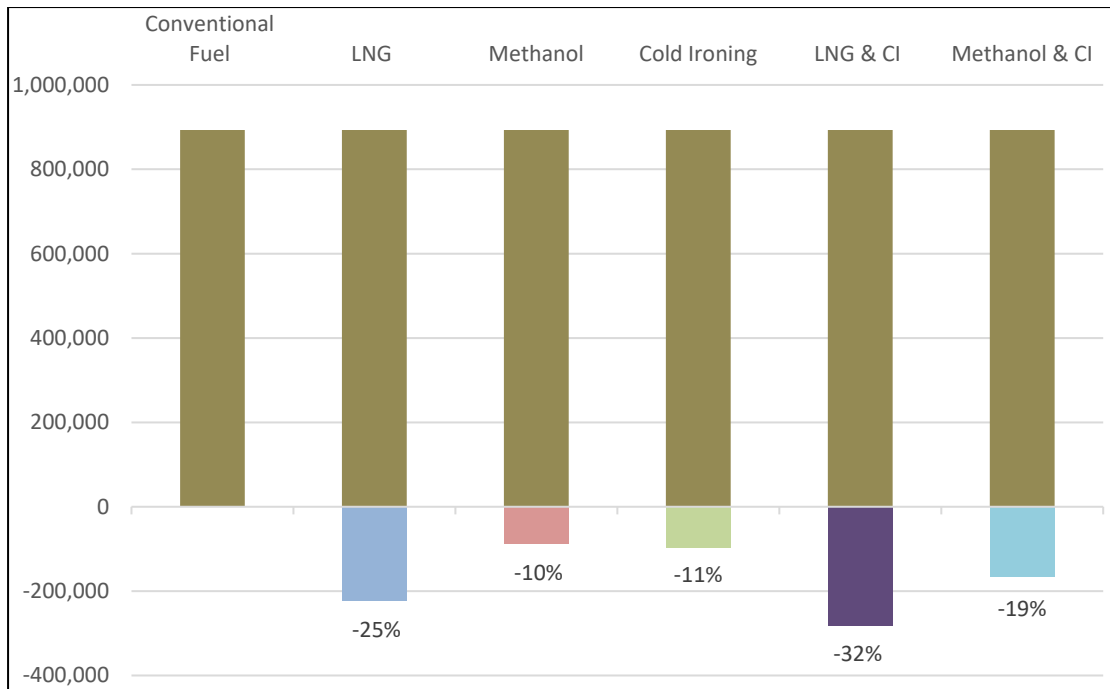
Εκπομπές ρύπων



Διάγραμμα 8: Μέσος όρος ετήσιων εκπομπών ρύπων CO₂ ανά σενάριο ανά πλοίο



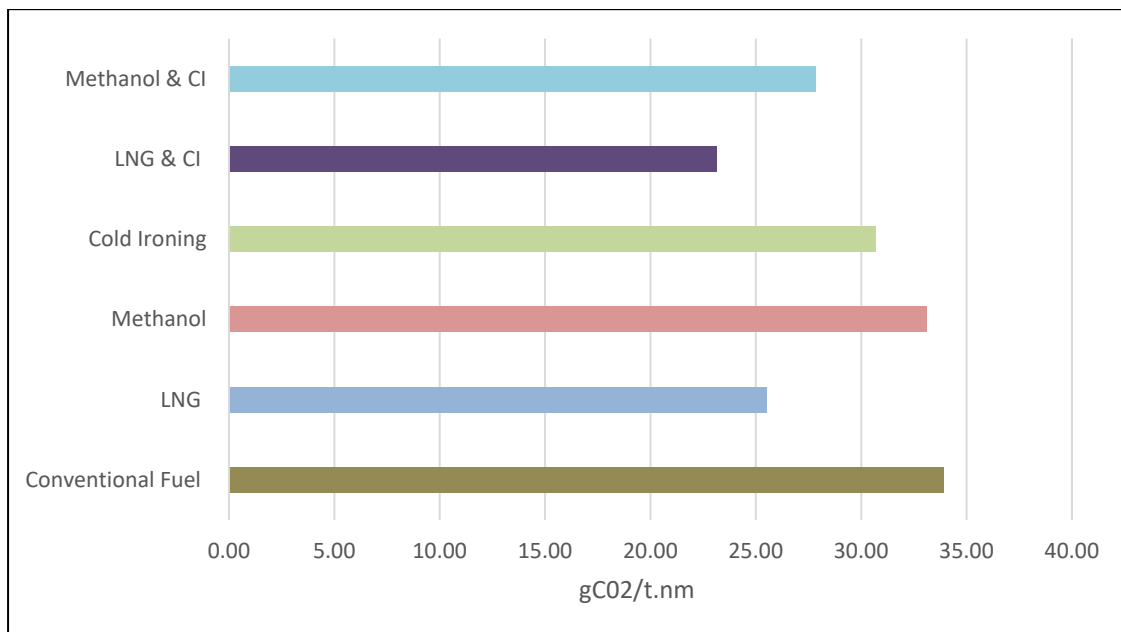
Διάγραμμα 9: Ετήσιες εκπομπές ρύπων CO₂ του στόλου ανά σενάριο



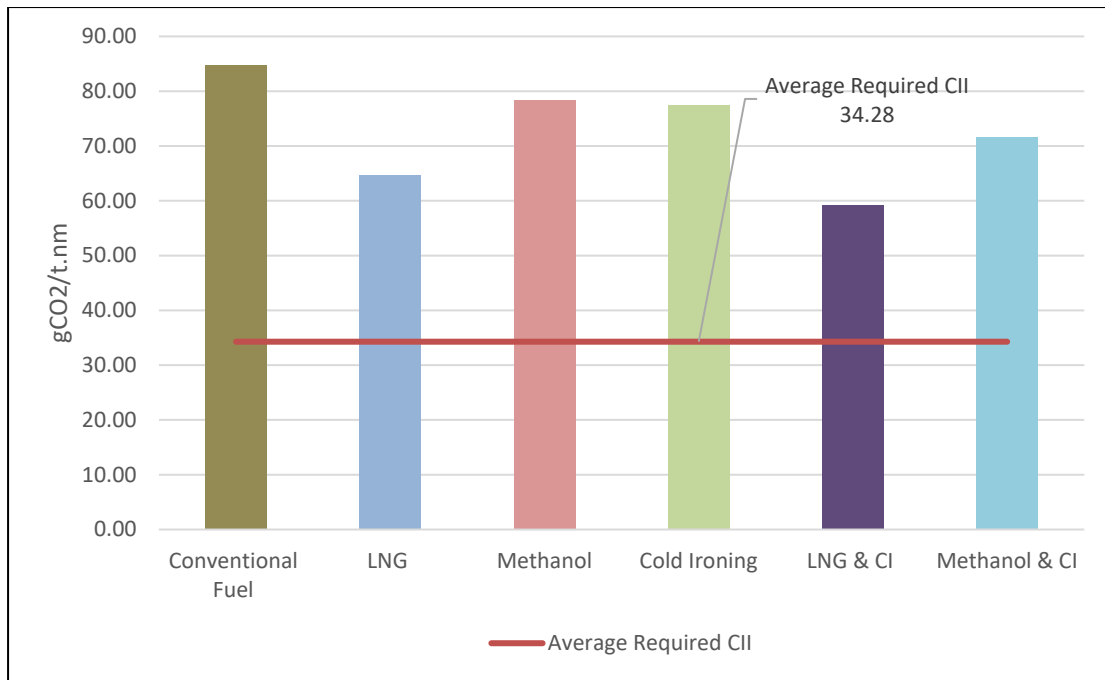
Διάγραμμα 10: Ποσοστιαία διαφορά εκπομπόμενων ρύπων CO₂ για το στόλο ανά σενάριο

Η χρήση LNG και ο συνδυασμός με τεχνολογία ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου επιφέρει μείωση στους εκπεμπόμενους ρύπους έως και 32%. Αντίστοιχα η χρήση μεθανόλης και ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου συμβάλει στη μείωση των εκπομπών κατά ποσοστό έως και 19%.

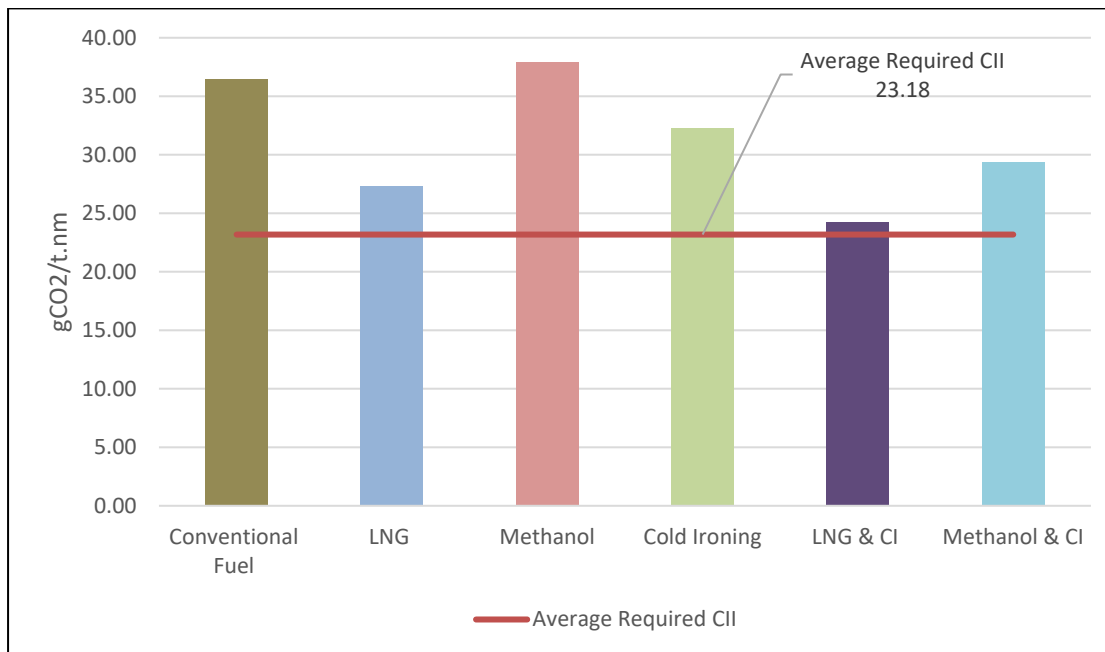
Δείκτης Έντασης Άνθρακα – CII



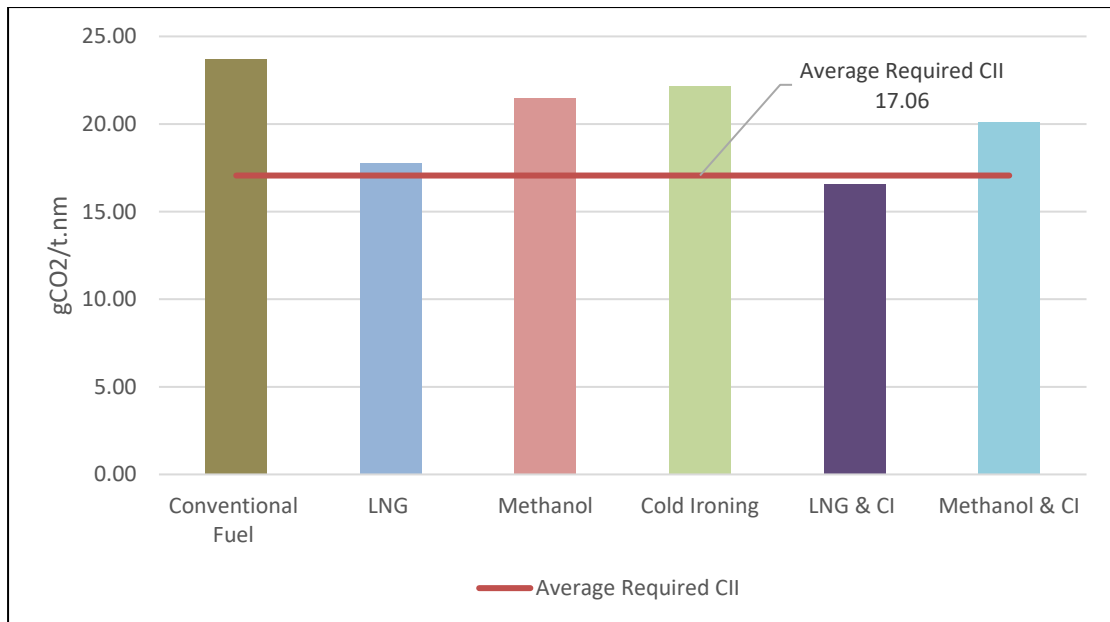
Διάγραμμα 11: Δείκτης CII του στόλου ανά σενάριο για το 2023



Διάγραμμα 12: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT < 10,000 για το 2023



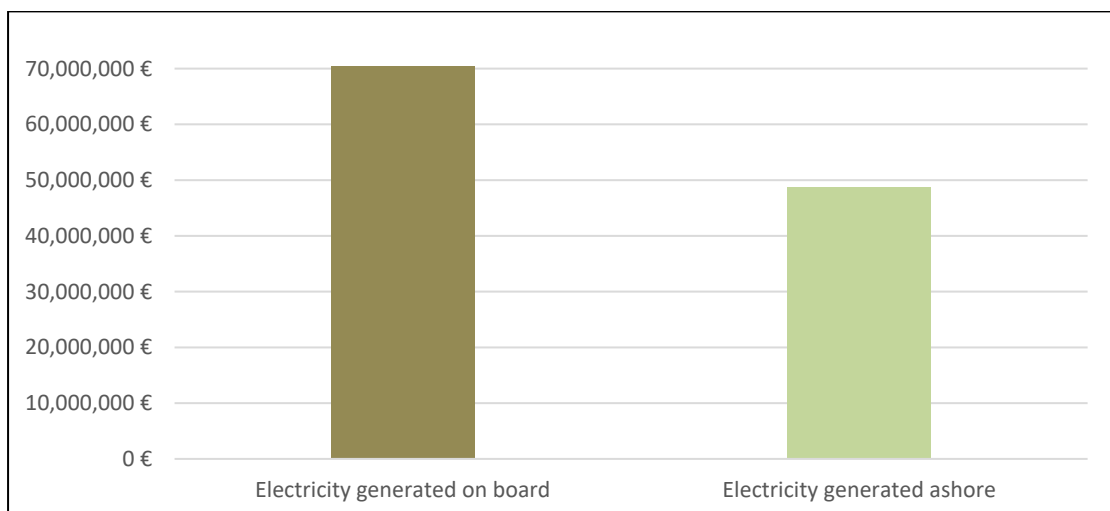
Διάγραμμα 13: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT 10,000 – 20,000 για το 2023



Διάγραμμα 14: Διαμόρφωση του δείκτη CII για τα πλοία του στόλου με GT 20,000-30,000 για το 2023

Η τιμή του δείκτη για όλες τις κατηγορίες GT είναι αισθητά χαμηλότερη όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο το LNG και σε συνδυασμό με τη χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου το οποίο επιβεβαιώνει και τη βελτιστοποίηση στο κατάταξη των πλοίων στα δύο αυτά σενάρια, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ειδικότερα για το ίδιο σενάριο και για τα πλοία κατηγορίας 20,000-30,000 GT η τιμή του υφιστάμενου δείκτη είναι χαμηλότερη από τον απαιτούμενο.

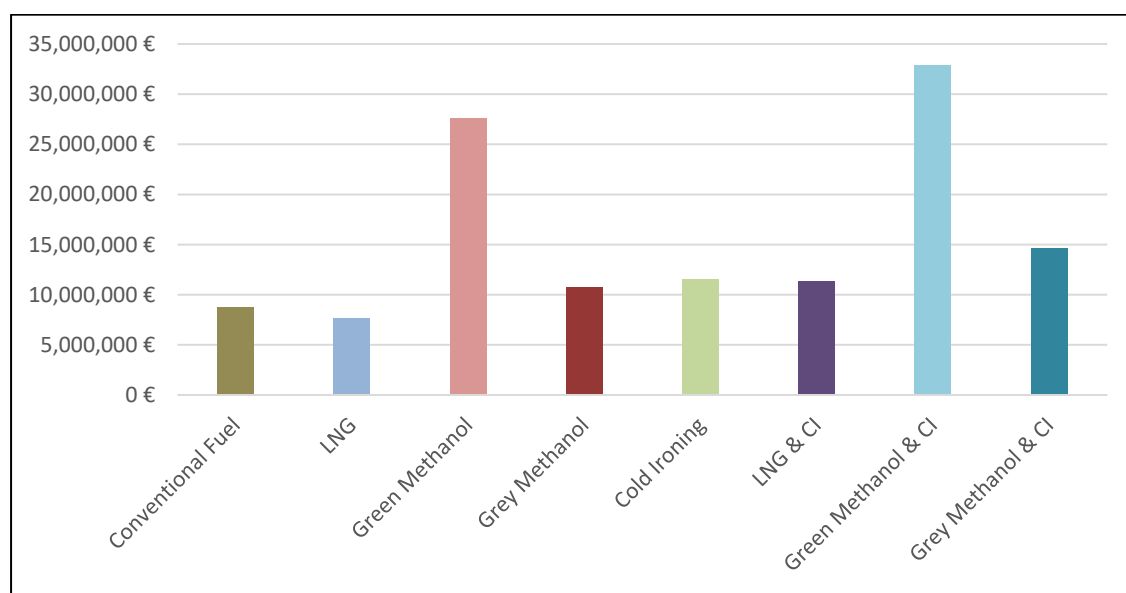
Κόστος απόκτησης ενέργειας για τη χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου



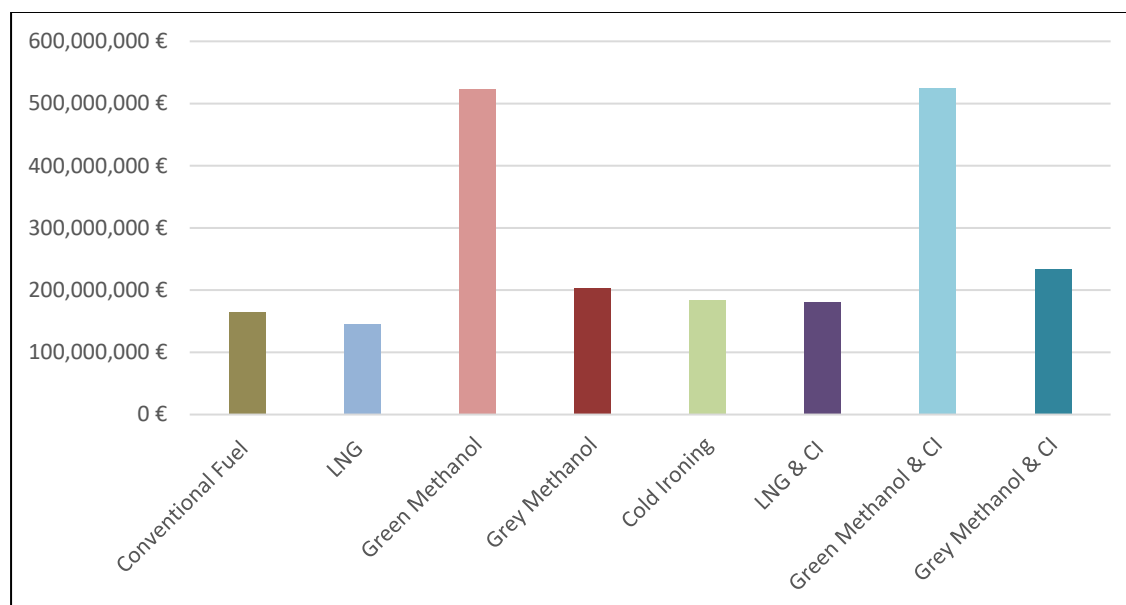
Διάγραμμα 15: Ετήσιο κόστος παραγωγής και απόκτησης ενέργειας για χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου

Για την παραγωγή ενέργειας πάνω στο πλοίο, όσο αυτό βρίσκεται στο λιμάνι εκτός από το κόστος απόκτησης του καυσίμου έχει συμπεριληφθεί και το κόστος συντήρησης των μηχανών ανά kWh. Το κόστος αυτό θεωρείται ότι παραμένει ίδιο ανεξάρτητα από το καύσιμο, γι αυτό και μελετάται μόνο ένα σενάριο για τη σύγκριση του κόστους. Το κόστος αυτό είναι αρκετά χαμηλότερο όταν το πλοίο τροφοδοτείται με ενέργεια από το λιμάνι και κρατάει τις μηχανές του κλειστές. Η πλοιοκτήτρια εταιρεία συνολικά από όλο το στόλο εξοικονομεί 21,600,000€ δηλαδή ποσοστό 31% του παρόντος κόστους.

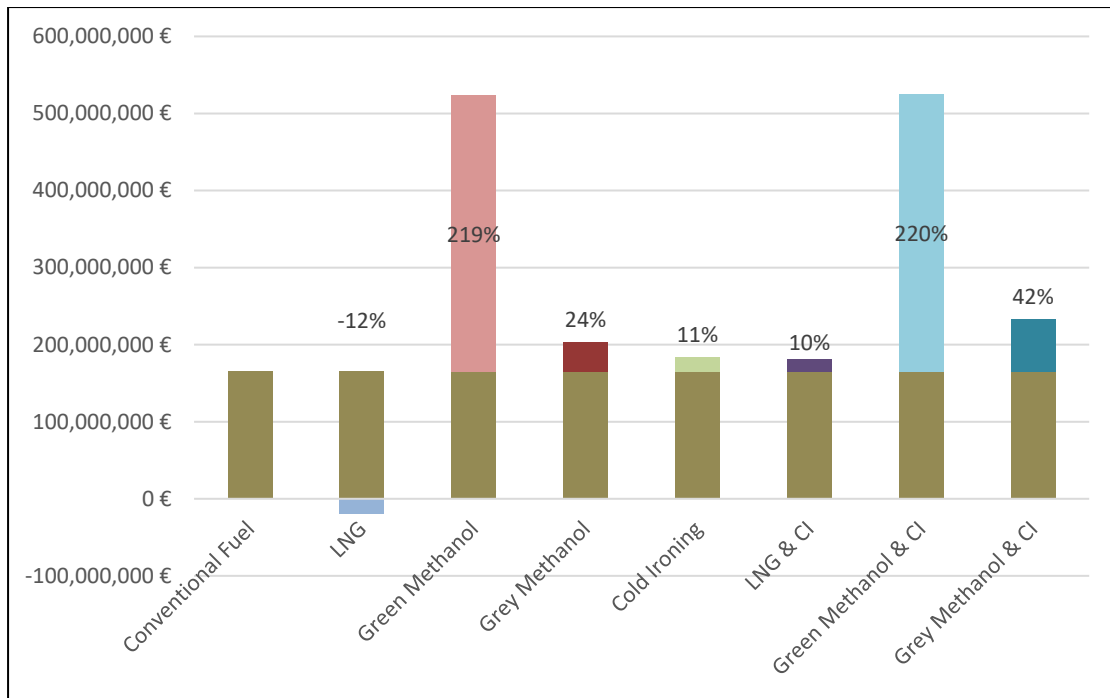
Κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας



Διάγραμμα 16: Μέσο ετήσιο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας ανά σενάριο ανά πλοίο



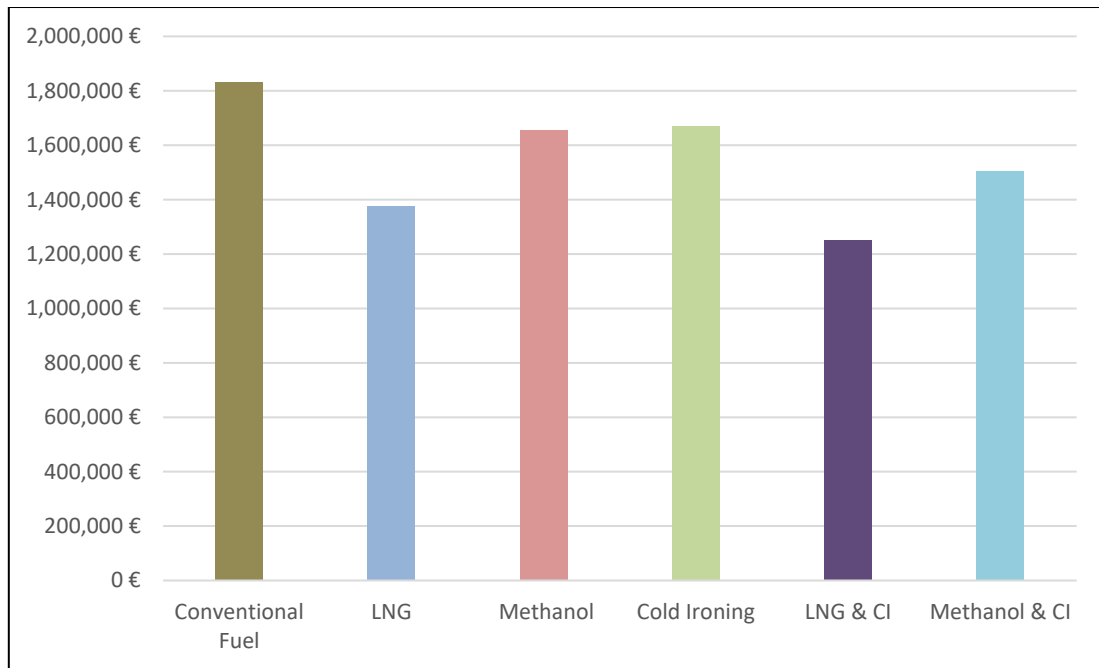
Διάγραμμα 17: Ετήσιο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας του στόλου ανά σενάριο



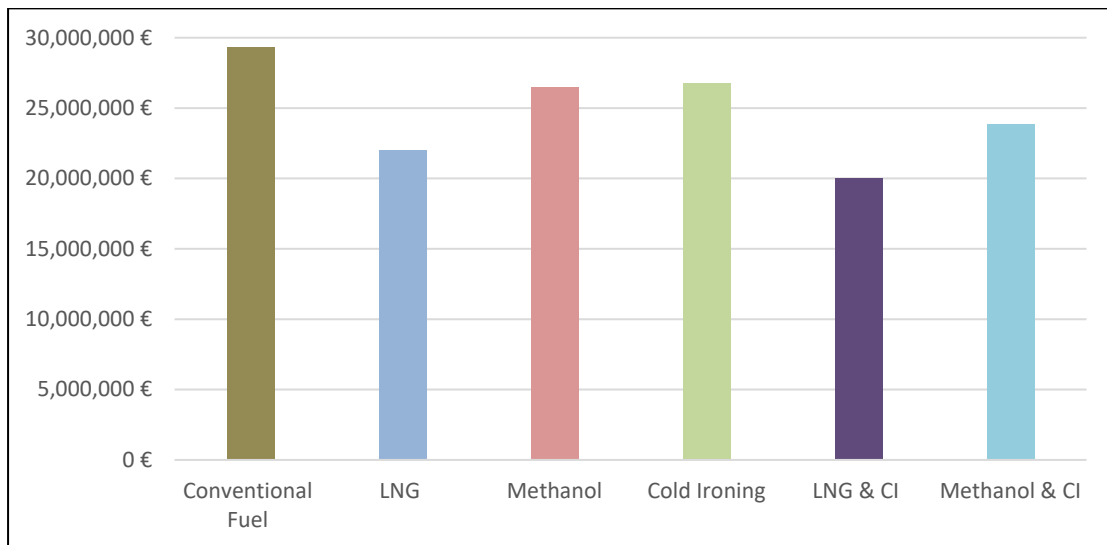
Διάγραμμα 18: Ποσοστιαία διαφορά στο κόστος απόκτησης καυσίμου και ενέργειας του στόλου ανά σενάριο

Για τα τρία σενάρια που περιλαμβάνουν την τεχνολογία ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου στο συνολικό κόστος απόκτησης εκτός από την τιμή των καυσίμων έχει προσμετρηθεί και το κόστος απόκτησης της kWh από το λιμάνι. Το υψηλό κόστος παραγωγής πράσινης μεθανόλης αυξάνει το συνολικό κόστος απόκτησης του συγκεκριμένου καυσίμου κατά ποσοστό 220%, το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 360,000,000€. Η γκρι μεθανόλη αποτελεί μια πιο ελκυστική από οικονομικής άποψης λύση, με το κόστος απόκτησης ωστόσο να παραμένει υψηλότερο από αυτό των συμβατικών καυσίμων. Αντίθετα, για το σενάριο χρήσης LNG το κόστος απόκτησης παρουσιάζεται ελαφρώς μειώμενο με την εταιρεία να εξοικονομεί σχεδόν 20,000,000€

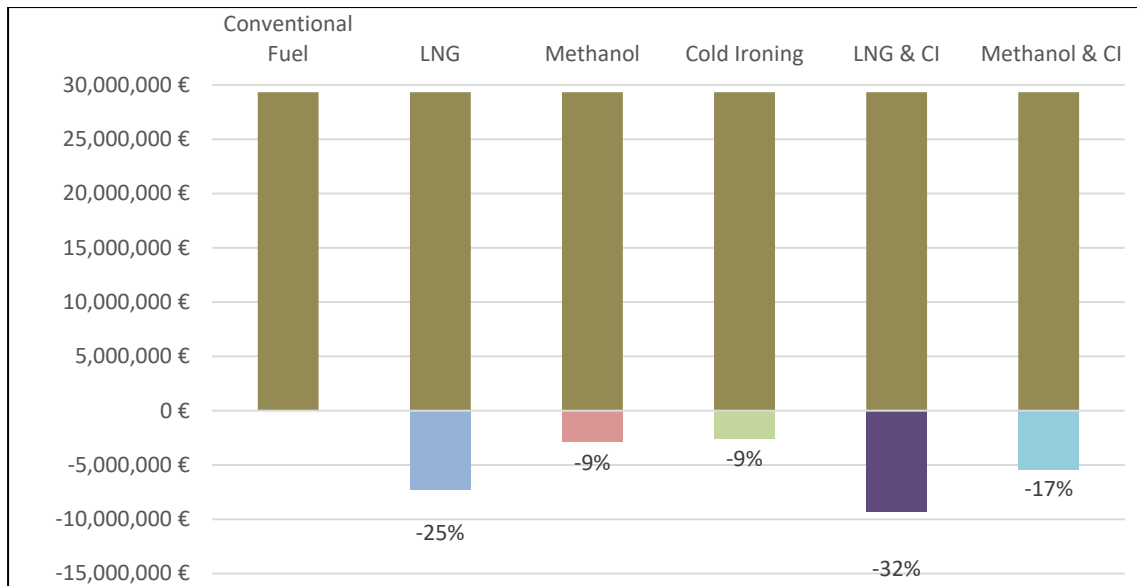
EU ETS Φορολογία 2024



Διάγραμμα 19: Μέση ετήσια φορολογία εκπομπών CO₂ ανά σενάριο για το 2024 ανά πλοίο ανά πλοίο



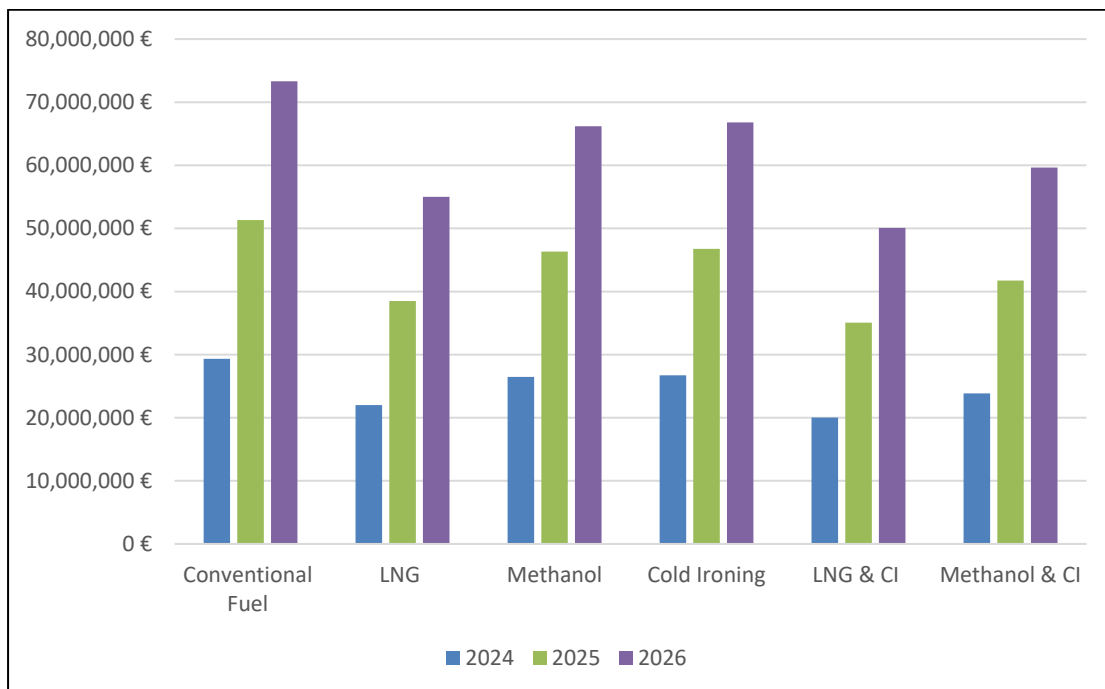
Διάγραμμα 20: Ετήσια φορολογία εκπομπών CO₂ για το στόλο ανά σενάριο για το 2024



Διάγραμμα 21: Ποσοστιαία διάφορα στην ετήσια φορολογία CO₂ για το στόλο ανά σενάριο για το 2024

Η χρήση μεθανόλης και ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου επιδρά αισθητά στη μείωση των φόρων που καλείται να πληρώσει η πλοικτήτρια εταιρεία συνολικά για το στόλο, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση έως και 17% των ετήσιων φόρων. Ωστόσο το σενάριο χρήσης LNG σε συνδυασμό με ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου σχεδόν διπλασιάζει αυτό το ποσοστό σε 32%, με την εταιρεία να αποταμιεύει ποσό ύψους 4,650,000€

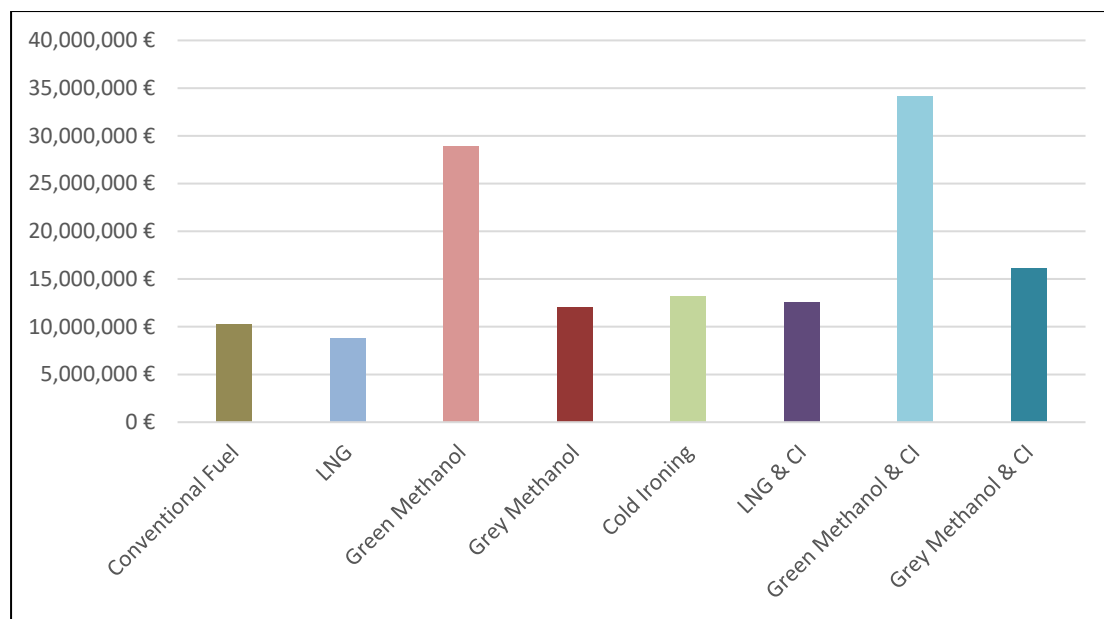
EU ETS Φορολογία 2024-2026



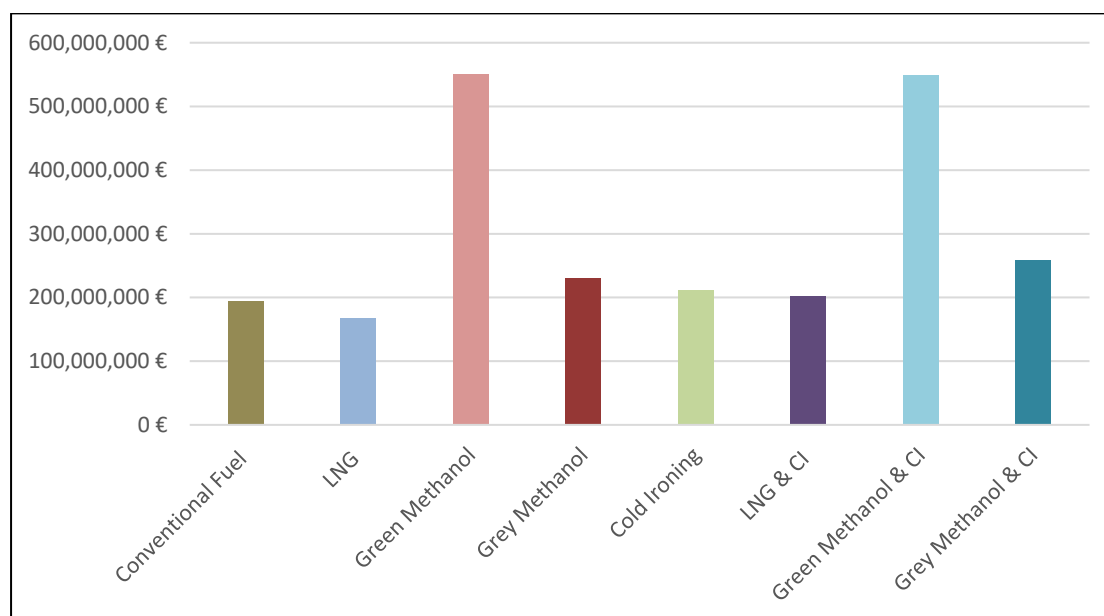
Διάγραμμα 22: Διακύμανση των φόρων EU ETS για κάθε σενάριο έως το 2026

Η φορολογία των εκπομπών με την πάροδο των ετών και την επικείμενη αύξηση του φορολογούμενου ποσοστού των ρύπων παρουσιάζει τα ίδια ποσοστά μείωσης για το κάθε σενάριο σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Η μικρότερη φορολογία αντιστοιχεί στο σενάριο χρήσης LNG σε συνδυασμό με ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου, με την πλοικήτρια εταιρεία να εξοικονομεί συνολικά ποσό 48,800,000€ στο τέλος της τετραετίας, με την υπόθεση ότι η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα παραμένει σταθερή.

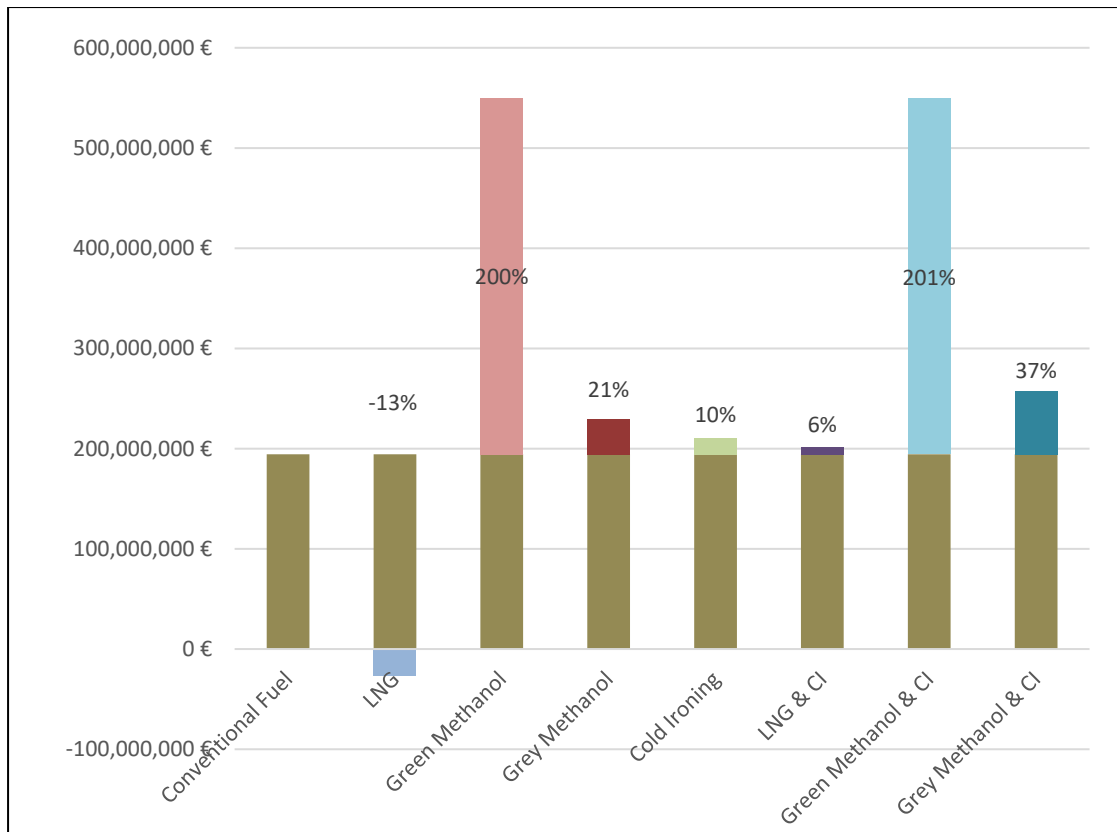
Συνολικό κόστος καυσίμου και φορολογίας για το 2024



Διάγραμμα 23: Μέσος όρος ετήσιων συνολικών εξόδων ανά σενάριο για το 2024 ανά πλοίο



Διάγραμμα 24: Συνολικά έξοδα απόκτησης καυσίμου και φορολογίας για το στόλο ανά σενάριο για το 2024



Διάγραμμα 25: Ποσοστιαία διαφορά στα ετήσια συνολικά έξοδα για το στόλο ανά σενάριο για το 2024

Για όλα σχεδόν τα σενάρια το συνολικό κόστος απόκτησης του καυσίμου και της φορολογίας ξεπερνάει τα παρόντα έξοδα της πλοιοκτήτριας εταιρείας όπως αυτά υπολογίζονται στο σενάριο χρήσης συμβατικών καυσίμων. Για το σενάριο χρήσης πράσινης μεθανόλης το ποσοστό αυτό αγγίζει το 200% των παρόντων εξόδων, δηλαδή η πλοιοκτήτρια εταιρεία επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος που φτάνει τα 360,000,000€. Ακόμα και αν η φορολογία στο συγκεκριμένο σενάριο είναι ελαφρώς μικρότερη, το μεγάλο κόστος παραγωγής και απόκτησης της πράσινης μεθανόλης καθιστά τα συνολικά έξοδα εξαιρετικά υψηλά. Αντίθετα για το σενάριο χρήσης LNG τα συνολικά έξοδα μειώνονται κατά 13% με την εταιρεία να εξοικονομεί συνολικά 23,260,000€. Επιπλέον παρατηρείται ότι τα συνολικά έξοδα ανά GT μεταφορικής ικανότητας τριπλασιάζονται με τη χρήση πράσινης μεθανόλης, ενώ τα ίδια έξοδα υπολογίζονται 4 φορές περισσότερα συγκριτικά με αυτά του LNG.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ

Συμπεράσματα

Μέσω των παραπάνω υπολογισμών και διερεύνησης προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα/απαντήσεις στους στόχους της διπλωματικής εργασίας που τέθηκαν.

Σχετικά με το ερώτημα **1**, τα περισσότερα πλοία του στόλου που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα κατατάσσονται στην κατηγορία Ε του συστήματος με την αποδοτικότητα τους να μην είναι υψηλή, συγκριτικά και με τα υπόλοιπα καύσιμα που μελετήθηκαν. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα συμβατικά καύσιμα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και είναι τα πιο ρυπογόνα. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή μετάβαση και η απανθρακοποίηση του κλάδου της ναυτιλίας απαιτεί την αντικατάστασή τους με πιο «πράσινα» καύσιμα.

Από τη διερεύνηση της επίδρασης των εναλλακτικών καυσίμων στη διαμόρφωση της CII κατάταξης, που έχει τεθεί ως το **2^ο** ερώτημα, προκύπτει ότι η χρήση καυσίμου LNG φαίνεται να είναι μια αρκετά αποδοτική λύση ως προς την επίδραση στην κατάταξη των πλοίων. Συγκεκριμένα για τα μίσα πλοία του στόλου που μελετήθηκαν η βελτίωση στην απόδοση είναι αρκετά μεγάλη κατάσσοντας μερικά από αυτά από κατηγορία Ε σε Β. Αυτή η βελτίωση όμως παρουσιάζεται κυρίως στα πρώτα έτη, όπως είναι αναμενόμενο, και δεν διατηρείται σε όλα τα πλοία σε βάθος ετών όταν ο κανονισμός γίνεται αυστηρότερος. Επιπλέον για πλοία με πολύ κακή απόδοση, ακόμα και η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με LNG δεν είναι επαρκής για την ενεργειακή αναβάθμισή τους. Ωστόσο, όταν το LNG συνδυαστεί με χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου η επίδραση στην κατάταξη των πλοίων είναι σημαντικά μεγαλύτερη, με τη βελτίωση αυτή να διατηρείται στα περισσότερα στο βάθος των 6 ετών. Η συγκεκριμένη λύση φαίνεται να είναι η πιο αποδοτική συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια που μελετήθηκαν αποφέροντας τα μεγαλύτερα οφέλη.

Αντίθετα, η μεμονωμένη χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου δεν είναι τόσο ενεργειακά αποδοτική αφού η επίδραση στην κατάταξη των πλοίων είναι πολύ μικρή. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι από τα πραγματικά δεδομένα των πλοίων το ποσοστό της κατανάλωσης καυσίμου κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού δεν ξεπερνάει το 10% της ετήσιας. Ωστόσο τα οφέλη από τη μηδενική εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα όσο τα πλοία βρίσκονται στο λιμάνι παραμένουν σημαντικά, ιδίως για τις περιοχές που είναι κοντά σε αυτό.

Η μεθανόλη παρουσιάζει σχεδόν την ίδια επίδραση, με τη χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου, στην ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων που μελετήθηκαν. Η βελτίωση στην κατάταξη τους είναι αρκετά χαμηλή και για πλοία με πολύ κακή απόδοση σχεδόν μηδενική. Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών αυξάνει την ενεργειακή αποδοτικότητα, με την

κατάταξη των περισσότερων πλοίων να παρουσιάζει καλύτερευση. Ωστόσο εξακολουθεί να μην είναι αρκετά αποδοτική λύση, συγκριτικά και με τη χρήση LNG. Κύρια αιτία γι αυτό είναι η χαμηλή απόδοση σε ενέργεια της μεθανόλης, έχει σχεδόν τη μισή θερμογόνο ικανότητα συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα και το LNG, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την απαίτηση μεγάλης ποσότητας καυσίμου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αυτό εγείρει και έναν άλλο προβληματισμό σχετικά με το κατά πόσο υπάρχει ή θα υπάρξει η απαιτούμενη διαθεσιμότητα μεθανόλης ως καύσιμο ώστε να καλυφθούν οι μεγάλες ποσότητες καυσίμου που χρειάζονται για την αντικατάσταση των συμβατικών.

Αναλύοντας τα Διαγράμματα **12**, **13** και **14** διαπιστώνεται ότι η επίδραση των εναλλακτικών καυσίμων στο επιτευχθέντα δείκτη CII και κατά συνέπεια και στην κατάταξη είναι μεγαλύτερη στα πλοία που έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, βελτιώνοντας αισθητά την απόδοσή τους. Αντίθετα σε πλοία μικρότερου μεγέθους η βελτίωση είναι σημαντικά μικρότερη.

Εστιάζοντας στα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από την χρήση εναλλακτικών καυσίμων, προκειμένου να απαντηθεί το **3^ο** ερώτημα, διαπιστώνεται ότι και πάλι η πιο αποδοτική λύση είναι η χρήση LNG. Συγκεκριμένα στο σενάριο αυτό το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα μειώνεται κατά 25%, σύμφωνα με το **Διάγραμμα 10**, ενώ και το οικονομικό όφελος είναι υψηλό, καθώς με τη χρήση LNG τόσο το κόστος απόκτησης όσο και η φορολογία EU ETS (**Διάγραμμα 25**) για το εκπομπόμενο CO₂ είναι χαμηλότερα συγκριτικά με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, με την πλοιοκτήτρια εταιρεία να εξοικονομεί συνολικά για το στόλο ποσό 23 εκατομμυρίων ευρώ στο τέλος του έτους (Διάγραμμα 24).

Ο συνδυασμός του LNG με τη χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου αυξάνει τα περιβαλλοντικά οφέλη, με το ποσοστό του εκπεμπόμενου CO₂ να μειώνεται κατά 32%, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 10**, που αντιστοιχεί σε 283,052 τόννους λιγότερους ετησίως (**Διάγραμμα 9**). Οικονομικά, εκ πρώτης όψεως, ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών δεν φαίνεται ως η πιο αποδοτική λύση. Παρά το γεγονός ότι η εκπεμπόμενη ποσότητα CO₂ μειώνεται και κατά συνέπεια και ο φόρος EU ETS (**Διάγραμμα 21**) που καλείται να πληρώσει η εταιρεία, τα συνολικά λειτουργικά έξοδα υπολογίζονται λίγο μεγαλύτερα συγκριτικά με τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη τιμή απόκτησης της kWh από το λιμάνι. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι στη γενική σύγκριση των λειτουργικών εξόδων δεν έχει ληφθεί υπόψη το κόστος συντήρησης των μηχανών ανά παραγόμενη kWh. Στο **Διάγραμμα 15**, όπου γίνεται σύγκριση των τιμών απόκτησης και παραγωγής της kWh είναι εμφανές ότι η χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου κοστίζει λιγότερο στην εταιρεία, επομένως ο συνδυασμός της με χρήση LNG μπορεί να υπερτερεί και στο συνολικό κόστος.

Η χρήση τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου παρουσιάζεται ως πιο αποδοτική οικονομικά, με την εταιρεία να εξοικονομεί για το στόλο συνολικά ποσό

21,000,000€ (**Διάγραμμα 15**). Θεωρώντας ότι η εγκατάσταση των υποδομών για την υποστήριξη τεχνολογίας ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου κοστίζει 940,000€ ανά πλοίο, δηλαδή 15,000,000€ συνολικά, το κόστος αυτό αποσβένεται μέσα στο πρώτο έτος λειτουργίας και η εταιρεία έχει επιπλέον κέρδος 6,000,000€. Από περιβαλλοντική άποψη, η χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην απαλλαγή της ατμόσφαιρας γύρω από το λιμάνι από τους ρύπους, μείωση κατά ποσοστό 11% (**Διάγραμμα 10**) ετησίως, καθώς και στην επαγόμενη μείωση στους απαιτούμενους φόρους.

Κατά αντιστοιχία με τη χρήση ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου, η χρήση μεθανόλης αποφέρει μια μείωση στο εκπεμπόμενο CO₂ της τάξεως του 10%, ποσοστό που μπορεί να φτάσει και το 19% όταν συνδυαστεί με ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου (**Διάγραμμα 10**), δηλαδή μείωση των ρύπων κατά 166,600 τόνους (**Διάγραμμα 9**). Ωστόσο, η οικονομική διευρέυνση της χρήσης του συγκεκριμένου καυσίμου δεν παρουσιάζει ενθαρρυντικά αποτελέσματα καθώς παρατηρείται αύξηση στα συνολικά έξοδα κατά ποσοστό 21%, δηλαδή 38,000,000€ ετησίως, όταν μελετάται γκρι μεθανόλη. Το ποσό αυτό εκτοξεύεται στα 358,500,000€ επιπλέον έξοδα ανά έτος, ποσοστό 200% (**Διάγραμμα 24** και **Διάγραμμα 25**), αν χρησιμοποιηθεί πράσινη μεθανόλη, η οποία παρουσιάζει τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη λόγω της μη εκπομπής CO₂ κατά την Well to Tank φάση, αλλά έχει πολύ υψηλό κόστος παραγωγής και πώλησης. Το έξοδα και για τα δύο ήδη μεθανόλης φαινομενικά αυξάνονται περαιτέρω όταν συνδυάζεται με τεχνολογία ηλεκτρικής διασύνδεσης λιμένα - πλοίου. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτή η αύξηση δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος συντήρησης των μηχανών ανά παραγόμενη ενέργεια.

Καταληκτικά, η χρήση LNG ως καύσιμο παρουσιάζει τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά και φαίνεται να είναι μια καλή εναλλακτική στη χρήση συμβατικών καυσίμων. Ειδικότερα ο συνδυασμός με ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου μπορεί να συμβάλει στη σταδιακή απανθρακοποίηση της ναυτιλίας.

Ωστόσο, η λύση αυτή δεν αποτελεί πανάκεια. Η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με LNG θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με προσοχή κυρίως λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων εξοικονόμησης άνθρακα και των υψηλών επενδύσεων σε υποδομές. Εναλλακτικές λύσεις και περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι που έχουν τεθεί.

Περαιτέρω Έρευνα

Το παρόν πρότζεκτ εστιάζει κυρίως στις Tank to Wake εκπομπές παρουσιάζοντας ερευνητικό κενό στην προσέγγιση των Well to Tank ρύπων. Ωστόσο οι θεσμοί καθιερώνουν κανονισμούς, όπως ο FUEL EU, που εστιάζουν και στα δύο ήδη εκπομπών. Ως εκ τούτου, η ολοκληρωμένη ανάλυση που περιλαμβάνει αξιολόγηση όλου του κύκλου ζωής και τεχνοοικονομική ανάλυση, και λαμβάνει υπόψη τις ευρύτερες επιπτώσεις της παραγωγής καυσίμων πλοίων κρίνεται επιτακτική.

Όπως σημειώνεται και στη μεθοδολογία τη χρονική περίοδο διεξαγωγής του πρότζεκτ οι διορθωτικοί συντελεστές για τον υπολογισμό του CII δεν βρίσκονται σε ισχύ και δεν λαμβάνονται υπόψη. Ωστόσο ο συνυπολογισμός τους, ειδικά για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου, αναμένεται να βελτιώσει τον επιτευχθέντα δείκτη και την κατηγοριοποίηση των πλοίων. Επομένως χρήζει περαιτέρω έρευνας και αξιολόγησης.

Επιπρόσθετα, η διερεύνηση μόνο δύο εναλλακτικών καυσίμων δεν επιτρέπει ολοκληρωμένη οπτική στην αποδοτικότητα των εναλλακτικών καυσίμων και ασφαλή συμπεράσματα για τα πρωταγωνιστικά καύσιμα του μέλλοντος. Περαιτέρω μελέτη των υπόλοιπων διαθέσιμων καυσίμων και εναλλακτικών τύπων πρόωσης, όπως η υβριδική ηλεκτρική με χρήση μπαταρίας που ενδείκνυται για επιβατηγά οχηματαγωγά κοντινών πλόων, σε συνδυασμό με τεχνολογίες και συσκευές εξοικονόμησης ενέργειας (ESDs- Energy Saving Devices), απαιτείται για την καθοδήγηση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του ναυτιλιακού τομέα.

Η επιλογή εναλλακτικών καυσίμων πρέπει να γίνει αξιολογώντας τα σημαντικότερα κριτήρια συμπεριλαμβανομένης της τιμής, της διαθεσιμότητας πρώτων υλών και των οδών εφοδιασμού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα μακρά χρονοδιαγράμματα που συνδέονται με την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων πλοίων, η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα πρέπει να δράσει άμεσα με ενότητα και σύνεση. Όσο πιο γρήγορα γίνουν συγκεκριμένα σχέδια για τη μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα πλοίων και την επένδυση σε υποδομές, τόσο πιο γρήγορα μπορεί να πραγματοποιηθεί ο στόχος των θαλάσσιων μεταφορών χαμηλών σε εκπομπές άνθρακα.

Περιορισμοί

Οι διάφορες θεωρήσεις και υποθέσεις που έχουν γίνει κατά την εκπόνηση του πρότζεκτ καθώς και η φύση των δεδομένων και η συνεχής μεταβλητότητα των τιμών, θέτουν περιορισμούς στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (2014). Στο *Χρηστικό λεξικό της Νεοελληνικής Γλώσσας*. Ακαδημία Αθηνών.
- ABS. (2021). *Sustainability Whitepaper : Hydrogen as Marine Fuel*.
- Alba et al, R.-F. C. (2021). Specific environmental charges to boost Ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου use in the European Short Sea Shipping. *Transportation Research* .
- Atilhan et al. (2021). Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering*.
- Balcombe et al. (2021). How can LNG-fuelled ships meet decarbonisation targets? An environmental and economic analysis. *Energy*.
- Ballini et al. (2015). Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology. *Research in Transportation Business & Management*.
- BALUCO. (2019). Ανάκτηση από COLD IRONING: THE ROLE OF PORTS IN REDUCING SHIPPING EMISSIONS: <https://www.baluco.com/cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>
- Battistelli et al. (2012). THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CRUISE SHIPS IN THE PORT OF NAPLES: ANALYSIS OF THE POLLUTION LEVEL AND POSSIBLE SOLUTIONS. *Maritime Environment Research II* .
- Bencki, P. (2021). Hybrid Propulsion Solutions Leading the Way to a Zero-Carbon Future. *The Maritime Executive*.
- Bicer et al. (2018). Environmental impact categories of hydrogen and ammonia driven transoceanic maritime vehicles: A comparative evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy* 43.
- Britannica*. (2023). Ανάκτηση από Shipping: <https://www.britannica.com/technology/shipping-water-transportation>
- Bureau Veritas*. (2023). Ανάκτηση από ENTERING A NEW ERA FOR BATTERY-POWERED SHIPS: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/entering-new-era-battery-powered-ships>
- Center For Strategic & International Studies*. (2023). Ανάκτηση από Hydrogen: The Key to Decarbonizing the Global Shipping Industry?: <https://www.csis.org/analysis/hydrogen-key-decarbonizing-global-shipping-industry#:~:text=In%20order%20to%20power%20ships%2C%20hydrogen%20needs%20to,heat%20energy%2C%20which%20powers%20the%20ship%E2%80%99s%20propulsion%20mechanism.>
- Christodoulou et al. (2022). Potential alternative fuel pathways for compliance with the 'FuelEU Maritime Initiative'. *Transportation Research Part D*.
- DNV. (2023). Ανάκτηση από <https://www.dnv.com/services/energy-efficiency-design-index-calculator-140598>

- DNV*. (2023). Ανάκτηση από CII-Carbon Intensity Indicator: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/CII-carbon-intensity-indicator/index.html>
- DNV*. (2023). Ανάκτηση από Smells like sustainability: Harnessing ammonia as ship fuel: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Harnessing-ammonia-as-ship-fuel.html>
- DNV*. (2023). Ανάκτηση από Five lessons to learn on hydrogen as ship fuel: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Five-lessons-to-learn-on-hydrogen-as-ship-fuel.html>
- DNV*. (2023). Ανάκτηση από Use of biofuels in shipping: <https://www.dnv.com/news/use-of-biofuels-in-shipping-240298>
- elengy*. (2023). Ανάκτηση από How is LNG used?: [https://www.elengy.com/en/how-lng-used#:~:text=Compared%20to%20traditional%20heavy%20fuel,SO2\)%20and%20fine%20particle%20emissions](https://www.elengy.com/en/how-lng-used#:~:text=Compared%20to%20traditional%20heavy%20fuel,SO2)%20and%20fine%20particle%20emissions)
- Green Building Africa*. (2023). Ανάκτηση από Snapshot: The Different Types of Hydrogen Production: <https://www.greenbuildingafrica.co.za/snapshot-the-different-types-of-hydrogen-production/>
- Iannaccone et al. (2020). Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies. *Journal of Cleaner Production*.
- IMO*. (2019). Ανάκτηση από International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL): [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- IMO*. (2019). Ανάκτηση από International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL): [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- IMO*. (2020). Ανάκτηση από IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>
- IMO*. (2023). Ανάκτηση από EEXI and CII - ship carbon intensity and κατάταξη system: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx>
- IMO*. (2023). Ανάκτηση από Guidelines on life cycle GHG intensity of marine fuels (LCA Guidelines): <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Lifecycle-GHG--carbon-intensity-guidelines.aspx>
- Inal et al. (2022). Investigation on the decarbonization of shipping: An approach to hydrogen and ammonia. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- International Institute of Refrigeration*. (2023). Ανάκτηση από Liquefied Natural Gas: production process and cold energy recovery: <https://iifir.org/en/encyclopedia-of-refrigeration/liquefied-natural-gas-production-process-and-cold-energy-recovery-br-nbsp>
- IPPC*. (2023). *Sixth Assessment Report*.

- isalos.net*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.isalos.net/2022/04/osa-prepei-na-gnorizete-gia-tis-eidikes-perioches-elenchou-ekpompon-ecas-ton-ploion/>
- (2022). *ISWG-GHG 11/2/3*. IMO.
- Kotrikla et al. (2016). Abatement of air pollution at an aegean island port utilizing shore side. *Marine Policy*.
- Liquefied Gas Carrier*. (2023). Ανάκτηση από What is LNG ? Physical properties and composition of LNG: <http://www.liquefiedgascarrier.com/LNG.html>
- Lloyd's Register*. (2017). Ανάκτηση από First LR classed hydrogen-powered vessel launched: <https://www.lr.org/en/latest-news/first-lr-classed-hydrogen-powered-vessel-launched/>
- Lloyds Register*. (2023). Ανάκτηση από Carbon Intensity Indicator : <https://www.lr.org/en/carbon-intensity-indicator/>
- Lloyd's Register*. (2023). Ανάκτηση από What is the EU ETS?: <https://www.lr.org/en/fit-for-55/eu-ets-and-eu-mrv/>
- Lloyd's Register*. (2023). Ανάκτηση από EEXI - ENERGY EFFICIENCY EXISTING SHIP INDEX: <https://www.lr.org/en/eexi-energy-efficiency-existing-ship-index/>
- MAN Energy Solutions*. (2023). Ανάκτηση από Unlocking ammonia's potential for shipping: <https://man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine>
- MAN Energy Solutions*. (2023). Ανάκτηση από Methane Slip: <https://www.man-es.com/discover/decarbonization-glossary---man-energy-solutions/methane-slip>
- Marine Insight*. (2023). Ανάκτηση από What Is Energy Efficiency Design Index?: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/energy-efficiency-design-index/>
- Maritime Cyprus*. (2021). Ανάκτηση από Maritime infographic: The evolution of ship propulsion: <https://maritimecyprus.com/>
- Marpol Annex VI*. (2023). Ανάκτηση από EEDI & SEMP: <https://www.marpol-annex-vi.com/eedi-seemp/>
- (2018). *MEPC.1/Circ.778/Rev.3*. IMO.
- (2018). *MEPC.308(73)*.
- (2021). *MEPC.339(76)*.
- (2022). *MEPC.352(78)*.
- (2022). *MEPC.353(78)*.
- (2021). *MEPC.76/INF.60*.
- (2021). *MEPC.76/INF.60*.
- National Geographic*. (2023).
- Percic et al. (2020). Life-cycle cost assessment of alternative marine fuels to reduce the carbon footprint in short-sea shipping: A case study of Croatia . *Applied Energy* .

- Port Economics, Management and Policy*. (2023). Ανάκτηση από Emission Control Areas for Maritime Shipping:
<https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part7/ports-policies-and-politics/emission-control-areas-maritime-shipping/>
- Ren et al. (2017). Measuring the sustainability of marine fuels: A fuzzy group multi-criteria decision making approach . *Transportation Research*.
- SAFETY4SEA. (2019). Ανάκτηση από Cold Ironing: The role of ports in reducing shipping emissions: <https://safety4sea.com/cm-cold-ironing-the-role-of-ports-in-reducing-shipping-emissions/>
- Sciberras et al. (2015). Electrical characteristics of ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου energy supply. *Transportation Research*.
- Smits, J. (2008). *Shore Connected Power for the ferry / Ro Ro vessels in the port of Rotterdam*. Holland Marine Equipment BV.
- Spengler et al. (2020). Potential of cold-ironing for the reduction of externalities from in-port. *Journal of Environmental Management* .
- Stena Line*. (2023). Ανάκτηση από <https://news.cision.com/se/stena-line>
- Stopford. (2009). *Maritime Economics*. Routledge.
- Teoh et al. (2023). A review on production and implementation of hydrogen as a green fuel in internal combustion engines . *Fuel* 333.
- The Elizabeth Swann*. (2023). Ανάκτηση από MF HYDRA - LH2 CAR FERRY - NORWAY:
http://www.elizabethqueenseaswann.com/HISTORY/LH2_Ships_Ferries_Yachts_Hydrogen_Projects/MF_Hydra_Norled_Car_Ferry_Norway_Liquefied_Hydrogen_Lique.html
- Transport & Environment*. (2023). Ανάκτηση από Air pollution:
<https://www.transportenvironment.org/challenges/ships/ship-air-pollution/>
- Valera-Medina et al. (2021). Review on Ammonia as a Potential Fuel: From Synthesis to Economics. *Energy & Fuels*.
- Verhelst et al. (2019). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*.
- Wang et al. (2021). Comparative life cycle cost analysis of low pressure fuel gas supply systems for LNG fueled ships. *Energy*.
- Wartsila*. (2023). Ανάκτηση από Full electric vessels:
<https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/full-electric-vessels>
- WBCSD. (2023). Ανάκτηση από Biofuels in shipping: <https://wbcspdpublications.org/biofuels-in-shipping/#:~:text=Biofuels%20%E2%80%93%20produced%20by%20converting%20primary%20biomass%20or,methyl%20esters%20%28FAME%29%20or%20hydro-treated%20vegetable%20oils%20%28HVO%29>.

Zis, T. P. (2018). Prospects of ηλεκτρική διασύνδεση λιμένα - πλοίου as an emissions reduction option. *Trasportation Research* .

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. (2020). Ανάκτηση από <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>

Λόης Ζαννίκος Καρώνης. (2014). *Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών*. ΕΜΠ.

Προυσαλίδης, Ι. (2020, Ιανουάριος). Ηλεκτρικές διασυνδέσεις πλοίων και λιμένων. *Ηλεκτρολόγος*.