

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

**“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση
των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και
ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία”**

**Βασίλειος - Αλέξανδρος Τρίγγος
ΜΝΣΝΔ 22054**

Επιβλέπων:

Καθηγητής Δρ. Θεόδωρος Ζάννης

**Πειραιάς
Μάιος, 2024**

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

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

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Αν. Καθηγητής Δρ. Θ. Ζάννης

ΜΕΛΟΣ Β΄: Αν. Καθηγητής Δρ. Ι. Κατσάνης

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Αν. Καθηγητής Δρ. Ε. Παριώτης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η αγάπη μου για τη Ναυτιλία σε συνδυασμό με την αγωνία μου για την προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος και της ατμόσφαιρας, με οδήγησαν στο ωραίο ταξίδι, με το Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ), στη Διοίκηση της Ναυτικής Επιστήμης και Τεχνολογίας και στην εκπόνηση της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Προϋπόθεση για βιώσιμη ναυτιλία αποτελεί η Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος και η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους των πλοίων.

Ευχαριστίες σε όλους τους Καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου προσέφεραν και ιδιαίτερος στον επιβλέποντα Καθηγητή της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων Δρ. Θεόδωρο Ζάννη.

Ευχαριστίες στους γονείς μου που με παρότρυναν και με ενθάρρυναν.

Ευχαριστίες στην Κατερίνα για την υπομονή της και την συμπαράσταση.

Τέλος ευχαριστίες στον κ. Νίκο Χατζόπουλο, Πρόεδρο & Δ/ντα Σύμβουλο της “SPECTRUMLABS S.A.”, γιατί χωρίς τη δική του συμβολή δεν θα πραγματοποιούσα, παράλληλα εργαζόμενος, αυτό το ωραίο ταξίδι γνώσεων.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πορεία αναγκαστικής μετάβασης στην πράσινη ναυτιλία, με ορίζοντα το έτος 2050, θέτει σε συναγερμό τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Ασφαλώς οι άνθρωποι της ναυτιλίας έχουν επίγνωση της κοινής ωφέλειας, που απορρέει από την μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου και ακολουθούν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που θεσπίζονται από διεθνείς οργανισμούς.

Αντικείμενο της διατριβής μου είναι: α) Ο λειτουργικός σχεδιασμός για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία. β) οι τεχνολογικές εξελίξεις και τα καύσιμα με στόχο την αναγκαία ελαχιστοποίηση στο λειτουργικό κόστος, αφού ο αποδοτικός σχεδιασμός είναι ζωτικής σημασίας για τη ναυτιλία.

Οι κανόνες – οδηγίες του IMO (Δείκτης αξιολόγησης EEDI, EEXI, EEOI κ.λπ.), της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για τις θαλάσσιες μεταφορές (Fit for 55 / FuelEU Maritime) και της ένταξης στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών E.E (EU ETS) επιβάλλουν επιτάχυνση προσαρμογής.

Μέχρι σήμερα δεν έχουν αποκρυσταλλωθεί οι τεχνικές προδιαγραφές για τις μηχανές, ούτε τα νέα καύσιμα που θα χρησιμοποιηθούν μελλοντικά. Αναπάντητο παραμένει το ερώτημα ποιόν θα επιβαρύνει το οικονομικό κόστος προσαρμογής και μετάβασης.

Λέξεις – κλειδιά

Απανθρακοποίηση, ναυτιλία, IMO, FuelEU Maritime, MAC



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ABSTRACT

The forced transition to green shipping, with 2050 as the future target date, is setting the shipping industry on alert. Certainly, the people in the shipping industry are aware of the public benefit that comes from reducing greenhouse gas emissions and are following the environmental regulations established by international organizations.

The subject of my thesis is: a) operational planning for GHG emission reduction and more energy efficient ships. b) Technological and fuel developments with a view to the necessary minimization in operational costs, since efficient design is vital for shipping.

IMO rules and guidelines (assessment triggers EEDI, EEXI, EEOI, etc.), the European Green Agreement for Maritime Transport (Fit for 55/ FuelEU maritime) and the inclusion in the EE Emissions Trading Scheme (EU ETS) require accelerated adaptation.

To date, neither the technical specifications for the engines nor the new fuels to be used in the future have been crystallized. The question is also who bears the financial costs of adaptation and transition, although this is not the subject of my thesis.

Keywords

Decarbonization, shipping, IMO, FuelEU maritime, MAC



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT.....	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	3
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	4
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	5
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	8
2. ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	11
2.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ (ΙΜΟ).....	11
2.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ – ΠΡΟΛΗΨΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ	17
2.3. ΜΕΤΡΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ (MARKET BASED MEASURES - MBM’S)	20
3. ΤΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ (MAC: MARGINAL ABATEMENT COST)	20
3.1 ΜΕΛΕΤΗ - ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	22
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	25
3.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΙΩΣΗΣ.....	26
3.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΙΩΣΗΣ (MAC)	30
3.4.1. ΤΙΜΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	30
3.4.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ.....	32
3.4.3. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΠΤΩΣΗΣ	33
3.4.4. ΧΡΟΝΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	33
3.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	33
3.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ	35
3.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	43



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

- Πίνακας 1. Τεχνολογικές και λειτουργικές στρατηγικές μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προερχομένων από τα πλοία (σελ. 25).
Πηγή: Faber et. al., (2011) & MEPC.61 – INF.7.
- Εξισώσεις 1-2: EEDI & EEOI (σελ. 12).
Πηγή: IMO, MEPC.1/Circ.681

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1: Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα (σελ. 9).
Πηγή: micro-kosmos.uoa.gr
- Εικόνα 2: Μια γενική και απλοποιημένη διάταξη προώσεως πλοίου (σελ. 12)
Πηγή: IMO, MEPC.1 / Circ.682.
- Εικόνα 3: Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής - μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. (σελ. 13).
Πηγή: IMO’s work to cut GHG emissions from ships.
- Εικόνα 4: Στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου από τα πλοία (σελ. 14)
Πηγή: IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS.
- Εικόνα 5: Βαθμίδες και ζώνες βαθμολόγησης σύμφωνα με τον Απαιτούμενο Δείκτη CII (σελ. 15).
Πηγή: IMO (2021) RESOLUTION MEPC.339 (76).
- Εικόνα 6: Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP) (σελ. 16).
Πηγή: IMO (2016) RESOLUTION MEPC.335(76).
- Εικόνα 7: Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ ανά ρύπο (σελ. 17).
Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ).



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

- Γράφημα 1: Διαχρονική εκτίμηση εκπομπών CO₂ της διεθνούς ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές (σελ. 8).
Πηγή: IMO GHG study, (2013) and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
- Γράφημα 2: Προβλεπόμενη αύξηση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία (σελ. 23).
Πηγή: Buhaug, et. al., (2009).
- Γραφήματα 3α και 3β: Κεντρική εκτίμηση του δυναμικού μείωσης ανά τύπο πλοίου και συνολικά (σελ. 27).
Πηγή: Faber et. al., (2011) & MEPC.61 – INF.7
- Γράφημα 4: Μειώσεις CO₂ από την εφαρμογή τεχνικών και λειτουργικών μέτρων ανά τύπο πλοίου (σελ. 28).
Πηγή: Faber et. al., (2011).
- Γράφημα 5: Οριακό κόστος μείωσης του CO₂ για τις τεχνολογίες που αναλύθηκαν. (σελ. 29).
Πηγή: Faber et. al., (2011).
- Γράφημα 6: Ιστορικές και προβλεπόμενες τιμές για τα κατάλοιπα καυσίμων και το αργό πετρέλαιο (σελ. 31).
Πηγή: Faber et. al., (2011).
- Γράφημα 7: CO₂ δυνατότητες μείωσης των εκπομπών και κόστος εξοικονόμησης καυσίμων (σελ. 32).
Πηγή: Faber et. al., (2011).
- Γράφημα 8: Σύγκριση διαθέσιμων μελετών (σελ. 34).
Πηγή: Faber et. al., (2011).



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

CII – Carbon Intensity Indicator

COP - Conference of the Parties

EEDI – Energy Efficiency Design Index

EEOI – Energy Efficiency Operational Indicator

EEXI - Energy Efficiency Existing Index

EIA - Energy Information Administration

EMSA – European Maritime Safety Agency

EU ETS – European Union Emissions Trading System

GHG: Greenhouse Gas

IAE - International Energy Agency

ICCT – International Council on Clean Transportation

IMO – International Maritime Organization

IUCM - International Union for Conservation of Nature

MAC – Marginal Abatement Cost

MARPOL – Marine Pollution

MBM – Market-based measure

MEPC – Marine Environmental Protection Committee

MRV – Measuring Reporting and Verification

SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan

SNAME - Society of Naval Architects and Marine Engineers

UNFCCC – United Nation Framework Convention on Climate Change



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πορεία προς την «Πράσινη Ναυτιλία» αποτελεί μία πολύπλοκη πρόκληση με τεχνικές δυσκολίες και μεγάλη οικονομική και κοινωνική σημασία.

Έως και σήμερα τα κράτη – μέλη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization, IMO) δεν έχουν καταλήξει σε συμφωνία στα μέτρα για την πράσινη μετάβαση, παρά το ότι τον Ιούλιο του έτους 2023 είχαν συμφωνήσει να εγκρίνουν ένα οικονομικό και τεχνικό μέτρο με τη μορφή παγκόσμιου προτύπου καυσίμων, μέχρι το Φθινόπωρο του έτους 2025.

Διαφορετικές προσεγγίσεις για τα μέτρα που προτείνονται υπάρχουν μεταξύ IMO – Ε.Ε – Κίνας – Η.Π.Α και άλλων Κρατών και κυρίως με μεγάλες διαφορές στην εξεύρεση χρηματοδότησης, με την Κίνα να υποστηρίζει ότι το οικονομικό μέτρο θα προκύπτει από το τεχνικό μέτρο που θα υιοθετηθεί. Είναι καθοριστικός και πολυσύνθετος ο ρόλος του IMO να εξισορροπεί τις διαφορετικές απόψεις και να συνθέτει επωφελείς λύσεις για το σύνολο του Κλάδου.

Με δεδομένη την αυξητική τάση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου η στρατηγική του IMO αποτελεί μονόδρομο για τη μείωση των εκπομπών αερίων με στόχο μηδενικές εκπομπές έως ή πλησίον του έτους 2050.

Η Διεθνής Ναυτιλία αποτελεί το κλειδί για την Παγκόσμια Οικονομία, καθώς μεταφέρει πάνω από το 90% του όγκου του παγκόσμιου εμπορίου και είναι το πιο φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς.

Η Ελλάδα που ελέγχει με τους Έλληνες πλοιοκτήτες πάνω από 20% και 59% του Παγκόσμιου και Ευρωπαϊκού στόλου αντίστοιχα είναι στην ηγεσία και την κορυφή της Παγκόσμιας Ναυτιλίας (τον μεγαλύτερο παγκόσμιο στόλο με 5.500 πλοία).

Διαχρονικά η Ελληνική Ναυτιλία είναι θεμελιακός εγγυητής, επενδύει, ανανεώνεται και δημιουργεί έναν σύγχρονο και νέας ηλικίας στόλο.

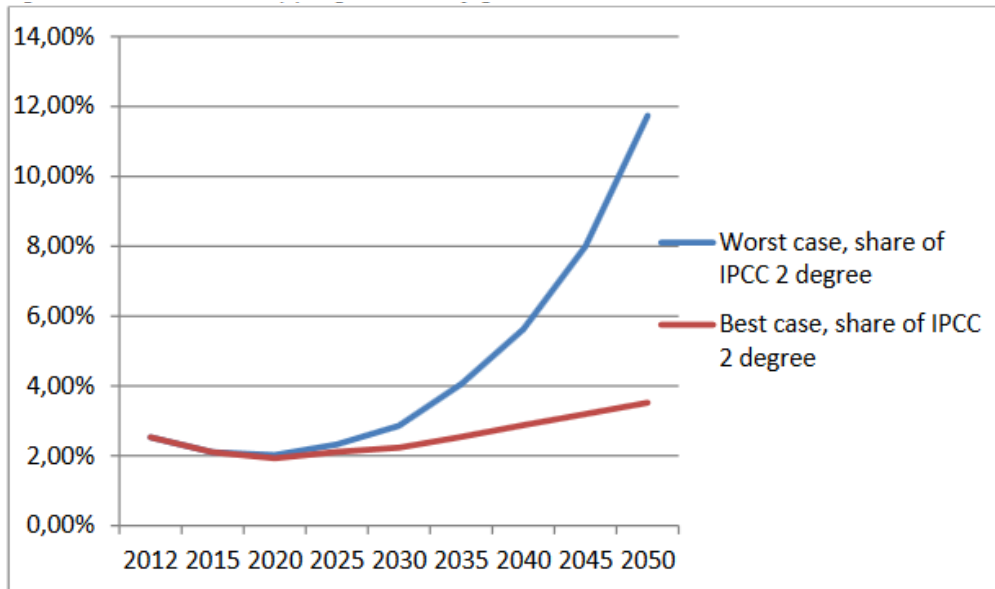
Με υψηλή τεχνογνωσία πρωτοστατεί για την προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο Παγκόσμιος Κλάδος Μεταφορών κατέχει το 24% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη ναυτιλία να κατέχει το μικρότερο ποσοστό της τάξης του 2,2% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα όπως υπολογίστηκε το



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

έτος 2017 (Fenhann, 2017), αλλά με ραγδαία αύξηση τα τελευταία έτη καθώς έχουμε αύξηση του όγκου των φορτίων παγκοσμίως.



Γράφημα 1: Διαχρονική εκτίμηση εκπομπών CO₂ της διεθνούς ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές

Πηγή: IMO GHG study 2013 and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

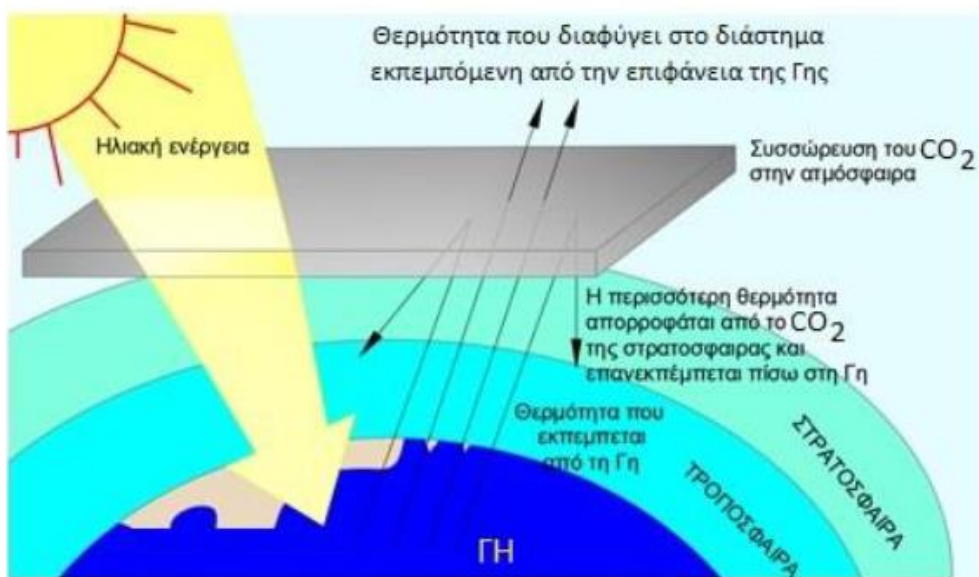
Η ατμόσφαιρα απορροφά ηλιακή ακτινοβολία (περίπου 25% της εισερχόμενης) καθώς και μεγάλη ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει η επιφάνεια της Γης. Ασφαλώς και η ατμόσφαιρα εκπέμπει μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας προς την επιφάνεια της Γης. Η επιστροφή αυτή επιβραδύνει τη διαφυγή θερμότητας προς το διάστημα με αποτέλεσμα τα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας να έχουν μέση θερμοκρασία υψηλότερη απ' ότι έχουν τα ανώτερα.

Συνεπώς, η θερμοκρασία της Γης διατηρείται σε υψηλότερα επίπεδα κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα αέρια που συμμετέχουν στη διαδικασία αυτή που προκαλεί το φαινόμενο είναι ότι οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το όζον, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου απορροφούν την υπέρυθρη γήινη ακτινοβολία με αποτέλεσμα της μείωσης του ποσοστού διαφυγής στο διάστημα.



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”



Εικόνα 1: Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα
Πηγή: micro-kosmos.uoa.gr

Τον 18^ο αιώνα και με αφετηρία την Βιομηχανική Επανάσταση η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί στα 415 ppm από 280 ppm.

Οι μεγάλες αυξήσεις εκπομπών στην ατμόσφαιρα έχουν μεταβάλει την ισορροπία του οικοσυστήματός της με συνέπεια τη συγκράτηση της υπέρυθρης γήινης ακτινοβολίας και τη μεγαλύτερη μείωση στο ποσοστό διαφυγής της στο διάστημα καταλήγοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας στην παγκόσμια κοινότητα.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι συνδεδεμένο με την παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη Γη (Global Warning Phenomenon) και είναι αποτέλεσμα του φυσικού φαινομένου και σημαντικής ενίσχυσής του από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου ξεκίνησε να απασχολεί τη διεθνή κοινότητα στις αρχές της δεκαετίας του 1990 όταν ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε) θέσπισε τη Σύμβαση – Πλαίσιο για την Κλιματική αλλαγή το έτος 1992, υπογράφηκε από 154 χώρες στο Ρίο ντε Τζανέιρο και τέθηκε σε ισχύ το έτος 1994. Σύμβαση γνωστή ως UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) είναι τα κάτωθι:

- Υδρατμοί (H_2O)
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- Μεθάνιο (CH_4)
- Όζον (O_3)
- Υποξείδιο του αζώτου (N_2O)

Ενώσεις του φθορίου (Συνθετικά χημικά)

- Εξαφθοριούχο του θείου (SF_6)
- Υδροφθοράνθρακες (HFCs)
- Υπερφθοράνθρακες (PFCs)

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής από τα αέρια του θερμοκηπίου μπορούν να επικεντρωθούν στους δείκτες:

- I. Αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.
- II. Τήξη των πάγων και υπερθέρμανση των ωκεανών.
- III. Αύξηση της στάθμης της θάλασσας.
- IV. Αλλαγή του κλίματος – Ακραία καιρικά φαινόμενα.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου διατυπώθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο Φυσικό και Μαθηματικό J.B.J. Fourier που δημοσίευσε το έτος 1822 το έργο του “Theorie analytique de la chaleur” (Fourier, 1822) και στη συνέχεια για πρώτη φορά ο Σουηδός Επιστήμονας S. Arrhenius σε μελέτη του εξέτασε τη σχέση μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου και των αλλαγών του κλίματος (Arrhenius, 1896).

Η οικουμενικότητα του φαινομένου του θερμοκηπίου και οι σοβαρές συνέπειες και απειλές στην κλιματική αλλαγή οδήγησαν τον Ο.Η.Ε κατά τη συνάντηση COP-21 του έτους 2015 στο Παρίσι στην υπογραφή από όλα τα μέλη της Συμφωνίας του Παρισιού με νέο στόχο να περιορισθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στους 1,50 °C συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Η παραπάνω συμφωνία υπογράφηκε από 196 χώρες, τέθηκε σε ισχύ το έτος 2016 και αποτελεί ορόσημο στην αντιμετώπιση του πολύπλοκου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι την πλειοψηφία των πηγών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου καλύπτει η Συμφωνία του Παρισιού με μοναδικές εξαιρέσεις τη διεθνή αεροπορία και την εμπορική ναυτιλία. Η μεν πρώτη υπάγεται στη δικαιοδοσία του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) η δε ΝΑΥΤΙΛΙΑ στη δικαιοδοσία του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO).

2. ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

2.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ (IMO)

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) δεσμεύεται να υποστηρίξει τον Στόχο 13 της Βιώσιμης Ανάπτυξης του Ο.Η.Ε, σύμφωνα με τη Συμφωνία του Παρισιού, του έτους 2015 και με σχέδιο δράσης και στρατηγική να αντιμετωπίσει τις επιβλαβείς εκπομπές αερίων (GHG) από τα πλοία.

Ο IMO αποτελεί οργανισμό του Ο.Η.Ε και ιδρύθηκε στη Γενεύη το έτος 1948 ως IMCO (International Maritime Cooperation Organization) που μετονομάστηκε σε IMO το έτος 1982.

Ήδη από την 15^η Ιουλίου 2011 ο IMO είχε εγκρίνει το πρώτο σύνολο διεθνών υποχρεωτικών μέτρων για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Η μείωση των αέριων ρύπων και η σχεδίαση των νέων πλοίων να γίνεται σύμφωνα με τους δύο Δείκτες Εκπομπών CO₂, του «Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Design Index – EEDI) και τον «Ενεργειακό Δείκτη Επιχειρησιακής Απόδοσης» (Energy Efficiency Operational Indicator – EEOI).

Ο EEDI χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του σχεδιασμού της προωστήριας εγκατάστασης και του σκάφους, ενώ ο Λειτουργικός Δείκτης (EEOI) χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει τον χειρισμό στην ανάπτυξη των βέλτιστων πρακτικών επί του πλοίου και κατέστη υποχρεωτικός από την 1^η Ιανουαρίου 2013.



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
 “Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFG_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFG_{AE}) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff(i)}} \right) C_{FAE} \cdot SFG_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFG_{AE} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

ή

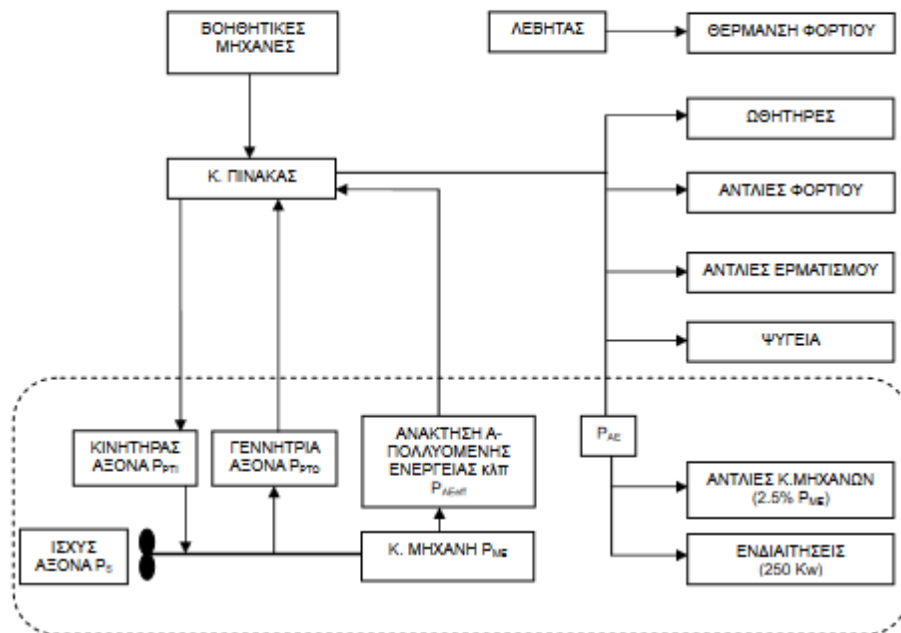
$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{transport work}}$$

και

$$EEOI = \frac{\text{actual } CO_2 \text{ emission}}{\text{performed transport work}}$$

Εξισώσεις 1-2: EEDI & EEOI

Πηγή: IMO, MEPC.1/Circ.681



Εικόνα 2: Μια γενική και απλοποιημένη διάταξη προώσεως πλοίου

Πηγή: IMO, MEPC.1 / Circ.682



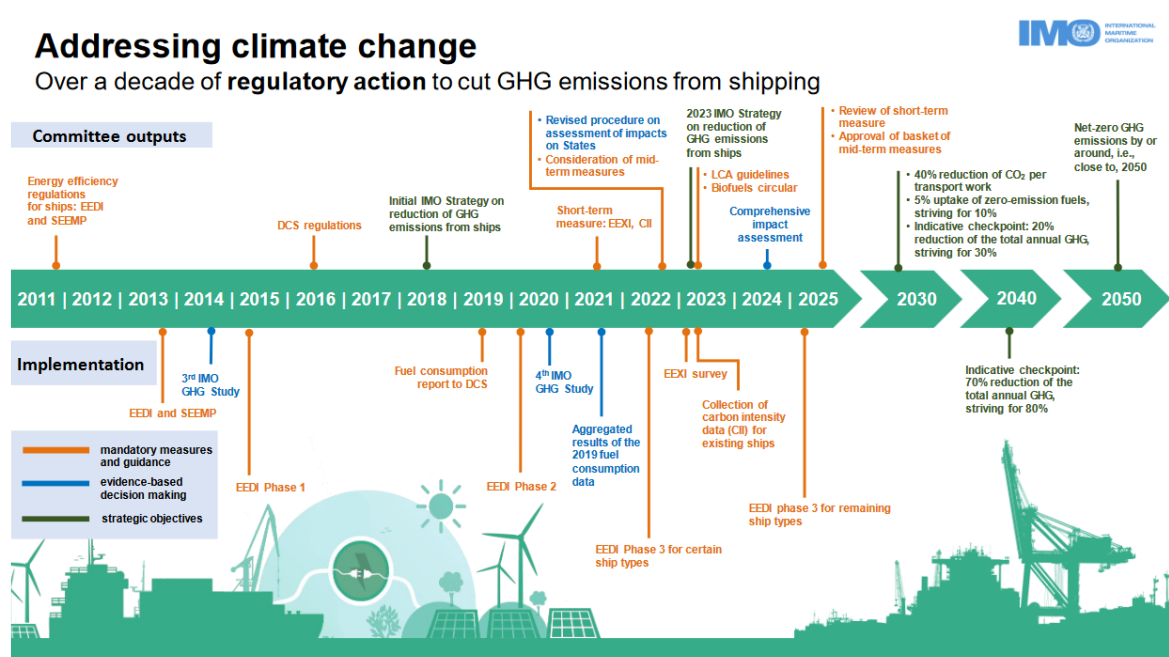
“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

Πρόσθετα και ρυθμιστικά μέτρα έλαβε ο IMO στη συνέχεια, όπως το έτος 2018 και το έτος 2023, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, με ενισχυμένους στόχους για την αντιμετώπιση των επιβλαβών εκπομπών.

Η αναθεωρημένη στρατηγική του IMO GHG το έτος 2023 εγκρίθηκε στην Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC 80) και περιλαμβάνει την επίτευξη του φιλόδοξου στόχου καθαρών μηδενικών εκπομπών GHG από τη διεθνή ναυτιλία έως ή πλησίον του έτους 2050.

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος εξετάζει προτάσεις για μεσοπρόθεσμα μέτρα μετά από συζήτηση στη Δια-συνεδριακή Ομάδα Εργασίας GHG.

Η στρατηγική του IMO GHG 2023 δεσμεύει τα Κράτη Μέλη να αναπτύξουν και να υιοθετήσουν έως τα τέλη του έτους 2025: Α) ένα τεχνικό στοιχείο, δηλαδή ένα πρότυπο καυσίμων πλοίων με βάση τους στόχους που ρυθμίζει τη σταδιακή μείωση της έντασης GHG και Β) ένα οικονομικό στοιχείο, βάσει ενός μηχανισμού τιμολόγησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη θάλασσα.



Εικόνα 3: Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής - μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία.

Πηγή: IMO's work to cut GHG emissions from ships

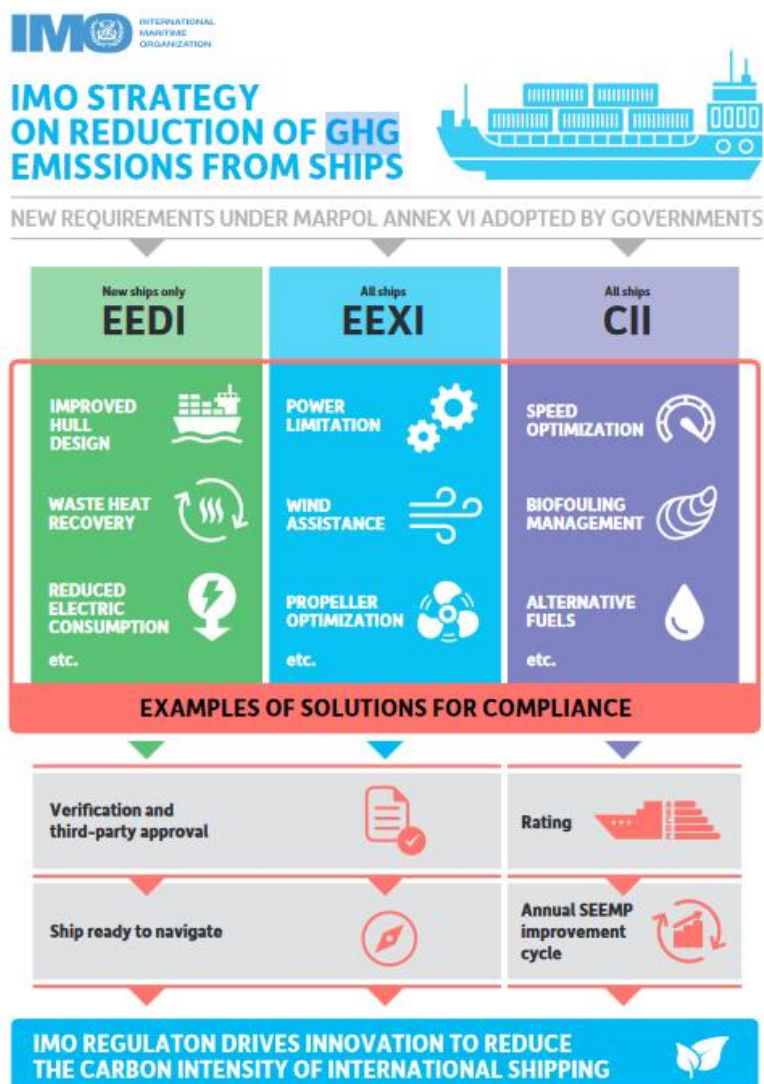
Από την 1^η Ιανουαρίου 2023, σύμφωνα με τροποποιήσεις στη Διεθνή Σύμβαση για την πρόσληψη της Ρύπανσης από τα πλοία (Παράρτημα VI-MARPOL, που τέθηκε σε ισχύ την



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

1^η Νοεμβρίου 2022) έγινε υποχρεωτικό για όλα τα πλοία να υπολογίζουν το Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (EEXI) για να μετρήσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να ξεκινήσουν τη συλλογή δεδομένων για τον ετήσιο δείκτη έντασης άνθρακα (CII) και της βαθμολογίας CII.

Στην πραγματικότητα οι δείκτες EEXI & EEDI, που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, απευθύνονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής των πλοίων.



Εικόνα 4: Στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου από τα πλοία

Πηγή: IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships

Ο δείκτης EEDI εφαρμόζεται στον σχεδιασμό και την κατασκευή για τα νέα πλοία και υπολογίζεται βάσει της σχεδιαστικής ταχύτητας του πλοίου. Από την άλλη πλευρά, ο EEXI

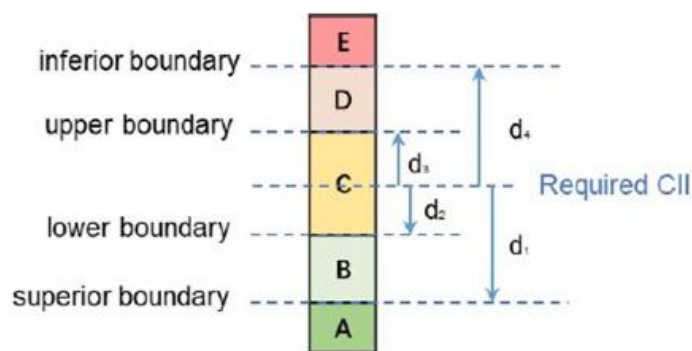


“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

είναι ένας δείκτης που εφαρμόζεται σε υφιστάμενα πλοία και υπολογίζεται βάσει της τρέχουσας απόδοσης του πλοίου σε σχέση με την σχεδιαστική του ταχύτητα.

Ο *EEXI* συμπληρώνει τον *EEDI*, καθώς καλύπτει τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για υφιστάμενα πλοία, ενώ ο *EEDI* υπολογίζεται μόνο για τις νέες κατασκευές. Οι δυο αυτοί δείκτες αποτελούν συνδυαστικά ένα μεγάλο μέρος της προσπάθειας του *IMO* για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα της ναυτιλίας, προωθώντας την βιώσιμη ναυτιλία.

Ο Δείκτης Έντασης Άνθρακα (*Carbon Intensity Indicator – CII*) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων του άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας, σε πλοία 5.000 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω και την απόσταση ταξιδιών. Αυτός ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέτρο σύγκρισης της περιβαλλοντικής απόδοσης μεταξύ διαφορετικών πλοίων, αναγνωρίζοντας τα πιο αποδοτικά πλοία. Με την εφαρμογή του δείκτη παρακολουθείται η πρόοδος στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από ναυτιλιακές δραστηριότητες. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται ετησίως και τα δεδομένα συλλέγονται από 1^η Ιανουαρίου μέχρι 31^η Δεκεμβρίου του εκάστοτε έτους. Βάσει των αποτελεσμάτων, το κάθε πλοίο βαθμολογείται ετησίως σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, με βάση μια κλίμακα που περιλαμβάνει πέντε βαθμίδες A, B, C, D και E (Το A αντιστοιχεί στην καλύτερη βαθμολογία) και τέσσερα όρια του μηχανισμού αξιολόγησης (*IMO g*, 2021).



Εικόνα 5: Βαθμίδες και ζώνες βαθμολόγησης σύμφωνα με τον Απαιτούμενο Δείκτη CII.

Πηγή: *IMO (2021) RESOLUTION MEPC.339(76)*

Οι κανονισμοί *CII* & *EEXI* περιλαμβάνονται στο Παράρτημα VI *MARPOL* που έχει 105 συμβαλλόμενα μέρη και αντιπροσωπεύουν το 96,8% της Παγκόσμιας Εμπορικής Ναυτιλίας. Ισχύουν για όλα τα πλοία 400 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Παρά ταύτα οι κανονισμοί για την ένταση άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας στο Κεφάλαιο 4 του παραπάνω Παραρτήματος δεν εφαρμόζονται σε πλοία που εκτελούν αποκλειστικά ταξίδια εντός υδάτων που υπόκεινται στην κυριαρχία ή τη δικαιοδοσία του κράτους τη σημαία του οποίου το πλοίο δικαιούται να φέρει.

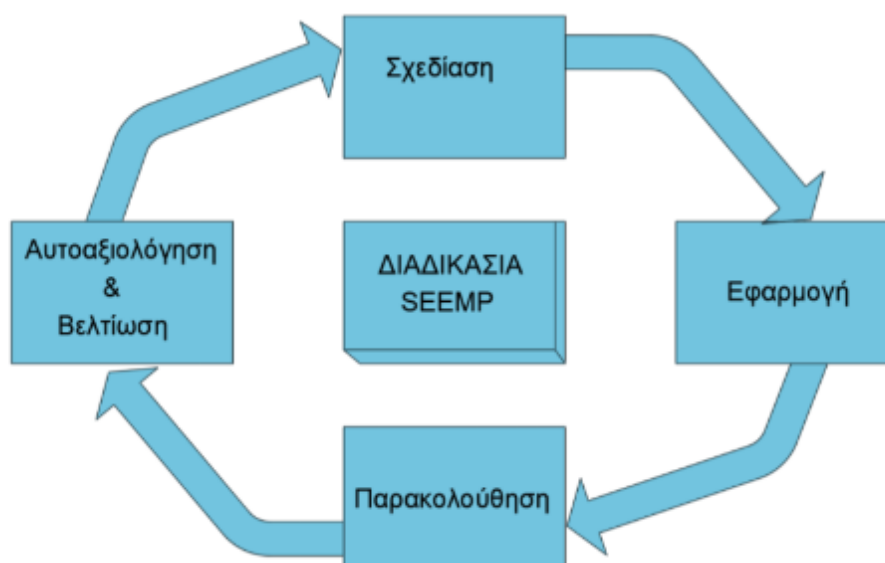
Ενώ το EEXI ισχύει γενικά για κάθε πλοίο 400 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω, το CII ισχύει για πλοία 5.000 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω.

Τα πλοία 400 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω θα πρέπει να επιθεωρηθούν και να εκδοθούν τα κατάλληλα πιστοποιητικά.

Το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) του IMO αποτελεί, από το έτος 2009, υποχρεωτικό μέτρο για όλα τα πλοία 400 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω. Στόχος η ανάπτυξη και η εφαρμογή σχεδίου διαχείρισης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κάθε πλοίου, προσαρμοσμένο κάθε φορά ανά περίπτωση.

Το SEEMP περιλαμβάνει τέσσερις (4) φάσεις:

- A) Φάση Σχεδιασμού (Planning)
- B) Φάση Εφαρμογής (Implementation)
- Γ) Φάση Παρακολούθησης (Monitoring)
- Δ) Φάση της αυτοαξιολόγησης και βελτίωσης (Self – evaluation and improvement).



Εικόνα 6: Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP)

Πηγή: IMO (2016) RESOLUTION MEPC.335(76)



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

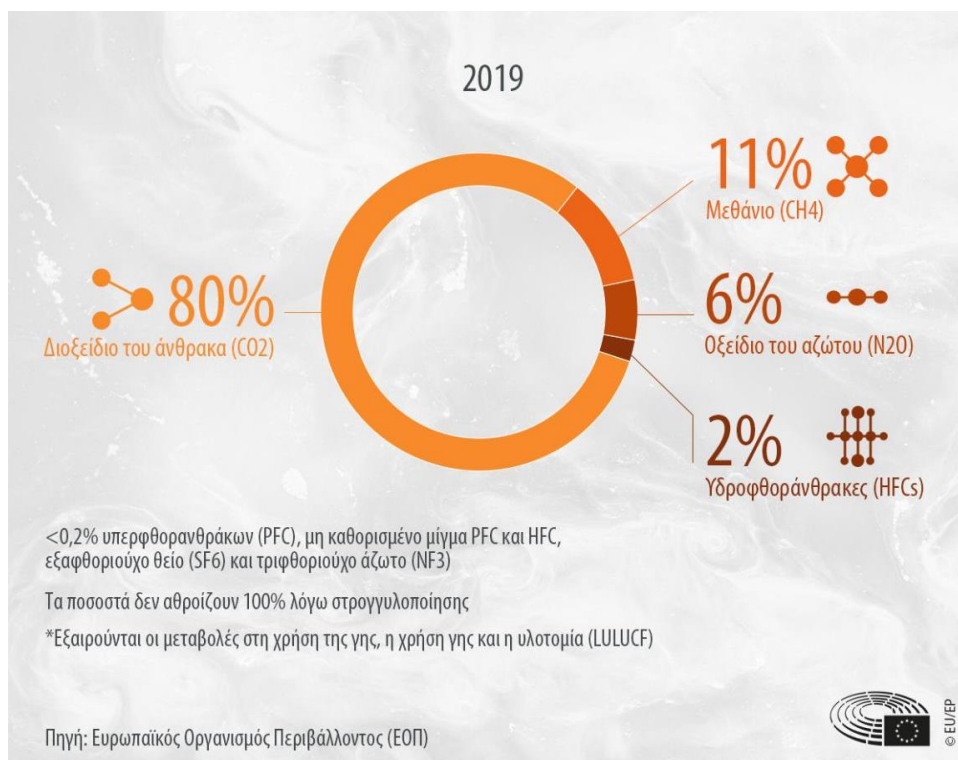
2.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ – ΠΡΟΛΗΨΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ

Στην Ε.Ε οι θαλάσσιες μεταφορές καλύπτουν το 77% του εξωτερικού εμπορίου και το 35% του ενδοκοινοτικού εμπορίου. Τα πλοία με σημαία σε κράτη μέλη της Ε.Ε αποτελούσαν, το έτος 2019, σχεδόν το ένα πέμπτο του συνολικού παγκόσμιου στόλου.

Για την Ε.Ε αποτελεί προτεραιότητα η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και ειδικότερα υποστηρίζει την εφαρμογή του “Fit for 55” που περιλαμβάνει, το Σχέδιο Δράσης Μηδενικής Ρύπανσης, τον Ναυτιλιακό Κανονισμό Fuel EU, τον κανονισμό βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων και την επέκταση και εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών (ETS).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ιδρύσει τον Ευρωπαϊκό οργανισμό για την ασφάλεια στη θάλασσα (EMSA-European Maritime Safety Agency). Αντικείμενο του οργανισμού ή προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος από τις θαλάσσιες μεταφορές, η διαχείριση της κλιματικής αλλαγής και η ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών.

Υποστηρίζει την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές με το φιλόδοξο στόχο της μηδενικής ρύπανσης.



Εικόνα 7: Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ ανά ρύπο



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Το 2015, τέθηκε σε ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός Παρακολούθησης, Αναφοράς και Επαλήθευσης (EU Monitoring, Reporting and Verification – MRV, Κανονισμός ΕΥ 2015/757). Η πρώτη περίοδος αναφοράς αρχίζει από την 1η Ιανουαρίου 2018, οπότε και όλα τα πλοία 5.000 τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω που καταπλέουν σε λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις εκπομπές CO₂ και να ελέγχονται ετησίως από έναν ανεξάρτητο φορέα. Στόχος είναι η ευαισθητοποίηση και η διαφάνεια των πληροφοριών αυτών να οδηγήσει σε ετήσια μείωση κατά 2% σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ναυτιλία. Ο κανονισμός MRV ύστερα από την υποβολή των δεδομένων, απαιτεί από την Επιτροπή να επανεξετάσει τα στοιχεία και να προτείνει τυχόν τροποποιήσεις εάν χρειάζονται (ICS, 2015).

Πράγματι το έτος 2023 πραγματοποιήθηκε τροποποίηση του παραπάνω Κανονισμού με τον υπ’ αρ. 2023/957 Κανονισμό (Ε.Ε) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 10^{ης} Μαΐου 2023 (ICS, 2023).

Σύμφωνα με τον τροποποιημένο Κανονισμό MRV 2023/957 από την 1^η Ιανουαρίου 2024 οι ναυτιλιακές εταιρίες πρέπει να παρακολουθούν και να αναφέρουν όχι μόνον τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία, αλλά και τις εκπομπές μεθανίου (CH₄) και οξειδίου του Αζώτου (N₂O). Από το έτος 2025, έως 31 Μαρτίου κάθε έτους οι ναυτιλιακές εταιρίες, για κάθε πλοίο τους θα πρέπει να υποβάλλουν έκθεση εκπομπών για ολόκληρη την περίοδο αναφοράς του προηγούμενου έτους.

Από την 1^η Ιανουαρίου 2024 οι εκπομπές CO₂ από ναυτιλιακές εταιρίες με πλοία ολικής χωρητικότητας 5.000 τόνων ή άνω, που προσεγγίζουν ή αναχωρούν από Λιμένες του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX) αποτελούν μέρος του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών (ETS) της Ε.Ε

Στο πλαίσιο αυτής της επέκτασης, κάθε χρόνο, οι ναυτιλιακές εταιρίες θα πρέπει να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις εκπομπές τους και να αγοράζουν και να παραδίδουν δικαιώματα εκπομπής ETS για κάθε τόνο αναφερόμενων εκπομπών CO₂ στο πεδίο εφαρμογής του συστήματος.

Το νέο σύστημα θα τεθεί σταδιακά σε εφαρμογή και οι ναυτιλιακές εταιρίες θα πρέπει να παραδώσουν δικαιώματα, ως εξής:

- Το 2025, για το 40% των εκπομπών που αναφέρθηκαν το 2024
- Το 2026, για το 70% των εκπομπών τους αναφέρθηκαν το 2025



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

- Από το 2027 και μετά, οι ναυτιλιακές εταιρίες θα πρέπει να παραδίδουν δικαιώματα για το 100% των αναφερόμενων εκπομπών τους.

Οι κανονιστικές αλλαγές απαιτούν επαναξιολόγηση από τις Ναυτιλιακές Εταιρίες των επιχειρησιακών στρατηγικών, με έμφαση στη μείωση των εκπομπών, την αποδοτική χρήση καυσίμων, τις περιβαλλοντικές τεχνολογίες και τις βιώσιμες θαλάσσιες πρακτικές.

Έχουν προταθεί από διεθνείς επιστημονικούς φορείς νέα τεχνολογικά και λειτουργικά μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας που θα έχουν ως συνέπεια την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Ενδεικτικά:

- Κατασκευή πλοίου με μικρότερη αντίσταση στο νερό.
- Αποδοτικότερες μηχανές και έλικες.
- Νέα εναλλακτικά καύσιμα, όπως:
 - Υδρογόνο – αμμωνία – μεθανόλη – πυρηνικά καύσιμα – υγροποιημένο φυσικό αέριο.
- Ηλεκτροκίνηση – χρήση ρεύματος στους Λιμένες.
- Συσκευές καθαρισμού – εξοικονόμησης ενέργειας.
- Αξιοποίηση του ανέμου.
- Μείωση ταχύτητας.
- Μείωση έρματος.
- Σχεδίαση δρομολογίου, με βάση τις καιρικές συνθήκες.

Η μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες θα πρέπει να είναι ασφαλής για τα πλοία και τους ναυτικούς και απαιτεί νέο εξειδικευμένο προσωπικό.

Το οικονομικό κόστος προσαρμογής θα είναι ιδιαίτερα μεγάλο και θα πρέπει να επιβαρύνει τη διεθνή κοινότητα και αυτούς που πραγματικά ρυπαίνουν.

Επίσης με επενδύσεις στην Έρευνα και Ανάπτυξη από Κατασκευαστές μηχανών παραγωγής καυσίμων και προμηθευτές ενέργειας.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

2.3. ΜΕΤΡΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ (MARKET BASED MEASURES - MBM'S)

Έχουν καταταθεί σε παγκόσμιο αλλά και σε περιφερειακό επίπεδο προτάσεις για μέτρα τα οποία βασίζονται στην επιρροή της αγοράς, όπως:

- Απευθείας φόρος στο καύσιμο.
- Σύστημα εμπορίας εκπομπών (ETS), που ήδη έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU ETS).
- Παγκόσμιος φόρος και όριο εκπομπής CO₂ π.χ. Maritime Emission Reduction Scheme (MERS)
- Παγκόσμια Πίστωση του Τομέα (Maritime Sector Crediting Mechanism – MSCM)
- Μηχανισμός έκπτωσης εντός του ταμείου GHG που προτάθηκε στον IMO από τη Διεθνή Ένωση για τη διατήρηση της Φύσης (IUCN) το έτος 2010.

3. ΤΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ (MAC: MARGINAL ABATEMENT COST)

Αποτελεί κριτήριο επιλογής του καταλληλότερου MBM.

Για κάθε τεχνολογία υπάρχει ο δείκτης MAC, που είναι το οριακό κόστος μείωσης και οδηγός στους παράγοντες της Ναυτιλίας και στον Πλοιοκτήτη για να εφαρμόσουν το μέτρο, όταν υπάρχει οικονομικό κίνητρο που παράλληλα μειώνει τις εκπομπές CO₂.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη του Διεθνούς Συμβουλίου για τις Καθαρές Μεταφορές (ICCT) που υποβλήθηκε αρχικά στον IMO σε αναλυτική τεχνική έκθεση (Faber, et. al., 2011) με θέμα: «Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία ΣΧΕΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ» όπως και περίληψη της που παραθέτω στη συνέχεια.

Οι καμπύλες οριακού κόστους μείωσης (MAC) αποτελούν βασικό στοιχείο των πολιτικών συζητήσεων, εφόσον υπάρχει ανάγκη απεικόνισης της επαυξημένης συμβολής των μερών σε ένα σύνολο. Στην προκειμένη περίπτωση, παρέχουν έναν απλό και έξυπνο τρόπο για την



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

απεικόνιση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τα πρότυπα σχεδιασμού, τις τεχνολογίες μετασκευής και τα λειτουργικά μέτρα που βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των πλοίων σε σχέση με το κόστος τους.

Η πρώτη γενιά καμπυλών MAC για τις μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλία ενθάρρυνε αποτελεσματικά τις συζητήσεις σχετικά με τα μέτρα και τα πρότυπα, αλλά δεν ήταν επαρκώς αναλυτική. Η ανάπτυξη περισσότερο προσαρμοσμένων πολιτικών για τη βιομηχανία απαιτεί τιμές MAC με μεγαλύτερη ανάλυση, ώστε να είναι εφαρμόσιμες σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων στο πλαίσιο των μελλοντικών εξελίξεων. Τέτοιες πολιτικές είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία κατάλληλων κινήτρων και σημάτων της αγοράς σε μια ποικιλόμορφη και ανταγωνιστική βιομηχανία. Οι πολιτικές που βασίζονται σε πιο γενικά δεδομένα χαμηλής ανάλυσης είναι πιθανότερο να οδηγήσουν σε ακούσιες ανισότητες και σε ανεπαρκώς προσαρμοσμένα κίνητρα.

Για τη βελτίωση της ακρίβειας των τιμών MAC στις θάλασσες και συγκεκριμένα για την υποστήριξη των αναπτυξιακών πολιτικών στον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), το ICCT και οι εταίροι του συνεργάστηκαν με την Εταιρεία Ναυπηγών Αρχιτεκτόνων και Ναυπηγών Μηχανικών (SNAME) για τον προσδιορισμό 50 πιθανών μέτρων αποδοτικότητας των πλοίων. Από αυτά, μόνο για τα 22 υπήρχαν διαθέσιμα επαρκή δεδομένα επιδόσεων για τον υπολογισμό της συνολικής σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και του δυναμικού μείωσης που συνδέεται με αυτά.

Η μελέτη εξέτασε αυτά τα μέτρα σε σχέση με 53 συνδυασμούς τύπων και μεγεθών πλοίων σε διάστημα 30 ετών. Τα οριακά κόστη αυτού του υποσυνόλου μέτρων υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο σε όλους αυτούς τους τύπους πλοίων για να παραχθεί μια πολύ πιο λεπτομερής απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο μέχρι το 2020 ο αυξανόμενος στόλος της βιομηχανίας θα μπορούσε να μειώσει τις ετήσιες εκπομπές CO₂ κατά 436 εκατομμύρια μετρικούς τόνους (mmt), ή το 33% του προβλεπόμενου ετήσιου συνόλου. Από το ποσό αυτό, οι 340 mmt (26% του συνόλου) θα μπορούσαν να επιτευχθούν με καθαρό αρνητικό κόστος, αφού ληφθούν υπόψη τα καύσιμα και άλλες εξοικονομήσεις.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

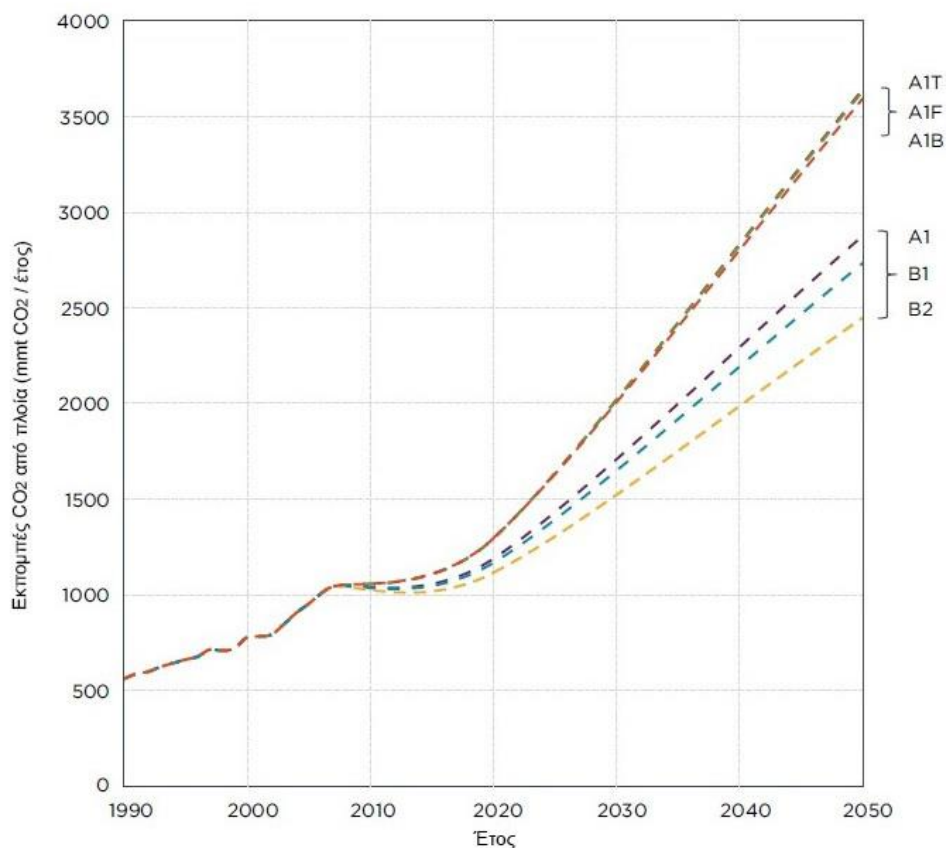
3.1 ΜΕΛΕΤΗ - ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι εκπομπές CO₂ εξαιτίας της ναυτιλίας αυξήθηκαν σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς το παγκόσμιο εμπόριο και η παραγωγή συνέχισαν να επεκτείνονται. Επειδή τα πλοία είναι μακράν το πιο ενεργειακά αποδοτικό μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων, οι εκπομπές στον τομέα της ναυτιλίας αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνονται, ακόμη και όταν οι αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου επιβαρύνουν την ανάπτυξη άλλων τρόπων μεταφοράς. Ο IMO, ως ο υπεύθυνος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών για τη μείωση της έντασης της αύξησης των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία, εξετάζει από πού θα πρέπει να προέλθουν οι μειώσεις, ποιος θα πληρώσει και πώς θα καταστήσει το σύστημα όσο το δυνατόν πιο δίκαιο και αποτελεσματικό. Τα de facto πρότυπα που βασίζονται σε αυτά τα μέτρα ενδεχομένως να αποτελούν το καλύτερο βραχυπρόθεσμο μέσο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από τον ναυτιλιακό τομέα.

Ο IMO προβλέπει ότι τα μίλια διακινούμενων τόνων εμπορευμάτων θα αυξάνονται κατά 2% έως 4% ετησίως από σήμερα έως το 2050. Αυτή η σημαντική αύξηση του κλάδου μεταφράζεται σε σχεδόν τριπλασιασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050. Εκτιμάται ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τη διεθνή ναυτιλία συμβάλλουν στην ατμόσφαιρα με 870 χιλ. τόνους CO₂, ενώ επιπλέον 180 χιλ. τόνους οφείλονται στα πλοία της εγχώριας και της εσωτερικής ναυσιπλοΐας το 2007, δηλαδή συνολικά 1050 χιλ. τόνους. Με τους σημερινούς ρυθμούς αύξησης, το CO₂ αναμένεται να ανέλθει μεταξύ 2.500 mmt και 3.650 mmt μέχρι το 2050. Από το 2007, οι εκπομπές CO₂ της εγχώριας και διεθνούς ναυτιλίας αντιστοιχούσαν στο 3,3% του παγκόσμιου συνόλου. Καθώς η εξάρτηση της παγκόσμιας οικονομίας από το παγκόσμιο εμπόριο αγαθών, υλικών και πετρελαίου συνεχίζει να αυξάνεται, το ποσοστό αυτό εκτιμάται ότι θα ανέλθει μεταξύ 2.500 mmt και 3.650 mmt έως το 2050.



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”



Γράφημα 2: Προβλεπόμενη αύξηση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία

mmt: million metric tons (εκατομμύρια μετρικοί τόνοι). Τα A1F, A1B, A1T, A2, B1 και B2 αποτελούν σενάρια αύξησης των εκπομπών που βασίζονται στις παγκόσμιες διαφορές στον πληθυσμό, την οικονομία, τη χρήση γης και τη γεωργία. Τα έξι σενάρια χρησιμοποιήθηκαν από την Ομάδα Εμπειρογνώμων του IMO, με σκοπό τη δημιουργία έξι σεναρίων ανάπτυξης της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Στο γράφημα 2 παρουσιάζονται οι προβλέψεις του IMO για την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με βάση έξι σενάρια με διαφορετικές παραδοχές για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, την αύξηση του διεθνούς εμπορίου και την αύξηση του ΑΕΠ (Buhaug et al., 2009). Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στην παραδοχή της συνήθους λειτουργίας με μικρή αλλαγή είτε στους ρυθμούς οικονομικής ανάπτυξης είτε στη σύνθεση και τη δραστηριότητα του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου. Οι κανονιστικές προτάσεις που θα τεθούν ενώπιον του IMO το 2011 θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις προβλέψεις αυτές, είτε αυξάνοντας σταδιακά τη συνολική αποδοτικότητα του ναυτιλιακού στόλου είτε αυξάνοντας το κόστος των εμπορευμάτων σε τόνους-μίλια. Για να επιτευχθούν



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

όμως οι φιλόδοξοι στόχοι μείωσης των εκπομπών CO₂, θα χρειαστούν ακόμη πιο βαθιές αλλαγές.

Σημαντικό μέρος της λύσης θα είναι η αξιοποίηση του αυξανόμενου αριθμού τεχνολογιών και επιχειρησιακών στρατηγικών που αποσκοπούν στην αύξηση της αποδοτικότητας των πλοίων. Οι εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τις καμπύλες οριακού κόστους μείωσης για τις τεχνολογίες αποδοτικότητας καταδεικνύουν τις σαφείς δυνατότητες αυτών των μελετών για την ενημέρωση της πολιτικής και της βιομηχανίας. Ωστόσο, πρόκειται για εκτιμήσεις ευρείας κλίμακας, χωρίς επαρκή λεπτομέρεια και διαφάνεια ώστε να λειτουργήσουν ως κάτι περισσότερο από ένας γενικός οδηγός για τη βιομηχανία και τους φορείς χάραξης πολιτικής. Μια πιο λεπτομερής ανάλυση της MAC, ιδίως όσον αφορά συγκεκριμένους τύπους και παλαιότητες πλοίων, θα διευκολύνει την ανάπτυξη πιο προσαρμοσμένων στρατηγικών τόσο από τις ρυθμιστικές αρχές όσο και από τη βιομηχανία. Ειδικότερα, με τις τρέχουσες τομεακές προσεγγίσεις των μηχανισμών που βασίζονται στην αγορά και εξετάζονται στον IMO, η βελτίωση της ανάλυσης MAC απαιτεί την καλύτερη ευθυγράμμιση της με τον τρόπο λειτουργίας της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Για τη βελτίωση της ανάλυσης και της χρησιμότητας της προσέγγισης MAC, το 2010 το ICCT συνεργάστηκε σε μια μεγάλη μελέτη με τις εταιρείες CE Delft, Navigistics και JS&A Environmental Service, οι οποίες εργάζονται υπό την αιγίδα της SNAME. Το έργο προσδιόρισε 53 διαφορετικούς τύπους πλοίων στους οποίους θα μπορούσαν να εφαρμοστούν τεχνολογίες αποδοτικότητας και για καθένα από αυτά αξιολόγησε τα δυνητικά οφέλη από 22 υφιστάμενα τεχνικά και λειτουργικά μέτρα που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν άμεσα ή στο εγγύς μέλλον και διέθεταν επαρκή λειτουργικά δεδομένα για ανάλυση. Τα μέτρα που εξετάστηκαν ομαδοποιούνται σε 15 γενικού τύπου κατηγορίες (Πίνακας 1) και αναλύθηκαν ως προς το συνολικό τους κόστος και τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εφόσον εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους πλοίων. (Για λεπτομερέστερες περιγραφές των εν λόγω μέτρων βλέπε παράρτημα Α).

Να σημειωθεί ότι αυτά τα 22 μέτρα αντιπροσωπεύουν μόλις το ήμισυ των δυνητικών υφιστάμενων μέτρων που εντοπίστηκαν από την ομάδα ανάλυσης. Για παράδειγμα, οι μετρητές κατανάλωσης καυσίμων παραλείφθηκαν επειδή δεν οδηγούσαν άμεσα σε κέρδη αποδοτικότητας και επομένως δεν μπορούσαν να αξιολογηθούν με τον ίδιο τρόπο όπως άλλα μέτρα. Αντίστοιχα, η επίδραση της οικονομικής κλίμακας δεν συμπεριλήφθηκε επειδή



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά αποδοτικότερα πλοία ”

δεν ήταν εξειδικευμένη. Αυτού του είδους τα μέτρα ήταν διαφορετικό να αναλυθούν για έναν παγκόσμιο στόλο και δεν μπορούσαν να συγκριθούν λογικά με τα είδη των ειδικών μέτρων που αποτελούν το MAC.

Πίνακας 1: Τεχνολογικές και λειτουργικές στρατηγικές μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προερχομένων από τα πλοία.

Στίλβωση προπέλας	Καθαρισμός σκάφους	Μείωση ταχύτητας
Αναβάθμιση αυτόματου πιλότου	Αέρια λίπανση	Μετασκευή κύριας μηχανής
Βελτιστοποίηση ροής νερού	Επίστρωση γάστρας	Αντλίες ροής μεταβλητού βήματος και ανεμιστήρες
Δρομολόγηση καιρού	Αιολική ενέργεια	Φωτισμός υψηλής απόδοσης
Αναβάθμιση προπέλας	Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας	Ηλιακή ενέργεια

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για κάθε μέτρο, προσδιορίστηκε το κόστος που συνεπάγεται η χρήση κάθε αναγνωρισμένου τύπου πλοίου. Αυτά περιλάμβαναν το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και λειτουργίας, καθώς και τυχόν κέρδη που χάθηκαν λόγω κόστους ευκαιρίας. Επειδή το κόστος αυτό μπορεί να διαφέρει σημαντικά για πλοία διαφορετικών τύπων, μεγεθών και παλαιότητας, εξετάστηκαν συνολικά 53 συνδυασμοί τύπων και μεγεθών πλοίων. Αυτοί οι συνδυασμοί εφαρμόστηκαν περαιτέρω σε 6 διαφορετικές ομάδες παλαιότητας που καλύπτουν μια υποτιθέμενη 30ετή διάρκεια ζωής. Συνολικά, αναλύσαμε το οριακό κόστος μείωσης που σχετίζεται με κάθε μέτρο για 318 συνδυασμούς τύπων, μεγεθών και παλαιότητας πλοίων. Στη συνέχεια, το κόστος κάθε συνδυασμού ταξινομήθηκε και κατατάχθηκε. Μια απλουστευμένη εκδοχή του υπολογισμού εμφανίζεται στην εξίσωση (1).

$$(1) \quad \text{MAC} = \frac{\Delta C_j}{\alpha_j \times \text{CO}_2} = \frac{K_j + S_j - E_j + \sum O_j}{\alpha \times \text{CO}_2}$$

Όπου:

ΔC_j = Κόστος κεφαλαίου

K_j = Προ εξοφλημένο με το επιτόκιο και τα έτη χρήσης

S_j = Υπηρεσιακό Κόστος μέτρου



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

ΣΟj - Κόστος ευκαιρίας που σχετίζεται με τον χαμένο χρόνο υπηρεσίας λόγω της εγκατάστασης του μέτρου εξοικονόμησης ενέργειας και το προ εξοφλημένο κόστος που σχετίζεται με εναλλακτικές χρήσεις του κεφαλαίου.

E_j = Εξοικονόμηση ενέργειας από το εν λόγω μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία είναι το γινόμενο της τιμής της ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας.

a_j Ποσοστό μείωσης της ενέργειας του μέτρου εξοικονόμησης ενέργειας.

CO_2 = Αρχικές εκπομπές CO_2 από ένα πλοίο

Η CE Delft και η SNAME παρείχαν λεπτομερή στοιχεία σχετικά με το κόστος αγοράς, λειτουργίας και την εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε μέτρο. Οι λεπτομέρειες αυτές μπορούν να βρεθούν στη μελέτη των Faber et al., 2011 και στην αριθμό MEPC.61-INF 7. Παρόλο που τα περισσότερα από τα δεδομένα προέρχονταν αρχικά από τους προμηθευτές, προσαρμόστηκαν πτωτικά κατά περίπτωση ώστε να είναι συνεπή και επαληθεύτηκαν σχολαστικά χρησιμοποιώντας δημοσιευμένες μελέτες και αξιολογήσεις από εμπειρογνώμονες της βιομηχανίας, των ΜΚΟ και της κυβέρνησης, οι οποίοι εξέτασαν όλα τα λογιστικά φύλλα, τις αναλυτικές μεθόδους και το υποστηρικτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα. Στις ακόλουθες ενότητες αναλύονται εν συντομία οι σημαντικότερες μεταβλητές που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης.

3.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΙΩΣΗΣ

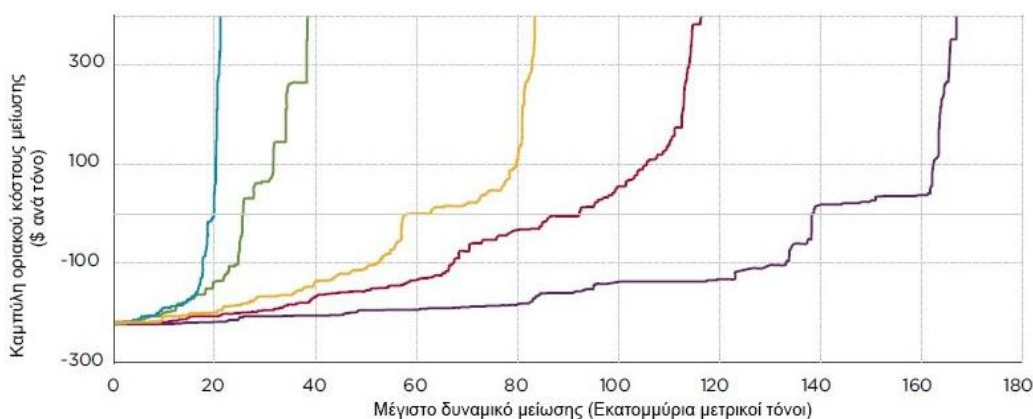
Με βάση τον υπολογισμό, τα αμοιβαία αποκλειόμενα μέτρα συγκρίθηκαν με βάση την αποτελεσματικότητα του κόστους για κάθε κατηγορία πλοίων. Για να αναπτυχθεί η καμπύλη MAC, οι 15 κατηγορίες κατατάσσονται με βάση το οριακό κόστος μείωσης, με τη λιγότερο δαπανηρή επιλογή να θεωρείται ότι εφαρμόζεται πρώτη, ακολουθούμενη από τη δεύτερη λιγότερο δαπανηρή, και ούτω καθεξής για όλα τα μέτρα. Επειδή ορισμένα μέτρα θα έχουν χαμηλότερο δυναμικό μείωσης του CO_2 καθώς θα εφαρμόζονται μετά από άλλα μέτρα, το οριακό κόστος των επόμενων μέτρων προσαρμόστηκε όπου τα προηγούμενα μέτρα θα αμβλύνουν την αποτελεσματικότητά τους.

Η γραφική απεικόνιση των 15 κατηγοριών μέτρων αποτελεσματικότητας ξεκινώντας από το λιγότερο δαπανηρό δίνει την καμπύλη οριακού κόστους μείωσης. Τα γραφήματα 3α και 3β απεικονίζουν τη συνολική καμπύλη και τις καμπύλες που συμβάλλουν για κάθε τύπο πλοίου. Η σύγκριση του οριακού κόστους μείωσης με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζει ότι η πλειονότητα των δυνητικών μειώσεων των εκπομπών, 340 mmt από το σύνολο των 436



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

mmt, θα μπορούσε να μειωθεί με αρνητικό οριακό κόστος. Αυτό ισοδυναμεί με μια κεντρική δεσμευτική τιμή 33% δυνητικών μειώσεων από τις προβλεπόμενες βελτιώσεις σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση μέχρι το 2020. Το 26% αυτών των βελτιώσεων μπορεί να επιτευχθεί με αρνητικό κόστος. Το κατώτερο και το ανώτερο όριο για τις συνολικές δυνητικές μειώσεις των εκπομπών είναι 20% και 46%.



- Επιβατηγό
- Γενικά φορτηγά πλοία
- Πλοία Χύδην Φορτίου
- Δεξαμενόπλοια
- Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων



- Central Bound MACC in 2020

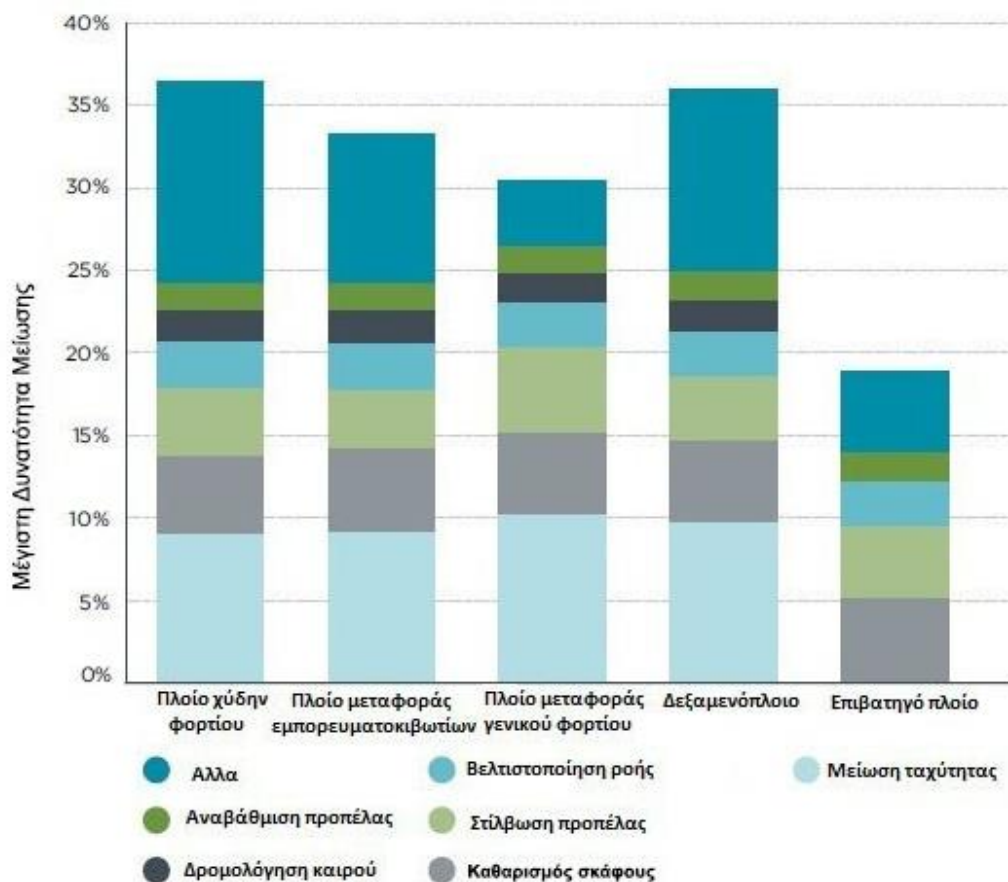
Γραφήματα 3α και 3β: Κεντρική εκτίμηση του δυναμικού μείωσης ανά τύπο πλοίου και συνολικά.

Πηγή: Faber et. al., (2011) & MEPC.61 – INF.7

Το Γράφημα 4 αναλύει διεξοδικά το δυναμικό μείωσης για τους πέντε κύριους τύπους πλοίων. Κάθε τύπος πλοίου, εκτός από τα επιβατηγά πλοία, μπορεί να επιτύχει μείωση άνω του 30%. Το χαμηλότερο δυναμικό μείωσης για τα επιβατηγά πλοία οφείλεται κυρίως στην παραδοχή ότι η μείωση της ταχύτητας δεν αποτελεί επιλογή.



*“Βασιλείος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*



Γράφημα 4: Μειώσεις CO₂ από την εφαρμογή τεχνικών και λειτουργικών μέτρων ανά τύπο πλοίου

Η αναδιαμόρφωση της καμπύλης MAC και η ομαδοποίηση των μειώσεων CO₂ ανά μέτρο δείχνει το σχετικό κόστος και το δυναμικό μείωσης κάθε μέτρου. Πρόκειται για την κλασική κλιμακωτή καμπύλη MAC που έχει καταστεί πάγιο στοιχείο των συζητήσεων για την αποδοτικότητα των πλοίων (Γράφημα 5).

Διατρέχοντας από αριστερά προς τα δεξιά, τα μέτρα αποδοτικότητας διατάσσονται σύμφωνα με το αυξανόμενο κόστος ανά τόνο CO₂ που αποτρέπεται. Θεωρήθηκε ότι το μέτρο με το χαμηλότερο οριακό κόστος μείωσης θα υιοθετηθεί πρώτο, ακολουθούμενο από αυτό με το δεύτερο χαμηλότερο MAC κ.λπ. Το δυναμικό μείωσης των εκπομπών των υπόλοιπων μέτρων μειώνεται και το κόστος αυξάνεται με την εφαρμογή κάθε πρόσθετου μέτρου.

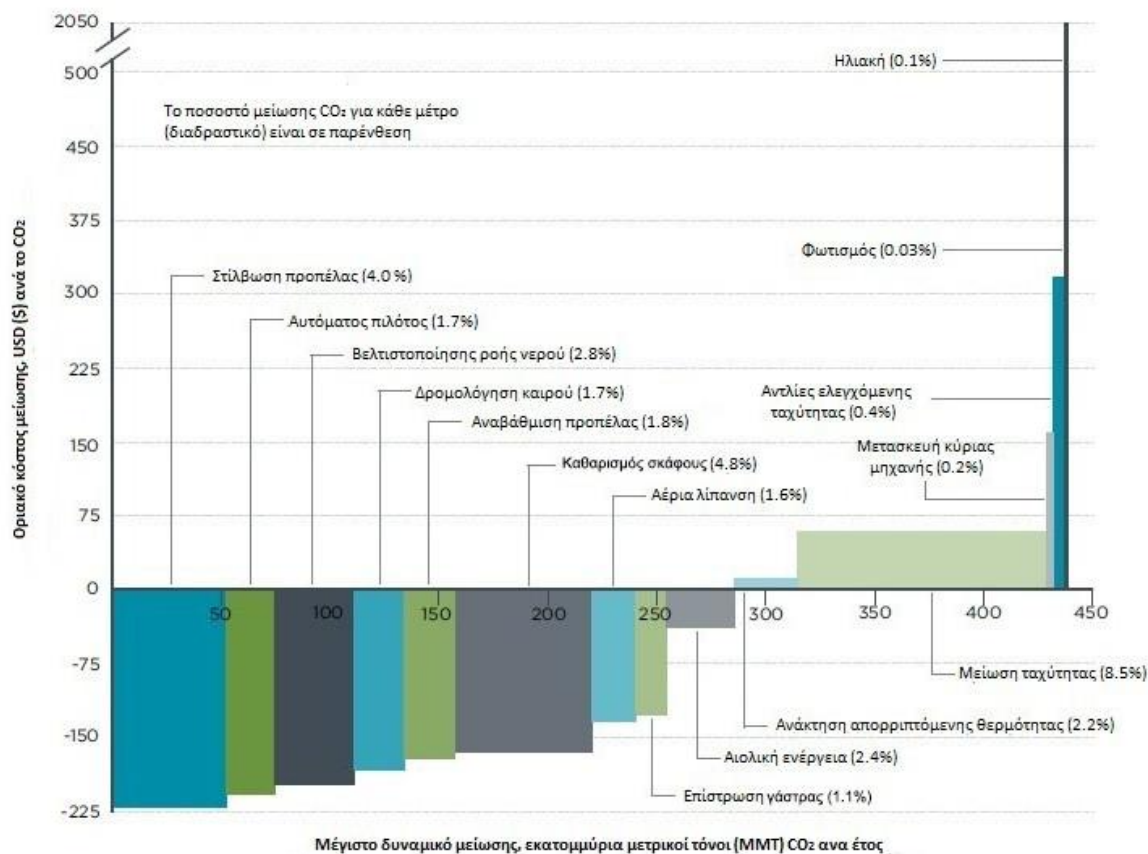
Το πλάτος κάθε ράβδου αντιπροσωπεύει το δυναμικό του μέτρου για τη μείωση των εκπομπών CO₂ του παγκόσμιου στόλου. Το ύψος κάθε ράβδου αντιπροσωπεύει το



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

σταθμισμένο μέσο οριακό κόστος της αποφυγής ενός τόνου εκπομπών CO₂ μέσω του συγκεκριμένου μέτρου, υποθέτοντας ότι όλα τα μέτρα στα αριστερά έχουν ήδη εφαρμοστεί. Η στίλβωση της προπέλας έχει το χαμηλότερο μέσο καμπυλών MAC, με μέτρια δυνατότητα μείωσης του CO₂. Τα ηλιακά πάνελ έχουν το υψηλότερο MAC με περιορισμένη δυνατότητα μείωσης του CO₂.

Η μείωση της ταχύτητας έχει το μεγαλύτερο δυναμικό μείωσης, με μέτριο κόστος. Οι συνολικές δυνητικές μειώσεις που φαίνονται στο Γράφημα 5 δεν ευθυγραμμίζονται με εκείνες του Γραφήματος 3, λόγω της χαμηλότερης ανάλυσης που απαιτείται για την απεικόνιση των μέτρων σε βαθμιαία μορφή.



Γράφημα 5: Οριακό κόστος μείωσης του CO₂ για τις τεχνολογίες που αναλύθηκαν



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

3.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΙΩΣΗΣ (MAC)

Μολονότι η απλή παρουσίαση των κλιμακωτών καμπυλών MAC είναι κομψή και εύκολη στην κατανόηση και την επικοινωνία, οι εκτιμήσεις αυτού του είδους απαιτούν σημαντικές παραδοχές σχετικά με τις μελλοντικές συνθήκες και μπορούν συνεπώς να γίνουν πλήρως κατανοητές μόνο στο πλαίσιο αυτών των παραδοχών.

3.4.1. ΤΙΜΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

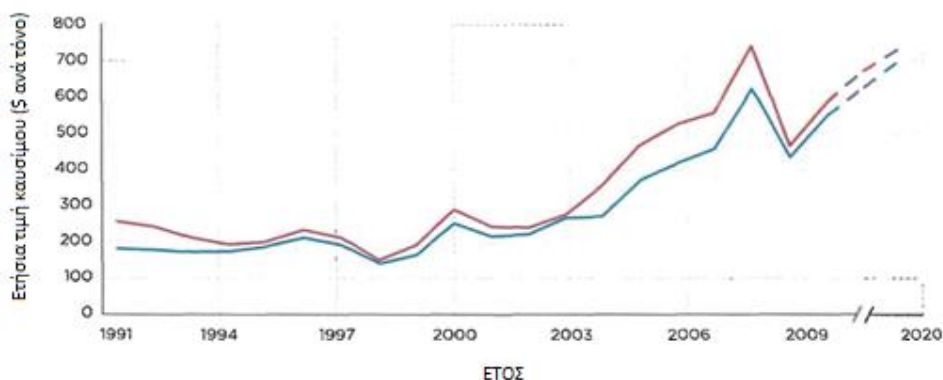
Η τιμή του καυσίμου είναι η σημαντικότερη μεταβλητή για τον καθορισμό της καθαρής σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των μέτρων μείωσης των εκπομπών CO₂. Αν και αυξάνεται σταθερά, η τιμή των καυσίμων είναι ευμετάβλητη, δημιουργώντας την αντίληψη του κινδύνου ότι οι επενδύσεις μπορεί να μην αποδώσουν βέλτιστα. Η σταδιακή εφαρμογή των υποχρεώσεων για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο προσθέτει αβεβαιότητα ως προς τις τιμές, αρχικά για τις περιοχές ελέγχου των εκπομπών και αργότερα σε ολόκληρο τον κόσμο.

Το παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου είναι αντικείμενο εκτεταμένης συζήτησης και θα αποτελέσει αντικείμενο επανεξέτασης, προκειμένου να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα το 2018 (Σύμφωνα με τη μελέτη του ICCT, έτους 2011 που το ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο ήταν 3.5%. Με απόφαση του IMO, τέθηκε σε ισχύ νέος παγκόσμιος κανονισμός "IMO2020 global sulphur limit" για τα πλοία από την πρώτη Ιανουαρίου με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο 0.5%. Σε οικοσυστήματα πολύ ευαίσθητα όπως η Βαλτική Θάλασσα και η Βόρεια Θάλασσα, η μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο έχει μειωθεί σε 0.1% ήδη από το έτος 2015). Η παρούσα μελέτη προϋποθέτει ότι το ανώτατο όριο θείου θα είναι όπως έχει προγραμματιστεί. Λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη δραστηριότητα των πλοίων και τη σχετική σπανιότητα των φυσικών καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, προβλέφθηκε μια τιμή καυσίμου στα 700\$ ανά τόνο για το 2020 και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Αυτή η τιμή καυσίμου είναι υψηλότερη από άλλες μελέτες καμπύλης MAC, αλλά αντανακλά μια πιο συντηρητική εκτίμηση και είναι σύμφωνη με την ιστορική τιμή από την Αμερικανική Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας (EIA), καθώς και με τις προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IAE) (Γράφημα 6). Οι μελλοντικές τιμές



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

των καυσίμων μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν πρόσθετες εισφορές ή τιμές άνθρακα της τάξης των 20-50 δολαρίων ανά τόνο, ανάλογα με το υιοθετούμενο μέτρο. Οποιαδήποτε τέτοια τιμή άνθρακα είναι άμεσα μετατρέψιμη σε ισοδύναμη αύξηση της τιμής των καυσίμων.



-Κόστος ανά τόνο καυσίμου το 2009 \$

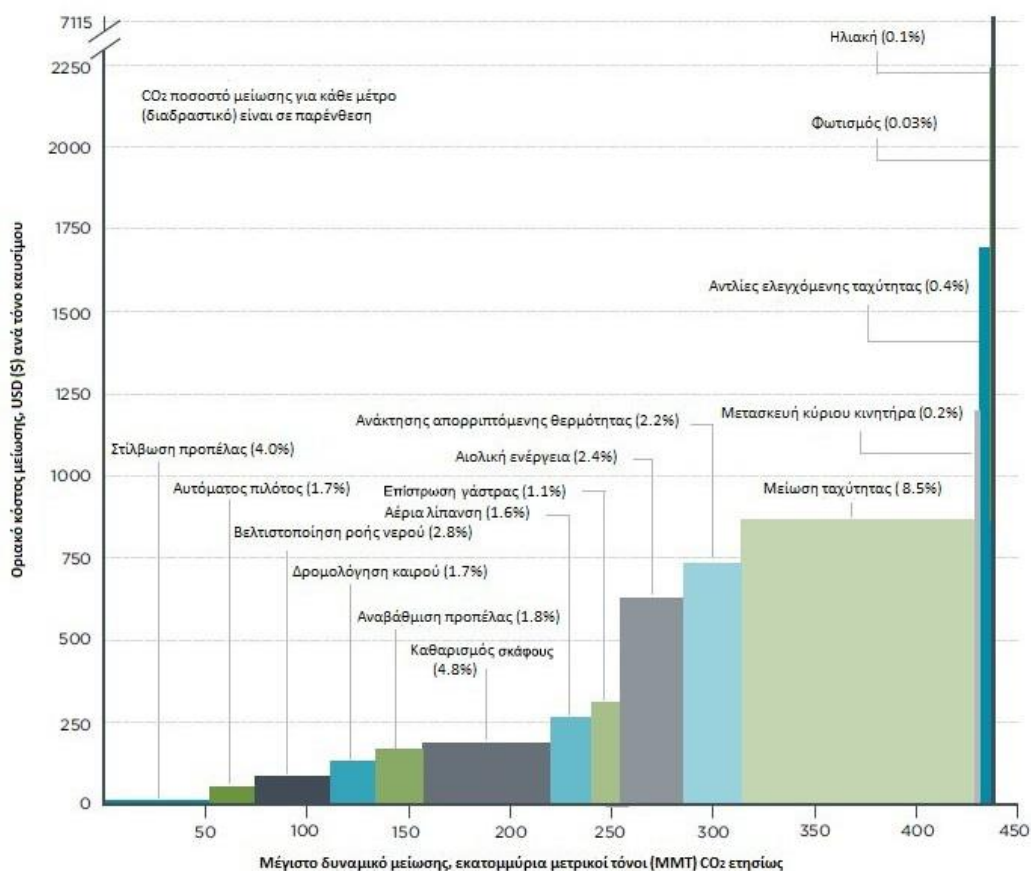
- Κόστος αργού πετρελαίου το 2009 \$

Γράφημα 6: Ιστορικές και προβλεπόμενες τιμές για τα υπολείμματα απόσταξης καυσίμου και του αργού πετρελαίου.

Το γράφημα 7 δείχνει το ίδιο διάγραμμα καμπύλης MAC με το προηγούμενο, αλλά με την αφαίρεση της τιμής του καυσίμου. Όπως και στο Γράφημα 5, το πλάτος κάθε ράβδου αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα ενός μέτρου να μειώσει τις εκπομπές CO₂ του παγκόσμιου στόλου. Η διαφορά είναι ότι το ύψος κάθε ράβδου αντιπροσωπεύει το σταθμισμένο μέσο οριακό κόστος των καυσίμων που εξοικονομούνται. Με αυτή την απεικόνιση, το κόστος της τεχνολογικής εξοικονόμησης καυσίμων μπορεί απλά να συγκριθεί με την τιμή του καυσίμου. Για παράδειγμα, το κόστος της εξοικονόμησης ενός τόνου καυσίμου με τη χρήση στίλβωσης προπέλας είναι 13 δολάρια και το δυναμικό μείωσης του CO₂ είναι περίπου 50 mmT σε ολόκληρο τον στόλο. Εάν οι τιμές των καυσίμων είναι υψηλότερες από 13 δολάρια ανά τόνο, έχει οικονομικό νόημα να εφαρμοστεί η στίλβωση της προπέλας.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*



Γράφημα 7: CO₂ δυνατότητες μείωσης των εκπομπών και κόστος εξοικονόμησης καυσίμων

3.4.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Καθώς η νέα τεχνολογία περνάει από το πρωτότυπο στο πιλοτικό στάδιο και καταλήγει στην αγορά, το κόστος μειώνεται κατά κανόνα σημαντικά λόγω των οικονομιών κλίμακας. Αυτή η επίδραση ωρίμανσης της αγοράς εμφανίζεται σταδιακά και πρέπει να χαρακτηριστεί για τις νεότερες τεχνολογίες που περιλαμβάνονται μεταξύ των καθιερωμένων μέτρων. Η παρούσα μελέτη (ICCT, 2011 & Faber et. al., 2011) αποτύπωσε τις "καμπύλες μάθησης" των νέων τεχνολογιών υποθέτοντας ότι το τρέχον κόστος εφαρμογής μειώνεται κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε μια καμπύλη μάθησης 10%-15% για τη λίπανση με αέρα, τις αιολικές τεχνολογίες / αετοί, την ηλιακή ενέργεια και την ανάκτηση απολυόμενης θερμότητας, επειδή είναι πολύ νεότερες τεχνολογίες και δεν έχουν πραγματοποιήσει τα ίδια επίπεδα ωριμότητας και διείσδυσης στην αγορά όπως τα άλλα μέτρα.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

3.4.3. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΠΤΩΣΗΣ

Το ποσοστό έκπτωσης των διαφόρων ναυτιλιακών εταιρειών ποικίλλει, διότι συνήθως περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό διακινδύνευσης. Για τη παρούσα μελέτη (ICCT, 2011 & Faber et. al., 2011) χρησιμοποιήθηκε ποσοστό έκπτωσης 10%.

3.4.4. ΧΡΟΝΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ορισμένα τεχνικά μέτρα πρέπει να τροποποιηθούν εκ των υστέρων, και ο χρόνος που απαιτείται για να γίνει αυτό μπορεί να υπερβαίνει την περίοδο δεξαμενισμού. Το κόστος που προκύπτει κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου εκτιμήθηκε με βάση το λειτουργικό κόστος από την Dewry Consulting και τα ιστορικά ναύλα.

3.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

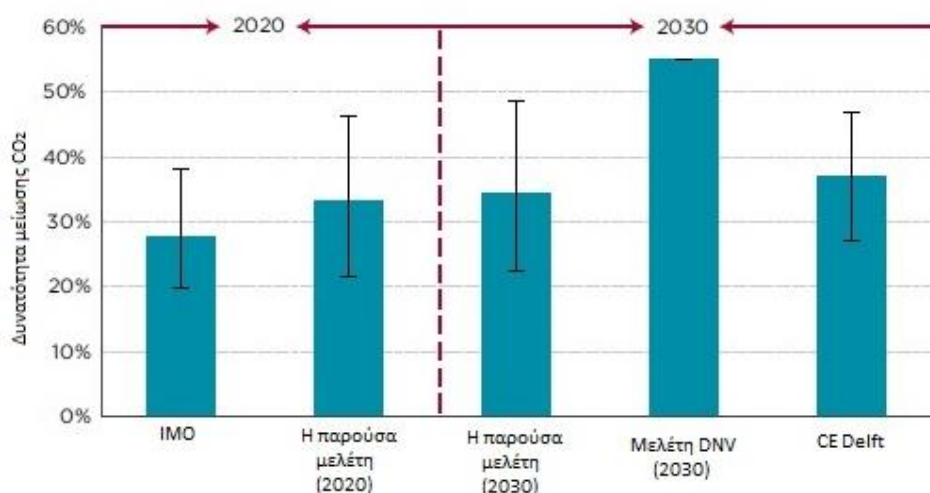
Άλλες πρόσφατες μελέτες έχουν εξετάσει το οριακό κόστος μείωσης της ενεργειακής απόδοσης και παρουσίασαν τα αποτελέσματα σε οπτικά παρόμοια μορφή. Η έγκυρη μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου (Buhaug et al., 2009) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές των πλοίων μπορούν να μειωθούν κατά 20% έως 40%, ανάλογα με τα μέτρα που χρησιμοποιούνται, το κόστος των καυσίμων και την αύξηση της δραστηριότητας των πλοίων. Σε μια έκθεση προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, η CE Delft παρουσίασε μια ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας για 29 μέτρα και 14 διαφορετικούς τύπους πλοίων, υπολογίζοντας μείωση κατά 35% το 2030 (Faber et al., 2009). Η De Norske Veritas (DNV), με μια πιο αισιόδοξη ανάλυση των μέτρων χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, διερεύνησε 28 επιλογές εξοικονόμησης ενέργειας και προέβλεψε μείωση άνω του 50% έως το 2030 (Alvik, Eide, Endresen, Hoffmann & Longva, 2010).

Στο Γράφημα 8 συγκρίνονται οι μελέτες του IMO, της CE Delft και της DNV. Η μελέτη ICCT εκτιμά ότι το δυναμικό μείωσης του CO₂ είναι κατά 90 mmt περισσότερο από τη μελέτη του IMO που εκτιμάται για το 2020 και κατά 140 mmt λιγότερο από τη μελέτη DNV που προβλέπει για το 2030. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ο αριθμός των μέτρων που λαμβάνονται υπόψη διαφέρει μεταξύ των μελετών. Για παράδειγμα, τέσσερα μέτρα που



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

εξετάστηκαν στη μελέτη του DNV, όπως τα “fixed sails and wings”, δεν περιλαμβάνονται στις μελέτες ICCT και CE-Delft γιατί δεν θεωρήθηκε πιθανό να είναι έτοιμα για την αγορά στο χρονικό διάστημα που καλύπτεται. Επιπλέον, η μελέτη του IMO υπέθεσε ότι τα πλοία των οποίων η εναπομένουσα ωφέλιμη διάρκεια ζωής ήταν μικρότερη από τη διάρκεια ζωής ενός συγκεκριμένου μέτρου εξοικονόμησης ενέργειας δεν θα χρησιμοποιούσαν ένα τέτοιο μέτρο. Η μελέτη μας υποθέτει ότι τα πλοία θα χρησιμοποιήσουν το μέτρο ανεξάρτητα από την ηλικία τους. Παρόλο που βασιστήκαμε σε πολλά από τα ίδια δεδομένα με την CE Delft, δεν εξετάσαμε ορισμένα βοηθητικά μέτρα που έκαναν εκείνοι, επειδή τα μέτρα αυτά (π.χ. μετρητές κατανάλωσης καυσίμου ή παρακολούθηση της προπέλας), αν χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα, μπορεί να μην αποφέρουν μείωση των εκπομπών. Οι λεπτομέρειες της ανάλυσης της DNV δεν ήταν διαθέσιμες για τη διαμόρφωση συγκεκριμένων διακρίσεων.



Γράφημα 8: Σύγκριση διαθέσιμων μελετών

Παρά τη μεγάλη έμφαση, που δόθηκε στη μελέτη αυτή, σε κάθε λεπτομέρεια και την επιθυμία να καταγραφούν τα καλύτερα διαθέσιμα δεδομένα, ο όγκος των δεδομένων και των γνώσεων σχετικά με αυτά τα ζητήματα αυξάνεται συνεχώς. Αυτός ο τύπος ανάλυσης MAC θα πρέπει επίσης να αναθεωρείται τακτικά για να ενσωματώνονται οι νέες αυτές εξελίξεις. Παραδείγματα νέων εξελίξεων από την αρχική ανάλυση MAC περιλαμβάνουν: Η Maersk αναγνώρισε το σημαντικό ρόλο που έπαιξε για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την εξοικονόμηση καυσίμων η χαμηλή ταχύτητα πλεύσης. Η Propulsion Dynamics υπογράμμισε τη σημασία του καθαρισμού και της παρακολούθησης του σκάφους και της



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

έλικας τόσο όσον αφορά την εξοικονόμηση καυσίμων όσο και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Η Green Ship of the Future εξέτασε διεξοδικά την εξοικονόμηση καυσίμων και την απόσβεση της ανάκτησης απολυόμενης θερμότητας, της μεταβλητής δακτυλίων ακροφυσίων και αντλιών ελέγχου ταχύτητας, μεταξύ άλλων. Το μέγεθος της μείωσης των εκπομπών και η εκτίμηση του οριακού κόστους που αναφέρουν αυτές οι πηγές θα παρείχαν ένα πρόσθετο μέσο επαλήθευσης και βελτίωσης της ανάλυσης MAC.

3.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ

Οι προσπάθειες που έγιναν αρχικά με σκοπό την περιγραφή του οριακού κόστους μείωσης των μέτρων απόδοσης των πλοίων χρησιμοποίησαν σχετικά ευρείες παραδοχές. Η έκθεση που συνοψίζεται εν προκειμένω αναλύει τον στόλο με πολύ μεγαλύτερη λεπτομέρεια και επικεντρώνεται σε ένα περιορισμένο σύνολο διαθέσιμων μέτρων αποδοτικότητας που μπορούν να αναλυθούν αυστηρά. Παρέχει το καλύτερο εργαλείο πολιτικής που υπάρχει σήμερα για την περιγραφή και την πρόβλεψη του δυναμικού αποδοτικότητας του στόλου, αλλά οι μελλοντικές εργασίες μπορούν να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο την κατανόηση, καθώς θα είναι διαθέσιμα καλύτερα δεδομένα επιδόσεων για τα υφιστάμενα και μελλοντικά μέτρα.

Όπως ισχύει για κάθε ανάλυση που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δεδομένα, η διακριτική ικανότητα και η ακρίβεια των αρχικών δεδομένων μπορούν να βελτιωθούν. Η παρούσα μελέτη εξετάζει 53 διαφορετικές κατηγορίες πλοίων, αλλά υπάρχουν πολύ περισσότεροι διαχωρισμοί που θα μπορούσαν να είναι σχετικοί. Θα μπορούσαν επίσης να υποδιαιρεθούν περαιτέρω και να αναλυθούν σε κατηγορίες σχετικές με τις νέες τεχνολογίες, όπως το μέγεθος του πλοίου ή η εγκατεστημένη ισχύς. Οι μελλοντικές αναλύσεις θα ωφελούνταν επίσης από τη συμπερίληψη ορισμένων από τα 28 γνωστά μέτρα που δεν είχαν επαρκή στοιχεία επιδόσεων για να συμπεριληφθούν στην παρούσα μελέτη (ICCT, 2011 & Faber et. al., 2011). Πέρα από τη βελτίωση των δεδομένων, τόσο οι τεχνικές όσο και οι οικονομικές μεταβλητές μπορούν να διερευνηθούν σε μεγαλύτερο βάθος.

Για τη βελτίωση των τεχνικών αναλύσεων, απαιτούνται αρκετές βελτιώσεις για την αποτύπωση των πραγματικών συνθηκών. Πρώτον, η απόδοση εκτός σχεδιασμού είναι συνηθισμένη ακόμη και για τις τυποποιημένες τεχνολογίες. Οι εν λόγω διακυμάνσεις των



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

επιδόσεων μεταξύ πλοίων με κατά τα άλλα παρόμοιες τιμές σχεδιασμού απόδοσης πρέπει να διερευνηθούν και να τεκμηριωθούν περαιτέρω, ώστε να παρασχεθούν πρόσθετες εισροές για την αβεβαιότητα και τη μεταβλητότητα. Ομοίως, η συμπερίληψη των επιδράσεων που δεν αφορούν την απόδοση, όπως ο χώρος εγκατάστασης και οι αλλαγές στη λειτουργικότητα, μπορεί να βελτιώσει τη δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων για τη βιομηχανία. Επίσης, παρόλο που η παρούσα μελέτη συμπεριέλαβε τέτοιες εκτιμήσεις, η αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τεχνολογιών μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με πραγματικά δεδομένα για την καλύτερη εκτίμηση του κόστους ευκαιρίας.

Ειδικότερα, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα ζητήματα του διχασμού κινήτρων, όπου το κόστος της βελτίωσης της αποδοτικότητας των πλοίων συνδέεται άμεσα με τα οφέλη των τελικών χρηστών. Το πρόβλημα του διχασμού κινήτρων προκύπτει μεταξύ του πλοιοκτήτη, ο οποίος ελέγχει τις κεφαλαιουχικές δαπάνες και τις προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας, και του φορέα εκμετάλλευσης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το κόστος των καυσίμων. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν τα πλοία -ιδίως τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων- είναι υπό χρονονάυλωση ή ναύλωση χωρίς πλήρωμα. Η αβεβαιότητα σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας είναι εγγενής και επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως ο καιρός, η ναυτιλιακή διαδρομή κ.λπ. Το κόστος των καυσίμων, η σημαντικότερη πηγή απόδοσης από τη χρήση αυτών των μέτρων, είναι μια ιδιαίτερα ισχυρή πηγή αβεβαιότητας κατά την εξέταση των μέτρων αποδοτικότητας. Η έλλειψη βεβαιότητας που συνεπάγονται οι διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων για τη συνολική εξοικονόμηση κόστους καθιστά πιο δύσκολη τη χρηματοδότηση αυτών των επενδύσεων από τις τράπεζες και την κάλυψη του ουσιαστικού κόστους κεφαλαίου. Η αντιμετώπιση των εμποδίων της αγοράς, η ανάπτυξη δίκαιων και ρεαλιστικών μηχανισμών της αγοράς και η πρόβλεψη για την ταχεία ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών θα διασφαλίσουν την ικανότητά μας να προβλέψουμε τα δυνητικά οφέλη.

Συμπληρωματικά προς τις αναλύσεις MAC, ένα εργαλείο βασισμένο σε μοντέλα που μπορεί να εκτελεστεί με συγκεκριμένα σενάρια μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο πολιτικής. Πολλές από τις διαχρονικές και εξαιρετικά μεταβλητές εισροές της MAC, όπως οι συνθήκες της αγοράς, οι καμπύλες μάθησης και τα ποσοστά έκπτωσης, μπορούν να αναλυθούν καλύτερα και να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένα τμήματα του στόλου με τη



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

χρήση ενός μοντέλου. Θα επέτρεπε επίσης την εύκολη ενσωμάτωση πρόσθετων μεταβλητών που μπορεί να είναι πιο μεταβλητές μεταξύ διαφορετικών στόλων και εφαρμογών, όπως τα ποσοστά φθοράς, τα ποσοστά χρήσης και οι χρόνοι υλοποίησης.

Για κάθε προηγμένη αναλυτική προσπάθεια θα πρέπει να υπάρχει μια καλύτερη πηγή τεχνικών και εμπειρικών δεδομένων από τον κλάδο. Επί του παρόντος, πολλά από τα δεδομένα που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη βελτίωση αυτών των τύπων αναλύσεων ανήκουν στις ναυτιλιακές εταιρείες και τους πλοιοκτήτες. Η δημιουργία ενός πιο ανοικτού αποθετηρίου για αυτού του είδους τα δεδομένα θα δημιουργούσε αμοιβαία οφέλη για τη βιομηχανία και τους φορείς χάραξης πολιτικής. Ομοίως, ένα σύστημα επαλήθευσης και πιστοποίησης των νέων μέτρων αποδοτικότητας των πλοίων (ίσως σε συνδυασμό με ένα αποθετήριο δεδομένων) θα μπορούσε να είναι εξαιρετικά χρήσιμο για τον εξορθολογισμό της κατά τα άλλα κουραστικής διαδικασίας αξιολόγησης και οριοθέτησης των πλεονεκτημάτων και της δυνατότητας εφαρμογής των μέτρων.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

3.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εμπλεκόμενοι στους διάφορους τομείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας με επίγνωση της κοινής ωφέλειας που απορρέει από την πράσινη ανάπτυξη και μετάβαση στην απανθρακοποίηση ακολουθούν περιβαλλοντικούς κανονισμούς που θεσπίζονται από διεθνείς οργανισμούς. Οι κανονισμοί επηρεάζουν το λειτουργικό κόστος των πλοίων.

Το μεταβαλλόμενο ανταγωνιστικό περιβάλλον έχει αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αειφόρου ανάπτυξης στο τομέα της ναυτιλίας.

Για να αντιμετωπισθούν οι μεταβολές, ο σχεδιασμός των νέων πλοίων θα πρέπει να προβλέπει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό τους με συνέπεια κατά τη λειτουργία τους να είναι ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικά.

Η επιλογή της πιο κατάλληλης πηγής ενέργειας, η επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης, ο αποδοτικός σχεδιασμός και οι βελτιωμένες υποδομές της ξηράς είναι ύψιστης σημασίας για την ναυτιλία.

Οι σχεδιαστικές επιλογές που επηρεάζουν είναι η αποδοτικότητα της προωστήριας εγκατάστασης, η αποδοτικότητα της προπέλας και η αποδοτικότητα από το σχεδιασμό του σκάφους που σε λειτουργικό επίπεδο έχει σαν μέτρο την κατανάλωση καυσίμου και την ταχύτητα του πλοίου. Άλλες επιλογές, που επηρεάζουν την αποδοτικότητα είναι οι επιχειρησιακές, όπως ο χρόνος παραμονής στο λιμάνι, η συντήρηση κλπ.

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και συστημάτων, αλλά και η βελτίωση των υφιστάμενων αποτελούν ζωτικής σημασίας για τη ναυτιλία προκειμένου μέσα από την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους, να πετύχει τους φιλόδοξους στόχους της πράσινης μετάβασης.

Ζητούμενο αποτελεί η επιλογή του καυσίμου.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Έως και σήμερα δεν έχουν υιοθετηθεί παγκόσμιοι κανονισμοί, όπως προκύπτει από την πρόσφατη συνεδρίαση της Επιτροπής Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος – MEPC. 81, που πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο από 18 έως 22 Μαρτίου 2024. Για τα «ενδιάμεσα μέτρα» σχετικά με το πρότυπο καυσίμου πλοίων και τον οικονομικό μηχανισμό για την παροχή κινήτρων στη πράσινη μετάβαση, που προσδιορίζεται στη στρατηγική του IMO για τα GHG 2023 η διεθνής ναυτιλία είναι σε αναμονή.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας προσπαθεί να συνθέσει διαφορετικές προτάσεις για τα μελλοντικά ναυτιλιακά καύσιμα και τις νέες τεχνολογίες. Προσφάτως έχει αναπτύξει και τον ιστότοπο Future Fuels and Technology Project (FFT Project).

Με σαφήνεια προκύπτουν από την εργασία μου, τα ακόλουθα:

- I. Η ναυτιλία αποτελεί το φιλικότερο προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς.
- II. Με δεδομένες τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής από τα αέρια του θερμοκηπίου και την προβλεπόμενη αύξηση με γοργούς ρυθμούς των εκπομπών από τη ναυτιλία καλείται να συμμορφωθεί με σειρά μέτρων διεθνών κανονισμών στο δύσκολο δρόμο για τη πράσινη ενεργειακή μετάβαση.
- III. Απαιτείται μεγάλη επένδυση από τους πλοιοκτήτες και προκύπτουν σοβαρά διαχειριστικά προβλήματα.
- IV. Αποτελεί μονόδρομο η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων μέσω τεχνικών και σχεδιαστικών μέτρων. Στις βραχυπρόθεσμες δράσεις προκύπτει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη μείωση της ταχύτητας πλεύσης, τη βελτιστοποίηση ταχύτητας και προγραμματισμού, την αιολική πρόωση, την στίλβωση της προπέλας, την επίστρωση της γάστρας, την ηλεκτρονική κίνηση από ανανεώσιμες πηγές και αποθήκευση ενέργειας, μηχανές διπλού καυσίμου, καθώς και στην ηλεκτροκίνηση με τη χρήση ρεύματος ξηράς στους λιμένες.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AEA Energy & Environment, (2008). Greenhouse gas emissions from shipping: Trends, projections and abatement potential. London, AEA.
2. Alvik, S., Eide, M., Endresen, O., Hoffmann, P., and Longva. T., (2010). Pathway to low carbon shipping, abatement potential towards 2030.
3. Arrhenius, S., (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Royal Society of Chemistry.
4. Buhaug, Ø., Corbett, J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., lee, D., lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K. (2009). Second IMO GHG Study, (2009). London, IMO.
5. Ellycia Harrould-Kolieb and Jacqueline Savitz, (2010). Shipping solutions: technological and operational methods available to reduce CO₂, OCEANA.
6. EMSA – European Maritime Safety Agency
7. E. Pariotis, T. Zannis, E. Yfantis, I. Roumeliotis και Katsanis, (2016). Energy saving technic in ships -Technical and Operational Measures.
8. European Environment Agency.
9. European Legislative Package, (2021). “Fit for 55”
10. Faber, J., Markowska, A., Nelissen, D., Davidson, M., Eyring, V., Cionni, I., Selstad, E., Kageson, P, Lee, D., Buhaug, O., Lindtsad, H., Roche, P., Humpries, E., Graichen, J., Carnes, M, Schwarz, W. (2009). Technical support to European actions to reducing GHG from ships. Delft: CE Delft.
11. Faber, J., Wang, H., Nelissen, D., Russell, B., and St Amand. D. (2011). Marginal abatement costs and cost effectiveness of energy-efficiency measures
12. Fenhann J.V., (2017). CO₂ emissions from international shipping. UNEP DTU partnership working paper series.
13. Fotopoulos και D. Margaris, (2020). Computational analysis commercial shipping and impacts on fuel.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

14. Fourier, J., (1822). Theorie analytique de la chaleur. University Of Norte Dame.
15. Freese, N., (2017). CO₂ Emisssions from International Shipping. UNEP DTU Partnership Working Series 2017 Vol. 4.
16. Gratsos, G.A., H. N. Psaraftis, P. Zachariadis, (2009). Life cycle cost of maintaining the effectiveness of a ships structure and environmental impact of ship design parameters: an update”, RINA Conference on the Design and Operation of Bulk Carriers, Athens, Greece, Oct. 26-27.
17. Harilaos N. Psaraftis and Poul Woodall, (2019). Reducing GHGs: The MBM and MRV Agentas.
18. Harilaos N. Psaraftis, (2019). Speed Optimization for Sustainable Shipping.
19. ICCT, (2011). Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships – Cost effectiveness of available options”, White Paper Number 11.
20. ICS, (2023). About ICS, International Chamber of Shipping.
21. IMarEST, (2011). Reduction of GHG Emissions from Ships, Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures,» London, UK.
22. IMO, (2013). GHG study and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
23. IMO.org
24. IMO’s work to cut GHG emissions from ships
25. IMO, (2023). Strategy on reduction of GHG emissions from ships
26. MARPOL Annex VI, (2005). Prevention of Air Pollution from Ships.
27. MEPC.61/INF 18
28. MEPC.61 / INF.7
29. MEPC.339(76), (2021). Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII) rating guidelines, G4.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

30. MEPC.1/Circular.681, (2009). Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy Efficiency Design Index for New Ships.
31. MEPC.1/Circular. 682, (2009). Interim Guidelines for Voluntary Verification of the Energy Efficiency Design Index.
32. MEPC.335(76), (2016). Guidelines on The Shaft/Engine Power Limitation System to Comply with the EEXI Requirements and Use of a Power Reserve.
33. Mikelis, Nikos E., (2007). A statistical overview of ship recycling, International Symposium of Maritime Safety, Security & Environmental Protection.
34. P. Balcome, J. Brierley, C. Lewis, L. Skatvedt, J. Speirs, A. Hawkes και I. Staffell, (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies, s. Energy Convers.
35. Regulation, (2015). 757 - EN - EUR-Lex, ICS included.
36. Y. Gu, S. Wallace και X. Wang, (2019). Can an Emission Trading Scheme really reduce CO emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model.
37. Βασίλης – Στέλιος Τσελέντης, (2012). Περιβαλλοντική Διαχείριση και Ναυτιλία. Η Συνεισφορά της Ναυτιλίας στο φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής.
38. Βασίλης – Στέλιος Τσελέντης, (2020). Ναυτιλία και Περιβάλλον, Εκδόσεις Da Vinci.
39. Γ.Π. Βλάχος (2016). Διεθνής Ναυτιλιακή Πολιτική (Εκδόσεις Σταμούλη).



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το παρόν παράρτημα παρέχει μια πληρέστερη, αλλά ακόμη σύντομη, περιγραφή των 15 μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που παρατίθενται στον πίνακα 1. Περιγράφει το δυναμικό μείωσης του κάθε μέτρου, συνοψίζει τις παραδοχές σχετικά με τη διείσδυση στην αγορά και προσδιορίζει τα αντιληπτά εμπόδια της αγοράς για την εφαρμογή κάθε μέτρου.

Αναβάθμιση/ρύθμιση αυτόματου πιλότου

Τα προηγμένα προσαρμοστικά συστήματα αυτόματου πιλότου μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη θέση του πηδαλίου. Το σύστημα λαμβάνει υπόψη τον άνεμο, τα ρεύματα και την κλίση του πλοίου σε μια δεδομένη διαδρομή και ελαχιστοποιεί την αντίσταση του πλοίου. Η αντίσταση που προκαλείται από το πηδάλιο έχει μεγάλη επίδραση στην ικανότητα διατήρησης της πορείας και στην αντίσταση του σκάφους. Ένα τέτοιου είδους σύστημα μπορεί να βελτιστοποιήσει τη δρομολόγηση και τη χρήση καυσίμων.

Δυναμικό μείωσης: 0,5-3%

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης της ρύπανσης είναι πολύ χαμηλότερο.

Εμπόδιο στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.

Αναβάθμιση προπέλας

Η προπέλα είναι ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα ενός πλοίου και η κατάστασή της είναι καίρια για την αποδοτική χρήση καυσίμων. Η προπέλα μεταφέρει ισχύ μετατρέποντας την περιστροφική κίνηση σε ώθηση και, όταν λειτουργεί πιο αποτελεσματικά, δημιουργεί τις λιγότερες αναταράξεις. Όταν οι έλικες γδαρθούν ή υποστούν ζημιές κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, δεν κινούνται τόσο ομαλά. Αυτή η πρόσθετη τριβή μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συνολική απόδοση. Η αναβάθμιση της έλικας είναι ένα μέτρο που



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

περιλαμβάνει κυρίως την αντικατάσταση της έλικας ή/και τη βελτιστοποίηση του βήματος των ελίκων μεταβλητού βήματος.

Δυναμικό μείωσης: 0,5-3% για αναβάθμιση έλικας (ακροφύσιο και πτερύγια άκρου), 1-3% για κάλυμμα κεφαλής έλικας με πτερύγια, 2-6% για πλήρη αντικατάσταση έλικας-πτερύγιο.
Διείσδυση στην αγορά: Όλες οι τεχνολογίες είναι διαθέσιμες στην αγορά. Σε γενικευμένο επίπεδο, η βιομηχανία έχει καθυστερήσει να υιοθετήσει την αναβάθμιση των ελίκων, καθώς περιμένει να δει ποιες είναι οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις (ΑΕΑ, 2008).

Εμπόδια στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.

Βελτιστοποίηση της ροής του νερού

Ο προωθητήρας πλώρης (εγκάρσιος) είναι ένας βοηθητικός έλικας που βρίσκεται σε έναν μεγάλο σωλήνα που διαπερνά το σκάφος κάτω από την ίσαλο γραμμή στο μπροστινό μέρος του πλοίου. Ο προωθητήρας πλώρης είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο του πλοίου κατά τη διάρκεια ελιγμών, αλλά το άνοιγμα του σωλήνα του προωθητήρα δημιουργεί ένα σημείο αναταράξεων καθώς το πλοίο κινείται στο νερό. Ένας σχεδιασμός του προωθητήρα με τη μικρότερη δυνατή διάμετρο σήραγγας θα μπορούσε να ελαχιστοποιήσει τις αναταράξεις που δημιουργούνται από το άνοιγμα και να αυξήσει την απόδοση του σκάφους. Η προσαρμογή του σχεδιασμού του έλικα στη διάμετρο της σήραγγας θα μπορούσε επίσης να βελτιστοποιήσει τη ροή προς τον έλικα. Τα τυποποιημένα πτερύγια με αντίστροφη λοξή σχεδίαση και στρογγυλεμένες άκρες θα έχουν ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη απόδοση της πρόωσης.

Δυναμικό μείωσης: 1%-4%

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης μπορεί να είναι χαμηλότερο.

Εμπόδιο στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

Δρομολόγηση του καιρού

Η δρομολόγηση με βάση τις καιρικές συνθήκες λαμβάνει υπόψη τα ρεύματα και τις μετεωρολογικές προβλέψεις καθώς και τις συνθήκες της θάλασσας σε πραγματικό χρόνο για να καθορίσει την πιο αποδοτική διαδρομή για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.

Δυναμικό μείωσης: 0.1-4%

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης μπορεί να είναι χαμηλότερο.

Εμπόδια στην αγορά: Η κατανάλωση καυσίμων επηρεάζεται σημαντικά από τις θαλάσσιες συνθήκες, συνεπώς, ένας ναυλωτής είναι απίθανο να πληρώσει ασφάλιστρο χωρίς εγγύηση εξοικονόμησης καυσίμων.

Καθαρισμός σκάφους

Εάν ένα πλοίο έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, το σκάφος του ρυπαίνεται. Ο καθαρισμός του σκάφους (συνήθως με μηχανικό βούρτσισμα, από δύτες ή αυτοματοποιημένα συστήματα) απομακρύνει αποτελεσματικά τη θαλάσσια βιολογική ανάπτυξη μεταξύ των δεξαμενισμών. Αυτό μειώνει την αντίσταση τριβής και, ως εκ τούτου, αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.

Δυναμικό μείωσης: 1-10%

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης μπορεί να είναι χαμηλότερο.

Εμπόδια στην αγορά: Η κατανάλωση καυσίμων επηρεάζεται σημαντικά από τις θαλάσσιες συνθήκες, συνεπώς, ένας ναυλωτής είναι απίθανο να πληρώσει ασφάλιστρο χωρίς εγγύηση εξοικονόμησης καυσίμων.



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

Στίλβωση προπέλας

Ο καθαρισμός και η στίλβωση των επιφανειών του έλικα μπορεί να μειώσει την τραχύτητα και να απαλλαγεί από τα συσσωρευμένα οργανικά υλικά, γεγονός που μειώνει τις αναταράξεις κατά την έλξη των πλοίων και τις απώλειες λόγω τριβής της πρόωσης

Δυναμικό μείωσης: 2-5% όταν γίνεται σε τακτική περιοδική βάση, 2,5-8% όταν εκτελείται κατά διαστήματα ανάλογα με τις ανάγκες.

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης μπορεί να είναι χαμηλότερο.

Εμπόδια στην αγορά: Η κατανάλωση καυσίμων επηρεάζεται σημαντικά από τις θαλάσσιες συνθήκες, συνεπώς, ένας ναυλωτής είναι απίθανο να πληρώσει ασφάλιστρο χωρίς εγγύηση εξοικονόμησης καυσίμων.

Επίστρωση γάστρας

Οι επιστρώσεις της γάστρας μπορούν να μειώσουν την αντίσταση τριβής και να περιορίσουν τη ρύπανση από υδρόβιους οργανισμούς, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές CO₂.

Δυναμικό μείωσης: 0.5-5%

Διείσδυση στην αγορά: Περίπου το 5% των πρόσφατα βαμμένων πλοίων βάφονται με ένα από τα δύο προηγμένα συστήματα επίστρωσης που είναι σήμερα διαθέσιμα.

Εμπόδια στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.

Αιολική ενέργεια

Υπάρχουν διαθέσιμες αιολικές μηχανές που μπορούν να αναπτύξουν αρκετή ώθηση για να παρέχουν τουλάχιστον κάποια πρόωση. Οι ελεγχόμενοι από υπολογιστή Αετοί που είναι προσαρτημένοι στην πλώρη ενός πλοίου μπορούν να αξιοποιήσουν την αιολική ενέργεια και να υποκαταστήσουν την ενέργεια για την πρόωση.

Δυναμικό μείωσης: 3,5-12% για τις αιολικές μηχανές, 2-20% για τους Αετούς.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Διείσδυση στην αγορά: ένα δεξαμενόπλοιο νεκρού βάρους 1.600 τόνων dwt, ένα πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου 26.000 τόνων dwt και ένα δεξαμενόπλοιο μεταφοράς παραγώγων πετρελαίου 50.000 τόνων dwt, που αναπτύχθηκε από τη Δανία. Η αμερικανική Kiteship και η γερμανική Skysails έχουν εξοπλίσει περισσότερα από δέκα φορτηγά πλοία με “wind kites” για να μειώσουν τις απαιτήσεις από τις μηχανές ντίζελ.

Εμπόδια στην αγορά: Οι τεχνολογίες αυτές δεν είναι ώριμες και οι αβεβαιότητες παραμένουν, οπότε οι τράπεζες είναι απρόθυμες να παρέχουν χρηματοδότηση. Ένα άλλο εμπόδιο είναι η κατανομή των τόκων.

Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας

Ο εξοπλισμός ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας μπορεί να περάσει τα καυσαέρια από τις μηχανές ενός πλοίου μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού για μια στροβιλοκίνητη γεννήτρια. Η θερμική ενέργεια από τα καυσαέρια δεσμεύεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια για να μειωθούν οι απαιτήσεις άμεσων καυσίμων κινητήρα για το σύστημα πρόωσης ή να μειωθούν οι απαιτήσεις βοηθητικών κινητήρων.

Δυναμικό μείωσης: 6-8%

Διείσδυση στην αγορά: Η ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας (WHR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλοία με μέση απόδοση κύριας μηχανής μεγαλύτερη από 20.000 kW και μέση απόδοση βοηθητικής μηχανής μεγαλύτερη από 1.000 kW. Οι απαιτήσεις αυτού του μεγέθους περιορίζουν τον αριθμό των πλοίων που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία.

Εμπόδια στην αγορά: Μεγάλες απαιτήσεις για επενδύσεις κεφαλαίου και διχασμένα συμφέροντα μεταξύ πλοιοκτητών και διαχειριστών πλοίων.

Αέρια λίπανση

Πρόκειται για μια τεχνική με την οποία πεπιεσμένος αέρας διοχετεύεται σε μια εσοχή στον πυθμένα της γάστρας του πλοίου κατά μήκος, ο παρασυρόμενος αέρας μειώνει την αντίσταση τριβής μεταξύ του νερού και του σκάφους και μειώνει την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης. Ένα σύστημα έγχυσης διοχετεύει αέρα στην εσοχή της γάστρας μέσω ενός συστήματος αυτοματοποιημένων συμπιεστών και βαλβίδων, ενώ ένα σύστημα ελέγχου παρακολουθεί τον όγκο και την πίεση του αέρα και διατηρεί το βέλτιστο επίπεδο αέρα στην κοιλότητα αέρα.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Δυναμικό μείωσης: 10-15% για δεξαμενόπλοια και πλοία χύδην φορτίου, 5-9% για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Διείσδυση στην αγορά: Προς το παρόν δεν υπάρχουν εμπορικά πλοία που να χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα. Πραγματοποιήθηκαν θαλάσσιες δοκιμές με ένα μικρό πλοίο επίδειξης.

Εμπόδια στην αγορά: Οι μεγάλες απαιτήσεις για επενδύσεις κεφαλαίου και η διάσπαση του ενδιαφέροντος.

Μείωση ταχύτητας

Το αποτέλεσμα ισχύος της κύριας μηχανής απορρέει από την κυβική συνάρτηση, της υπηρεσιακής ταχύτητας του πλοίου και της ταχύτητας σχεδιασμού του πλοίου. Η μείωση της ταχύτητας λειτουργίας από την ταχύτητα σχεδιασμού θα μειώσει σημαντικά την απαιτούμενη ενέργεια. Μια μικρή μείωση της ταχύτητας μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμου.

Δυναμικό μείωσης: 15-19% για μείωση της ταχύτητας κατά 10% και 36-39% για μείωση της ταχύτητας κατά 20%, εάν δεν ληφθούν υπόψη επιπλέον πλοία.

Διείσδυση στην αγορά: Έχει παρατηρηθεί για ορισμένες διαδρομές πλοίων.

Εμπόδια στην αγορά: Η κύρια ανησυχία είναι η διατάραξη της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι εισαγωγείς διαμαρτύρονται για τους μεγαλύτερους χρόνους διέλευσης των εμπορευμάτων. Μια άλλη ανησυχία είναι ότι ο κινητήρας μπορεί να είναι λιγότερο αποδοτικός σε χαμηλότερες ταχύτητες.

Μετασκευή κύριας μηχανής

Περιλαμβάνει τη ρύθμιση του κύριου κινητήρα και την αναβάθμιση του κοινού common rail. Κατά τη ρύθμιση του κύριου κινητήρα, προσδιορίζεται το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο εύρος φορτίου και στη συνέχεια βελτιστοποιείται ο κινητήρας για λειτουργία σε αυτό το φορτίο. Αυτό απαιτεί διαφορετική χαρτογράφηση του κινητήρα και συνεπάγεται αλλαγές στο χρονοισμό του ψεκασμού. Χρησιμοποιώντας τον κινητήρα κοινής ράγας, η καύση μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε ολόκληρο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Δυναμικό μείωσης: 0,1-0,8% για τη ρύθμιση του κύριου κινητήρα και 0,1-0,5% για το



“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”

σύστημα κοινού διανομέα καυσίμου (common rail system).

Διείσδυση στην αγορά: Και οι δύο τεχνολογίες είναι διαθέσιμες.

Εμπόδια στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.

Αντλίες ροής μεταβλητού βήματος και ανεμιστήρες

Οι αντλίες μπορούν να κυκλοφορούν μεγάλες ποσότητες νερού μέσω των συστημάτων ψύξης του κινητήρα για την ψύξη του κινητήρα και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Δυναμικό μείωσης: 0.2-0.8%

Διείσδυση στην αγορά: Σημαντικό μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιεί ήδη αυτή την τεχνολογία. Ως εκ τούτου, το πραγματικό δυναμικό μείωσης μπορεί να είναι χαμηλότερο.

Εμπόδιο στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.

Φωτισμός υψηλής απόδοσης

Η χρήση φωτισμού χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας/χαμηλής θερμότητας και η βελτιστοποίηση της χρήσης του φωτισμού, όπου είναι δυνατόν, μειώνει τη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και κλιματισμό. Το μέτρο αυτό οδηγεί σε χαμηλότερο φορτίο και μειωμένες ανάγκες βοηθητικής ενέργειας.

Δυναμικό μείωσης: 0.1-0.8%

Διείσδυση στην αγορά: Η παρούσα τεχνολογία είναι διαθέσιμη στην αγορά, αλλά περιορισμένος αριθμός πλοίων τη χρησιμοποιεί.

Εμπόδιο στην αγορά: Το σημαντικότερο εμπόδιο είναι η διάσπαση του ενδιαφέροντος. Οι πλοιοκτήτες είναι υπεύθυνοι για την επένδυση σε αυτές τις τεχνολογίες και οι φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων είναι αυτοί που πληρώνουν για την κατανάλωση καυσίμων και επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες.



*“Βασίλειος – Αλέξανδρος Τρίγγος”,
“Σχεδιαστικές και λειτουργικές επιλογές για μείωση των
εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ενεργειακά
αποδοτικότερα πλοία ”*

Ηλιακή ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα μπορούν να παραχθούν με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών που είναι εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συνδυαστεί με συμβατικούς κινητήρες για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης ως υβριδικό σύστημα.

Δυναμικό μείωσης: 0.2-3.75%

Διείσδυση στην αγορά: Στη Γερμανία, την Ιταλία, την Αυστρία, την Ελβετία και το Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιούνται σήμερα περίπου 150 επιβατηγά πλοία με ηλιακή ενέργεια. Το Auriga Leader, ένα πλοίο μεταφοράς αυτοκινήτων που ανήκει στη Nippon Yusen Kaisha, είναι το μοναδικό πλοίο που λειτουργεί εμπορικά και χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ενέργειας και τη μείωση της ζήτησης των κινητήρων ντίζελ.

Εμπόδια στην αγορά: Η τεχνολογία βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη. Οι κεφαλαιακές απαιτήσεις είναι σημαντικές και το δυναμικό μείωσης περιορισμένο.