

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

«Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών

Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου»

Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας

«ΜΝΣΝΔ 21009»

Επιβλέπων:

Ευθύμιος Παριώτης

Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.Ν.Δ.

Πειραιάς

Απρίλιος 2023

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 στη 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:

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από την ΕΔιΕ του ΔΠΜΣ σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του ΔΠΜΣ ‘Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία’.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Ευθύμιος Παριώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.Ν.Δ. (Επιβλέπων)

ΜΕΛΟΣ Β΄: Ιωάννης Κατσάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.Ν.Δ.

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Θεόδωρος Ζάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.Ν.Δ.

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



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας
“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

"Ευχαριστίες"

Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ευθύμιο Παριώτη, και τους κ.κ. Ιωάννη Κατσάνη και Θεόδωρο Ζάννη για την καθοδήγηση που μου παρείχαν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| 1. ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ..... | 1 |
| 1.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου | 1 |
| 1.2 Οι ρύποι στο ναυτιλιακό κλάδο..... | 3 |
| 1.2.1 Το Διοξείδιο του άνθρακα | 4 |
| 1.2.2 Τα Οξείδια του Θείου (SO _x) και του Αζώτου (NO _x) | 5 |
| 1.2.3 Εκπομπές προερχόμενες από ψυκτικά (CFCs, HCFCs)..... | 8 |
| 1.2.4 VOCs και PFCs..... | 9 |
| 2. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ..... | 11 |
| 2.1 Ιστορική αναδρομή..... | 11 |
| 2.2 Η Διεθνής Σύμβαση για την αποφυγή της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL Convention)..... | 12 |
| 2.2.1 MARPOL ANNEX VI – Προστασία της Ατμόσφαιρας από ρύπανση | 12 |
| 2.3 Η Στρατηγική μείωσης των εκπομπών του IMO | 14 |
| 2.4 Η Ενεργειακή αποδοτικότητα | 15 |
| 2.5 Πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας για το ναυτιλιακό κλάδο | 16 |
| 3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ | 17 |
| 3.1. Η συμμετοχή της ναυτιλίας στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου | 17 |
| 3.2 Το οικονομικό κόστος του καυσίμου | 18 |
| 3.3 Η Ενεργειακή αποδοτικότητα ως μέθοδος μείωσης του φαινομένου του Θερμοκηπίου | 19 |
| 3.3.1 Ships Energy Efficiency Management Plan-SEEMP | 20 |
| 3.3.2 MRV και DCS..... | 21 |
| 3.4. Δείκτες ενεργειακής απόδοσης (EnPIs) | 23 |
| 3.5 Οι Ενεργειακοί δείκτες στη ναυτιλία..... | 24 |
| 3.5.1 Energy Efficiency Design Index (EEDI)..... | 24 |
| 3.5.1.1 Υπολογισμός του EEDI | 27 |
| 3.5.1.2 Πιστοποίηση του EEDI..... | 30 |
| 3.5.1.3 Βελτιώσεις του EEDI | 31 |
| 3.5.2 Energy efficiency Existing Ship Index (EEXI)..... | 32 |



| | |
|---|-----------|
| 3.5.2.1 Υπολογισμός του EEXI | 34 |
| 3.5.2.2 Πιστοποίηση του EEXI..... | 42 |
| 3.5.2.3 Βελτιώσεις του EEXI | 43 |
| 3.5.3 Energy efficiency Operational Indicator (EEOI) | 47 |
| 3.5.3.1 Ορισμοί σχετικά με τον EEOI..... | 48 |
| 3.5.3.2 Υπολογισμός του EEOI..... | 49 |
| 3.5.3.3 Παρακολούθηση και Πιστοποίηση του EEOI | 50 |
| 3.5.4 Annual Efficiency Ratio (AER) / Individual Ship Performance Indicator (ISPI) / Energy Efficiency as per Service Hour (EESH)..... | 51 |
| 3.5.5 Carbon Intensity Indicator (CII) | 52 |
| 3.5.5.1 Υπολογισμός του CII..... | 54 |
| 3.5.5.1.1 CII Guidelines, G1..... | 54 |
| 3.5.5.1.2 CII Guidelines, G2..... | 56 |
| 3.5.5.1.3 CII Guidelines, G3..... | 57 |
| 3.5.5.1.4 CII Guidelines, G4..... | 61 |
| 3.5.5.1.5 CII Guidelines, G5..... | 64 |
| 3.5.5.2 Βελτιώσεις του CII..... | 70 |
| 3.6 Οι εναλλακτικοί Ενεργειακοί δείκτες στη ναυτιλία | 70 |
| 3.6.1 Ο Existing Vessel Design Index (EVDI) | 70 |
| 3.6.2 Clean Cargo Working Group™ (CCWG) | 72 |
| 3.6.3 Environmental Ship Index (ESI) / Clean Shipping Index (CSI) | 75 |
| 3.6.4 Index of Energy Efficiency and Environmental Eligibility (I4E)..... | 78 |
| 3.6.5 Cost-Energy Efficiency Indicator (CEEI) | 82 |
| 3.6.6 Energy Efficiency Performance Indicator (EEPI)..... | 84 |
| 3.6.7 Vessel Energy Efficiency Index (VENEFI) | 84 |
| 4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ | 88 |
| 4.1 Πρότυπα | 88 |
| 4.1.1 ISO 14001:2015..... | 88 |
| 4.1.2 ISO 14031:2013..... | 88 |
| 4.1.3 Global Reporting Initiative (GRI) | 88 |
| 4.2 Ενεργειακός έλεγχος πλοίων | 89 |



| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.2.1 | Είδη Ενεργειακών επιθεωρήσεων..... | 89 |
| 4.2.2 | Διαδικασία Ενεργειακών Επιθεωρήσεων..... | 90 |
| 4.2.3 | Στάδια ενεργειακών επιθεωρήσεων..... | 91 |
| 4.2.4 | Ανάλυση δεδομένων..... | 91 |
| 4.2.5 | Τεχνο-οικονομική ανάλυση..... | 92 |
| 4.3. | Η συγκριτική αξιολόγηση και εφαρμογή..... | 92 |
| 4.3.2 | Key Performance Indicators (KPIs)..... | 95 |
| 4.3.2.1 | Fuel Consumption Index (FCI)..... | 95 |
| 4.3.2.2 | Ship Energy Intensity (SEI)..... | 95 |
| 4.3.2.3 | Propulsion Energy Intensity (PEI)..... | 96 |
| 4.3.2.4 | Engine SFC (Specific Fuel Consumption)..... | 96 |
| 4.3.2.5 | CO ₂ Intensity (CO ₂ I)..... | 96 |
| 4.3.2.6 | BIMCO Shipping KPI Standard V2.6..... | 97 |
| 4.3.2.6.1 | CO ₂ /NO _x /SO _x Efficiency KPI..... | 97 |
| 5. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ..... | 99 |
| 5.1 | EEDI..... | 99 |
| 5.2 | EEXI..... | 101 |
| 5.3 | EEOI..... | 103 |
| 5.4 | CII..... | 104 |
| 5.5 | ESI και CSI..... | 107 |
| 5.6 | EEPI..... | 107 |
| 5.7 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 108 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 110 |



ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 1: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου..... | 2 |
| Σχήμα 2: Προβλέψεις αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο τέλος του 21ου αιώνα | 2 |
| Σχήμα 3: Παγκόσμιες εκπομπές ανά αέριο | 3 |
| Σχήμα 4: Πρόβλεψη ναυτιλιακών ρύπων 2018 – 2050 | 4 |
| Σχήμα 5: Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO ₂ και ετήσιες εκπομπές (1750-2021) | 5 |
| Σχήμα 6: Περιοχές ECA | 7 |
| Σχήμα 7: Οδικός χάρτης μείωσης των εκπομπών GHG του IMO | 15 |
| Σχήμα 8: Ανάλυση κόστους πλοίου | 19 |
| Σχήμα 9: Διαδικασία SEEMP | 21 |
| Σχήμα 10: Εξίσωση υπολογισμού Attained EEDI | 28 |
| Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής Πιστοποίησης EEDI | 31 |
| Σχήμα 12: Μέθοδοι βελτίωσης του EEDI | 32 |
| Σχήμα 13: Ο Απαιτούμενος EEXI | 34 |
| Σχήμα 14: Εξίσωση υπολογισμού Attained EEXI | 36 |
| Σχήμα 15: Παράδειγμα υπολογισμού Attained EEXI υποθετικού πλοίου | 40 |
| Σχήμα 16: Μηχανική διάταξη EPL | 46 |
| Σχήμα 17: Ηλεκτρονική διάταξη OPL | 46 |
| Σχήμα 18: ShaPoli ή Ηλεκτρονική διάταξη EPL | 47 |
| Σχήμα 19: Συσχέτιση μεταξύ CII, DCS και SEEMP Part III | 54 |
| Σχήμα 20: Βαθμονόμηση της ενεργειακής αποδοτικότητας | 62 |
| Σχήμα 21: Διανύσματα dd και όρια κατάταξης | 63 |
| Σχήμα 22: Γραμμές στατιστικής ανάλυσης (quantile regression) σε λογαριθμική κλίμακα | 63 |
| Σχήμα 23: Παράδειγμα υπολογισμού CII υποθετικού πλοίου | 68 |
| Σχήμα 24: Συμβεβλημένοι λιμένες στο σύστημα ESI | 76 |
| Σχήμα 25: Διάγραμμα ροής Επιβεβαίωσης CSI | 78 |
| Σχήμα 26: Επίδραση της αύξησης του μεγέθους του πλοίου σε σχέση με τις ταχύτητες πλεύσης | 83 |
| Σχήμα 27: Καμπύλη CEEI για τα διάφορα μεγέθη πλοίων | 83 |
| Σχήμα 28: Διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης | 90 |
| Σχήμα 29: Ενδεικτικά πεδία αξιολόγησης ενεργειακών επιθεωρήσεων | 91 |
| Σχήμα 30: Διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης | 93 |
| Σχήμα 31: Συσχετισμός κατανάλωσης καυσίμου και κατάσταση θαλάσσης | 105 |
| Σχήμα 32: Συσχετισμός κατανάλωσης καυσίμου και ανέμου | 105 |



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Μέγιστες επιτρεπόμενες εκπομπές NO _x | 8 |
| Πίνακας 2: Κύριες διαφορές στις απαιτήσεις μεταξύ EU MRV και IMO DCS | 23 |
| Πίνακας 3: Συντελεστές μείωσης (σε ποσοστό) για τον EEDI σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς του EEDI | 26 |
| Πίνακας 4: Παράμετροι καθορισμού τιμών αναφοράς (Reference Values) για τους διάφορους τύπους πλοίων..... | 27 |
| Πίνακας 5: Εφαρμογή του EEXI | 33 |
| Πίνακας 6: Παράγοντας μείωσης (σε ποσοστό) του EEXI σε σχέση με την τιμή της γραμμής αναφοράς που αντιστοιχεί στο δείκτη EEDI | 35 |
| Πίνακας 7: Δυνατότητες ορισμού της V _{ref} για τον υπολογισμό του EEXI..... | 38 |
| Πίνακας 8: Στοιχεία υποθετικού πλοίου | 41 |
| Πίνακας 9: Τιμές συντελεστού μετατροπής CF για υπολογισμό του EEOI | 48 |
| Πίνακας 10: Παράμετροι προσδιορισμού ειδικών γραμμών αναφοράς πλοίων για το έτος 2019 | 57 |
| Πίνακας 11: Πίνακας συντελεστών μείωσης (Z%) του CII ως προς τη γραμμή αναφοράς για το έτος 2019 | 60 |
| Πίνακας 12: Διανύσματα dd για τον καθορισμό ορίων κατάταξης τύπων πλοίων ... | 64 |
| Πίνακας 13: Στοιχεία υποθετικού πλοίου | 69 |
| Πίνακας 14: Επίδραση συντελεστή μείωσης..... | 69 |
| Πίνακας 15: Συντελεστές μετατροπής καταναλωθέντος καυσίμου σε εκπομπές CO ₂ | 73 |
| Πίνακας 16: Ειδική κατανάλωση καυσίμου κύριων/βοηθητικών μηχανών Diesel συναρτήσει φορτίου και στροφών άξονα | 80 |
| Πίνακας 17: Παράγοντες κανονικοποίησης εκπομπών αέριων ρύπων | 81 |
| Πίνακας 18: Παράγοντες βαρύτητας για τις κατηγορίες επιπτώσεων των κύκλων ζωής..... | 81 |
| Πίνακας 19: Ενδεικτικός πίνακας Σχήματος ενεργειακής διαβάθμισης | 94 |



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

GHGs: Green House Gases

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

H₂O: Υδρατμοί

CH₄: Μεθάνιο

O₃: Όζον

N₂O: Υποξείδιο του αζώτου

CHCs: Χλωροφθοράνθρακες

HFCs: Υδρογονοφθοράνθρακες

PFCs: Υπερφθοράνθρακες

SF₆: Εξαφθοριούχο θείο

CFCs: ChloroFluoroCarbons

HCFCs: HydroFluoroCarbons

VOCs: Volatile Organic Compounds

IMO: International Maritime Organization

ppm: Parts per million

SO_x: Οξείδια του Θείου

NO_x: Οξείδια του Αζώτου

HO: Heavy Oil

DO: Diesel Oil

MGO: Marine Gas Oil

ECAs: Emission Control Areas

MARPOL: Maritime Pollution Convention

VLSFO: Very Low Sulphur Fuel Oils

ULSFO: Low Sulphur Fuel Oils

EIAPP: Engine International Air Pollution Prevention Certificate

NMVOCs: Non Methane Volatile Organic Compounds



PFA: Perfluorinated Alkylated Substances

AFFF: Aqueous Film Forming Foam

PFOS: Perfluoro-Octane sulphonic Acid

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

H.E.: Ηνωμένα Έθνη

MEPC: Marine Environment Protection Committee

DCS: Data Collection System

EEDI: Energy Efficiency Design Index

EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index

CII: Carbon Intensity Indicator

SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan

CI: Carbon Intensity

ESDs: Energy Saving Devices

ME: Main Engines

AE: Auxiliary Engines

EU MRV: European Union Monitoring, Reporting and Verification

DCP: Data Collection Plan

ISO: International Standards Organization

EnPIs: Energy Performance Indicators

DWT: Deadweight tones

PTI: Power Take-in

PTO: Power Take-off

RO: Recognized Organization

IEEC: International Energy Efficiency Certificate

IEE: International Energy Efficiency

LNG: Liquid Natural Gas



MCR: Maximum Continuous Rating

SFC: Specific Fuel Consumption

IAPP: International Air Pollution Prevention

OPL: Overridable Power Limitation

ShaPoLi: Shaft Power Limitation

EPL: Engine Power Limitation

OMM: Onboard Management Manual

EEOI: Energy efficiency Operational Indicator

AER: Annual Efficiency Ratio

ISPI: Individual Ship Performance Indicator

EESH: Energy Efficiency as per Service Hour

STS: Ship-to-Ship

EVDI: Existing Vessel Design Index

CCWG: Clean Cargo Working Group™

CSI: Clean Shipping Index

ESI: Environmental Ship Index

IAPH: International Association of Ports and Harbors

I4E (IEEEE): Index of Energy Efficiency and Environmental Eligibility

CEEI: Cost-Energy Efficiency Indicator

EEPI: Energy Efficiency Performance Indicator

VENEFI: Vessel Energy Efficiency Index

GRI: Global Reporting Initiative

EnMS: Energy Management System

KPIs: Key Performance Indicators

EEMs: Energy Efficiency Measures

FCI: Fuel Consumption Index

SEI: Ship Energy Intensity



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας
“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

PEI: Propulsion Energy Intensity

CO₂I: CO₂ Intensity



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εν λόγω διπλωματική εργασία ασχολείται με τους δείκτες ενεργειακής απόδοσης πλοίων και συγκεκριμένα τον προσδιορισμό και την αξιολόγησή τους. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα αίτια δημιουργίας του, οι επιπτώσεις του στο περιβάλλον καθώς και η συμβολή του ναυτιλιακού κλάδου στο φαινόμενο μέσω των εκπεμπόμενων ρύπων. Ακολούθως περιγράφεται το θεσμικό πλαίσιο και η ακολουθούμενη στρατηγική με τα οποία ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) καλείται να ρυθμίσει τις απαιτήσεις για την προστασία του θαλάσσιου και ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος από τη διεθνή ναυτιλιακή δραστηριότητα. Επίσης αποτυπώνεται η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας και η σύνδεσή της με την κατανάλωση καυσίμου. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή του πλάνου ενεργειακής διαχείρισης των πλοίων SEEMP, οι μηχανισμοί συλλογής, καταγραφής και πιστοποίησης δεδομένων του ΙΜΟ (DCS) και Ευρωπαϊκής Ένωσης (MRV) καθώς επίσης και το σύνολο των υποχρεωτικά και εθελοντικά εφαρμοζόμενων από τον ΙΜΟ ενεργειακών δεικτών (EEDI, EEXI, EEOI, CII) ως εργαλεία αξιολόγησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων. Συνακόλουθα, παρατίθενται εναλλακτικοί ενεργειακοί δείκτες που είτε έχουν προταθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία στο πλαίσιο ενίσχυσης/αντιστάθμισης των ελλείψεων των επίσημων δεικτών του ΙΜΟ (I4E, CEEI, EEPI, VENEFI), είτε ακολουθούνται εθελοντικά από ιδιωτικές πρωτοβουλίες (EVDI, CCWG, ESI/CSI) και εστιάζουν σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των πλοίων και η προσέγγιση της αξιολόγησης μέσω της εφαρμογής αντίστοιχων ενεργειακών συγκριτικών δεικτών (Key Performance Indicators-KPIs). Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αποτιμώνται οι περισσότεροι από τους προαναφερθέντες δείκτες και παρατίθενται συμπεράσματα και απορρέοντες προβληματισμοί που απασχολούν τους πρωταγωνιστές του ναυτιλιακού τομέα (πλοιοκτήτες και ναυλωτές) από την εφαρμογή τους.

Λέξεις – Κλειδιά

Ενεργειακή Αποδοτικότητα, Μείωση εκπομπών CO₂, Αξιολόγηση



ABSTRACT

This dissertation deals with ship energy efficiency indicators, their determination and assessment. The first chapter analyzes the greenhouse effect, its creation causes, its effects on the environment as well as the contribution of the shipping industry to the phenomenon through emitted pollutants. Subsequently what is being described is the institutional framework and the strategy followed, by which, the International Maritime Organization (IMO) is called upon, to regulate the requirements for the protection of the marine and atmospheric environment from international shipping activity. The concept of energy efficiency and its relation to fuel consumption is also captured. The third chapter presents the structure of the Ship Energy Management Plan (SEEMP), the IMO (DCS) and the European Union (MRV) data collection, recording and certification mechanisms as well as all of the mandatory and voluntary energy indicators applied by the IMO (EEDI , EEXI, EEOI, CII) as tools for evaluating the energy efficiency of ships. Consequently, alternative energy indicators are listed that have either been proposed by the international literature in the context of strengthening/compensating for the shortcomings of the official IMO indicators (I4E, CEEI, EEPI, VENEFI), or are voluntarily followed by private initiatives (EVDI, CCWG, ESI/CSI) and focus on specific ship types such as container ships. The fourth chapter analyzes the process of ship energy inspections and the assessment approach through the application of corresponding energy comparative indicators (Key Performance Indicators-KPIs). Finally, the fifth chapter evaluates most of the aforementioned indicators and record conclusions and implementation resulted concerns that troubles the protagonists of the shipping sector (ship owners and charterers alike).

Keywords

Energy Efficiency, CO2 Emissions Reduction, Assessment



1. ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

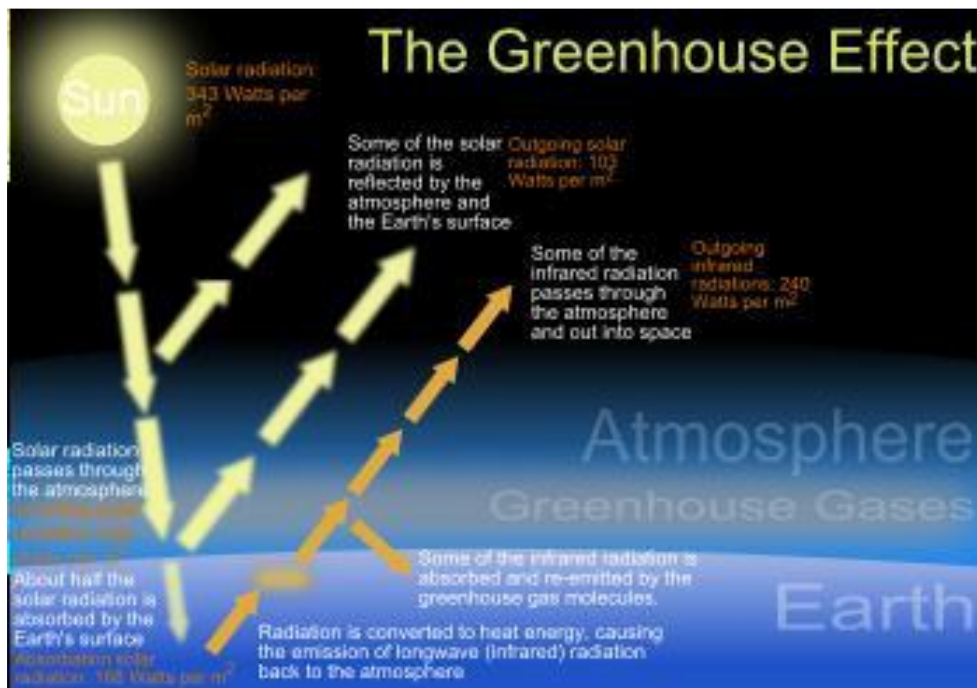
Ως φαινόμενο θερμοκηπίου ορίζεται η φυσική διεργασία κατά την οποία η προερχόμενη από την ηλιακή ακτινοβολία θερμότητα παγιδεύεται στη γήινη ατμόσφαιρα λόγω της ύπαρξης των λεγόμενων αέριων του θερμοκηπίου (Green House Gases-GHGs). Μέρος αυτής της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας απορροφάται από τη Γη και τα αέρια της ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της επανεκπέμπεται προς το διάστημα. Τμήμα της επανεκπεμπόμενης ακτινοβολίας απορροφάται εκ νέου από τα υπάρχοντα αέρια του θερμοκηπίου και επακόλουθα επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας (Tackle, 2016). Αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας είναι η θέρμανση της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της Γης στα επίπεδα που επιτρέπουν τη διατήρηση της ζωής, συντηρώντας μια μέση θερμοκρασία ατμόσφαιρας της τάξης των 14,6 °C.

Τα πλέον σημαντικά μεταξύ άλλων αέρια ως προς την απορρόφηση αυτής της υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), οι υδρατμοί (H_2O), το μεθάνιο (CH_4), το όζον (O_3), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), οι χλωροφθοράνθρακες (CHCs), οι υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) (Britannica, 2023).

Η βιομηχανική ανθρώπινη δραστηριότητα βασίζεται στην καύση ορυκτών πόρων και στην εκπομπή αέριων ρύπων και συντέλεσε στη δραματική αύξηση της συγκέντρωσης αερίων στην ατμόσφαιρα, ειδικά στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Συνέπεια αυτού αποτελεί η αύξηση του ποσοστού δέσμευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και διαδοχικά η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας.



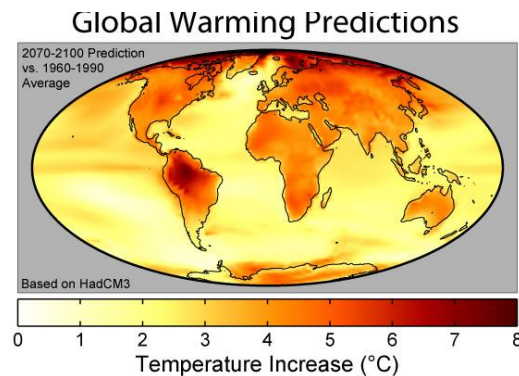
Σχήμα 1: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου



Πηγή: Σχήμα 1-1 του (S.Marantis, 2012) «Improvement of Energy Efficiency of existing ships by performing & evaluating Energy Audits onboard»

Σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο Hadley Centre HadCM3, η ανεξέλεγκτη ανθρώπινη επιβάρυνση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (business as usual) υπολογίζεται ότι θα οδηγήσει σε μέση αύξηση θερμοκρασίας 3 °C έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Σχήμα 2: Προβλέψεις αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο τέλος του 21ου αιώνα

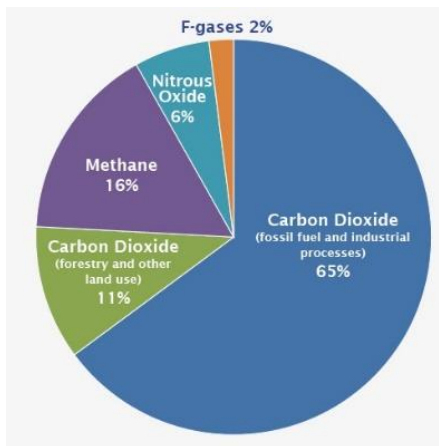


Πηγή: Σχήμα του (Liepert, 2012) «Plugging the Leaks in Climate Models»



Το κάθε αέριο ενισχύει το φαινόμενο σε διαφορετική ποσόστωση. Το διοξείδιο του άνθρακα διατηρεί το μεγαλύτερο εκ των ποσοστών συνεισφοράς γιατί πέραν της φυσικής διαδικασίας δημιουργίας του, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα καύσης ορυκτών καυσίμων, βιομάζας και εν γένει βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

Σχήμα 3: Παγκόσμιες εκπομπές ανά αέριο



Πηγή: Σχήμα του (USEPA, 2023) «Global Emissions by Gas»

1.2 Οι ρύποι στο ναυτιλιακό κλάδο

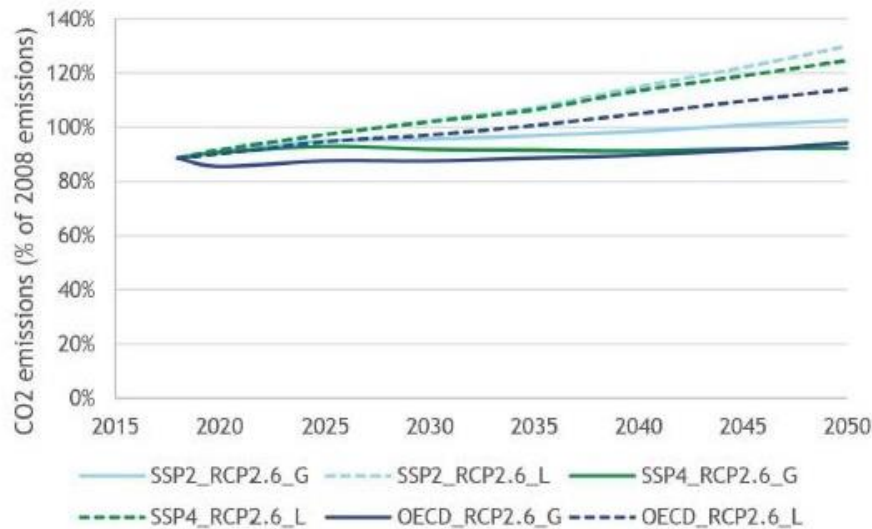
Κύρια πηγή ρύπων για τη ναυτιλία αποτελούν τα αέρια που προέρχονται από τη χρήση καυσίμων κατά τη λειτουργία των κυρίων μηχανών πρόωσης, των βοηθητικών μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των διαφόρων καυστήρων-λεβήτων για την παραγωγή θερμικής ενέργειας προς χρήση σε βοηθητικές λειτουργίες. Πέραν των ανωτέρω, οι αέριοι ρύποι ενισχύονται κατά περίπτωση και από διαφυγές πτητικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα που προέρχονται από ψυκτικά αέρια (ChloroFluoroCarbons-CFCs, HydroFluoroCarbons-HCFCs) και άλλες οργανικές ουσίες (πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds-VOCs), υπερφθοράνθρακες (Perfluorochemicals-PFCs)).

Η πανδημία COVID-19 διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στις μειώσεις εκπομπών για τα έτη 2020 και 2021 λόγω μείωσης των εμπορικών δραστηριοτήτων. Το 2018 οι ρύποι



της παγκόσμιας ναυτιλίας ανέρχονταν στους 1,076 εκατομμύρια τόνους CO₂ και αντιστοιχούσαν στο 2,9% των παγκόσμιων αέριων ρύπων που προέρχονταν από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτές οι εκπομπές, σύμφωνα με πλήθος δυνατών-πιθανών μακροπρόθεσμων οικονομικών και ενεργειακών σεναρίων, προβλέπεται να αυξηθούν έως το έτος 2050 σε ποσοστό από 90 έως 130 % σε σχέση με τις εκπομπές του 2008 (IMO, 2020). Μια τέτοια προοπτική προβλέπεται να υπονομεύει τις αποφάσεις και στόχους της συμφωνίας των Παρισίων που επιδιώκει την παγκόσμια αύξηση μέσης θερμοκρασίας κάτω των 1,5 °C ως μέσον αποφυγής επικίνδυνης αλλαγής του περιβάλλοντος (EU, 2023).

Σχήμα 4: Πρόβλεψη ναυτιλιακών ρύπων 2018 – 2050



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2020)«Fourth IMO GHG Study 2020 Executive Summary»

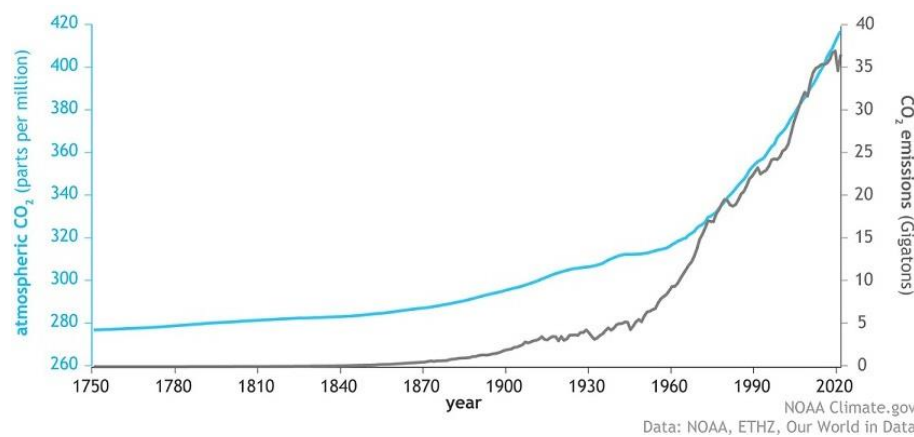
1.2.1 Το Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό (H₂O) αποτελούν προϊόντα τέλειας καύσης ως αποτέλεσμα της αντίδρασης κάθε οργανικής ύλης με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Τα έμβια όντα (πανίδα και χλωρίδα) αποδίδουν προς την ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα μέσω της διαδικασίας της διαπνοής ενώ μέσω της φωτοσύνθεσης η χλωρίδα το δεσμεύει. Η συγκέντρωση του αερίου επηρεάζεται από την ανθρώπινη παρέμβαση στη φυσική διεργασία παραγωγής και δέσμευσης του αερίου τόσο μέσω της υλοτόμησης και της καύσης των δασών, όσο και από τις εν γένει ανθρώπινες βιομηχανικές δραστηριότητες.



Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα διαχρονικά υπόκεινται σε διακυμάνσεις λόγω μεταβολών στο ισοζύγιο των φυσικών μηχανισμών παραγωγής και δέσμευσης του αερίου, έχουν όμως αυξηθεί από τα 277 ppm (parts per million) το 1750 στα 412,4±0,1 ppm το 2020 (ESSD, 2022). Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης τα τελευταία εξήντα χρόνια υπολογίζεται ως εκατονταπλάσιος σε σχέση με το φυσικό ρυθμό αύξησης που έλαβε χώρα στο τέλος της εποχής των παγετώνων.

Σχήμα 5: Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO₂ και ετήσιες



Πηγή: Σχήμα του (LINDSEY, 2022) «Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide»

1.2.2 Τα Οξείδια του Θείου (SO_x) και του Αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του θείου (SO_x) περιλαμβάνονται στους αέριους ρύπους κυρίως λόγω ύπαρξης στο καύσιμο ενώσεων του θείου. Αυξανόμενης της καθαρότητας του καυσίμου, μειώνονται οι περιεκτικότητες ενώσεων θείου ως αποτέλεσμα της συνεπαγόμενης διύλισης. Τα προϊόντα καύσης που περιέχουν ενώσεις θείου οξειδώνονται περαιτέρω παρουσία καταλύτη NO₂ με αποτέλεσμα τη δημιουργία των SO_x.

Τα SO_x πέραν της συμβολής τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλούν τη δημιουργία όξινης βροχής, δευτερογενών ανόργανων αερίων (aerosol) και λεπτόκοκκων αερίων που είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και συμβάλλουν στην καταστροφή της ζώνης του όζοντος. Κατά κύριο λόγο, το ναυτιλιακό καύσιμο (Heavy Oil-HO, Diesel Oil-DO και Marine Gas Oil-MGO) περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες ενώσεων θείου.



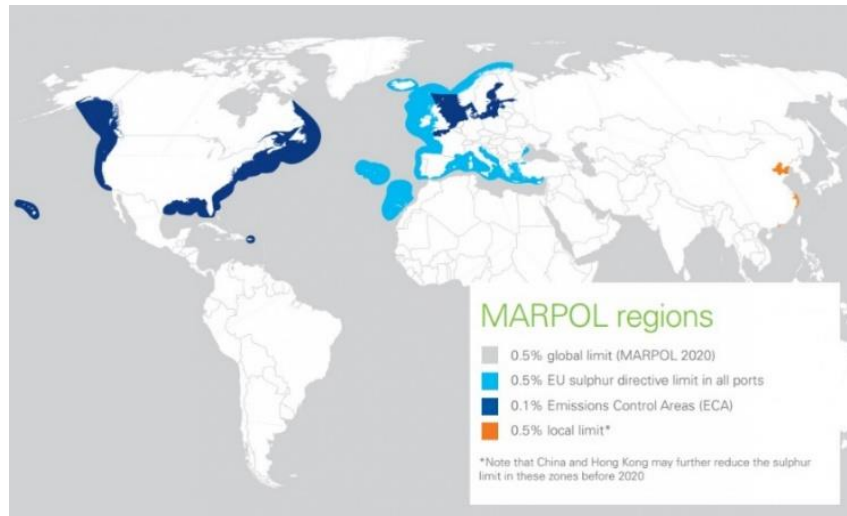
Στο πλαίσιο ελέγχου των εκπεμπόμενων οξειδίων του θείου, υφίστανται περιορισμοί τόσο στα χρησιμοποιούμενα καύσιμα όσο και στα ναυτιλιακά συστήματα καύσης όπως κύριες μηχανές, βοηθητικές μηχανές (ηλεκτρομηχανές) και καυστήρες-λέβητες. Οι έλεγχοι δομούνται με βάση τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών σε διακριτές γεωγραφικές περιοχές οι οποίες οριοθετούνται ως περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Areas-ECAs). Οι περιοχές ECA έχουν οριστεί λεπτομερώς μέσω γεωγραφικών στιγμάτων στη MARPOL ANNEX VI και περιλαμβάνουν τους ακόλουθους γεωγραφικούς τομείς:

- α. Τομέας Βορείου Αμερικής (Ατλαντικός και Ειρηνικός Ωκεανός)
- β. Τομέας Χαβάης και παρακείμενων νήσων
- γ. Τομέας θαλάσσιας περιοχής Καραϊβικής (ΗΠΑ)
- δ. Τομέας Βαλτικής
- ε. Τομέας Βορείου Θάλασσας

Το ανώτατο επιτρεπόμενο όριον περιεκτικότητας θείου μειώθηκε από το μέγιστο του 3,5%, στο όριο των 0,1%. Αυτή η αλλαγή είχε ως αποτέλεσμα να απαιτείται η εκτεταμένη χρήση τεχνολογίας καθαρισμού και κατακράτησης του θείου στα καυσαέρια των πλοίων (scrubbers) καθώς και η αντικατάσταση των κοινών καυσίμων με καύσιμα υψηλής καθαρότητας σε περιεκτικότητες θείου (Very Low Sulphur Fuel Oils-VLSFO 0,5% ή Ultra Low Sulphur Fuel Oils-ULSFO 0,1%).



Σχήμα 6: Περιοχές ECA



**Πηγή: Σχήμα του (PURENVIRO, 2018) «New SO_x regulation affects 70000 ships»
SEP, 2018**

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) αποτελούν την έτερη μεγάλη ομάδα ενώσεων των οποίων οι περιεκτικότητες στους ρύπους των ναυτιλιακών μηχανών εσωτερικής καύσης ελέγχεται λόγω των δυσμενών επιπτώσεων που επιφέρουν στην ατμόσφαιρα, τη ζώνη του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ύπαρξή τους οφείλεται στο γεγονός ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας που αποτελεί συστατικό καύσης εντός των θαλάμων καύσης των ναυτιλιακών μηχανών, είναι πλούσιος σε περιεκτικότητες N₂ (78%). Το άζωτο αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία οξειδίων αζώτου (NO_x).

Ο έλεγχος απόδοσης των μηχανών diesel σε εκπομπές NO_x επιτυγχάνεται μέσω επιθεωρήσεων που αποσκοπούν στην έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Αποτροπής Μόλυνσης του Ατμοσφαιρικού Αέρα για μηχανές diesel (Engine International Air Pollution Prevention Certificate-EIAPP) και στην εφαρμογή μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων ανά κατηγορία (Tier I,II,III), ανάλογα με το έτος κατασκευής του κάθε πλοίου και την ονομαστική ταχύτητα της μηχανής. Οι περιορισμοί εκπομπών NO_x αφορούν μηχανές



ισχύος άνω των 130 KW και ανεξαρτήτως εκποτίσματος του πλοίου ενώ η κατηγοριοποίηση επιπέδου Tier III αφορά πλοία που πλέουν εντός περιοχών ECA.

Πίνακας 1: Μέγιστες επιτρεπόμενες εκπομπές NO_x

| Tier | Ship construction date on or after | Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n= engine’s rated speed (rpm) | | |
|------|------------------------------------|--|------------------------------------|---------|
| | | n<130 | n = 130-1999 | n ≥2000 |
| I | 1 January 2000 | 17.0 | 45·n(-0.2) e.g., 720 rpm – 12.1 | 9.8 |
| II | 1 January 2011 | 14.4 | 44·n(-0.23) e.g., 720 rpm – 9.7 | 7.7 |
| III | 1 January 2016 | 3.4 | 9·n(-0.2) e.g., 720 rpm – 2.4 | 2.0 |

Πηγή: Πίνακας του (IMO, 2008) «Nitrogen Oxides (NO_x)-Regulation 13»

1.2.3 Εκπομπές προερχόμενες από ψυκτικά (CFCs, HCFCs)

Τα ψυκτικά είναι χημικές ουσίες που αξιοποιούνται στη ναυτιλία για την ψύξη εμπορευμάτων και ηλεκτρονικών μηχανήματων καθώς και στον κλιματισμό διαμερισμάτων των πλοίων. Από τα πλέον διαδεδομένα ως προς τη χρήση τους ψυκτικά εντός πλοίων είναι οι υδρογονοφθοράνθρακες (HydroFluoroCarbons-HFCs), οι χλωροφθοράνθρακες (ChloroFluoroCarbons-CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HydroChloroFluoroCarbons-HCFCs 22) καθώς επίσης και η αμμωνία R717. Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί η δυνατότητά τους για αλλαγή κατάστασης (από υγρή σε αέρια και αντίστροφα) όταν λειτουργούν ως θερμοδυναμικό μέσο εντός ψυκτικού κύκλου.



Τα ψυκτικά αέρια πέραν του γεγονότος ότι αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου, είναι και η κύρια απειλή έναντι της συνοχής της στρωμάδας του όζοντος, περιλαμβάνονται δε στις λεγόμενες ODS ουσίες (Ozone Depleting Substances)(κυρίως τα CFCs και HCFCs-22). Ο κανονισμός 12 του παραρτήματος VI της MARPOL, στο πλαίσιο εναρμόνισης με το Πρωτόκολλο του Montreal, απαγορεύει την εγκατάσταση νέων μονάδων CFCs σε νέες ναυπηγήσεις από τις 19 Μαΐου 2005 καθώς και νέες μονάδες HCFCs σε νέες ναυπηγήσεις από την 1^η Ιανουαρίου 2020.

Το Πρωτόκολλο του Montreal προβλέπει συγκεκριμένο οδικό χάρτη για τον περιορισμό χρήσης αυτών των ενώσεων, διαχωρίζοντας τις απαιτήσεις εφαρμογής μέτρων μείωσης μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων κρατών. Συγκεκριμένα:

- α. Τα αναπτυγμένα κράτη υποχρεούνται σε ολική αποφυγή χρήσης από το 2020.
- β. Τα αναπτυσσόμενα κράτη υποχρεούνται σε μείωση 67,5% έως το 2025 και σε ολική αποφυγή χρήσης από το 2030.

1.2.4 VOCs και PFCs

Ως VOCs (Volatile Organic Compounds) ορίζονται οι πτητικές οργανικές ενώσεις που εκλύονται κυρίως από τα εμπορευματοκιβώτια, το ελεύθερα μεταφερόμενο ακατέργαστο πετρέλαιο και σε πολύ λιγότερο ποσοστό από το LNG (λόγω της απαιτούμενης στεγανότητας των δεξαμενών που το εσωκλείουν κατά τη μεταφορά). Κυρίως ταξινομούνται σε εκπομπές μεθανίου (CH₄) και εκπομπές μη-μεθανιούχων πτητικών οργανικών ενώσεων (Non Methane Volatile Organic Compounds-NMVOCs). Οι συγκεκριμένες εκπομπές συμβάλλουν στη δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος (όζον χαμηλού υψομέτρου) λειτουργώντας επιβαρυντικά τόσο στη δράση του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και στην ανθρώπινη υγεία μιας και αρκετά από αυτά έχουν χαρακτηριστεί ως τοξικές και καρκινογόνες ουσίες (βενζίνη, αιθυλική βενζίνη, ξυλίνη).



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας

“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

Οι υπερφθοράνθρακες (Perfluorochemicals-PFCs) ή υπερφθοριωμένα και αλκυλιομένα υποστρώματα (Perfluorinated Alkylated Substances-PFAs) αποτελούν μια κατηγορία συνθετικών χημικών ουσιών με ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία και στην παραγωγή καταναλωτικών προϊόντων λόγω της σταθερής τους σύστασης, καθώς και της υδρόφοβης και ελαιόφοβης συμπεριφοράς που επιδεικνύουν. Στη ναυτιλία χρησιμοποιούνται σε εργασίες επικάλυψης επιφανειών και βαφής καθώς και ως βασικό συστατικό των πυροσβεστικών αφρών. Μια υποκατηγορία αυτών των ουσιών που παρουσιάζουν ευρεία εφαρμογή σε συστήματα πυροσβεστικών αφρών τύπου AFFF (Aqueous Film Forming Foam), είναι τα υπερφθοριωμένα οκτανοσουλφονικά οξέα (Perfluoro-Octane sulphonic Acid-PFOS), των οποίων όμως τη χρήση εντός πλοίων απαγόρευσε πρόσφατα ο IMO λόγω της υψηλής τοξικότητας που παρουσιάζουν.



2. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

2.1 Ιστορική αναδρομή

Οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον και ειδικά η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης άρχισαν να γίνονται αντιληπτά από τα μέσα του περασμένου αιώνα. Υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών δημιουργήθηκε το 1988 η διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC), της οποίας το έργο οδήγησε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα και σε αποφάσεις των κυβερνήσεων των Κρατών-Μελών ώστε να συσταθεί το 1992 ένα πλαίσιο δράσεων των Η.Ε. έναντι της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC).

Το Δεκέμβριου του 1997 ψηφίστηκε το πρωτόκολλο του Κιότο και το Φεβρουάριο του 2005 τέθηκε σε ισχύ. Το πρωτόκολλο αποτελεί ένα σύνολο ψηφισμάτων που θέτουν σε πρακτική εφαρμογή τις αποφάσεις του UNFCCC, υποχρεώνοντας 192 χώρες στην εφαρμογή μέτρων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με στόχο τη μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Την εφαρμογή των μέτρων που αφορούν στον τομέα της διεθνούς ναυτιλίας καλείται να εποπτεύσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός των Η.Ε. (International Maritime Organization).

Ο IMO είναι η ειδικευμένη οργάνωση των Η.Ε. που είναι υπεύθυνη για τα μέτρα βελτίωσης της διεθνούς ναυτιλίας και της πρόληψης της θαλάσσιας και ατμοσφαιρικής μόλυνσης από τα πλοία. Το έργο του IMO διασφαλίζεται με την ανάπτυξη και υιοθέτηση διεθνών συνεδρίων, κανόνων, κανονισμών και κωδίκων εφαρμογής υπό μορφή κανονιστικού πλαισίου το οποίο έχει επίπτωση στο σχεδιασμό και εγκατάσταση του ναυτιλιακού εξοπλισμού, τη λειτουργική δομή και οργάνωση των ναυτιλιακών εταιρειών και πλοίων, την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και την οργάνωση των διαδικασιών που αφορούν στην αποφυγή συμβάντων θαλάσσιας ρύπανσης. Τα έργα του IMO υλοποιούνται μέσω της Γενικής Συνέλευσης (General Assembly), του Συμβουλίου (Council), των πέντε



κύριων επιτροπών (Main Committees) και επίσης και από έναν αριθμό υποεπιτροπών (Sub Committees).

Ο συντονισμός των δράσεων του Οργανισμού που αφορούν στην αποτροπή και έλεγχο της περιβαλλοντικής ρύπανσης από τα πλοία είναι έργο της Επιτροπής για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee-MEPC). Το έργο της επιτροπής πραγματοποιείται μέσω της ανάπτυξης, της υιοθέτησης και της τροποποίησης αποφάσεων σχετικά με τη θαλάσσια ρύπανση καθώς και μέτρων εφαρμογής και συμμόρφωσης για τα Κράτη-Μέλη του IMO.

2.2 Η Διεθνής Σύμβαση για την αποφυγή της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL Convention)

Η Διεθνής Σύμβαση για την αποφυγή της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία (Maritime Pollution Convention-MARPOL) τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 και αποτελεί τη σημαντικότερη εν ισχύ διεθνώς επικυρωμένη σύμβαση σχετικά με την αποτροπή της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία τόσο κατά την κανονική τους επιχειρησιακή λειτουργία, όσο και κατά τη διάρκεια θαλάσσιων ατυχημάτων.

Από θεσπίσεως, η Σύμβαση έχει επικαιροποιηθεί και ενισχυθεί με παραρτήματα που επέβαλαν επιπρόσθετες απαιτήσεις συμμόρφωσης στο ναυτιλιακό κλάδο. Επί του παρόντος, η συνθήκη MARPOL έχει επικυρωθεί από 161 κράτη των οποίων ο αθροιστικός ναυτιλιακός στόλος συνθέτει το 98,89% της συνολικής «ολικής χωρητικότητας (gross tonnage)» του παγκόσμιου εμπορικού στόλου.

2.2.1 MARPOL ANNEX VI – Προστασία της Ατμόσφαιρας από ρύπανση

Το Παράρτημα VI της MARPOL τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005 και στοχεύει στον περιορισμό των αέριων ρύπων που περιλαμβάνονται στα παράγωγα καύσης καυσίμου των πλοίων (CO₂, SO_x, NO_x, αιθάλη), στον καθορισμό περιοχών ECA και στην



απαγόρευση εκπομπών ουσιών (ODSs) και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) που είναι καταστροφικές για τη στοιβάδα του όζοντος.

Το Δεκέμβριο του 2003, η Συνέλευση του IMO υιοθέτησε την απόφαση A.963 (23) σχετικά με τις πολιτικές και τις πρακτικές μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Αυτή η απόφαση ώθησε τη MEPC να αναπτύξει σχετικούς κανονισμούς εφαρμογής της απόφασης.

Η αναθεώρηση του παραρτήματος όπως δομήθηκε από την MEPC 58 το 2008 και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιουλίου του 2010, αυστηροποίησε περαιτέρω τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών σε αέριους ρύπους για τα πλοία και υιοθέτησε δεσμευτικές πολιτικές ενεργειακής απόδοσης επί της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (κατά κύριο λόγο όσον αφορά στις εκπομπές CO₂) τόσο για τις νέες ναυπηγήσεις (new builds) όσο και για τα ήδη υπάρχοντα πλοία.

Τον Οκτώβριο του 2016 στο πλαίσιο της MEPC 70, ο IMO ενέκρινε την υιοθέτηση της απόφασης MEPC.278 (70) που αφορούσε στην υποχρεωτική εφαρμογή καταγραφής και αναφοράς δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου ανά μεταφερόμενο έργο από τα πλοία άνω των 5.000 GT. Το σύστημα ελέγχου και συλλογής των δεδομένων έλαβε την ονομασία Data collection system-DCS και εφαρμόζεται από την 1^η Ιανουαρίου 2019 σύμφωνα με την απόφαση MEPC. 292(71).

Κατά τη διάρκεια των εργασιών της MEPC 76 από τις 10 έως τις 17 Ιουνίου 2021, το Παράρτημα VI της MARPOL αναθεωρήθηκε εκ νέου. Δομικά αποτελείται από πέντε κεφάλαια που περιλαμβάνουν τριάντα ένα (31) κανονισμούς και έντεκα (11) προσθήκες (Appendices). Το κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει τους κανονισμούς 19 έως 29 οι οποίοι καλύπτουν τις επικαιροποιημένες απαιτήσεις επί των ορίων και των μηχανισμών ελέγχου που αφορούν στις εκπομπές CO₂ καθώς και στα επιχειρησιακά και τεχνικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης. Επίσης ορίζονται οι ενεργειακοί δείκτες EEDI (Energy Efficiency Design Index), EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) (αποκτώμενος και



απαιτούμενος), CII (Carbon Intensity Indicator) (αποκτώμενος και απαιτούμενος), ορίζεται το πλάνο SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) καθώς και ο μηχανισμός συγκέντρωσης και αναφοράς στοιχείων κατανάλωσης καυσίμου από τα πλοία. Στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται οι οδηγίες για την επικύρωση της συμμόρφωσης των πλοίων με τις προβλέψεις του Παραρτήματος VI κατά τη διάρκεια επιθεωρήσεων.

2.3 Η Στρατηγική μείωσης των εκπομπών του IMO

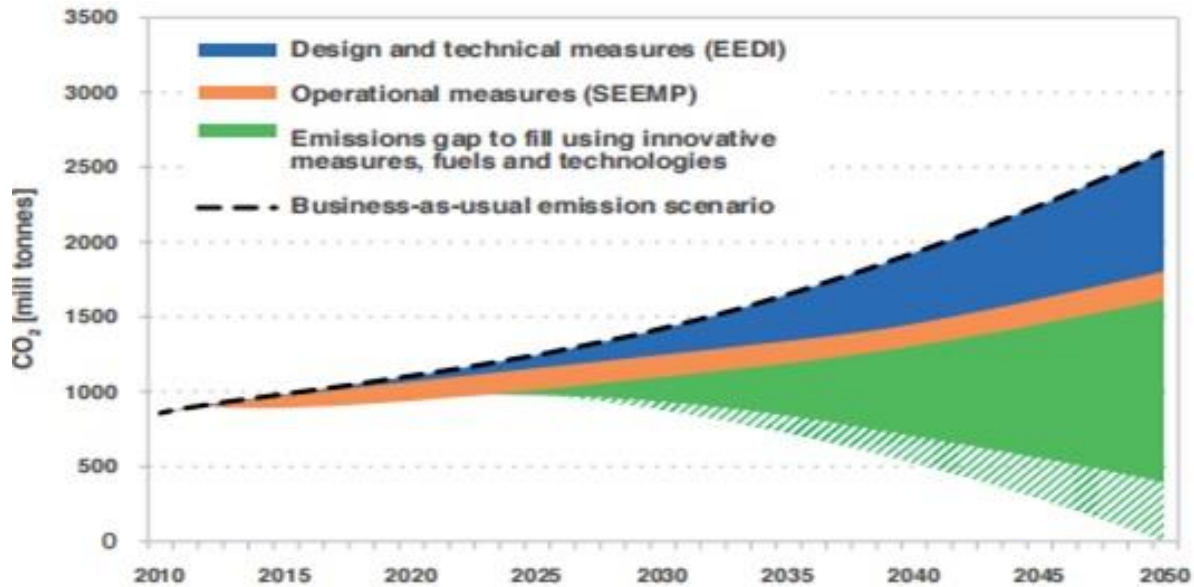
Η στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου δρομολογείται μέσω της ενίσχυσης που προσφέρει ο οργανισμός σε διεθνείς πρωτοβουλίες για τη μόλυνση της ατμόσφαιρας (Συμφωνία του Παρισιού, Ατζέντα 2030 των Η.Ε. κ.α.). Επίσης, η στρατηγική ενισχύεται μέσω της αναγνώρισης και υιοθέτησης των κατάλληλων μέτρων μείωσης εκπομπών διατηρώντας τόσο το ανταγωνιστικό παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο όσο και τις θαλάσσιες μεταφορικές υπηρεσίες βιώσιμα και περιβαλλοντικά φιλικά.

Η αρχική στρατηγική σχεδιάστηκε ώστε να καταστεί επιτυχημένη μέσω της εφαρμογής καταλόγου βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων καθώς και μακροπρόθεσμων υποψήφιων μέτρων. Αυτά τα μη εξαντλητικά μέτρα, κατηγοριοποιούνται σε αυτά που εμφανίζουν άμεσο αποτύπωμα στη μείωση των θαλάσσιων αερίων ρύπων του θερμοκηπίου και σε εκείνα που λειτουργούν υποστηρικτικά ενός ευρύτερου και φιλικού προς το περιβάλλον λειτουργικού πλαισίου.

Ο κατάλογος των βραχυπρόθεσμων μέτρων θα υιοθετηθεί εντός του 2023 ενώ τα μεσοπρόθεσμα μέτρα, που έχουν πλάνο μείωσης του αποτυπώματος του άνθρακα (Carbon Intensity-CI) για τον παγκόσμιο στόλο κατ' ελάχιστον έως ποσοστού 40%, μεταξύ 2023 και 2030. Τέλος, τα υπό εξέταση μακροπρόθεσμα μέτρα αναμένεται να οριστικοποιηθούν από μελλοντική συνεδρίαση της MEPC μετά το 2030 και θα αποσκοπούν σε μειώσεις CI τουλάχιστον κατά 70% έως το 2050.



Σχήμα 7: Οδικός χάρτης μείωσης των εκπομπών GHG του IMO



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2023) «IMO actions to reduce GHG Emissions from International Shipping»

2.4 Η Ενεργειακή αποδοτικότητα

Όταν ένα ενεργειακό σύστημα τροφοδοτείται με δεδομένη ποσότητα ενέργειας εισόδου, στην έξοδό του προκύπτει συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας εξόδου. Η σχέση αυτή καθορίζει την έννοια της ενεργειακής απόδοσης. Η ενέργεια εξόδου ποικίλλει αναλόγως του ενεργειακού συστήματος το οποίο δύναται να λάβει διάφορες υλοποιήσεις (ηλεκτρικό σύστημα, θερμικό, μηχανολογικό, σύστημα μεταφοράς ανθρώπων ή εμπορευμάτων κλπ). Στον τομέα της ναυτιλίας, τα εφαρμοζόμενα ενεργειακά συστήματα κινητήριας ναυτικής μηχανής diesel, η οποία καταναλώνει καύσιμα συγκεκριμένου επιπέδου χημικής ενέργειας και αποδίδει συγκεκριμένα επίπεδα μηχανολογικής ενέργειας (καθώς και τα αντίστοιχα επίπεδα εκπομπών CO₂) χαρακτηρίζονται από αυτή τη σχέση.



Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας επιτυγχάνεται είτε στο στάδιο της παραγωγής της ενέργειας είτε στο στάδιο της κατανάλωσής της. Στη ναυτιλία η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας και η βελτίωσή της πραγματοποιείται μέσω της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων ως συνέπεια της χρήσης νέων υλικών, εφαρμογής νέων τεχνολογιών αεροδυναμικής, υδροδυναμικής και μηχανολογίας, χρήσης συστημάτων ενεργειακής εξοικονόμησης (Energy Saving Devices-ESDs) καθώς και μέσω της βελτίωσης του επιχειρησιακού προφίλ των ναύλων των πλοίων.

2.5 Πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας για το ναυτιλιακό κλάδο

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 4 του Παραρτήματος VI της MARPOL, τα υιοθετούμενα πρότυπα βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων ως αποτέλεσμα των επικυρωμένων αποφάσεων, στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου και συνδέονται άρρηκτα με την εξοικονόμηση καυσίμου.

Οι πλέον σημαντικοί κανονισμοί αφορούν το δείκτη EEDI, το δείκτη EEXI, το πλάνο SEEMP, το σύστημα καταγραφής και αναφοράς δεδομένων DCS καθώς και το δείκτη CII. Ο δείκτης EEDI έγινε υποχρεωτικός ως προς την εφαρμογή για όλα τα νέα πλοία άνω των 400 GT στη συνεδρίαση της MEPC 62 τον Ιούλιο του 2011 και εφαρμόστηκε την 1^η Ιανουαρίου 2013. Αντίστοιχα, στην ίδια συνεδρίαση και υπό τον ίδιο χρονικό ορίζοντα εφαρμογής, υιοθετήθηκε το πλάνο SEEMP, ένα οργανωτικό πλαίσιο το οποίο βασιζόμενο σε τέσσερα επίπεδα λειτουργίας (προγραμματισμό και αξιολόγηση, εφαρμογή, παρακολούθηση και τέλος αυτοαξιολόγηση και αυτοβελτίωση) εισάγει για τα πλοία ένα μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας υπό οικονομικούς όρους βελτίωσης του συνεπαγόμενου κόστους. Το σύστημα καταγραφής και αναφοράς δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου (DCS) τέθηκε σε εφαρμογή την 1^η Μαρτίου 2018 για όλα τα πλοία άνω των 5.000 GT. Οι δείκτες EEXI και CII προτάθηκαν από την MEPC 75 το Νοέμβριο του 2020. Ο δείκτης EEXI εφαρμόζεται από την 1^η Νοεμβρίου 2022 κατ’ αντιστοιχία με τον EEDI σε προϋπάρχοντα πλοία άνω των 400GT ενώ ο δείκτης CII πρόκειται να καταστεί υποχρεωτικός από το 2026.



3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

3.1. Η συμμετοχή της ναυτιλίας στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η σύγκριση μεταξύ των μεταφορικών κλάδων ως προς τους εκπεμπόμενους ρύπους είναι εφικτή μέσω της αναγωγής αυτών σε ποσοστό ενεργειακής αποδοτικότητας. Η εκπεμπόμενη ποσότητα CO₂ προς το μεταφορικό φορτίο και την απόσταση μεταφοράς κάθε μέσου (και κατ’ επέκταση κλάδου) για δεδομένο χρόνο μπορεί να δώσει μια ποσοτική απεικόνιση (IMO, 2009).

Μαθηματικά η εν λόγω έκφραση μπορεί να αποδοθεί με τον ακόλουθο τύπο:

$$CO_{2\text{efficiency}} = (CO_2) / (\text{tone} \times \text{Kilometer}),$$

όπου,

CO₂ = Η ολική ποσότητα CO₂ (μετρούμενη σε γραμμάρια) που παρήχθη κατά τη μεταφορά από το μεταφορικό μέσο,

και

tone x Kilometer = Τα συνολικά τονοχιλιόμετρα (τονομίλια) μεταφορικού έργου σε δεδομένη περίοδο.

Οι συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων προερχόμενες από ένα πλοίο μεταβάλλονται ανάλογα με το λειτουργικό καθεστώς του πλοίου καθώς επίσης και τις καινοτόμες ενσωματωμένες τεχνολογίες που αυτό διαθέτει. Ένα πλοίο καταναλώνει καύσιμο (και κατά συνέπεια παράγει ρύπους) από τις κύριες μηχανές του που του προσφέρουν πρόωση (Main Engines-ME), και τις βοηθητικές μηχανές που του προσφέρουν ενέργεια (Auxiliary Engines-AE). Κατά τον πλου, και τα δυο είδη μηχανών είναι σε λειτουργία και συνεπώς συμβάλλουν στην εκπομπή ρύπων. Κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμένα ή κατά τις περιπτώσεις αγκυροβολίας οι κύριες μηχανές δε λειτουργούν και οι ρύποι προέρχονται μόνο από τις βοηθητικές μηχανές.



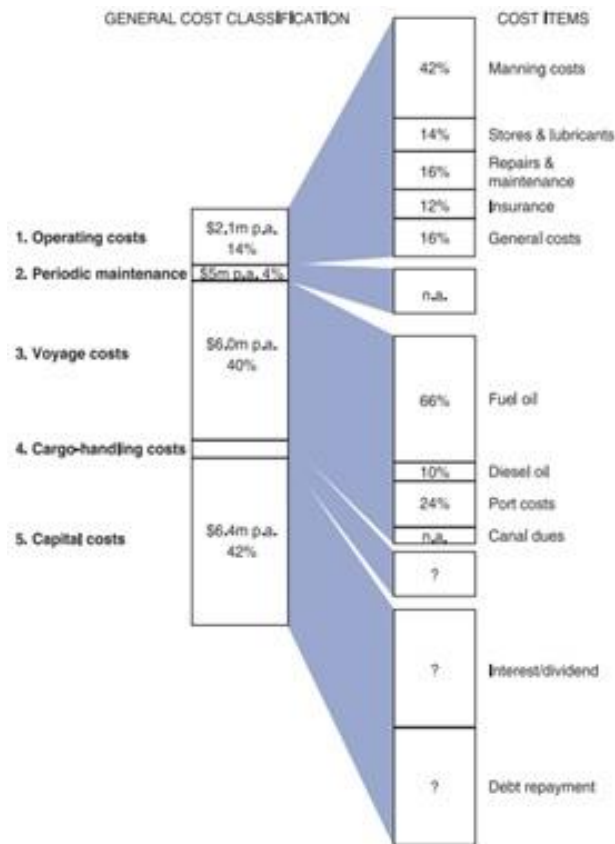
Οι εκπομπές CO₂ της διεθνούς ναυτιλιακής δραστηριότητας που κατεγράφησαν το 2021 ανήλθαν στο ποσοστό του 2 % σε σχέση με τη συνολική των παγκόσμιων εκπομπών, παρουσίασαν δε 5% αύξηση σε σχέση με την κατακόρυφη πτώση που είχε σημειωθεί το 2020, όπου τα επίπεδα CO₂ είχαν μειωθεί έως τα επίπεδα εκπομπών του 2015. Σύμφωνα με αυτή την προοπτική, για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας των Παρισίων που επιδιώκει αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έως 1,5 °C σε συνάρτηση με την αναμενόμενη αύξηση της ναυτιλιακής δραστηριότητας, θα απαιτηθεί όχι μόνο μη περαιτέρω αύξηση των εκπομπών έως το έτος 2025 αλλά και ακόλουθη μείωση εκπομπών κατά 3% ανά έτος έως το 2030 (συνολικό απαιτούμενο ποσοστό μείωσης 15% για την προσεχή πενταετία) (IEA, 2022).

3.2 Το οικονομικό κόστος του καυσίμου

Σύμφωνα με τον M. Stopford, η διεθνής ναυτιλία επιδιώκει τη βέλτιστη οικονομική απόδοση ως μέσο επιβίωσης στη διαρκώς μεταβαλλόμενη ναυτιλιακή οικονομία. Από τις μεγάλες οικογένειες κόστους που σχετίζονται με την απόκτηση και τη λειτουργία ενός πλοίου, αυτή που περιλαμβάνει το κόστος αγοράς καυσίμου είναι αυτή του κόστους ταξιδιού (Voyage Cost). Τα καύσιμα αντιστοιχούν στο 66% του συνολικού κόστους ταξιδιού, συνεπώς, οι ναυτιλιακές εταιρείες επιδιώκουν την κατά το δυνατόν μείωσή του με τη χρήση καυσίμου χαμηλού κόστους αγοράς όπως το HFO, το οποίο σε σχέση με άλλα καύσιμα έχει χαμηλότερη τιμή. Παρ’ όλα αυτά, το HFO ως καύσιμο παρουσιάζει μεγαλύτερο αποτύπωμα στην ατμόσφαιρα καθότι περιέχει υψηλότερες συγκεντρώσεις θείου.



Σχήμα 8: Ανάλυση κόστους πλοίου



Πηγή: Σχήμα του (Stopford, 1997) «Maritime Economics»

3.3 Η Ενεργειακή αποδοτικότητα ως μέθοδος μείωσης του φαινομένου του Θερμοκηπίου

Σύμφωνα με μελέτη του IMO (Zabi Bazari, 2011) που ακολούθησε την υιοθέτηση των μέτρων EEDI και SEEMP, διαπιστώθηκε η άρρηκτη συνάφεια μεταξύ των παραγομένων ρύπων, των οικονομικών δαπανών και της παραγόμενης/αναλισκόμενης ενέργειας. Για την επίτευξη των προαναφερόμενων στόχων σχετικά με τη μείωση των ρύπων και κατά συνέπεια τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το μείγμα τεχνικών, σχεδιαστικών και επιχειρησιακών μέτρων που απαιτείται να εφαρμοστεί κατά το Παράρτημα VI της MARPOL στοχεύει στην ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων με



την εισαγωγή καινοτόμων σχεδιαστικών νέων ναυπηγήσεων και βελτιωμένα προφίλ λειτουργίας κατά τους ναύλους των πλοίων.

3.3.1 Ships Energy Efficiency Management Plan-SEEMP

Όπως προαναφέρθηκε, το πλάνο SEEMP είναι ένα οργανωτικό πλάνο λειτουργίας το οποίο, βασιζόμενο σε τέσσερα επίπεδα διάρθρωσης, εισάγει για τα πλοία ένα μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας υπό οικονομικούς όρους.

Στο στάδιο του σχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση καθώς και την επιδιωκόμενη βελτίωση, καθορίζεται το πακέτο των ενεργειακών μέτρων που πρέπει να εφαρμοστεί τόσο σε επίπεδο πλοίου και εταιρείας όσο και σε επίπεδο που άπτεται της ενσυνείδητης εφαρμογής αυτών από το απασχολούμενο προσωπικό.

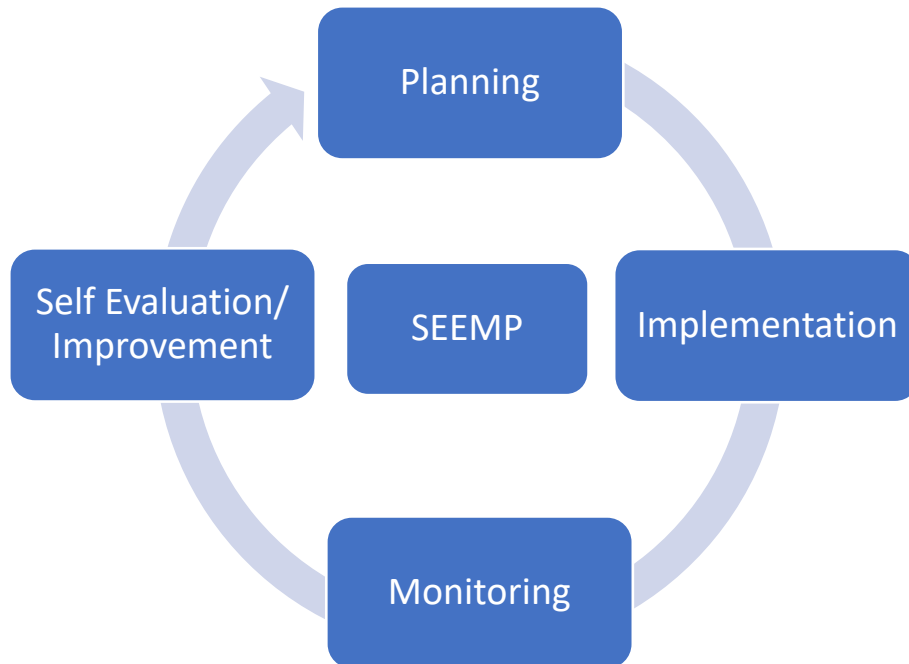
Η εφαρμογή ως ακόλουθο στάδιο περιλαμβάνει τις διαδικασίες ενεργειακής διαχείρισης που πρέπει να ακολουθηθούν και οι οποίες συγκεκριμενοποιούν εργασίες που ανατίθενται ως καθήκοντα σε κατάλληλα εξειδικευμένο προσωπικό.

Το στάδιο της παρακολούθησης βασίζεται σε καθιερωμένες μεθόδους ποσοτικής καταγραφής της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου, όπως ο ενεργειακός δείκτης EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) που προτείνεται από τον IMO.

Στο τελικό στάδιο της αυτοαξιολόγησης-βελτίωσης, προκύπτουν τα ωφέλιμα συμπεράσματα με τα οποία κρίνεται η απόδοση των αρχικά σχεδιασθέντων μέτρων και των μεθόδων εφαρμογής τους. Τα συμπεράσματα αυτού του σταδίου χρησιμοποιούνται ως σημεία αφετηρίας για τον επανασχεδιασμό του πρώτου σταδίου ώστε να προκύψει ο δεύτερος κύκλος SEEMP (IMO, 2016).



Σχήμα 9: Διαδικασία SEEMP



Πηγή: Συντάχθηκε από το συγγραφέα

3.3.2 MRV και DCS

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, στο πλαίσιο δημιουργίας κινήτρων επί των προσπαθειών μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων μέσω της δημοσιοποίησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων στις αγορές, πρότεινε το 2013 και υιοθέτησε το 2015 την υποχρεωτική εφαρμογή του κανονισμού EU MRV (European Union Monitoring, Reporting and Verification). Το πλαίσιο υποχρεώνει τις ναυτιλιακές εταιρείες στην παρακολούθηση, αναφορά και πιστοποίηση των καταναλώσεων καυσίμου, των εκπομπών CO₂ και της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων άνω των 5000 GT που πλέουν από και προς λιμένες και ύδατα εντός της επικράτειας των Κρατών-Μελών της (EU, 2015). Οι αναφορές εκτελούνται σε ετήσια βάση καθώς επίσης και ανά πραγματοποιούμενο πλου. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση που το ταξίδι ενός πλοίου εκκινεί ή ολοκληρώνεται εντός



λιμένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η περίπτωση που το πλοίο εκτελεί σύμφωνα με τον προγραμματισμό του πάνω από 300 πλόες. Επιπρόσθετα αναφέρονται τα ακόλουθα σχετικά στοιχεία:

- α. Διανύμενη απόσταση
- β. Ώρες εν πλώ
- γ. Στοιχεία μεταφερόμενου φορτίου
- δ. Μεταφορικό έργο και μέση ενεργειακή αποδοτικότητα εκφρασμένη ως κατανάλωση καυσίμου ή εκπομπές άνθρακα ανά διανύμενη απόσταση ή ανά μεταφορικό έργο (VERIFARIA, 2023).

Αντίστοιχα, ο IMO στο πλαίσιο της MEPC.67 (IMO, 2014) αποφάσισε την ανάπτυξη ενός συστήματος συλλογής δεδομένων αντίστοιχου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο υιοθετήθηκε ως DCS (Data Collection System) το 2016 (IMO, 2016). Το DCS εισήχθη ως μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων καθώς και ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για περαιτέρω υιοθέτηση τυχόν απαιτούμενων μέτρων και αφορά σε πλοία άνω των 5.000 GT. Ακολουθεί διαφορετική μεθοδολογία από το MRV και δεν απαιτεί την δημοσιοποίηση των δεδομένων. Τα πλοία που είναι υπόχρεα τήρησης του DCS, αναπτύσσουν και εφαρμόζουν στο πλαίσιο του δεύτερου μέρους (Part II) του πλάνου SEEMP το Data Collection Plan (DCP) (ClassNK, 2023). Με αυτό το πλάνο καταγράφεται η ολική κατανάλωση καυσίμου, η διανυθείσα απόσταση και οι ώρες εν πλώ (DNV, 2023). Το DCP αποτελείται από 9 τομείς:

- α. Τα ειδικά στοιχεία του πλοίου (Ship particulars).
- β. Το αρχείο αναθεώρησης της κατανάλωσης καυσίμου (Record of revision of Fuel Oil Consumption Data Collection Plan).
- γ. Τις μηχανές του πλοίου, τους λοιπούς καταναλωτές καυσίμου καθώς και τα είδη των χρησιμοποιούμενων καυσίμων (Ship engines and other fuel oil consumers and fuel oil types used).
- δ. Τον παράγοντα εκπομπών (Emission factor).
- ε. Τη μέθοδο καταγραφής της κατανάλωσης καυσίμου.
- στ. Τη μέθοδο καταγραφής των ωρών εν πλώ.



ζ. Τη διαδικασία αναφοράς των συλλεχθέντων δεδομένων για θεώρηση από την αρμόδια αρχή (Administration).

η. Τη διασφάλιση ποιότητας της συλλογής δεδομένων (VERIFARIA, 2023).

Πίνακας 2: Κύριες διαφορές στις απαιτήσεις μεταξύ EU MRV και IMO DCS

| | EU MRV | IMO DCS |
|-------------------------|--|---|
| Entry into force | 1 st July 2015 | 1 st March 2018 |
| Scope | Ships above 5'000 GT Voyages to / from EEA ports of call | Ships 5'000 GT or above International voyages |
| First monitoring period | 2018 | 2019 |
| Procedures | Monitoring Plan (37 sections) | Data Collection Plan (SEEMP Part II) (9 sections) |
| Compliance (procedures) | Assessment Report (no need to be on-board) | Confirmation of Compliance (must be on-board) |
| Reporting | Fuel consumption (port / sea) Carbon emissions Transport work (actual cargo carried) Distance sailed Time at sea excluding anchorage | Total fuel consumption Distance travelled Hours underway Design deadweight used as proxy |
| Verification | Independent accredited verifiers | Flag administrations or Authorized Organizations |
| Compliance (reporting) | Document of Compliance (June 2019) | Statement of Compliance (May 2020) |
| Publication | Distinctive public database | Anonymous public database |

Πηγή: (Verifavia, 2023) «Differences between EU MRV and IMO DCS requirements»

3.4. Δείκτες ενεργειακής απόδοσης (EnPIs)

Το 2011 ο Διεθνής Οργανισμός Πιστοποίησης (International Standards Organization-ISO) εισήγαγε την έννοια των EnPIs ως την ποσοτική μέθοδο σύγκρισης της ενεργειακής αποδοτικότητας μιας εταιρείας σε διάφορες χρονικές στιγμές. Το 2018 το πρότυπο πιστοποίησης ISO 50001 αναθεώρησε τις οδηγίες του δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στους δείκτες ενεργειακής απόδοσης. Ο προσδιορισμός των Δεικτών ενεργειακής απόδοσης γίνεται με διάφορες μεθόδους όπως:

α. Θεωρητικές υποθέσεις και υπολογισμοί της εν γένει ενεργειακής απόδοσης ως προϊόν παρατήρησης διαφόρων επιπέδων ενεργειακής αποδοτικότητας μιας εγκατάστασης

β. Με βάση την απόλυτη ή ειδική κατανάλωση καυσίμου μιας εγκατάστασης

γ. Μέσω της υιοθέτησης πολύπλοκων και τεχνικών μοντέλων (ACCELERATOR(UNIDO), 2023)



Ο προσδιορισμός των εξοικονομούμενων ενεργειακών ποσών καθίσταται εφικτός με τη χρήση προσαρμοσμένων στην οργάνωση της έκαστης εταιρείας (και κατ’ επέκταση του κλάδου), Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης (Organization Level Energy Performance Indicators). Μέσω των δεικτών πραγματοποιείται ανάλυση παραμέτρων που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας (παραγωγή και κατανάλωση) (IRELAND(SEAI), 2023).

Ο IMO, όπως αναφέρθηκε, έχει αναπτύξει προσαρμοσμένους στη ναυτιλία ενεργειακούς δείκτες (όπως ο ΕΕΟΙ στο πλαίσιο εφαρμογής του SEEMP) σε μια προσπάθεια καθιέρωσης κοινά αποδεκτών μεθόδων προσδιορισμού της ενεργειακής αποδοτικότητας.

3.5 Οι Ενεργειακοί δείκτες στη ναυτιλία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το τέταρτο Κεφάλαιο του Παραρτήματος VI της MARPOL στο πλαίσιο ενός ρυθμιστικού πλαισίου για τη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, εισήγαγε αρκετά μέτρα στοχεύοντας στη βελτίωση και έλεγχο της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων. Η ενσωμάτωση των πολιτικών δρομολογείται μέσω της αριθμητικής αντιστοίχισης των εκπεμπόμενων ρύπων με τους επονομαζόμενους ενεργειακούς δείκτες απόδοσης των πλοίων. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών όπως οι ενεργειακοί δείκτες EEDI, EEXI, CII, οι δείκτες ΕΕΟΙ, AER ως στοιχείο του εφαρμοζόμενου πλάνου SEEMP καθώς και εναλλακτικά προτεινόμενοι ενεργειακοί δείκτες από τη διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.

3.5.1 Energy Efficiency Design Index (EEDI)

Ο EEDI κατέστη υποχρεωτικός για όλες τις νέες ναυπηγήσεις (καθώς και για υπάρχοντα πλοία που έχουν διέλθει εκτεταμένες μετασκευές) σύμφωνα με τις αποφάσεις της MEPC. 203(62) (IRCLASS, 2023) και αποσκοπεί στη δημιουργία κινήτρων προς την κατεύθυνση νέων ναυπηγήσεων που θα κάνουν χρήση ενεργειακά αποδοτικότερων μηχανών και λοιπών συσκευών. Ο συγκεκριμένος δείκτης αφορά μόνο σε ζητήματα



τεχνικού σχεδιασμού των πλοίων όπως η βελτιστοποίηση χρήσης/ρύθμισης των μηχανών, η βελτιστοποίηση του κύτους και των προπελών ή χρήση μη ορυκτών καυσίμων.

Ο EEDI είναι τεχνικό μέτρο ενεργειακής αποδοτικότητας προσαρμοσμένο ανά πλοίο και καταδεικνύει την εκτιμώμενη από σχεδιαστική άποψη ενεργειακή απόδοση σε γραμμάρια CO₂ προς το μεταφορικό έργο (τονομίλια). Με άλλα λόγια, ο EEDI αποτελεί ένα αριθμητικό δείκτη του λόγου «Αποτύπωμα στο περιβάλλον/Κοινωνικό όφελος» (IRCLASS, 2013). Σύμφωνα με τη MEPC.203(62) για τον υπολογισμό του EEDI απαιτείται προηγουμένως ο υπολογισμός δύο επιμέρους δεικτών, ο απαιτούμενος EEDI (Required EEDI) και ο επιτευχθείς EEDI (Attained EEDI). Ο υπολογισμός του Attained EEDI πραγματοποιείται μέσω του τεχνικού φακέλου του πλοίου (συντάσσεται από το ναυπηγείο και συνοδεύει το πλοίο σε όλο τον επιχειρησιακό του βίο). Η τιμή που λαμβάνει ο δείκτης EEDI ενός πλοίου παραμένει σταθερός και δεν αλλάζει παρά μόνο στην περίπτωση που το πλοίο διέλθει εκτεταμένες μετασκευές ή εκσυγχρονισμό. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του δείκτη, τόσο ενεργειακά αποδοτικότερες αξιολογούνται οι τεχνολογίες που αυτό ενσωματώνει. Κάθε νέα ναυπήγηση που υπόκειται στα εντελλόμενα περί EEDI οφείλει να διαθέτει δείκτη Attained EEDI μικρότερο ή ίσο από την τιμή του δείκτη Required EEDI που αντιστοιχεί στο πλοίο. Η σχέση που συνδέει τους δύο δείκτες είναι η ακόλουθη:

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

όπου X ο συντελεστής μείωσης (σύμφωνα με τον Πίνακα 3) για τον Required EEDI σε σύγκριση με τη γραμμή αναφοράς του EEDI και Reference Line Value η τιμή της γραμμής αναφοράς του πλοίου που προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Reference Line Value} = a \times b^{-c}$$

όπου a , b και c οι παράμετροι σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 4:



Πίνακας 3: Συντελεστές μείωσης (σε ποσοστό) για τον EEDI σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς του EEDI

| 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* |
| 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 |
| 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* |

Πηγή: Πίνακας 1 του (IRCLASS, 2023) « (Reduction factors (in percentage) for the EEDI relative to the EEDI reference line»



Πίνακας 4: Παράμετροι καθορισμού τιμών αναφοράς (Reference Values) για τους διάφορους τύπους πλοίων

| Ship type | a | b | c |
|--|--|-----------------|-------|
| Bulk carrier | 961.79 | DWT of the ship | 0.477 |
| Gas carrier | 1120.00 | DWT of the ship | 0.456 |
| Tanker | 1218.80 | DWT of the ship | 0.488 |
| Container ship | 174.22 | DWT of the ship | 0.201 |
| General cargo ship | 107.48 | DWT of the ship | 0.216 |
| Refrigerated cargo carrier | 227.01 | DWT of the ship | 0.244 |
| Combination carrier | 1219.00 | DWT of the ship | 0.488 |
| Ro-ro cargo ship (vehicle carrier) | (DWT/GT) ^{-0.7} * 780.36 where DWT/GT < 0.3 1812.63 where DWT/GT ≥ 0.3 | DWT of the ship | 0.471 |
| Ro-ro cargo ship | 1405.15 | DWT of the ship | 0.498 |
| Ro-ro passenger ship | 752.16 | DWT of the ship | 0.381 |
| LNG carrier | 2253.7 | DWT of the ship | 0.474 |
| Cruise passenger ship having non-conventional propulsion | 170.84 | GT of the ship | 0.214 |

Πηγή: Πίνακας 2 του (IRCLASS, 2023) «Reference line values»

Ο σκοπός ύπαρξης του συντελεστή μείωσης βασίζεται στην ανάγκη αυστηροποίησης του EEDI ανά φάσεις και κατά την πάροδο των ετών, προκειμένου να δίδονται στους κατασκευαστές συστημάτων και στα ναυπηγεία τα κατάλληλα κίνητρα για τεχνολογικές καινοτομίες που θα οδηγούν σε ενεργειακά αποδοτικότερα νέα πλοία.

3.5.1.1 Υπολογισμός του EEDI

Η εν ισχύ μέθοδος υπολογισμού του EEDI καθορίζεται στις οδηγίες των MEPC.308(73) που υιοθετήθηκαν στις 26 Οκτωβρίου 2018, MEPC.332(74) που υιοθετήθηκαν στις 17 Μαΐου 2019 και MEPC.332(76) που υιοθετήθηκαν στις 17 Ιουνίου 2021.

Προκειμένου ένα νέο πλοίο να είναι σύμμορφο με τον EEDI, θα πρέπει ο Attained EEDI να είναι το πολύ ίσος με τον Required EEDI που αντιστοιχεί στον τύπο που ανήκει το πλοίο. Ο Attained EEDI υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:



Σχήμα 10: Εξίσωση υπολογισμού Attained EEDI

$$\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)$$

Impact of propulsion Impact of auxiliary services Impact of PTI reduced with electrical innovations Impact reduction due to mechanical innovations

Correction factors Ship's work

Πηγή: Σχήμα του (BV, 2021) «Reducing Ship Emissions IMO EEXI & CII/SEEMP»

Οι παράμετροι της ανωτέρω εξίσωσης περιγράφονται ως ακολούθως:

- α. C_F : Ο αδιάστατος συντελεστής μετατροπής μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου (σε γραμμάρια) και εκπομπών CO_2 (σε γραμμάρια), ο οποίος εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα. Αφορά στο καταναλισκόμενο καύσιμο τόσο των κύριων μηχανών όσο και των βοηθητικών μηχανών και καθορίζεται από την ειδική κατανάλωση καυσίμου που αναγράφεται στον τεχνικό φάκελο εκπομπών NO_x της κάθε μηχανής.
- β. Capacity: Η χωρητικότητα του πλοίου σε Deadweight tones (DWT), χωρητικότητα νεκρού βάρους.
- γ. $P_{ME(i)}$: Η ισχύς προερχόμενη από τις κύριες μηχανές που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ορισμένη στο 75% της μέγιστης συνεχούς ονομαστικής ισχύος (Maximum Continuous Rating-MCR power) κάθε κύριας μηχανής. Η τιμή της MCR καθορίζεται στο πιστοποιητικό EIAPP (Engine International Air Pollution Prevention Certificate) ή στον τεχνικό φάκελο NO_x κάθε μηχανής.
- δ. $P_{PTO(i)}$: Saft Generator (Άξονας Γεννήτριας). Πρόκειται περί καινοτόμου τεχνολογίας με την οποία ένας άξονας γεννήτριας καθίσταται σύστημα Power Take-Off (PTO) δεχόμενος κινητήρια ισχύ από μία κύρια μηχανή με αποτέλεσμα να παράγει ηλεκτρική ισχύ χωρίς την εκπομπή CO_2 (σε αντίθεση με το παραδοσιακό ηλεκτροπαράγωγο ζεύγος).



ε. $P_{PTI(i)}$: Shaft motor (κινητήριος άξονας). Πρόκειται περί καινοτόμου τεχνολογίας όπου ο άξονας λειτουργεί ως σύστημα Power Take-in (PTI). Μπορεί να λειτουργήσει διττά, είτε προσδίδοντας προσωρινά κινητήρια ισχύ στο κύριο σύστημα πρόωσης επιπρόσθετα της ισχύος που προσδίδει η κύρια μηχανή λειτουργώντας συμπληρωματικά, είτε προσδίδοντας αποκλειστικά κινητήρια ισχύ στους κύριους άξονες στην περίπτωση που οι κύριες μηχανές δεν λειτουργούν λόγω βλάβης.

στ. $P_{eff(i)}$ και P_{AEff} : Καινοτόμες τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές. Πρόκειται περί παραμέτρων που εισάγονται στην εξίσωση του EEDI όταν στο πλοίο αξιοποιούνται καινοτόμες τεχνολογίες με άμεση επίδραση στην παραγόμενη ισχύ των κύριων και βοηθητικών μηχανών.

ζ. P_{AE} : Ισχύς βοηθητικών μηχανών. Αφορά την ισχύ που προκύπτει από τη λειτουργία των «ηλεκτρομηχανών», η οποία προορίζεται για την κάλυψη των απαιτήσεων λειτουργίας των συστημάτων πρόωσης και ναυσιπλοΐας και συστημάτων ενδιαίτησης. Η συγκεκριμένη ισχύ δεν καλύπτει τη λειτουργία συστημάτων όπως ωθητήρες (thrusters), αντλίες και εξοπλισμό φορτίου (cargo pumps and gear), αντλίες έρματος (ballast pumps) κλπ.

η. V_{ref} : Ταχύτητα πλοίου μετρούμενη σε κόμβους (Knots), ήτοι, ναυτικά μίλια ανά ώρα και υπό συγκεκριμένες συνθήκες (άπνοια, απουσία κυματισμών και θαλάσσιων ρευμάτων). Υπολογίζεται από τις καμπύλες ταχύτητας-ισχύος που έχουν προκύψει κατά τις δοκιμές αποδοχής του πλοίου (στην ανοικτή θάλασσα και υπό κατάλληλη κατάσταση φορτώσεως) προ της παράδοσής του από το ναυπηγείο.

θ. SFOC: Ειδική κατανάλωση καυσίμου των κύριων και βοηθητικών μηχανών. Πρόκειται περί παραμέτρου που καταδεικνύει την ενεργειακή απόδοση μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως, αποδίδοντας αριθμητικά το πόσο αποδοτικά μετατρέπεται η χημική ενέργεια καύσης του καυσίμου στους θαλάμους καύσης σε μηχανική ενέργεια στο στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής. Περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$SFOC = \frac{\text{Mass of Fuel Consumed (gr)}}{\text{Brake Horse Power (KW) per hour}} \text{ (gr/KWh)}$$



- ι. f: Συντελεστές διόρθωσης. Αδιάστατοι συντελεστές διόρθωσης των οποίων οι τιμές καθορίζονται σύμφωνα με το σχεδιασμό του πλοίου, τις εφαρμοσμένες καινοτόμες τεχνολογίες, τη χωρητικότητα, την επίδραση του κυματισμού και του ανέμου κ.α.

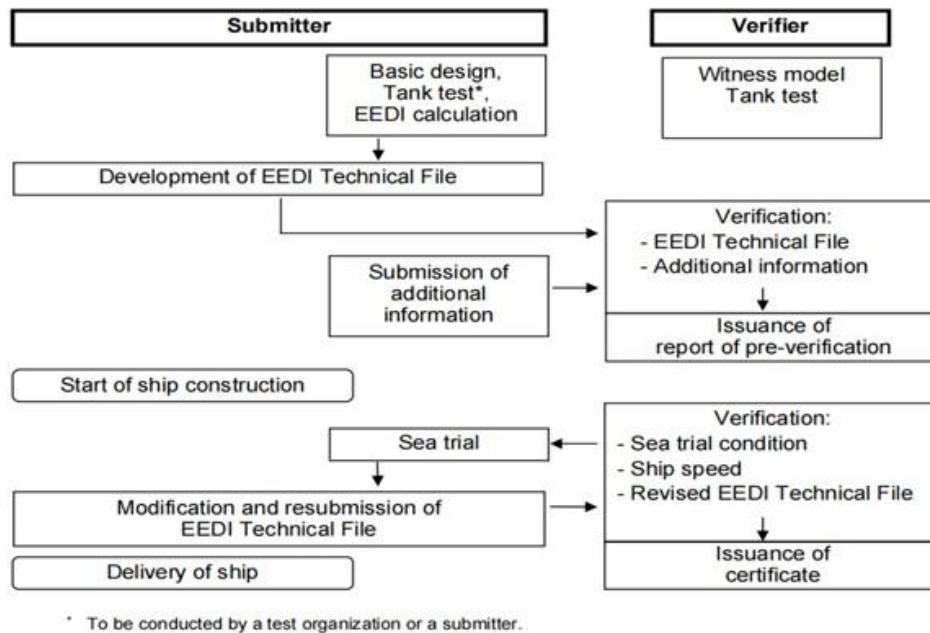
3.5.1.2 Πιστοποίηση του EEDI

Ο Attained EDDI πιστοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο λαμβάνει χώρα κατά τη φάση του σχεδιασμού του πλοίου και το δεύτερο έπειτα από την κατασκευή του και συγκεκριμένα κατά τη φάση των δοκιμών θαλάσσης. Για την προκαταρκτική πιστοποίηση, πραγματοποιείται επιθεώρηση και πιστοποίηση του τεχνικού φακέλου έκδοσης του EEDI (EEDI Technical File) για το υπό κατασκευή πλοίο από τρίτο φορέα πιστοποίησης (Verifier-Administration or Recognized Organization (RO)). Ο τεχνικός φάκελος περιλαμβάνει όλα τα τεχνικά έγγραφα που σχετίζονται με τον υπολογισμό του EEDI και αναλόγως της πληρότητάς του, εκδίδεται από το φορέα πιστοποίησης το πρωταρχικό πιστοποιητικό (Preliminary Verification) (IMO, 2014).

Ακόλουθα της ναυπηγήσεως, κατά τη φάση των θαλάσσιων δοκιμών του πλοίου στο πλαίσιο των οποίων ο φορέας πιστοποίησης επιβαίνει στις δοκιμές εν πλω, λαμβάνει χώρα η οριστική πιστοποίηση του EEDI. Λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένα έγγραφα που προσκομίζονται από το ναυπηγείο (γραμμές αναφοράς, αναθεωρημένος τεχνικός φάκελος EEDI, τελικές καμπύλες ισχύος, αποτελέσματα πειράματος ευστάθειας, περιγραφή διαδικασιών και τελικά αποτελέσματα δοκιμών εν πλω), ο φορέας πιστοποίησης εκδίδει το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (International Energy Efficiency Certificate-IEEC) το οποίο παραμένει σε ισχύ έως διαλύσεως του πλοίου.



Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής Πιστοποίησης EEDI



Πηγή: Σχήμα 1 του (IMO, 2014) «2014 Guidelines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)»

3.5.1.3 Βελτιώσεις του EEDI

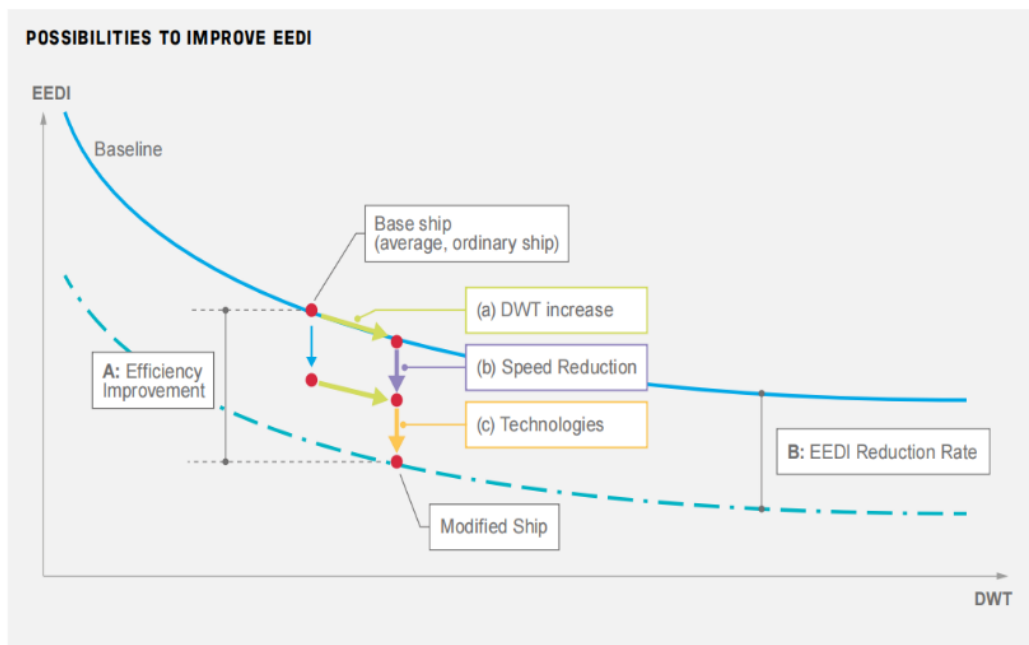
Το γεγονός ότι ο EEDI αναφέρεται σε νέες ναυπηγήσεις ή υπάρχοντα πλοία που διέρχονται εκτεταμένες εργασίες μετασκευής επιτρέπει το πλεονέκτημα υπολογισμού του και συνεπώς τη διαμόρφωση βελτιωμένου ενεργειακού αποτυπώματος για το πλοίο μέσω της υιοθέτησης/εγκατάστασης καινοτόμων τεχνολογιών. Η διεθνής ναυπηγική βιομηχανία διαθέτει πλήθος εφαρμογών προς αυτή την κατεύθυνση με κόστη εγκατάστασης που εναπόκεινται στη διάθεση του πλοιοκτήτη. Μερικά παραδείγματα αποτελούν τα ακόλουθα:

- α. Βελτίωση της πρόωσης με την υιοθέτηση βελτιωμένης διαμόρφωσης και σχεδιασμού κύτους, βελτιωμένες κεφαλές βολβού, βελτιωμένο trimming.
- β. Βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω ρυθμίσεων και μείωση απόδοσης των κύριων μηχανών (tuning and derating).



- γ. Χρήση εναλλακτικών καυσίμων.
- δ. Εφαρμογή καινοτόμων υφαλοχρωμάτων.
- ε. Εγκατάσταση συστημάτων ενεργειακής εξοικονόμησης (Energy Saving Devices-ESDs).
- στ. Αύξηση του εκτοπίσματος νεκρού βάρους (BV, 2021).

Σχήμα 12: Μέθοδοι βελτίωσης του EEDI



Πηγή: Σχήμα του (BV, 2021) «POSSIBILITIES TO IMPROVE EEDI»

3.5.2 Energy efficiency Existing Ship Index (EEXI)

Ο EEXI αποτελεί ενεργειακό δείκτη ο οποίος τηρείται ως υποχρεωτικό μέτρο εφαρμογής από μη νεότευκτα πλοία, καταδεικνύει την εκτιμώμενη ενεργειακή απόδοση της σχεδίασης του πλοίου και εκφράζεται ως λόγος εκπομπών CO₂ ως προς το γινόμενο της χωρητικότητας του πλοίου και των διανυόμενων μιλίων (τονομίλια). Το ρυθμιστικό πλαίσιο EEXI περιλαμβάνεται στις αποφάσεις 23 και 25 της MEPC. 328 (76), η μέθοδος υπολογισμού στις αποφάσεις της MEPC. 333 (76), και η διαδικασία πιστοποίησης στις αποφάσεις της MEPC.334 (76). Οι απαιτήσεις εφαρμογής του μέτρου τέθηκαν σε



υποχρεωτική εφαρμογή την 1^η Νοεμβρίου 2022. Η πιστοποίηση του τεχνικού φακέλου ανάλυσης του EEXI πραγματοποιείται κατά την πρώτη επιθεώρηση που θα διέρχεται το κάθε πλοίο μετά την 1 Ιανουαρίου 2023. Τα πλοία, αναλόγως του μεγέθους τους είναι υπόχρεα είτε μόνο στον υπολογισμό είτε στην επίτευξη του προβλεπόμενου ορίου του EEXI σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 5 και σχήμα 13:

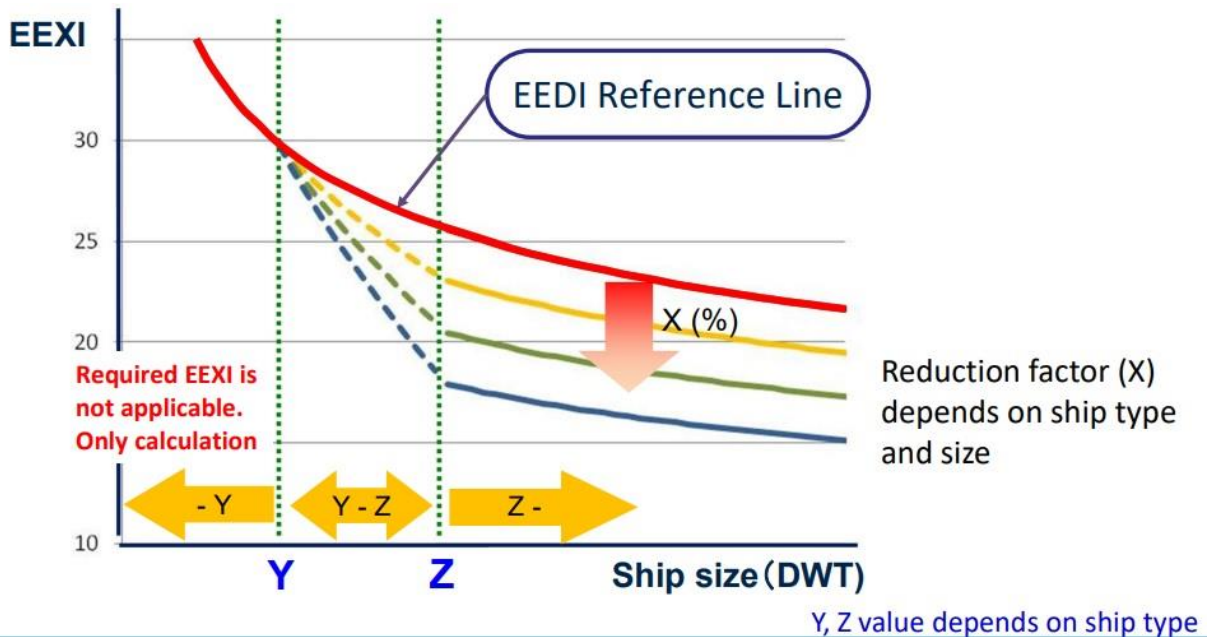
Πίνακας 5: Εφαρμογή του EEXI

| Type of ship | Calculation of Attained EEXI | Conformity to Required EEXI |
|--|------------------------------|-----------------------------|
| Bulk carrier | 400 GT and above | 10,000 DWT and above |
| Gas carrier | 400 GT and above | 2,000 DWT and above |
| Tanker | 400 GT and above | 4,000 DWT and above |
| Containership | 400 GT and above | 10,000 DWT and above |
| General cargo ship | 400 GT and above | 3,000 DWT and above |
| Refrigerated cargo carrier | 400 GT and above | 3,000 DWT and above |
| Combination carrier | 400 GT and above | 4,000 DWT and above |
| Ro-ro cargo ship (Vehicle carrier) | 400 GT and above | 10,000 DWT and above |
| Ro-ro cargo ship | 400 GT and above | 1,000 DWT and above |
| Ro-ro passenger ship | 400 GT and above | 250 DWT and above |
| LNG carrier | 400 GT and above | 10,000 DWT and above |
| Cruise passenger ship (non-conventional) | 400 GT and above | 25,000 GT and above |

Πηγή: Πίνακας του (ClassNK, 2021) «Outlines of EEXI regulation»



Σχήμα 13: Ο Απαιτούμενος EEXI



Πηγή: Σχήμα του (ClassNK, 2021) «**Outlines of EEXI regulation**»

3.5.2.1 Υπολογισμός του EEXI

Προκειμένου κάθε πλοίο να καθίσταται σύμμορφο με τις απαιτήσεις του μέτρου, οφείλει να επιτυγχάνει δείκτη «Attained EEXI» με τιμή το πολύ ίση με την τιμή του «Required EEXI» που αντιστοιχεί στον τύπο που ανήκει το πλοίο. Ο Required EEXI υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Required EEXI} = (1 - X/100) \times \text{EEDI Reference Line Value} \geq \text{Attained EEXI}$$

Κατά τα πρότυπα του EEDI, ο όρος (X) της ανωτέρω εξίσωσης αποτελεί παράγοντα μείωσης για τον Required EEXI σε σχέση με την τιμή της γραμμής αναφοράς που αντιστοιχεί στο δείκτη EEDI.



Πίνακας 6: Παράγοντας μείωσης (σε ποσοστό) του ΕΕΧΙ σε σχέση με την τιμή της γραμμής αναφοράς που αντιστοιχεί στο δείκτη ΕΕΔΙ

| Ship type | Size | Reduction factor |
|----------------------------|---|------------------|
| Bulk carrier | 200,000 DWT and above | 15 |
| | 20,000 and above but less than 200,000 DWT | 20 |
| | 10,000 and above but less than 20,000 DWT | 0-20* |
| Gas carrier | 15,000 DWT and above | 30 |
| | 10,000 and above but less than 15,000 DWT | 20 |
| | 2,000 and above but less than 10,000 DWT | 0-20* |
| Tanker | 200,000 DWT and above | 15 |
| | 20,000 and above but less than 200,000 DWT | 20 |
| | 4,000 and above but less than 20,000 DWT | 0-20* |
| Containership | 200,000 DWT and above | 50 |
| | 120,000 and above but less than 200,000 DWT | 45 |
| | 80,000 and above but less than 120,000 DWT | 35 |
| | 40,000 and above but less than 80,000 DWT | 30 |
| | 15,000 and above but less than 40,000 DWT | 20 |
| | 10,000 and above but less than 15,000 DWT | 0-20* |
| General cargo ship | 15,000 DWT and above | 30 |
| | 3,000 and above but less than 15,000 DWT | 0-30* |
| Refrigerated cargo carrier | 5,000 DWT and above | 15 |
| | 3,000 and above but less than 5,000 DWT | 0-15* |
| Combination carrier | 20,000 DWT and above | 20 |
| | 4,000 and above but less than 20,000 DWT | 0-20* |
| LNG carrier | 10,000 DWT and above | 30 |



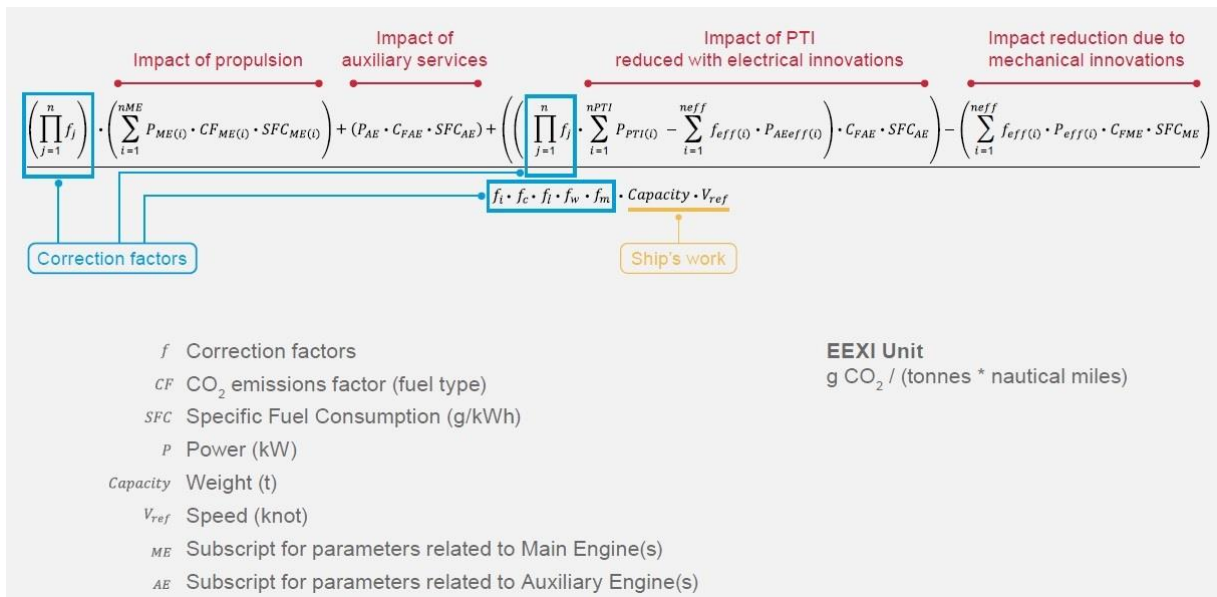
| | | |
|--|--|-------|
| Ro-ro cargo ship (vehicle carrier) | 10,000 DWT and above | 15 |
| Ro-ro cargo ship | 2,000 DWT and above | 5 |
| | 1,000 and above but less than 2,000 DWT | 0-5* |
| Ro-ro passenger ship | 1,000 DWT and above | 5 |
| | 250 and above but less than 1,000 DWT | 0-5* |
| Cruise passenger ship having non-conventional propulsion | 85,000 GT and above | 30 |
| | 25,000 and above but less than 85,000 GT | 0-30* |

*Reduction factor to be linearly interpolated between the two values dependent upon ship size. The lower value of the reduction factor is to be applied to the smaller ship size.

Πηγή: Πίνακας 3 του (IMO, 2021). «2021 Revised MARPOL Annex VI»

Ο Attained EEXI υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα 14.

Σχήμα 14: Εξίσωση υπολογισμού Attained EEXI



Πηγή: Σχήμα του (BV, 2021) «EEXI CALCULATION FORMULA»



Όταν ο Attained EEXI προκύπτει το πολύ ίσος με τον αντιστοιχούμενο Required EEXI, τότε εκδίδεται ο τεχνικός φάκελος EEXI και το πιστοποιητικό IEEC (International Energy Efficiency Certificate) που απαιτείται στο πλαίσιο της ετήσιας επιθεώρησης. Διαφορετικά θα πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα όπως βελτιστοποιήσεις/ρυθμίσεις στις κύριες και βοηθητικές μηχανές, υιοθέτηση και εφαρμογή νέων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης (π.χ. αλλαγή καυσίμου, εγκατάσταση ιστίων κ.α.).

Οι παράμετροι της εξίσωσης του σχήματος 12 περιγράφονται στην παράγραφο 3.5.1.1. Οι ακόλουθοι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο:

α. $P_{ME(i)}$: Σύμφωνα με την παράγραφο 2.2.1 των αποφάσεων MEPC. 333(76), η ισχύς που προέρχεται από τις κύριες μηχανές έχει άμεση επίδραση στον υπολογισμό του EEXI. Για πλοία με συμβατική πρόωση, η ισχύς των κύριων μηχανών που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, αντιστοιχεί στο 75% της MCR (Maximum Continuous Rating) της συνολικής ισχύος της εγκατάστασης που προέρχεται από τις μηχανές πρόωσης. Στην περίπτωση των πλοίων LNG (Liquid Natural Gas) που διαθέτουν σύστημα πρόωσης Diesel-Electric ή αμμοστροβίλους, η αντιστοιχούσα στους υπολογισμούς ισχύς αντιστοιχεί στο 83% της MCR της ηλεκτροπρόωσης και αμμοπρόωσης αντίστοιχα.

β. $P_{AE(i)}$: Η βοηθητική ισχύς που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς ορίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες της MEPC. 308(73). Σύμφωνα όμως με την παράγραφο 2.2.2 των αποφάσεων MEPC. 333(76), όταν δεν υφίστανται ήδη καταρτισμένοι πίνακες βαθμονόμησης ισχύος για κάποιο πλοίο, τότε η ισχύς των βοηθητικών μηχανών υπολογίζεται προσεγγιστικά.

γ. V_{ref} : Η ταχύτητα του πλοίου είναι η πλέον σημαντική παράμετρος στον υπολογισμό του EEXI. Για όλα τα πλοία που ναυπηγήθηκαν προτού θεσπιστεί ο EEDI και που δε διαθέτουν διαμορφωμένες καμπύλες ταχύτητας-ισχύος, ο IMO παρέχει κατευθύνσεις υπολογισμού σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 7



Πίνακας 7: Δυνατότητες ορισμού της V_{ref} για τον υπολογισμό του EEXI

| Καθορισμός V_{ref} για τον υπολογισμό του EEXI | | | | |
|---|--|--|--|---|
| | Περίπτωση | Άντληση δεδομένων | Αναφορά για καθορισμό V_{ref} | |
| | | | Οδηγίες EEDI | Οδηγίες EEXI |
| Ναυπηγήσεις μετά την 1 ^η Ιαν 23 (υπαγόμενα σε υποχρεωτικό EEDI) | 1 | Sea trials | MEPC.308(73): Par.2.2.2 V_{ref} deep water, dwt at the shaft power of the engine(s) as defined in paragraph 2.2.5 and assuming the weather is calm with no wind and no waves. | MEPC.333(76): Par.2.2.3.1 Use V_{ref} according to the EEDI Technical File under the EEDI Conditions |
| | | | MEPC.254(67) ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.1 Speed and Power Trials Part 1; 2012 revision 1 or ISO 15016:2002, as amended (2015). | |
| Πλοία μη υπαγόμενα σε υποχρεωτικό EEDI | 1 | Tank Test or CFD calibrated to the EEDI draught | - | MEPC.333(76): Par.2.2.3.2 V_{ref} shall be obtained from an estimated S/P curve as defined in MEPC.334(76) par. 4.2.2.7 |
| | | Sea trial Report contains sea trial results under the EEDI draught | - | MEPC.334(76):Par.4.2.2.7 Estimated S/P curve <u>obtained from a tank test or CFD</u> under EEDI condition or under a different load draught to be calibrated to the EEDI conditions |
| | 2 | Sea trial Report contains sea trial results under the EEDI draught | - | MEPC.333(76); Par.2.2.3.3 $V_{ref} = V_{S,EEDI} \times \left[\frac{P_{ME}}{P_{S,EEDI}} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ [knot]}$ |
| 3 | Sea trial results which might have been calibrated by the tank test or CFD under the | - | MEPC.333(76); Par. 2.2.3.4 $V_{ref} = k^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{DWT_{S,service}}{Capacity} \right)^{\frac{2}{3}} \times V_{S,service} \times \left[\frac{P_{ME}}{P_{S,service}} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ [knot]}$ | |



| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| | | DESIGN LOAD DRAUGHT | | |
| | 4 | a) S/P Curve N/A, or b) the sea trial report does not contain EEDI or DESIGN LOAD condition | - | MEPC.333(76); Par. 2.2.3.5 The Vref shall be approximated by V_{ref,app} to be obtained from statistical mean of distribution of ship speed and engine power $V_{ref,app} = (V_{ref,avg} - m_V) \times \left[\frac{\sum P_{ME}}{0.75 \times MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ [knot]}$ |
| Πλοία με εγκατεστημένα συστήματα ESDs με άμεση επίπτωση στη Vref (μετατόπιση της καμπύλης ταχύτητας-ισχύος) | 1 | Approval of a verifier: sea trials after the installation, or model tests, or CFD calculations | - | MEPC.333(76); Par. 2.2.3.6 |

Πηγή: Σύνοψη από το συντάκτη βασισμένη στις MEPC. 333(76), MEPC. 334(76), MEPC. 308(73), και MEPC. 254(67)

δ. SFC: Σύμφωνα με την παράγραφο 2.2.4 της MEPC. 333(76), η ειδική κατανάλωση καυσίμου (Specific Fuel Consumption-SFC) ορίζεται από τον κατασκευαστή ή τον επιθεωρητή τόσο για τις κύριες, όσο και για τις βοηθητικές μηχανές. Για την περίπτωση που στο πλοίο έχουν εγκατασταθεί συστήματα περιορισμού της κατανάλωσης, τότε ο υπολογισμός της SFC για τις κύριες μηχανές προκύπτει από τα δεδομένα του τεχνικού φακέλου εκπομπών NOx σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στην παράγραφο 1.3.15 του NOx Technical Code 2008. Αντίστοιχα, για την περίπτωση που δεν υφίσταται πίνακας δεδομένων στον εν λόγω τεχνικό φάκελο και ο κατασκευαστής δεν έχει γνωστοποιήσει τα σχετικά δεδομένα, τότε ο υπολογισμός της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να προκύψει προσεγγιστικά ($SFC_{ME, app} = 190 \text{ (g/kWh)}$), $SFC_{AE, app} = 215 \text{ (g/kWh)}$).



ε. C_F : Ο συντελεστής μετατροπής μεταξύ της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO_2 υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως στην περίπτωση του EEDI με την προσθήκη ότι, σύμφωνα με την παράγραφο 2.2.4 της MEPC. 333 (76), για την περίπτωση που ο τεχνικός φάκελος εκπομπών NO_x των κύριων και βοηθητικών μηχανών δεν περιλαμβάνει τα σχετικά δεδομένα και εν τη απουσία αυτών από τον κατασκευαστή, τότε η SFC ορίζεται ως σταθερά ($C_F = 3.114 (t \cdot CO_2/t \cdot Fuel)$).

Ακολούθως παρατίθεται ο υπολογισμός του Attained EEXI για ένα υποθετικό πλοίο με χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον πίνακα 8

Σχήμα 15: Παράδειγμα υπολογισμού Attained EEXI υποθετικού πλοίου

$$\begin{aligned}
 EEXI &= \frac{(\prod_{j=1}^M f_j) (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &+ \frac{\{(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff(i)}})\} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &- \frac{(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \\
 &= \frac{1 \times (8250 \times 3.206 \times 166.5) + (625 \times 3.206 \times 220.0) + 0 - 0}{1 \times 1 \times 1 \times 150000 \times 1 \times 13.20 \times 1} \\
 &= 2.41 (g - CO_2/ton \cdot mile)
 \end{aligned}$$

attained EEXI: 2.41 g-CO₂/ton mile

Πηγή: Παράδειγμα του (ClassNK, 2021) «EEXI Technical File»



Πίνακας 8: Στοιχεία υποθετικού πλοίου

1.1 General information

| | |
|-------------|--------------------------|
| Shipowner | XXX Shipping Line |
| Shipbuilder | XXX Shipbuilding Company |
| Hull no. | 12345 |
| IMO no. | 94112XX |
| Ship type | Bulk carrier |

1.2 Principal particulars

| | |
|--|--------------|
| Length overall | 250.0 m |
| Length between perpendiculars | 240.0 m |
| Breadth, moulded | 40.0 m |
| Depth, moulded | 20.0 m |
| Summer load line draught, moulded | 14.0 m |
| Deadweight at summer load line draught | 150,000 tons |

1.3 Main engine

| | |
|---|--------------------|
| Manufacturer | XXX Industries |
| Type | 6J70A |
| Maximum continuous rating (MCR_{ME}) | 15,000 kW x 80 rpm |
| Limited maximum continuous rating with the Engine Power Limitation installed ($MCR_{ME,lim}$) | 9,940 kW x 72 rpm |
| SFC at 75% of MCR_{ME} or 83% of $MCR_{ME,lim}$ | 166.5 g/kWh |
| Number of sets | 1 |
| Fuel type | Diesel Oil |

1.4 Auxiliary engine

| | |
|--|------------------|
| Manufacturer | XXX Industries |
| Type | 5J-200 |
| Maximum continuous rating (MCR_{AE}) | 600 kW x 900 rpm |
| SFC at 50% MCR_{AE} | 220.0 g/kWh |
| Number of sets | 3 |
| Fuel type | Diesel Oil |

1.5 Ship speed

| | |
|---|-------------|
| Ship speed (V_{ser}) (with the Engine Power Limitation installed) | 13.20 knots |
|---|-------------|

Πηγή: Παράδειγμα του (ClassNK, 2021) «EEXI Technical File»



3.5.2.2 Πιστοποίηση του EEXI

Μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2023, κάθε πλοιοκτήτης θα πρέπει να λάβει συγκεκριμένα μέτρα προκειμένου τα πλοία του να είναι σύμμορφα με τις απαιτήσεις περί EEXI. Η πιστοποίηση του EEXI προκύπτει μέσα από ενέργειες οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε στάδια.

Το πρώτο στάδιο ενεργειών είναι η εκτίμηση. Εκτελείται υπολογισμός του Required και Attained EEXI. Αν ο Attained EEXI είναι το πολύ ίσος με τον Required EEXI, τότε συντάσσεται ο τεχνικός φάκελος EEXI και υποβάλλεται για θεώρηση. Σύμφωνα με τον κανονισμό 23.3 του αναθεωρημένου Παραρτήματος VI της MARPOL, αν ένα πλοίο υπάγεται στον κανονισμό περί EEDI, τότε ο Attained EEDI αποτελεί και τον Attained EEXI για την περίπτωση μόνο που ο Attained EEDI είναι το πολύ ίσος με τον Required EEXI. Τότε ο Attained EEXI πιστοποιείται σύμφωνα με τον τεχνικό φάκελο EEDI του σκάφους.

Στο δεύτερο στάδιο ενεργειών λαμβάνει χώρα η εφαρμογή και η βελτίωση. Αν ένα πλοίο δεν υπάγεται στα οριζόμενα περί EEDI και ο Attained EEXI είναι μεγαλύτερος από το Required EEXI, τότε πραγματοποιείται υιοθέτηση τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων βελτίωσης. Μετά την υλοποίηση αυτών των μέτρων λαμβάνει χώρα ο επανυπολογισμός του Attained EEXI.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο λαμβάνει χώρα η κρατική/εθνική επαλήθευση, επιθεώρηση και πιστοποίηση (statutory verification, survey, and certification) του τεχνικού φακέλου EEXI. Για τις ναυπηγήσεις μετά την 1^η Ιανουαρίου 2003, η διαδικασία λαμβάνει χώρα κατά την πρώτη ετήσια επιθεώρηση ή ενδιάμεση επιθεώρηση με μέριμνα των εθνικών νηολογίων (Flag Administrations) ή εξουσιοδοτημένων οργανισμών (Authorized Recognized Organizations-RO), όπου ελέγχεται και πιστοποιείται ο τεχνικός φάκελος EEXI σύμφωνα με τις προβλέψεις της MEPC. 334 (76) (‘2021 Guidelines on Survey and Verification of the EEXI). Όταν ο τεχνικός φάκελος είναι πλήρης και σύμμορφος, τότε ο



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας
“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

επιθεωρητής εκδίδει το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (International Energy Efficiency Certificate -IEEC) και ανανεώνει το Διεθνές Πιστοποιητικό Αποτροπής Μόλυνσης της Ατμόσφαιρας (International Air Pollution Prevention-IAPP).

Ο EEXI δεν υπόκειται σε τροποποιήσεις ή απαιτήσεις επαναπιστοποίησης και συνοδεύει το πλοίο σε όλο τον επιχειρησιακό του βίο. Εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις που προβλέπονται στους κανονισμούς 5.4.7 και 5.4.8 της MEPC. 328(76), ήτοι, στην περίπτωση που ο IMO τροποποιήσει τις οδηγίες υπολογισμών την 1^η Ιανουαρίου 2026, στην περίπτωση που το πλοίο διέλθει μεταγενέστερα της έκδοσης του EEXI εκτεταμένες μετασκευές και στην περίπτωση που το πλοίο αλλάξει νηολόγιο.

3.5.2.3 Βελτιώσεις του EEXI

Όπως αναφέρθηκε ήδη, όταν ο Attained EEXI δεν πληροί τα κριτήρια για την έκδοση τεχνικού φακέλου, τότε ο πλοιοκτήτης καλείται να λάβει μέτρα βελτίωσης.

Το πλέον δραστικό μέτρο που μπορεί να εφαρμοστεί σχετικά με τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός πλοίου είναι αυτό της αντικατάστασης/κατάργησης του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και χρήση εναλλακτικού χαμηλής ή μηδενικής περιεκτικότητας άνθρακα σε συνδυασμό με την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών. Τέτοια εναλλακτικά καύσιμα είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υγροποιημένο βιοαέριο (LBG), το βιοντίζελ, η μεθανόλη, η αμμωνία και υδρογόνο ή χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Wright, 2021). Παρ’ όλα αυτά, τα μέχρι σήμερα εξακριβωμένα κριτήρια υπολογισμού του EEXI περιορίζονται σε συμβατικά καύσιμα όπως το Diesel Oil/Gas Oil, LPG, LNG, Μεθανόλη και Αιθανόλη (BV, 2021).

Υπάρχουν διάφορα επιχειρησιακά και τεχνικά μέτρα που μπορεί να εφαρμόσει κάθε πλοιοκτήτης. Τα επιχειρησιακά μέτρα αφορούν στην καθημερινή λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διεξαγωγή του ταξιδιού, την αποδοτικότερη κατανάλωση καυσίμου και την οργάνωση της συντήρησης.



Τα τεχνικά μέτρα αφορούν σε τεχνολογίες που μπορούν να εγκατασταθούν στο πλοίο και που αποσκοπούν στην αποδοτικότερη κατανάλωση καυσίμου, τη βελτιστοποίηση της πρόωσης και τη μείωση της τριβής του σκάφους με τη θάλασσα. Χαρακτηριστικές εφαρμογές αποτελούν τα Energy Saving Devices (ESDs) που αναπτύχθηκαν με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης της γάστρας, του ΠΡ και του ΠΜ τμήματος του πλοίου και της προπέλας του εκάστοτε πλοίου. Επιπρόσθετα της χρήσης των ESDs, είναι εφικτή και η σκόπιμη μείωση της απόδοσης των κύριων μηχανών (de-rating) με χρήση μηχανικών μέσων (μείωση μήκους διωστήρων, απενεργοποίηση ενός εκ των δύο υπερπληρωτών αέρα ή αριθμού κυλίνδρων κατά τη λειτουργία χαμηλών φορτίων κ.α.), προκειμένου να μειωθεί η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου και η MCR, κατά συνέπεια να επέρχεται βελτιστοποίηση μεταξύ πραγματικού φορτίου και φορτίου σχεδιασμού, και καταληκτικά να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αποδοτικότητα και μικρότερες τιμές ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

Ένα από τα πλέον συνηθισμένα μέτρα αποτελεί αυτό της μείωσης στην ταχύτητα μέσω μείωσης της ισχύος των κύριων μηχανών (Overridable Power Limitation (OPL) System). Το εν λόγω μέτρο δεν εμπεριέχει οικονομικά κόστη και απαιτεί πολύ μικρές (ή καθόλου) παρεμβάσεις στις μηχανές. Η μείωση της ταχύτητας προκύπτει μέσω των Shaft / Engine Power Limitation (ShaPoLi / EPL) συστημάτων τα οποία έχουν υιοθετηθεί από τον IMO στο πλαίσιο της απόφασης MEPC. 335(76) με τίτλο «2021 Guidelines on the Shaft / Engine Power Limitation System to Comply with the EEXI Requirements and Use of a Power Reserve». Η έννοια του μέτρου έγκειται στο γεγονός ότι περιορίζεται εξ ορισμού η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς των κύριων μηχανών έως συγκεκριμένου ποσοστού (συνεπώς μείωση του Attained EEXI) και απαγόρευση χρήσης του υπολειπόμενου ποσοστού παρά μόνο για περιπτώσεις ανάγκης που άπτονται θεμάτων ασφάλειας προσωπικού και πλοίου. Από τεχνικής άποψης, τα συστήματα εγκαθίστανται είτε τοπικά στις αντλίες πετρελαίου των κύριων μηχανών (για μηχανικά ελεγχόμενες μηχανές) είτε μέσω εγκατάστασης λογισμικού ελέγχου καυσίμου έγχυσης για την περίπτωση ηλεκτρονικά ελεγχόμενων μηχανών, είτε μέσω συστήματος επιτήρησης της ροπής των κύριων αξόνων (MEPC. 335(76) (IMO, 2021)).



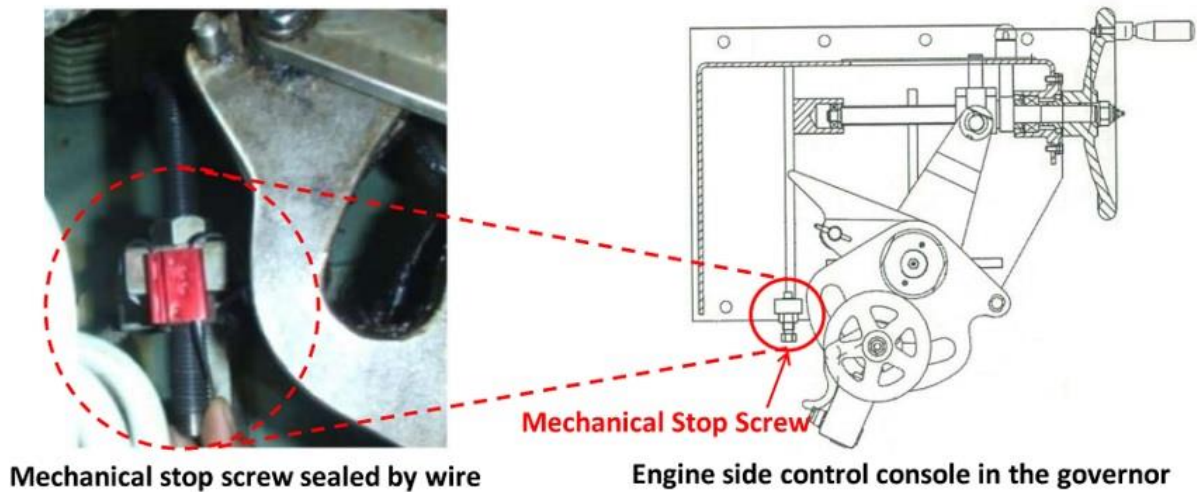
Το σύστημα Engine Power Limitation (EPL) είναι ένα παρακαμπτόμενο σύστημα το οποίο δύναται να περιορίσει την ισχύ της κύριας μηχανής του πλοίου υπό τη συνθήκη ότι αυτή λειτουργεί εντός των βέλτιστων ρυθμίσεων. Για μηχανικά ελεγχόμενες μηχανές, το σύστημα EPL εγκαθίσταται μέσω τοποθέτησης ενός μονωμένου με καλώδιο τερματικού κοχλία (stop screw) ο οποίος περιορίζει την ποσότητα του καυσίμου που καταθλίβει η αντλία καυσίμου στους κυλίνδρους της μηχανής. Για τις ηλεκτρονικά ελεγχόμενες μηχανές, το σύστημα EPL εφαρμόζεται με την εγκατάσταση στο σύστημα ελέγχου λειτουργικού προγράμματος το οποίο με χρήση κωδικού πρόσβασης (password) επιτρέπει στο χρήστη τον περιορισμό του καυσίμου.

Το σύστημα ShaPoLi είναι σύστημα περιορισμού της μέγιστης ισχύος του ελικοφόρου άξονα με τεχνικά μέσα τα οποία μετρούν συνεχώς τη ροπή και την ταχύτητα περιστροφής που αποδίδεται στην έλικα (IMO, 2021).

Για την περίπτωση που σε ένα πλοίο έχει εγκατασταθεί σύστημα ελέγχου ShaPoLi/EPL απαιτείται πιστοποίησή του από τη Σημαία ή από αναγνωρισμένο οργανισμό (RO) καθώς και η ύπαρξη αντίστοιχα πιστοποιημένου εγχειριδίου χρήσης το οποίο υποχρεωτικά φυλάσσεται εντός πλοίου (Onboard Management Manual-OMM). Κάθε φορά που το σύστημα παρακάμπτεται από τον Κυβερνήτη ή τον Αο Μηχανικό του πλοίου με σκοπό την πλήρη χρήση της διατιθέμενης ισχύος της μηχανής γίνεται και αντίστοιχη καταγραφή στο εγχειρίδιο OMM.

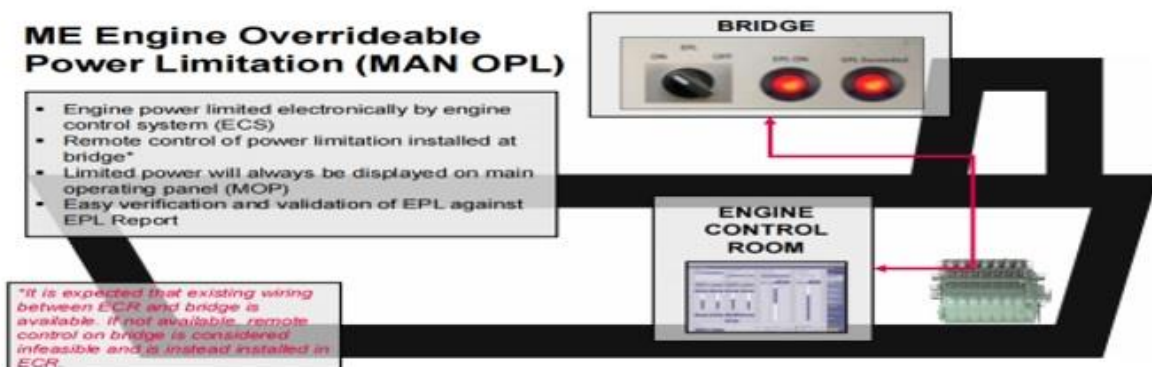


Σχήμα 16: Μηχανική διάταξη EPL



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2021) «2021 Guidelines on the Shaft / Engine Power Limitation System to Comply with the EEXI Requirements and Use of a Power Reserve»

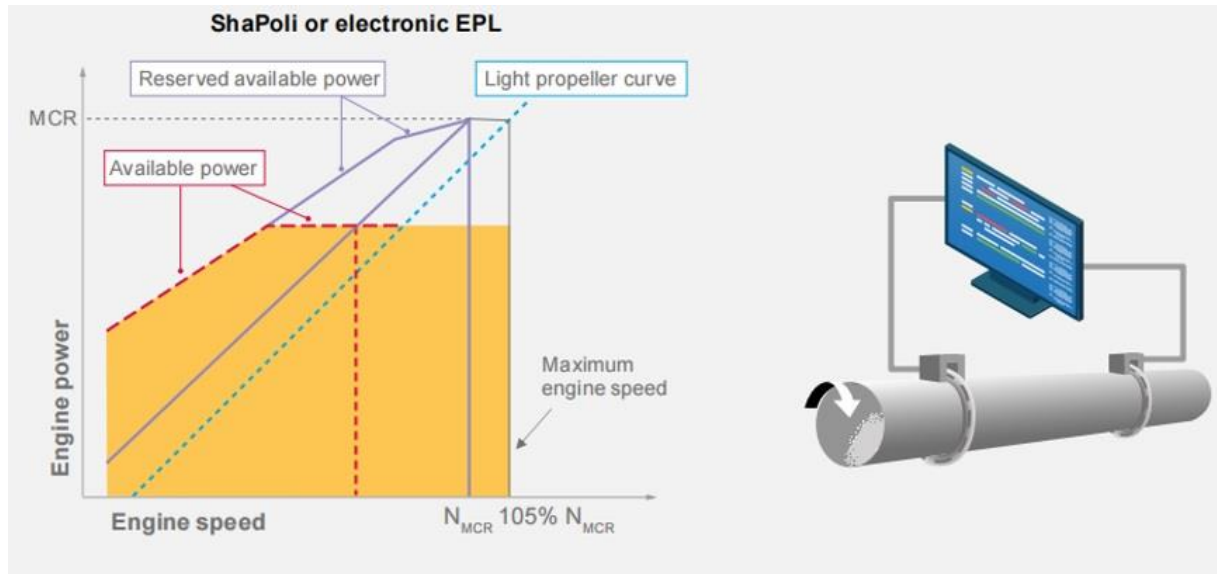
Σχήμα 17: Ηλεκτρονική διάταξη OPL



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2021) «2021 Guidelines on the Shaft / Engine Power Limitation System to Comply with the EEXI Requirements and Use of a Power Reserve»



Σχήμα 18: ShaPoli ή Ηλεκτρονική διάταξη EPL



Πηγή: Σχήμα του (BV, 2021) «Limitation of engine power electronically»

3.5.3 Energy efficiency Operational Indicator (EEOI)

Ο EEOI αποτελεί εθελοντικό εργαλείο παρακολούθησης του εφαρμοζόμενου πλάνου SEEMP από μια ναυτιλιακή εταιρεία, στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και υπό όρους αποδοτικότητας-κόστους. Ο EEOI δεν περιορίζεται σε νέες ναυπηγήσεις και επιτρέπει στους ναυλωτές τη μέτρηση της αποδοτικότητας της κατανάλωσης καυσίμου ενός πλοίου κατά τη διάρκεια των ναύλων του. Ο δείκτης επίσης βοηθά και στην επιτήρηση των επιπτώσεων που επιφέρουν αλλαγές στο επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου όπως η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των ταξιδιών, η μείωση της περιόδου καθαρισμού των προπελών, η εγκατάσταση τεχνικών μέτρων (αντικατάσταση προπέλας, εγκατάσταση συστήματος απομάστευσης θερμότητας) κ.α.

Οι οδηγίες υιοθέτησης και χρήσης του EEOI έχουν καθοριστεί στη MEPC. 1/Circ.684 (IMO, 2009) και παρουσιάζουν την έννοια ενός ενεργειακού επιχειρησιακού δείκτη που αποδίδει την ενεργειακή αποδοτικότητα εκφρασμένη στη μορφή εκπομπών



CO₂ ανά μονάδα μεταφερόμενου έργου. Ο ΕΕΟΙ ως ενεργειακός δείκτης, πρέπει να αποτελεί αντιπροσωπευτική τιμή της ενεργειακής αποδοτικότητας που προκύπτει από την επιχειρησιακή αξιοποίηση ενός πλοίου για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η οποία όμως οφείλει να είναι χαρακτηριστική του συνολικού επιχειρησιακού μοτίβου στο πλαίσιο του οποίου λειτουργεί το πλοίο. Για την επίτευξη αυτής της αντιπροσωπευτικότητας και τον υπολογισμό του ΕΕΟΙ, απαιτείται να οριστούν η περίοδος και οι πηγές δεδομένων πάνω στα οποία θα υπολογιστεί ο δείκτης, καθώς επίσης και να συλλεχθούν και να μετατραπούν τα δεδομένα σε κατάλληλη μορφή. Κύριες πηγές δεδομένων αποτελούν το ημερολόγιο Γεφύρας, το ημερολόγιο Μηχανοστασίου, το ημερολόγιο Καταστρώματος, καθώς επίσης και άλλα επίσημα έγγραφα. Η μετατροπή των δεδομένων αφορά κατά κύριο λόγο στην αντιστοίχιση της καταναλισκόμενης μάζας καυσίμου με την εκπεμπόμενη μάζα εκπομπών CO₂, που επιτυγχάνεται από τη χρήση του συντελεστή μετατροπής C_F σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 9.

Πίνακας 9: Τιμές συντελεστή μετατροπής C_F για υπολογισμό του ΕΕΟΙ

| Type of fuel | Reference | Carbon content | C _F (t-CO ₂ /t-Fuel) |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------|---|
| 1. Diesel/Gas Oil | ISO 8217 Grades DMX through DMC | 0.875 | 3.206000 |
| 2. Light Fuel Oil (LFO) | ISO 8217 Grades RMA through RMD | 0.86 | 3.151040 |
| 3. Heavy Fuel Oil (HFO) | ISO 8217 Grades RME through RMK | 0.85 | 3.114400 |
| 4. Liquified Petroleum Gas (LPG) | Propane Butane | 0.819 0.827 | 3.000000 3.030000 |
| 5. Liquified Natural Gas (LNG) | | 0.75 | 2.750000 |

Πηγή: (IMO, 2009), «Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)»

3.5.3.1 Ορισμοί σχετικά με τον ΕΕΟΙ

Ως κατανάλωση καυσίμου θεωρείται η πραγματικά καταγραφόμενη συνολική κατανάλωση από τις κύριες και βοηθητικές μηχανές, καθώς επίσης και αυτή που προέρχεται από τους εγκατεστημένους καυστήρες και βραστήρες, τόσο κατά την εν πλω απασχόληση όσο και την εν όρμω παραμονή του πλοίου.



Ως διανυόμενη απόσταση θεωρείται η πραγματική απόσταση σε ναυτικά μίλια που διένυσε το πλοίο κατά τη διάρκεια του πλου, ως αυτή προκύπτει από το ημερολόγιο του πλοίου.

Οι οδηγίες της MEPC. 1/Circ.684 σχετικά με την εφαρμογή του ΕΕΟΙ απευθύνονται σε πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου (dry cargo), πετρελαιοφόρα (tankers), πλοία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων (gas tankers), πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships), πλοία μεταφοράς οχημάτων (RO-RO), πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου (general cargo ships) και σε επιβατηγά πλοία (passenger ships). Επίσης, οι οδηγίες συγκεκριμενοποιούν την έννοια της μάζας μεταφερόμενου φορτίου (ή μεταφερόμενο έργο) για κάθε τύπο πλοίου.

Ως πλους (ταξίδι), ορίζεται η χρονική περίοδος μεταξύ απόπλου ενός πλοίου από ένα λιμένα έως τον απόπλου του πλοίου από τον επόμενο λιμένα. Σε αυτή την περίοδο πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και τα άφορτα σκέλη των πλόων (σκέλη χωρίς μεταφερόμενο φορτίο ή σκέλη για μεταφορά του πλοίου σε εγκαταστάσεις δεξαμενισμού), όχι όμως αυτά που λαμβάνουν χώρα για τη θαλάσσια εξασφάλιση του πλοίου ή την διάσωση ναυαγών.

3.5.3.2 Υπολογισμός του ΕΕΟΙ

Στην απλούστερη μορφή του, ο ΕΕΟΙ ορίζεται ως ο λόγος μάζας εκπεμπόμενου CO₂ ανά μονάδα μεταφερόμενου έργου σύμφωνα με την εξίσωση:

$$EEOI = M_{CO_2} / \text{Transport Work}$$

Η βασική έκφραση της εξίσωσης υπολογισμού του ΕΕΟΙ για ένα ταξίδι είναι:



$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \cdot C_{Fj}}{m_{CARGO} \cdot D}$$

ενώ ο μέσος όρος (Average EEOI, Rolling Average) για αριθμό πλόων υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης:

$$Average EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{CARGO_i} \times D_i)}$$

όπου:

j: ο τύπος του καυσίμου

i: ο αριθμός του ταξιδιού

FC_{ij}: η μάζα του καυσίμου (j) που καταναλώθηκε στο ταξίδι (i)

C_{Fj}: ο συντελεστής μετατροπής της μάζας του καυσίμου (j) σε μάζα CO₂

m_{CARGO}: το μεταφερόμενο φορτίο σε τόνους ή το μεταφερόμενο έργο

D_i: η διανυόμενη απόσταση που αντιστοιχεί στο μεταφερόμενο έργο, μετρούμενο σε ναυτικά μίλια και μονάδα μέτρησης εξαρτώμενη από τη μονάδα του μεταφερόμενου φορτίου ((tonnes CO₂/(tonnes x nm), tonnes CO₂/(TEU x nm), tonnes CO₂/(person x nm)).

3.5.3.3 Παρακολούθηση και Πιστοποίηση του EEOI

Για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του δείκτη, απαιτείται η τυποποίηση περιοδικών διαδικασιών παρακολούθησης και μέτρησης που να περιλαμβάνουν την αναγνώριση δραστηριοτήτων με επίπτωση στην απόδοση του πλοίου, τον καθορισμό του προσωπικού υπ' ευθύνη του οποίου θα τηρούνται οι συνθήκες περιοδικότητας συλλογής δεδομένων/μετρήσεων και τήρησης των διαδικασιών, καθώς και η διατήρηση καθεστώτος διασφάλισης ποιότητας και ελέγχου (quality control procedures).



Η παρακολούθηση του δείκτη προτείνεται να εκτελείται από τα γραφεία ξηράς προκειμένου να απομειώνονται οι συνολικές ευθύνες/φόρτος εργασίας των πληρωμάτων των πλοίων από τις σχετικές με τη διαδικασία διοικητικές απαιτήσεις.

3.5.4 Annual Efficiency Ratio (AER) / Individual Ship Performance Indicator (ISPI) / Energy Efficiency as per Service Hour (EESH)

Ο εμπορικά ευαίσθητος όρος m_{CARGO} που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του EEOI, οδήγησε στην πρόταση εναλλακτικών επιχειρησιακών ενεργειακών δεικτών όπως ο Annual Efficiency Ratio (AER) ή Annual EEOI στο πλαίσιο εργασιών της MEPC 67/5/4, ο Individual Ship Performance Indicator (ISPI) στο πλαίσιο εργασιών της MEPC 66/4/6 και ο Energy Efficiency as per Service Hour (EESH) στο πλαίσιο εργασιών της MEPC 65/4/19.

Ο δείκτης AER αξιοποιείται στο σύστημα DCS του IMO και για τον υπολογισμό του γίνεται χρήση της εξίσωσης του EEOI. Στην τροποποιημένη εξίσωση του EEOI, ως μέσο ένδειξης του «οφέλους προς την κοινωνία» χρησιμοποιείται το γινόμενο της διανυόμενης απόστασης και του εκτοπίσματος νεκρού βάρους σύμφωνα με τον τύπο:

$$AER = \frac{\sum_j FC_j \cdot C_{Fj}}{DWT \cdot D}$$

Ο AER ουσιαστικά αποτελεί μια απλοποιημένη εκδοχή του EEOI στον οποίο την εξίσωση το πραγματικά μεταφερόμενο φορτίο αντικαθίσταται από τη χωρητικότητα του πλοίου. Παρά το γεγονός ότι εκφράζεται στις ίδιες μονάδες μέτρησης με τον EEOI (gr CO₂/ton-mile) και απεικονίζει ενεργειακά τα πλοία απαλλαγμένους από τις εξωτερικές παραμέτρους που επηρεάζουν τον EEOI, υποβαθμίζει την έννοια των εκπομπών ανά τονομίλι καθώς παραβλέπει την πραγματική αξιοποίηση της διατιθέμενης χωρητικότητας του πλοίου.

Ο ISPI κατ' αντιστοιχία με τους AER/EEOI, στοχεύει στην επίτευξη βελτίωσης λαμβάνοντας υπόψη τη σχεδιαστική ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων. Χρησιμοποιεί



την ίδια εξίσωση αλλά προκειμένου να αντικαταστήσει το μεταφερόμενο έργο με εναλλακτικό φορέα απεικόνισης, διαιρεί τις ετήσιες ποσότητες εκπεμπόμενου CO₂ με τα συνολικά διανυθέντα μίλια που το πλοίο ταξίδεψε κατά το ημερολογιακό έτος υπολογισμού.

$$ISPI = \frac{\sum_j FC_j \cdot C_{Fj}}{D}$$

Ο ISPI προτάθηκε από τη Γερμανία και την Ιαπωνία ως τμήμα σχεδίου ενεργειακής βελτίωσης αποκλειστικά απευθυνόμενο σε πλοία. Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία, το μέγεθος της προσδοκώμενης βελτίωσης καθορίζεται από τον τύπο του πλοίου και ρυθμίζεται αναλόγως, προκειμένου να επιβραβεύονται πλοία που ήδη αξιοποιούν ενεργειακά αποδοτικές σχεδιάσεις.

Στην ίδια λογική, ο EESH χρησιμοποιεί τις ώρες εν πλω (Service hours-SH) ως μέσο αντικατάστασης του μεταφερόμενου έργου. Ως ώρες εν πλω θεωρούνται όλες οι ώρες που το πλοίο βρίσκεται εκτός λιμένα είτε εκτελώντας κινήσεις ελιγμών (maneuvering) είτε πλέοντας έμφορτο (πλήρως ή μερικώς) είτε άφορτο.

$$EESH = \frac{\sum_j FC_j \cdot C_{Fj}}{SH}$$

3.5.5 Carbon Intensity Indicator (CII)

Στο πλαίσιο των αποφάσεων της MEPC.328 (76), υιοθετήθηκε η εφαρμογή και χρήση του λεγόμενου Carbon Intensity Indicator (CII) (IMO, 2021). Σύμφωνα με τις απαιτήσεις βαθμονόμησης του CII, αρχής γενομένης από τις 31 Δεκεμβρίου 2022, όλα τα πλοία που είναι υπόχρεα για αναφορά στοιχείων στο DCS του IMO και χωρητικότητας άνω των 5000 GT, από το έτος 2023 υπόκεινται σε υποχρεωτικό ετήσιο (1^η Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου) υπολογισμό του δείκτη. Ο υπολογισμός βασίζεται στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου. Επίσης τα πλοία οφείλουν να εφαρμόζουν αντίστοιχο πλάνο SEEMP (Part III), υποκείμενο σε αξιολόγηση (audit) είτε από το Κράτος-σημαία είτε από



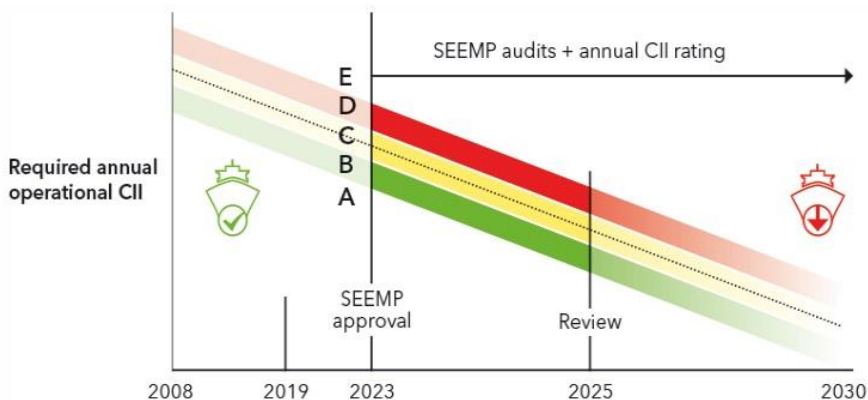
κατάλληλα εξουσιοδοτημένο Αναγνωρισμένο Οργανισμό (Recognized Organization-RO), που θα λαμβάνει υπόψη τον υπολογιζόμενο CII καθώς και την επίτευξη των απαιτούμενων επιπέδων του δείκτη (Required CII) σε βάθος τριετίας. Το πλάνο SEEMP Part III είναι ένα δυναμικό έγγραφο το οποίο υπόκειται σε τακτικές επικαιροποιήσεις και αναθεωρήσεις που αντικατοπτρίζουν τη μεταβαλλόμενη απόδοση του κάθε πλοίου καθώς και τα απαιτούμενα μέτρα αντιστάθμισης αυτής της μεταβολής.

Από το 2024 (το αργότερο έως την 31^η Μαρτίου) (DNV, n.d.), ο δείκτης CII, το αθροιστικό πακέτο δεδομένων της προηγούμενης χρονιάς καθώς και τυχόν ρυθμιστικοί-διορθωτικοί παράγοντες των ταξιδίων που έλαβαν χώρα, θα πρέπει να υποβάλλονται υποχρεωτικά ως στοιχεία στο DCS. Ο επιτευχθέν CII (Attained CII) και η κατάταξη σε αντίστοιχη περιβαλλοντική κλίμακα που αυτός θα επιβάλει στο κάθε πλοίο, θα καταγράφονται στο DCS Statement of Compliance (SoC). Το εν λόγω έγγραφο οφείλεται να διατηρείται εντός πλοίου για χρονικό διάστημα πέντε ετών.

Οι περιβαλλοντικές κλίμακες κατάταξης είναι πέντε (Α έως Ε) και στην περίπτωση που κάποιο πλοίο καταταγεί στην κατηγορία D ή Ε για τρία συνεχή έτη τότε υποχρεωτικά θα πρέπει να λαμβάνει χώρα επικαιροποίηση και πιστοποίηση με διορθωτικά μέτρα για το SEEMP Part III προτού εκδοθεί το SoC.



Σχήμα 19: Συσχέτιση μεταξύ CII, DCS και SEEMP Part III



Πηγή: Σχήμα του (DNV, n.d.)«Connection between the CII, DCS and SEEMP Part III»

3.5.5.1 Υπολογισμός του CII

Ο δείκτης μετράται σε εκπεμπόμενα γραμμάρια CO₂ ανά φορτίο-χωρητικότητα-μίλια (grams of CO₂ emitted per cargo-carrying capacity and nautical mile) και προς το παρόν έχουν υιοθετηθεί πέντε οδηγίες για τον υπολογισμό του ως αποτέλεσμα των συνεδριάσεων MEPC.352 (78), MEPC.353 (78), MEPC.338 (76), MEPC.354 (78) και MEPC.355 (78). Οι συνεδρίες κατέληξαν στη διαμόρφωση των οδηγιών G1 έως G5 με την προαίρεση ότι, η τελική τους διαμόρφωση θα λάβει χώρα την 1^η Ιανουαρίου του 2026 λαμβάνοντας υπόψη τη συσσωρευμένη εμπειρία που θα έχει προκύψει έως τότε από την πρακτική εφαρμογή του μέτρου.

3.5.5.1.1 CII Guidelines, G1

Σύμφωνα με τη MEPC.352 (78) (IMO, 2022), ο μέσος όρος των εκπομπών CO₂ ανά μεταφερόμενο έργο για κάθε πλοίο, ορίζει το λεγόμενο επιχειρησιακό δείκτη (operational CII). Αντίστοιχα, όταν λαμβάνεται υπόψη ο πραγματικός όγκος του μεταφερόμενου φορτίου, ορίζεται ο demand-based CII ενώ όταν χρησιμοποιείται η χωρητικότητα του πλοίου ως ενδιάμεση μέθοδος απεικόνισης (proxy) της πραγματικής μάζας ή όγκου του μεταφερόμενου φορτίου, ορίζεται ο supply-based CII. Ειδικότερα, ο



supply-based CII αποκαλείται «AER» όταν για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται το εκτόπισμα νεκρού βάρους (DWT) και «cgDIST» όταν χρησιμοποιείται η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage).

Στην πιο απλή του μορφή, ο Attained CII για κάθε πλοίο υπολογίζεται ως λόγος της ολικής εκπεμπόμενης μάζας CO₂ (M), προς το ολικό μεταφορικό έργο (W) για το συγκεκριμένο ημερολογιακό έτος που αφορά στον υπολογισμό:

$$\text{Attained CII}_{\text{ship}} = M/W$$

Η ολική μάζα του εκπεμπόμενου CO₂ αποτελεί το άθροισμα των εκπομπών CO₂ (σε γραμμάρια) από όλες τις πηγές κατανάλωσης καυσίμου που βρίσκονται επί του πλοίου και για όλο το ημερολογιακό έτος που αφορά στον υπολογισμό:

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

όπου,

j: Ο τύπος του καυσίμου.

FC_j: Η ολική μάζα (σε γραμμάρια) του καταναλωθέντος καυσίμου j στο ημερολογιακό έτος, ως αυτό υποτυπώνεται και αναφέρεται στο DCS του IMO.

C_{Fj}: Ο συντελεστής διόρθωσης αναλογίας μάζας καυσίμου j προς μάζα CO₂ ως καθορίζεται στη MEPC.308(73) (2018 Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships). Για την περίπτωση που το καύσιμο j δε συμπεριλαμβάνεται στις αποφάσεις αυτές, ο συντελεστής διόρθωσης καθώς και συναφείς τεκμηριώσεις παρατίθενται από τον πάροχο του καυσίμου.

Εν τη απουσία στοιχείων για το πραγματικά μεταφερόμενο φορτίο, γίνεται χρήση του μεταφορικού έργου_{supply-based} (W_s) υπό μορφή ενδιάμεσης μεθόδου απεικόνισης (proxy). Το εν λόγω δεδομένο προσδιορίζεται ως το γινόμενο της χωρητικότητας του πλοίου και της διανυθείσας απόστασης σε ένα ημερολογιακό έτος:



$$W_S = C \times D_t$$

όπου,

C: δηλώνει τη χωρητικότητα του πλοίου ως τόνους νεκρού βάρους (DWT) αν το πλοίο είναι bulk carrier, tanker, container ship, gas carrier, LNG carrier, general cargo ship, combimac ship και πλοίο μεταφοράς κατεψυγμένων προϊόντων ή σαν ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) αν το πλοίο είναι cruise passenger και Ro-Ro (φορτίου η/και επιβατών).

D_t: δηλώνει τη συνολική διανυθείσα απόσταση (σε ναυτικά μίλια) ως αυτή υποτυπώνεται και αναφέρεται στο DCS του IMO.

3.5.5.1.2 CII Guidelines, G2

Στις οδηγίες που αποφασίστηκαν στο πλαίσιο της MEPC.353(78) (IMO, 2022), παρατέθηκαν οι μέθοδοι υπολογισμού των γραμμών αναφοράς (reference lines) για χρήση του επιχειρησιακού δείκτη CII σε συνδυασμό με τις γραμμές αναφοράς για την ένταση εκπομπών άνθρακα κάθε τύπου πλοίου. Σε κάθε τύπο πλοίου αντιστοιχεί μια μόνο γραμμή αναφοράς προκειμένου να εξασφαλίζεται ότι τα συλλεχθέντα στοιχεία προκύπτουν μόνο από συγκρίσιμα πλοία. Η εξίσωση που εκφράζει τη γραμμή αναφοράς ανά τύπο πλοίου ορίζεται ως:

$$CII_{ref} = \alpha Capacity^{-c}$$

όπου,

CII_{ref}: αποτελεί την τιμή αναφοράς για το έτος 2019.

Capacity: αποτελεί τη χωρητικότητα ως αυτή δηλώνεται στον ακόλουθο πίνακα 10.

α,c: εκτιμητές παράμετροι που προκύπτουν μέσω στατιστικής επεξεργασίας (median regression fits) των attained CII και χωρητικότητας κάθε πλοίου για το έτος 2019.



Πίνακας 10: Παράμετροι προσδιορισμού ειδικών γραμμών αναφοράς πλοίων για το έτος 2019

| 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 | 5119 | 0.622 |
| 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 | 14779E10 | 2.673 |
| Ro-ro cargo ship (vehicle carrier) | 57,700 GT and above | 57,700 | 3627 | 0.590 |
| | 30,000 GT and above, but less than 57,700 GT | GT | 3627 | 0.590 |
| | Less than 30,000 GT | GT | 330 | 0.329 |
| Ro-ro cargo ship | | GT | 1967 | 0.485 |
| Ro-ro passenger ship | Ro-ro passenger ship | GT | 2023 | 0.460 |
| | High-speed craft designed to SOLAS chapter X | GT | 4196 | 0.460 |
| Cruise passenger ship | | GT | 930 | 0.383 |

Πηγή: Πίνακας του (IMO, 2022) «Parameters for determining the 2019 ship type specific lines»

3.5.5.1.3 CII Guidelines, G3

Στις οδηγίες που αποτύπωσε η MEPC.338(76) (IMO, 2022), παρατέθηκαν οι μέθοδοι καθορισμού των κατ' έτος συντελεστών μείωσης του CII καθώς και των συμπαγών τιμών αυτών για τα έτη 2023 έως 2030. Οι συντελεστές αυτοί έχουν εφαρμογή σε κάθε τύπο πλοίου που υπόκειται στα οριζόμενα του κανονισμού 28 του παραρτήματος VI της MARPOL και έχουν δομηθεί κατά τρόπο ώστε να είναι εφικτή η κατά 40% μείωση των εκπομπών CO₂ έως το 2030 σε σχέση με τις εκπομπές που καταγράφηκαν το 2008.

Λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας μεταξύ όλων των τύπων πλοίων, ο σε ετήσια βάση attained CII για όλο το ναυτιλιακό κλάδο υπολογίζεται ως ο λόγος της αθροιστικής μάζας των εκπομπών CO₂ (aggregated M), μετρούμενη σε γραμμάρια, προς την αθροιστική



μάζα του μεταφερόμενου έργου (aggregated W), μετρούμενη σε τονομύλια, που πραγματοποιείται από όλα τα πλοία συγκεκριμένων και αντιπροσωπευτικών τύπων σε δεδομένο ημερολογιακό χρόνο:

$$\text{attained CII}_{\text{shipping}} = \text{aggregated M} / \text{aggregated W}$$

Οι αντιπροσωπευτικοί τύποι πλοίων συνίστανται στους τύπους bulk carrier, tanker, container ship, gas carrier, LNG carrier, general cargo ship, και πλοία μεταφοράς κατεψυγμένων προϊόντων.

Για κάθε χρόνο y, η επιτευχθείσα μείωση της έντασης των εκπομπών άνθρακα για τη διεθνή ναυτιλία σε σχέση με το έτος αναφοράς y_{ref} υπολογίζεται ως $R_{\text{shipping},y}$ και σύμφωνα με την εξίσωση:

$$R_{\text{shipping},y} = 100\% \times (\text{attained CII}_{\text{shipping},y} - \text{attained CII}_{\text{shipping},y_{\text{ref}}}) / \text{attained CII}_{\text{shipping},y_{\text{ref}}}$$

όπου $\text{attained CII}_{\text{shipping},y}$ και $\text{attained CII}_{\text{shipping},y_{\text{ref}}}$ αντιστοιχούν στους αντίστοιχους ετήσιους δείκτες όλης της ναυτιλίας για το έτος y και y_{ref} αντίστοιχα.

Η επιτευχθείσα μείωση μπορεί εναλλακτικά να υπολογιστεί βασιζόμενη στην απόδοση κάθε τύπου πλοίου ως προς την ένταση των εκπομπών άνθρακα. Από τη στιγμή που οι μετρήσεις για τον CII επί διαφορετικών τύπων πλοίων ενδέχεται να διαφέρουν, γίνεται χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου (weighted average) της επιτευχθείσας μείωσης των τύπων πλοίων:

$$R_{\text{shipping},y} = \sum_{\text{type}} f_{\text{type},y} R_{\text{type},y}$$

όπου,

type: Ο τύπος των πλοίων.



$f_{type,y}$: Το βάρος το οποίο είναι ίσο με την αναλογία των εκπομπών CO₂ προερχόμενη από τον τύπο του πλοίου προς τις συνολικές εκπομπές όλου του κλάδου για το χρόνο y .

$R_{type,y}$: Αντιστοιχεί στην επιτευχθείσα μείωση από τον τύπο πλοίων στο έτος y που προκύπτει από την εξίσωση:

$$R_{type,y} = 100\% \times (\text{attained } CII_{type,y} - \text{attained } CII_{type,yref}) / \text{attained } CII_{type,yref}$$

όπου,

$\text{attained } CII_{type,y}$ και $\text{attained } CII_{type,yref}$ αντιστοιχούν στους αντίστοιχους ετήσιους δείκτες του τύπου πλοίων για το έτος y και y_{ref} αντίστοιχα, που προκύπτουν από την εξίσωση:

$$\text{attained } CII_{type} = \sum_{ship} M_{ship,t} / \sum_{ship} W_{ship,t}$$

όπου,

$M_{ship,t}$ και $W_{ship,t}$ εκπροσωπούν την ολική μάζα του εκπεμπόμενου CO₂ και το συνολικό μεταφορικό έργο ενός πλοίου που ανήκει στο συγκεκριμένο τύπο κατ' έτος.

Σύμφωνα με τον κανονισμό 28 του παραρτήματος VI της MARPOL, ο απαιτούμενος ετήσιος επιχειρησιακός δείκτης CII για ένα πλοίο υπολογίζεται ως:

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

όπου,

CII_R : Τιμή αναφοράς στο έτος 2019.

Z : Γενική αναφορά στους συντελεστές μείωσης του ετήσιου απαιτούμενου επιχειρησιακού δείκτη CII για τους τύπους πλοίων και για τα έτη 2023 έως 2030 σύμφωνα με τον πίνακα 11



Πίνακας 11: Πίνακας συντελεστών μείωσης (Z%) του CII ως προς τη γραμμή αναφοράς για το έτος 2019

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

Note:

- * Z factors of 1%, 2% and 3% are set for the years of 2020 to 2022, similar as business as usual until entry into force of the measure.
- ** Z factors for the years of 2027 to 2030 to be further strengthened and developed taking into account the review of the short-term measure.

Πηγή: Πίνακας του (IMO, 2022) «Reduction factor (Z%) for the CII relative to the 2019 reference line»

Στις εργασίες της MEPC.304(72) (Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships) οριστήκαν οι προσδοκίες μείωσης των εκπομπών άνθρακα του ναυτιλιακού κλάδου με βάση τα στοιχεία του 2008. Επίσης, οι πραγματικές εκπομπές και οι βελτιώσεις μεταξύ ετών 2012 και 2018 εκτιμήθηκαν από την τέταρτη μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου το 2020. Επειδή τα στοιχεία της μελέτης δεν ήταν εναρμονισμένα με τις διαδικασίες που προβλέπονται πλέον στο DCS του IMO, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μελετών, δεν είναι εφικτό να εξαχθούν άμεσα συγκρίσιμα αποτελέσματα επί της προόδου που έχει ήδη παρέλθει ή και που αναμένεται έως το 2030.

Στο πλαίσιο διασφάλισης της συγκρισιμότητας του attained CII της διεθνούς ναυτιλίας και των γραμμών αναφοράς από τα έτη 2023 έως 2030, ακολουθούνται διαδικασίες υπολογισμού της ισοδύναμης μείωσης της έντασης εκπομπών άνθρακα (equivalent carbon intensity target) για το 2030 ($eR_{shipping,2030}$), λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς το έτος 2019. Η μεθόδευση αυτή ουσιαστικά καταδεικνύει την επιπρόσθετη



πρόοδο που απαιτείται να συντελεστεί έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα απόδοσης του 2019.

Η επιτευχθείσα μείωση του έτους 2019 ως προς το 2008 ($R_{shipping,2019}$) μπορεί να εκτιμηθεί ως το άθροισμα της ήδη επιτευχθείσας μείωσης που έλαβε χώρα το 2018 ως προς το έτος 2008 ($R_{shipping,2018}$) ως αυτή προκύπτει από την τέταρτη μελέτη του IMO, και της εκτιμώμενης ετήσιας βελτίωσης μεταξύ των ετών 2012 και 2018 ($\bar{f}_{shipping}$):

$$R_{shipping,2019} = R_{shipping,2018} + \bar{f}_{shipping}$$

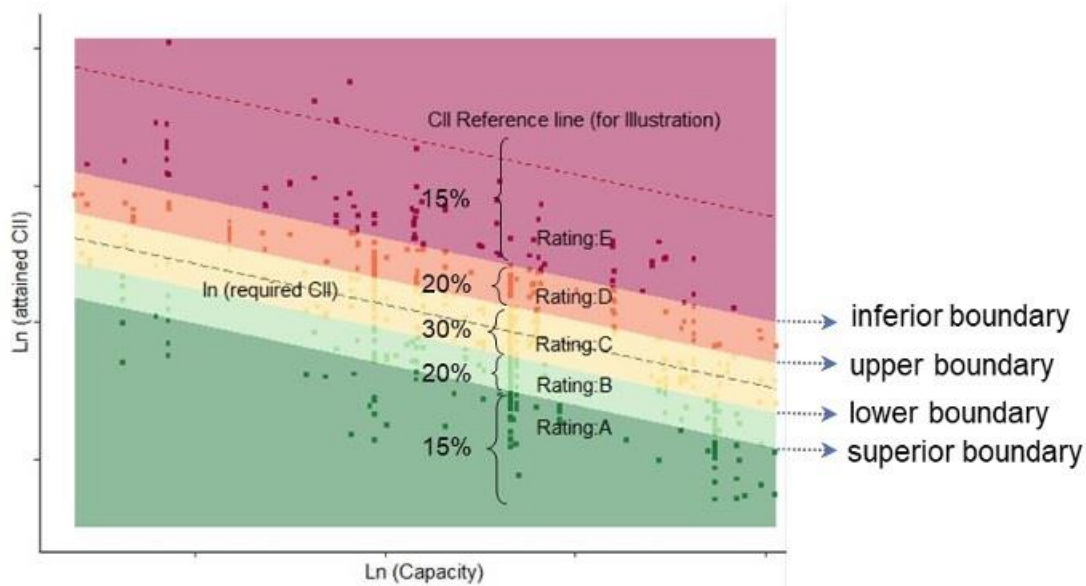
3.5.5.1.4 CII Guidelines, G4

Με τις οδηγίες της MEPC.354(78) (IMO, 2022), παρέχονται οι μέθοδοι για τη βαθμονόμηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων μέσω της κατάταξής τους σε πέντε βαθμίδες (A-major superior, B-minor superior, C-moderate, D-minor inferior και E-inferior) με βάση τον attained CII του κάθε πλοίου, καταδεικνύοντας έτσι την κλιμάκωση της επιτευχθείσας ενεργειακής αποδοτικότητας.

Η ανάθεση στην εκάστοτε βαθμίδα πραγματοποιείται σε ετήσια βάση και έπειτα από τη σύγκριση του ετήσιου attained CII του πλοίου και του αντίστοιχου required CII. Για τη διευκόλυνση της κατάταξης, έχουν οριστεί με βάση την κατανομή των δεικτών CII των πλοίων για το έτος 2019, τέσσερα όρια για τις πέντε βαθμίδες, ήτοι, superior boundary, lower boundary, upper boundary και inferior boundary. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις και βάσει των δεδομένων του 2019, η συγκεκριμένη μεθόδευση οριοθέτησης αναμένεται να κατατάξει το 30% του παγκόσμιου στόλου στην κλίμακα C, το 20% σε κλίμακα D, το 15% σε κλίμακα E και την υπόλοιπη ποσότητα του στόλου στις κλίμακες B και A (20% και 15% αντίστοιχα).



Σχήμα 20: Βαθμονόμηση της ενεργειακής αποδοτικότητας



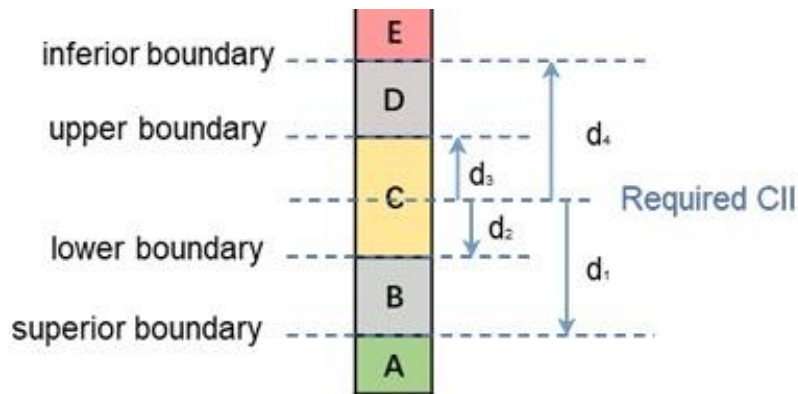
Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2022) «Operational energy efficiency performance rating scale»

Τα τέσσερα όρια των βαθμίδων υπόκεινται σε αλλαγές σύμφωνα με τους ετήσιους συντελεστές μείωσης, όμως η σχετική μεταξύ τους θέση δεν αλλάζει. Στο πλαίσιο αυτό, η κατάταξη του πλοίου προκύπτει από τον attained CII του κάθε πλοίου και την προκαθορισμένη θέση των ορίων.

Η επικαιροποίηση των ορίων υπολογίζεται από τον ετήσιο required CII σε συνδυασμό με διανύσματα (dd) που καταδεικνύουν την κατεύθυνση και απόσταση της οποίας απόκλιση/διακύμανσης από την απαιτούμενη τιμή.



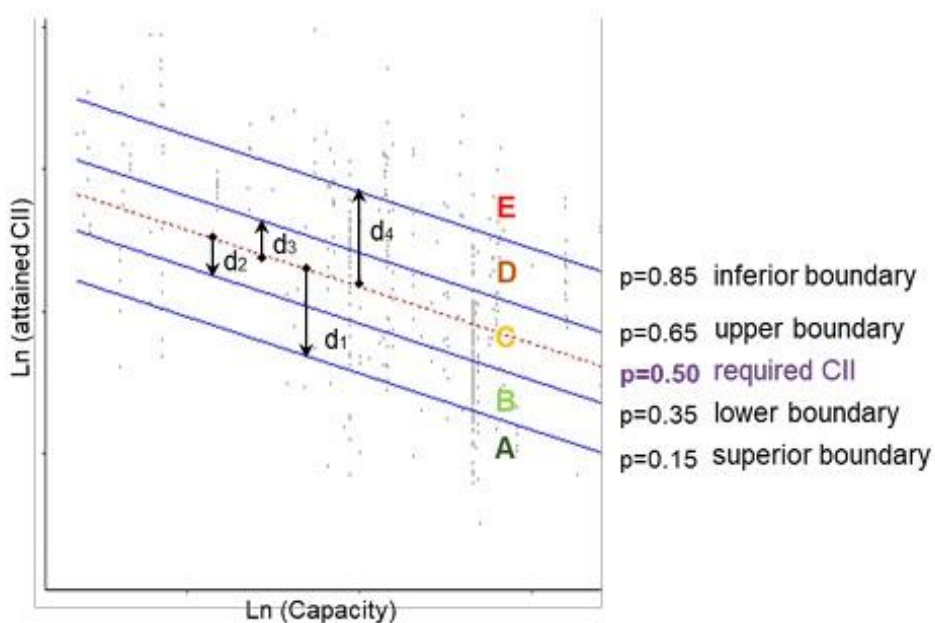
Σχήμα 21: Διανύσματα dd και όρια κατάταξης



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2022) «dd vectors and rating bands»

Τα διανύσματα dd εξαρτώνται από την κατανομή των ετήσιων attained CII των πλοίων που υπάγονται στον υπό αξιολόγηση τύπο πλοίων. Η κατανομή αυτή πραγματοποιείται μέσω στατιστικής ανάλυσης (quantile regression) με στοιχεία του 2019 από το DCS του IMO ως δείγμα, ο τρόπος υπολογισμού δε παρουσιάζεται στις παραγράφους 4.3 έως 4.6 των οδηγιών G4 (IMO, 2022).

Σχήμα 22: Γραμμές στατιστικής ανάλυσης (quantile regression) σε λογαριθμική κλίμακα



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2022) «Quantile regression lines in logarithm form»



Τα όρια κατάταξης για τους τύπους πλοίων προκύπτουν μέσω εκθετικού μετασχηματισμού των εκτιμώμενων διανυσμάτων dd .

Πίνακας 12: Διανύσματα dd για τον καθορισμό ορίων κατάταξης τύπων πλοίων

| 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 | | GT | 0.76 | 0.89 | 1.08 | 1.27 |
| Ro-ro passenger ship | | GT | 0.76 | 0.92 | 1.14 | 1.30 |
| Cruise passenger ship | | GT | 0.87 | 0.95 | 1.06 | 1.16 |

Πηγή: Πίνακας του (IMO, 2022) « dd vectors for determining the rating boundaries of ship types»

3.5.5.1.5 CII Guidelines, G5

Οι συγκεκριμένες οδηγίες που υποτύπωσε η MEPC.355(78) (IMO, 2022) αποσκοπούν στην παροχή μεθοδολογίας για την εφαρμογή διορθωτικών παραγόντων που ενδεχομένως απαιτούνται να εφαρμοστούν στον υπολογισμό του attained CII των πλοίων. Παρέχουν οδηγίες και διευκρινήσεις σχετικά με τον ορισμό του «ταξιδιού» που δύναται να υπόκειται στην εφαρμογή διορθωτικών παραγόντων καθώς και ορισμούς/ εξειδικεύσεις εφαρμογής της μεθοδολογίας για συγκεκριμένους τύπους πλοίων (refrigerated containers, self unloading bulk carriers, shuttle tankers, ice edges).

Ο υπολογισμός του ετήσιου attained CII (CII_{ships}) με την εφαρμογή ρυθμίσεων ταξιδιού και διορθωτικών παραγόντων (correction factors) προκύπτει από την εξίσωση

$$\sum_j C_{Fj} \cdot \left\{ FC_j - \left(FC_{voyage,j} + TF_j + (0.75 - 0.03y_i) \cdot (FC_{electrical,j} + FC_{boiler,j} + FC_{others,j}) \right) \right\} \\ f_i \cdot f_m \cdot f_c \cdot f_{IVSE} \cdot Capacity \cdot (D_t - D_x)$$



όπου,

j : Ο τύπος του καυσίμου.

C_{Fj} : Διορθωτικός παράγοντας που αντιστοιχεί στο λόγο μάζας καυσίμου j προς τη μάζα εκπεμπόμενου CO_2 .

FC_j : Η ολική μάζα (σε γραμμάρια) του καταναλωθέντος καυσίμου j στο ημερολογιακό έτος, όπως αυτό αναφέρεται/υποτυπώνεται στο DCS του IMO.

$FC_{voyage,j}$: Η ολική μάζα (σε γραμμάρια) του καταναλωθέντος καυσίμου j κατά τη διάρκεια ταξιδιών του ημερολογιακού έτους, η οποία δύναται να αφαιρεθεί από την εξίσωση υπολογισμού λόγω πλόων που εκτελούνται υπό συνθήκες για την εξασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας ή πλόων σε συνθήκες παγετού (ice classed ships).

TF_j : Ισούται με $(1-AF_{Tanker}) \times FC_{s,j}$ και αντιπροσωπεύει την ποσότητα καυσίμου j που αφαιρείται κατά τους πλόες Ship-to-Ship (STS) ή shuttle. Οι συγκεκριμένοι πλόες αφορούν τα tankers. Ένα ταξίδι χαρακτηρίζεται ως STS όταν ο πλους μεταξύ λιμένων φόρτωσης και εκφόρτωσης και αντίστροφα ολοκληρώνεται εντός 72 ωρών (χωρίς να περιλαμβάνει χρόνους φόρτωσης-εκφόρτωσης) και δεν υπερβαίνει τα 600 ναυτικά μίλια. Οι πλόες shuttle αφορούν τα shuttle tankers που είναι εξοπλισμένα με συστήματα dynamic positioning και χειρισμού ειδικού φορτίου και εκφορτώνουν αργό πετρέλαιο σε εγκαταστάσεις ξηράς. Το $FC_{s,j}$ για την περίπτωση των shuttle tankers, ισούται με FC_j και για την περίπτωση των STS πλόων με την συνολική ποσότητα του καυσίμου j .

AF_{Tanker} : Διορθωτικός παράγοντας για την περίπτωση των shuttle tankers ($AF_{Tanker,Shuttle}$) και STS πλόων ($AF_{Tanker,STS}$). Όταν εφαρμόζεται το $AF_{Tanker,STS}$, δεν πρέπει να εφαρμόζονται τα $FC_{electrical,j}$, $FC_{boiler,j}$, και $FC_{others,j}$ ενώ όταν εφαρμόζεται το $AF_{Tanker,Shuttle}$ δεν πρέπει να εφαρμόζονται τα $FC_{electrical,j}$, $FC_{boiler,j}$, $FC_{others,j}$ και $AF_{Tanker,STS}$. Οι παράγοντες υπολογίζονται ως:

$$AF_{Tanker,STS} = 6.1742 \times DWT^{-0.246} \text{ και } AF_{Tanker,Shuttle} = 5.6805 \times DWT^{-0.208}$$

y_i : Διαδοχικό σύστημα αρίθμησης ετών με σημείο εκκίνησης $y_{2023} = 0$, $y_{2024} = 1$, $y_{2025} = 2$ κλπ.



$FC_{electrical,j}$: Η καταναλισκόμενη μάζα (σε γραμμάρια) του καυσίμου J κατά τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετεί αντλίες καταθλίψεως φορτίου, συστήματα ψύξης/υγροποίησης φορτίου σε gas carriers και LNG πλοία καθώς και τροφοδοσίας ηλεκτρικά τροφοδοτούμενων container.

$FC_{boiler,j}$: Η καταναλισκόμενη μάζα (σε γραμμάρια) του καυσίμου J κατά τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους από καυστήρες που εξυπηρετούν τη θέρμανση του φορτίου.

$FC_{others,j}$: Η καταναλισκόμενη μάζα (σε γραμμάρια) του καυσίμου J κατά τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους για την κίνηση εξαρτημένων στη μηχανή αντλιών φορτίου.

f_i : Ο διορθωτικός παράγοντας χωρητικότητας για ice classed ships σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στη MEPC.308(73) και τις τροποποιήσεις που εισήγαγαν οι MEPC.322(74), MEPC.332(76) (2018 Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships). Για την εφαρμογή τους απαιτείται η τεκμηρίωσή του στον EEDI/EEXI τεχνικό φάκελο του πλοίου.

f_m : Ο διορθωτικός παράγοντας για ice class ships κατηγορίας IA Super και κατηγορίας IA σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στη MEPC.308(73) και τις τροποποιήσεις που εισήγαγαν οι MEPC.322(74), MEPC.332(76) (2018 Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships). Για την εφαρμογή τους απαιτείται η τεκμηρίωσή του στον EEDI/EEXI τεχνικό φάκελο του πλοίου.

f_c : Ο διορθωτικός παράγοντας που αντιστοιχεί στην κυβική χωρητικότητα των tankers μεταφοράς χημικών προϊόντων σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στη MEPC.308(73) και τις τροποποιήσεις που εισήγαγαν οι MEPC.322(74), MEPC.332(76) (2018 Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships). Για την εφαρμογή τους απαιτείται η τεκμηρίωσή του στον EEDI/EEXI τεχνικό φάκελο του πλοίου.

$f_{i,VSE}$: Ο διορθωτικός παράγοντας που αντιστοιχεί στα πλοία με εθελοντική ναυπηγική ενίσχυση στην κατασκευή τους σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στη MEPC.308(73) και τις τροποποιήσεις που εισήγαγαν οι MEPC.322(74), MEPC.332(76) (2018 Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships). Για την εφαρμογή τους απαιτείται η τεκμηρίωσή του στον EEDI/EEXI τεχνικό φάκελο του πλοίου.



Capacity: Το νεκρό βάρος ή η ολική χωρητικότητα ως αυτή καθορίζεται για κάθε πλοίο.

D_t: Η ολική διανυθείσα απόσταση (σε ναυτικά μίλια) ως αυτή αποτυπώνεται/αναφέρεται στο DCS του IMO.

D_x: Η διανυθείσα απόσταση (σε ναυτικά μίλια) λόγω πλόων που εκτελούνται υπό συνθήκες για την εξασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας ή πλόων σε συνθήκες παγετού (ice classed ships).

Ασχέτως της δυνατότητας αποκλεισμού των ανωτέρω στον υπολογισμό του attained CII, τα πλοία οφείλουν να καταγράφουν στο ημερολόγιο το σύνολο των δεδομένων και να αναφέρουν τις συνολικές καταναλώσεις καυσίμου και τις συνολικές ώρες εν πλω στη Σημαία.

Στο παράρτημα 1, η MEPC.355(78) παρουσιάζει αναλυτικά τους διορθωτικούς παράγοντες FC_{electrical,j} FC_{boiler,j} FC_{others,j} για πλοία μεταφοράς ψυχόμενων container, για πλοία Gas carriers και LNG carriers με συστήματα ψύξης φορτίου καθώς και πλοία με συστήματα θέρμανσης και κατάθλιψης φορτίου.

Στο παράρτημα 2 παρατίθενται οι οδηγίες για την αναφορά και πιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου και των διανυόμενων μιλίων για ταξίδια που υπάγονται σε δυνατότητα τροποποιήσεων ένεκα απαιτήσεων για την εξασφάλιση της ναυσιπλοΐας ή τον πλου σε παγωμένα ύδατα.

3.5.5.1.6 Παράδειγμα υπολογισμού του CII

Οι οδηγίες για τον υπολογισμό του CII των προηγούμενων παραγράφων, εφαρμόζονται στο ακόλουθο παράδειγμα για ένα υποθετικό πλοίο για το έτος 2023, με χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον πίνακα 13 και δεδομένα εκπομπών προερχόμενα από το DCS του IMO.



Σχήμα 23: Παράδειγμα υπολογισμού CII υποθετικού πλοίου

$$\begin{aligned} & \text{Attained CII (g/ton mile)} \\ &= \frac{17447 \text{ (ton)}}{62000 \times 60045 \text{ (ton mile)}} \times 10^6 = 4.69 \\ & \text{CII ref} = 4745 \times 62000^{-0.622} = 4.96 \end{aligned}$$

Rating (on 2023 reduction factor)

$$\text{Required CII} = 4.96 \times \frac{100-5}{100} = 4.71 \text{ (2023)}$$

$$\frac{\text{Attained CII}}{\text{Required CII}} = 0.99 < d3 \text{ (1.06)}$$

Πηγή: Παράδειγμα του (ClassNK, 2021) «CII Calculation example»



Πίνακας 13: Στοιχεία υποθετικού πλοίου

| Items | |
|-----------------------------|--------------|
| Ship type | Bulk Carrier |
| Deadweight | 62000 |
| Gross tonnage | 33255 |
| Distance Travelled (NM) | 60045 |
| CO2 emissions (ton) | 17447 |
| Attained CII (G1) | 4.69 |
| a (G2) | 4745 |
| c (G2) | 0.622 |
| CII ref (G2) | 4.96 |
| Required CII (G3, 2023) | 4.71 |
| Attained CII / Required CII | 1.00 |
| Rating (2023) | C |

Πηγή: Παράδειγμα του (ClassNK, 2021)«CII Calculation example»

Για το συγκεκριμένο πλοίο γίνεται αντιληπτό ότι η περίπτωση μη βελτιούμενων εκπομπών CO₂ (συνεπώς σταθερή τιμή του δείκτη CII) για τα επόμενα έτη σε σχέση με το έτος υπολογισμού 2023 θα οδηγήσει στην ενεργειακή του υποβάθμιση όπως αποτυπώνεται στον πίνακα 14.

Πίνακας 14: Επίδραση συντελεστή μείωσης

| Reporting Year | Reduction factor (%) | Required CII | Rating |
|----------------|----------------------|--------------|--------|
| 2023 | 5 | 4.71 | C |
| 2024 | 7 | 4.61 | C |
| 2025 | 9 | 4.51 | C |
| 2026 | 11 | 4.41 | D |

Πηγή: Παράδειγμα του (ClassNK, 2021)«CII Calculation example»



3.5.5.2 Βελτιώσεις του CII

Στο πλαίσιο της βελτίωσης του attained CII, οι πλοιοκτήτες διαθέτουν αρκετές επιλογές σε σχεδιαστικό όσο και επιχειρησιακό επίπεδο με διαφοροποιούμενο αντίκτυπο εφικτότητας. Ενδεικτικά τέτοιες επιλογές δύναται να είναι η εγκατάσταση συστημάτων απομάστευσης θερμότητας (waste heat recovery systems), συστήματος αερολίπανσης (air lubrication system-ALS), συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας (ESDs), συστημάτων υποβοηθούμενης πρόωσης από τον αέρα (Wind assisted propulsion systems-WAPS), καθαρισμό και βαφή γάστρας, εξυπηρέτηση εσωτερικού φωτισμού από λαμπτήρες τεχνολογίας τύπου LED, χρήση εναλλακτικών καυσίμων (βιοκαύσιμα), εφαρμογή βελτιωμένης εφοδιαστικής αλυσίδας και logistics, εναλλακτικές διαδρομές πλώων συναρτήσει των επικρατούντων καιρικών συνθηκών (weather routing). (BV, 2021)

3.6 Οι εναλλακτικοί Ενεργειακοί δείκτες στη ναυτιλία

Στη βιβλιογραφία υφίστανται καταγεγραμμένες προσπάθειες μελετητών και οργανισμών ώστε να προσεγγίσουν το πλαίσιο της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων με τρόπο εναλλακτικό αλλά ταυτόχρονα εναρμονισμένο με τις αποφάσεις του IMO. Οι περισσότερες εξ αυτών βασίζουν τις μεθοδολογίες τους σε πρακτικά δεδομένα και στη λογική πάνω στην οποία ο IMO έχει ορίσει τους βασικούς ενεργειακούς δείκτες που άπτονται τεχνικής και επιχειρησιακής προσέγγισης (EEDI, EEXI, EEOI, CII).

3.6.1 Ο Existing Vessel Design Index (EVDI)

Σε μια προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός κοινά αποδεκτού δείκτη αξιολόγησης ενεργειακής αποδοτικότητας στη ναυτιλία, η RightShip, ως εταιρεία παροχής υπηρεσιών πλατφόρμας για την περιβαλλοντική, κοινωνική και διοικητική υποστήριξη του παγκόσμιου κλάδου (RightShip, 2023) ανέπτυξε τον δείκτη EVDI. Ο συγκεκριμένος δείκτης βασίζεται στη μεθοδολογία του EEDI και μπορεί να υπολογιστεί απευθείας από τη βάση εισαγωγής δεδομένων EEDI του IMO (IHS Fairplay database). Η εξίσωση του EVDI χρησιμοποιεί την εξίσωση του EEDI σε μια απλοποιημένη της μορφή,



εφαρμόζοντας ουσιαστικά σταθερές τιμές στις παραμέτρους ως αυτές προκύπτουν από τεχνικά τεκμήρια που αφορούν στο πλοίο.

Η κύρια και σημαντικότερη διαφορά των δύο δεικτών έγκειται στο γεγονός του τρόπου συλλογής των δεδομένων. Τα δεδομένα που αφορούν τον EEDI συλλέγονται από τα σχεδιαστικά στοιχεία των νέων πλοίων μέσω των νηογνωμόνων. Στην περίπτωση του EVDI, τα δεδομένα συλλέγονται από όλες τις διαθέσιμες πηγές πληροφόρησης (IHS Fairplay database, ναυπηγεία, νηογνώμονες κ.α.) και αφορούν σε υπάρχοντα και ήδη σε υπηρεσία πλοία. Τα εν λόγω στοιχεία διατίθενται προς επικαιροποίηση / διόρθωση από τους πλοιοκτήτες ή ναυλωτές τυχόν αυτό απαιτηθεί.

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου προκύπτει από τα δεδομένα της τυπικής κατανάλωσης καυσίμου των εγκατεστημένων μηχανών ενώ για την περίπτωση που αυτά δεν είναι διαθέσιμα αξιοποιούνται οι ίδιες υποθέσεις κατ’ αντιστοιχία με τη μεθοδολογία του EEDI. Η διανυθείσα απόσταση υπολογίζεται βάσει της σχεδιαστικής ταχύτητας του πλοίου ενώ ως χωρητικότητα λογίζεται το εκτόπισμα νεκρού βάρους του πλοίου (DWT). Αυτές οι παράμετροι έχουν ως συνέπεια ο δείκτης να υπολογίζει τη μέση/θεωρητική αναλογία εκπομπών CO₂ προς χωρητικότητα και ναυτικά μίλια.

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού του δείκτη κατατάσσει το κάθε πλοίο σε μια από επτά ενεργειακές κατηγορίες (Α έως Γ) εκ των οποίων η ενεργειακά αρτιότερη είναι η Α και χειρίστη η Γ.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, ο δείκτης προσφέρει σε πλοιοκτήτες και ναυλωτές τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης μεταξύ υφιστάμενων εν υπηρεσία πλοίων ίδιου τύπου καθώς και αδελφών πλοίων, καθόσον αποτελεί ενιαία βάση σύγκρισης που βασίζεται σε τεχνικές παραμέτρους και όχι σε επιχειρησιακές μεθόδους όπως χρήση μειωμένων ταχυτήτων κατά τους πλόες, weather routing κ.λπ. (RightShip, 2013).



3.6.2 Clean Cargo Working Group™ (CCWG)

Το Clean Cargo αποτελεί φόρουμ αγοραστών και προμηθευτών με στόχευση τη βιωσιμότητα της ναυτιλιακής βιομηχανίας μεταφοράς φορτίων. Διαθέτει εργαλεία μέτρησης και αναφοράς της περιβαλλοντικής απόδοσης των πλοίων που επιτρέπουν τη δυνατότητα της συγκριτικής αξιολόγησης με τυποποιημένη μορφή και δομή.

Κάθε χρόνο, τα συμμετέχοντα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων του φόρουμ Clean Cargo, αναφέρουν τα δεδομένα περιβαλλοντικής απόδοσής τους στο BSR® που λειτουργεί ως γραμματεία (secretariat) του φόρουμ. Τα δεδομένα (εκπομπές CO₂ και NO_x) υπόκεινται υποχρεωτικά σε εργασίες επιβεβαίωσης από τρίτα μέρη και η υποβολή τους πραγματοποιείται τυποποιημένα και σύμφωνα με συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η γραμματεία κοινοποιεί αθροιστικά τα επιβεβαιωμένα δεδομένα στους συμμετέχοντες στο φόρουμ πελάτες του ναυτιλιακού κλάδου με σκοπό την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας υπό το πρίσμα περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης.

Η μεθοδολογία του φόρουμ στα παραρτήματα I και II (BSR, 2018) αξιοποιεί στους υπολογισμούς της το μέσο όρο της μέγιστης χωρητικότητας για το κάθε πλοίο. Η συγκεκριμένη επιλογή προκύπτει έπειτα από τριετή μελέτη (2013-2015), στο πλαίσιο της οποίας υπολογίστηκε πως ο μέσος όρος αθροιστικής χωρητικότητας όλων των υπαγομένων πλοίων που διέρχεται από τις κύριες εμπορικές οδούς (ανέρχεται στο ποσοστό του 70%), αποτυπώνει καλύτερα την προσέγγιση των πραγματικά συνολικά εκπεμπόμενων ποσοτήτων CO₂ για τον κλάδο. Οι εκπομπές CO₂ των πλοίων μετρούνται σε grCO₂/TEU-km. Για τον υπολογισμό τους απαιτούνται στοιχεία μέγιστης χωρητικότητας μονάδων εγκιβωτισμού σε μονάδες TEU (20-foot equivalent container units), αριθμού θέσεων ηλ. τροφοδοσίας των ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων (plugs), διανυθείσας απόστασης, κατανάλωσης καυσίμου (ξεχωριστά για HFO και MDO/MGO) και χρονικού πλαισίου των δεδομένων (days vessel operated). Η μεθοδολογία CCWG για να υπολογίσει τον παράγοντα εκπομπών CO₂ και κατ' επέκταση το αποτύπωμα άνθρακα του μεταφερόμενου



φορτίου, από πρακτικής απόψεως ουσιαστικά εφαρμόζει παρεμφερή διαδικασία υπολογισμού όπως ο ΕΕΟΙ σύμφωνα με τη γενική εξίσωση:

$$\frac{\left(\text{total kg fuel consumed for containers} * \text{IMO factor} \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fuel}} \right)}{\left(\text{maximum nominal TEU capacity} * \text{total distance sailed} \right)}$$

Για την περίπτωση των Dry Containers η μέθοδος βασίζεται στις οδηγίες του IMO με χρήση επικαιροποιημένων συντελεστών μετατροπής καταναλωθέντος καυσίμου σε εκπομπές CO₂.

Πίνακας 15: Συντελεστές μετατροπής καταναλωθέντος καυσίμου σε εκπομπές CO₂

| Fuel Type | IMO / MRV Factor (gCO ₂ /kg fuel) |
|-------------|---|
| HFO | 3,114 |
| LFO | 3,151 |
| MDO / MGO | 3,206 |
| Propane LPG | 3,000 |
| Butane LPG | 3,030 |
| LNG | 2,750 |
| Methanol | 1,375 |
| Ethanol | 1,913 |

Πηγή: Πίνακας του (BSR, 2018) «fuel-to-CO₂ conversation factors»

Για τα πλοία μεταφοράς απλών εμπορευματοκιβωτίων ισχύει:

$$i_{Dry} = \frac{(\sum_{a,k} c_k \cdot m_{fuel\ a,k}) - m_{RC} \cdot c_{RC}}{V_{total} \cdot d}$$

Για τα πλοία μεταφοράς ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων ισχύει:

$$i_{Reefer} = \frac{(\sum_{a,k} c_k \cdot m_{fuel\ a,k}) - m_{RC} \cdot c_{RC}}{V_{total} \cdot d} + \frac{m_{RC} \cdot c_{RC}}{V_{Reefer} \cdot d}$$



όπου:

$$\sum_{a,k} c \cdot m_{fuel\ a,k} = c \cdot m_{fuel,HFO,ME} + c \cdot m_{fuel,HFO,AE} + c \cdot m_{fuel,HFO,Boiler} + c \cdot m_{fuel,MDO,ME} + c \cdot m_{fuel,MDO,AE} + c \cdot m_{fuel,MDO,Boiler}$$

με:

α: Τα διαφορετικά τμήματα της εγκατάστασης που λειτουργούν με καύσιμο (ME, AE, Boilers, Incinerators).

β: Τα διάφορα είδη χρησιμοποιούμενου καυσίμου (HFO, LFO, MDO, Propane LPG, Butane LPG, LNG, Methanol, Ethanol).

$m_{fuel\ a,k}$ = kg: Η μάζα του καταναλωθέντος καυσίμου από όλες τις μονάδες κατανάλωσης (ME, AE, Boilers, Incinerators) κατά τις ειδικές περιόδους (ελλιμενισμός).

$m_{RC} = (1,9\ TEU \cdot w_{fuel} \cdot x_{plugs} \cdot z_{time})$ kg: Η μάζα του καταναλωθέντος καυσίμου από πλοία μεταφοράς ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων

$$c_{RC} = \frac{\sum_{a,k} c_k \cdot m_{fuel\ a,k}}{\sum_{a,k} m_{fuel\ a,k}}$$

$w_{fuel} = \frac{kg}{TEU}$: Η μάζα του καταναλωθέντος καυσίμου από μία μονάδα TEU ψυχόμενου εμπορευματοκιβωτίου κατά τη διάρκεια ενός έτους.

$V_{cargo} = TEU$: Η μέγιστη ονομαστική ποσότητα TEU καθορίζεται ως «Ο μέγιστος αριθμός μονάδων που δύναται να φορτωθεί υπό τις προϋποθέσεις τήρησης του θεσπισμένου θερινού βυθίσματος και του κανονισμού ασφαλούς ορατότητας του SOLAS (Charter V “Safety of navigation”, Regulation 22 “Navigation bridge visibility”).

$$V_{reefer} = 1,9TEU \cdot x_{plugs}$$

1,9TEU: Αριθμός TEU ανά θέση ηλ. τροφοδοσίας (plugs).

d = km: Ολική διανυθείσα απόσταση κατά τις ειδικές περιόδους (περιλαμβάνει πλευση σε ποταμούς, ελλιμενισμό και θαλάσσια απόσταση).

z_{time} : Παρεχόμενοι ποσοστιαίοι υπολογισμοί ενός έτους (αν για ένα έτος $z_{time} = 1$).



Σταθερές:

$$w_{fuel} = \bar{P}_{Reefer} \cdot t \cdot \gamma_{utility} = 3.8kW \cdot .23kg/kWh \cdot 365 \text{ days} \cdot 24\text{hours/day} \cdot 25\% = 1914 \text{ kg/reefer-year}$$

$$\bar{P}_{Reefer} \quad \text{Clean Cargo WG average power consumption of reefers} = 3.8 \text{ kw}$$

$$[\gamma_{utility}] = 91d = 25\% \quad \text{Reefer plugs utilization per year (based on Maersk and Hamburg Süd data)}$$

$$c_k = \frac{g}{kg} \quad ^8$$

3.6.3 Environmental Ship Index (ESI) / Clean Shipping Index (CSI)

Ο δείκτης ESI αποτελεί πρόγραμμα του IAPH (International Association of Ports and Harbors) ο οποίος αποτελείται από ένα συνασπισμό λιμένων και συνεργαζόμενων οργανισμών σε περίπου 90 χώρες (IAPH, 2023). Με τη χρήση του δείκτη αναγνωρίζονται τα αποδοτικά πλοία που εκπέμπουν λιγότερους αέριους ρύπους σε σχέση με τα όρια που έχει υιοθετήσει ο IMO. Πλοία που τηρούν τα θεσπισμένα όρια του IMO περί εκπομπών SO_x, NO_x και CO₂ λαμβάνουν βάσει του δείκτη μηδενική βαθμολογία, πλοία που εκπέμπουν μηδενικές ποσότητες (ή πολύ απομειωμένες σε σχέση με τα όρια) και αναφέρουν στον IAPH τις σχετικές τεκμηριώσεις, οι λαμβάνουσες βαθμολογίες τους είναι οι μέγιστες (WSPS, 2023). Τα φιλικά προς το περιβάλλον πλοία, μέσω αυτού του συστήματος λαμβάνουν πλεονεκτήματα κατά την παραμονή τους στους λιμένες του IAPH, όπως μικρότερα λιμενικά τέλη, ωθώντας έτσι πλοιοκτήτες και ναυλωτές στην εφαρμογή/διεκδίκηση ενεργειακά αποδοτικότερων πλοίων.



Σχήμα 24: Συμβεβλημένοι λιμένες στο σύστημα ESI



Πηγή: Σχήμα του (IAPH, 2023) «ESI Incentive Provider ports»

Η μεθοδολογία αξιολόγησης των εκπομπών CO₂ βασίζεται στον ΕΕΟΙ και συγκεκριμένα στη σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου ανά ναυτικά μίλια για το τρέχον έτος σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα των παρελθόντων τριών ετών. Η αναγωγή που λαμβάνει χώρα, σύμφωνα με την οποία μικρότερες ποσότητες καταναλωμένου καυσίμου συνάδει σε λιγότερες εκπομπές CO₂, οδηγεί και στην αντίστοιχη βαθμολόγηση του πλοίου (Masodzadeh, 2018):

$$ESI_{SCORE} = ESI_{NOx} + ESI_{SOx} + ESI_{CO2} + OPS \text{ (max. 100)}$$

όπου,

ESI_{NOx}: x (2x(NOx) sub points ranging between 0 and 100 divided by 3)

ESI_{SOx}: y (SOx sub points ranging between 0 and 100 divided by 3)



ESI_{CO2}: 5 (For reporting (every half year) of fuel and distance, efficiency increase in % is added point, total capped at 15)

OPS : 10 (If on shore power supply (OPS) installation is fitted)

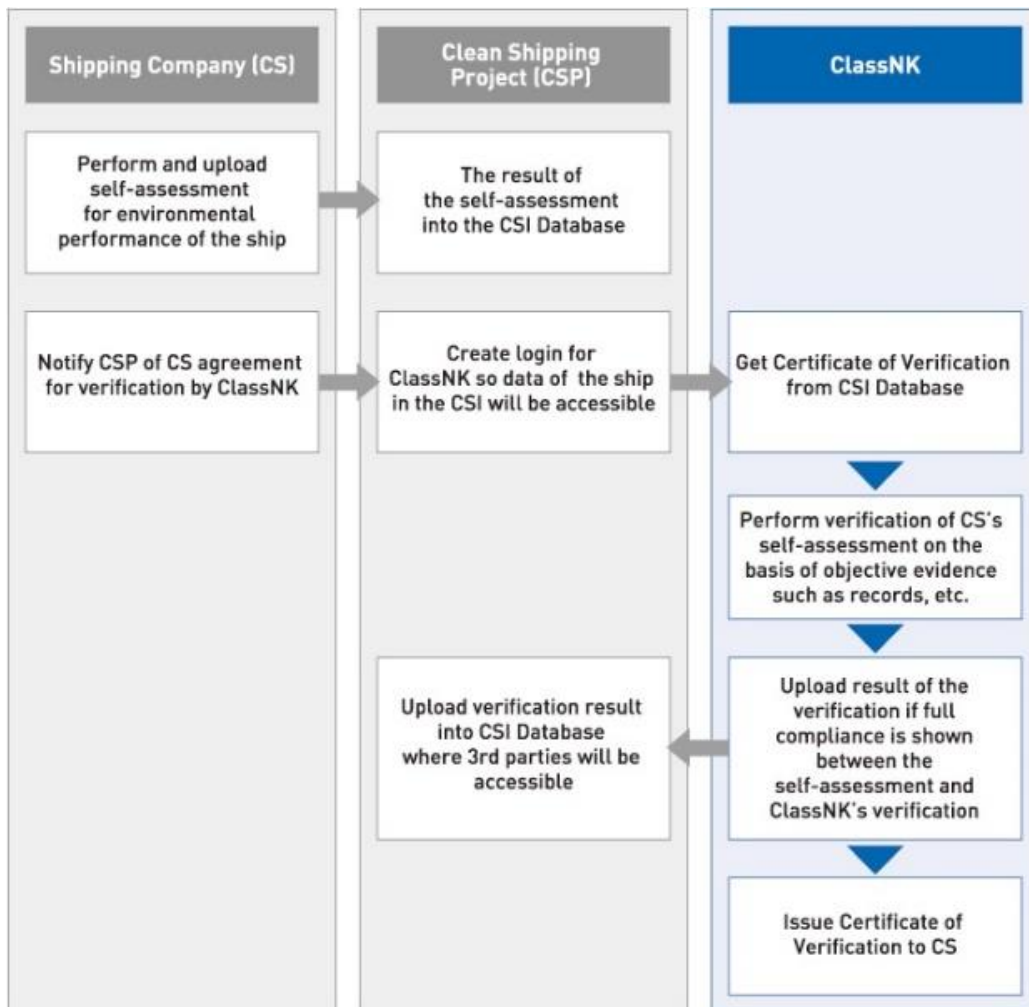
Ο CSI αποτελεί εργαλείο αξιολόγησης της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των πλοίων και εστιάζει τόσο στον αντίκτυπο των απορριπτόμενων υλικών σε αέρα και θάλασσα, όσο και στις διαλαμβανόμενες διεργασίες επεξεργασίας αυτών επί των πλοίων. Αναπτύχθηκε από τον Clean Shipping Project, Μη Κερδοσκοπικό Οργανισμό με έδρα τη Σουηδία, ο οποίος πλέον λειτουργεί υπό την αιγίδα του Clean Shipping Network Association που αποτελείται από ιδιοκτήτες φορτίων. Κατ’ ουσία το μέτρο επιδιώκει την ανταπόκριση των πλοιοκτητών στις προθέσεις των ιδιοκτητών φορτίου να αξιοποιούν τις περιβαλλοντικά φιλικότερες επιλογές στη ναυτιλία.

Σύμφωνα με τη διαδικασία, οι πλοιοκτήτες πραγματοποιούν αυτοαξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης των πλοίων και ακολούθως προσκομίζουν τα σχετικά δεδομένα σε καθορισμένη βάση δεδομένων (Clean Shipping Database). Αυτά τα δεδομένα αξιολογούνται από τον νηογνώμονα ClassNK ο οποίος έχει ορισθεί ως επιβεβαιωτής (verifier) κατ’ αίτημα των πλοιοκτητών. Η επιβεβαίωση των δεδομένων λαμβάνει χώρα σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες (Clean shipping Index Verification Guidelines) και, δεδομένης της συμμόρφωσης, εκδίδεται το σχετικό πιστοποιητικό επιβεβαίωσης από το CSI (CSI Certificate of Verification) (ClassNK, 2023).

Η διαδικασία της επιβεβαίωσης αφορά δέκα τύπους πλοίων (General Cargo Ships, Oil Tankers, Refrigerated Cargo Ships, Chemical Tankers, Bulk Carriers, Container Carriers, Product Tankers, RoRo+9 Cargo Ships, LPG Carriers, Car Carriers). Οι εκπομπές που αξιολογούνται είναι αυτές των SO_x-αιθάλης, NO_x, CO₂ και επεξεργασία/διαχείρισης χημικών παραγώγων-καταλοίπων και αποβλήτων ύδατος-ελαίου. Ειδικότερα, οι εκπομπές CO₂ υπολογίζονται για τον κάθε τύπο πλοίου είτε μέσω χρήσης του ΕΕΟΙ (όλοι οι τύποι πλοίων) είτε με τη χρήση οδηγιών CCWG (Clean Cargo Working Group) αποκλειστικά για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (ClassNK, 2023).



Σχήμα 25: Διάγραμμα ροής Επιβεβαίωσης CSI



Πηγή: Σχήμα του (ClassNK, 2023) «Flow Chart of Verification»

3.6.4 Index of Energy Efficiency and Environmental Eligibility (I4E)

Ο εν λόγω δείκτης προτάθηκε (Ανčić, 2018) προκειμένου να αξιολογηθεί με ενιαίο τρόπο το ενεργειακό αποτύπωμα των πλοίων, με δυνατότητα ενεργειακής σύγκρισης πλοίων διαφορετικού τύπου και εγκατεστημένου συστήματος ισχύος. Περιγράφεται από την εξίσωση:

$$I4E = 0,095 \cdot GWP + 18,3 \cdot AP + 21,1 \cdot EP$$



και αποτελεί σύνθεση επιμέρους δεικτών. Οι επιμέρους δείκτες αφορούν στις κυριότερες κατηγορίες αέριων ρύπων (SO_x, NO_x καθώς και CO₂ υπό τη μορφή του CII ως λόγο εκπομπών CO₂ προς την ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) και την πραγματική ταχύτητα πλεύσης του πλοίου). Η μεθοδολογία του I4E, εφαρμοσμένη με χρήση δεδομένων από πλοία Ro-Ro και κατόπιν μαθηματικής στατιστικής ανάλυσης (regression analysis), επιστρέφει αποτελέσματα τα οποία εμφανίζουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από μεγαλύτερα σε μέγεθος πλοία που πλέουν με μικρότερες ταχύτητες.

Για τον προσδιορισμό της αναγκαιότητας του δείκτη λαμβάνεται υπόψη το επιχείρημα ότι ο IMO δεν έχει καθορίσει διαδικασίες για τη ρύθμιση του περιβαλλοντικού μερίσματος που αντιστοιχεί σε κάθε πλοίο (ship environmental eligibility). Λόγω της δυσκολίας ποσοτικοποίησης της εν λόγω έννοιας, λαμβάνονται ως μέσο μέτρησης οι αθροιστικοί εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι των πλοίων, ως αυτοί προκύπτουν κατά τη διάρκεια τεσσάρων κύκλων ζωής (raw materials acquisition (RMA), manufacturing (M), use/reuse/maintenance (URM) και recycle/waste management (RWM)).

Για τον υπολογισμό της ποσότητας των ρύπων χρησιμοποιείται η αναγνωρισμένη από τη MEPC βάση δεδομένων WROS (World Register of Ships) και λαμβάνονται μετρήσεις στο 100%, 75%, 50%, 25% και 10% του MCR των κυρίων μηχανών. Ακολουθώντας αυτές οι ποσότητες διαιρούνται με την ολική χωρητικότητα και την αντιστοιχούσα σε κάθε φορτίο ταχύτητα. Για πλοία που διαθέτουν συμβατικό σύστημα πρόωσης (κύρια μηχανή πρόωσης και προπέλα σταθερού βήματος):

$$\text{CO}_2 \text{ emission}_i = C_F (P_{ME,i} \cdot \text{SFC}_{i,j} + P_{AE} \cdot \text{SFC}_{AE,50})$$

όπου,

i: Το φορτίο της κύριας μηχανής.

j: Η αντιστοιχούμενη στο φορτίο ταχύτητα.

C_F: Συντελεστής μετατροπής καταναλωθέντος καυσίμου σε εκπομπές CO₂.

P_{ME}/P_{AE}: Ισχύς κύριας/βοηθητικών μηχανών.

SFC: Ειδική κατανάλωση καυσίμου σύμφωνα με τον πίνακα 16.



Πίνακας 16: Ειδική κατανάλωση καυσίμου κύριων/βοηθητικών μηχανών Diesel συναρτήσει φορτίου και στροφών άξονα

| | propeller law operation | | | | | generator mode operation | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------|------|------|------|--|
| | 100% | 75% | 50% | 25% | 10% | 75% | 50% | 25% | 10% | |
| Engine load | 100% | 75% | 50% | 25% | 10% | 75% | 50% | 25% | 10% | |
| Engine RPM | 100% | 91% | 80% | 63% | 46% | 100% | 100% | 100% | 100% | |
| Medium speed engines | 190 | 180 | 190 | 205 | 260 | 185 | 195 | 230 | 280 | |
| Main high speed engines | 225 | 215 | 225 | 240 | 300 | 220 | 230 | 260 | 320 | |
| Auxiliary high speed engines | 230 | – | – | – | – | 225 | 235 | 270 | 340 | |

Πηγή: Πίνακας του (Ανδρί, 2018) «SFC values for different engine type, load and RPM»

Για τη σύγκριση εκπομπών CO₂ μεταξύ πλοίων με διαφορετικά μεγέθη και ταχύτητες, εισάγεται ένας δείκτης CO₂ ως αποτέλεσμα διαίρεσης της μάζας των εκπομπών προς την ολική χωρητικότητα και την αντιστοιχούσα ταχύτητα του κάθε πλοίου:

$$CO_2 Index_i = \frac{CO_2 emission_i}{v_i \cdot GT}$$

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, λόγω συνάφειας στις συνθήκες δημιουργίας ρύπων CO₂ και SO_x υιοθετείται η ακόλουθη μεταξύ τους σχέση:

$$\frac{SO_x Index_i}{CO_2 Index_i} = \frac{S_F}{C_F}$$

όπου S_F συντελεστής μετατροπής καταναλωθέντος καυσίμου σε εκπομπές SO₂.

Οι εκπομπές NO_x υπολογίζονται βάσει της μεθοδολογίας που έχει εισαχθεί από τον IMO στην οριοθέτηση περιοχών TIER και που απαιτούνται για την έκδοση πιστοποιητικού IAPP:

$$NO_x emission_i = P_{ME,i} \cdot Specific NO_x emission_j$$

και κατ’ αναλογία με τα ανωτέρω:

$$NO_x Index_i = \frac{NO_x emission_i}{v_i \cdot GT}$$



Για τη σύγκριση αποτελεσμάτων, οι εκπομπές αερίων που υπολογίζονται υπόκεινται σε διαδικασία κανονικοποίησης σύμφωνα τον πίνακα 17 προκειμένου να ακολουθήσει σύγκριση των αντίστοιχων δεικτών. Επιπρόσθετα, καθορίζονται οι κύριες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιφέρουν οι τέσσερις κύκλοι ζωής, ήτοι global warming potential-GWP, acidification potential – AP και eutrophication potential–EP οι οποίες και αυτές κανονικοποιούνται σύμφωνα με τον πίνακα 18 ώστε να συνεκτιμηθεί η βαρύτητα των τοπικών επιπτώσεων των NO_x και SO_x και των παγκόσμιων επιπτώσεων των εκπομπών CO₂.

Πίνακας 17: Παράγοντες κανονικοποίησης εκπομπών αέριων ρύπων

| Life cycle impact category | Compounds | Normalization factor |
|----------------------------|------------------|----------------------|
| GWP | CO ₂ | 1 |
| | N ₂ O | ≈ 300 |
| AP | SO ₂ | 1 |
| | NO ₂ | 0.7 |
| EP | NO ₂ | 1.35 |

Πηγή: Πίνακας του (Ančić, 2018) «Normalization factors for different emissions»

Πίνακας 18: Παράγοντες βαρύτητας για τις κατηγορίες επιπτώσεων των κύκλων ζωής

| Life cycle impact category | Weighting factor |
|----------------------------|------------------------|
| GWP | 0.095·10 ⁻³ |
| AP | 18.3·10 ⁻³ |
| EP | 21.1·10 ⁻³ |

Πηγή: Πίνακας του (Ančić, 2018) «Weighting factors for different life cycle impact categories»



3.6.5 Cost-Energy Efficiency Indicator (CEEI)

Ο CEEI εισάγεται ως ενεργειακός δείκτης από τους Jong-Kyun Woo & Daniel Seong-Hyeok Moon (Woo, 2014). Περιγράφεται ως ετήσιο μερίδιο καθαρών μειώσεων εκπομπών CO₂ ως προς το καθαρό κόστος λειτουργίας. Μια υψηλή τιμή του δείκτη αντιστοιχεί σε μεγαλύτερες τιμές μείωσης εκπομπών CO₂ και σε μικρότερα λειτουργικά κόστη. Μοντέλα προσομοίωσης ταξιδιών για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στις βασικές ταχύτητες πλεύσης έδειξαν ότι στην ταχύτητα των 17,4 κόμβων αντιστοιχεί το μικρότερο λειτουργικό κόστος, για το οποίο επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση εκπομπών CO₂ σε συμφωνία με τις προβλέψεις του IMO.

Ο δείκτης περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\frac{\left[\left(SFOCV \cdot EP \cdot Od \cdot 52 \cdot 24 / 10^6 \right) - \left(SFOCV \cdot EP \cdot \left(\frac{AVS}{DVS} \right)^3 \cdot Od \cdot 24 / 10^6 \cdot 52 \right) \right] \cdot \left(2 \cdot \left[\frac{VD}{CVS} + \frac{24AVS}{ABP} \right] \right)}{[(365 \cdot 24) \cdot (DEOC + (CFC - ADOP - OPCL))]}$$

όπου,

SFOCV: η ειδική κατανάλωση καυσίμου στις διάφορες ταχύτητες πλεύσης.

EP: η ισχύς της μηχανής.

AVS: η αλλαγή ταχύτητας πλεύσης από τους 10 στους 25 κόμβους.

DVS: η ταχύτητα πλεύσης σχεδίασης στους 25 κόμβους.

VD: η απόσταση.

CVS: η ταχύτητα πλου.

ABP: η μέση παραγωγικότητα κατά τις περιόδους ελλιμενισμού (TEU/hr).

CFC: το ετήσιο κόστος εξοικονομούμενου καύσιμου.

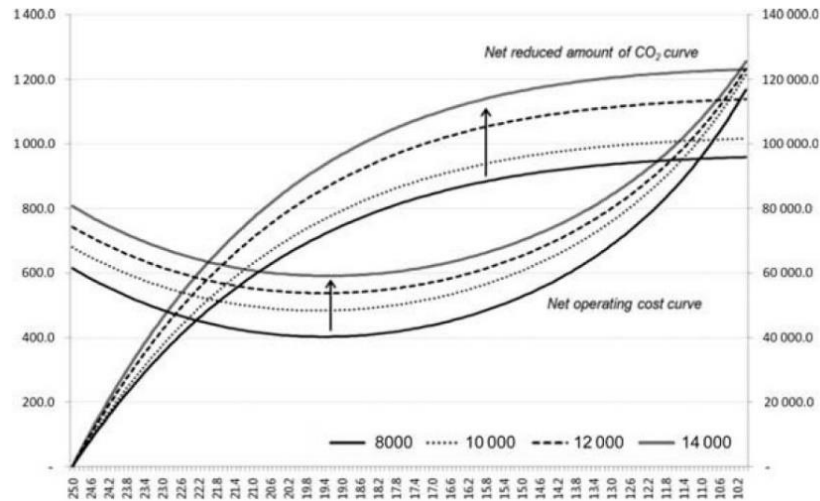
OPCL: το ετήσιο κόστος ευκαιρίας.

ADOP: τα σταθερά και μεταβλητά κόστη.

DEOC: το λειτουργικό κόστος σχεδιασμού.

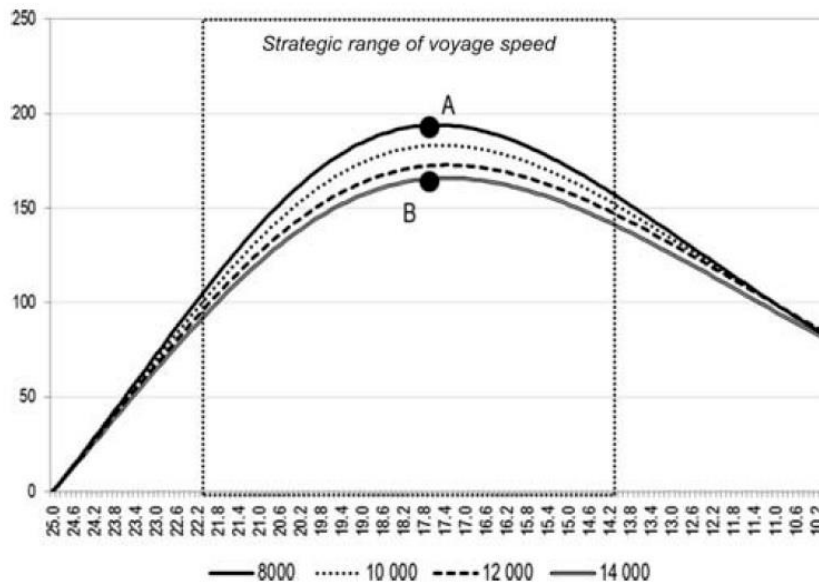


Σχήμα 26: Επίδραση της αύξησης του μεγέθους του πλοίου σε σχέση με τις ταχύτητες πλεύσης



Πηγή: Σχήμα του (Woo, 2014) «The impact of the enlargement of vessel size at different voyage speeds»

Σχήμα 27: Καμπύλη CEEI για τα διάφορα μεγέθη πλοίων



Πηγή: Σχήμα του (Woo, 2014) «The CEEI index curve at different vessel sizes»



3.6.6 Energy Efficiency Performance Indicator (EEPI)

Ο EEPI αποτελεί προτεινόμενο επιχειρησιακό δείκτη (Zhang, 2019) που φιλοδοξεί να καλύψει τις αδυναμίες του EEOI και του AER. Ο δείκτης ορίζεται ως λόγος των εκπομπών CO₂ από όλες τις καταναλώσεις καυσίμου του πλοίου, προς το ονομαστικό μεταφερόμενο έργο που εκφράζεται ως προϊόν της χωρητικότητας νεκρού βάρους και της αθροιστικής έμφορτης διανυθείσας απόστασης. Περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\frac{\sum_i \sum_j F_{ij} \times C_{F_j}}{DWT \times \sum_i d_{laden,i}}$$

όπου,

$F_{i,j}$: η καταναλωθείσα ποσότητα καυσίμου j στο ταξίδι i .

C_{F_j} : ο συντελεστής μετατροπής του καυσίμου j σε εκπομπές CO₂.

Με τη χρήση του δείκτη, καθίσταται εφικτή η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου και πετρελαιοφόρων μόνο κατά την έμφορτη κατάστασή τους, χωρίς παράλληλα να απαιτείται η κοινοποίηση ευαίσθητων εμπορικών δεδομένων που αφορούν στην ποσότητα των μεταφερόμενων προϊόντων. Επιπρόσθετα, ο δείκτης δύναται να εισαχθεί στο πλάνο SEEMP της κάθε εταιρείας και να τελεί υπό καθεστώς αξιολόγησης από τρίτα μέρη.

3.6.7 Vessel Energy Efficiency Index (VENEFI)

Ο VENEFI αποτελεί εναλλακτικά προτεινόμενο δείκτη (Tsekouras, 2011) που προσπαθεί να καλύψει τη συνολική λειτουργία των πλοίων μέσω της αξιοποίησης ξεχωριστών δεικτών που περιγράφουν την ενεργειακή αποδοτικότητα της κάθε φάσης λειτουργίας τους. Τα κύρια πεδία προβληματισμού στα οποία επιχειρείται να δοθούν λύσεις μέσω του δείκτη είναι αυτό της σύγκρισης πλοίων ίδιων ή διαφορετικών κατηγοριών, πλοίων μεταφοράς επιβατών μεγάλου μεγέθους και πλοίων που διαθέτουν εγκατάσταση πρόωσης diesel-electric.



Ο δείκτης υπολογίζεται επί συγκεκριμένης χρονικής περιόδου T και στη γενική του μορφή, εκφράζεται ως ολικές εκπομπές CO_2 ανά παραγωγικότητα. Η παραγωγικότητα ορίζεται ως το προϊόν των μεταφερόμενων μονάδων επί τη διανυόμενη απόσταση (gr $CO_2/tn \cdot nm$). Η γενική εξίσωση περιγραφής ορίζεται ως:

$$Vessel\ Energy\ Efficiency\ Index\ (T) = \frac{Mass\ of\ CO_2\ Total\ Emissions}{Carried\ Units \cdot Distance}$$

Η χρονική περίοδος μπορεί να προσδιοριστεί κατά το δοκούν (μεταξύ απόπλου από διαδοχικούς λιμένες, πλεύσεις μεταξύ απόπλου και κατάπλου στον ίδιο λιμένα ή εντελώς προσαρμοσμένη για τα δεδομένα μελέτης, πχ. μεταξύ δεξαμενισμών). Επιπλέον, εντός του χρόνου T ορίζονται οι φάσεις λειτουργίας του πλοίου και οι αντίστοιχες απαιτήσεις ενέργειας.

Ο υπολογισμός του αθροίσματος του εκπεμπόμενου CO_2 σε κάθε φάση λειτουργίας κατά τη χρονική περίοδο T , ορίζει τις συνολικές εκπομπές του πλοίου για τον υπόψη χρόνο. Η εξίσωση του VENEFI αποτυπώνεται ως:

$$VENEFI(T) = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^4 mCO_{2(i)}}{\sum_{j=1}^n CU_j \cdot D_j}$$

Η εν λόγω εξίσωση δύναται να αξιοποιηθεί με πραγματικά μετρούμενα δεδομένα χαρακτηρίζοντας έτσι την επιχειρησιακή ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου. Περαιτέρω ανάλυση της εξίσωσης για ένα πλοίο δύναται να χωρίσει την εξίσωση του δείκτη σε υπομήματα ώστε να ανταποκρίνεται στις ξεχωριστές φάσεις του ταξιδιού (πχ μεγάλα σκέλη πλόων και ειδικά σκέλη όπως ελλιμενισμοί ή κινήσεις χειρισμών):



$$\begin{aligned}
 VENEFI(T=t_j) &= \frac{\sum_{i=1}^4 mCO_{2(t_i)}}{CU_j \cdot D_j} = \frac{mCO_{2(t_1)} + mCO_{2(t_2)} + mCO_{2(t_3)} + mCO_{2(t_4)}}{CU \cdot D} = \\
 &= \frac{\left[t_1 \cdot \frac{mCO_{2(t_1)}}{t_1} + t_2 \cdot \frac{mCO_{2(t_2)}}{t_2} + t_3 \cdot \frac{mCO_{2(t_3)}}{t_3} + t_4 \cdot \frac{mCO_{2(t_4)}}{t_4} \right]}{CU \cdot D} = \\
 &= \frac{\left[t_1 \cdot \frac{mCO_{2(t_1)}}{t_1} + t_2 \cdot \frac{mCO_{2(t_2)}}{t_2} \right]}{CU \cdot D} + \frac{\left[t_3 \cdot \frac{mCO_{2(t_3)}}{t_3} + t_4 \cdot \frac{mCO_{2(t_4)}}{t_4} \right]}{CU \cdot D} = \\
 &= \frac{1}{CU \cdot D} \sum_{i=1}^2 \left[t_i \cdot CU \cdot D_i \cdot \left(\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right) \right] + \frac{1}{CU \cdot \frac{D}{T}} \cdot \sum_{i=3}^4 \left[\frac{t_i}{T} \cdot \left(\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right) \right] = \\
 &= \sum_{i=1}^2 \left(\frac{D_i}{D} \right) \cdot \left[\frac{\left(\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right)}{CU \cdot V_i} \right] + \left(\frac{1}{CU \cdot \frac{D}{T}} \right) \cdot \sum_{i=3}^4 \left(\frac{t_i}{T} \right) \cdot \left[\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right] =
 \end{aligned}$$

Περαιτέρω, θεωρώντας ότι η ακόλουθη παράμετρος εκφράζει την ενεργειακή κατάσταση του πλοίου σε αντιστοιχία με τον ορισμό του EEDI, ορίζεται ο Operation Scenario (Dynamic) Index που καταδεικνύει την ενεργειακή κατάσταση του πλοίου τόσο από επιχειρησιακή άποψη όσο και από άποψη σχεδιασμού.

$$\left[\frac{\left(\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right)}{CU \cdot V_i} \right]$$

Αντίστοιχα, θεωρώντας ότι η ακόλουθη παράμετρος είναι ικανή να χαρακτηρίσει την ενεργειακή αποδοτικότητα σε σκέλη όπου η ταχύτητα δεν λαμβάνεται υπόψη, ορίζεται ο partial Operation Scenario (Static) Index.

$$\left[\frac{mCO_{2(t_i)}}{t_i} \right]$$

Από τις ανωτέρω θεωρήσεις, η τελική εξίσωση του VENEFI αποτυπώνεται ως:



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας

“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

$$VENEFI(T = t_j) = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{D_i}{D} \cdot VENEFI_{OS(D)}(V_i) \right] + \frac{1}{CU \cdot \frac{D}{T}} \cdot \sum_{i=3}^4 \left[\frac{t_i}{T} \cdot VENEFI_{OS(S)}(i) \right]$$

Υπολογίζοντας το δείκτη από την τελευταία εξίσωση, και συγκρίνοντάς τον με το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εξίσωση για χρήση με τα πραγματικά δεδομένα δύναται να προκύψει ένα εργαλείο συσχέτισμού μεταξύ σχεδιασμού και επιχειρησιακής χρήσης του πλοίου.



4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ

4.1 Πρότυπα

Όπως έχει αναφερθεί, η κατανάλωση ενέργειας συνεπάγεται περιβαλλοντική επιβάρυνση που οδηγεί στην κλιματική αλλαγή. Μέσω προτύπων δίνεται η δυνατότητα στις εταιρείες να αναλύουν τις επιπτώσεις του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

4.1.1 ISO 14001:2015

Αποτελεί σειρά προτύπων που ασχολούνται με συστήματα ενεργειακής διαχείρισης, περιβαλλοντικούς ελέγχους, αξιολόγηση περιβαλλοντικής απόδοσης κ.α. Το κύριο πεδίο εφαρμογής του ISO 14001 είναι η αναγνώριση συγκεκριμένων πτυχών που επηρεάζουν το περιβάλλον και η παροχή μεθοδολογίας για τη διαχείριση και τον έλεγχό τους στο πλαίσιο ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης. Από τη στιγμή που η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να ελεγχθεί, καθίσταται εφικτή και η ανάλυση των αντίστοιχων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης της ενεργειακής αποδοτικότητας και εκπομπών, δίνεται η δυνατότητα στις εταιρείες να επιδείξουν τη δέσμευσή τους για έλεγχο αυτών των περιβαλλοντικών πτυχών.

4.1.2 ISO 14031:2013

Το συγκεκριμένο πρότυπο παρέχει οδηγίες για το σχεδιασμό και αξιοποίηση της περιβαλλοντικής αξιολόγησης καθώς επίσης και οδηγίες για τον εντοπισμό και επιλογή κατάλληλων δεικτών για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης.

4.1.3 Global Reporting Initiative (GRI)

Πρόκειται για ανεξάρτητο ίδρυμα που παρέχει υπό μορφή πρωτοκόλλων, μεθοδολογίες για αναφορά δεδομένων. Οι οδηγίες εφαρμόζονται από οργανισμούς σε



εθελοντικό επίπεδο προκειμένου να αναφέρουν με τυποποιημένο τρόπο δεδομένα που αφορούν στις δραστηριότητες, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους. Ένα από τα πεδία εφαρμογής αφορά σε αναφορές περί κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αέριων ρύπων σύμφωνα με τους ενεργειακούς δείκτες κατανάλωσης GRI 302 (energy) (GRI, 2016) και GRI 305-2 (emissions) (GRI, 2016). Οι ιδιοκτήτες πλοίων που επιλέγουν να αναφέρουν τις δραστηριότητες της περιβαλλοντικής βιωσιμότητάς τους σύμφωνα με το GRI πρέπει να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την ενέργεια που καταναλώνουν, τους ρύπους που εκπέμπουν και να αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για τη μείωσή τους.

4.2 Ενεργειακός έλεγχος πλοίων

Σύμφωνα με το ISO 50001:2018, οι ενεργειακές επιθεωρήσεις αποτελούν δομικό και υποχρεωτικό στοιχείο των διεργασιών παρακολούθησης και ελέγχου απόδοσης του κάθε συστήματος και λαμβάνουν χώρα υπό το πρίσμα συγκεκριμένων απαιτήσεων στο πλαίσιο ενός ευρύτερου συστήματος διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System-EnMS). Η διαφορά αυτού του συστήματος όταν εφαρμόζεται από τη ναυτιλία σε σχέση με το πλάνο SEEMP του IMO, έγκειται αφενός στο γεγονός της υποχρεωτικότητας, αφετέρου στο πεδίο εφαρμογής. Το EnMS είναι υποχρεωτικό για την πιστοποίηση υπό ISO 50001, προσανατολίζεται στο εταιρικό επίπεδο και άπτεται ενεργειακών θεμάτων τα οποία καλείται να διαχειριστεί η ανώτερη διοίκηση. Στον αντίποδα, το SEEMP εφαρμόζεται εθελοντικά και σε επίπεδο πλοίου (IMO, 2016). Στη ναυτιλία, οι ενεργειακές επιθεωρήσεις αποσκοπούν στη συστηματική και ποσοτική προσέγγιση της ενεργειακής κατάστασης που επικρατεί σε ένα πλοίο ή εταιρεία, στον εντοπισμό ενεργειακών παραγόντων που άπτονται βελτίωσης και στη στοιχειοθέτηση προτεινόμενων μέτρων μέσω ανάλυσης σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος (root-cause analysis).

4.2.1 Είδη Ενεργειακών επιθεωρήσεων

Οι ενεργειακές επιθεωρήσεις κατά κύριο λόγο χωρίζονται στις προκαταρκτικές και στις λεπτομερείς επιθεωρήσεις. Οι προκαταρκτικές επιθεωρήσεις είναι σχετικά σύντομες και αποσκοπούν στον καθορισμό της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης, την εκτίμηση των

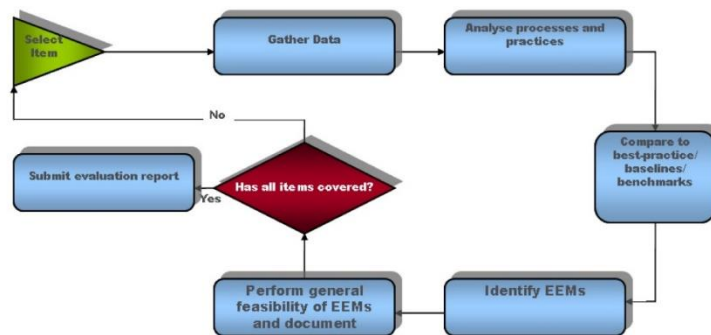


περιθωρίων για ενεργειακή εξοικονόμηση, στην αναγνώριση πιθανών και άμεσων πεδίων βελτίωσης, στον ορισμό των αντίστοιχων KPIs ως γραμμή βάσης για την εταιρεία/πλοίο καθώς επίσης και στην αναγνώριση τομέων που απαιτούν περαιτέρω μελέτη και διερεύνηση. Η λεπτομερής ενεργειακή επιθεώρηση παρέχει λεπτομερέστερη προσέγγιση μέσω συλλογής και αξιολόγησης περισσότερων και ακριβέστερων δεδομένων με σκοπό την παροχή ικανών πληροφοριών που να επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων που να οδηγούν σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Επίσης αξιολογεί αποτελεσματικά όλα τα κύρια ενεργειακά συστήματα που περιλαμβάνει η εταιρεία ή το πλοίο και εκτιμά με μεγάλη ακρίβεια όλα τα δυνατά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας με κριτήριο το συνεπαγόμενο κόστος εφαρμογής.

4.2.2 Διαδικασία Ενεργειακών Επιθεωρήσεων

Όταν η ενεργειακή επιθεώρηση πραγματοποιείται στο πλαίσιο πλοίου, αυτή αφορά στην αξιολόγηση της ενεργειακής του απόδοσης και στην αναγνώριση των πιθανών ενεργειακών μέτρων (Energy Efficiency Measures-EEMs). Συνεπώς, αφορά στην ολική αξιολόγηση της κατανάλωσης καυσίμου προκειμένου να ακολουθήσουν τα αντίστοιχα EEMs ώστε με τη σειρά τους να ενσωματωθούν στο αντίστοιχο SEEMP. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα αποτυπώνονται σχηματικά στο ακόλουθο σχήμα 28 και τα πεδία ελέγχου στο σχήμα 29.

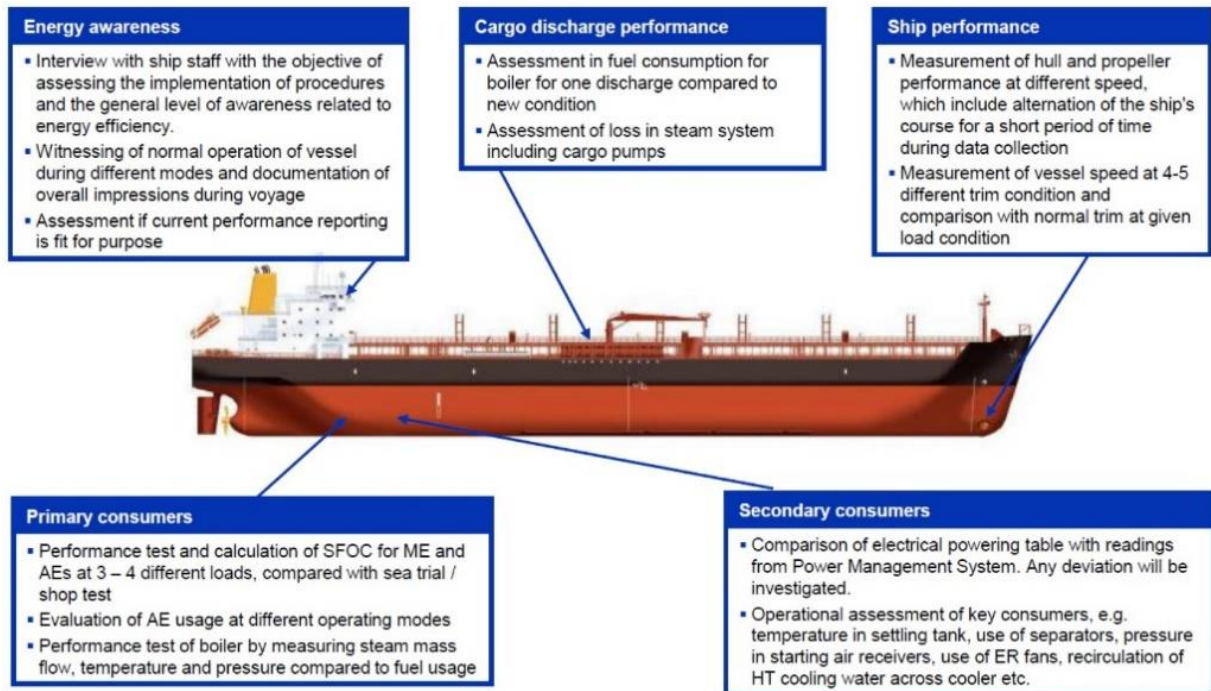
Σχήμα 28: Διαδικασία ενεργειακής επιθεώρησης



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2016) «Energy audit process»



Σχήμα 29: Ενδεικτικά πεδία αξιολόγησης ενεργειακών επιθεωρήσεων



Πηγή: Σχήμα του (IMO, 2016) «Ship energy audit – Example areas to be assessed»

4.2.3 Στάδια ενεργειακών επιθεωρήσεων

Οι επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο (Pre-Audit) πραγματοποιείται η συλλογή των προκαταρκτικών δεδομένων (σχεδιαστικά στοιχεία πλοίου, επιχειρησιακά δεδομένα, ταχύτητα πλοίου κατά τις δοκιμές αποδοχής κ.α.). Τα στοιχεία αυτά ελέγχονται και καθορίζονται τα αρχικά υποψήφια πεδία ελέγχου. Στο δεύτερο στάδιο (Audit) λαμβάνει χώρα η επιθεώρηση του πλοίου, η ανάλυση των δεδομένων και η υποβολή των σχετικών αναφορών. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο (Post-Audit), πραγματοποιούνται υποστηρικτικές δραστηριότητες που στοχεύουν στην εφαρμογή των ευρημάτων από τον πελάτη.

4.2.4 Ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται υπόκεινται σε ανάλυση ως προς το επιχειρησιακό προφίλ του πλοίου, την κατανάλωση καυσίμου, την απόδοση της γάστρας και την απόδοση



των μηχανών. Η επιχειρησιακή ανάλυση αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των δραστηριοτήτων του πλοίου προκειμένου να καθοριστούν οι ιδανικοί χρόνοι και διαστήματα αυτών (σκέλη πλόων, ελλιμενισμοί, φορτοεκφορτώσεις, δεξαμενισμοί συντήρησης κ.α.). Η ανάλυση του προφίλ κατανάλωσης καυσίμου εκπροσωπεί την ισορροπία του καταναλωθέντος καυσίμου από τα διάφορα συστήματα του πλοίου και αναδεικνύει αν κάποιο από αυτά τα συστήματα καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα αναμενόμενα επίπεδα. Η ανάλυση της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας του πλοίου και της ισχύος της μηχανής αποτελεί το μέσο αξιολόγησης της απόδοσης της γάστρας (μόλυνση γάστρας ή/και έλικας). Τέλος, η αξιολόγηση των δεδομένων που αφορά στη λειτουργία της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών, βασίζονται στα δεδομένα που προκύπτουν από τις περιοδικές επιθεωρήσεις που εκτελούνται σε επίπεδο πλοίου ώστε να πιστοποιηθεί το επίπεδο βελτιστοποίησης λειτουργίας τους (μετρήσεις καύσεως και συμπίεσεως κυλίνδρων, ταχύτητα στρέψης υπερπληρωτών, θερμοκρασίες καυσαερίων, πιέσεις σαρώσεως κ.α.).

4.2.5 Τεχνο-οικονομική ανάλυση

Τα στοιχειοθετημένα προκύπτοντα EEMs, πρέπει να συνοδεύονται από αντίστοιχη ανάλυση κόστους-οφέλους, προκειμένου να συνεκτιμηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα που θα προκύψει από ενδεχόμενη εισαγωγή τους στο SEEMP ή στο EnMS σε σχέση με το απαιτούμενο κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση/εφαρμογή και κόστος συντήρησής τους.

4.3. Η συγκριτική αξιολόγηση και εφαρμογή

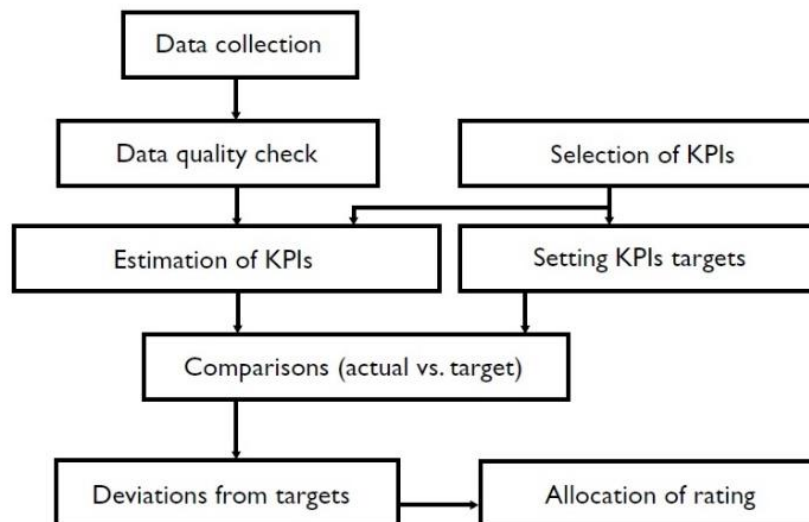
Ως συγκριτική αξιολόγηση ορίζεται η διαδικασία με την οποία η απόδοση ενός συστήματος συγκρίνεται με την απόδοση ενός ετέρου συστήματος αναφοράς με σκοπό τη βελτίωση. Η ενεργειακή συγκριτική αξιολόγηση επικεντρώνεται στη συγκριτική ανάλυση της καταναλισκόμενης ενέργειας από μια μονάδα, συνεπώς η έννοια μπορεί να επεκταθεί και στη συγκριτική αξιολόγηση των αντίστοιχων εκπεμπόμενων ρύπων μέσω της συλλογής και της ανάλυσης αντίστοιχων και κατάλληλων δεδομένων.



Στο ναυτιλιακό κλάδο η συγκριτική αξιολόγηση επιτρέπει τη στοχοθεσία και τη διοχέτευση κατάλληλων πόρων για βελτίωση, μέσω της απόκτησης ευρείας ένδειξης των αποκλίσεων απόδοσης των πλοίων σε σχέση με καθορισμένες γραμμές αναφοράς. Οι ενδείξεις αυτές ακολούθως συγκεκριμενοποιούνται μέσω των ενεργειακών επιθεωρήσεων, οι οποίες αναγνωρίζουν το εκάστοτε πεδίο που άπτεται βελτίωσης καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτή θα υλοποιηθεί.

Η εφαρμογή της αξιολόγησης μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε νέα είτε σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Στα νέα πλοία η διαδικασία δύναται να λάβει χώρα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των δοκιμών αποδοχής και να συνεχίσει κατά την επιχειρησιακή ζωή του πλοίου ασχέτως του καθεστώτος ναύλωσης (ναύλωση spot, χρονοναύλωση ή ναύλωση πλοίου «γυμνού»). Τα βασικά τμήματα της μεθοδολογίας μπορούν να απεικονιστούν στο ακόλουθο σχήμα 30 το οποίο περιλαμβάνει την αναγνώριση-επιλογή των Key Performance Indicators (KPIs) και τις τιμές αναφοράς τους, τη συλλογή δεδομένων και την πιστοποίησή τους καθώς και υπολογισμό-σύγκριση των KPIs σε σχέση με τις καθορισμένες τιμές αναφοράς.

Σχήμα 30: Διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης



Πηγή: Σχήμα του (Bazari, 2007) «Benchmarking/rating process»



Τα δεδομένα υπολογισμού των KPIs ανάγονται σε τυποποιημένες καταστάσεις αναφοράς, όπως το βύθισμα του πλοίου, η ταχύτητα, συγκεκριμένο καύσιμο και μέσες /συνήθεις περιβαλλοντικές συνθήκες πλεύσης. Τα όρια σύγκρισης προκύπτουν από συστηματικές επεξεργασίες που χαρακτηρίζουν το κάθε πλοίο ή σύστημα του πλοίου που τελεί υπό αξιολόγηση (πχ. ταχύτητες δοκιμαστικών πλόων).

4.3.1 Σχήμα ενεργειακής διαβάθμισης

Για να λάβει μορφή η κατανομή της ενεργειακής βαθμολογίας που λαμβάνει το πλοίο από την αξιολόγηση, απαιτείται η δόμηση συστήματος αξιολόγησης. Το σύστημα αξιολόγησης στηρίζεται σε ένα KPI ο οποίος χαρακτηρίζεται από τυποποιημένο όριο. Συνήθως το όριο αυτό είναι ο χαμηλότερος κοινός παρονομαστής μιας μεγάλης ομάδας πλοίων ή ίδιων συστημάτων πλοίων. Στον ακόλουθο πίνακα 19 παρατίθεται ένα ενδεικτικό σχήμα ενεργειακής διαβάθμισης, στο οποίο τα πλοία κατατάσσονται σε εύρη όπου η βαθμολογία «1» αντιστοιχεί στο πλέον αποδοτικό πλοίο ενώ η «10» στο ελάχιστο αποδοτικό. Επιπλέον, ο KPI τυποποιημένου ορίου έχει καθοριστεί στο εύρος «4».

Πίνακας 19: Ενδεικτικός πίνακας Σχήματος ενεργειακής διαβάθμισης

| Rating | Description | Comments |
|--------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Index < RB - 10% | most efficient (design) |
| 2 | RB - 10% =< Index < RB - 6 % | |
| 3 | RB - 6% =< Index < RB - 2% | |
| 4 | Index = RB +/- 2% | Standard (design) |
| 5 | RB +2% < Index =< RB +6% | |
| 6 | RB +6% < Index =< RB +10% | |
| 7 | RB +10% < Index =< RB +15% | least efficient (design) |
| 8 | RB +15% < Index =< RB +20% | |
| 9 | RB +20% < Index =< RB +25% | |
| 10 | Index > RB +25% | least efficient (operation) |

RB: "Reference Benchmark" for ship energy performance evaluation.

Πηγή: Πίνακας του (Bazari, 2007) «Concept energy rating scheme»



4.3.2 Key Performance Indicators (KPIs)

Χαρακτηριστικοί KPIs (Bazari, 2007) για την αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός πλοίου αντιστοιχούν στην κατανάλωση καυσίμου, στην ένταση ενέργειας πλοίου, στην ένταση ενέργειας της εγκατάστασης προώσεως και στην ένταση των εκπομπών CO₂.

4.3.2.1 Fuel Consumption Index (FCI)

Ως FCI ορίζεται το ποσό του καταναλωθέντος καυσίμου από το πλοίο ανά μεταφερόμενο τόνο φορτίου και διανυθείσα απόσταση. Ως μεταφερόμενο φορτίο δύναται να χρησιμοποιηθεί το DWT ή το εκτόπισμα του πλοίου. Το καταναλωθέν καύσιμο δύναται να εκφραστεί ως κατανάλωση της κύριας μηχανής και η διανυθείσα απόσταση ως αναλογία της ταχύτητας.

$$FCI = P_{ME} \cdot BSFC / \text{weight carried} / \text{ship speed}$$

Ο συγκεκριμένος KPI μπορεί να υπολογιστεί με λίγα και άμεσα προσβάσιμα δεδομένα ενώ παράλληλα γίνεται άμεσα κατανοητός. Χρήζει όμως διαδικασιών κανονικοποίησης διότι εξαρτάται από το καύσιμο και συγκεκριμένα τη θερμοκρασία καυσίμου, η οποία μεταξύ πλοίων ενδέχεται να διαφέρει.

4.3.2.2 Ship Energy Intensity (SEI)

Ως SEI ορίζεται η ενέργεια που καταναλώνεται από το πλοίο ανά τόνο μεταφερόμενου φορτίου και διανυθείσα απόσταση. Μετράται σε kJ/t-nm και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$SEI = FCI \cdot LHV$$

όπου LHV η Fuel Lower Heating Value.



4.3.2.3 Propulsion Energy Intensity (PEI)

Ως PEI ορίζεται το ποσό της ενέργειας πρόωσης (από τον κύριο άξονα) που απαιτείται για τη μετατόπιση ενός τόνου μεταφερόμενου φορτίου για μια δεδομένη απόσταση. Είναι ενδεικτικός του κατά πόσο αποδοτική είναι η ισχύς πρόωσης και εφαρμόζεται για την αξιολόγηση της υδροδυναμικής αποδοτικότητας του πλοίου. Μετράται σε kJ/t-nm και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$PEI = SEI \cdot n_e$$

όπου n_e η συνδυαστική αποδοτικότητα κύριας μηχανής και αξονικού συστήματος.

4.3.2.4 Engine SFC (Specific Fuel Consumption)

Η ειδική κατανάλωση της κύριας μηχανής είναι μέτρο αξιολόγησης της αποδοτικότητας του καυσίμου. Κατά κύριο λόγο εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος της εγκατεστημένης μηχανής.

4.3.2.5 CO₂ Intensity (CO₂I)

Ως CO₂I καλείται το ποσό εκπομπών CO₂ που παράγεται από ένα πλοίο όταν μεταφέρεται ένας τόνος φορτίου για δεδομένη απόσταση. Η σχέση που συνδέει το CO₂I με τον FCI περιγράφεται ως:

$$CO_2I = 3,67 \cdot C_{fuel} \cdot FCI$$

όπου C_{fuel} ο περιεχόμενος άνθρακας στο καύσιμο.

Ο συγκεκριμένος KPI όπως έχει αναλυθεί, αποτελεί τη βάση στην οποία βασίζεται το σύνολο των ενεργειακών δεικτών (υποχρεωτικών και εθελοντικών) που περιγράφει ο IMO και η διεθνής βιβλιογραφία. Επειδή όμως ο ναυτιλιακός κλάδος κάνει χρήση εκτεταμένου καταλόγου καυσίμων των οποίων η διαφορετικότητα επηρεάζει το C_{fuel} , ο



CO₂I δεν μπορεί να λειτουργήσει ως ικανοποιητικός KPI για την ενεργειακή σύγκριση πλοίων.

4.3.2.6 BIMCO Shipping KPI Standard V2.6

Η BIMCO, ως διεθνής ναυτιλιακή ένωση εκπροσώπησης πλοιοκτητών, ναυλωτών και ναυλομεσιτών έχει εκδώσει το δικό της πρότυπο με το οποίο οριοθετεί τη δόμηση και λειτουργία των KPIs που δύναται εφαρμοστούν στο ναυτιλιακό κλάδο (BIMCO, 2017). Κατά το πρότυπο, οι KPIs αποτελούν έκφραση απόδοσης του πλοίου σε συγκεκριμένο τομέα, των οποίων η βαθμονομημένη κατάταξη αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό δείκτη συνολικής αξιολόγησης των πλοίων (Shipping Performance Index-SPI). Οι KPIs εκφράζονται είτε ως αριθμητική τιμή που εξάγεται από το συνδυασμό ξεχωριστών και σχετικών με τον αξιολογούμενο τομέα δεικτών απόδοσης είτε ως αριθμητική τιμή η οποία βαθμονομείται σε κλίμακα του 0-100.

Κατά την BIMCO, οι KPIs στοιχειοθετούν την αντικειμενική μέτρηση της απόδοσης ενός συστήματος, αποτελούν κλειδί για τη διαμόρφωση στρατηγικών εταιρικών προτεραιοτήτων, συνιστούν μέσο για την επιδίωξη συνεχούς βελτίωσης και αξιοποιούνται στην εσωτερική και εξωτερική συγκριτική αξιολόγηση.

4.3.2.6.1 CO₂/NO_x/SO_x Efficiency KPI

Ο συγκεκριμένος KPI εκφράζει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου μέσω της σύγκρισης της μάζας CO₂/NO_x/SO_x που εκπέμπει ως προς το μεταφορικό του έργο. Ο δείκτης υπό μορφή αριθμητικής τιμής προκύπτει από την εξίσωση:

$$KPI_{\text{value}} = \frac{A}{B} \cdot 10^3$$

όπου,

A: η μάζα CO₂/NO_x/SO_x που εκπέμπεται.



B: το μεταφορικό έργο σε τονομίλια.

10^3 : παράγοντας μετατροπής ώστε η μονάδα μέτρησης του δείκτη να προκύπτει ως gr/μεταφορικό έργο.

Υπό μορφή βαθμονομημένης κατάταξης ο δείκτης υπολογίζεται ως:

$$KPI_{Rating} = 100 \times \frac{KPI_{Value} - KPI_{MinReq}}{KPI_{Target} - KPI_{MinReq}}$$

όπου,

KPI_{MinReq} : εκπροσωπεί τη μηδενική τιμή του KPI στην κλίμακα 0-100.

KPI_{Target} : εκπροσωπεί τη μέγιστη τιμή του KPI στην κλίμακα 0-100.



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Επί του παρόντος, δεν έχει καταστεί εφικτή η θέσπιση ή πρόταση ενός κοινά αποδεκτού δείκτη που να χαρακτηρίζει ομοιογενώς και με αντιπροσωπευτικότητα την παγκόσμια ναυτιλία. Στον αντίποδα αυτής της διαπίστωσης, ο ναυτιλιακός κλάδος στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής ευσυνειδησίας έχει προβεί στην επιπρόσθετη υιοθέτηση πρωτοβουλιών (EVDI, CCWG, CSI, ESI) προκειμένου να επιτύχει την επιθυμητή ομογενοποίηση της αξιολόγησης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο IMO έχει συνδέσει άρρηκτα τις έννοιες της ενεργειακής αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής πολιτικής. Η αριθμητική αποτίμηση των δράσεων που καταβάλλει ο ναυτιλιακός κλάδος στο πλαίσιο του συνδυασμού της περιβαλλοντικής ευθύνης με την εμπορική βιωσιμότητα, αντιπροσωπεύονται από τους υποχρεωτικούς και εθελοντικούς δείκτες του IMO. Το γεγονός ότι στη βιβλιογραφία υφίστανται καταγεγραμμένες προτάσεις επιπλέον δεικτών που φιλοδοξούν να πλαισιώσουν και να ενισχύσουν τους θεσμικούς δείκτες φανερώνει την ύπαρξη εγγενών αδυναμιών που θα αναλυθούν ακολούθως.

5.1 EEDI

Το γεγονός ότι ο EEDI αναφέρεται αποκλειστικά σε νεοναυπηγηθέντα πλοία αποτελεί το κυριότερο μειονέκτημά του καθιστώντας τον αναποτελεσματικό ως κοινό δείκτη ενεργειακής απόδοσης για τον παγκόσμιο στόλο. Περαιτέρω, καθίσταται ανεπαρκής για τη συνολική αξιολόγηση ενός πλοίου στο σύνολό του, καθότι αποδίδει αριθμητικά την ενεργειακή αποδοτικότητα η οποία προκύπτει αποκλειστικά από τη σχεδίαση. Η ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου δεν εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση καυσίμου των κύριων και βοηθητικών μηχανών αλλά και από το μέγεθος του μεταφερόμενου έργου σε συνδυασμό με την εντατικοποίηση των ναύλων, την ταχύτητα πλεύσης, την ποσοστιαία αξιοποίηση του διαθέσιμου DWT, τη διανυόμενη απόσταση,



τους άφορτους πλόες, τα χρονικά διαστήματα παραμονής του πλοίου σε αγκυροβόλιο ή την παραμονή στο λιμένα για φορτοεκφορτώσεις κλπ.

Η «σχεδιαστική ενεργειακή αποδοτικότητα» που εκπροσωπεί ο δείκτης, βασίζεται στην κατάσταση των μηχανών και της εν γένει μηχανολογικής εγκατάστασης. Συνεπώς, παρέχει εκτίμηση των εκπομπών CO₂ ανά τονομίλια. Ο υπολογισμός βασίζεται σε υποθέσεις σχετικά με την ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος και αποδίδει τη θεωρητική ενεργειακή αποδοτικότητα ενός νεότευκτου πλοίου. Δεν παρέχει όμως ενδείξεις για την επιχειρησιακή ενεργειακή αποδοτικότητά του καθότι παραβλέπει μεταβαλλόμενες παραμέτρους, όπως η πραγματική κατανάλωση καυσίμου (ως προς τις πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες) καθώς και τις παραμέτρους που επηρεάζουν το μεταφερόμενο έργο. Στην ουσία του ζητήματος, δύο πανομοιότυπες νέες ναυπηγήσεις θα μπορούσαν να διαθέτουν ακριβώς τον ίδιο δείκτη EEDI, με ενεργειακό αποτύπωμα εντελώς διαφορετικό λόγω διαφοροποίησης στην επιχειρησιακή τους δραστηριότητα.

Από πλευράς δόμησης του δείκτη, είναι σχετικά εύκολη η επίτευξη του επιθυμητού κριτηρίου (Required EEDI) μιας και το κριτήριο είναι σταθερό και εξαρτώμενο μόνο από τις γραμμές βάσης (baselines), οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από το εκτόπισμα νεκρού βάρους (DWT). Απεναντίας, ο Attained EEDI αυξάνεται σε σχέση με την ισχύ, η οποία με τη σειρά της είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας. Συνεπώς, με την μείωση αποκλειστικά της ταχύτητας, εγκαθιστώντας μηχανές μικρότερης ισχύος και παραβλέποντας την εγκατάσταση λοιπών καινοτόμων σχεδιάσεων (βελτιωμένη γάστρα, προπέλα, συστήματα PTO/PTI κ.α.), ένα πλοίο μπορεί εύκολα να ικανοποιήσει τα κριτήρια του δείκτη. Όμως, μηχανές μικρότερης ιπποδύναμης αναγκάζονται σε εκπομπές περισσότερων ρύπων όταν το πλοίο προσπαθεί να ανταποκριθεί σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (IMO, 2010).

Η «εύκολη» τακτική μείωσης της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος θέτει ως επιπρόσθετο θέμα προβληματισμού αυτό της ασφάλειας στη ναυσιπλοΐα. Πλοία υψηλών



ταχύτητων όπως τα πλοία τακτικών γραμμών, παρουσιάζουν μεγάλο περιθώριο μείωσης της μέγιστης ταχύτητας πλεύσης σε σχέση με πιο αργά πλοία όπως αυτά του χύδην κλάδου. Συνέπεια αυτού αποτελεί η δυσκολία ανταπόκρισης των συγκεκριμένων πλοίων σε περιοχές που επικρατούν καταστάσεις υψηλών εντάσεων ανέμου και κυματισμού. Στο πλαίσιο αυτό έχει προταθεί ως μείζων παράμετρος εξέτασης ο ορισμός περιορισμένων ορίων ταχύτητας (κατά τις δοκιμές αποδοχής (sea trials)) αντί της μειωμένης εγκατεστημένης ισχύος. Αυτή η πρόταση συνδυάζει το πλεονέκτημα επαρκούς διατιθέμενης ισχύος για κάθε επιχειρησιακή ανάγκη αλλά και τη δημιουργία κινήτρων για τα ναυπηγεία προκειμένου να σχεδιάζουν αποδοτικότερες γάστρες και υπερ-κατασκευές (Psaraftis, 2019).

5.2 EEXI

Παρά το γεγονός ότι είναι εφικτές πολλές μέθοδοι μείωσης του Attained EEXI όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, υπάρχουν περιπτώσεις που η υφιστάμενη τεχνολογία ενός πλοίου δεν μπορεί να συνδυαστεί επαρκώς με τα προτεινόμενα μέτρα προκειμένου να επιτυγχάνεται η μείωση και ο εκάστοτε πλοιοκτήτης αναγκάζεται σε απόσυρση του σκάφους.

Πολλά εκ των ESDs δεν είναι εφικτό να εγκατασταθούν ταυτόχρονα ώστε να συμβάλουν συνδυαστικά στη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (και κατά συνέπεια των εκπομπών CO₂) καθότι είναι πιθανό η εγκατάσταση και λειτουργία μερικών να παρεμβαίνει στην αποδοτικότητα άλλων. Πέραν των ανωτέρω, τα κόστη αρκετών εκ των υπονήφιων ESDs είναι σημαντικά και γι' αυτό το λόγο η αξιολόγηση της δυνατότητας εγκατάστασής τους οφείλει να ακολουθεί μια οικονομοτεχνική προσέγγιση των προσφερόμενων οφελών στη μείωση του EEXI σε σχέση με την ενδεχόμενη απόσυρση του πλοίου.

Οι περισσότεροι πλοιοκτήτες επιλέγουν την εφαρμογή του συστήματος OPL ως την οικονομικότερη και αμεσότερη λύση, το οποίο έχει επίπτωση στην ταχύτητα του



πλοίου. Η μειωμένη ταχύτητα επιφέρει συνέπειες ως προς τις συμβατικές υποχρεώσεις μιας πλοιοκτήτριας εταιρείας στις μακροχρόνιες ναυλώσεις των πλοίων της για την περίπτωση που η εφαρμογή OPL επιφέρει αλλαγές στους προσυμφωνημένους χρόνους άφιξης και αναχώρησης του πλοίου στα καθορισμένα λιμάνια. Από τη μεριά των ναυλωτών αντίστοιχα, υφίσταται ενδιασμός για τη σύναψη μακροχρόνιων ναυλοσυμφώνων, το οποίο έχει άμεση επίπτωση στην εμπορική αξιοποίηση του υφιστάμενου στόλου και στη δημιουργία μακροπρόθεσμου και σταθερού κέρδους για τον κλάδο. Κατά συνέπεια, τα μειωμένα κέρδη οδηγούν σε επενδυτική αβεβαιότητα ως προς την αξιοποίηση νέων και κοστοβόρων ενεργειακών μέτρων βελτίωσης και η ναυτιλιακή αγορά, όπως και οι επιστημονικές καινοτομίες στο ναυτιλιακό κλάδο, οδηγούνται σε επιπέδωση.

Από πρακτικής άποψης, είναι σημαντικό ο υπολογισμός του Attained EEXI να λάβει χώρα βασιζόμενος σε ακριβή δεδομένα. Για την περίπτωση που ο αρχικά υπολογιζόμενος Attained EEXI προκύψει από ανακριβή τιμή V_{ref} , ενέργειες βελτίωσής του μπορεί να οδηγήσουν σε ενδεχόμενη αξιοποίηση εσφαλμένων επιχειρησιακών ή/και τεχνικών μέτρων που θα έχουν δυσμενείς οικονομικές επιπτώσεις επενδυτικού κεφαλαίου στον πλοιοκτήτη και μη επιθυμητή μείωση της τιμής του Required EEXI. Αντίστοιχα, Attained EEXI που η τιμή του είναι το πολύ ίση με αυτή του Required (υπό την υπόθεση ότι έχει υπολογιστεί με λανθασμένη V_{ref}) μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις από πλευράς επιχειρησιακής αξιοποίησης του πλοίου σε σχέση με τον ανταγωνισμό λόγω λανθασμένης ταχύτητας πλεύσης.

Τέλος, προσπάθειες μείωσης του EEXI πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις τυχόν επιπτώσεις που μπορεί να έχουν τα εφαρμοζόμενα μέτρα στην ασφάλεια του πληρώματος και του πλοίου. Η εφαρμογή συστήματος OPL για παράδειγμα, επιφέρει, όπως αναφέρθηκε, μείωση στην αξιοποιούμενη μέγιστη ισχύ της κύριας μηχανής και συνεπώς στα ελκτικά στοιχεία του πλοίου. Μια τέτοια κατάσταση ενδεχομένως να επηρεάσει με δυσμενείς συνέπειες το πλοίο σε συνθήκες αυξημένης κακοκαιρίας, ελιγμών για την αποφυγή συγκρούσεων στη θάλασσα, διασώσεις ναυαγών κ.α.



5.3 ΕΕΟΙ

Μια θεωρητικά υποχρεωτική εφαρμογή του δείκτη στην προσπάθεια βελτίωσης της αντιπροσωπευτικότητάς του σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές CO₂ για το ναυτιλιακό κλάδο, δύναται να αντιμετωπίσει προκλήσεις αποδοχής. Το γεγονός ότι ο υπολογισμός του ΕΕΟΙ βασίζεται σε «πραγματικά» στοιχεία όπως η μετρούμενη κατανάλωση καυσίμου, η πραγματικά διανυθείσα απόσταση και η κατάσταση φορτώσεως (σε αντίθεση με τους EEDI/EEXI που βασίζονται σε σχεδιαστικά δεδομένα) απαιτεί τη δημοσιοποίηση ευαίσθητων εταιρικών δεδομένων, τα οποία πλοιοκτήτες και ναυλωτές επιθυμούν να παραμένουν κρυφά. Αφετέρου, μια «ευθεία» σύγκριση διαφορετικών τύπων πλοίων που μεταφέρουν διαφοροποιημένο φορτίο αλλά και πλοίων διαφορετικής ηλικίας (παλαιότερες μηχανές παρουσιάζουν αυξημένες καταναλώσεις καυσίμου σε σχέση με αντίστοιχες νεότερης ηλικίας) δύναται να οδηγήσει σε αναληθή ή μη συγκρίσιμα συμπεράσματα με επιπτώσεις τόσο στον ανταγωνισμό για τη διεκδίκηση ναύλων όσο και σε προστριβές μεταξύ πλοιοκτησίας και ναυλωτών.

Ο ΕΕΟΙ μπορεί να βελτιωθεί μέσω της αύξησης του μεταφερόμενου φορτίου ή μέσω της εφαρμογής μέτρων βελτίωσης της κατανάλωσης καυσίμου, όπως πλους με σημαντικά μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τη μέγιστη (slow steaming), μετατροπές/μετασκευές στο πλοίο, τροποποίηση του πλου βάσει των επικρατούντων καιρικών συνθηκών στα δρομολόγια (weather routing) κ.α. Παρ’ όλα αυτά, από τη στιγμή που ο υπολογισμός του ΕΕΟΙ βασίζεται στις δραστηριότητες και στην επιχειρησιακή αξιοποίηση του κάθε πλοίου (συμπεριλαμβάνοντας τις όποιες πραγματοποιούμενες τροποποιήσεις), ο δείκτης μεταβάλλεται αντίστοιχα με την πάροδο του χρόνου και μεταξύ ναύλων. Για το λόγο αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως «σταθερά» που να καταδεικνύει τη συνεχή ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου.

Κατά τη συνήθη πρακτική, το προσωπικό των εγκαταστάσεων ξηράς επωμίζεται την υποχρέωση υπολογισμού του ΕΕΟΙ στο πλαίσιο οργάνωσης και παρακολούθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων, ενώ το προσωπικό του πλοίου την εφαρμογή του



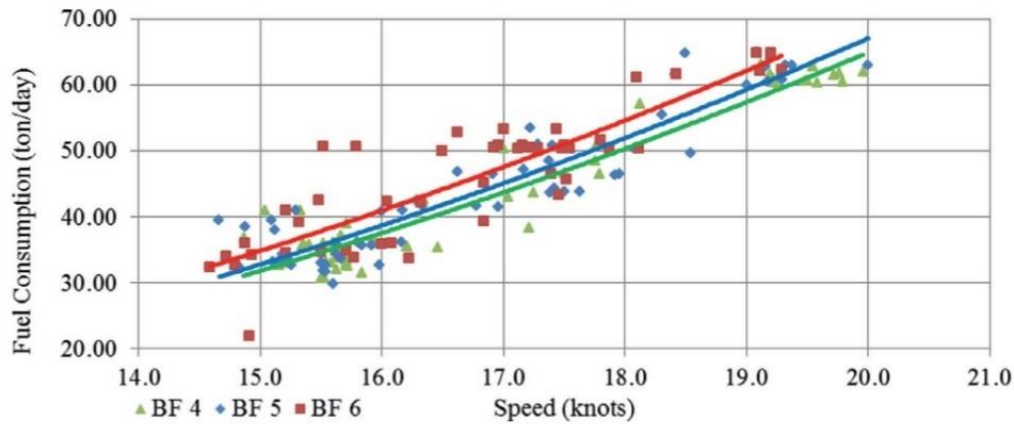
πλάνου SEEMP. Η διαδικασία παρακολούθησης, ελέγχου και αξιολόγησης αποτελεί από μόνη της μεγάλη πρόκληση. Κατά τους πραγματοποιούμενους ελέγχους, οι ενεργειακοί επιθεωρητές (energy auditors) όταν βασίζονται μόνο στον ΕΕΟΙ για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιπέδων των πλοίων, εξετάζουν το Rolling Average ΕΕΟΙ προκειμένου να αναγάγουν την απόδοση των πλοίων σε πιο ομοιόμορφη κλίμακα. Αυτή η τακτική ακολουθείται καθότι η εξέταση του ΕΕΟΙ ανά πλοίο οδηγεί ενδεχομένως σε μεγάλες διακυμάνσεις λόγω της εξ’ ορισμού εξάρτησης του δείκτη από αστάθμητους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες. Στον αντίποδα, η ιδιαιτερότητα αυτή ενδέχεται να αξιοποιηθεί κακοπροαίρετα από ναυλωτές που αποσκοπούν στην αθέμιτη κερδοφορία.

5.4 CII

Όπως έχει ήδη περιγραφεί, ο κανονισμός που καθορίζει τον υπολογισμό του attained CII, εξετάζει για τα πλοία άνω των 5000 GT, την ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τα διανυόμενα μίλια μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του δείκτη με το μέσο όρο που προκύπτει από τα αντίστοιχα αποτελέσματα των πλοίων της συγκεκριμένης κατηγορίας. Το αποτέλεσμα κατατάσσει το πλοίο σε μία από τις πέντε κατηγορίες ενεργειακής αποδοτικότητας. Αν οι προκύπτουσες καταναλώσεις καυσίμου μαζί με τα αντίστοιχα διανυθέντα μίλια του πλοίου για το εξεταζόμενο ημερολογιακό έτος προσεγγίζουν το μέσο όρο των πλοίων της κατηγορίας, τότε το πλοίο κατατάσσεται στην κατηγορία C. Όμως, για την περίπτωση που το ίδιο πλοίο εκτελεί πλόες υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (ήρεμες θάλασσες και ήπιους/ευνοϊκούς ανέμους), τότε το πλοίο θα δύναται να καταταγεί σε βελτιωμένες κλίμακες (A ή B). Αντίστοιχα, αν το ίδιο πλοίο δραστηριοποιείται σε δυσμενή περιβάλλοντα τότε οι αυξημένες απαιτήσεις σε κατανάλωση καυσίμου δυνητικά θα το κατατάξουν σε κατηγορία E ή και D.

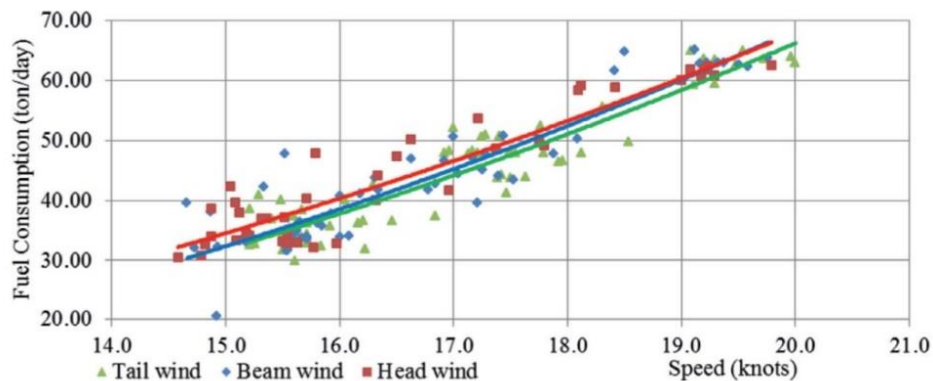


Σχήμα 31: Συσχετισμός κατανάλωσης καυσίμου και κατάσταση θαλάσσης



Πηγή: Σχήμα του (Bialystocki, 2016) «The effect of sea state on the speed and fuel consumption curve»

Σχήμα 32: Συσχετισμός κατανάλωσης καυσίμου και ανέμου



Πηγή: Σχήμα του (Bialystocki, 2016) «The effect of wind direction on the speed and fuel consumption curve»

Η προσέγγιση του δείκτη από πλευράς σύγκρισης της απόδοσης των πλοίων σε σχέση με την απόδοση του προηγούμενου ημερολογιακού έτους δύναται να προβληματίσει λόγω της μεταβλητότητας η οποία περιβάλλει το καθεστώς λειτουργίας του ναυτιλιακού κλάδου.

Ένα άλλο σημείο σκεπτικισμού αποτελεί το γεγονός ότι ο δείκτης δεν εξετάζει την πραγματική χρήση των πλοίων. Η ποσότητα εκπομπών CO₂ ανά ολική χωρητικότητα και



ανά ναυτικά μίλια αποτελεί την εγγυημένα αντικειμενική αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός πλοίου. Όμως, πλοία ίδιας κατηγορίας που ταξιδεύουν τις ίδιες αποστάσεις με διαφορετικές καταστάσεις φορτώσεως (πλήρως έμφορτα-εντελώς άφορτα) θα έχουν εντελώς αντιδιαμετρική κατάταξη στις κατηγορίες ενεργειακής αποδοτικότητας καθότι τα ελαφρύτερα πλοία θα καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο και συνεπώς θα διαθέτουν βελτιωμένο CII.

Επίσης, η χρήση στατιστικής για την εξαγωγή μέσων όρων ως μεθοδολογία υπολογισμού των ορίων, δε συνάδει με την πραγματική δομή του υπάρχοντος στόλου που χαρακτηρίζεται από μεγάλη σχεδιαστική και επιχειρησιακή διαφοροποίηση ακόμα και για πλοία εντός του ίδιου τύπου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πλοία μεταφοράς επιβατών (ferries). Η αναντιστοιχία μεταξύ μεθοδολογίας βασιζόμενης σε αναγωγές μέσων όρων και της υφιστάμενης ανομοιογένειας του στόλου θα δυσκολέψει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με ενδεχόμενες επενδύσεις σε εφαρμογές νέων τεχνολογιών που επιφέρουν σημαντικό κόστος υλοποίησης. (Roos, 2022).

Ο δείκτης μπορεί να θεωρηθεί ως εμπορικά πολύπλοκος (Chambers, 2022) εφόσον επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο το κάθε πλοίο αξιοποιείται επιχειρησιακά. Υπό καθεστώς ναύλωσης κατά ταξίδι (spot chartering), η υποχρέωση για τη διατήρηση ή τη βελτίωση του CII επιβαρύνει τον ιδιοκτήτη. Στη χρονοναύλωση (time chartering) όμως, συνθήκες λειτουργίας του πλοίου που ενδεχομένως δεν θα καλύπτουν τις απαιτήσεις required CII, θα συμβάλουν στη δυσμενή ενεργειακή κατηγοριοποίησή του, που μετά το πέρας του συμβολαίου χρονομίσθωσης, ως επιστραφέν στον πλοιοκτήτη, θα συνοδεύεται από δυσχέρεια νέας εμπορικής εκμετάλλευσης.

Το γεγονός ότι ο υπολογισμός του δείκτη επηρεάζεται και από σχεδιαστικά/ναυπηγικά στοιχεία πέραν της προσαρμογής που δύναται να επιτευχθεί επιχειρησιακά, ενδεχομένως να εγείρει δικαστικές διαμάχες μεταξύ πλοιοκτησίας και ναυλωτών σε περίπτωση ενεργειακής υποβάθμισης του πλοίου και μη καταγραφής κάποιας σχεδιαστικής/ναυπηγικής παραμέτρου στα σχετικά ναυλοσύμφωνα. Συνεπώς, το



νέο πλαίσιο λειτουργίας που επιβάλλει το μέτρο θα απαιτεί ένα επαυξημένο βαθμό συνεργασίας κι εμπιστοσύνης μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. (Roche, 2023).

Η εφαρμογή του δείκτη εκτιμάται ότι θα ωθήσει τη ναυτιλία στην υιοθέτηση μειωμένων ταχυτήτων πλεύσης για τα λιγότερο «οικολογικά» πλοία στην προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου (BRS, 2023). Αυτή η εκτίμηση συνεπάγεται την αλλαγή των μοτίβων δραστηριοποίησης των πλοίων που ίσως οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα σχετικά με τις πραγματικές ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων. Στις συνήθεις περιπτώσεις, ένα πλοίο χαμηλότερου ενεργειακού προφίλ θα δραστηριοποιείτο σε μικρότερες αποστάσεις, στην προσπάθεια όμως να επιτύχει βελτιωμένο δείκτη CII θα επιχειρήσει μεγαλύτερους πλόες επιστροφής προκειμένου ο διαιρέτης του τύπου υπολογισμού να επιφέρει το επιθυμητό μειωμένο αποτέλεσμα. Αντίστοιχα, ένα φιλικότερο προς το περιβάλλον πλοίο θα δραστηριοποιηθεί σε μικρότερες αποστάσεις για να επιδιώξει έναν αποδεκτό CII. Αυτή η αναδιάταξη, σε αντιδιαστολή με τις προθέσεις του IMO, θα επιφέρει μεσοπρόθεσμα αυξήσεις στις συνολικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων. (GIBSONSHIPBROKERS, 2022).

5.5 ESI και CSI

Τόσο ο ESI όσο και ο CSI, παρά το γεγονός ότι παρέχουν κίνητρα για περιβαλλοντικές παρεμβάσεις από πλευράς πλοιοκτητών και ναυλωτών, δεν εξασφαλίζουν την αμεροληψία της σύγκρισης και κατά συνέπεια της αξιολόγησης. Η άποψη αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι και οι δύο δείκτες βασίζονται στον EEOI, ο οποίος αποτελεί δείκτη εύκολα μεταβαλλόμενο από πολλές εξωτερικές του πλοίου παραμέτρους. Περαιτέρω, τα δύο αυτά μέτρα επιβάλλουν στους φορείς της ναυτιλίας την κοινοποίηση σε τρίτους των ευαίσθητων εταιρικών δεδομένων.

5.6 EEPI

Ως δείκτης που εφαρμόζει στην εξίσωση υπολογισμού τη χωρητικότητα, αδυνατεί δομικά να εκπροσωπήσει το σύνολο του ναυτιλιακού κλάδου όπως παράκτιες υποδομές



και λειτουργούντα πλοία που δεν εκφράζουν το κοινωνικό όφελος υπό μορφή μεταφοράς φορτίου (ρυμουλκά, βυθοκόρους κ.α.). Όσον αφορά στα πλοία μεταφοράς επιβατών, η χωρητικότητα θα όφειλε να εκφραζόταν ως ολική χωρητικότητα και όχι ως εκτόπισμα νεκρού βάρους. Επιπρόσθετα, δεν μπορεί να εκπροσωπήσει τον κλάδο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων καθώς δε δύναται να κάνει διάκριση της μερικής κατάστασης φορτώσεως η οποία αποτελεί συνήθη πρακτική για τη ναυτιλία γραμμής.

5.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διεθνής ναυτιλία αποτελεί τομέα βιομηχανικής δραστηριότητας που αποδεδειγμένα επιβαρύνει το περιβάλλον και σε συνδυασμό με τις λοιπές ανθρωπογενείς ενέργειες οδηγεί σε μελλοντικά δυσμενή κλιματικά δεδομένα. Τόσο ο ΙΜΟ όσο και η Ευρωπαϊκή Ένωση ως θεσμοί, συντονισμένα και διαχρονικά, επιχειρούν την οριοθέτηση της ναυτιλιακής δράσης επιβάλλοντας βιώσιμη περιβαλλοντική πολιτική που διασφαλίζει την εμπορική συνέχεια και την ευκαιρία κέρδους για τον κλάδο.

Η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας μεταφρασμένη σε όρους κατανάλωσης καυσίμου και συνεπαγόμενων εκπομπών ρύπων, οδήγησε όπως παρουσιάστηκε στα ανωτέρω κεφάλαια, στην εισαγωγή και εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής βελτίωσης, τα οποία αριθμητικά αποδίδονται με τη μορφή ενεργειακών δεικτών. Παράλληλα εισήχθη η έννοια του ενεργειακού πλάνου SEEMP ως δομημένο εθελοντικό εργαλείο ενεργειακής αξιολόγησης και βελτίωσης των πλοίων στα πρότυπα του συστήματος EnMS που εφαρμόζεται στον ευρύτερο βιομηχανικό κλάδο σύμφωνα με τα ISO 14001, 14031 και 50001.

Οι ενεργειακοί δείκτες στην προσπάθεια να εκπροσωπήσουν κατά το δυνατόν πληρέστερα και πλέον ανταποδοτικά το σύνολο της ναυτιλίας, έχουν λάβει διαφοροποιημένη δομή και μορφή ώστε όχι μόνο να μπορούν να εκπροσωπούν ταυτόχρονα παλαιότερες και νέες ναυπηγήσεις ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά,



αλλά και σε σχέση με την επιχειρησιακή μορφή που λαμβάνει η αξιοποίηση του κάθε πλοίου από τον εκάστοτε πλοιοκτήτη ή ναυλωτή.

Η ανάλυση που προηγήθηκε οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μέχρι στιγμής οι ενεργειακοί δείκτες δύναται να αποτελέσουν χρήσιμα εταιρικά εργαλεία που προσφέρουν στα κέντρα λήψεως αποφάσεων της κάθε ναυτιλιακής μια ολιστική και ασφαλή πρόταση όσον αφορά σε παρεμβάσεις ενεργειακής βελτίωσης των πλοίων που θα αποσκοπούν στην εξοικονόμηση πόρων και λειτουργικών κεφαλαίων.

Οι απορρέοντες προβληματισμοί που αποτυπώθηκαν όμως καταδεικνύουν την ύπαρξη θεσμικής δυσχέρειας των δεικτών για ομοιογενή και αντιπροσωπευτική εκπροσώπηση του παγκόσμιου στόλου στη βάση μιας κοινά αποδεκτής ενεργειακής πολιτικής μείωσης των ρύπων με παράλληλη ελαχιστοποίηση στις επιπτώσεις του διαχρονικού ανταγωνισμού. Το γεγονός της εξάρτησης δεικτών όπως ο CII από μεταβαλλόμενο χρονικά συντελεστή αυστηροποίησης καθώς επίσης και η προοπτική επικαιροποίησης των οδηγιών υπολογισμού του το 2026, έχει εισάγει κινδύνους αβεβαιότητας στην πλοιοκτησία και στη ναύλωση για τη μελλοντική οικονομική προοπτική τόσο των υφιστάμενων όσο και των νέων πλοίων.

Αυτή η πραγματικότητα επιτάσσει την ανάγκη για μια ακόμα περισσότερο δομημένη θεσμική προσέγγιση της μέτρησης και αξιολόγησης των ρύπων μέσω της σύνθεσης και στοιχειοθέτησης ενός κοινά αποδεκτού δείκτη που να δύναται να καλύψει την επιδιωκόμενη ομοιογένεια εκπροσώπησης του μεγάλου διαφοροποιημένου παγκόσμιου στόλου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACCELERATOR(UNIDO), I. D., 2023. *Industrial Decarbonization Accelerator*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.industrialenergyaccelerator.org/general/brochure-energy-performance-measurement-indicators-and-benchmarking/>
[Πρόσβαση 24 January 2023].
- Ανčić, e. a., 2018. Determining environmental pollution from ships using Index of Energy. *ELSEVIER*, Τόμος 95, p. 7.
- Bazari, 2007. Ship energy performance benchmarking/rating: methodology and application. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 6(1), pp. 11-18.
- Bialystocki, N., 2016. <https://www.sciencedirect.com/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468013315300127>
[Πρόσβαση 22 February 2023].
- BIMCO, 2017. *BIMCO Shipping KPIs*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.shipping-kpi.org/public/downloads/documentation/Shipping_KPI_Standard_V2.6.pdf
[Πρόσβαση 27 February 2023].
- Britannica, T. E. o. E., 2023. *Encyclopedia Britannica*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>
- BRS, 2023. *BRS*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.brsbrokers.com/eexi-and-cii-enter-into-force/>
[Πρόσβαση 22 February 2023].
- BSR, 2018. <https://www.bsr.org>. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
https://www.bsr.org/reports/BSR_Clean_Cargo_Working_Group_Emissions_Factors_2018.pdf
[Πρόσβαση 24 February 2023].
- BV, 2021. *bureauveritas.com*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/newsroom/reducing-ship-emissions>
- BV, 2021. *Reducing Ship Emissions*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/newsroom/reducing-ship-emissions>
[Πρόσβαση 22 February 2023].
- Chambers, S., 2022. *Splash247*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://splash247.com/imos-carbon-intensity-indicator-comes-in-for-further->



criticism/

[Πρόσβαση 22 February 2023].

ClassNK, 2021. *CII (Carbon Intensity Indicator)* . [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/seemp/CII_en.pdf

[Πρόσβαση 21 March 2023].

ClassNK, 2021. *Outlines of EEXI regulation*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eexi/eexi_rev3e.pdf

[Πρόσβαση 21 March 2023].

ClassNK, 2023. <https://www.classnk.or.jp/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.classnk.or.jp/hp/en/authentication/csi/>

[Πρόσβαση 23 February 2023].

ClassNK, 2023. *SEEMP, IMO DCS and CII*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.classnk.or.jp/hp/en/activities/statutory/seemp/index.html>

[Πρόσβαση 21 March 2023].

DNV, 2023. *CII – Carbon Intensity Indicator*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/CII-carbon-intensity-indicator/index.html>

[Πρόσβαση 22 February 2023].

DNV, 2023. *IMO DCS in a nutshell*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/dcs/index.html>

[Πρόσβαση 21 March 2023].

DNV, χ.χ. *CII – Carbon Intensity Indicator*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/CII-carbon-intensity-indicator/index.html>

[Πρόσβαση 21 February 2023].

ESSD, 2022. *Global Carbon Budget 2021*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://essd.copernicus.org/articles/14/1917/2022/>

[Πρόσβαση 1 March 2023].

EU, 2015. *Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC (Text with EEA relevance)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0757&from=EL>

[Πρόσβαση 24 January 2023].



EU, 2023. *Reducing emissions from the shipping sector*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en
[Πρόσβαση 1 March 2023].

GIBSONSHIPBROKERS, 2022. <https://www.gibsons.co.uk/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.gibsons.co.uk/market-reports>
[Πρόσβαση 22 February 2023].

GRI, 2016. *GRI 302: ENERGY*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.globalreporting.org/standards/media/1009/gri-302-energy-2016.pdf>
[Πρόσβαση 26 February 2023].

GRI, 2016. *GRI 305: EMISSIONS*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://www.globalreporting.org/standards/media/1012/gri-305-emissions-2016.pdf>
[Πρόσβαση 26 February 2023].

IAPH, 2023. *ESI Incentive Provider ports*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.iaphworldports.org/environmental-ship-index-esi/>
[Πρόσβαση 23 February 2023].

IAPH, 2023. <https://www.iaphworldports.org/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.iaphworldports.org/>
[Πρόσβαση 23 February 2023].

IEA, 2022. *International Shipping*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.iea.org/reports/international-shipping>
[Πρόσβαση 20 February 2023].

IMO, 2008. *Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx)
[Πρόσβαση 1 March 2023].

IMO, 2009. *Second IMO GHG Study 2009*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>
[Πρόσβαση 20 February 2023].



IMO, 2014. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.254\(67\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.254(67).pdf)

IMO, 2016. *IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation-Module 6*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/M6%20energy%20management%20plan%20and%20system%20final.pdf>

[Πρόσβαση 27 February 2023].

IMO, 2016. *MEPC.282(70)*. s.l., s.n., p. 21.

IMO, 2020. *Fourth Greenhouse Gas Study 2020*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

[Πρόσβαση 1 March 2023].

IMO, 2022. *MEPC.338(76)-2021 GUIDELINES ON THE OPERATIONAL CARBON INTENSITY REDUCTION FACTORS RELATIVE TO REFERENCE LINES (CII REDUCTION FACTORS GUIDELINES, G3)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/specialDetail?id=202206220276449608>

[Πρόσβαση 21 February 2023].

IMO, 2022. *MEPC.352(78)-2022 Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods (CII Guidelines, G1)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen//articleDetail?id=202212210561846752>

[Πρόσβαση 21 February 2023].

IMO, 2022. *MEPC.353(78)-2022 Guidelines on the Reference Lines for Use with Operational Carbon Intensity Indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2)*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen//articleDetail?id=202212210517258440>

[Πρόσβαση 21 February 2023].

IMO, 2022. *MEPC.354(78)-2022 Guidelines on the Operational Carbon Intensity Rating of Ships (CII Rating Guidelines, G4)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen//articleDetail?id=202212210512887590>

[Πρόσβαση 21 February 2023].

IMO, 2022. *MEPC.355(78)-2022 Interim Guidelines on Correction Factors and Voyage Adjustments for CII Calculations (CII Guidelines, G5)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen//articleDetail?id=202212210578013898>

[Πρόσβαση 21 February 2023].



IMO, 2023. *IMO ACTION TO REDUCE GREENHOUSE FROM INTERNATIONAL SHIPPING*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26620IMO_ACTION_TO_REDUCE_GHG_EMISSIONS_FROM_INTERNATIONAL_SHIPPING.pdf

[Πρόσβαση 1 March 2023].

IRCLASS, 2013. *Implementing EEDI*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>

[Πρόσβαση 24 January 2023].

IRCLASS, 2023. *Implementing Energy Efficiency Design Index Design Index (EEDI)*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>

[Πρόσβαση 1 March 2023].

IRELAND(SEAI), S. E. A. O., 2023. *Tracking performance Using ENPI*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.seai.ie/business-and-public-sector/public-sector/monitoring-and-reporting/tracking-energy-performance/tracking-performance-using-enpi/>

[Πρόσβαση 24 January 2023].

Liepert, B., 2012. <https://www.climate.columbia.edu/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://news.climate.columbia.edu/2012/03/07/plugging-the-leaks-in-climate-models/>

LINDSEY, R., 2022. [climate.gov/](https://www.climate.gov/). [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

Masodzadeh, 2018. *World Maritime University*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [chrome-](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1640&context=all_dissertations)

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1640&context=all_dissertations](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1640&context=all_dissertations)

[Πρόσβαση 23 February 2023].

Psaraftis, 2019. *Sustainable Shipping-A Cross-Disciplinary View*. eBook επιμ. Kongens Lyngby: Springer Nature Switzerland AG 2019.

PURENVIRO, 2018. *New SOx regulation affects 70.000 ships*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.purenviro.com/en/2018/09/11/new-sox-regulation-affects-70-000-ships/>

[Πρόσβαση 1 March 2023].

RightShip, 2013. [chrome-](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.safety4sea.com/wp-)

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.safety4sea.com/wp-](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.safety4sea.com/wp-)



content/uploads/2014/09/pdf/Rightship_GHG_Emission_Rating.pdf. [Ηλεκτρονικό]
Available at: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.safety4sea.com/wp-content/uploads/2014/09/pdf/Rightship_GHG_Emission_Rating.pdf
[Πρόσβαση 23 February 2023].

RightShip, 2023. *https://rightship.com/*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://rightship.com/>
[Πρόσβαση 23 February 2023].

Roche, P., 2023. *Norton Rose Fulbright*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nortonrosefulbright.com/en-gr/knowledge/publications/07ef2077/january-1-2023-the-cii-regime-and-time-chartering-clauses>
[Πρόσβαση 21 February 2023].

Roos, J., 2022. *Cruise and ferry*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.cruiseandferry.net/articles/striving-for-meaningful-carbon-intensity-indicator-adjustments-1>
[Πρόσβαση 22 February 2023].

S.Marantis, D., 2012. *Improvement of Energy Efficiency of existing ships by performing and evaluating Energy Audits onboard*. Athens: S.Marantis, Dimitris.

Stopford, M., 1997. *Maritime Economics*. London, USA, Canada: Routledge.

Tackle, E. a. H. D., 2016. Global warming – the science. *Ag Decision Maker Newsletter: Volume 12, Issue 4*, 24 February, p. 3.

Tsekouras, 2011. *https://www.ntua.gr/*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/40178/tsekourasn_efficiency.pdf?sequence=1
[Πρόσβαση 25 February 2023].

USEPA, 2023. *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
[Πρόσβαση 1 March 2023].

VERIFARIA, 2023. *The EU Monitoring, Reporting & Verification (MRV)*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/shipping-mrv-regulation-the-eu-monitoring-reporting-verification-mrv-6.php>
[Πρόσβαση 21 March 2023].



VERIFARIA, 2023. *The IMO Data Collection System (DCS)*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/shipping-mrv-regulation-the-imo-data-collection-system-dcs-106.php>
[Πρόσβαση 21 March 2023].

Verifavia, 2023. *EU MRV and IMO DCS requirements*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/faq-what-are-the-differences-between-eu-mrv-and-imo-dcs-requirements-175.php>
[Πρόσβαση 24 January 2023].

Woo, 2014. The effects of slow steaming on the environmental performance in liner shipping. *Maritime Policy & Management*, 41(2), p. 17.

WPSP, 2023. <https://sustainableworldports.org/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://sustainableworldports.org/environmental-ship-index-esi/>
[Πρόσβαση 23 February 2023].

Wright, W. a., 2021. *A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation*.
[Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.mdpi.com/2673-4060/2/4/29>
[Πρόσβαση 21 March 2023].

Zabi Bazari, T. L., 2011. *ASSESSMENT OF IMO MANDATED ENERGY EFFICIENCY MEASURES FOR INTERNATIONAL SHIPPING*, s.l.: s.n.

Zhang, 2019. An alternative benchmarking tool for operational energy efficiency of. *Journal of Cleaner Production*, Τόμος 240, p. 11.

IMO, 2009. *GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY EFFICIENCY*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/MEPC.1_Circ.684_Guidelines%20for%20Voluntary%20use%20of%20EEOI.pdf
[Πρόσβαση 23 January 2023].

IMO, 2010. *FURTHER IMPROVEMENT OF THE DRAFT TEXT FOR MANDATORY-Proposal for a Correction to EEDI Baseline Formula*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://martrans.org/documents/2009/sft/EE-WG%201-2-7.pdf>
[Πρόσβαση 24 January 2023].

IMO, 2014. *Marine Environment Protection Committee (MEPC), 67th session, 13 to 17 October 2014*. [Ηλεκτρονικό]



Παναγιώτης Χρ. Γκόρπας
“Προσδιορισμός και Αξιολόγηση Δεικτών Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου”

Available at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-67th-session.aspx>

[Πρόσβαση 24 January 2023].

IMO, 2016. *(Data collection system for fuel oil consumption of ships.* [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.278\(70\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.278(70).pdf)

[Πρόσβαση 24 January 2023].

IMO, 2021. *2021 Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto 2021 Revised MARPOL Annex VI (Resolution MEPC.328(76)).* [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/Certified%20copy%20of%20MEPC.328\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/Certified%20copy%20of%20MEPC.328(76).pdf)

IMO, 2021. *RESOLUTION MEPC.335(76).* [Ηλεκτρονικό]

Available at:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.335\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.335(76).pdf)

[Πρόσβαση 21 March 2023].