



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

**Οι δείκτες EEXI, EEDI, CII και η εφαρμογή τους στην ναυτιλία**

**EEXI, EEDI and CII indices and their application to shipping**

Συγγραφέας:

ΦΙΛΙΩ ΤΣΕΒΔΟΥ

A.M.: 51116101

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιακωβίδης Ισίδωρος

Αττάλεα, 2023





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διπλωματική εργασία**

**Οι δείκτες EEXI, EEDI, CII και η εφαρμογή τους στην ναυτιλία**

**Συγγραφέας**

Φιλώ Τσεβδού (Α.Μ.: 51116101)

**Επιβλέπων**

Ιακωβίδης Ισίδωρος

Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

**Ημερομηνία εξέτασης**

7/12/2023

**Εξεταστική Επιτροπή**

Ιακωβίδης Ισίδωρος  
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.

Χατζηκωνσταντής Γεώργιος  
Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Σέρρης Μιχαήλ  
Λέκτορας ΠΑ.Δ.Α.



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Φιλιώ Τσεβδού του Στέφανου με αριθμό μητρώου 51116101 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Η Δηλούσα



Φιλιώ Τσεβδού



## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κο Ιακωβίδη Ισίδωρο, διότι η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία «*M&C Group LTD*» και συγκεκριμένα τον κο Στεφανάκη Μιχαήλ, για την παραχώρηση όλων των απαραίτητων δεδομένων και αρχείων που χρειάστηκαν για την επίτευξη της εργασίας μου με επιτυχία, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που συνεχώς διέθετε για να μου δώσει σημαντικά στοιχεία και εξηγήσεις πάνω στο θέμα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στους ανθρώπους που κατά την διάρκεια της πραγματοποίησης της εργασίας ήταν δίπλα μου, για την συμπαράσταση και την υποστήριξή τους.





## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά οι δείκτες *EEDI* (Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου - *Energy Efficiency Design Index*), *EEXI* (Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου - *Energy Efficiency Existing Ship Index*), και *CII* (Δείκτης Έντασης Άνθρακα - *Carbon Intensity Indicator*) οι οποίοι σχετίζονται με την μείωση των εκπομπών αερίων στην ατμόσφαιρα και την αξιολόγηση των πλοίων βάσει των κανονισμών που έχει θέσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (*IMO*). Στο πρώτο μέρος της εργασίας περιγράφονται οι δείκτες καθώς και κανονιστικά πλαίσια γύρω από αυτούς, όπως και οι μέθοδοι βελτίωσης της αποδοτικότητας των πλοίων έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των κανονισμών. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας υπολογίζονται οι δείκτες *EEXI* και *CII* για πλοίο τύπου bulk carrier. Για τον υπολογισμό του *EEXI* προτείνεται λύση σχετικά με την εναρμόνιση του πλοίου στους κανονισμούς ενώ για τον *CII* συγκρίνονται τα αποτελέσματα βαθμολόγησης τριών ημερολογιακών ετών. Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να συμβάλει στην βαθύτερη κατανόηση της εφαρμογής αυτών των δεικτών και του ρόλου τους στην ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών πλοίων η λειτουργία των οποίων δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον.

## Abstract

The present thesis provides a comprehensive analysis of the *EEDI* (Energy Efficiency Existing Design Index), *EEXI* (Energy Efficiency Existing Ship Index) and *CII* (Carbon Intensity Indicator) metrics, which are associated with the reduction of gas emissions into the atmosphere and the assessment of ships according to regulations established by the International Maritime Organization (*IMO*). In the first part of the thesis, the indices are described, along with the regulatory framework surrounding them, including methods for enhancing ship efficiency to meet regulatory requirements. The second part of the thesis involves calculating the *EEXI* and *CII* indices for a bulk carrier-type vessel. For calculating the *EEXI*, a solution is proposed to harmonize the vessel with regulations, while for the *CII*, the results of a three-year assessment are compared. By referring to the above, this work aims to a deeper understanding of these indices and their role in fostering energy efficient and environmentally compliant ships.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	1
1.1.1 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα.....	1
1.1.2 Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	4
1.1.3 Ο ρόλος της ναυτιλίας.....	7
Κεφάλαιο 2: Οι δείκτες <i>EEXI</i> , <i>EEDI</i> και <i>CII</i> .....	11
2.1 Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου ( <i>Energy Efficiency Design Index – EEDI</i> ).....	11
2.1.1 Εξέλιξη του δείκτη <i>EEDI</i> .....	13
2.2 Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου ( <i>Energy Efficiency Existing Ship Index – EEXI</i> ).....	17
2.3 Δείκτης Έντασης Άνθρακα ( <i>Carbon Intensity Indicator – CII</i> ) .....	18
Κεφάλαιο 3: Κανονισμοί σχετικοί με τους Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης .....	22
3.1 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης ( <i>Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP</i> ).....	22
3.2 Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης ( <i>Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI</i> ).....	24
3.3 Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ( <i>International Air Pollution Prevention Certificate – IAPP</i> ).....	24
3.4 Παρακολούθηση, Αναφορά και Επαλήθευση ( <i>EU Monitoring, Reporting and Verification – MRV</i> ) .....	25
3.5 Συλλογή Δεδομένων ( <i>IMO Data Collection System - DCS</i> ).....	26
Κεφάλαιο 4: Μέτρα βελτίωσης αποδοτικότητας πλοίου .....	28
4.1 <i>Engine Power Limitation – EPL</i> .....	28
4.1.1 <i>Mechanical EPL</i> .....	29

4.1.2	<i>Electronic EPL</i> .....	30
4.2	<i>Shaft power limitation – ShaPoLi</i> .....	31
4.2.1	Εγχειρίδιο Διαχείρισης ( <i>Onboard Management Manual - OMM</i> ) .....	33
4.3	Καινοτόμες τεχνολογίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης .....	33
Κεφάλαιο 5: Υπολογισμός των δεικτών <i>EEXI</i> και <i>CII</i> για πλοίο τύπου <i>Bulk Carrier</i> .....		35
5.1	Υπολογισμός Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου – <i>EEXI</i> .....	35
5.1.1	Χαρακτηριστικά πλοίου, μηχανών και προπέλας .....	35
5.1.2	Εύρεση παραμέτρων .....	37
5.1.2.1	<i>Auxiliary Engine Power <math>P_{AE}</math></i> .....	37
5.1.2.2	<i>Main Engine Power <math>P_{ME}</math></i> .....	38
5.1.2.3	<i>Specific Fuel Consumption – SFC</i> .....	39
5.1.2.4	<i>Conversion Factor <math>C_F</math></i> .....	39
5.1.2.5	<i>Capacity</i> .....	40
5.1.2.6	Συντελεστές .....	41
5.1.2.7	<i>Reference Ship Speed – <math>V_{ref}</math></i> .....	42
5.1.3	Υπολογισμός <i>Attained</i> και <i>Required EEXI</i> .....	43
5.1.3.1	Υπολογισμός <i>Attained EEXI</i> .....	43
5.1.3.2	Υπολογισμός <i>Required EEXI</i> .....	44
5.1.4	Υπολογισμός Περιορισμού Ισχύος Μηχανής ( <i>Mechanical Engine Power Limitation Calculation</i> ) .....	47
5.1.4.1	<i>Suggested Power Reduction</i> .....	47
5.1.4.2	Ταχύτητα κινητήρα μετά τον περιορισμό της ισχύος .....	47
5.1.4.3	Διάγραμμα Φορτίου Κινητήρα ( <i>Engine Load Diagram</i> ) .....	48
5.1.4.4	Ταχύτητα αναφοράς πλοίου ( <i>Reference Ship Speed</i> ) .....	49
5.1.4.5	Υπολογισμός “Suggested” <i>Attained EEXI</i> .....	51
5.2	Υπολογισμός Δείκτη Έντασης Άνθρακα – <i>CII</i> .....	53
5.2.1	Χαρακτηριστικά πλοίου, μηχανών και προπέλας .....	53

5.2.2	Δεδομένα <i>DCS</i> για το έτος 2019 .....	56
5.2.2.1	Υπολογισμός Αναφοράς <i>CII<sub>ref</sub></i> .....	56
5.2.2.2	Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου <i>CII (Required Annual CII)</i> .....	56
5.2.2.3	Υπολογισμός Επιτυγχάνομενου <i>CII (Attained CII)</i> .....	57
5.2.3	Δεδομένα <i>DCS</i> για το έτος 2020 .....	61
5.2.3.1	Υπολογισμός Αναφοράς <i>CII<sub>ref</sub></i> .....	61
5.2.3.2	Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου <i>CII (Required Annual CII)</i> .....	61
5.2.3.3	Υπολογισμός Επιτευχθέντος <i>CII (Attained CII)</i> .....	62
5.2.4	Δεδομένα <i>DCS</i> για το έτος 2021 .....	65
5.2.4.1	Υπολογισμός Αναφοράς <i>CII<sub>ref</sub></i> .....	65
5.2.4.2	Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου <i>CII (Required Annual CII)</i> .....	65
5.2.4.3	Υπολογισμός Επιτευχθέντος <i>CII (Attained CII)</i> .....	66
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις .....		70
Βιβλιογραφία .....		73



# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

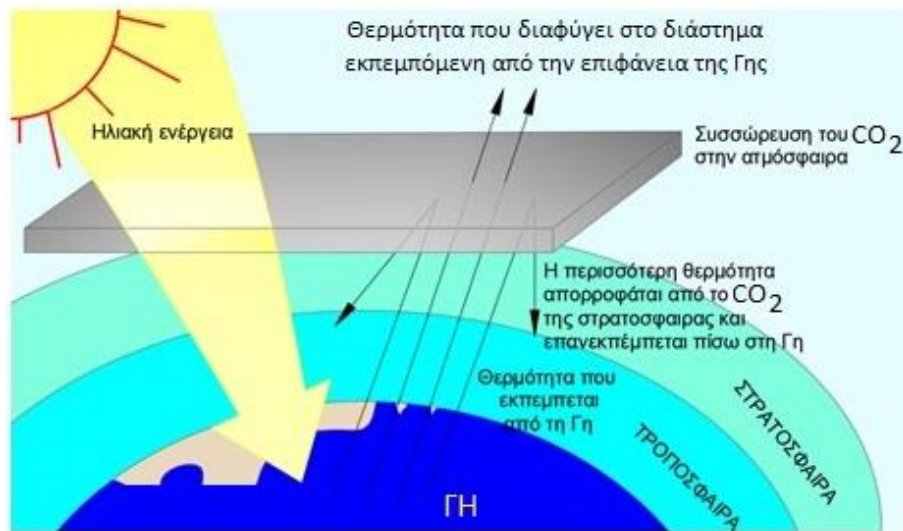
### 1.1.1 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει μια έντονη ανησυχία για τις αλλαγές που παρατηρούνται στο κλίμα και τη σχέση αυτών με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι επιστήμονες αποδίδουν αυτές τις ακραίες μεταβολές στην αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) που συνοδεύουν τη βιομηχανική δραστηριότητα στις μέρες μας. Η επίδραση του  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου που είναι γνωστό ως «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (Weart, 2023).

Ως θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται ένα τεχνητό περιβάλλον, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν έξω από αυτό και διαμορφώνει τις κατάλληλες συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη των φυτών. Το περίβλημα ενός θερμοκηπίου είναι διαφανές, ώστε να επιτρέπει τη διέλευση του ηλιακού φωτός και την απορρόφηση της ακτινοβολίας και συνηθίζεται να κατασκευάζεται από γυαλί ή διαφανές πλαστικό. Αυτό επιτρέπει την παγίδευση της ηλιακής ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα τα φυτά, το έδαφος και ο αέρας να θερμαίνονται.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα της Γης. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, αλληλοεπιδρά με συγκεκριμένα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $O_3$ , χλωροφθοράνθρακες- $CFCs$ , υδροχλωροφθοράνθρακες- $HCFCs$ , υδροφθοράνθρακες- $HFCs$ , υπερφθοράνθρακες- $PFCs$ ) και προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας του εδάφους, της ατμόσφαιρας και της θάλασσας (Weart, 2023). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα αντίστοιχα αέρια που παγιδεύουν την θερμότητα ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου.

Στο σύστημα του θερμοκηπίου, το φως εισέρχεται από τα γυάλινα τοιχώματα αλλά η θερμότητα δεν διαφεύγει από αυτό. Αντίστοιχα, στο σύστημα Γη-Ήλιος η θερμοκρασία από την ακτινοβολία του Ήλιου εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, περνώντας από τα αέρια του θερμοκηπίου. Η ενέργεια του ηλιακού φωτός απορροφάται από τη Γη, το νερό και τη βιόσφαιρα και έπειτα αποστέλλεται πίσω στην ατμόσφαιρα.



*Εικόνα 1. Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα*

(πηγή: [http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies\\_foititon/ettap/2014-15/green/photos1.htm](http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies_foititon/ettap/2014-15/green/photos1.htm))

Ένα μέρος της ενέργειας διαφεύγει πίσω στο διάστημα αλλά ένα μεγάλο ποσοστό της παγιδεύεται από τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική για τη βιωσιμότητα στον πλανήτη μας καθώς διατηρεί τη Γη αρκετά ζεστή ώστε να δημιουργείται ένα βιώσιμο σύστημα. Ωστόσο αν το φαινόμενο γίνει πιο έντονο, τότε οι θερμοκρασίες θα αυξηθούν σε σημείο που θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα στη ζωή πάνω στον πλανήτη.

Η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει άμεσα στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου τις τελευταίες δεκαετίες. Τα ορυκτά καύσιμα, δηλαδή ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, παρέχουν περίπου το 85% της παγκόσμιας ενέργειας, με αποτέλεσμα το βιοτικό επίπεδο να διατηρείται υψηλό. Οι μεταφορές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η θέρμανση καθώς ακόμα και η παραγωγή τροφίμων είναι τομείς άμεσα εξαρτώμενοι από την ενέργεια που παράγεται από την καύση των ορυκτών. Το χαμηλό σχετικά κόστος τους, η εύκολη και ασφαλής μεταφορά τους καθώς και η αφθονία τους τα καθιστά αναγκαία για την παραγωγή της ενέργειας που απαιτείται για την ανάπτυξη της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ωστόσο, τα περιβαλλοντικά προβλήματα φαίνεται να έχουν ενισχυθεί σε μεγάλο ποσοστό τα τελευταία χρόνια λόγω της εντονότερης χρήσης των ορυκτών καυσίμων.



Το φαινόμενο του θερμοκηπίου απασχολεί έντονα τους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια, ωστόσο για πρώτη φορά διατυπώθηκε από τον Γάλλο φυσικό και μαθηματικό *J.B.J. Fourier*, στο μεγαλύτερο του έργο “*Théorie analytique de la chaleur*” (Αναλυτική Θεωρία της Θερμότητας) που δημοσίευσε το 1822 (Fourier, 1822). Η θεωρία έθεσε τα θεμέλια για τη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας και έγινε θεμελιώδης σε διάφορους τομείς της επιστήμης και της μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της κατανόησης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παράλληλα, ο Σουηδός επιστήμονας *S. Arrhenius* τον Απρίλιο του 1896, στη δημοσίευση του με τίτλο “*On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground*” (Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα στη θερμοκρασία του εδάφους) προέβλεπε ότι η ρύπανση από τις βιομηχανίες θα διπλασίαζε την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 5 βαθμούς Κελσίου. Η μελέτη του αναγνωρίστηκε ως μια από τις πρώτες εργασίες που εξέτασαν τη σχέση μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου και των αλλαγών του κλίματος, και θεωρείται ένα σημαντικό έργο (Arrhenius, 1896). Πράγματι, μια από τις συνέπειες του φαινομένου φαίνεται να είναι η επίδραση του στην θερμοκρασία του πλανήτη. Σε πολλές περιοχές αλλά και στη χώρα μας, οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι αρκετά υψηλές σε σημείο που δυσχεραίνει τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, παρατηρούνται αλλαγές στο κλίμα της Γης, όπως μετακινήσεις των ζωνών βροχόπτωσης από τον Ισημερινό προς τον Βορρά, καθώς και ερημοποίηση του κατώτερου τμήματος της εύκρατης ζώνης. Ασυνηθιστά έντονα φαινόμενα όπως πλημμύρες, άνεμοι και ξηρασίες αναφέρονται ως συνέπεια της ενίσχυσης του φαινομένου.

### 1.1.2 Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει προκαλέσει αλλαγές στην ατμόσφαιρα όπως την αύξηση της θερμοκρασίας, την υπερθέρμανση των ωκεανών καθώς και αλλαγές στο κλίμα και τις καιρικές συνθήκες της Γης.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση όπως και η όξινη βροχή είναι φαινόμενα τα οποία ξεκίνησαν να αντιμετωπίζουν οι κυβερνήσεις με την υιοθέτηση της Σύμβασης του ΟΗΕ (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών) για τη Κλιματική Αλλαγή τον Μάιο του 1992 στη Διάσκεψη του Ρίο (*Rio Conventions*) για το περιβάλλον και την Ανάπτυξη (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) (UNITED NATIONS, 1992).

Ο στόχος της *UNFCCC* είναι να επιτευχθεί η σταθεροποίηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδα που να αποτρέπουν επικίνδυνες παρεμβάσεις στο κλίμα και κατ' επέκταση στον άνθρωπο. Η σύμβαση αυτή έχει υπογραφεί και επικυρωθεί από τη συντριπτική πλειονότητα των κρατών μελών του ΟΗΕ.

Στη Σύμβαση αυτή, τα Μέρη που είναι μέλη του ΟΗΕ, έχουν κληθεί εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου, να προσαρμόσουν τα επίπεδα συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε σημείο ώστε να μην προκαλούν κλιματική αλλαγή. Τα μέλη θα πρέπει να ενεργήσουν άμεσα για την μείωση των εκπομπών του αερίου αλλά και να λειτουργούν προληπτικά λαμβάνοντας μέτρα για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου για τα επόμενα χρόνια.

Τα μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κάθε χρόνο θα πρέπει να επανεξετάζονται για την εφαρμογή της Σύμβασης. Αυτή η διαδικασία διεξάγεται σε συναντήσεις γνωστές ως Διασκέψεις των Μερών (*Conference of Parties, COP*). Η πρώτη απ' αυτές, το 1995 στο Βερολίνο της Γερμανίας, θέσπισε τους εσωτερικούς κανόνες καθώς και τα επικουρικά όργανα για τη λήψη αποφάσεων για θέματα τα οποία δεν καλύπτονται από τις αποφάσεις της Σύμβασης (UNITED NATIONS, 1995).

Στις 11 Δεκεμβρίου του 1997 εγκρίθηκε το πρωτόκολλο του Κιότο, τέθηκε σε λειτουργία από τις 16 Φεβρουαρίου του 2005 και έχει επί του παρόντος 192 Μέλη. Η δημιουργία του έθεσε σε λειτουργία τη Σύμβαση, δεσμεύοντας 37 βιομηχανικές χώρες και την ευρωπαϊκή κοινότητα, να περιορίσουν και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (*Greenhouse Gases, GHG*).

Μέσω των δεσμεύσεων που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι χώρες-μέλη, υπολογίστηκε μια μείωση των εκπομπών κατά 5.2% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 κατά την πενταετία 2008-2012, η οποία και θα αποτελούσε την πρώτη περίοδο δέσμευσης του πρωτοκόλλου. Η κύρια διαφορά μεταξύ του Πρωτοκόλλου και της Σύμβασης, είναι ότι ενώ η Σύμβαση ενθάρρυνε τις βιομηχανικές χώρες να σταθεροποιήσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, το Πρωτόκολλο τις δεσμεύει να το πράξουν (UNITED NATIONS, 1997).

Οι στόχοι για την πρώτη περίοδο δέσμευσης σχετίζονται με τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου, και πιο συγκεκριμένα:

- Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )
- Μεθάνιο ( $CH_4$ )
- Υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ )
- Υδροφθοράνθρακες ( $PFCs$ ) και
- Εξαφθοριούχο θείο ( $SF_6$ )

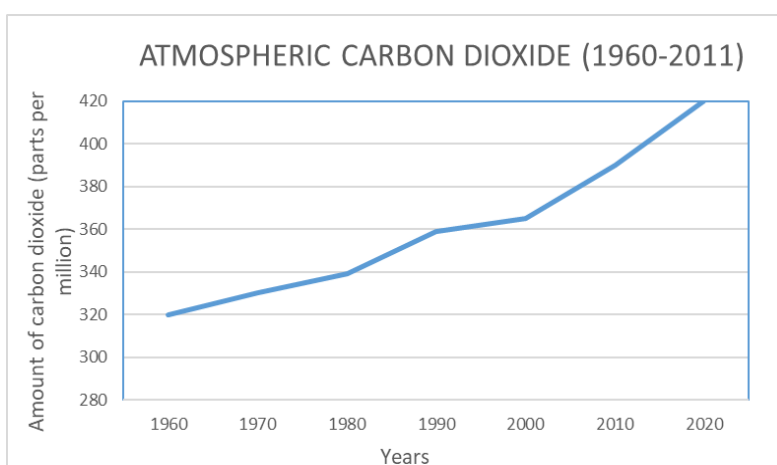
Το πρωτόκολλο του Κιότο αντικαταστάθηκε από τη Συμφωνία του Παρισιού το 2015, η οποία θέσπισε νέους στόχους μείωσης εκπομπών για όλες τις χώρες, συμπεριλαμβανομένων και των αναπτυσσόμενων οικονομικά. Ωστόσο, το πρωτόκολλο του Κιότο παραμένει ένα σημαντικό ιστορικό ορόσημο στη διεθνή προσπάθεια για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Μια δεύτερη περίοδος δέσμευσης εγκρίθηκε στην 18<sup>η</sup> διάσκεψη των Μερών που πραγματοποιήθηκε στην Ντόχα του Κατάρ το 2012. Μέσω των διαπραγματεύσεων εγκρίθηκε μια παράταση για την δεύτερη περίοδο δεσμεύσεων έως το 2020. Αυτό έδωσε την ευκαιρία στα υποχρεούμενα μέρη της συμφωνίας να συνεχίσουν την προσπάθεια για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (UNITED NATIONS, 2012).

Μέσω της *COP 18* ξεκίνησε μια νέα περίοδος διαπραγματεύσεων για τη θέσπιση νέας διεθνούς συμφωνίας για την κλιματική αλλαγή, οδηγώντας στη συμφωνία του Παρισιού το 2015. Έπειτα, το πρωτόκολλο του Κιότο αντικαταστάθηκε από τη συμφωνία του Παρισιού και καθόρισε νέους στόχους και μηχανισμούς για τη προστασία του κλίματος και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο (UNITED NATIONS, 2015).

Η συμφωνία του Παρισιού, γνωστή και ως «Συμφωνία των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή» υπογράφηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2015 κατόπιν διαπραγματεύσεων που διήρκεσαν για πάνω από δύο εβδομάδες και με συμμετοχή περισσότερων από 190 χωρών. Μαζί με το πρωτόκολλο του Κιότο, η συμφωνία του Παρισιού αποτελεί ένα ιστορικό επίτευγμα στον τομέα της διεθνούς κλιματικής πολιτικής, καθώς για πρώτη φορά η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής διαμορφώνεται για όλες τις χώρες σε ένα κοινό πλαίσιο δράσης. Δημιουργεί μια δέσμευση δράσεων για τη μείωση των εκπομπών από τις χώρες, που έχουν ως κοινό στόχο τη διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος για τις επόμενες γενεές (UNITED NATIONS, 2015).

Ο κύριος στόχος της συμφωνίας του Παρισιού είναι να περιοριστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Κατά την προβιομηχανική εποχή, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 280 μέρη ανά εκατομμύριο κατ' όγκο  $ppm(v)$ , 30% κάτω της τιμής των 420  $ppm(v)$  όπου ισχύει σήμερα (Michael C. MacCracken, 2001).



*Εικόνα 2. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα την περίοδο 1960-2021  
(πηγή: Zangl S, Pingitzer D, Lembacher H, Lackner M (2020) J Current Eng Technol 2(1):127)*

Η βασική αρχή για την αντιμετώπιση του φαινομένου βρίσκεται στην παραγωγή ενέργειας από καθαρές, μη ρυπογόνες πηγές. Για παράδειγμα, η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική ενέργεια αλλά και η βιομάζα είναι σημαντικές πηγές που επενδύουν οι χώρες ώστε να μειώσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Ακόμη, η δενδροφύτευση αποτελεί μια διαδικασία που βοηθάει στην απορρόφηση του διοξειδίου στην ατμόσφαιρα και συντελεί στη ρύθμιση της ομαλής λειτουργίας του κύκλου του νερού στη φύση.

Η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, των ποδηλάτων ή των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και η σωστή συντήρηση των οχημάτων, είναι ενέργειες που επίσης βοηθούν στη μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, μειώνοντας τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

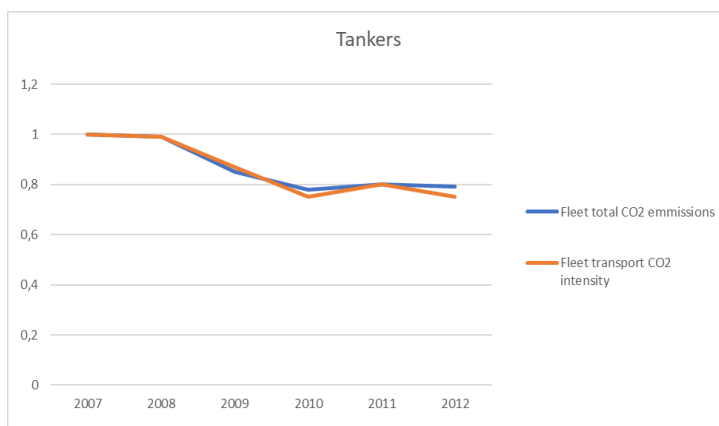
Επιπλέον, η μείωση των ποσοτήτων αποβλήτων μέσω της ανακύκλωσης, βοηθά στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Διατηρώντας το πρόγραμμα της ανακύκλωσης, κάνοντας κομποστοποίηση αλλά και απορρίπτοντας σε σωστά σημεία τα επικίνδυνα απόβλητα βοηθάμε στην μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου και της προκαλούμενης κλιματικής αλλαγής.

Τέλος, το σημαντικότερο τμήμα της αντιμετώπισης των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου φαίνεται να είναι η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας. Για τον λόγο αυτό η χρήση αποδοτικών μέσων κατανάλωσης ενέργειας είναι αναγκαία, σε οικιακό, επαγγελματικό και κοινωνικό επίπεδο.

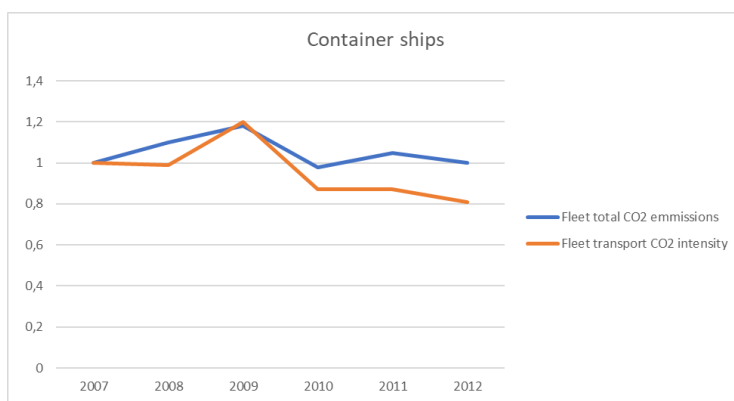
### 1.1.3 Ο ρόλος της ναυτιλίας

Το 2.2% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> εκτιμάται να προέρχεται από την παγκόσμια ναυτιλία (Fenhann, 2017). Παρόλα αυτά, το ποσοστό αυτό θα μπορούσε εύκολα να ανέλθει σε περισσότερο από το 10% μετά το 2040, εάν η παγκόσμια ζήτηση μεταφορών αυξηθεί και δεν ληφθούν εντατικά μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Σε μια εκτενή μελέτη, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (*International Maritime Organization, IMO*), προβλέπει πως το 2050 οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που θα προέρχονται από την ναυτιλία θα είναι κατά 50-250% υψηλότερες από το 2012. Με βάση αυτά τα δεδομένα, η ναυτιλία αν δεν δράσει άμεσα για την μείωση ή την εκμηδένιση των εκπομπών, θα έχει το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης στην ενίσχυση του φαινομένου. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, χρησιμοποίησε δεκαέξι διαφορετικά σενάρια συνδυασμών τύπων καυσίμου και ζήτησης μεταφορών. Κατέληξε στο συμπέρασμα πως για την επίτευξη των χαμηλότερων δυνατών εκπομπών θα πρέπει να γίνει χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, περισσότερη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (*Liquefied Natural Gas - LNG*), έτσι ώστε η παγκόσμια ανάπτυξη και ζήτηση να μην αυξηθούν σημαντικά (Fenhann, 2017).

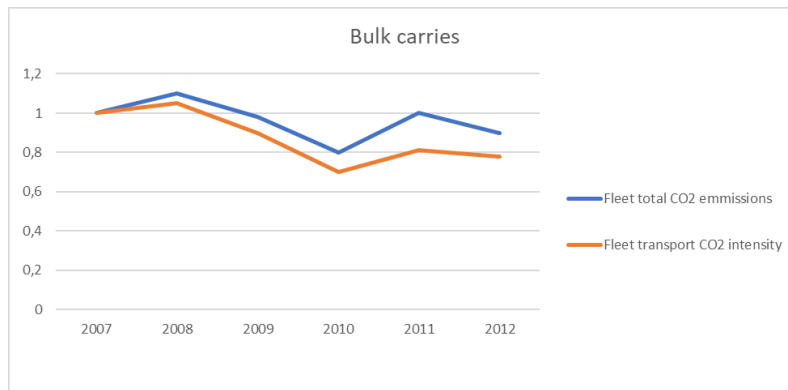
Στα παρακάτω διαγράμματα (εικόνες 3-5), φαίνονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από την ναυτιλία σε τρεις τύπους πλοίων: πετρελαιοφόρα, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβώτιων και πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και πως αυτές αναμένεται να αυξηθούν, παρά την εισαγωγή του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (*Energy Efficiency Design Index, EEDI*) και άλλων δεικτών μείωσης των εκπομπών, που αναλύονται περαιτέρω στην παρούσα εργασία.



*Εικόνα 3. Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από πετρελαιοφόρα πλοία στο χρονικό διάστημα 2007-2012, (πηγή: (IMO, 2015).*



*Εικόνα 4. Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβώτιων στο χρονικό διάστημα 2007-2012, (πηγή: (IMO, 2015).*



*Εικόνα 5. Διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου στο χρονικό διάστημα 2007-2012, (πηγή: IMO, 2015).*

Βάσει των στοιχείων των διαγραμμάτων που δίνονται στις εικόνες 3-5, παρά την αυξανόμενη ζήτηση μεταφορών και για τους τρεις τύπους πλοίων που μελετήθηκαν, φαίνεται ότι οι συνολικές εκπομπές παραμένουν σταθερές, είτε μειώνονται ελαφρά. Ωστόσο, τα δεδομένα σε κάθε περίπτωση αλλάζουν διότι τα πλοία μεταφοράς ξηρού χύδην φορτίου εμφάνισαν μείωση μέσου όρου ημερών στην θάλασσα, ενώ ο στόλος των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σημείωσε μικρή αύξηση. Σύμφωνα όμως με αποτελέσματα της μελέτης του IMO (IMO, 2015), τα containerships υιοθέτησαν τη λειτουργία αργού ατμού, διαδικασία σκόπιμης μείωσης της ταχύτητας των πλοίων για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου άρα και εκπομπών άνθρακα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι μειώσεις κατά την ίδια χρονική περίοδο με τους υπόλοιπους τύπους πλοίων να παραμένει στα ίδια σχεδόν επίπεδα (IMO, 2015).

Μετά από χρόνια διεθνών συζητήσεων, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος MEPC – *Marine Environment Protection Committee*, θέσπισε αποφάσεις-ορόσημα σχετικά με τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Η υιοθέτηση του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), ήταν η απόφαση που δέσμευσε την ναυτιλία για την αλλαγή του κλίματος τον Ιούλιο του 2011 μετά το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Ως πρώτο βήμα τέθηκε μια πιο σταδιακή προσέγγιση, ξεκινώντας με την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση των εκπομπών. Μακροπρόθεσμα θα λαμβάνονταν πιο δραστικά μέτρα αφού σχετικές έρευνες δείχνουν τους πλοιοκτήτες να θέλουν να βασίζονται σε μεγαλύτερη και πιο σαφή πληροφορία, ώστε να είναι πιο πιθανό να λάβουν τα απαιτούμενα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων τους (European Union, 2013).

Στα πλαίσια της προσπάθειας για μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, θεσπίστηκαν κανονισμοί σχετικά με συγκεκριμένες θαλάσσιες περιοχές στις οποίες οι εκπομπές θα πρέπει να είναι ελεγχόμενες. Αυτές οι περιοχές χαρακτηρίζονται ως *ECAs* (*Emission Control Areas*) ή *SECAs* (*Sulfur Emission Control Areas*). Οι κανονισμοί προέρχονται από τους προβληματισμούς για την συμβολή της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο. Από το 2011 υπάρχουν τέσσερις περιοχές *ECAs* (Χαραλαμπίδη Κ., 2017).



## Κεφάλαιο 2: Οι δείκτες *EEXI*, *EEDI* και *CII*

### 2.1 Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (*Energy Efficiency Design Index – EEDI*)

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα πλοία (*Maritime Pollution – MARPOL*) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που αφορά την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία λόγω της λειτουργίας τους ή λόγω των ναυτικών ατυχημάτων (MARPOL, 2023). Δημιουργήθηκε από τον *IMO* και εγκρίθηκε στις 2 Νοεμβρίου του 1973. Μια σειρά ατυχημάτων σε δεξαμενόπλοια τη περίοδο 1976-1977 είχε ως αποτέλεσμα το ψήφισμα της Σύμβασης. Αυτή περιλαμβάνει κανονισμούς για την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από τα πλοία, είτε αυτή προέρχεται από συνήθεις λειτουργίες είτε λόγω τυχαίας ρύπανσης (MARPOL, 2023).

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (*Energy Efficiency Design Index - EEDI*) θεσπίστηκε από τον *IMO* ως τροποποίηση στις κατευθυντήριες γραμμές, στο Παράρτημα 19 (*Annex VI*), ψήφισμα *MEPC.203(62)*, τον Ιούλιο του 2011 και κατέστη υποχρεωτικός από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2013. Ο κανονισμός ισχύει για νέα πλοία 400 τόνων ολικής χωρητικότητα και άνω, που εκτελούν διεθνή ταξίδια. Από αυτά εξαιρούνται οι πλατφόρμες, γεωτρύπανα και εκείνα που προωθούνται με μηχανικά μέσα όπως οι φορτηγίδες.

Νέο πλοίο σημαίνει:

- Πλοίο με ημερομηνία σύμβασης που έχει υπογραφεί την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2013 ή μεταγενέστερα.
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ημερομηνία σύμβασης, η ημερομηνία τοποθέτησης της καρίνας του πλοίου (*date of keel laid*) ή βρισκόταν σε παρόμοιο στάδιο κατασκευής την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2013 ή μεταγενέστερα.
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχει καμία από τις δύο παραπάνω ημερομηνίες, η ημερομηνία παράδοσης να είναι η 1<sup>η</sup> Ιουλίου του 2015 ή μεταγενέστερα.
- Πλοίο το οποίο έχει υποβληθεί σε σημαντική μετατροπή βάση του κανονισμού 2.24 του *IMO* (IMO, 2011).

Ο *EEDI* είναι ένας κρίσιμος δείκτης για την ναυτιλιακή βιομηχανία, καθώς ο ρόλος του στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι σημαντικός. Ο υπολογισμός βασίζεται σε μια σύνθετη σχέση που συμπεριλαμβάνει την χωρητικότητα, την ταχύτητα του πλοίου καθώς και άλλες παραμέτρους που εξετάζονται στη συνέχεια. Για το κάθε πλοίο η τιμή του δείκτη είναι διαφορετική, βάσει των χαρακτηριστικών κάθε περίπτωσης, και εκφράζεται σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) ως προς τη χωρητικότητα του πλοίου. Όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή του δείκτη *EEDI* για ένα πλοίο, τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικό είναι και έχει μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Η δημιουργία του δείκτη προήλθε από την ανάγκη για μείωση των εκπομπών από τον τομέα της ναυτιλιακής βιομηχανίας, καθώς πάνω από το 80% των εμπορευμάτων παγκοσμίως μεταφέρονται δια θαλάσσης (UNCTAD, 2022). Ωστόσο, η υπερβολική κατανάλωση καυσίμου που προέρχεται από τα πλοία παλαιότερων σχεδιασμών είναι μια ενεργειακά μη αποδοτική κατάσταση που οδηγεί σε υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ο δείκτης αυτός είναι ένα ισχυρό μέσο που ενθαρρύνει τους κατασκευαστές των πλοίων να προβούν σε πιο βιώσιμες πρακτικές αλλά και να επενδύουν σε καινοτόμες τεχνολογίες που ενισχύουν την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων.

Με την πάροδο του χρόνου τα πρότυπα σχετικά με τον δείκτη γίνονται όλο και πιο αυστηρά, ωθώντας τη βιομηχανία να υιοθετεί πιο αποτελεσματικές πράσινες τεχνολογίες και πρακτικές. Πέρα όμως από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η εφαρμογή του δείκτη στα πλοία προσφέρει και οικονομικά πλεονεκτήματα στους ιδιοκτήτες τους. Όσο καλύτερη ενεργειακή απόδοση έχουν, τόσο μικρότερη θα είναι η κατανάλωση καυσίμου, που σημαίνει μικρότερες δαπάνες σε καύσιμο. Ακόμη, λόγω της αυξημένης ζήτησης για όλο και πιο περιβαλλοντικά φιλικότερες λύσεις, τα πλοία με καλύτερη ενεργειακή απόδοση έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες για συνεργασίες με τους διάφορους φορείς, πλεονέκτημα που κάνει τους πλοιοκτήτες να ξεχωρίζουν στο χώρο με τον υψηλό ανταγωνισμό της ναυτιλίας.

Για τον υπολογισμό του *EEDI* το πρώτο βήμα που χρειάζεται είναι η συλλογή δεδομένων. Αυτή περιλαμβάνει όλα τα σχετικά δεδομένα για το νέο πλοίο, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών προδιαγραφών, των χαρακτηριστικών του κινητήρα, του σχεδιασμού της γεωμετρίας του πλοίου, του εξοπλισμού και των συστημάτων του. Έπειτα, με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται, υπολογίζονται οι εκπομπές  $CO_2$ .

Κάθε νέο πλοίο συνοδεύεται από τον τεχνικό φάκελο *EEDI*. Ο φάκελος αυτός περιέχει πληροφορίες για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος *EEDI*, ενώ επιπλέον δείχνει αναλυτικά και τη διαδικασία υπολογισμού του. Η επαλήθευση της τιμής του *EEDI* γίνεται βάσει του τεχνικού φακέλου από τις αρμόδιες Αρχές είτε από κάποιον εξουσιοδοτημένο οργανισμό.

Για τον υπολογισμό του *EEDI* υπολογίζονται δύο ξεχωριστές τιμές. Η μια αντιστοιχεί στον επιτευχθέντα *EEDI* (*Attained*) και η άλλη στον απαιτούμενο (*Required*). Ο όρος «επιτευχθείς» αναφέρεται στην πραγματική υφιστάμενη τιμή του *EEDI* που έχει επιτευχθεί από ένα πλοίο βάσει των χαρακτηριστικών του σχεδιασμού και της λειτουργίας του. Ο όρος «απαιτούμενος» αναφέρεται στη επιθυμητή ή υποχρεωτική τιμή του *EEDI* που αναμένεται να πληροί ένα πλοίο σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς ή πρότυπα.

Ο επιτευχθείς *EEDI* αντιπροσωπεύει την πραγματική ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το μέγεθος του πλοίου, το σύστημα κίνησής του και τα λοιπά τεχνολογικά χαρακτηριστικά του. Από την άλλη πλευρά, το απαιτούμενο *EEDI* είναι ένας νομικός κανονισμός που θέτει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός και λειτουργεί ως μέτρο αναφοράς ή στόχος για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Οι απαιτούμενες τιμές *EEDI* συνήθως βασίζονται σε συγκεκριμένα πρότυπα και σταδιακά με τον χρόνο γίνονται πιο αυστηρά ώστε να προωθήσουν την ανάπτυξη και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών πλοίων (IMO, 2011).

Συνοψίζοντας, ο δείκτης *EEDI* είναι ένας κρίκος που συνδέει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός πλοίου και τη βιωσιμότητα στον τομέα της ναυτιλίας. Προωθώντας την επιλογή και λειτουργία ενεργειακά πιο αποδοτικών πλοίων δημιουργούνται προοπτικές για νέες καινοτόμες τεχνολογίες, ενώ συγχρόνως προστατεύεται το περιβάλλον από τη μείωση που επιτυγχάνεται στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ναυτιλίας να ελαττώνεται σταδιακά.

#### 2.1.1 Εξέλιξη του δείκτη *EEDI*

Ο δείκτης *EEDI* εξελίχθηκε μέσα από διάφορες φάσεις, βελτιώνοντας σταδιακά την ενεργειακή απόδοση των πλοίων. Παρακάτω παρατίθεται μια γενική περιγραφή των φάσεων.

**Φάση 0 (2013-2014):** Η βάση του *EEDI* καθορίζεται με τη συλλογή δεδομένων και την ανάλυση της μέσης ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

**Φάση 1** (2015-2019): Σε αυτή τη φάση του κανονισμού θεσπίστηκαν απαιτήσεις σε σχέση με την αρχική βάση και εισάγονται αρχικές απαιτήσεις για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των νέων πλοίων.

**Φάση 2** (2020-2024): Εισάγονται περαιτέρω μειωτικοί παράγοντες πέραν των αρχικών απαιτήσεων.

**Φάση 3** (2025-2030): Προβλέπεται η θέσπιση αυστηρότερων απαιτήσεων σχετικά με τον δείκτη *EEDI*, παρέχοντας ώθηση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα πλοία.

Για κάθε φάση του δείκτη *EEDI* και για κάθε τύπο πλοίου και το νεκρό βάρος (*deadweight*), ο κανονισμός έχει θεσπίσει συντελεστές μείωσης (σε ποσοστό) σε σχέση με την τιμή αναφοράς του δείκτη (*EEDI - Reference line value*). Οι συντελεστές αυτοί αναφέρονται στον πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Συντελεστές μείωσης (ως ποσοστό %) για τον EEDI σε σχέση με το EEDI Reference line value (IMO, 2011).

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 tanker	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

\* Ο συντελεστής μείωσης υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή, ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου.

Στο ψήφισμα MEPC.251(66) τον Ιούνιο του 2014 προστέθηκαν κάποιοι ακόμα συντελεστές για τύπους πλοίων που δεν είχαν αναφερθεί στον Πίνακα 1 και αναφέρονται παρακάτω στον Πίνακα 2.

*Πίνακας 2. Συντελεστές μείωσης (σε ποσοστό) για τον EEDI σε σχέση με το EEDI Reference line value (IMO, 2014).*

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
LNG carrier***	10,000 DWT and above	n/a	10**	20	30
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)***	10,000 DWT and above	n/a	5**	15	30
Ro-ro cargo ship***	2,000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	1,000 – 2,000 DWT	n/a	0-5* **	0-20*	0-30*
Ro-ro passenger ship***	1000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	250 – 1,000 DWT	n/a	0-5* **	0-20*	0-30*
Cruise passenger ship*** having non-conventional propulsion	85,000 GT and above	n/a	5**	20	30
	25,000 – 85,000 GT	n/a	0-5* **	0-20*	0-30*

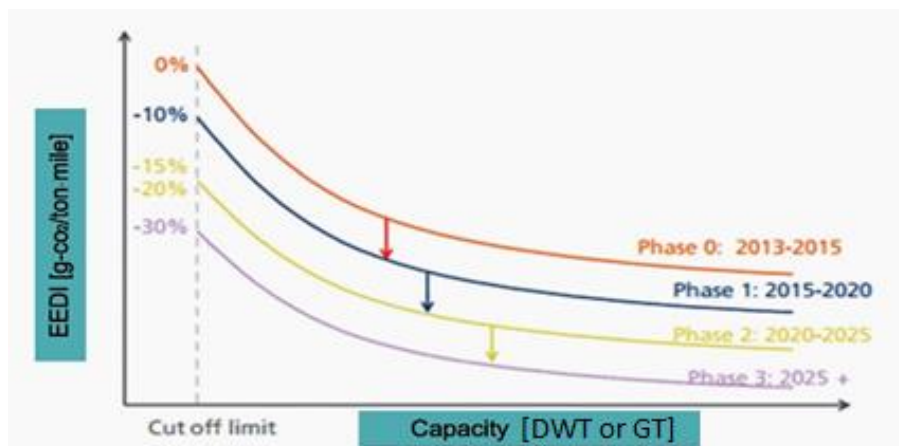
\* Reduction factor to be linearly interpolated between the two values dependent upon ship size. The lower value of the reduction factor is to be applied to the smaller ship size.

\*\* Phase 1 commences for those ships on 1 September 2015.

\*\*\* Reduction factor applies to those ships delivered on or after 1 September 2019, as defined in paragraph 43 of regulation 2.

**Note:** n/a means that no required EEDI applies."

Στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 6 παρουσιάζονται, βάσει της χωρητικότητας, οι συντελεστές μείωσης του δείκτη για τις διαφορετικές φάσεις ανάπτυξης.



Εικόνα 6 Προβλεπόμενες φάσεις εξέλιξης του δείκτη EEDI (IMO a, 2016).

(πηγή: (IMO, 2023)

## 2.2 Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου (Energy Efficiency Existing Ship Index – EEXI)

Ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου (*EEXI*) είναι ένα νέο μέτρο που εισήχθη από τον *IMO* για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων. Είναι ένας δείκτης που συμπληρώνει τον *EEDI*, καθώς και οι δύο αυτοί δείκτες αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την ναυτιλιακή βιομηχανία.

Ο *EEXI* ανακοινώθηκε στο ψήφισμα *MEPC.328(76)* τον Ιούνιο του 2021. Ο επιτευχθείς δείκτης *EEXI* είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από τον τεχνικό φάκελο *EEXI*, ο οποίος θα πρέπει να περιέχει τις πληροφορίες που χρειάστηκαν για τον υπολογισμό του, ο οποίος γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες γραμμές που αναπτύσσονται στους αντίστοιχους κανονισμούς του *IMO* (IMO a, 2021).

Στην πραγματικότητα οι δείκτες *EEXI* και *EEDI* σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, αλλά απευθύνονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής των πλοίων. Ο δείκτης *EEDI* εφαρμόζεται στον σχεδιασμό και την κατασκευή για τα νέα πλοία, και υπολογίζεται βάσει της σχεδιαστικής ταχύτητας του πλοίου. Από την άλλη πλευρά, ο *EEXI* είναι ένας δείκτης που εφαρμόζεται σε υφιστάμενα πλοία. Υπολογίζεται βάσει της τρέχουσας απόδοσης του πλοίου σε σχέση με την σχεδιαστική του ταχύτητα.

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

### 2.3 Δείκτης Έντασης Άνθρακα (Carbon Intensity Indicator – *CII*)

Ο Δείκτης Έντασης Άνθρακα (*Carbon Intensity Indicator – CII*) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων του άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας, σε πλοία άνω των 5.000GT. Συγκεκριμένα, ο *CII* αναφέρεται στην ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που εκπέμπεται ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου ( $\text{g-CO}_2/\text{ton}\cdot\text{mile}$ ) (*IMO d*, 2021). Το έτος αναφοράς για το *CII* είναι το 2019 και αυτό επειδή είναι το πρώτο έτος για το οποίο υπάρχουν επαληθευμένα δεδομένα από τον *IMO DCS* (*IMO e*, 2021).

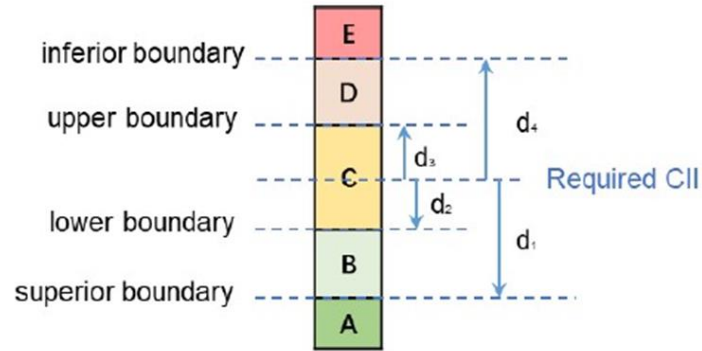
Η χρήση του βοηθά στην αξιολόγηση και την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής απόδοσης των πλοίων στον ναυτιλιακό τομέα. Επιπλέον βοηθάει στην προώθηση πρακτικών για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτός ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέτρο σύγκρισης της περιβαλλοντικής απόδοσης μεταξύ διαφορετικών πλοίων, αναγνωρίζοντας τα πιο αποδοτικά πλοία. Με την εφαρμογή του δείκτη παρακολουθείται η πρόοδος στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από ναυτιλιακές δραστηριότητες.

Τα βασικά δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια εφαρμογής του δείκτη και χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό του πλοίου είναι:

- Κατανάλωση καυσίμων
- Απόσταση ταξιδιών

Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται ετησίως και τα δεδομένα συλλέγονται από 1 Ιανουαρίου μέχρι 31 Δεκεμβρίου του εκάστοτε έτους. Βάση των αποτελεσμάτων, το κάθε πλοίο βαθμολογείται ετησίως σχετικά με την ενεργειακή απόδοση, με βάση μια κλίμακα που περιλαμβάνει πέντε βαθμίδες A, B, C, D και E (Το A αντιστοιχεί στην καλύτερη βαθμολογία) και τέσσερα όρια του μηχανισμού αξιολόγησης (*IMO g*, 2021).





Εικόνα 7. Βαθμίδες και ζώνες βαθμολόγησης σύμφωνα με τον Απαιτούμενο Δείκτη CII (IMO g, 2021).

### Ανώτατο Όριο (*Superior Boundary*)

Αυτό το όριο αντιπροσωπεύει το υψηλότερο επίπεδο βαθμολόγησης που μπορεί να επιτευχθεί, ταξινομώντας το πλοίο σε εξαιρετικής περιβαλλοντικής απόδοσης ομάδα, με χαμηλές εκπομπές άνθρακα.

### Χαμηλότερο Όριο (*Lower Boundary*)

Το χαμηλότερο όριο είναι το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο έντασης άνθρακα. Ωστόσο μπορεί να υπάρξει σε αυτό το σημείο περιθώριο βελτίωσης για τη περαιτέρω μείωση των εκπομπών άνθρακα.

### Ανώτερο Όριο (*Upper Boundary*)

Το ανώτερο όριο χαρακτηρίζει πλοία υψηλότερης έντασης άνθρακα, τα οποία χρήζουν άμεσης βελτίωσης.

### Κατώτατο Όριο (*Inferior Boundary*)

Η χαμηλότερη βαθμολογία και βαθμός έντασης άνθρακα αντιπροσωπεύεται από το κατώτατο όριο. Τα πλοία που βρίσκονται εντός αυτού του ορίου είναι ανεπαρκή σε σχέση με τη περιβαλλοντική απόδοση και έχουν πολύ πιο υψηλές εκπομπές σε άνθρακα από αυτές που θεωρούνται αποδεκτές.

### Ενδιάμεσοι Βαθμοί (*Intermediate Grades*)

Ανάμεσα στο χαμηλότερο και το ανώτερο όριο, μπορεί να υπάρχουν ενδιάμεσοι βαθμοί ή αξιολογήσεις που αντικατοπτρίζουν διάφορα επίπεδα έντασης άνθρακα και περιβαλλοντικής απόδοσης. Αυτοί οι βαθμοί παρέχουν μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση και επιτρέπουν τη διάκριση μέσα στο σύστημα αξιολόγησης.

Μέσω ενός εκθετικού μετασχηματισμού κάθε διανύσματος  $dd$ , τα τέσσερα όρια ορίζονται βάση του απαιτούμενου δείκτη  $CII$  (*Attained CI*) ως εξής (IMO g, 2021):

$$\text{Superior boundary} = \exp(d_1) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{Lower boundary} = \exp(d_2) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{Upper boundary} = \exp(d_3) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{Inferior boundary} = \exp(d_4) \cdot \text{required CII}$$

*Πίνακας 3. Διανύσματα  $dd$  για τον προσδιορισμό βαθμολογίας σε κάθε τύπο πλοίου (IMO g, 2021).*

Ship type		Capacity	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 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 and above	DWT	0.89	0.98	1.06	1.13
	less than 100,000 DWT		0.79	0.92	1.10	1.37
RO-RO cargo ship (vehicle carrier)		GT	0.89	0.94	1.06	1.16
RO-RO cargo ship		DWT	0.66	0.90	1.11	1.37
RO-RO passenger ship		GT	0.72	0.90	1.12	1.41
Cruise passenger ship		GT	0.87	0.95	1.06	1.16

Ο δείκτης *CII* υπολογίζεται με βάση τα αναφερόμενα δεδομένα στο *DCS* του *IMO* και έπειτα το πλοίο λαμβάνει την βαθμολογία από Α έως Ε. Για πλοία τα οποία φέρουν βαθμολογία D για τρία συνεχόμενα έτη, ή βαθμολογία E για ένα μόνο έτος, πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει σχέδιο διορθωτικών ενεργειών που θα αναπτυχθεί ως μέρος του *SEEMP* και θα εγκριθεί.

Η διαφορά του *CII* με τον δείκτη *EEXI* είναι πως ο *EEXI* δίνει μια εφάπαξ πιστοποίηση και αφορά τις παραμέτρους σχεδιασμού του κάθε υφιστάμενου πλοίου. Ο *CII* είναι ένας λειτουργικός δείκτης που σχετίζεται με τον τρόπο λειτουργίας του πλοίου και θα αξιολογείται ετησίως από το 2023 με όλο πιο αυστηρά όρια στις εκπομπές των αερίων. Η αξία του δείκτη αυτού συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας του πλοίου. Ακόμα, ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται, η απόδοση του πλοίου, το μεταφερόμενο φορτίο, οι καιρικές συνθήκες και η γενική κατάσταση του σκάφους είναι παράμετροι που επηρεάζουν τον δείκτη έντασης άνθρακα *CII*.

Ένας πλοιοκτήτης-διαχειριστής πρέπει να παρακολουθεί και να ελέγχει συνεχώς τις επιδόσεις του πλοίου που σχετίζονται με τον *CII* ώστε να αποφευχθεί η λήψη δραστικών μέτρων απροσδόκητα.

## Κεφάλαιο 3: Κανονισμοί σχετικοί με τους Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης

### 3.1 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης (*Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP*)

Το *SEEMP* είναι ένα σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης των πλοίων που εισήχθη από τον *IMO* το 2009 και είναι υποχρεωτικό για όλα τα πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 400GT. Αυτό που απαιτεί από τους ναυλωτές και τους πλοιοκτήτες είναι να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν ένα σχέδιο διαχείρισης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κάθε πλοίου, προσαρμοσμένο κάθε φορά ανά περίπτωση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 8, το *SEEMP* περιλαμβάνει 4 φάσεις:

#### **Φάση Σχεδιασμού (*Planning*)**

Ο προγραμματισμός είναι το πιο κρίσιμο στάδιο του *SEEMP I*, καθώς καθορίζει την τρέχουσα κατάσταση της ενέργειας που χρησιμοποιείται από το πλοίο αλλά και την αναμενόμενη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Σε αυτή τη φάση αναπτύσσονται συγκεκριμένα μέτρα και στρατηγικές για την εξοικονόμηση ενέργειας. Θέτονται στόχοι που μπορούν να πραγματοποιηθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Στη φάση του σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράμετροι όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, ο προγραμματισμός ταξιδιών κ.α.

#### **Φάση Εφαρμογής (*Implementation*)**

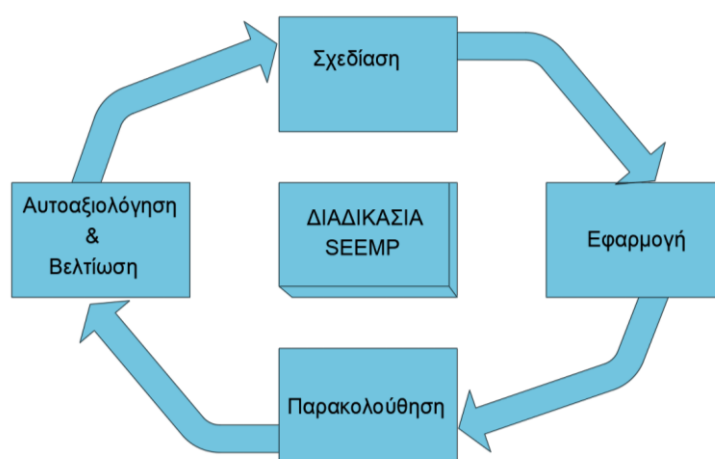
Σε αυτή τη φάση καθιερώνεται ένα σύστημα εφαρμογής σχετικά με τα προσδιοριζόμενα και επιλεγμένα μέτρα. Σε αυτό θα πρέπει να αναπτύσσονται οι διαδικασίες για τη διαχείριση της ενέργειας, να ορίζονται καθήκοντα και να αναθέτονται στο εξειδικευμένο προσωπικό. Τα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης θα πρέπει να αρχειοθετούνται καθώς αυτό ωφελεί την αυτοαξιολόγησή τους σε μεταγενέστερο στάδιο.

### Φάση Παρακολούθησης (*Monitoring*)

Η ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου πρέπει να παρακολουθείται με τις μεθόδους που καθορίζονται από διεθνή πρότυπα. Ο Δείκτης Λειτουργικής Ενεργειακής Απόδοσης (*Energy Efficiency Operational Indicator – EEOI*) είναι ένα εργαλείο που αναπτύχθηκε από τον *IMO* και αποτελεί έναν ποσοτικό δείκτη ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση της παρακολούθησης του *SEEMP*. Ως εκ τούτου, το *EEOI* θεωρείται το βασικό εργαλείο σε αυτή τη φάση.

### Φάση της αυτοαξιολόγησης και βελτίωσης (*Self-evaluation and Improvement*)

Η αυτοαξιολόγηση και βελτίωση είναι η τελική φάση του κύκλου διαχείρισης. Ο σκοπός της φάσης αυτής είναι η αξιολόγηση των μέτρων σχεδίασης και της εφαρμογής τους, η κατανόηση μέτρων που μπορούν/δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και ο τρόπος που θα αναπτυχθεί το βελτιωμένο σχέδιο διαχείρισης στον επόμενο κύκλο. Η αυτοαξιολόγηση θα πρέπει να εφαρμόζεται περιοδικά με τη χρήση δεδομένων που συλλέγονται μέσω του σταδίου της παρακολούθησης (*IMO c, 2016*).



Εικόνα 8. Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (*SEEMP*)

### 3.2 Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (*Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI*)

Ο δείκτης *EEOI* χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου κατά τη διάρκεια της κανονικής του λειτουργίας. Είναι ένα μέσο που χρησιμοποιείται στο *SEEMP* και υπολογίζεται από την εξίσωση (1)

$$EEOI = \frac{\sum_{i,j}(FC_{ij}C_{Fj})}{m_{cargo} \cdot D} \quad (1)$$

Όπου:

- $j$  είναι ο τύπος του καυσίμου.
- $i$  είναι ο αριθμός ταξιδιού.
- $FC_{ij}$  είναι η μάζα του καυσίμου  $j$  που καταναλώθηκε στο ταξίδι  $i$ .
- $C_{Fj}$  είναι ο συντελεστής μετατροπής μάζας καυσίμου σε  $CO_2$  για το καύσιμο  $j$ .
- $m_{cargo}$  είναι το φορτίο σε τόνους που μεταφέρεται.
- $D$  είναι η απόσταση που αντιστοιχεί στο μεταφερόμενο φορτίο, σε ναυτικά μίλια (IMO, 2009).

### 3.3 Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (*International Air Pollution Prevention Certificate – IAPP*)

Ο *IMO* στα μέτρα για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης απαιτεί την ύπαρξη ενός πιστοποιητικού, από πλοία ολικής χωρητικότητας 400GT και άνω. Το πιστοποιητικό *IAPP* έχει σκοπό να προωθήσει τη μείωση των εκπομπών ρύπων από τα πλοία, με έμφαση στη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου ( $SO_x$ ) και των εκπομπών οξειδίων του αζώτου ( $NO_x$ ). Ο σκοπός του πιστοποιητικού είναι να προάγει την προστασία του περιβάλλοντος καθώς μέσω της έκδοσης και της υποβολής του, το πιστοποιητικό αυτό επιβεβαιώνει ότι ένα πλοίο πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές σχετικά με τη μείωση των εκπομπών.

Το πιστοποιητικό εκδίδεται και ισχύει για συγκεκριμένη περίοδο που ορίζεται από τις Αρχές, η οποία δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα πέντε έτη (IMO, 2011).

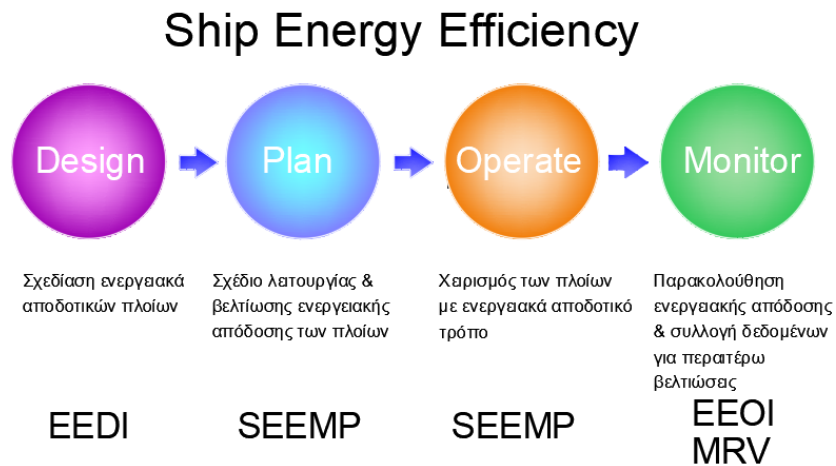
### 3.4 Παρακολούθηση, Αναφορά και Επαλήθευση (*EU Monitoring, Reporting and Verification – MRV*)

Το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο (*International Chamber of Shipping – ICS*), ιδρύθηκε το 1921 και εκπροσωπεί περισσότερο από 80% του παγκόσμιου εμπορικού ναυτικού στόλου. Ο ρόλος του είναι να προωθεί και να προστατεύει τα κοινά εμπορικά, ναυτιλιακά και οικονομικά συμφέροντα των ναυτιλιακών επιχειρήσεων παγκοσμίως. Ο *ICS* συνεργάζεται με διεθνείς οργανισμούς, όπως ο *IMO*, και διαμορφώνει διεθνείς κανονισμούς που αφορούν τη ναυτιλία (*ICS, 2023*).

Το 2015, τέθηκε σε ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός Παρακολούθησης, Αναφοράς και Επαλήθευσης (*EU Monitoring, Reporting and Verification – MRV*). Η πρώτη περίοδος αναφοράς αρχίζει από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2018, οπότε και όλα τα πλοία ολικής χωρητικότητας άνω των 5000 τόνων που καταπλέουν σε λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις εκπομπές *CO<sub>2</sub>* και να ελέγχονται ετησίως από έναν ανεξάρτητο φορέα. Στόχος είναι η ευαισθητοποίηση και η διαφάνεια των πληροφοριών αυτών να οδηγήσει σε ετήσια μείωση κατά 2% σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ναυτιλία. Ο κανονισμός *MRV* ύστερα από την υποβολή των δεδομένων, απαιτεί από την Επιτροπή να επανεξετάσει τα στοιχεία και να προτείνει τυχόν τροποποιήσεις εάν χρειάζονται.

Σύμφωνα με τον κανονισμό, οι εταιρείες υποχρεούνται να παρακολουθούν και να αναφέρουν μέσω κατάλληλης έκθεσης τις εκπομπές *CO<sub>2</sub>* από την καύση κάθε τύπου καυσίμου για κάθε πλοίο τους ξεχωριστά. Αυτές οι εκθέσεις περιλαμβάνουν τουλάχιστον τα ακόλουθα στοιχεία, καθώς και μερικά ακόμα που αναφέρονται στον κανονισμό *EU 2015/757*:

- Ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται, τύπος καυσίμου, καθώς και τους αντίστοιχους συντελεστές εκπομπών για κάθε τύπο καυσίμου.
- Συνολικές εκπομπές *CO<sub>2</sub>* για όλα τα ταξίδια μεταξύ λιμένων.
- Συνολική απόσταση που διανύθηκε κατά την περίοδο εφαρμογής του κανονισμού (*ICS, 2015*).



*Εικόνα 9. Κατευθυντήριες γραμμές του IMO για την αύξηση ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (IMO, 2011).*

### 3.5 Συλλογή Δεδομένων (IMO Data Collection System - DCS)

Τον Οκτώβριο του 2016 η *MEPC* ενέκρινε, με το ψήφισμα *MEPC.278(70)* κανονισμού σχετικά με το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων που αφορά τις καταναλώσεις καυσίμου των πλοίων, το οποίο τέθηκε σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Μαρτίου του 2018.

Ο κανονισμός 22Α στο Παράρτημα VI της *MARPOL* εισάγει τη δημιουργία βάσης δεδομένων σχετικά με τις καταναλώσεις καυσίμων (*“The Database”*) σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που αναπτύσσονται από τον *IMO* (IMO, 2018).

Από το ημερολογιακό έτος 2019, κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 5000 τόνων και άνω θα πρέπει να συλλέγει τα δεδομένα που θα βρίσκονται στην φόρμα Αναφοράς, Συμμόρφωσης και Κατανάλωσης Καυσίμου (*Form of Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting*) (IMO b, 2016).

Η καταγραφή και αναφορά των καταναλώσεων καυσίμου έχουν ως σκοπό τη βελτίωση και τη διαμόρφωση των κανονισμών για την αντιμετώπιση πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων. Το σύστημα διευκολύνει τη συλλογή αξιόπιστων δεδομένων από πλοία, που αναλύονται με σκοπό την εισήγηση και τη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση του στίγματος της ναυτιλιακής βιομηχανίας στο περιβάλλον.



Το σύστημα *DCS*, πέρα των δεδομένων κατανάλωσης καυσίμων, καλύπτει και άλλους τομείς όπως ναυτικά ατυχήματα, περιστατικά ρύπανσης της θάλασσας, ελέγχους και εκπομπές από τα πλοία. Με τη συλλογή όλων αυτών των δεδομένων ο *IMO* αξιολογεί κινδύνους που προέρχονται από την ναυτιλία με αποτέλεσμα να μπορεί να αναπτύξει τα κατάλληλα μέτρα βελτίωσης της ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Συνοπτικά, το σύστημα *DCS* του *IMO* πλαισιώνει τη συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση δεδομένων από διάφορες πηγές της ναυτιλίας με στόχο τη λήψη αποφάσεων, βάσει αποδεικτικών στοιχείων, την προώθηση βιώσιμων πρακτικών και τη βελτίωση της ασφάλειας στη διεθνή ναυσιπλοΐα.

## Κεφάλαιο 4: Μέτρα βελτίωσης αποδοτικότητας πλοίου

Στις περιπτώσεις στις οποίες τα αποτελέσματα των υπολογισμών σχετικά με τους δείκτες ενεργειακής απόδοσης δεν πληρούν τις απαιτήσεις των κανονισμών, οι πλοιοκτήτες και αρμόδιοι φορείς θα πρέπει να λάβουν μέτρα για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των πλοίων.

Στο ψήφισμα *MEPC.335(76)* αναφέρονται μέτρα για τη βελτίωση της αποδοτικότητας του πλοίου και συνεπώς την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτά είναι (IMO c, 2021) :

- Περιορισμός ισχύος κινητήρα – (*Engine power limitation – EPL*)
- Περιορισμός ισχύος άξονα – (*Shaft power limitation – ShaPoLi*)

Επιπλέον, στο ψήφισμα *MEPC.1 Circ.815* αναφέρονται οδηγίες σχετικά με τη διαχείριση και εφαρμογή διάφορων καινοτόμων τεχνολογιών που βοηθούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την επίτευξη του απαιτούμενου δείκτη *EEXI-EEDI*.

Ακολούθως, αναλύονται ορισμένοι δυνατοί τρόποι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων βάση των κανονισμών.

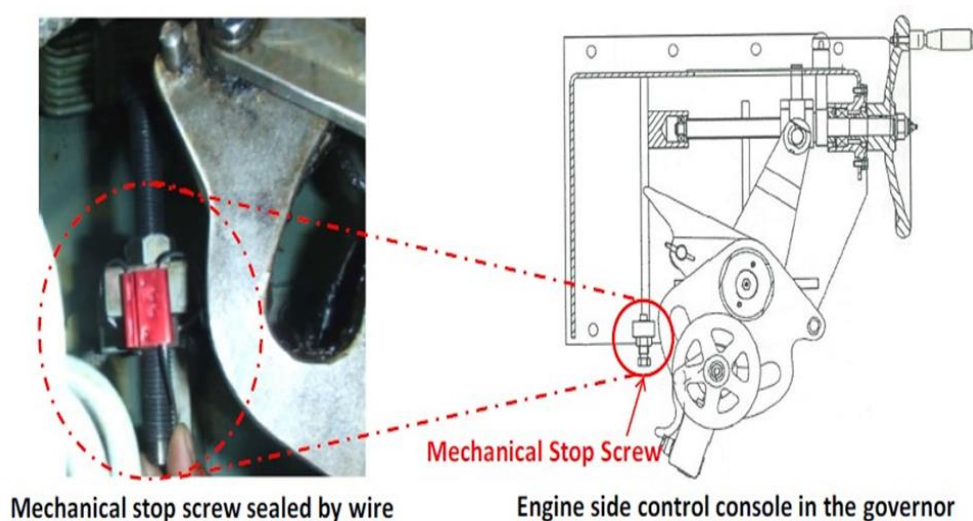
### 4.1 *Engine Power Limitation – EPL*

Ισχύς κινητήρα (*Engine Power*) ονομάζεται η μηχανική ισχύς που μεταδίδεται από τον κινητήρα στον άξονα της προπέλας. Στην περίπτωση πολλαπλών κινητήρων, ως ισχύς κινητήρα νοείται το άθροισμα της ισχύος που μεταδίδεται από τους κινητήρες στον άξονα της προπέλας.

Το *Engine Power–Limitation - EPL* είναι ένα πιστοποιημένο και εγκεκριμένο σύστημα που περιορίζει τη μέγιστη ισχύ του κινητήρα. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας σχετικά με τον περιορισμό της ισχύος, ο μηχανικός (*mechanical EPL*) και ο ηλεκτρονικός (*electronic EPL*).

#### 4.1.1 Mechanical EPL

Ο μηχανικός περιορισμός ισχύος κινητήρα αποτελείται από μια βίδα, η οποία είναι σφραγισμένη με σύρμα ή με μια συσκευή παρόμοιας χρήσης, η οποία ρυθμίζει την ποσότητα του καυσίμου που εισέρχεται στον κινητήρα. Το σύστημα αυτό είναι “*Overridable*”, δηλαδή σύστημα το οποίο μπορεί να παρακαμφθεί. Οι μόνοι που έχουν πρόσβαση σε αυτό το σύστημα είναι ο πλοίαρχος ή ο αξιωματικός που είναι υπεύθυνος για τη ναυσιπλοΐα (*Officer In Charge of a Navigational Watch – OICNW*) και αυτό γίνεται για την διασφάλιση της ασφάλειας του πλοίου. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται σε μηχανικά ελεγχόμενους κινητήρες.



Εικόνα 10. Σφράγιση της μηχανικής βίδας για την χρήση μηχανικού EPL (IMO c, 2021).

Για το σύστημα αυτό, ο κατασκευαστής του κάθε κινητήρα παραδίδει σαφείς οδηγίες ως προς την εγκατάσταση και την αφαίρεσή του. Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα στην εφαρμογή του μηχανικού EPL. Αρχικά, υπάρχει δυσκολία στην αφαίρεση και επανατοποθέτηση του συστήματος σε περίπτωση ανάγκης. Επιπλέον η διαδικασία είναι χρονοβόρα. Η εφαρμογή του EPL δεν επηρεάζει την απόδοση και την ιπποδύναμη της μηχανής, παρά μόνο περιορίζει την αποδιδόμενη από αυτόν ισχύ.

#### 4.1.2 Electronic EPL

Ο ηλεκτρονικός περιορισμός ισχύος χρησιμοποιείται σε κινητήρες που ελέγχονται μέσω ηλεκτρονικού συστήματος. Μια χαρακτηριστική μορφή της οθόνης που παρέχει το λογισμικό του ηλεκτρονικού αυτού συστήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 11. Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει μια μονάδα ελέγχου, όπου με αλλαγή της παραμέτρου σχετικά με τον δείκτη καυσίμου, ρυθμίζεται εκ νέου η ποσότητα καυσίμου που εισέρχεται στον κινητήρα με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ισχύος.



Εικόνα 11. Τοπική εικόνα από πρόγραμμα ηλεκτρονικά ελεγχόμενου κινητήρα (MITSUI E&S, 2019)

## 4.2 *Shaft Power Limitation – ShaPoLi*

Ισχύς άξονα (*Shaft power*) ονομάζεται η μηχανική ισχύς που μεταδίδεται από τον άξονα της έλικας στην πλήμνη της έλικας. Είναι το γινόμενο της ροπής του άξονα και της ταχύτητας περιστροφής του άξονα. Στην περίπτωση πολλαπλών αξόνων προπέλας, η ισχύς άξονα είναι το άθροισμα της ισχύος που μεταδίδεται σε όλους του άξονες της προπέλας.

Το *Shaft Power Limitation – ShaPoLi* είναι ένα πιστοποιημένο και εγκεκριμένο σύστημα που περιορίζει με τεχνικά μέσα την ισχύ του άξονα. Όπως ισχύει και για το *EPL*, πρόσβαση στο σύστημα έχουν ο πλοίαρχος ή ο *OICNW*. Το *SHaPoLi* είναι ένα σύστημα που αποτελείται από έναν μετατροπέα ροπής ο οποίος είναι συνδεδεμένος στον άξονα της έλικας και μετράει συνεχώς τις στροφές του άξονα, υπολογίζοντας αποτελεσματικά την ισχύ που παράγεται σε πραγματικό χρόνο.

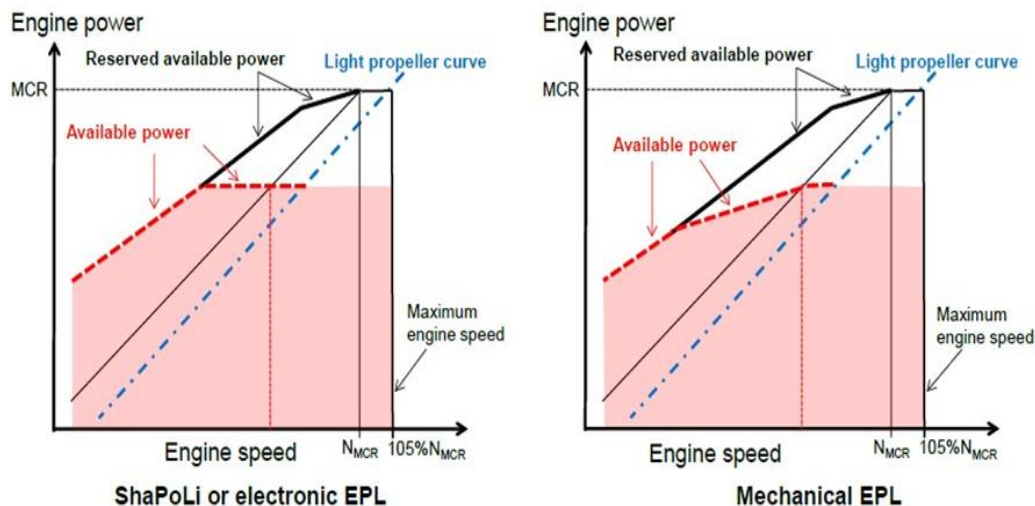
Η βάση του συστήματος αποτελείται από τον μετρητή ροπής (*Shaft Power Meter – SPM*), ένα καταγραφικό δεδομένων και μία οθόνη. Η ισχύς του άξονα παρακολουθείται συνεχώς μέσω του συστήματος και αναφέρεται στην οθόνη που βρίσκεται στη γέφυρα του πλοίου και ελέγχεται από τον αξιωματικό. Όταν η ισχύς είναι πάνω από τα περιορισμένα όρια που έχουν ρυθμιστεί, ηχητικός και οπτικός συναγερμός προειδοποιεί τον αξιωματικό.

Η εγκατάσταση του συστήματος είναι απλή, καθώς δεν απαιτούνται αλλαγές σε υπάρχοντα μηχανήματα. Με τη χρήση του συστήματος *ShaPoLi* μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πλήρης ισχύς του κινητήρα χωρίς περιορισμό, γεγονός που το καθιστά την προτιμότερη λύση, διότι σε περιπτώσεις ανάγκης η παράκαμψη του είναι άμεση και εύκολη. Είναι μια πιο οικονομική λύση από το μηχανικό *EPL* και μπορεί να τοποθετηθεί σε όλους τους τύπους κινητήρων σε αντίθεση με το μηχανικό *EPL*. Για τους παραπάνω λόγους, η λύση *ShaPoLi* για τον περιορισμό της ισχύος προτιμάται από τους πλοιοκτήτες.

Τα συστήματα αυτά έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις τις οποίες πληρούν για να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς. Αρχικά, θα πρέπει να μην είναι μόνιμα. Επιπλέον, θα πρέπει να λειτουργούν έτσι ώστε η χρήση της απομένουσας ισχύος να γίνεται μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και θα αναλαμβάνει δράση μόνο ο πλοίαρχος του πλοίου σε αυτή την κατάσταση. Ακόμη, θα πρέπει να συνοδεύονται από έγγραφα και αρχεία που θα αναφέρονται σε όλα τα περιστατικά που χρησιμοποιήθηκε η εφεδρική ισχύς και θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα από τους αρμόδιους φορείς.

Οι δύο αυτές προσεγγίσεις, μηχανική και ηλεκτρονική, χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ο περιορισμός της ισχύος κινητήρα, και εν συνεχεία η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και τις απαιτήσεις του πλοίου.

Στην εικόνα 12 παρουσιάζονται δύο διαγράμματα φορτίου κινητήρα. Το διάγραμμα στα αριστερά αντιστοιχεί στην περίπτωση *SHaPoLi* ή ηλεκτρονικού *EPL* και το διάγραμμα στα δεξιά αντιστοιχεί στην περίπτωση μηχανικού *EPL*. Η κύρια διαφορά σε αυτά τα διαγράμματα είναι το κόκκινο κομμάτι κάτω από τις γραμμές της διαθέσιμης ιπποδύναμης. Παρατηρούμε πως στην πρώτη περίπτωση έχουμε περισσότερη διαθέσιμη ιπποδύναμη και αυτός είναι ένας ακόμη λόγος που οι πλοιοκτήτες επιλέγουν να περιορίσουν την ισχύ με το σύστημα *SHaPoLi*.



Εικόνα 12. Διαγράμματα φορτίου κινητήρα σχετικά με τον περιορισμό ισχύος Άξονα/Κινητήρα (IMO c, 2021).

#### 4.2.1 Εγχειρίδιο Διαχείρισης (*Onboard Management Manual - OMM*)

Τα πλοία που επιλέγουν σαν λύση *EPL* ή *ShaPoLi* για τη συμμόρφωση τους με τον κανονισμό *EEXI*, εκτός από τον τεχνικό φάκελο *EEXI* θα πρέπει να έχουν επίσης ένα εγκεκριμένο εγχειρίδιο διαχείρισης *OMM*. Κάθε κατασκευαστής οφείλει να δίνει σαφείς οδηγίες εγκατάστασης, χρήσης και απεγκατάστασης για τα συστήματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Το εγχειρίδιο αυτό (*manual*) θα πρέπει να βρίσκεται μόνιμα στο πλοίο και να είναι διαθέσιμο για επιθεώρηση.

Για την περίπτωση χρήσης συστήματος *SHaPoLi* το εγχειρίδιο *OMM* πρέπει να περιέχει, δεδομένα που αναφέρονται στο ψήφισμα *MEPC.76/15/Add.2 Annex 8*, συγκεκριμένα:

- Τεχνική περιγραφή του συστήματος βάσει των προδιαγραφών που καθορίζονται από τον κανονισμό
- Μέγιστη ισχύ για την οποία έχει σχεδιαστεί η μονάδα
- Περιγραφή τρόπου που ο ελεγκτής περιορίζει την ισχύ που παρέχεται κ.α.

Για την περίπτωση χρήσης συστήματος *EPL* το εγχειρίδιο *OMM*, σύμφωνα με το ψήφισμα *MEPC.76/15/Add.2 Annex 8* πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω (IMO c, 2021):

- Απόδοση και ταχύτητα κινητήρα.
- Τεχνική περιγραφή του συστήματος.
- Διαδικασίες και μεθόδους αποδέσμευσης του συστήματος κ.α.

#### 4.3 Καινοτόμες τεχνολογίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης

Στο ψήφισμα *MEPC.1 Circ.815* παρουσιάζονται καινοτόμες τεχνολογίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση του πλοίου και οδηγίες για τη συντήρηση και την πιστοποίησή τους εφόσον χρησιμοποιηθούν ως μέσο για την επίτευξη αποδεκτών τιμών του δείκτη *EEDI*.

Οι καινοτόμες τεχνολογίες κατανέμονται σε κατηγορίες (A), (B) και (C) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και τις επιπτώσεις που έχουν στον τύπο υπολογισμού του *EEDI*. Στις κατηγορίες (B) και (C) υπάρχουν υποκατηγορίες (B-1) (B-2) και (C-1) (C-2) αντίστοιχα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 4 με τις καινοτόμες τεχνολογίες και τις αντίστοιχες κατηγορίες που προβλέπονται από τον κανονισμό.

*Πίνακας 4. Καινοτόμες Τεχνολογίες για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (IMO, 2013).*

Innovative Energy Efficiency Technologies				
Reduction of Main Engine Power			Reduction of Auxiliary Power	
Category A	Category B-1	Category B-2	Category C-1	Category C-2
Cannot be separated from overall performance of the vessel	Can be treated separately from the overall performance of the vessel		Effective at all time	Depending on ambient environment
	$f_{eff}=1$	$f_{eff} < 1$	$f_{eff}=1$	$f_{eff} < 1$
<ul style="list-style-type: none"> <li>- low friction coating</li> <li>- bare optimization</li> <li>- rudder resistance</li> <li>- propeller design</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hull air lubrication system (air cavity via air injection to reduce ship resistance) (can be switched off)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wind assistance (sails, Flettner-Rotors, kites)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- waste heat recovery system (exhaust gas heat recovery and conversion to electric power)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- photovoltaic cells</li> </ul>

Όσες καινοτόμες τεχνολογίες βρίσκονται στην κατηγορία (A) επηρεάζουν την ισχύ και την ταχύτητα αναφοράς του πλοίου. Τα αποτελέσματα που έχουν αυτές οι τεχνολογίες δεν μπορούν να αξιολογούνται μεμονωμένα. Επομένως, αυτές οι επιδράσεις δεν μπορούν να υπολογίζονται και να πιστοποιούνται μεμονωμένα, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται ως μέρος του πλοίου στους υπολογισμούς του δείκτη *EEDI*.

Τα αποτελέσματα των καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών στην κατηγορία (B) εκφράζονται ως  $P_{eff}$  και πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή  $C_{F(ME)}$ , την  $SFC_{ME}$  και τον συντελεστή  $f_{eff}$ , και έπειτα αφαιρούνται από τον τύπο του *EEDI*. Εάν γίνει επιλογή τεχνολογίας από την κατηγορία (B-1) τότε  $f_{eff}=1.00$ .

Αν επιλεγεί ως λύση μια καινοτόμος τεχνολογία από την κατηγορία (C) τα αποτελέσματα εκφράζονται ως  $P_{AEff}$  και πολλαπλασιάζονται με  $C_{F(AE)}$ , την  $SFC_{AE}$  και τον συντελεστή  $f_{eff}$ , και έπειτα αφαιρούνται κατά τον υπολογισμό του *EEDI*. Εάν γίνει επιλογή τεχνολογίας από την κατηγορία (C-1) τότε το  $f_{eff}=1.00$  (IMO, 2013).



## Κεφάλαιο 5: Υπολογισμός των δεικτών *EEXI* και *CII* για πλοίο τύπου *Bulk Carrier*

### 5.1 Υπολογισμός Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υπάρχοντος Πλοίου – *EEXI*

#### 5.1.1 Χαρακτηριστικά πλοίου, μηχανών και προπέλας

Τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του δείκτη *EEXI* αφορούν 4 διαφορετικά χαρακτηριστικά του πλοίου:

1. Τα βασικά χαρακτηριστικά του
2. Τα χαρακτηριστικά της κύριας μηχανής
3. Τα χαρακτηριστικά των βοηθητικών μηχανών
4. Την προπέλα / προπέλες του πλοίου.

Στους παρακάτω πίνακες 5-8 παρατίθενται όσα δεδομένα χρειάζονται για τον υπολογισμό του *EEXI*.

*Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά ενός πλοίου τύπου bulk carrier*

Τύπος Πλοίου: Bulk Carrier	
Μήκος μεταξύ καθέτων ( <i>Length Between Perpendiculars-LBP</i> )	217.00 [m]
Πλάτος ( <i>Breadth - B</i> )	32.26 [m]
Βάθος ( <i>Depth - D</i> )	19.50 [m]
Καλοκαιρινό Βύθισμα ( <i>Summer Load Draught</i> )	14.12 [m]
Νεκρό Βάρος Πλοίου στο Καλοκαιρινό Βύθισμα ( <i>Deadweight at Summer (Scantling) Draught</i> )	76602.0 [ton]
Ολική Χωρητικότητα ( <i>Gross Tonnage</i> )	39727.0
Κενό Βάρος Πλοίου ( <i>Lightship Weight</i> )	10222.0 [ton]
Χωρητικότητα Δεξαμενών/Αμπαριών ( <i>Tank/Hold Capacity</i> )	90740.4 [m <sup>3</sup> ]

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά κύριας μηχανής

Κύρια μηχανή (Main engine)	
Αριθμός Κύριων Μηχανών	1
Μέγιστη συνεχής απόδοση (Maximum Continuous Rating - MCR)	10320.00 [kW]
Περιστροφική Ταχύτητα Κινητήρα (Rotational Speed at MCR)	89.0 [RPM]
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου στο 75% του MCR (Specific Fuel Consumption @ 75% - SFC)	171.70 [g/kWh]
Συντελεστής Μετατροπής CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> Conversion Factor)	3.206 [t/t]
Καύσιμο (Fuel Oil)	HFO/MDO

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά βοηθητικών μηχανών

Βοηθητική μηχανή (Auxiliary engine)	
Αριθμός Βοηθητικών Μηχανών	3
Μέγιστη συνεχής απόδοση (Maximum Continuous Rating - MCR)	455.00 [kW]
Περιστροφική Ταχύτητα Κινητήρα (Rotational Speed at MCR)	900.0 [RPM]
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου στο 50% του MCR <sup>*1</sup> (Specific Fuel Consumption @ 50% - SFC)	201.16 [g/kWh]
Συντελεστής Μετατροπής CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> Conversion Factor)	3.206 [t/t]
Καύσιμο (Fuel Oil)	HFO/MDO

<sup>\*1</sup> Στην περίπτωση που εξετάζεται, τα δεδομένα για το  $SCF_{AE}$  δεν αναφέρονται σε συνθήκες ISO. Έτσι, βάσει του ψηφίσματος MEPC.78/INF.27 (IMO, 2022) και βάσει του πίνακα της σελίδας 10 του κανονισμού, η τιμή της SFC διορθώθηκε με το LCV (Low Calorific Value – Χαμηλή Θερμική Αξία) ως εξής:

$$SFC_{AE} = 201.4 \cdot \left( \frac{42.65}{42.70} \right) = 201.16 \text{ g/kWh}$$

- SFC (50%) = 201.4
- LCV = 42.65 kJ/Kg
- Standard LCV = 42.70 kJ/K

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά προπέλας

Προπέλα ( <i>Propeller</i> )	
Αριθμός Προπελών	1
Διάμετρος ( <i>Diameter</i> )	7.40 [m]
Αριθμός Πτερυγίων	4

### 5.1.2 Εύρεση παραμέτρων

#### 5.1.2.1 *Auxiliary Engine Power* $P_{AE}$

Αρχικά, χρειάζεται να υπολογισθεί η απαιτούμενη ισχύς του βοηθητικού κινητήρα  $P_{AE}$  για το μέγιστο φορτίο, συμπεριλαμβανομένης της απαραίτητης ισχύος για τα μηχανήματα και τα συστήματα πρόωσης στην κατάσταση όπου το πλοίο εκτελεί ταξίδι με ταχύτητα  $V_{ref}$  στο καλοκαιρινό βύθισμα.

Για πλοία με συνολική ισχύ κίνησης (*Total Propulsion Power*)  $\sum MCR_{ME} + \frac{\sum P_{PTI}}{0.75} > 10000.0$  kW η απαιτούμενη ισχύς βοηθητικού κινητήρα  $P_{AE}$  ορίζεται (IMO b, 2018) ως:

$$P_{AE (\sum MCR_{ME})} = \left( 0.025 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right) + 250 \quad (2)$$

Για πλοία με συνολική ισχύ κίνησης (*Total Propulsion Power*)  $\sum MCR_{ME} + \frac{\sum P_{PTI}}{0.75} < 10000.0$  kW η απαιτούμενη ισχύς βοηθητικού κινητήρα  $P_{AE}$  ορίζεται ως (IMO b, 2018):

$$P_{AE (\sum MCR_{ME})} = \left( 0.05 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right) \quad (3)$$

Για την περίπτωση μας έχουμε:

- $P_{PTI} = 0.00$  [kW] : *power of shaft motors* (το πλοίο δεν έχει *shaft motor*)

- $P_{MCR} = 10320.00 [kW]$

Αντικαθιστώντας τις τιμές στην Σχέση (2):

$$P_{AE (\Sigma MCR_{ME})} = (0.025 \cdot 10320 kW) + 250 =$$

$$P_{AE} = 508.00 [kW]$$

#### 5.1.2.2 Main Engine Power $P_{ME}$

Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί η απαιτούμενη ισχύς της κύριας μηχανής  $P_{ME}$ . Συνήθως η τιμή αυτή υπολογίζεται τυπικά στο 75% της  $MCR$  για κάθε κύρια μηχανή. Ωστόσο, η πραγματική τιμή μπορεί να διαφέρει σε κάθε περίπτωση εξ' αιτίας ορισμένων παραγόντων όπως ο σχεδιασμός του κινητήρα ή κάποιες συνθήκες λειτουργίας. Έτσι, η  $P_{ME}$  υπολογίζεται ως εξής (IMO b, 2018):

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} = 0.75 \cdot (\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)}) \quad (4)$$

Όπου η  $P_{ME}$  δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την  $P_{AE}$ :

$$\sum_{i=1}^{nPTO} 0.75 \cdot MCR_{PTO(i)} \leq P_{AE}$$

Ακολούθως :

$$0.75 \cdot \sum P_{PTO} = 0.75 \cdot 0.00 kW = 0.00 [kW] \leq P_{AE} = 508.00 [kW]$$

Επομένως, βάσει της σχέσης (4) :

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} = 0.75 \cdot 10320 kW =$$

$$P_{ME} = 7740.00 [kW]$$

### 5.1.2.3 Specific Fuel Consumption – SFC

Για τον υπολογισμό όλων των παραμέτρων απαιτείται η εύρεση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (*Specific Fuel Consumption – SFC*). Μέσω δοκιμών που πραγματοποιούνται στον εξοπλισμό και στα μηχανήματα πριν την εγκατάστασή τους σε ένα πλοίο, συλλέγονται τα απαραίτητα δεδομένα από τους κατασκευαστές ή τον προμηθευτή. Στην περίπτωση μας τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από τον τεχνικό φάκελο NO<sub>x</sub> και τα *Shop Tests* και οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για την κύρια και την βοηθητική μηχανή είναι οι παρακάτω (IMO b, 2018):

Main Engine Specific Fuel Consumption @75% of MCR

$$SFC_{ME} = 171.70 [g/kWh]$$

Auxiliary engine Specific Fuel Consumption @50% of MCR

$$SFC_{AE} = 201.40 [g/kWh]$$

Auxiliary engine Specific Fuel Consumption @50% of MCR with LCV correction

$$SFC_{AE} = 201.16 [g/kWh]$$

### 5.1.2.4 Conversion Factor C<sub>F</sub>

Ο υπολογισμός του *EEXI* εμπεριέχει αρκετούς συντελεστές. Ένας από αυτούς είναι ο συντελεστής μετατροπής C<sub>F</sub> μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Είναι ένας συντελεστής που αναφέρεται στη ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται από έναν κινητήρα ή ένα σύστημα και τη ποσότητα των εκπομπών CO<sub>2</sub> που προκαλούνται από αυτή την κατανάλωση. Αυτός ο συντελεστής ορίζεται ανάλογα με το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται βάσει του πίνακα 9:

Πίνακας 9. Συντελεστής  $C_F$  (IMO b, 2018)

Τύπος καυσίμου	Θερμοδυναμική αξία (kJ/kg)	Ποσότητα άνθρακα	Συντελεστής $C_F$ (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)
<i>Diesel/Gas Oil</i>	42,700	0.8744	3.206
<i>Light Fuel Oil (LFO)</i>	41,200	0.8594	3.151
<i>Heavy Fuel Oil (HFO)</i>	40,200	0.8493	3.114
<i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>	<i>Propane</i> : 46,300	0.8182	3.000
	<i>Butane</i> : 45,700	0.8264	3.030
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	48,000	0.7500	2.750
<i>Methanol</i>	19,900	0.3750	1.375
<i>Ethanol</i>	26,800	0.5217	1.913

Στην περίπτωση μας, θα χρησιμοποιήσουμε την τιμή για το *Diesel/Gas Oil* ως αποτέλεσμα των *shop tests* που έγιναν στην μηχανή, στα οποία χρησιμοποιήθηκε αυτός ο τύπος καυσίμου. Άρα:

$$C_F = 3.206 [t - CO_2/t - Fuel]$$

#### 5.1.2.5 Capacity

Για τα πλοία bulk carriers, το *deadweight* χρησιμοποιείται ως *capacity* (IMO b, 2018). Έτσι, η *capacity* του πλοίου που εξετάζουμε είναι:

$$Capacity = 76602.2 \text{ ton}$$

#### 5.1.2.6 Συντελεστές

##### **Ship specific design elements - $f_j$**

Ο συντελεστής  $f_j$  είναι ένας διορθωτικός συντελεστής που σχετίζεται με τα ειδικά σχεδιαστικά στοιχεία του πλοίου. Στη περίπτωση των *bulk carrier*, ο συντελεστής αυτός ισούται με 1.

$$f_j = 1.000$$

##### **Factor for speed reduction at sea – $f_w$**

Ο συντελεστής  $f_w$  σχετίζεται με την απόδοση του πλοίου σε ειδικές καιρικές συνθήκες. Στο υπό μελέτη πλοίο δεν υπάρχουν τέτοιες συνθήκες με αποτέλεσμα ο συντελεστής να ισούται με 1.

$$f_w = 1.000$$

##### **Capacity factor for technical/regulatory limitation on capacity – $f_i$**

Ο συντελεστής  $f_i$  είναι συντελεστής σχετικός με τον οποιοδήποτε τεχνικό/ρυθμιστικό περιορισμό στην χωρητικότητα και στη περίπτωσή μας ισούται με 1, διότι δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός.

$$f_i = 1.000$$

##### **Cubic capacity correction factor – $f_c$**

Ο συντελεστής  $f_c$  είναι συντελεστής και ισούται με 1 για πλοία *bulk carrier*.

$$f_c = 1.000$$

### Factor for ice-classed ships having IA Super and IA – $f_m$

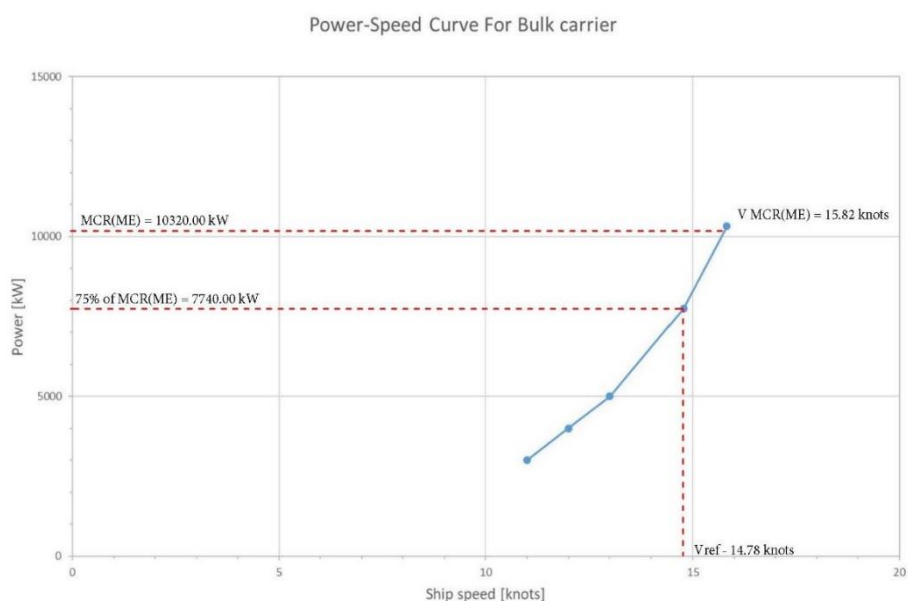
Το συγκεκριμένο πλοίο δεν έχει κλάση πάγου IA Super ή IA, άρα ο συντελεστής ισούται με 1 (IMO b, 2018).

$$f_m = 1.000$$

#### 5.1.2.7 Reference Ship Speed – $V_{ref}$

Για τα πλοία που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής των απαιτήσεων του δείκτη *EEXI*, η ταχύτητα του πλοίου θα πρέπει να προκύπτει από μια εγκεκριμένη καμπύλη ταχύτητας-ισχύος (IMO b, 2018). Με τη συνδρομή της εταιρείας *M&C Group* και τη χρήση κατάλληλου λογισμικού από την εταιρία *Ship Reality*, ψηφιοποιήθηκε η καμπύλη Ισχύος-Ταχύτητας που λήφθηκε από τις δοκιμές δεξαμενής/θαλάσσης με αποτέλεσμα η ταχύτητα  $V_{ref}$  του πλοίου να υπολογίζεται ίση με:

$$V_{ref} = 14.78 \text{ knots}$$



Εικόνα 13. Διάγραμμα Ισχύος-Ταχύτητας για το υπό μελέτη πλοίο Bulk carrier στο Scantling Draught - Υπολογισμός της  $V_{ref}$  (M&C Group - Ship Reality)



### 5.1.3 Υπολογισμός Attained και Required EEXI

#### 5.1.3.1 Υπολογισμός Attained EEXI

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης υπάρχοντος πλοίου *EEXI* είναι ένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης που μετρείται σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά τονομίλια (g-CO<sub>2</sub>/ton·mile) και υπολογίζεται (IMO b, 2021) βάσει της παρακάτω σχέσης (5):

$$EEXI = \frac{CO_2 \text{ emissions}}{Transport \text{ work}} =$$

$$EEXI =$$

$$\frac{M.E. \text{ emissions} + A.E. \text{ emissions} + (PTI - \text{Innovative electrical energy technologies}) - \text{Innovating propulsion energy technologies}}{Capacity \times Reference \text{ speed} \times Reduction \text{ Factors}}$$

$$EEXI =$$

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{l=1}^{n_{ME}} P_{ME(l)} C_{F,ME(l)} SFC_{ME(l)}) + (P_{AE} C_{F,AE} SFC_{AE}) + ((\prod_{j=1}^n f_j \sum_{l=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(l)} - \sum_{l=1}^{n_{eff}} f_{eff(l)} P_{eff(l)}) C_{F,AE} SFC_{AE}) - (\sum_{l=1}^{n_{eff}} f_{eff(l)} P_{eff(l)} C_{F,ME} * SFC_{ME})}{f_i \times f_c \times f_j \times Capacity \times f_w \times V_{ref} \times f_m}$$

(5)

Στον πίνακα 10 συνοψίζονται οι τιμές που χρειάζονται για τον υπολογισμό του δείκτη EEXI, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω.

Πίνακας 10. Τιμές που υπολογίστηκαν για την ανάγκη εύρεσης του Attained EEXI

Παράμετρος	Τιμή
$P_{ME}$	7740.00 [kW]
$SFC_{ME}$	171.10 [g/kWh]
$CF_{ME}$	3.206 [t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel]
$P_{AE}$	508.00 [kW]
$SFC_{AE}$	201.16 [g/kWh]
$CF_{AE}$	3.206 [t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel]
<i>Capacity</i>	76602.0 [ton]

Παράμετρος	Τιμή
Συντελεστής $f_j$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_w$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_i$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_c$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_m$	1.000 [-]
$V_{ref}$	14.78 [knots]

Αντικαθιστώντας στην Σχέση (4) τα δεδομένα που συλλέξαμε από τους προηγούμενους υπολογισμούς έχουμε:

$$EEXI = \frac{1 \cdot (7740.00 \cdot 3.206 \cdot 171.70) + (508.00 \cdot 3.206 \cdot 201.16) + 0 - 0}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 76602.0 \cdot 1 \cdot 14.78 \cdot 1}$$

$$\mathbf{Attained\ EEI = 4.05 [g - CO_2/ton \cdot mile]}$$

#### 5.1.3.2 Υπολογισμός Required EEI

Για τον υπολογισμό της Απαιτούμενης Τιμής EEI πρέπει αρχικά να υπολογίσουμε την τιμή αναφοράς *EEI Reference Line Value*. Είναι μια τιμή αναφοράς που αντιστοιχεί στο απαιτούμενο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης για ένα συγκεκριμένο τύπο και μέγεθος πλοίου. Λειτουργεί ως σημείο σύγκρισης με τον υπολογισμό του EEI ενός πλοίου. Ο υπολογισμός γίνεται (IMO a, 2021) βάσει της εξίσωσης (6)

$$EEI\ Reference\ Line\ Value = a \cdot b^{-c} \quad (6)$$

Βάσει του σχετικού πίνακα από τον κανονισμό *MEPC.76/15/Add.1* προσδιορίζονται οι παράμετροι a, b και c για πλοίο τύπου *bulk carrier* με  $DWT=76602.0$  [ton]. Οι προκύπτουσες τιμές δίνονται στον πίνακα 11.

*Πίνακας 11. Παράμετροι για τον προσδιορισμό της τιμής αναφοράς Reference Line Value (IMO b, 2018)*

Τύπος πλοίου	a	b	c
<b>Bulk carrier</b>	961.79	DWT του πλοίου όταν $DWT \leq 279.000$ ή 279.000 όταν το $DWT > 279.000$	0.477

Βάσει του Πίνακα 11 η τιμή αναφοράς από τη σχέση 6 είναι:

$$EEDI \text{ Reference Line Value} = 961.79 \cdot 76602.0^{-0.477} =$$

$$EEDI \text{ Reference Line Value} = 4.50 [g CO_2/ton \cdot mile]$$

Η Απαιτούμενη τιμή *EEXI* καθορίζεται από τη σχέση 7, ως εξής (IMO a, 2021):

$$Attained EEXI \leq Required EEXI = \left(1 - \frac{Y}{100}\right) \cdot EEDI \text{ Reference Line Value} \quad (7)$$

Το *Y* είναι ένας συντελεστής μείωσης που καθορίζεται από τους κανονισμούς και για την περίπτωση που εξετάζουμε, δηλαδή *DWT* άνω των 20,000 αλλά κάτω των 200.000, παίρνει τιμή 20 (IMO a, 2021).

Άρα από τη σχέση (7) έχουμε:

$$Required EEXI = \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 4.50 =$$

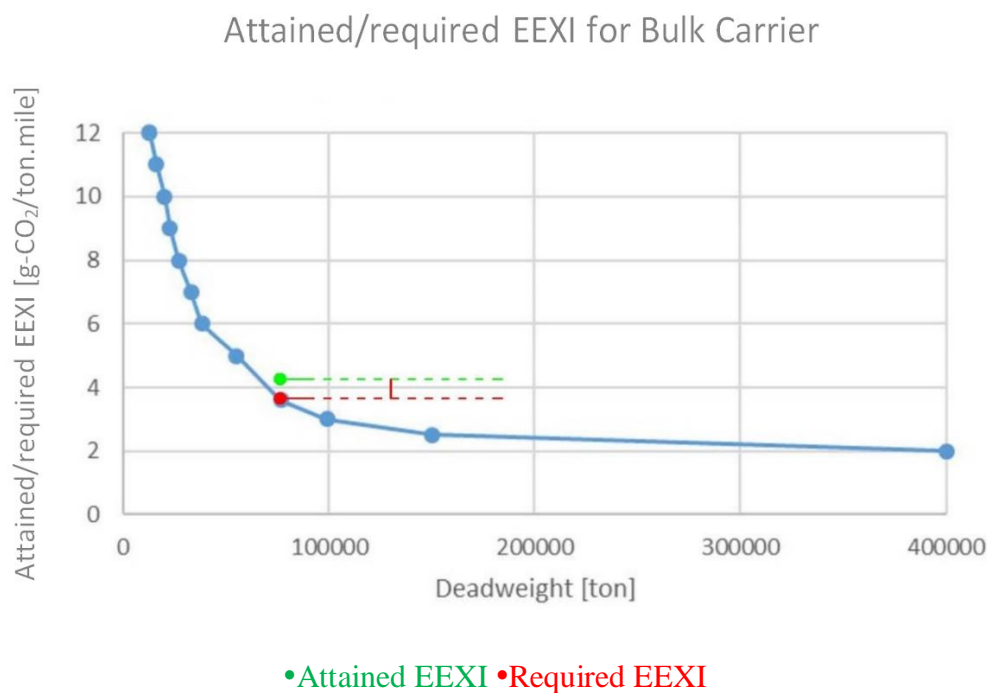
$$Required EEXI = 3.60 [g CO_2/ton \cdot mile]$$

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, μπορούμε να εκτιμήσουμε αν το πλοίο που εξετάζουμε πληροί τις απαιτήσεις του κανονισμού *EEXI*. Εφόσον πρέπει να ισχύει  $Attained\ EEXI \leq Required\ EEXI$  συμπεραίνουμε πως το πλοίο **ΔΕΝ** πληροί τις απαιτήσεις του κανονισμού.

$$Attained\ EEXI = 4.05\text{g CO}_2/\text{ton} \cdot \text{mile} > Required\ EEXI \\ = 3.60\text{ [g CO}_2/\text{ton} \cdot \text{mile]}$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια διαφορά  $4.05 - 3.60 = 0.45\text{ [g CO}_2/\text{ton} \cdot \text{mile]}$ , συνεπώς θα πρέπει για το συγκεκριμένο πλοίο να βρεθεί ένας περαιτέρω συντελεστής μείωσης ώστε να καλυφθεί η διαφορά.

Στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 14 παρουσιάζεται η καμπύλη στην οποία φαίνεται η διαφορά που υπάρχει στις τιμές των *Attained EEXI* – *Required EEXI* βάση του *Deadweight* του πλοίου.



*Εικόνα 14. Attained/Required EEXI για το υπό μελέτη πλοίο Bulk Carrier.*

#### 5.1.4 Υπολογισμός Περιορισμού Ισχύος Μηχανής (*Mechanical Engine Power Limitation Calculation*)

Στην περίπτωση μας θα πρέπει να γίνει περιορισμός της μηχανικής ισχύος (*Engine Power Limitation - EPL*), ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του κανονισμού το πλοίο. Η επιλογή της συγκεκριμένης λύσης για τη μείωση των εκπομπών του πλοίου έγινε διότι είναι ένας οικονομικός και εύκολος τρόπος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δυνατές επιλογές, όπως οι καινοτόμες τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης.

##### 5.1.4.1 *Suggested Power Reduction*

Ο έλεγχος της κύριας μηχανής γίνεται μηχανικά (*Mechanically Controlled Engine*). Έτσι στην συγκεκριμένη μηχανή ο περιορισμός της ισχύος θα γίνει με τον μηχανικό τρόπο *EPL*. Από τα διαθέσιμα δεδομένα του εξεταζόμενου πλοίου, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*software*) της εταιρείας *Ship Reality* σε συνεργασία με την εταιρεία *M&C Group* υπολογίστηκε ένας προτεινόμενος περιορισμός ισχύος ίσος με **26.3%** έτσι ώστε να καλύπτεται η απαιτούμενη μείωση στον δείκτη *EEXI*. Βάσει του συγκεκριμένου ποσοστού μείωσης υπολογίζεται ο νέος επιτευχθείς δείκτης *EEXI*.

##### 5.1.4.2 *Ταχύτητα κινητήρα μετά τον περιορισμό της ισχύος*

Με βάση την εκτιμώμενη καμπύλη *P-n* στο βύθισμα σχεδίασης, η αντίστοιχη εκτιμώμενη τιμή της ταχύτητας της έλικας στο  $MCR_{lim}$  είναι  $n_{appr} = 80.4$  rpm. Η εκτιμώμενη καμπύλη *P-n* στο βύθισμα σχεδίασης μπορεί να περιγραφεί από τον νόμο της προπέλας:

$$P = c \cdot n^3 \quad (8)$$

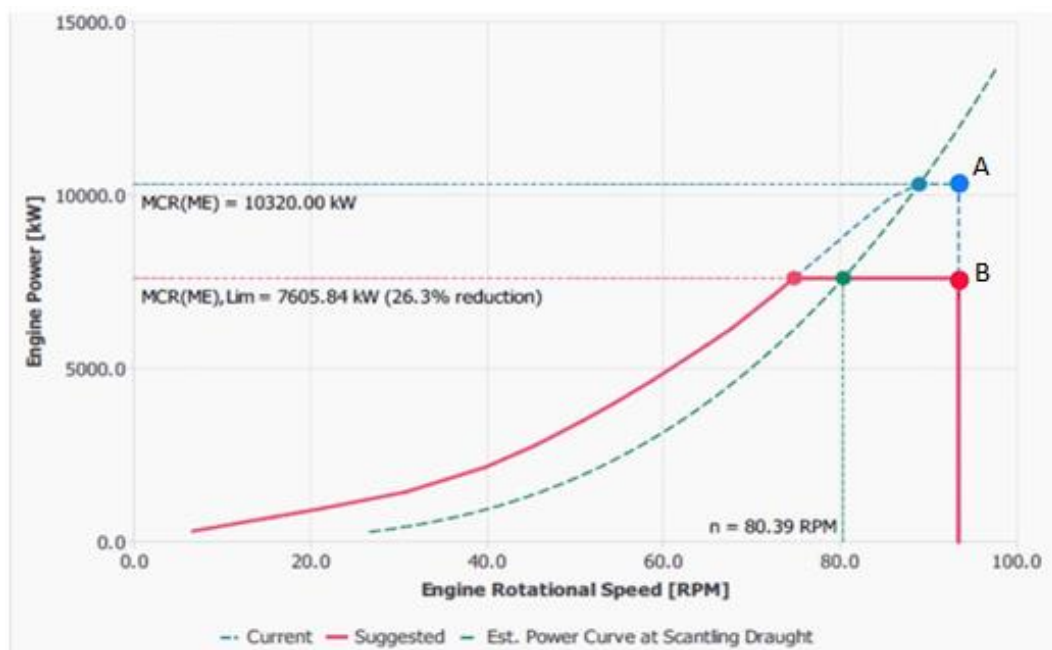
Όπου:

- $c = \frac{P}{n^3} = \frac{10320}{89^3} = 0.0146389$  σταθερά
- $n$ : οι στροφές του κινητήρα = 89.00 [rpm]

### 5.1.4.3 Διάγραμμα Φορτίου Κινητήρα (Engine Load Diagram)

Στο διάγραμμα της εικόνας 15 παρουσιάζεται το αρχικό φορτίο κινητήρα καθώς και το περιορισμένο φορτίο κινητήρα σύμφωνα με την ισχύ και τις ροπές, όπως διαμορφώθηκε μετά τον υπολογισμό του *EPL*.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 15 παρουσιάζεται με κόκκινη γραμμή το σύνολο της ιπποδύναμης που πρόκειται να έχει η μηχανή μετά την εφαρμογή του *EPL* με μείωση ισχύος κινητήρα στο 26.3%. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζει το σύνολο της ιπποδύναμης που έχει η μηχανή χωρίς κανέναν περιορισμό. Η πράσινη διακεκομμένη γραμμή δείχνει την καμπύλη της προπέλας, η οποία περνάει από το σημείο με τεταγμένη  $MCR_{ME} = 10320.00$  kW το οποίο αντιστοιχεί στην καθορισμένη *MCR* που αποδίδει 89.0 rpm. Τα σημεία A και B αντιστοιχούν στην ιπποδύναμη που θα είχε ο κινητήρας εάν υπήρχαν ιδανικές συνθήκες στην προπέλα, στο κύτος του πλοίου αλλά και στον καιρό (*Light running*). Στην Εικόνα 15 φαίνεται πως το καινούριο  $MCR_{ME(lim)} = 7605.84$  kW αποδίδει  $n = 80.4$  rpm.



Εικόνα 15. Engine Load Diagram με εφαρμογή EPL (M&C Group - Ship Reality)

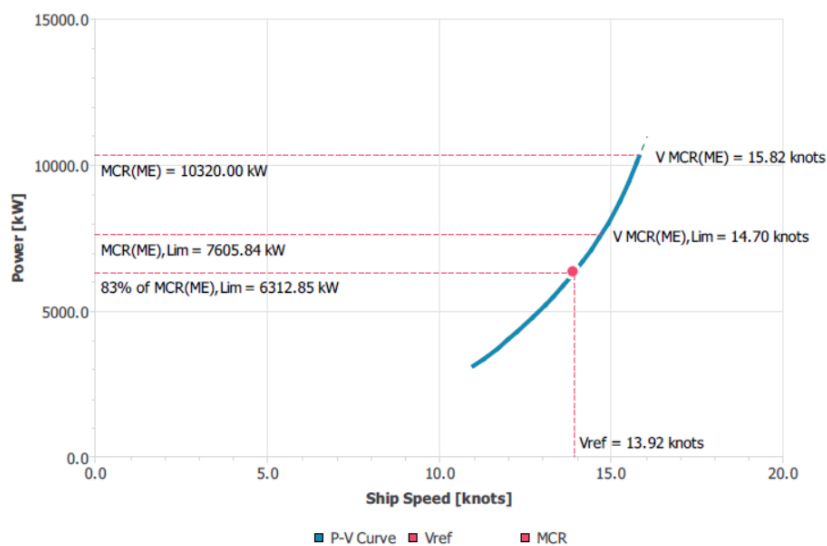
#### 5.1.4.4 Ταχύτητα αναφοράς πλοίου (Reference Ship Speed)

Η ταχύτητα αναφοράς πλοίου  $V_{ref}$  λαμβάνεται από την καμπύλη Ισχύος-Ταχύτητας βάσει των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές. Με τη βοήθεια του προγράμματος *SHIP ENERGY EFFICIENCY - EEXI & CII* της *Ship Reality* διαμορφώθηκε το διάγραμμα που φαίνεται στην εικόνα 16 (*Ship Reality - M&C Group*). Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται η μέγιστη συνεχής ισχύς και οι ροπές σε τρεις περιπτώσεις:

1.  $MCR_{ME}$  της κύριας μηχανής χωρίς περιορισμό = 10320.00 kW.
2.  $MCR_{ME(lim)}$  της κύριας μηχανής με περιορισμό  $EPL$  = 7605.84 kW.
3.  $MCR_{ME(lim)}$  της κύριας μηχανής με περιορισμό 83% του περιορισμού  $EPL$  = 6312.85 kW.

Και αντίστοιχα οι ροπές:

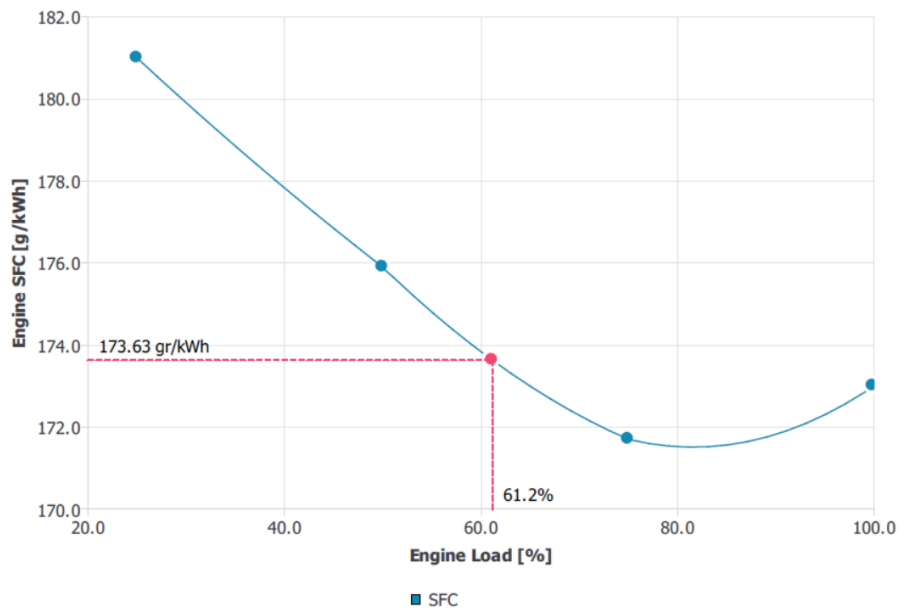
1.  $V_{MCR(ME)}$  της κύριας μηχανής χωρίς περιορισμό = 15.82 knots.
2.  $V_{MCR(ME)(lim)}$  της κύριας μηχανής με περιορισμό  $EPL$  = 14.70 knots.
3.  $V_{ref}$  της κύριας μηχανής με περιορισμό 83% του περιορισμού  $EPL$  = 13.92 knots.



Εικόνα 16. Διάγραμμα Ισχύος-Ταχύτητας – Υπολογισμός  $V_{ref}$  με εφαρμογή  $EPL$  (*Ship Reality - M&C Group*)

Βάσει του διαγράμματος, υπολογίζεται η  $V_{ref}=13.92$  knots. Η μέγιστη ταχύτητα του πλοίου με EPL στο μέγιστο βύθισμα είναι ίση με  $V_{MCR(ME)(lim)}=14.70$  knots.

Με τη βοήθεια του λογισμικού της εταιρείας *Ship Reality* και εφαρμόζοντας τετραγωνική παρεμβολή υπολογίσαμε την τιμή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (*SFC*) στο 83% της μέγιστης ισχύος κινητήρα  $MCR_{(ME)(lim)}$ , η οποία παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 17 (IMO b, 2021).



*Εικόνα 17. Διάγραμμα υπολογισμού SFC του κύριου κινητήρα στο 83% του  $MCR_{(ME)(lim)}$  (M&C Group - Ship Reality)*

Η *SFC* του κινητήρα στη  $MCR_{(ME)(lim)}$  είναι ίση με  $SFC_{MCR(ME)(lim)}= 173.63$  g/kWh.



#### 5.1.4.5 Υπολογισμός “Suggested” Attained EEXI

Από τη σχέση (5) για τον EEXI, υπολογίζουμε με τα καινούρια δεδομένα τον “Suggested” Attained EEXI (IMO b, 2021).

$$EEXI =$$

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} C_{F,ME(i)} SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} C_{F,AE} SFC_{AE}) + ((\prod_{j=1}^n f_j \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{eff(i)}) C_{F,AE} SFC_{AE}) - (\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{F,ME} * SFC_{ME})}{f_i * f_c * f_j * Capacity * f_w * V_{ref} * f_m}$$

$$EEXI = \frac{1 \cdot (6312.85 \cdot 3.206 \cdot 173.63) + (508.00 \cdot 3.206 \cdot 201.16) + 0 - 0}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 76602.0 \cdot 1 \cdot 13.92 \cdot 1}$$

$$\text{Suggested Attained EEXI} = 3.60 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

Πίνακας 12 Τιμές που υπολογίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της τιμής του Suggested Attained EEXI

Παράμετρος	Τιμή
$\Sigma MCR_{ME}$	10320.00 [kW]
$\Sigma MCR_{ME,lim}$	7605.84 [kW]
$\Sigma P_{ME}$	63152.85 [kW]
$SFC_{ME}$	173.63 [g/kWh]
$CF_{ME}$	3.206 [t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel]
$P_{AE}$	508.00 [kW]
$SFC_{AE}$	201.16 [g/kWh]
$CF_{AE}$	3.206 [t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel]
$Capacity$	76602.0 [ton]

Παράμετρος	Τιμή
Συντελεστής $f_j$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_w$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_i$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_c$	1.000 [-]
Συντελεστής $f_m$	1.000 [-]
$V_{ref}$	13.92 [knots]

Συνοψίζοντας, με την εφαρμογή του μηχανικού *EPL* και ποσοστό περιορισμού ισχύος κινητήρα στο 26.3%, το πλοίο πληροί τις απαιτήσεις του κανονισμού *EEXI*, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται περαιτέρω ενέργεια για την επίτευξη της απαιτούμενης τιμής.

$$\text{Suggested Attained EEXI} - \text{Required EEXI} = 3.60 - 3.60 = 0.00 \text{ [g-CO}_2\text{/ton}\cdot\text{mile]}$$

## 5.2 Υπολογισμός Δείκτη Έντασης Άνθρακα – CII

### 5.2.1 Χαρακτηριστικά πλοίου, μηχανών και προπέλας

Για το πλοίο που έγινε ο υπολογισμός του δείκτη *EEXI*, υπολογίστηκε επίσης η βαθμολογική κλίμακα έντασης άνθρακα για το έτος 2023 σύμφωνα με τα δεδομένα των ημερολογιακών ετών 2019, 2020 και 2021 και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τα απαιτούμενα στοιχεία που αφορούν τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου δίνονται στους πίνακες 5, 6, 7 και 8 (βλέπε σελ. 35-37).

Ο επιτευχθείς ετήσιος δείκτης *CII* (*Attained CII*) υπολογίζεται ως ο λόγος της συνολικής μάζας CO<sub>2</sub> (*Mass of CO<sub>2</sub> emissions*) προς το σύνολο του μεταφορικού έργου (*transport work*) που έχει πραγματοποιηθεί σε ένα δεδομένο ημερολογιακό έτος.

$$Attained CII_{ship} = \frac{M}{W}$$

Όπου:

- *M*: Mass CO<sub>2</sub> Emission = Annual fuel consumption (in grams) · CO<sub>2</sub> factor
- *W*: Transport work = Annual distance travelled (in nautical miles) · Capacity (IMO d, 2021)

Ο απαιτούμενος ετήσιος δείκτης *CII* (*Required Annual Operational CII*) αντιπροσωπεύει το επιθυμητό επίπεδο έντασης του άνθρακα. Λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για τη μέτρηση και την αξιολόγηση της έντασης άνθρακα και υπολογίζεται ως εξής (IMO f, 2021):

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{ref} \quad (8)$$

Όπου:

- *CII<sub>ref</sub>* Η τιμή αναφοράς με τις παραμέτρους a και c να λαμβάνουν τιμές σύμφωνα με τον Πίνακα 14 του κεφαλαίου (IMO f, 2021).
- *Z*: Ετήσιος συντελεστής μείωσης για τη διασφάλιση της συνεχούς βελτίωσης της λειτουργικής έντασης άνθρακα του πλοίου εντός ενός συγκεκριμένου επιπέδου αξιολόγησης. Ο συντελεστής *Z* ορίζεται βάσει του πίνακα 13.

Πίνακας 13. Συντελεστής μείωσης για το CII σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς του 2019 (IMO e, 2021)

Έτος	Συντελεστής μείωσης Z
2023	5%
2024	7%
2025	9%
2026	11%
2027	-
2028	-
2029	-
2030	-

Για τα έτη 2027 έως 2030 οι τιμές του συντελεστή Z αναμένεται να είναι υψηλότερες του 11% λόγω της αναθεώρησης του μέτρου με αυστηρότερους όρους.

Ο παρακάτω πίνακας 14 καθορίζει τις παραμέτρους a και c, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τη χωρητικότητά του, για τον υπολογισμό του  $CII_{ref}$ .

Πίνακας 14. Παράμετροι για τον υπολογισμό του  $CII_{ref}$  με γραμμή αναφοράς του 2019 (IMO e, 2021).

Τύπος Πλοίου		Χωρητικότητα	a	c
<b>Bulk carrier</b>	279,000 DWT and above	279,000	4745	0.622
	Less than 279,000 DWT	DWT	4745	0.622
<b>Gas carrier</b>	65,000 and above	DWT	14405E7	2.071
	Less than 65,000 DWT	DWT	8104	0.693
Tanker		DWT	5247	0.610
Container ship		DWT	1984	0.489
<b>General cargo ship</b>	20,000 and above	DWT	31948	0.792
	Less than 20,000 DWT	DWT	588	0.3885
Refrigerated cargo carrier		DWT	4600	0.557
Combination carrier		DWT	40853	0.812

<b>LNG carrier</b>	100,000 and above	DWT	9.827	0.000
	65,000 DWT and above	DWT	14479E10	2.673
	But less than 100,000 DWT			
	Less than 65,000 DWT	65,000	14479E10	2.673
<b>RO-RO cargo ship</b> (vehicle carrier)		GT	5739	0.631
RO-RO cargo ship		DWT	10952	0.637
RO-RO passenger ship		GT	7540	0.587
Cruise passenger ship		GT	930	0.383

## 5.2.2 Δεδομένα DCS για το έτος 2019

### 5.2.2.1 Υπολογισμός Αναφοράς $CII_{ref}$

Ο υπολογισμός της τιμής αναφοράς  $CII$  υπολογίζεται σύμφωνα με το ψήφισμα ΜΕΡC.338(76) ως εξής:

$$CII_{ref} = a \cdot Capacity^{-c} \quad (9)$$

Όπου στη περίπτωση μας βάση του Πίνακα 14 :

- $a=4745$
- $Capacity=76602$  [ton]
- $c=0.622$

Έτσι από τη Σχέση 9 προκύπτει:

$$CII_{ref} = 4745 \cdot 76602^{-0,622} =$$
$$CII_{ref} = 4.35 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

### 5.2.2.2 Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου $CII$ (Required Annual $CII$ )

Ο *Required Annual  $CII$*  υπολογίζεται ακολούθως από τη σχέση 8 που αναφέρθηκε παραπάνω (βλέπε σελ. 53), όπου είναι  $Z=5\%$  με βάση τον πίνακα 13 για το έτος 2023.

Αντικαθιστώντας στην σχέση 8 και με το αποτέλεσμα της σχέσης 9 προκύπτει:

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot 4.35 = 4.13$$

Συνεπώς:

$$Required\ annual\ operational\ CII = 4.13 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

### 5.2.2.3 Υπολογισμός Επιτυγχανόμενου CII (Attained CII)

Σύμφωνα με το Ψήφισμα MEPC.336(76) ο επιτυγχανόμενος Δείκτης Έντασης Άνθρακα CII υπολογίζεται από τη σχέση 10:

$$Attained\ CII = \frac{M}{W} \quad (10)$$

όπου:

- $M$  = Συνολική μάζα CO<sub>2</sub> (g-CO<sub>2</sub>) (Σχέση 11)
- $W$  = Το σύνολο του έργου μεταφοράς (ton·mile) (Σχέση 12)

$$M = FC_j C_{Fj} \quad (11)$$

Όπου:

- $j$  = Τύπος καυσίμου
- $FC_j$  = Είναι η συνολική μάζα καυσίμου  $j$  που καταναλώθηκε κατά το εξεταζόμενο ημερολογιακό έτος
- $C_{Fj}$  = Αντιπροσωπεύει τον συντελεστή μετατροπής μάζας καυσίμου  $j$  σε μάζα CO<sub>2</sub>.

Βάσει των δεδομένων από το DCS report του εξεταζόμενου πλοίου για το ημερολογιακό έτος 2019 δίνονται οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου που φαίνονται στον πίνακα 15 μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής. Ο υπολογισμός γίνεται με σημείο αναφοράς το 2023.

Πίνακας 15. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου και συντελεστής μετατροπής για το ημερολογιακό έτος 2019

Καύσιμο	Ετήσια κατανάλωση [ton]	Συντελεστής μετατροπής [ton-CO <sub>2</sub> /ton·Fuel]
HFO	5082.5	3.114
LFO	240.1	3.151
MGO/MDO	276.0	3.206

Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής βρίσκονται στον Πίνακα της σελίδας 5 στο ψήφισμα MEPC.308(73) (IMO b, 2018).

Το συνολικό μεταφορικό έργο  $W$  κατά το ημερολογιακό έτος 2019 βάση του Ψηφίσματος MEPC.338(76) ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_s = C \cdot D_t \quad (12)$$

Όπου:

$C$  = Χωρητικότητα πλοίου (ton)

$D_t$  = Είναι η συνολική απόσταση που διανύθηκε κατά το ημερολογιακό έτος 2019 (miles)

Για το υπό εξέταση πλοίο θεωρούμε  $D_t=52832$  miles και  $C=76602$  ton. Άρα η σχέση 12 δίνει:

$$W_s = 76602 \cdot 52832 =$$

$$W_s = 4.05 \cdot 10^9 \text{ (ton} \cdot \text{miles)}$$

Συνολική μάζα  $CO_2$  σε γραμμάρια για το κάθε καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε βάση της Σχέσης 11 και του Πίνακα 15 υπολογίζονται ως εξής:

$$HFO = 5082.5 \cdot 3.114 = 15826.90 \text{ [ton} - CO_2]$$

$$LFO = 240.1 \cdot 3.151 = 756.56 \text{ [ton} - CO_2]$$

$$MGO/MDO = 276.0 \cdot 3.206 = 884.86 \text{ [ton} - CO_2]$$

Άρα η συνολική μάζα  $M$  (g- $CO_2$ ) αντιστοιχεί σε:

$$M = 15826.90 + 756.56 + 884.86 = 17468.32 \cdot 10^6 \text{ [g} - CO_2]$$

Με αντικατάσταση των  $M$  και  $W$  στη Σχέση 10 προκύπτει η τιμή του *Attained CII*:

$$Attained CII = \frac{17468.32 \cdot 10^6}{4.05 \cdot 10^9} = 4.31$$

Συνεπώς:

$$Attained CII = 4.31 \text{ [g} - CO_2/\text{ton} \cdot \text{mile]}$$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και το  $DWT$  του πλοίου, μπορούμε να κατατάξουμε το πλοίο σε μια από τις πέντε βαθμίδες για το ημερολογιακό έτος 2023.



Βάσει του *Table 1* στο ψήφισμα ΜΕΡС.339(76), για πλοίο bulk carrier υπολογίστηκαν τα παρακάτω διανύσματα dd. (πίνακας 16)

*Πίνακας 16. dd διανύσματα για τον προσδιορισμό των ορίων βαθμολογίας του πλοίου (IMO g, 2021).*

Τύπος πλοίου	Capacity	dd vectors			
		exp(d1)	exp(d2)	exp(d3)	exp(d4)
<b>Bulk carrier</b>	DWT	0.86	0.94	1.06	1.18

Μέσω ενός εκθετικού μετασχηματισμού για κάθε διάνυσμα dd, τα τέσσερα όρια για την τοποθεσία των δεδομένων μας μπορούν να εξαχθούν με βάση τον απαιτούμενο ετήσιο δείκτη έντασης άνθρακα ως εξής (IMO g, 2021):

$$\text{superior boundary} = \exp(d_1) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{lower boundary} = \exp(d_2) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{upper boundary} = \exp(d_3) \cdot \text{required CII}$$

$$\text{inferior boundary} = \exp(d_4) \cdot \text{required CII}$$

Έτσι, στην περίπτωση μας με *required annual operational CII* = 4.13 g-CO<sub>2</sub>/ton·mile και με τα δεδομένα του Πίνακα 16, τα όρια βαθμολογίας είναι:

$$\text{superior boundary} = 0.86 \cdot 4.13 = 3.55$$

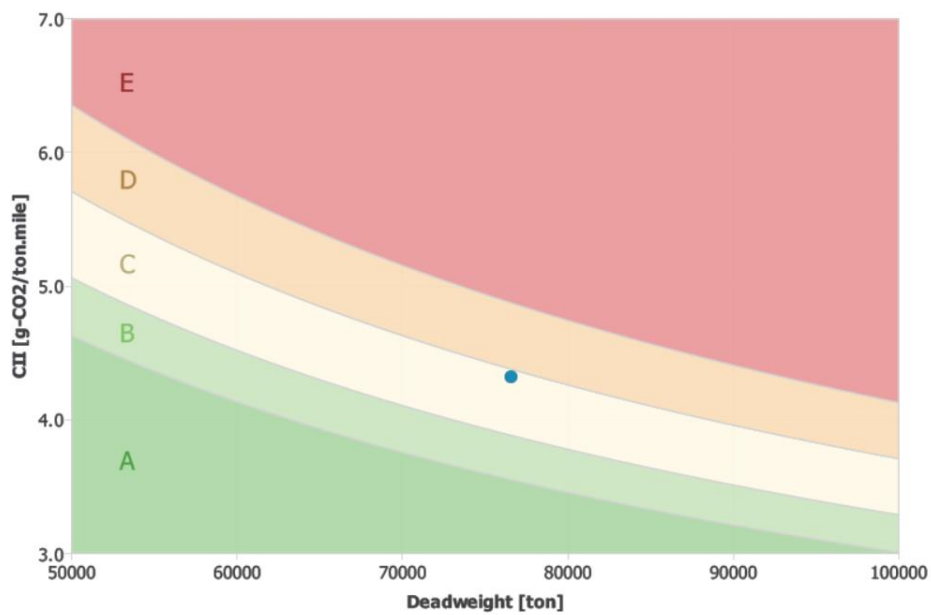
$$\text{lower boundary} = 0.94 \cdot 4.13 = 3.88$$

$$\text{upper boundary} = 1.06 \cdot 4.13 = 4.38$$

$$\text{inferior boundary} = 1.18 \cdot 4.13 = 4.87$$

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ορίων, παρατηρούμε πως το *Attained CII* = 4.31 g-CO<sub>2</sub>/ton·mile, βρίσκεται ανάμεσα στο lower boundary = 3.88 και στο upper boundary = 4.38, με μικρότερη απόκλιση από το upper boundary όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 18. Βάσει του διαγράμματος της σελίδας 3 του ψηφίσματος ΜΕΡС.339(76) που ορίζει

την βαθμολογία του δείκτη έντασης άνθρακα (βλ. Εικόνα 7), η βαθμολογία του πλοίου για τα δεδομένα του έτους 2019 είναι C όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 18.



*Εικόνα 18. Η τιμή του CII ως συνάρτηση του DWT/GT για το ημερολογιακό έτος 2023, με βάση τα δεδομένα του έτους 2019 (Ship Reality - M&C Group).*

Στη συνέχεια, με τα δεδομένα από το DCS του πλοίου για τα έτη 2020 και 2021 υπολογίζουμε ομοίως τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα, για το πλοίο που εξετάζουμε.

### 5.2.3 Δεδομένα DCS για το έτος 2020

#### 5.2.3.1 Υπολογισμός Αναφοράς $CII_{ref}$

Ο υπολογισμός της τιμής αναφοράς  $CII$  υπολογίζεται σύμφωνα με το ψήφισμα ΜΕΡC.338(76) από τη σχέση 9:

$$CII_{ref} = a \cdot Capacity^{-c} \quad (9)$$

Όπου στη περίπτωση μας βάσει του Πίνακα 14 είναι:

- $a=4745$
- $Capacity=76602$  [ton]
- $c=0.622$

Έτσι από τη σχέση 9 προκύπτει:

$$CII_{ref} = 4745 \cdot 76602^{-0,622} =$$
$$CII_{ref} = 4.35 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

#### 5.2.3.2 Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου $CII$ (Required Annual $CII$ )

Ο *Required Annual  $CII$*  υπολογίζεται ακολούθως βάσει της σχέσης 8:

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{ref} \quad (8)$$

Όπου βάσει του Πίνακα 13 ο συντελεστής  $Z$  για το έτος 2023 είναι  $Z=5\%$ .

Αντικαθιστώντας στην σχέση 8 το αποτέλεσμα της σχέσης 9, προκύπτει:

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot 4.35 = 4.13$$

Συνεπώς:

$$Required\ annual\ operational\ CII = 4.13 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

### 5.2.3.3 Υπολογισμός Επιτευχθέντος CII (Attained CII)

Σύμφωνα με το Ψήφισμα ΜΕΡС.336(76) ο επιτευχθείς Δείκτης Έντασης Άνθρακα CII υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Attained CII} = \frac{M}{W} \quad (10)$$

Όπου:

- M = Συνολική μάζα CO<sub>2</sub> (g-CO<sub>2</sub>) που υπολογίζεται από τη σχέση 9
- W = Το σύνολο του έργου μεταφοράς (ton·mile).

$$M = FC_j C_{Fj} \quad (11)$$

Όπου:

- j = Τύπος καυσίμου.
- FC<sub>j</sub> = Είναι η συνολική μάζα καυσίμου j που καταναλώθηκε κατά το ημερολογιακό έτος.
- C<sub>Fj</sub> = Αντιπροσωπεύει τον συντελεστή μετατροπής μάζας καυσίμου j σε μάζα CO<sub>2</sub>.

Βάσει των δεδομένων από το DCS report του εξεταζόμενου πλοίου για το ημερολογιακό έτος 2020 δίνονται οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου που φαίνονται στον πίνακα 17 μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής. Ο υπολογισμός γίνεται με σημείο αναφοράς το 2023.

Πίνακας 17. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου και συντελεστής μετατροπής για το ημερολογιακό έτος 2020.

Καύσιμο	Ετήσια κατανάλωση [ton]	Συντελεστής μετατροπής [ton-CO <sub>2</sub> /ton·Fuel]
LFO	5231.8	3.151
MGO/MDO	116.5	3.206

Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής βρίσκονται στον πίνακα της σελίδας 5 στο ψήφισμα ΜΕΡС.308(73) (IMO b, 2018).

Το συνολικό μεταφορικό έργο  $W$  κατά το ημερολογιακό έτος 2020 βάση του Ψηφίσματος ΜΕΡC.338(76) υπολογίζεται από τη σχέση 12:

$$W_s = C \cdot D_t \quad (12)$$

Όπου:

$C$  = Χωρητικότητα πλοίου (ton)

$D_t$  = Είναι η συνολική απόσταση που διανύθηκε κατά το ημερολογιακό έτος 2020 (miles)

Για το υπό εξέταση πλοίο θεωρούμε  $D_t=59278$  miles και  $C=76602$  ton. Άρα η από τη σχέση 12 προκύπτει:

$$W_s = 76602 \cdot 59278 =$$

$$W_s = 4.54 \cdot 10^9 \text{ (ton} \cdot \text{miles)}$$

Συνολική Μάζα CO<sub>2</sub> σε γραμμάρια για το κάθε καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε βάση της Σχέσης 11 και του Πίνακα 17:

$$LFO = 5231.8 \cdot 3.151 = 16485.40 \text{ [ton} - \text{CO}_2\text{]}$$

$$MGO/MDO = 116.5 \cdot 3.206 = 373.50 \text{ [ton} - \text{CO}_2\text{]}$$

Άρα η συνολική μάζα  $M$  (g-CO<sub>2</sub>) αντιστοιχεί με:

$$M = 16485.40 + 373.50 = 16858.90 \cdot 10^6 \text{ [g} - \text{CO}_2\text{]}$$

Με αντικατάσταση των  $M$  και  $W$  στη σχέση 9 προκύπτει για τον *Attained CII*:

$$\text{Attained CII} = \frac{16858.90 \cdot 10^6}{4.54 \cdot 10^9} = 3.71$$

Συνεπώς:

$$\text{Attained CII} = 3.71 \text{ [g} - \text{CO}_2\text{/ton} \cdot \text{mile]}$$

Τα όρια βαθμολογίας είναι τα εξής:

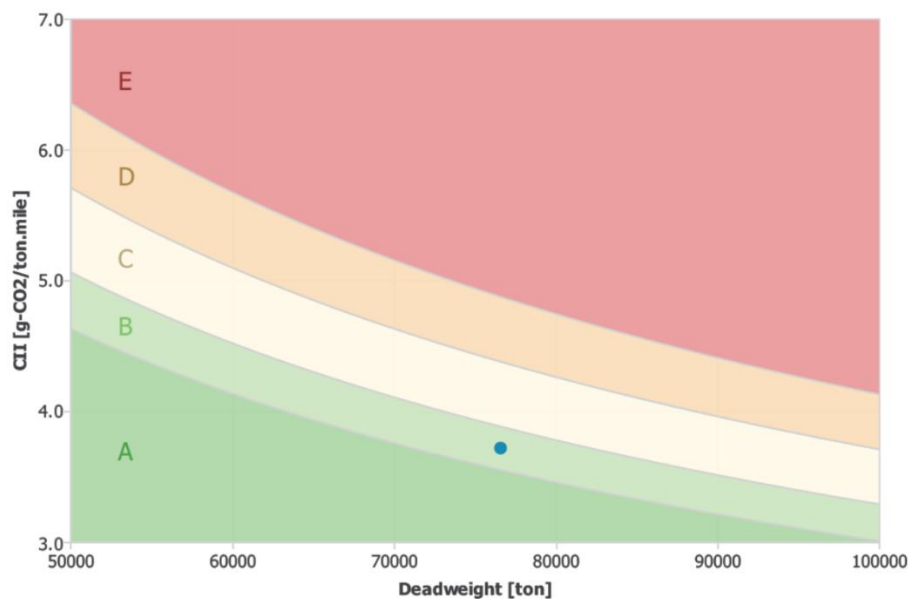
$$\text{superior boundary} = 0.86 \cdot 4.13 = 3.55$$

$$\text{boundary} = 0.94 \cdot 4.13 = 3.88$$

$$\text{upper boundary} = 1.06 \cdot 4.13 = 4.38$$

$$\text{inferior boundary} = 1.18 \cdot 4.13 = 4.87$$

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ορίων, παρατηρούμε πως το *Attained CII* = 3.71 g-CO<sub>2</sub>/ton·mile, βρίσκεται ανάμεσα στο lower boundary = 3.88 και στο superior boundary = 3.55, με μικρότερη απόκλιση προς το superior boundary όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 19. Βάσει του διαγράμματος της σελίδας 3 του ψηφίσματος ΜΕΡC.339(76) που ορίζει την βαθμολογία του δείκτη έντασης άνθρακα (βλ. Εικόνα 7), η βαθμολογία που βρίσκεται το πλοίο για τα δεδομένα του έτους 2020 είναι Β όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 19.



*Εικόνα 19. Η τιμή του CII ως συνάρτηση του DWT/GT για το ημερολογιακό έτος 2023, με βάση τα δεδομένα του έτους 2020. (Ship Reality - M&C Group)*

## 5.2.4 Δεδομένα DCS για το έτος 2021

### 5.2.4.1 Υπολογισμός Αναφοράς $CII_{ref}$

Ο υπολογισμός της τιμής αναφοράς  $CII$  υπολογίζεται σύμφωνα με το ψήφισμα ΜΕΡC.338(76) ως εξής:

$$CII_{ref} = a \cdot Capacity^{-c} \quad (9)$$

Όπου στη περίπτωση μας βάσει του Πίνακα 14 είναι:

- $a=4745$
- $Capacity=76602$  [ton]
- $c=0.622$

Έτσι από τη σχέση 9 προκύπτει:

$$CII_{ref} = 4745 \cdot 76602^{-0,622} =$$
$$CII_{ref} = 4.35 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

### 5.2.4.2 Υπολογισμός Απαιτούμενου Ετησίου $CII$ (Required Annual $CII$ )

Ο *Required Annual  $CII$*  υπολογίζεται ακολούθως βάσει της σχέσης 8:

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{ref} \quad (8)$$

Όπου βάσει του πίνακα 13 ο συντελεστής  $Z$  για το έτος 2023 είναι  $Z=5\%$ .

Αντικαθιστώντας στην σχέση 8 τις τιμές των  $Z$  και  $CII_{ref}$ :

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot 4.35 = 4.13$$

Συνεπώς:

$$Required\ annual\ operational\ CII = 4.13 [g - CO_2/ton \cdot mile]$$

### 5.2.4.3 Υπολογισμός Επιτευχθέντος CII (Attained CII)

Σύμφωνα με το Ψήφισμα MEPC.336(76) ο επιτευχθείς Δείκτης Έντασης Άνθρακα CII υπολογίζεται ως εξής:

$$Attained CII = \frac{M}{W} \quad (10)$$

Όπου:

- $M$  = Συνολική μάζα CO<sub>2</sub> (g-CO<sub>2</sub>) όπως υπολογίζεται από τη σχέση 9
- $W$  = Το σύνολο του έργου μεταφοράς (ton·mile)

$$M = FC_j C_{Fj} \quad (11)$$

Όπου:

- $j$  = Τύπος καυσίμου.
- $FC_j$  = Είναι η συνολική μάζα καυσίμου  $j$  που καταναλώθηκε κατά το ημερολογιακό έτος.
- $C_{Fj}$  = Αντιπροσωπεύει τον συντελεστή μετατροπής μάζα καυσίμου  $j$  σε μάζα CO<sub>2</sub>.

Βάσει των δεδομένων από το DCS report του εξεταζόμενου πλοίου για το ημερολογιακό έτος 2021 δίνονται οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου που φαίνονται στον πίνακα 18 μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής. Ο υπολογισμός γίνεται με σημείο αναφοράς το 2023.

Πίνακας 18. Ετήσια κατανάλωση καυσίμου και συντελεστής μετατροπής για το ημερολογιακό έτος 2021.

Καύσιμο	Ετήσια κατανάλωση [ton]	Συντελεστής μετατροπής [ton-CO <sub>2</sub> /ton·Fuel]
LFO	5858.9	3.151
MGO/MDO	223.2	3.206

Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής βρίσκονται στον πίνακα της σελίδας 5 στο ψήφισμα MEPC.308(73) (IMO b, 2018).



Το συνολικό μεταφορικό έργο  $W$  κατά το ημερολογιακό έτος 2021 βάση του Ψηφίσματος ΜΕΡC.338(76) ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_s = C \cdot D_t \quad (12)$$

Όπου:

$C$  = Χωρητικότητα πλοίου (ton)

$D_t$  = Είναι η συνολική απόσταση (miles) που διανύθηκε κατά το ημερολογιακό έτος 2021

Για το πλοίο μας θεωρούμε ως  $D_T=63453.2$  miles και  $C=76602$  ton. Από την σχέση 12 προκύπτει:

$$W_s = 76602 \cdot 63453.2 =$$

$$W_s = 4.86 \cdot 10^9 \text{ (ton} \cdot \text{miles)}$$

Συνολική μάζα  $CO_2$  σε γραμμάρια για το κάθε καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε με βάση τη σχέση 11 και τον πίνακα 21:

$$LFO = 5858.9 \cdot 3.151 = 18461.39 \text{ [ton} - CO_2]$$

$$MGO/MDO = 223.2 \cdot 3.206 = 715.58 \text{ [ton} - CO_2]$$

Άρα η συνολική μάζα  $M$  (g- $CO_2$ ) αντιστοιχεί με:

$$M = 18.461 + 0.716 = 19176.97 \cdot 10^6 \text{ [g} - CO_2]$$

Με αντικατάσταση των  $M$  και  $W$  στη σχέση 9 προκύπτει ο *Attained CII*:

$$Attained CII = \frac{19176.97 \cdot 10^6}{4.86 \cdot 10^9} = 3.95$$

Συνεπώς:

$$Attained CII = 3.95 \text{ [g} - CO_2/\text{ton} \cdot \text{mile]}$$

Τα όρια βαθμολογίας είναι:

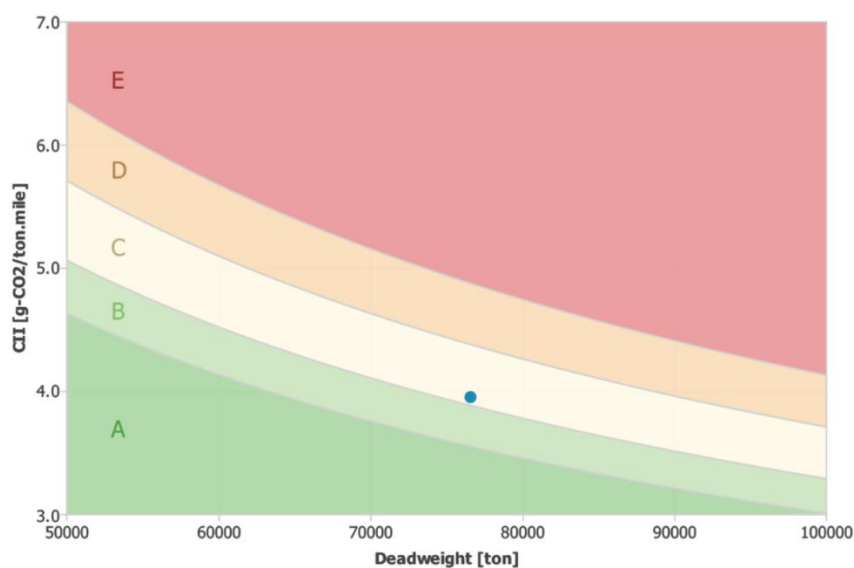
$$\text{superior boundary} = 0.86 \cdot 4.13 = 3.55$$

$$\text{lower boundary} = 0.94 \cdot 4.13 = 3.88$$

$$\text{upper boundary} = 1.06 \cdot 4.13 = 4.38$$

$$\text{inferior boundary} = 1.18 \cdot 4.13 = 4.87$$

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ορίων, παρατηρούμε πως το Attained  $CII = 3.95$  g- $\text{CO}_2/\text{ton.mile}$ , βρίσκεται ενδιάμεσα στο lower boundary = 3.88 και στο upper boundary = 4.38, με μικρότερη απόκλιση προς το lower boundary όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 20. Με βάση το διάγραμμα της σελίδας 3 του ψηφίσματος MEPC.339(76) που ορίζει την βαθμολογία του δείκτη έντασης άνθρακα (βλ. Εικόνα 7), η βαθμολογία του πλοίου για τα δεδομένα του έτους 2021 είναι C όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 20.



*Εικόνα 20. Η τιμή του CII ως συνάρτηση του DWT/GT για το ημερολογιακό έτος 2023, με βάση τα δεδομένα του έτους 2021. (Ship Reality - M&C Group)*

Το συμπέρασμα από τους παραπάνω υπολογισμούς είναι πως για τα έτη 2019 και 2021 η βαθμολογία του πλοίου είναι χαμηλότερη από το έτος 2020, κατά το οποίο η βαθμολογία ανέβηκε σε B. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μικρότερη συνολική κατανάλωση των καυσίμων σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη απόσταση σε μίλια που διάνυσε το πλοίο κατά το ημερολογιακό έτος 2020.

Η καλή ισορροπία κατανάλωσης καυσίμων και παραγωγικού έργου έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη βαθμολογία του δείκτη *CII*. Για αυτόν τον λόγο, οι πλοιοκτήτες αποζητούν την “χρυσή τομή” στο κλάσμα του επιτευχθέντος *CII* ώστε να έχουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση του πλοίου, που σημαίνει λιγότερη κατανάλωση σε καύσιμο και μεγαλύτερη διανυθείσα απόσταση. Το κλάσμα αυτό επηρεάζεται αρνητικά όταν υπάρχει μεγάλη αναμονή σε λιμάνια, αγκυροβόλια για μεγάλο χρονικό διάστημα και καταστάσεις στις οποίες το πλοίο καταναλώνει καύσιμο χωρίς να διανύει απόσταση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η βαθμολογία του δείκτη *CII*.

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> που προέρχονται από τη ναυτιλία συμβάλουν σε κάποιο βαθμό στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η ναυτιλία αποτελεί σημαντικό τμήμα της παγκόσμιας οικονομίας και αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου εμπορίου και μεταφοράς αγαθών. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός είναι υπεύθυνος για τις ρυθμίσεις της διεθνούς ναυτιλίας και προσπαθεί θεσπίζοντας κανονισμούς να βελτιώνει συνεχώς την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, να προωθεί την χρήση πιο καθαρών καυσίμων και να εφαρμόζει μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων.

Με την εφαρμογή του δείκτη *EEDI-EEXI* στα πλοία εξασφαλίζεται μια πιο αποδοτική λειτουργία των κινητήρων με αποτέλεσμα τα ποσοστά των εκπομπών να μειώνονται. Επιπλέον, η παρακολούθηση του δείκτη *CII*, ο οποίος μετρά την ποσότητα των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά ημερολογιακό έτος και ανά μονάδα διανύμενης απόστασης, βοηθά στον καθορισμό στόχων για την μείωση των εκπομπών καθώς και στην ανάπτυξη στρατηγικών για τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Μέσω της συμμόρφωσης στους παραπάνω κανονισμούς, η ναυτιλία συνολικά συμβάλει στην παγκόσμια προσπάθεια για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη στόχων για εκμηδενισμό των εκπομπών άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Από την μελέτη που παρουσιάζεται για συγκεκριμένο πλοίο στην παρούσα εργασία, συμπεραίνουμε πως για τη συμμόρφωση του πλοίου στους κανονισμούς που αφορούν το δείκτη *EEXI*, το πλοίο θα πρέπει να μειώσει την ισχύ του κατά 26.3%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας από 15.82 *knots* σε 13.92 *knots*, που αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης περίπου 12%. Αντίστοιχα, η μείωση της ισχύος του κινητήρα από 10320.00 kW σε 6312.85 kW αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης κοντά στο 38.8%.

Μια παρέμβαση που θα αποτελούσε δυνατή λύση για την εναρμόνιση του πλοίου που εξετάστηκε με τους κανονισμούς θα ήταν να χρησιμοποιηθεί κάποια καινοτόμα τεχνολογία όπως αυτές που αναφέρονται στον πίνακα 4 της εργασίας. Ωστόσο, οι λύσεις αυτές έχουν αρκετά υψηλό κόστος εφαρμογής, ενώ δυσχεραίνεται ο υπολογισμός του ποσοστού μείωσης των εκπομπών. Για αυτούς τους λόγους, στις περιπτώσεις που τα πλοία χρειάζεται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων, συνηθίζεται να χρησιμοποιείται σύστημα *EPL* ή *SHaPoLi*.

Για τον δείκτη *CII* παρατηρείται πως η καλύτερη βαθμολογία επιτυγχάνεται για το έτος 2023 (σύμφωνα με τα δεδομένα του έτους 2020) όπου η συνολική κατανάλωση καυσίμων ήταν η μικρότερη σε σύγκριση με τα ημερολογιακά έτη 2019 και 2021 και συγχρόνως η απόσταση που διάνυσε το πλοίο ήταν μεγαλύτερη από τα δύο άλλα έτη που εξετάστηκαν. Στον δείκτη αυτόν σημαντικό ρόλο παίζει το κλάσμα κατανάλωσης/απόσταση, όπου για την καλύτερη βαθμολογία των πλοίων η ιδανική περίπτωση είναι μεγαλύτερη απόσταση και μικρότερη κατανάλωση. Αυτή η σχέση επηρεάζεται πολύ όταν το πλοίο μένει στάσιμο και εξακολουθεί να καταναλώνει καύσιμο, ενώ δεν διανύει απόσταση. Για αυτόν τον λόγο, η ναυτιλιακή κοινότητα ερευνά εναλλακτικές λύσεις, όπως χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ή άλλων βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων, στην προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και τη συνακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία.



## Βιβλιογραφία

Arrhenius, S.; (1896) *On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground*. Royal Society of Chemistry,

Ανάκτηση από: [https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896\\_tcm18-173546.pdf](https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf)

EUROPEAN PARLIAMENT; (2012) Ανάκτηση από

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2012/474549/IPOL-TRAN\\_NT\(2012\)474549\(SUM01\)\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2012/474549/IPOL-TRAN_NT(2012)474549(SUM01)_EN.pdf)

European Union; (2013) Time for international action on CO<sub>2</sub> emission from shipping, *European Commission*. Ανάκτηση από:

[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/marine\\_transport\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/marine_transport_en.pdf)

Fenhann, J. V.; (2017) *CO<sub>2</sub> Emissions from International Shipping*. UNEP DTU Partnership Working Paper

Ανάκτηση από:

[https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/158911010/Working\\_Paper\\_4\\_Emissions\\_from\\_Shipping.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/158911010/Working_Paper_4_Emissions_from_Shipping.pdf)

Fourier, J.; (1822) *Théorie analytique de la chaleur*. University Of Norte Dame

Ανάκτηση από: <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/fourier1822.pdf>

Freese, N.; (2017) CO<sub>2</sub> Emissions from International Shipping. *UNEP DTU Partnership Working Series 2017 Vol.4*.

ICS; (2015) Regulation (EU) 2015/757, *International Chamber of Shipping*.

Ανάκτηση από: <https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2020/08/ics-guidance-on-eu-mrv.pdf>

ICS; (2023) About ICS, *International Chamber of Shipping*.

Ανάκτηση από: <https://www.ics-shipping.org/about-ics/>

IMO; (2011) RESOLUTION MEPC.203(62), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203%2862%29.pdf>

IMO; (2013) MEPC.1/Circ.815, *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Circ-815.pdf>

IMO; (2014) RESOLUTION MEPC.251(66), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.251\(66\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.251(66).pdf)

IMO; (2015) *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*. International Maritime Organization

Ανάκτηση από:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>

IMO; (2018) IMO SHIP FUEL OIL CONSUMPTION DATABASE, *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Documents/CL.3827.pdf>

IMO; (2022) MEPC.78/INF.27, *International Maritime Organization*. Ανάκτηση από:

<https://iacs.org.uk/media/9015/mepc-78-inf27-development-of-the-draft-2022-iacs-guidelines-on-the-implementation-of-eexi-iacs.pdf>

IMO a; (2016) Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation, *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από IMO:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20Pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>

IMO a; (2018) RESOLUTION MEPC.308(73), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)

IMO a; (2021) RESOLUTION MEPC.328(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.328\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.328(76).pdf)



IMO b; (2016) RESOLUTION MEPC.278(70), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/278%2870%29.pdf>

IMO b; (2018) RESOLUTION MEPC.308(73), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)

IMO b; (2018) RESOLUTION MEPC.309(73), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.309\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.309(73).pdf)

IMO b; (2021) RESOLUTION MEPC.333(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.333\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.333(76).pdf)

IMO c; (2016) MEPC.282(70), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από Resolution:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf)

IMO c; (2021) RESOLUTION MEPC.335(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[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)

IMO d; (2021) RESOLUTION MEPC.336(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.336\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.336(76).pdf)

IMO e; (2021) RESOLUTION MEPC.337(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.337\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.337(76).pdf)

IMO f; (2021) RESOLUTION MEPC.338(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.338\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.338(76).pdf)

IMO g; (2021) RESOLUTION MEPC.339(76), *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.339\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.339(76).pdf)

MARPOL; (2023) International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), *International Maritime Organization*. Ανάκτηση από:

[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

MacCracken M.; (2001) Global Warming: A Science Overview.

MITSUI E.; (2019) Engine power limitation (EPL) for GHG rating, *Engine power limitation (EPL) for GHG rating*.

Ανάκτηση από: <https://www.mitsui.gr/news/5d6f754dcfbd3/news-5d6f754dcfbd3.pdf>

Mitsui E&S Machinery Co., Ltd.; (2022) Engine Power Limitation (EPL).

Ship Reality - M&C Group; SHIP ENERGY EFFICIENCY - EEXI & CII. (*Private communication*).

UNCTAD; (2022) Review of Maritime Transport 2022, *United Nations Conference on Trade and Development*.

Ανάκτηση από: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf)

UNITED NATIONS; (1992) *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Ανάκτηση από

[https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)

UNITED NATIONS; (1995) PROVISIONAL AGENDA AND ANNOTATIONS,  
INCLUDING SUGGESTIONS, *United Nations Climate Change*.

Ανάκτηση από: <https://unfccc.int/cop3/resource/docs/cop1/01.htm>

UNITED NATIONS; (1997) What is the Kyoto Protocol?, *United Nations Climate Change*.

Ανάκτηση από: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)

UNITED NATIONS; (2012) The Doha Climate Gateway, *United Nations Climate Change*.

Ανάκτηση από: <https://unfccc.int/process/conferences/the-big-picture/milestones/the-doha-climate-gateway>

UNITED NATIONS; (2015) What is the Paris Agreement?, *United Nations Climate Change*.

Ανάκτηση από: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Weart, S.; (2023) *The Discovery of Global Warming*. New York: American Institute of Physics.

Ανάκτηση από History aip org: <https://history.aip.org/climate/reviews.htm>

IMO; (2009) MEPC.1/Circ.684, *International Maritime Organization*.

Ανάκτηση από: <https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2017/05/Circ-684-EEOI-Guidelines.pdf>

Χαραλαμπίδη Κ.; (2017) *Διαχείριση Ενέργειας και MRV*.

Ανάκτηση από

[https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10771/Charalampidi\\_Konstantina.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10771/Charalampidi_Konstantina.pdf?isAllowed=y&sequence=1)