

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**στην**

**ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ**

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ**

**ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

**Καλλιόπη Πρασσά**

*Διπλωματική Εργασία*

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

*Πειραιάς*

*Σεπτέμβριος 2017*

## Σελίδα Δήλωσης Αυθεντικότητας / Ζητήματα Copyright

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

Η Δηλούσα

Πρασά Καλλιόπη

## Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

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

Τα μέλη της επιτροπής ήταν:

- κ. Τζαννάτος Ερνέστος (Επιβλέπων)
- κ. Παπαδημητρίου Ευστράτιος
- κ. Τσελέντης Βασίλειος-Στυλιανός

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

## Πρόλογος

Επί τη ευκαιρία της ολοκλήρωσης της Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τζαννάτο Ερνέστο για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξή του καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ευχαριστίες οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ.Παπαδημητρίου και κ.Τσελέντη για την υποστήριξή τους.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την υποστήριξή τους σε αυτή μου την προσπάθεια.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	ix
Abstract .....	x
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....	3
1.1 Κλιματική αλλαγή.....	3
1.2 Κίνδυνος για το θαλάσσιο περιβάλλον .....	8
1.2.1 Ο κίνδυνος και τα αίτια της θαλάσσιας ρύπανσης.....	9
1.2.2 Κύριες πηγές ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.....	11
1.2.3 Έκλυση Αερίων Θερμοκηπίου στις Θαλάσσιες Μεταφορές .....	12
1.2.4 Κώδικες του IMO για την πρόληψη της ρύπανσης .....	13
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Θεσμικά Μέτρα του IMO για τις Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου	15
2.1 Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) .....	16
2.2 Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης του πλοίου – (SEEMP) .....	18
2.3 Μέτρα που βασίζονται στην Αγορά ρύπων - Market Based Measure (MBMs)...	21
2.3.1 Προτεινόμενα μέτρα μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> στη ναυτιλία – MBMs .	22
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης ΕΕΟΙ.....	24
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Υπολογισμοί Δείκτη ΕΕΟΙ για πλοία μεταφοράς πετρελαίου.....	28
4.1 Χαρακτηριστικά του στόλου .....	28
4.1.1 Τύποι πετρελαιοφόρων .....	28
4.1.2 Ηλικία στόλου .....	11
4.1.3 Διαστάσεις στόλου .....	30
4.1.4 Τύποι και κύρια χαρακτηριστικά μηχανών.....	30
4.1.5 Τύποι καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν .....	31
4.2 Προσδιορισμός παραμέτρων που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ΕΕΟΙ ...	32

4.3 Υπολογισμός δείκτη ΕΕΟΙ για τα πλοία του στόλου .....	33
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα - Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.....</b>	<b>42</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>45</b>
<b>Παράρτημα Α.....</b>	<b>47</b>
<b>Παράρτημα Β.....</b>	<b>49</b>

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Αέρια του θερμοκηπίου και ο βαθμός συνεισφοράς τους στο φαινόμενο.....	3
<b>Πίνακας 2:</b> Σημαντικότερες πηγές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες.....	5
<b>Πίνακας 3:</b> Τιμές των αδιάστατων συντελεστών μετατροπής καυσίμου σε ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα.....	27
<b>Πίνακας 4:</b> Τύποι πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν.....	28
<b>Πίνακας 5:</b> Διαστάσεις των πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν.....	30
<b>Πίνακας 6:</b> Χαρακτηριστικά κύριων μηχανών πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν.....	30
<b>Πίνακας 7:</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά του στόλου που μελετήθηκε.....	47

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Σχήμα 1:</b> Μεταβολή συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> κατά την χρονική περίοδο 1958-2013.....	4
<b>Σχήμα 2:</b> Εκπομές αερίων του θερμοκηπίου ανά πηγή ρύπανσης για την ΕΕ σε MtCO <sub>2</sub> eq.....	6
<b>Σχήμα 3:</b> Τάση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις χώρες της ΕΕ σε MtCO <sub>2</sub> eq.....	7
<b>Σχήμα 4:</b> Ενδεικτικές εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά είδος μεταφορικού μέσου.....	13
<b>Σχήμα 5:</b> Ηλικιακή κατανομή του στόλου πετρελαιοφόρων πλοίων που μελετήθηκε..	29
<b>Σχήμα 6:</b> Ημερήσια κατανάλωση καυσίμων.....	31
<b>Σχήμα 7:</b> Υπολογισμός του δείκτη ΕΕΟΙ με τη χρήση του MS Excel.....	34
<b>Σχήμα 8:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ ανά πλοίο για τη χρονική περίοδο 1/7/2016 - 30/6/2017.....	35
<b>Σχήμα 9:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ και συσχέτιση με DWT.....	36
<b>Σχήμα 10:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ για τα Handymax πλοία και μέσος δείκτης ΕΕΟΙ της κατηγορίας πλοίων Handymax.....	37
<b>Σχήμα 11:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ για τα Panamax πλοία και μέσος δείκτης ΕΕΟΙ της κατηγορίας πλοίων Panamax.....	38
<b>Σχήμα 12:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ για τα Aframax πλοία και μέσος δείκτης ΕΕΟΙ της κατηγορίας πλοίων Aframax.....	39
<b>Σχήμα 13:</b> Δείκτης ΕΕΟΙ για τα Suezmax πλοία και μέσος δείκτης ΕΕΟΙ της κατηγορίας πλοίων Suexmax.....	40
<b>Σχήμα 14:</b> Μέσοι όροι ΕΕΟΙ ανά κατηγορία πλοίου.....	41



## Περίληψη

Η ραγδαία κλιματική αλλαγή οδήγησε στην επιτακτική ανάγκη θέσπισης κανονισμών για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η κρισιμότητα και το μέγεθος της παγκόσμιας βιομηχανίας των θαλάσσιων μεταφορών, οι συνεπαγόμενες αέριες εκπομπές και η αυξανόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος οδήγησε τον ΙΜΟ στην ανάπτυξη μιας σειράς μέτρων, συμπεριλαμβανομένου και του Λειτουργικού Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (ΕΕΟΙ).

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του δείκτη ΕΕΟΙ, καθώς επίσης η επεξεργασία και σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών τύπων πλοίων τα οποία προέκυψαν από μελέτη περίπτωσης σε ναυτιλιακή εταιρία διαχείρισης πλοίων μεταφοράς πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα ο υπολογισμός του δείκτη ΕΕΟΙ έγινε σε ένα δείγμα 42 δεξαμενοπλοίων κατά το χρονικό διάστημα 01/07/2016-30/06/2017 για τα οποία συλλέχθηκαν πληροφορίες όπως: η συνολική ποσότητα του μεταφερόμενου φορτίου, η συνολική απόσταση που διανύθηκε, οι καταναλώσεις αλλά και ο τύπος του καυσίμου ανά ταξίδι για κάθε πλοίο μεμονωμένα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα πλοία μεταφοράς πετρελαίου με μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα συμπεριφέρονται ως επί το πλείστον πιο αποδοτικά ενεργειακά σε σχέση με τα μικρότερα σε μέγεθος πλοία. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι εμφανίστηκαν μεγάλες διακυμάνσεις ακόμα και μεταξύ παρόμοιου μεγέθους πλοίων και υπολογίστηκε ότι το μέγεθος και ο τύπος του πλοίου συσχετίζεται μόνο κατά 40.65% ( $R^2$ ) με τον δείκτη ΕΕΟΙ. Επομένως, οι διακυμάνσεις που εμφανίστηκαν οφείλονται σε λειτουργικούς παράγοντες, όπως η ταχύτητα του πλοίου, οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση πλεύσης του πλοίου, η καθαρότητα της γάστρας και της έλικας, οι οποίοι με τον δικό τους τρόπο ο καθένας επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου και θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη στην εξίσωση υπολογισμού του δείκτη.

## Abstract

The rapid climate change has led to the urgent need of implementing regulations so as to limit greenhouse gases emissions. The criticality and magnitude of the global maritime industry, the resulting gaseous emissions and the growing environmental burden have forced the IMO to develop a series of measures, including the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI).

This study calculates and analyzes the EEOI indicator and compares the results of different types of tanker vessels that emerged from a case study in a shipping company. More specifically, the calculation of the EEOI was performed in 42 tankers during the period 01/07/2016 -30/06/2017 by collecting information such as: the total quantity of transferred cargo, the total travelled distance and the type of consumed fuel per trip for each ship individually.

Results indicate that tanker vessels with greater capacity are more energy efficient compared to smaller ships. However, it was evident that variation in EEOI occurred between similar size vessels. The correlation between EEOI and vessel's DWT was calculated to be 40.65% ( $R^2$ ). Therefore, variations that have occurred are due to operational/logistic factors such as vessel's speed, weather conditions, hull cleaning and propeller maintenance, which in their own way each influences fuel consumption and should be taken into account in the index computation equation.

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το θέμα της εφαρμογής του Λειτουργικού Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης σε πλοία μεταφοράς πετρελαίου. Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα υπαρκτό πρόβλημα μείζονος σημασίας. Οφείλεται κατά κύριο λόγο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο επιβαρύνεται από την ανθρωπογενή δραστηριότητα και συμβάλει στην κλιματική αλλαγή. Η ναυτιλία, αν και θεωρείται ιδιαίτερος αποδοτικό μέσο μεταφοράς, επιβαρύνει και αυτή σε σημαντικό βαθμό το φαινόμενο αυτό, ανάγοντας την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού σε υψηλή προτεραιότητα για την παγκόσμια κοινότητα. Στα πλαίσια αυτά προτάθηκε και αποφασίστηκε από τον IMO η εφαρμογή του ΕΕΟΙ ως μέτρο της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Το μέτρο αυτό ωστόσο δεν είναι υποχρεωτικό, αλλά παραμένει σε εθελοντική βάση. Στόχος της εργασίας είναι η σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης διαφορετικών τύπων πετρελαιφόρων πλοίων.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η συλλογή και επεξεργασία πραγματικών δεδομένων για τέσσερις τύπους πλοίων μεταφοράς πετρελαίου. Τα ποσοτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούν την απόσταση σε ναυτικά μίλια που διένησαν τα πλοία, την ποσότητα φορτίου που μετέφεραν και την ποσότητα καυσίμων που χρησιμοποίησαν για την επίτευξη του ταξιδιού τους. Η χρονική περίοδος που μελετάται είναι από 1/7/2016 έως 30/6/2017.

Η δομή της εργασίας χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, παρουσιάζεται η τρέχουσα κατάσταση όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, τον κίνδυνο για το θαλάσσιο περιβάλλον, τις κύριες πηγές ρύπανσης αυτού και τους κώδικες που έχει θεσπίσει ο IMO για την πρόληψη της ρύπανσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά το κανονιστικό πλαίσιο και τα θεσμικά μέτρα του IMO για την αντιμετώπιση του φαινομένου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπως ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI), το Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης του πλοίου (SEEMP) και τα Μέτρα που βασίζονται στην Αγορά ρύπων (Market Based Measure-MBMs).

Στο τρίτο κεφάλαιο, εξετάζεται αναλυτικά ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης, δίνεται ο ορισμός του, η χρησιμότητά του, ο τρόπος υπολογισμού του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, δίνονται τα χαρακτηριστικά του στόλου που μελετάται, όπως η ηλικία, οι διαστάσεις, τα χαρακτηριστικά των μηχανών και οι τύποι των καυσίμων που καταναλώθηκαν. Προσδιορίζονται οι παράμετροι της μελέτης και υπολογίζεται ο δείκτης ΕΕΟΙ για τους τέσσερις τύπους πλοίων που καταρτίζουν το στόλο.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα και θα προταθούν θέματα για περαιτέρω μελέτη.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1 Κλιματική Αλλαγή

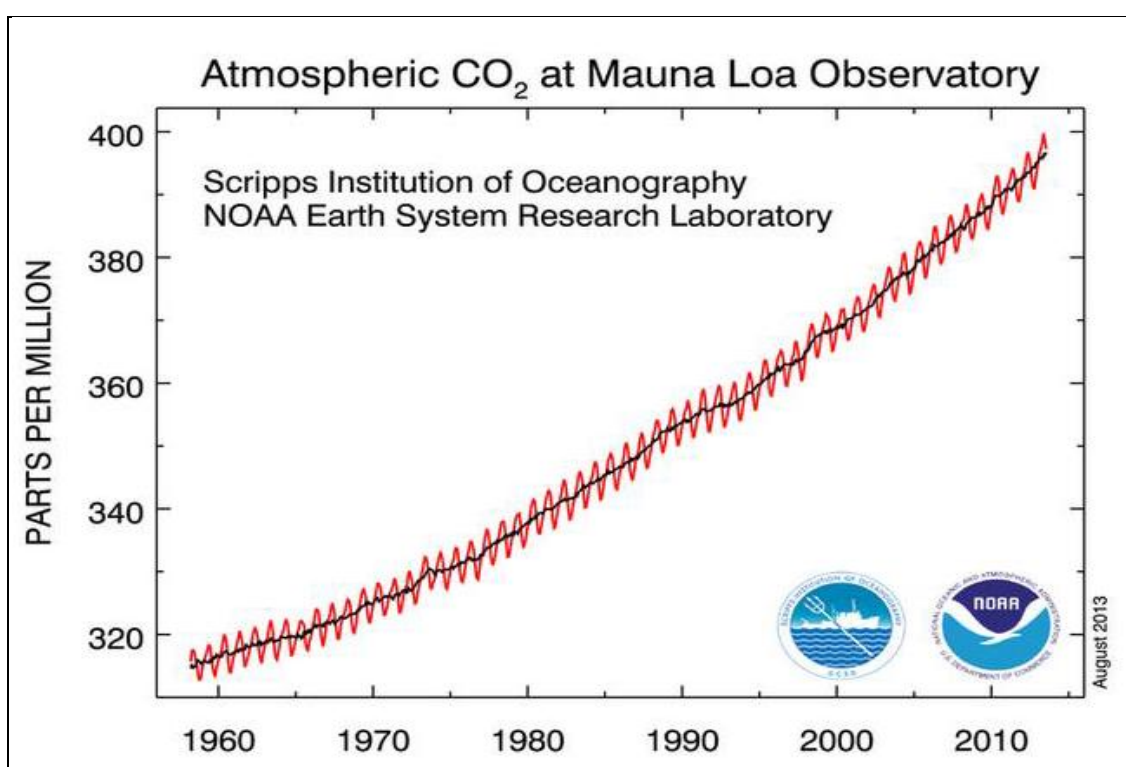
Με τον όρο Κλιματική Αλλαγή νοείται η αλλαγή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες μεταβάλλουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας του πλανήτη (United Nations, 1992). Μεγάλο μέρος της αλλαγής αυτής οφείλεται στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Το φαινόμενο αυτό είναι ένα απολύτως φυσικό φαινόμενο το οποίο καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το κλίμα της Γης. Η απειλή προέρχεται από την υπερβολική εκπομπή ρύπων, η οποία οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

Σύμφωνα με την Διεθνή Ομάδα για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC, 2016), που αποτελεί έναν οργανισμό του Ο.Η.Ε, το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου ορίζεται ως η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αέρια του θερμοκηπίου, η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, από την ατμόσφαιρα και από τα σύννεφα,. Η ίδια διεθνής Ομάδα δίνει και τον ορισμό των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι εκείνα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που απορροφούν και εκπέμπουν ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος εντός του φάσματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και το όζον είναι τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης. Η συνεισφορά των αερίων στο φαινόμενο παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 1.

**Πίνακας 1:** Αέρια του θερμοκηπίου και ο βαθμός συνεισφοράς τους στο φαινόμενο

Αέριο	Συνεισφορά (%)
Διοξείδιο του Άνθρακα	50-60
Χλωροφθοράνθρακες	15-25
Μεθάνιο	12-20
Υποξείδιο του αζώτου	5
Όζον και άλλα αέρια	11

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου είναι ένα γεωφυσικό φαινόμενο που είναι ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν περίπου κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή -20°C αντί για +15°C, και η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον στη μορφή που τη γνωρίζουμε. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του φαινομένου ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Στο Σχήμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> κατά την χρονική περίοδο 1958-2013.



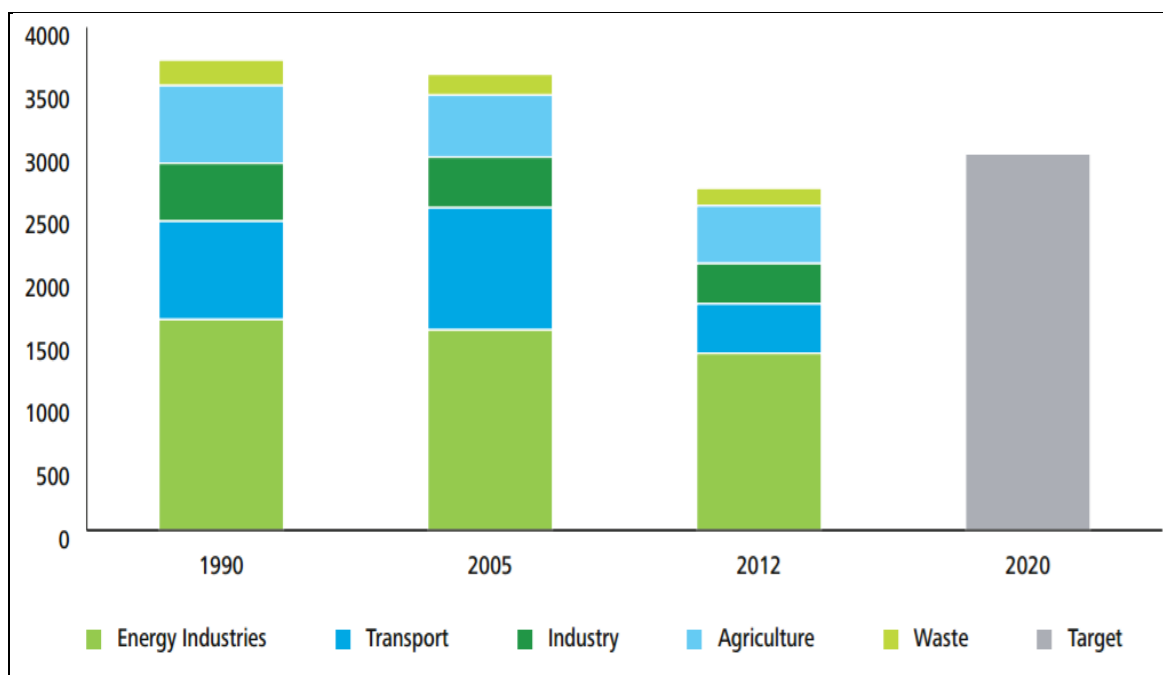
**Σχήμα 1:** Μεταβολή συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> κατά την χρονική περίοδο 1958-2013 (Earth System Research Laboratory, 2013).

Τα αέρια που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου εκκλύονται στο πλαίσιο ανθρώπινων δραστηριοτήτων και αφορούν κυρίως τους τομείς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Σημαντικότερες πηγές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (IMO, 2009)

Πηγή	Συνεισφορά (%)
1. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	35
2. Οδικές Μεταφορές	21.3
3. Βιομηχανίες & Κατασκευές	18.2
4. Άλλες βιομηχανίες ενέργειας	4.6
5. Διεθνείς Ναυτιλία	2.7
6. Διεθνείς Αερομεταφορές	1.9
7. Ναυτιλία εσωτερικού και αλιεία	0.6
8. Σιδηροδρομικές μεταφορές	0.5
9. Λοιπά	15.2

Σε επίπεδο ΕΕ, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά πηγή ανθρώπινης δραστηριότητας για τα έτη 1990, 2005, 2012 και ο στόχος για το 2020 παρουσιάζονται στο ακόλουθο Σχήμα 2.

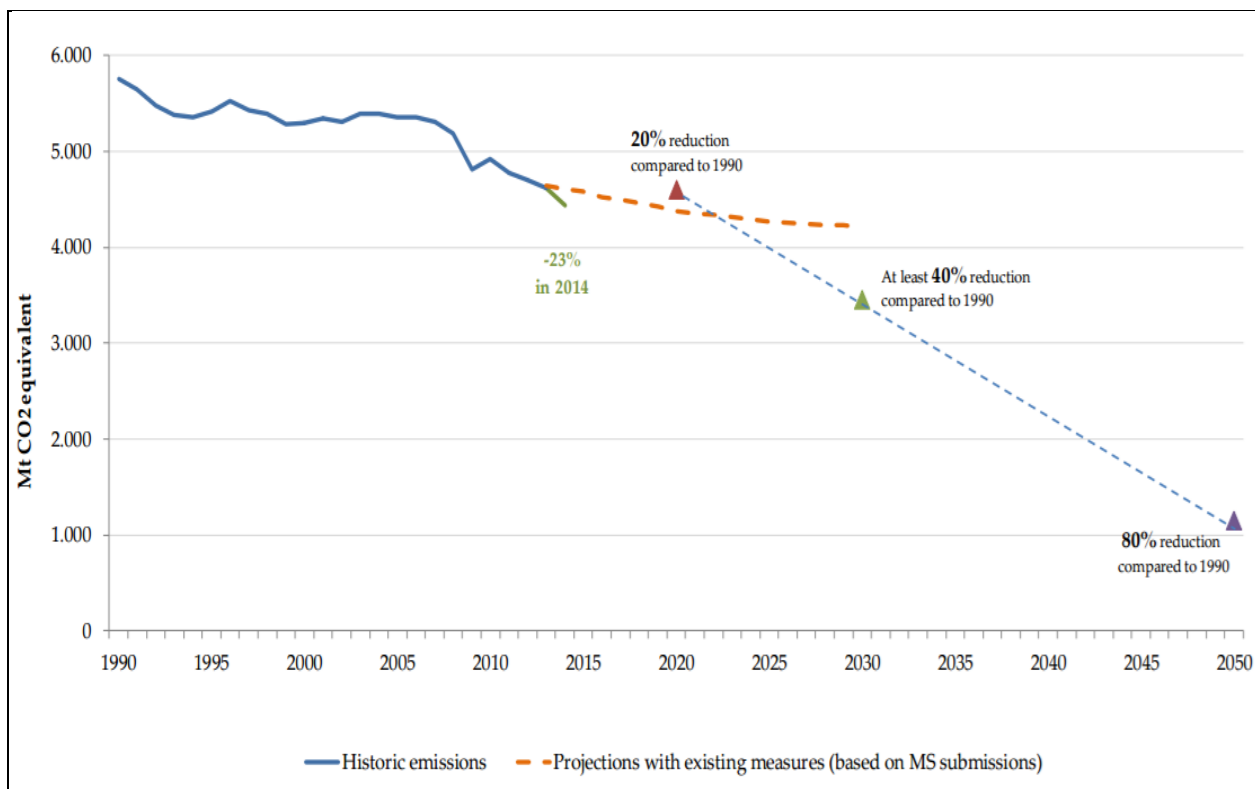


**Σχήμα 2:** Εκπομές αερίων του θερμοκηπίου ανά πηγή ρύπανσης για την ΕΕ σε MtCO<sub>2</sub>eq (Deloitte, 2015)

Παρατηρώντας το σχήμα εντοπίζεται πως η πλειονότητα των εκπομπών οφείλεται στις βιομηχανίες ενέργειας και στις μεταφορές. Η ΕΕ βρίσκεται σε πολύ καλό επίπεδο ως προς το στόχο του 2020, κυρίως εξαιτίας της μείωσης των εκπομπών τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι την περίοδο 1990-2005 οι εκπομπές μειώθηκαν κατά 3% και την περίοδο 2005-2012 κατά 11%.

Σύμφωνα με προβλέψεις για τις μελλοντικές εκπομπές των χωρών της ΕΕ, παρατηρούμε στο Σχήμα 3, ότι η τάση είναι καθοδική με βλέψεις για έως και 80% μείωση σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.





**Σχήμα 3:** Τάση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις χώρες της ΕΕ σε MtCO<sub>2</sub>eq (Delbeke,2016)

Λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή, την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και το λιώσιμο των πάγων, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και την επίδραση αυτών στην βιοποικιλότητα, η παγκόσμια κοινότητα θορυβήθηκε και αναγνώρισε την ανάγκη για ανάληψη δράσεων.

## 1.2 Κίνδυνος για το θαλάσσιο περιβάλλον

Το περιβάλλον θεωρείται ως ένα σύνθετο περιουσιακό στοιχείο που προσφέρει διάφορες υπηρεσίες. Αν και πρόκειται για ένα πολύ ειδικό περιουσιακό στοιχείο, αφού παρέχει τα συστήματα επιβίωσης που εξασφαλίζουν την ανθρώπινη ύπαρξη, δεν παύει ωστόσο να αποτελεί ένα περιουσιακό στοιχείο, του οποίου η αδικαιολόγητη απαξίωση πρέπει να εξαλειφθεί, έτσι ώστε να συνεχίζει να ικανοποιεί τόσο τις αισθητικές μας ανάγκες όσο και εκείνες της ίδιας μας της επιβίωσης (Tietenberg, 1999).

Το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί τον κύριο υδάτινο όγκο του πλανήτη, καταλαμβάνοντας περισσότερο από τα 2/3 της γήινης επιφάνειας. Η θάλασσα προσφέρει έναν εξαιρετικό πλούτο φυσικών πόρων και για το λόγο αυτό έπαιξε ανέκαθεν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και την πρόοδο των πολιτισμών.

Η εξέλιξη ωστόσο των κοινωνιών και η ανάπτυξη των βιομηχανικών, των οικονομικών και των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων άσκησε μεγάλη πίεση στα θαλάσσια οικοσυστήματα, όπως η υπεραλίευση, οι καταστροφές κοραλλιογενών υφάλων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και η ρύπανση. Η μετακίνηση μεγάλων ποσοτήτων (επικίνδυνων) φορτίων και μεγάλου αριθμού επιβατών διά της θαλάσσιας οδού αποτελεί μια εγγενώς επικίνδυνη δραστηριότητα, ακόμα και όταν χρησιμοποιείται σύγχρονη τεχνολογία. Αναμφίβολα οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν το σημαντικότερο και μεγαλύτερο κομμάτι της αλυσίδας των παγκόσμιων μεταφορών όλων των ειδών φορτίου και αυτό γιατί η ανάπτυξη των θαλάσσιων μεταφορών είναι ισχυρά συνδεδεμένη και άμεσα εξαρτώμενη με το παγκόσμιο εμπόριο (Γιάλοπος, 2005).

Η ρύπανση των θαλασσών αποτελεί σήμερα ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη μας. Η ρύπανση μπορεί να αναφέρεται στην ανοικτή θάλασσα ή/και στις παράκτιες περιοχές, με την πρώτη να οφείλεται κυρίως στην διακίνηση πετρελαιοειδών και άλλων τοξικών και επικίνδυνων φορτίων και τις υποθαλάσσιες πυρηνικές δοκιμές και την δεύτερη κυρίως στην τουριστική ανάπτυξη, την παράκτια οικοδομική και κατασκευαστική δραστηριότητα, τις αποχετεύσεις, τις εκροές γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων και την απόρριψη διαφόρων άλλων υλικών. Συγκεκριμένα, η ομάδα ειδικών του Ο.Η.Ε (GESAMP, Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) ορίζει τη θαλάσσια ρύπανση ως την «Εισαγωγή από τον άνθρωπο στο θαλάσσιο περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων

και των εκβολών των ποταμών) ουσιών και ενέργειας, άμεσα ή έμμεσα, με αποτέλεσμα δηλητηριώδεις συνέπειες, όπως βλάβες σε έμβιους οργανισμούς, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρεμπόδιση θαλάσσιων δραστηριοτήτων συμπεριλαμβανομένης και της αλιείας, μείωση της ποιότητας για τη χρήση του θαλασσινού νερού και ελάττωση της θελκτικότητας των υδάτων» (GESAMP, 2007). Οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν το δεύτερο υψηλότερο βαθμό κινδύνου μετά τις αεροπορικές μεταφορές. Αυτό ανάγκασε το Διεθνή Θαλάσσιο Οργανισμό (International Maritime Organization, IMO) να πραγματοποιήσει μια εκτενή μελέτη των ατυχημάτων εν πλω, των αιτιών τους στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον. Από τα αποτελέσματα της μελέτης, προέκυψε ότι το 80% των ατυχημάτων οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα. Η πιο σημαντική επιβάρυνση των θαλασσών ωστόσο, προκαλείται από τα πετρελαιοειδή, εξαιτίας των ατυχημάτων κατά τη μεταφορά τους, σπανιότερα δε από προβλήματα σε εγκαταστάσεις εξόρυξης και επεξεργασίας πετρελαίου. Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της σοβαρότητας του προβλήματος, έχουν θεσπιστεί μια σειρά νόμων και διεθνών συμβάσεων, που αναφέρονται στην προστασία των θαλασσών, σε θέματα ετοιμότητας για την αντιμετώπιση των περιστατικών ρύπανσης και σε αποζημίωση και αποκατάσταση των προκαλούμενων ζημιών.

### ***1.2.1 Ο κίνδυνος και τα αίτια της θαλάσσιας ρύπανσης***

Η ρύπανση που προέρχεται από τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές, όπως και οι κίνδυνοι, οι οποίοι συνδέονται με τη σταθερά αυξανόμενη αριθμητικά αλλά και σε χωρητικότητα κίνηση των εμπορικών πλοίων, έχουν συνδεθεί, σχεδόν αποκλειστικά, με το υδάτινο στοιχείο. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες προσδιορισμού του φαινομένου της θαλάσσιας ρύπανσης και κατά συνέπεια της προστασίας του θαλασσίου περιβάλλοντος. Η θαλάσσια ρύπανση ως ξεχωριστό πρόβλημα, παρόλο που είναι σχεδόν αδύνατο επιστημονικά να διαχωριστεί από τη ρύπανση της βιόσφαιρας στο σύνολό της, άρχισε να αποτελεί πεδίο ειδικής έρευνας κυρίως μετά το τέλος του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου, μολονότι οι πρώτες εκτιμήσεις εμφανίστηκαν σποραδικά στο χρονικό μεσοδιάστημα των δύο πολέμων. Ειδικότερα, η συστηματική ανάλυση και διαρκής έρευνα για το θαλάσσιο περιβάλλον επικεντρώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ύστερα από μία σειρά ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων τα οποία έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου, ίσως για πρώτη φορά

τόσο έντονα, και ανάγκασαν τα παράκτια κράτη να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στις επιπτώσεις, βραχυπρόθεσμες και μακροχρόνιες, που επιφέρουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η εντατικοποίηση του θαλάσσιου εμπορικού ανταγωνισμού με τη σταθερά αυξανόμενη συμμετοχή και του αναπτυσσόμενου κόσμου, άρχισε να φέρνει στο προσκήνιο τα ζητήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών, όπως και την προστασία του περιβάλλοντος θαλάσσιου και μεταγενέστερα ατμοσφαιρικού (Κατσιμπαρδής, 2007).

Σήμερα θα μπορούσε να εκφραστεί η άποψη ότι η ρύπανση και επομένως η προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος αποτελούν το σημαντικότερο αλλά και το πιο πρόσφορο κομμάτι για επιστημονική έρευνα και ανάλυση από τη στιγμή που η μελέτη της ρύπανσης των θαλασσών είναι ένα νέο σχετικά πεδίο έρευνας, ο δε θαλάσσιος χώρος είναι στόχος πια άμεσης ανάπτυξης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και αποδέκτης των συνεπειών τους. Αυτό άλλωστε μπορεί να επιβεβαιωθεί και από το γεγονός ότι η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος καλύπτεται από έναν ικανό αριθμό διεθνών και περιφερειακών συμβάσεων αλλά και διακρατικών συμφωνιών.

Οι παράγοντες που άσκησαν σημαντική επίδραση στη γρήγορη ανάπτυξη του φαινομένου της θαλάσσιας ρύπανσης είναι οι εξής:

- η έντονη αστικοποίηση,
- η συγκέντρωση ενός ικανού αριθμού βιομηχανικών δραστηριοτήτων σε περιορισμένες γεωγραφικές περιοχές,
- η χρήση του πετρελαίου ως βασική πηγή ενέργειας,
- η μεγάλη αύξηση στις θαλάσσιες μεταφορές πετρελαίου και άλλων επικίνδυνων χημικών φορτίων,
- η τεχνολογική πρόοδος,
- η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων,
- το φαινόμενο της πληθυσμιακής έκρηξης στις αναπτυσσόμενες χώρες,
- το φαινόμενο της υπερκατανάλωσης στις βιομηχανικές χώρες.

Ωστόσο η θαλάσσια μεταφορά θεωρείται μια ήπιας μορφής μεταφορά ως προς το περιβάλλον, πολύ οικονομική στην χρήση ενέργειας, ασφαλής και κρίσιμη για το παγκόσμιο εμπόριο.

### *1.2.2 Κύριες πηγές ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος*

Συγκρίνοντας τη ρύπανση που αποδίδεται στις θαλάσσιες μεταφορές, με τη ρύπανση που προκαλείται από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις της χέρσου, παρατηρείται ότι αυτή συνεισφέρει το δεύτερο μικρότερο ποσοστό στη συνολική θαλάσσια ρύπανση, που προκαλείται από τον ανθρώπινο παράγοντα (GESAMP, 1990). Το 77% της θαλάσσιας ρύπανσης που προξενείτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποδίδεται στα απόβλητα που προέρχονται από την ξηρά και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ναυτιλία είναι υπεύθυνη για το 12%, ενώ ένα επιπλέον 11% οφείλεται σε απορρίψεις ρυπογόνων ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τις πηγές και τις μορφές της θαλάσσιας ρύπανσης διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό με τρόπο τέτοιο ώστε να δημιουργείται σύγχυση, εφόσον ορισμένες μορφές θαλάσσιας ρύπανσης εμπίπτουν η μία στην άλλη, π.χ. η ρύπανση από τα εμπορικά πλοία μπορεί να περιλαμβάνει τη ρύπανση από ραδιενεργά υλικά, όταν αυτά μεταφέρονται από πυρηνικά πλοία, αλλά και οι δύο μαζί πιθανόν να εμπίπτουν στη ρύπανση από απορρίψεις. Ουσιαστικά διακρίνονται έξι (6) κύριες πηγές ρύπανσης του θαλασσίου περιβάλλοντος οι οποίες συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω (Αλεξόπουλος, 2004):

- Ρύπανση από της απορρίψεις
- Ρύπανση από χερσαίες πηγές
- Ρύπανση από την εξόρυξη και εκμετάλλευση της υφαλοκρηπίδας και του βυθού των θαλασσών
- Ρύπανση από την ατμόσφαιρα
- Ρύπανση από την εξόρυξη και εκμετάλλευση του διεθνούς βυθού
- Ρύπανση από τα εμπορικά πλοία

Όσον αφορά την ρύπανση από τα εμπορικά πλοία, αυτή προκαλείται από τις θαλάσσιες μεταφορές των αγαθών και οφείλεται στη συνεχή κίνηση των πλοίων και τη διακίνηση των φορτίων και μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά στη λειτουργική ρύπανση, δηλαδή σ' αυτή που προέρχεται από τις λειτουργικές διαδικασίες ενός εμπορικού πλοίου, οι οποίες είναι διαρροές κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση, διαρροές κατά τον ερματισμό και τον αφερματισμό, απορρίψεις αποβλήτων κατά την πλύση των δεξαμενών φορτίου, μεταγγίσεις καυσίμων, διαρροές

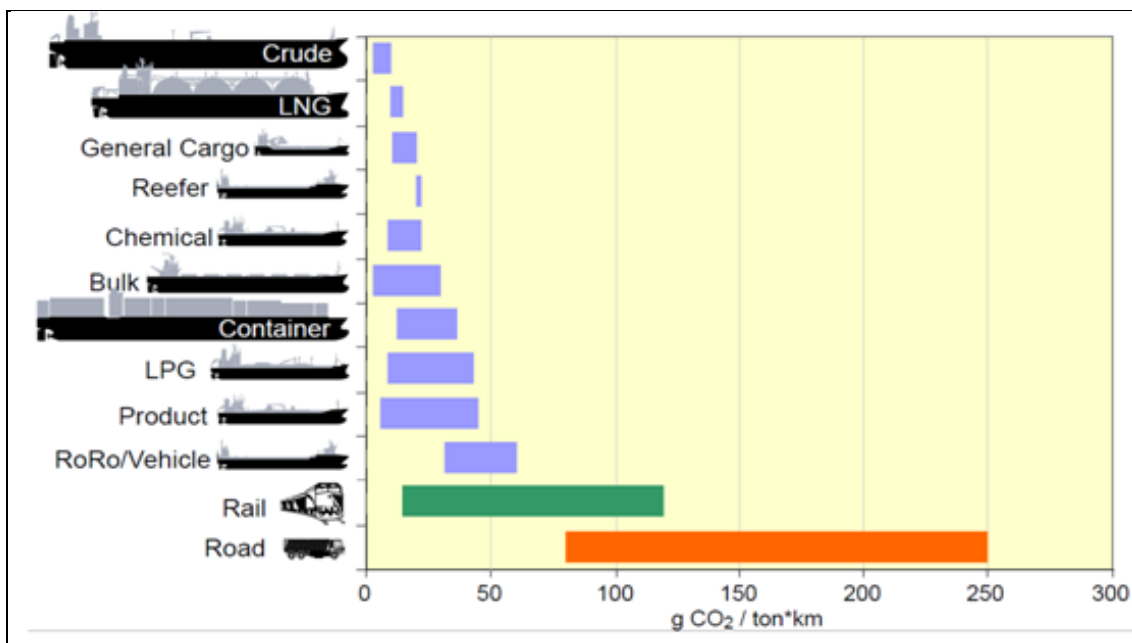
καταλοίπων στους χώρους φορτίου και μηχανοστάσιου και ρύπανση από λύματα και απορρίμματα.

Η δεύτερη κατηγορία της ρύπανσης της θάλασσας από την κίνηση των εμπορικών πλοίων αφορά στις περιπτώσεις που αυτά εμπλέκονται σε ατυχήματα. Τα βασικότερα είδη ατυχημάτων που οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινο σφάλμα είναι οι συγκρούσεις ή επαφές πλοίων και μόνιμων εγκαταστάσεων, οι προσαράξεις ή όταν το πλοίο πέφτει έξω, οι εκρήξεις και πυρκαγιές πάνω στα πλοία, οι βυθίσεις ή εξαφανίσεις πλοίων, οι ζημιές στη δομή του πλοίου και οι πολεμικές απώλειες πλοίων.

### ***1.2.3 Έκλυση Αερίων Θερμοκηπίου στις Θαλάσσιες Μεταφορές***

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου, που εκπέμπεται από τα πλοία, μέσω των αερίων & μέσω των καυσαερίων των μηχανών εσωτερικής καύσης αυτών. Οι άλλες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι λιγότερο σημαντικές, τόσο από την άποψη της ποσότητας όσο και της δυνατότητας θέρμανσης του πλανήτη. Οι διεθνείς μεταφορές μέσω θαλάσσης έχει αποδειχθεί εν γένει, ότι είναι ο πιο ενεργειακά αποδοτικός τρόπος μαζικής μεταφοράς και συνεισφέρουν ελαφρώς στο σύνολο των εκπομπών CO<sub>2</sub> παγκοσμίως, ενώ μεταφέρουν το 90% του παγκόσμιου εμπορίου. Η πρώτη μελέτη του IMO για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, η οποία δόθηκε στη δημοσιότητα το 2000, εκτιμούσε ότι τα πλοία που χρησιμοποιούνταν στο διεθνές εμπόριο το 1996, συνεισέφεραν περίπου 1,8% του παγκόσμιου συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η δεύτερη παρόμοια μελέτη του IMO, που εκδόθηκε το 2009, εκτίμησε ότι η διεθνής ναυτιλία εξέπεμψε 870 εκατομμύρια τόνους, δηλαδή περίπου 2,7% του παγκόσμιου εκπομπών CO<sub>2</sub>, το 2007.

Οι θαλάσσιες μεταφορές προβλέπεται να συνεχίσουν να αυξάνονται σημαντικά σύμφωνα με το παγκόσμιο εμπόριο. Οι μελλοντικές εκπομπές από τη διεθνή ναυτιλία, έχουν εκτιμηθεί βάσει των παγκόσμιων εξελίξεων, που περιγράφηκαν από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC).



**Σχήμα 4:** Ενδεικτικές εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά είδος μεταφορικού μέσου (IMO, 2009)

#### 1.2.4 Κώδικες του IMO για την πρόληψη της ρύπανσης

Οι ακόλουθοι τέσσερις κώδικες έχουν θεσπιστεί από τον IMO για την πρόληψη της ρύπανσης:

1. Ο Διεθνής Κώδικας Διαχείρισης Ασφάλειας (ISM Code) έγινε υποχρεωτικός το 1998. Αντικειμενικός στόχος του είναι να εξασφαλισθεί η ασφάλεια, να προληφθεί ο τραυματισμός ανθρώπων ή η απώλεια ζωής, και να αποφευχθεί ζημιά στο περιβάλλον, ειδικά στο θαλάσσιο περιβάλλον, και στην περιουσία. Ο Κώδικας καθιερώνει στόχους διαχείρισης της ασφάλειας και απαιτεί να καθιερωθεί σύστημα διαχείρισης ασφάλειας (SMS) από την “Εταιρεία”, που καθορίζεται ως ο πλοιοκτήτης ή κάθε άλλο πρόσωπο, όπως ο διαχειριστής ή ναυλωτής γυμνού πλοίου, που έχει αναλάβει την ευθύνη λειτουργίας του πλοίου. Στη συνέχεια η εταιρεία απαιτείται να καθιερώσει και να εφαρμόσει πολιτική για την επίτευξη αυτών των στόχων. Αυτό απαιτεί την παροχή των αναγκαίων πόρων και υποστήριξη από την ξηρά. Κάθε εταιρεία πρέπει να ορίσει στην ξηρά άτομο ή άτομα που θα έχουν άμεση επαφή με το ανώτατο επίπεδο διαχείρισης και θα είναι υπεύθυνα για την παρακολούθηση εφαρμογής του Συστήματος Διαχείρισης Ασφαλείας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται από τον Κώδικα πρέπει να ορίζονται εγγράφως και να συγκεντρώνονται σε Εγχειρίδιο Διαχείρισης Ασφάλειας, αντίγραφο του οποίου πρέπει να τηρείται στο πλοίο. Για το πλοίο εκδίδεται από την Αρχή της

χώρας της σημαίας ή από εξουσιοδοτημένο οργανισμό το Πιστοποιητικό Διαχείρισης Ασφάλειας 5ετούς ισχύος.

**2.** Ο Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό Πλοίων που μεταφέρουν Χύμα Υγροποιημένα Αέρια (IGC Code) και Κώδικας για την Κατασκευή και Εξοπλισμό Πλοίων που μεταφέρουν Χύμα Υγροποιημένα Αέρια (GC Code).

Αυτοί οι Κώδικες σκοπό έχουν να παρέχουν διεθνή πρότυπα για την ασφαλή μεταφορά δια θαλάσσης χύδην υγροποιημένων αερίων και ορισμένων άλλων ουσιών με τον καθορισμό προτύπων σχεδίασης και κατασκευής πλοίων που ασχολούνται με τέτοιες μεταφορές και τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρουν για να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο για το πλοίο, το πλήρωμά του και το περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη την φύση των σχετικών φορτίων.

**3.** Ο Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και Εξοπλισμό Πλοίων που μεταφέρουν Χύμα Επικίνδυνα Χημικά (IBC Code).

Ο Κώδικας παρέχει διεθνές πρότυπο για την ασφαλή μεταφορά δια θαλάσσης χύμα επικίνδυνων και επιβλαβών χημικών. Για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για το πλοίο, το πλήρωμά του και το περιβάλλον ο Κώδικας καθορίζει τα πρότυπα σχεδίασης και κατασκευής πλοίων και τον εξοπλισμό που πρέπει να φέρουν, λαμβάνοντας υπόψη την φύση των σχετικών φορτίων.

**4.** Ο Τεχνικός Κώδικας για τον Έλεγχο Εκπομπών Οξειδίων του Αζώτου από Ναυτικές Μηχανές Ντήζελ.

Ο Κώδικας παρέχει υποχρεωτικές διαδικασίες για την δοκιμή, επιθεώρηση και πιστοποίηση ναυτικών μηχανών ντήζελ προκειμένου οι κατασκευαστές μηχανών, πλοιοκτήτες και Αρχές να εξασφαλίζουν ότι όλες οι μηχανές στις οποίες εφαρμόζεται συμμορφώνονται με τις οριακές τιμές NOx που ορίζει το Παράρτημα VI της MARPOL.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Θεσμικά Μέτρα του ΙΜΟ για τις Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου

Η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου στις θαλάσσιες μεταφορές είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα που έχει απασχολήσει τον ΙΜΟ. Για το λόγο αυτό ο ΙΜΟ, σε συνεργασία με τα κράτη μέλη του, έχει αναπτύξει τόσο τεχνικά όσο και λειτουργικά μέτρα για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού με απώτερο σκοπό :

- να μειώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub>
- να είναι δεσμευτικά
- τα μέτρα αυτά να είναι οικονομικά αποδοτικά
- να μην επηρεάζουν τον ανταγωνισμό
- να βασίζονται στην αειφόρο ανάπτυξη χωρίς περιορισμό του εμπορίου και της ανάπτυξης
- να τονώσουν την τεχνική έρευνα και ανάπτυξη σε ολόκληρο τον ναυτιλιακό τομέα
- να λαμβάνουν υπόψη τη νέα τεχνολογία και
- να είναι πρακτικά, διαφανή και εύκολα στη διαχείριση

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η αρμόδια επιτροπή του ΙΜΟ για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος συμφώνησε την εφαρμογή των ακόλουθων μέτρων:

- **Τεχνικά μέτρα:** Εφαρμογή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των νέων πλοίων. Ο δείκτης αυτός εκφράζεται σε grCO<sub>2</sub>/ton·mile που εκπέμπονται και πρέπει να είναι μικρότερος από μια ορισμένη τιμή που εξαρτάται από τον τύπο και τη χωρητικότητα του πλοίου. Οι εκτιμήσεις του ΙΜΟ προβλέπουν 25-30% μείωση των εκπομπών μέχρι το 2030.
- **Λειτουργικά μέτρα:** Κάθε πλοίο πρέπει να έχει ένα σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής αποδοτικότητας (Ship Energy Efficiency Management Plan,

SEEMP), το οποίο να είναι συγκεκριμένο για κάθε πλοίο και να περιλαμβάνει βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των εκπομπών, όπως βελτιωμένο σχεδιασμό ταξιδιού, διαχείριση της ταχύτητας του πλοίου, σχεδιασμό ταξιδιού με βάση τις καιρικές συνθήκες κ.α.

Επίσης, προτάθηκε η εθελοντική χρήση του Λειτουργικού Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI), ο οποίος εκφράζεται σε  $\text{grCO}_2/\text{ton}\cdot\text{mile}$  που εκπέμπονται με βάση του τύπο καυσίμου που χρησιμοποιείται σε σχέση με την απόσταση που διανύθηκε και το φορτίο που μεταφέρθηκε.

Τέλος, η επιτροπή του IMO μελετά τρόπους της μείωσης των εκπομπών σε σχέση με τους μηχανισμούς αγοράς ρύπων (Market Based Mechanisms - MBMs)

## 2.1 Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI)

Ο δείκτης EEDI είναι ένα μέτρο αποδοτικότητας της σχεδίασης ενός νέου πλοίου σε σχέση με τις εκπομπές  $\text{CO}_2$ . Επίσης, είναι το πιο σημαντικό τεχνικό μέτρο και στοχεύει στην προώθηση της χρήσης για ενεργειακά αποδοτικότερο εξοπλισμό και μηχανές. Ο EEDI απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης ανά μίλι, για διαφορετικό τύπο και μέγεθος πλοίου. Ο υπολογισμός του βασίζεται σε δεδομένα σχεδιασμού του πλοίου και αντιπροσωπεύει τις εκπομπές  $\text{CO}_2$  του συγκεκριμένου πλοίου σε ένα μόνο σημείο του σχεδιασμού και όχι σε άλλες καταστάσεις φόρτωσης.

Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2013 ο νέος σχεδιασμός του πλοίου θα πρέπει να πληροί το επίπεδο αναφοράς για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου, το επίπεδο θα πρέπει να ενισχύεται σταδιακά κάθε πέντε χρόνια, και έτσι ο EEDI αναμένεται να τονώσει τη συνεχή καινοτομία και την τεχνική ανάπτυξη όλων των στοιχείων που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των καυσίμων των πλοίων από το στάδιο του σχεδιασμού του. Ο EEDI είναι ένας δεσμευτικός, με βάση την απόδοση, μηχανισμός. Εφ' όσον το απαιτούμενο επίπεδο της ενεργειακής απόδοσης επιτυγχάνεται, σχεδιαστές και κατασκευαστές πλοίων είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιούν τις πιο οικονομικά αποδοτικές λύσεις για το πλοίο ώστε να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς. Ο EEDI παρέχει στο πλοίο ένα συγκεκριμένο ποσό διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε γραμμάρια ανά κίνηση μιλίων πλοίου (όσο μικρότερος είναι ο EEDI τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικό είναι το πλοίο).

Το επίπεδο εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει οριστεί σε μείωση 10% για την πρώτη φάση και θα γίνεται αυστηρότερο κάθε πέντε χρόνια για να συμβαδίσει με τις τεχνολογικές εξελίξεις και την αποτελεσματικότητα των μέτρων μείωσης. Ο EEDI έχει αναπτυχθεί για να εφαρμοστεί σε πετρελαιοφόρα, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, μεταφοράς φυσικού αερίου, γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, κατεψυγμένο φορτίο και φορείς συνδυασμού. Για τους τύπους πλοίων που δεν καλύπτονται από το σημερινό τύπο, αναμένεται να αναπτυχθούν κατάλληλες φόρμουλες στο μέλλον. Κύριοι Στόχοι του δείκτη EEDI είναι :

- Να απαιτήσει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας από τα πλοία, εξαρτώμενο πάντα από τον τύπο και το μέγεθος αυτών.
- Να ενθαρρύνει μία συνεχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη όλων των παραγόντων, οι οποίοι επηρεάζουν την αποδοτικότητα του καυσίμου ενός πλοίου.
- Να διαχωρίζει τα τεχνικά και τα σχεδιαστικά μέτρα από τα επιχειρησιακά και εμπορικά μέτρα.
- Να γίνει εφικτή μία σύγκριση της ενεργειακής αποδοτικότητας μεταξύ μεμονομένων πλοίων του ίδιου μεγέθους, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν το ίδιο φορτίο και τέλος
- Να αυξήσει σταδιακά την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων μέσα στις επόμενες δεκαετίες.

Η χρήση του EEDI είναι για να προωθήσει τη σχεδίαση και την κατασκευή περισσότερο ενεργειακά αποτελεσματικών νέων σκαφών. Ο EEDI όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος αξιολόγησης οποιουδήποτε υφιστάμενου σκάφους μετά από την παράδοση του και την έναρξη της εμπορικής λειτουργίας του και δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική απόδοση του. Στα πλοία, καθώς ηλικιώνονται, η τραχύτητα επιφάνειας της γάστρας και η παραμόρφωση των ελασμάτων της γάστρας αυξάνεται. Όλα αυτά αλλάζουν την πραγματική υδροδυναμική της γάστρας και επομένως την αντίσταση. Ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη του τίποτα από την πραγματική λειτουργία του πλοίου και ειδικότερα :

- Τα πραγματικά καυσαέρια που εκπέμπονται
- Τον χρόνο που το πλοίο λειτουργεί

- Το πραγματικά μεταφερόμενο φορτίο

## 2.2 Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης του πλοίου – (SEEMP)

Η Επιτροπή Προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του IMO (MEPC.61) μετά από ένα μαραθώνιο συζητήσεων, παρέδωσε τον κανονισμό που ορίζει την υποχρεωτική εφαρμογή και συμμόρφωσης με το Σχέδιο Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης του Πλοίου (SEEMP) το οποίο θα περιλαμβάνει όλα τα αναγκαία μέτρα για την αποτελεσματική λειτουργία των πλοίων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας και η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Είναι ένα επιχειρησιακό μέτρο που θα έχει εφαρμογή στα νέα και υπάρχοντα πλοία, και θα ενσωματώνει τις βέλτιστες πρακτικές για την οικονομική λειτουργία του πλοίου, καθώς και κατευθυντήριες γραμμές για την υποχρεωτική εφαρμογή των μέτρων που προβλέπει ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης από την λειτουργία των πλοίων. Η 2<sup>η</sup> μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου το 2009 δείχνει ότι η μείωση κατά 20% στα τονομίλια που διανύονται μέσω της εφαρμογής λειτουργικών μέτρων, θα αποδώσει αξιοσημείωτα οικονομικά οφέλη με βάση τις τρέχουσες τιμές των καυσίμων. Το SEEMP θα βοηθήσει τη βιομηχανική ναυτιλία για την επίτευξη αυτού του στόχου και επιπλέον θα αποτελεί ένα σχέδιο που θα συμβάλλει στην μείωση του θερμοκηπίου από τα πλοία κατά την λειτουργία τους.

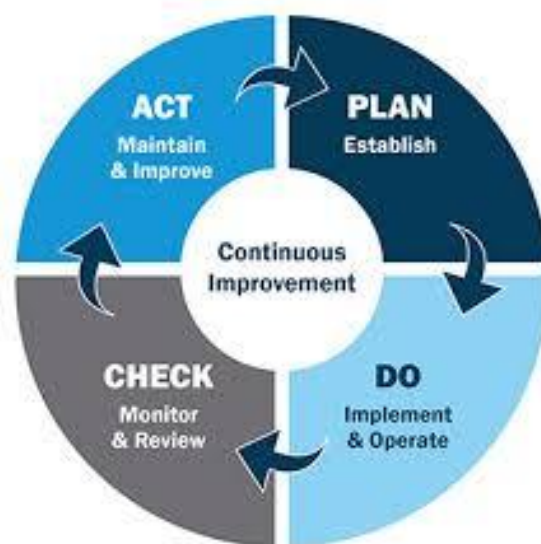
Ο σκοπός του SEEMP είναι η δημιουργία ενός μηχανισμού για την εταιρεία και το πλοίο για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας αυτού. Θα πρέπει να είναι ξεχωριστό για το κάθε πλοίο και να συνδέεται με την ευρύτερη εταιρική πολιτική διαχείρισης της ενέργειας, της εταιρείας στην οποία ανήκει, εκμεταλλεύεται ή ελέγχει το πλοίο. Έτσι λοιπόν παρέχει γενικές οδηγίες για την δημιουργία του SEEMP και εναποθέτει στην εταιρία την εφαρμογή των πρακτικών συμμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να προσαρμόζεται στα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του κάθε πλοίου. Το SEEMP προορίζεται να είναι εργαλείο που θα βοηθάει την εταιρεία στην διαχείριση της περιβαλλοντικής επίδοσης των πλοίων της.

Ο σχεδιασμός είναι το πιο κρίσιμο στάδιο της δημιουργίας το SEEMP και οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη είναι να προσδιορίζει (Lloyd's, 2012) :

1. Μέτρα για κάθε πλοίο ξεχωριστά
2. Μέτρα που να καλύπτουν τια ανάγκες και τις απαιτήσεις της εταιρείας

3. Εκπαιδευτικό πλάνο για την επιμόρφωση του προσωπικού που θα ασχοληθεί με την πρακτική εφαρμογή των μέτρων
4. Τον στόχο. Ο προσδιορισμός του στόχου είναι και το βασικότερο κομμάτι του σχεδιασμού καθώς είναι αυτό που θα προσδιορίσει εν συνεχεία και τα μέτρα που θα χρειαστεί να παρθούν για την επίτευξη.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές διαδικασίες που το SEEMP πρέπει να εξετάσει και να περιγράψει. Όλες μαζί σχηματίζουν μια συνεχή διαδικασία βελτίωσης όπως φαίνεται παρακάτω βάσει των κατευθυντήριων γραμμών (Lloyd's, 2012).



#### - Σχεδιασμός

Το πρώτο στάδιο αποτελεί και το πλέον σημαντικό και κρίσιμο, υπό την έννοια ότι στο σημείο αυτό καθορίζεται τόσο η τρέχουσα κατάσταση του πλοίου όσον αφορά την ενεργειακή χρήση, αλλά και οι αναμενόμενοι στόχοι. Επιπλέον, καταγράφονται όλα τα πιθανά μέτρα που μπορούν να ληφθούν και εξετάζεται ποια είναι τα πλέον καταλληλότερα για το συγκεκριμένο πλοίο. Θα πρέπει να τονιστεί, ωστόσο, ότι δεν μπορούν όλα τα μέτρα να εφαρμοστούν αντίστοιχα και σε όλα τα πλοία ή ακόμα και στο ίδιο πλοίο αλλά με διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, Ιδανικά, τα αρχικά μέτρα εφαρμογής θα απέφεραν ενεργειακά και κατά συνέπεια οικονομικά οφέλη, τα οποία θα μπορούσαν στη συνέχεια να επενδυθούν σε πιο δαπανηρές και εξελιγμένες μεθόδους βελτιστοποίησης διαχείρισης της ενέργειας.

Το τελευταίο στάδιο του σχεδιασμού, αποτελεί ο ορισμός των επιθυμητών στόχων, οι οποίοι θα πρέπει να είναι μετρήσιμοι και πλήρως κατανοητοί. Παρόλο αυτά δεν είναι αναγκαστικά ανακοινώσιμοι εκτός των πλαισίων της εταιρείας, ούτε υπάρχει πιθανότητα εξωτερικού ελέγχου. Αφορούν καθαρά την εταιρεία και τα στάνταρ που θέλει αν πετύχει για προσωπικό της όφελος.

#### **- Υλοποίηση**

Το δεύτερο στάδιο του SEEMP περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή των μεθόδων σχεδίων δράσεων, με προσδιορισμένα καθήκοντα και ευθύνες, μέσω των οποίων θα επιτευχθούν οι καθορισμένοι στόχοι. Κάθε μέτρο οφείλει να έχει ένα άτομο ως υπεύθυνο για την υλοποίηση του, καθώς και ένα χρονοδιάγραμμα, το οποίο θα καθορίζει την αρχή και το τέλος του. Τα προβλεπόμενα μέτρα θα πρέπει να πραγματοποιούνται σύμφωνα με το προκαθορισμένο σύστημα εφαρμογής, ενώ η τήρηση αρχείου όσον αφορά την εφαρμογή του κάθε μέτρου θεωρείται επωφελής για την διαδικασία της αυτό-αξιολόγησης σε μεταγενέστερο στάδιο και θα πρέπει να ενθαρρύνεται.

#### **- Παρακολούθηση**

Στο τρίτο στάδιο του SEEMP γίνεται ο έλεγχος της διαδικασίας κάθε μέτρου ξεχωριστά, η μέτρηση των αποτελεσμάτων και μετέπειτα η χρήση των δεδομένων για την καλύτερη κατανόηση και λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας. Η διαδικασία αυτή είναι προτιμότερο να γίνεται μέσω μίας καθιερωμένης μεθόδου, η οποία θα είναι κατά προτίμηση στα διεθνή πρότυπα. Γι' αυτό τον λόγο ο ΙΜΟ δημιούργησε τον ΕΕΟΙ.

#### **- Αυτο-αξιολόγηση και βελτίωση**

Αυτό είναι το τελικό στάδιο του κύκλου όπου η αξιολόγηση και κατ' επέκταση η βελτίωση είναι αναγκαία να γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, για να διακρίνεται η αποτελεσματικότητα των μέτρων και των μεθόδων εφαρμογής τους και να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα.

### 2.3 Μέτρα που βασίζονται στην Αγορά ρύπων - Market Based Measure (MBMs)<sup>1</sup>

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO έφτιαξε απαραίτητους μηχανισμούς για την ικανοποιητική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) της Διεθνούς Ναυτιλίας, λαμβάνοντας ιδιαίτερα υπόψη τις μελέτες για αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου. Γι' αυτό το λόγο η Επιτροπή εξέτασε παράλληλα την εφαρμογή κάποιων αγορακεντρικών μηχανισμών (MBMs) στα πλαίσια της Πρότασης A.963(23) «Πολιτικές και Πρακτικές του IMO σχετικά με τη μείωση στο πλαίσιο εργασιών της Επιτροπής (work plan)» κατά την 55η Σύνοδο αυτής (MEPC 55-Οκτώβριος 2006).

Ένας αγοροκεντρικός μηχανισμός θα εξυπηρετούσε δύο βασικούς σκοπούς :

- Θα παρείχε οικονομικό κίνητρο στη ναυτιλιακή βιομηχανία, ώστε να επενδύσει σε πιο αποδοτικά από πλευράς καυσίμων και τεχνολογίας πλοία
- Θα προωθούσε τη διαχείριση των πλοίων με ενεργειακά αποδοτικότερο τρόπο

Η 59η MEPC συμφώνησε με απόλυτη πλειοψηφία ότι η εφαρμογή ενός αγοροκεντρικού μέτρου, ως τμήμα ενός ολοκληρωμένου πακέτου μέτρων για τη ρύθμιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία, είναι απαραίτητη. Επίσης, συμφώνησε ομόφωνα ότι οποιοδήποτε ρυθμιστικό πλαίσιο αποφασίσει να εφαρμοστεί στη ναυτιλία, θα πρέπει να αναπτυχθεί και να θεσπιστεί από τον IMO, ως τον μοναδικό αρμόδιο διεθνή οργανισμό με παγκόσμια εντολή και δικαιοδοσία να ρυθμίσει όλες τις μη εμπορικές πτυχές της διεθνούς ναυτιλίας.

Κατόπιν μιας ενδελεχούς συζήτησης επί των αγοροκεντρικών μέτρων, η 59η MEPC συμφώνησε στη διεξαγωγή ενός σχεδίου εργασίας, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2011, για την εξέταση και μελέτη των αγοροκεντρικών μηχανισμών.

Οι υπό εξέτασιν προτάσεις αναφορικά με τα αγοροκεντρικά μέτρα διακρίνονται σε δύο είδη :

- Σε προτάσεις υποστηρικτικών σχεδίων με τη μορφή εισφοράς ή φόρου για το σύνολο των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία ή για τις εκπομπές πλοίων που δεν συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του EEDI μέσω συστημάτων εμπορίας ρύπων

<sup>1</sup> Market-Based Measures Proposals under consideration within the Expert Group on Feasibility Study and Impact Assessment of Possible Market Based Measures (MBM-EG)

- Σε σχέδια βασισμένα στην πραγματική αποδοτικότητα του πλοίου τόσο από πλευράς σχεδιασμού (EEDI) όσο και από πλευράς λειτουργίας (EEOI) .

Μεταξύ των μέτρων περιλαμβάνονται και προτάσεις για απαλλακτικούς μηχανισμούς και άλλους τρόπους διευθέτησης της διαφοράς μεταξύ των ανεπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων κρατών στο επίπεδο της κοινωνικοοικονομικής δυνατότητας, καθώς και εισηγήσεις για το πώς οι ειδικές ανάγκες και συνθήκες των αναπτυσσόμενων κρατών μπορούν να ρυθμιστούν.

Κάποια από τα προτεινόμενα σχέδια θα προσανατολίζουν τις επενδύσεις σε πιο ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και βελτιώσεις κατά την εκτέλεση του μεταφορικού έργου, θέτοντας,

- υποχρεωτικά πρότυπα αποδοτικότητας για όλα τα πλοία
- την εμπορία εκπομπών μέσω συστήματος δημοπρασίας, θα παρήγαγαν ένα χρηματικό απόθεμα, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου θα χρησιμοποιούνταν για τα ζητήματα κλιματικής αλλαγής στις αναπτυσσόμενες χώρες.

### **2.3.1 Προτεινόμενα μέτρα μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> στη ναυτιλία – MBMs<sup>2</sup>**

Ο IMO βασιζόμενος στην αγορά ρύπων εξέτασε τα μέτρα στην συνεδρίαση MEPC 56 τον Ιούλιο του 2006. Στην MEPC 59 τον Ιούλιο του 2009 η Επιτροπή αναγνώρισε ότι τα τεχνικά και λειτουργικά μέτρα δεν θα είναι επαρκή για την ικανοποιητική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία και προχώρησαν στην ανάπτυξη ενός παγκόσμιου εμπορίου. Οι MBM προτάσεις που λήφθηκαν υπόψη από την Επιτροπή συμπεριέλαβαν συστήματα εισφορών για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη διεθνή ναυτιλία και συστήματα βάση της απόδοσης του πλοίου σε σχέση με το σχεδιασμό και τη λειτουργία του. Παρακάτω παρουσιάζονται οι προτάσεις που κρίθηκαν ως οι πιο δημοφιλείς στην τρίτη συνεδρίαση της ομάδας εργασίας του IMO:

---

<sup>2</sup> IMO. (2011). 'GROUPING OF MBM PROPOSALS - Reduction of GHG Emissions from ships' MEPC 62/5/1, Annex 3.



- Διεθνές Ταμείο για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία (GHG Fund)
- Σχέδιο μόχλευσης κινήτρων (Leveraged Incentive Scheme-LIS)
- Αποδοτικότητα πλοίου και πιστωτικών συναλλαγών (Ship Efficiency and Credit Trading - SECT)
- Αποδοτικό σύστημα υποβοήθησης (Vessel Efficiency System-VES)
- Παγκόσμιες εκπομπές στο σύστημα Εμπορίας (Global Emissions Trading System-ETS)
- Παγκόσμιες εκπομπές στο σύστημα Εμπορίας για τη διεθνή ναυτιλία
- Οι εκπομπές στο συστήματα εμπορίου (ETS) για τις διεθνείς ναυτιλιακές
- Αγορακεντρικών μέσων (Market-Based Instruments-MBI)
- Εκπτώτικό Μηχανισμό (Rebate Mechanism-RM)
- Εισφορά λιμανιού (Port State Levy-PSL)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### Ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης ΕΕΟΙ

Με τον σχεδιασμό του EEDI, έγινε η αρχή για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Όμως, ο δείκτης αυτός δεν είναι σε θέση να υπολογίσει με ακρίβεια τους παραγόμενους ρύπους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Για το λόγο αυτό προτάθηκε ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης. Ο Δείκτης αυτός παρουσιάστηκε και αναπτύχθηκε από τον IMO για να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η συνεισφορά του κλάδου της ναυτιλίας στο πρόβλημα της εκπομπής CO<sub>2</sub> και γενικότερα αερίων του θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι το ποσό του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από ένα πλοίο συσχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση των καυσίμων, ο δείκτης ΕΕΟΙ μπορεί επίσης να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την απόδοση ενός πλοίου όσον αφορά την αποδοτικότητα των καυσίμων, γι' αυτό εναλλακτικά ορίζεται και ως δείκτης απόδοσης διοξειδίου του άνθρακα κατά τη μεταφορική λειτουργία.

Αν και εθελοντικός ο ρόλος του στην ναυτιλία, μελλοντικά αυτός μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, χρησιμοποιούμενος ως ένα θεμελιώδες κριτήριο για ένα πλοίο έτσι ώστε να αποφασιστεί η αναγκαιότητα για αγορά εκπομπής ρύπων διοξειδίου του άνθρακα.

Σύμφωνα με τον IMO, στην πιο απλή μορφή του, ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης ορίζεται ως ο λόγος της μάζας (M) του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκπέμπεται ανά μονάδα μεταφορόμενου φορτίου:

$$\text{Δείκτης ΕΕΟΙ} = \frac{M_{CO_2}}{\text{μεταφερόμενο φορτίο}}$$

Η κατανάλωση καυσίμου, ορίζεται ως η ολική ποσότητα καυσίμων που καταναλώθηκαν κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι ή για ένα ταξίδι ή για μια συγκεκριμένη περίοδο, π.χ., μια μέρα, χρησιμοποιώντας κύριες και βοηθητικές μηχανές συμπεριλαμβανομένων και των λεβητών, αποτεφρωτήρων.

Η διανυθείσα απόσταση ορίζεται ως η πραγματική απόσταση που έπλευσε το πλοίο σε ναυτικά μίλια (όπως αναγράφεται στο ημερολόγιο γέφυρας) για το ταξίδι ή την εν λόγω περίοδο.

Ο δείκτης ΕΕΟΙ μπορεί να υπολογιστεί σε όλα τα πλοία που εκτελούν μεταφορικό έργο, όπως πλοία μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου, δεξαμενόπλοια, Υγραεριοφόρα (LNG/LPG), πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, οχηματαγωγά πλοία, πλοία μεταφοράς γενικού φορτίου & επιβατηγά πλοία. Το μεταφερόμενο φορτίο περιλαμβάνει, χωρίς να περιορίζεται, στα ακόλουθα υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο (LPG), υγρά και στερεά χύδην φορτία, γενικό φορτίο, φορτίο σε εμπορευματοκιβώτια (περιλαμβανομένων και άδειων εμπορευματοκιβωτίων του ταξιδιού επιστροφής), μη μοναδοποιημένο γενικό φορτίο (break bulk), βαριά φορτία (heavy lifts), ξυλεία και προϊόντα του δάσους, κατεψυγμένα προϊόντα, φορτίο που μεταφέρεται σε οχήματα.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ΕΕΟΙ απαιτούνται τα ακόλουθα:

- Καθορισμός της περιόδου υπολογισμού του ΕΕΟΙ. Τα ταξίδια υπό έρμα (ballast voyages) καθώς επίσης και τα ταξίδια που δεν χρησιμοποιούνται για μεταφορά φορτίου (δεξαμενισμός ή επισκευές), πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και αυτά. Ταξίδια όμως που είναι αναγκαία για την ασφάλεια του πλοίου ή για την διάσωση ανθρώπινης ζωής στην θάλασσα πρέπει να μην συμπεριλαμβάνονται.
- Καθορισμός της πηγής δεδομένων
- Συλλογή δεδομένων
- Κατάλληλη μορφοποίηση δεδομένων
- Υπολογισμός ΕΕΟΙ

Πιο συγκεκριμένα και για ακριβέστερα αποτελέσματα, η μέθοδος καταγραφής δεδομένων που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι ομοιόμορφη έτσι ώστε να μπορούν να συλλεχθούν και να αναλυθούν εύκολα πληροφορίες για να διευκολυνθεί η εξαγωγή των απαραίτητων πληροφοριών. Η συλλογή των δεδομένων από τα πλοία πρέπει να περιλαμβάνει την διανυόμενη απόσταση, την ποσότητα και τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε καθώς και όλες τις πληροφορίες καυσίμου που μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται. Είναι

σημαντικό να συλλέγονται επαρκείς πληροφορίες σχετικές με την ποσότητα και το είδος του καυσίμου, την διανυόμενη απόσταση και το είδος φορτίου έτσι ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί μία ρεαλιστική εκτίμηση.

Η διανυόμενη απόσταση θα πρέπει να υπολογιστεί από την πραγματική διανυόμενη απόσταση όπως αναγράφεται στο ημερολόγιο του πλοίου. Το είδος και η ποσότητα του καυσίμου από τα δελτία παράδοσης καυσίμου και η διανυόμενη απόσταση από το ημερολόγιο του πλοίου.

Ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας για ένα ταξίδι υπολογίζεται από τη σχέση :

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D}$$

Ενώ η μέση τιμή του δείκτη για μία περίοδο ή για ένα αριθμό ταξιδιών υπολογίζεται με χρήση της ακόλουθης σχέσης :

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

Όπου:

- $j$  : είναι ο τύπος του καυσίμου
- $i$  : είναι ο αύξων αριθμός του ταξιδιού
- $FC_{ij}$  : είναι η μάζα του καταναλωθέντος καυσίμου  $j$  στο ταξίδι  $i$
- $C_{Fj}$  : είναι ο παράγοντας μετατροπής της μάζας του καυσίμου σε μάζα  $CO_2$  για το καύσιμο  $j$
- $m_{cargo}$  : είναι η ποσότητα του φορτίου που μεταφέρεται σε τόνους ή το μεταφορικό έργο (αριθμός TEU) ή η ολική χωρητικότητα για τα επιβατηγά πλοία
- $D$  : είναι η διανυόμενη απόσταση σε ναυτικά μίλια που αντιστοιχεί στο φορτίο που μεταφέρθηκε ή στο μεταφορικό έργο.

Η μονάδα μέτρησης του δείκτη ΕΕΟΙ εξαρτάται από το είδος του μεταφερόμενου φορτίου, δηλαδή από το είδος του πλοίου. Για την περίπτωση των πλοίων μεταφοράς πετρελαίου η μονάδα μέτρησης είναι: tonnes CO<sub>2</sub> / (tonnes x nautical miles).

Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται, προτείνονται οι αδιάστατοι συντελεστές μετατροπής του παρακάτω Πίνακα ανάλογα με το είδος του καυσίμου.

**Πίνακας 3:** Τιμές των αδιάστατων συντελεστών μετατροπής καυσίμου σε ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα

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

Οι στόχοι εφαρμογής του δείκτη αυτού είναι η μέτρηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας σε κάθε ταξίδι, η εκτίμηση της λειτουργικής απόδοσης από τους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές, η συνεχής καταγραφή της απόδοσης κάθε πλοίου και ο έλεγχος κάθε αλλαγής στο πλοίο και τη λειτουργία του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### Υπολογισμοί Δείκτη ΕΕΟΙ για πλοία μεταφοράς πετρελαίου

#### 4.1 Χαρακτηριστικά του στόλου που μελετήθηκε

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των 42 πλοίων μεταφοράς πετρελαίου που μελετήθηκαν ως προς τον Δείκτη ΕΕΟΙ για τη χρονική περίοδο 1/7/2016 έως 30/6/2017. Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται είναι:

- τύποι πετρελαιοφόρων
- ηλικία στόλου
- διαστάσεις στόλου
- τύποι μηχανών
- τύποι καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν

#### 4.1.1 Τύποι πετρελαιοφόρων

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν 42 πετρελαιοφόρα πλοία διαφόρων μεγεθών. Στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζονται οι τύποι των πλοίων αυτών:

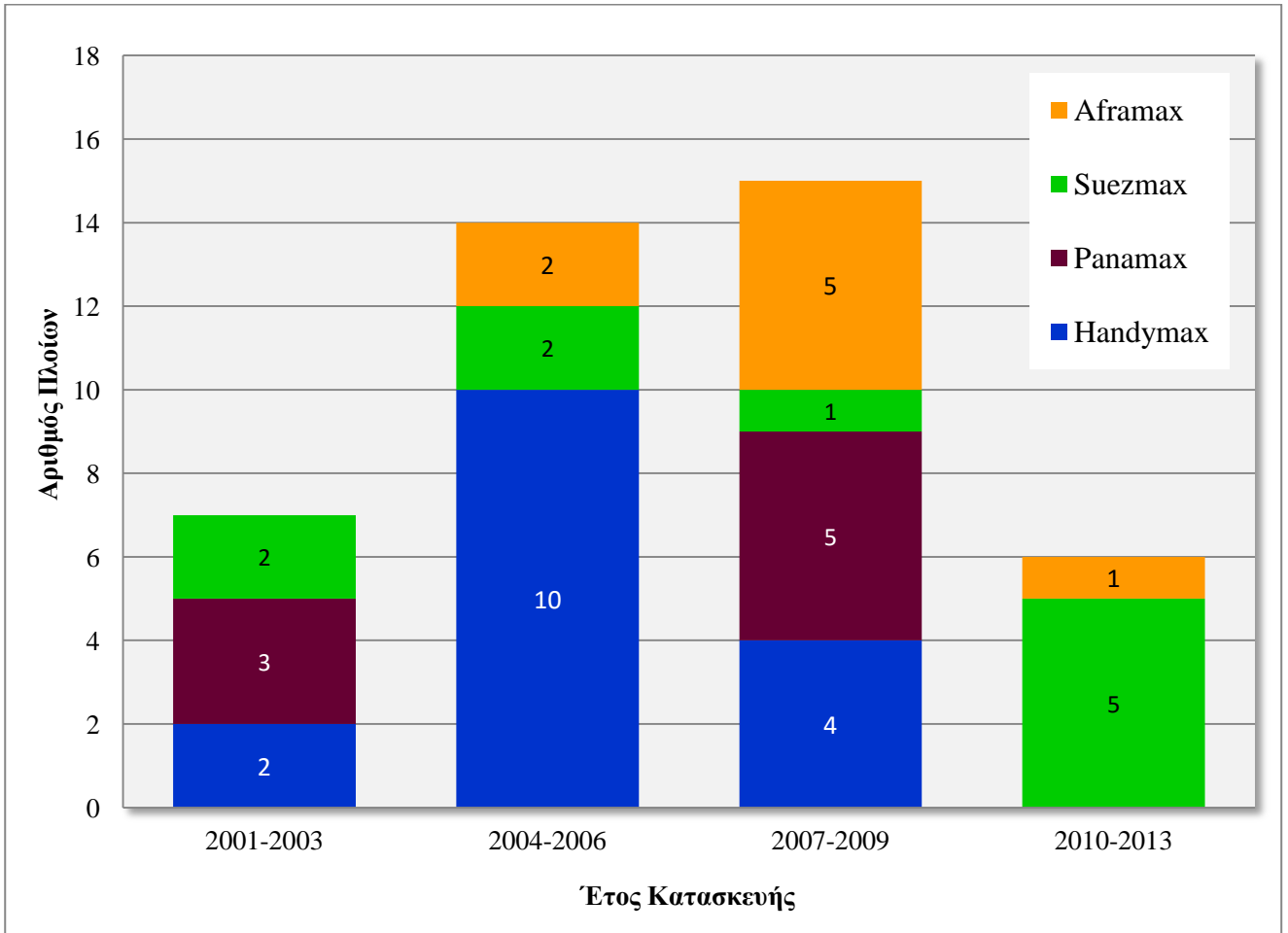
**Πίνακας 4:** Τύποι πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν

Τύπος Πετρελαιοφόρου	Αριθμός πλοίων	% επί του συνόλου των πλοίων
Handymax	16	38%
Panamax	8	19%
Aframax	8	19%
Suezmax	10	24%

Η πλειοψηφία του στόλου αποτελείται από Handymax (38%) και Suezmax (24%).

#### 4.1.2 Ηλικία στόλου

Το Σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει την ηλικία του στόλου.



**Σχήμα 5:** Ηλικιακή κατανομή του στόλου πετρελαιοφόρων πλοίων που μελετήθηκε

Από το προηγούμενο σχήμα παρατηρείται ότι η πλειψηφία του στόλου χτίστηκε μεταξύ 2007-2009. Επίσης ο μέσος όρος ηλικίας του στόλου είναι τα 10.3 έτη.

#### 4.1.3 Διαστάσεις στόλου

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαστάσεις των πλοίων που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 5:** Διαστάσεις των πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν

Τύπος Πετρελαιοφόρου	Αριθμός πλοίων	DWT (min)	DWT (max)	GRT (min)	GRT (max)	Length (average)
Handymax	16	37.061	53.148	23.217	30.053	183.18
Panamax	8	68.439	74.329	39.085	41.676	228.2
Aframax	8	105.344	117.055	55.909	66.919	233.93
Suezmax	10	155.709	164.565	81.314	85.431	275.04

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων του στόλου.

#### 4.1.4 Τύποι και κύρια χαρακτηριστικά μηχανών

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κύριων μηχανών των πλοίων που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 6:** Χαρακτηριστικά κύριων μηχανών πετρελαιοφόρων που μελετήθηκαν

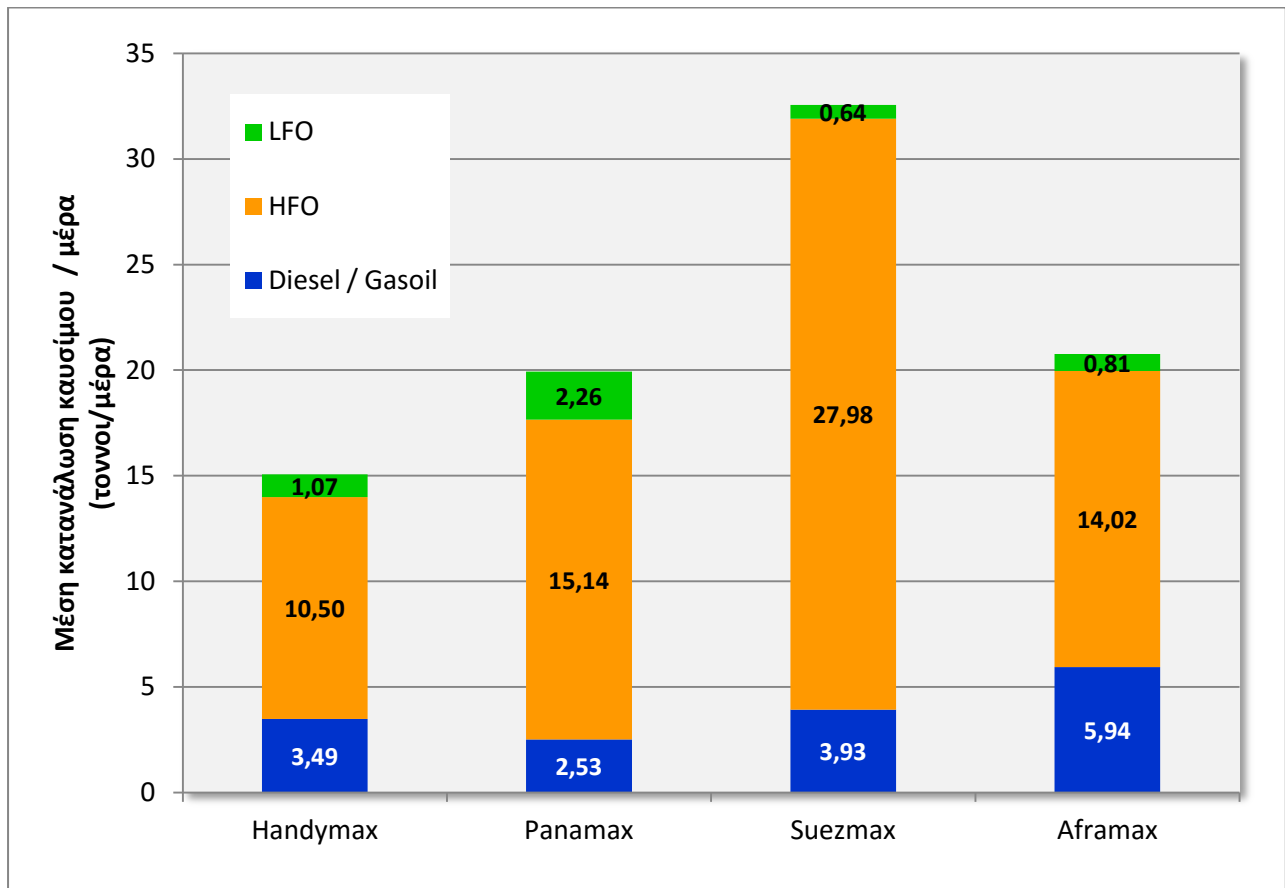
Τύπος Πετρελαιοφόρου	Αριθμός πλοίων	Τύπος μηχανής	BHP (average)	BHP (min)	BHP (max)	RPM (average)
Handymax	16	2-stroke	15213	11640	18420	119
Panamax	8	2-stroke	12750	12240	13600	100
Aframax	8	2-stroke	13418	12350	16625	99
Suezmax	10	2-stroke	19300	15200	25320	89

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων του στόλου.



#### 4.1.5 Τύποι καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν

Τα είδη των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την περίοδο που μελετάται είναι 3, το LFO (Light Fuel Oil), το HFO (Heavy Fuel Oil) και το Diesel/Gas Oil. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η μέση ημερήσια κατανάλωση σε τόννους των καυσίμων αυτών ανά είδος πετρελαιοφόρου πλοίου. Τα πλοία τύπου Suezmax είχαν την μεγαλύτερη κατανάλωση με περίπου 33 τόννους ημερησίως, ακολουθούμενα από τα πλοία τύπου Aframax τα οποία κατανάλωσαν περίπου 21 τόννους/μέρα. Η πλειοψηφία του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε ήταν το HFO (Heavy Fuel Oil) από όλους τους τύπους πλοίων.



Σχήμα 6: Ημερήσια κατανάλωση καυσίμων

## 4.2 Προσδιορισμός παραμέτρων που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ΕΕΟΙ

Πρωτού γίνει ο υπολογισμός του δείκτη ΕΕΟΙ, πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν κάποιες παράμετροι. Με βάση τον ορισμό του δείκτη υπάρχουν 3 σημαντικές παράμετροι:

1. Η διανυθείσα απόσταση για συγκεκριμένο ταξίδι
2. Η κατανάλωση του καυσίμου
3. Η περίοδος αναφοράς

Αρχικά, ως ταξίδι ορίζεται η απόσταση από το τελευταίο λιμάνι εκφόρτωσης του προηγούμενου ταξιδιού έως το τελευταίο λιμάνι εκφόρτωσης του φορτίου που πρόκειται να φορτωθεί στον επόμενο προορισμό φόρτωσης. Η συνολική απόσταση που διανύεται υπολογίζεται ως το άθροισμα της ημερήσιας διανυθείσας απόστασης όπως μετράται από τη συσκευή GPS στη γέφυρα του πλοίου. Η κύρια πηγή αυτών των πληροφοριών είναι πάντοτε τα επίσημα βιβλία του πλοίου.

Η κατανάλωση καυσίμου περιλαμβάνει όλα τα καύσιμα που καταναλώνονται από την κύρια και τις βοηθητικές μηχανές, τους λέβητες και τους αποτεφρωτήρες στη θάλασσα και στο λιμάνι (συμπεριλαμβανομένης και της κατανάλωσης των καυσίμων κατά τη διάρκεια του χρόνου αναμονής για οδηγίες ταξιδιού / παραλαβής φορτίου). Επίσης, η κατανάλωση καυσίμου για ταξίδια χωρίς φορτίο ή χωρίς διανυθείσα απόσταση, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί.

Ο δείκτης ΕΕΟΙ παρέχει μια ένδειξη της συνολικής απόδοσης του πλοίου που εκφράζεται σε εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια ορισμένης περιόδου. Δεν αποτελεί τον μέσο όρο του υπολογισμένου δείκτη ΕΕΟΙ ανά σκέλος ταξιδιού, αλλά κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς, το καταναλωθέν καύσιμο διαιρείται με το άθροισμα της μάζας φορτίου πολλαπλασιασμένης από την αντίστοιχη διανυθείσα απόσταση.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ΕΕΟΙ χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των ταξιδιών, των καταναλώσεων και των μεταφερόμενων φορτίων που στάλθηκαν από τον στόλο των 42 πετρελαιοφόρων και αφορούν την περίοδο 1/7/2016 έως 30/6/2017.

### 4.3 Υπολογισμός δείκτη ΕΕΟΙ για τα πλοία του στόλου

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης ΕΕΟΙ για τα πλοία του στόλου, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MS Excel. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε ένα φύλλο εργασίας για κάθε πλοίο του στόλου και για κάθε τρίμηνο της μελέτης, στο οποίο καταχωρήθηκαν τα ακόλουθα πραγματικά δεδομένα:

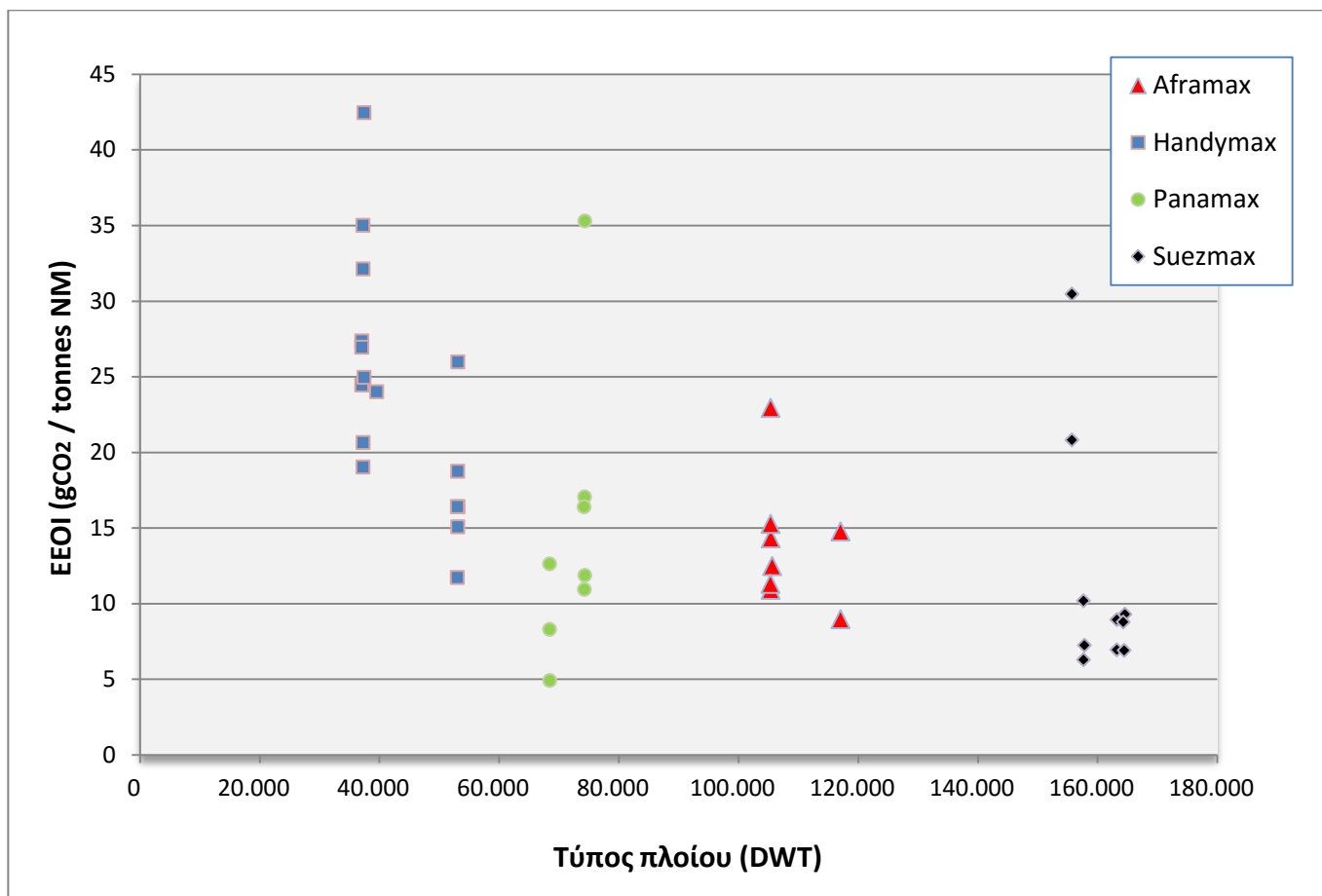
1. Αριθμός ταξιδιού ( Column 1)
2. Τύπος καυσίμου (Diesel/Gasoil, HFO, LFO) και ποσότητα σε τόννους (Columns 2-4)
3. Ποσότητα μεταφερόμενου φορτίου σε τόννους (Column 5)
4. Απόσταση που διανύθηκε σε ναυτικά μίλια (Column 6)

Στη συνέχεια και με εφαρμογή της εξίσωσης υπολογισμού του δείκτη, που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, προέκυψαν τα αποτελέσματα. Ενδεικτικά στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το φύλλο εργασίας του excel που δημιουργήθηκε.

QUARTER 1	JANUARY-FEBRUARY-MARCH	2017		CO <sub>2</sub> EMISSIONS CALCULATION (ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR-EEOI)		
VOYAGE No	Fuel consumption (FC) in tonnes (M/E, A/E, Boiler, Incinerator)			Voyage data		PRODUCT (Tonnes x Nautical Miles)
	Type of Fuel - ISO Specification					
	ISO 8217 Grades DMX through DMC	ISO 8217 Grades RME through RMK	ISO 8217 Grades RMA through RMD	Cargo (m <sub>oargo</sub> ) (Tonnes)	Distance (D) (Nautical Miles)	
	Diesel / Gasoil	Heavy Fuel Oil (HFO)	Light Fuel Oil (LFO)			
106	20	70		137.578	138	18.985.723
107	36	34		0	156	
107	52	84		135.740	168	22.804.320
108	49	101		0	168	
108	34	33		135.118	168	22.699.824
109	49	47		0	168	
109	62	101		135.626	168	22.785.136
110	49	44		0	157	
110	46	104		139.817	157	21.951.305
111	123	115		0	169	
111	46	109		138.402	157	21.729.189
112	51	24		0	159	
112	48	96		138.000	169	23.321.986
113	35	48		0	157	
113	110	54		136.754	157	21.470.389
114	35	44		0	169	
114	66	28		136.035	157	21.357.421
115	48	60		0	144	
115	79	44		138.144	157	21.688.553
	F <sub>D</sub>	F <sub>HFO</sub>	F <sub>LFO</sub>	1.371.213	3.043	
TOTAL	1.037	1.239	0		Σ(m <sub>oargo</sub> xD)	218.793.847
CO <sub>2</sub> EMISSIONS DURING QUARTER 1 (gr CO <sub>2</sub> )	7184023120	CO <sub>2</sub> EMISSIONS DURING QUARTER	7184,0	EEOI (gr CO <sub>2</sub> /tonne*mile)	32,83	

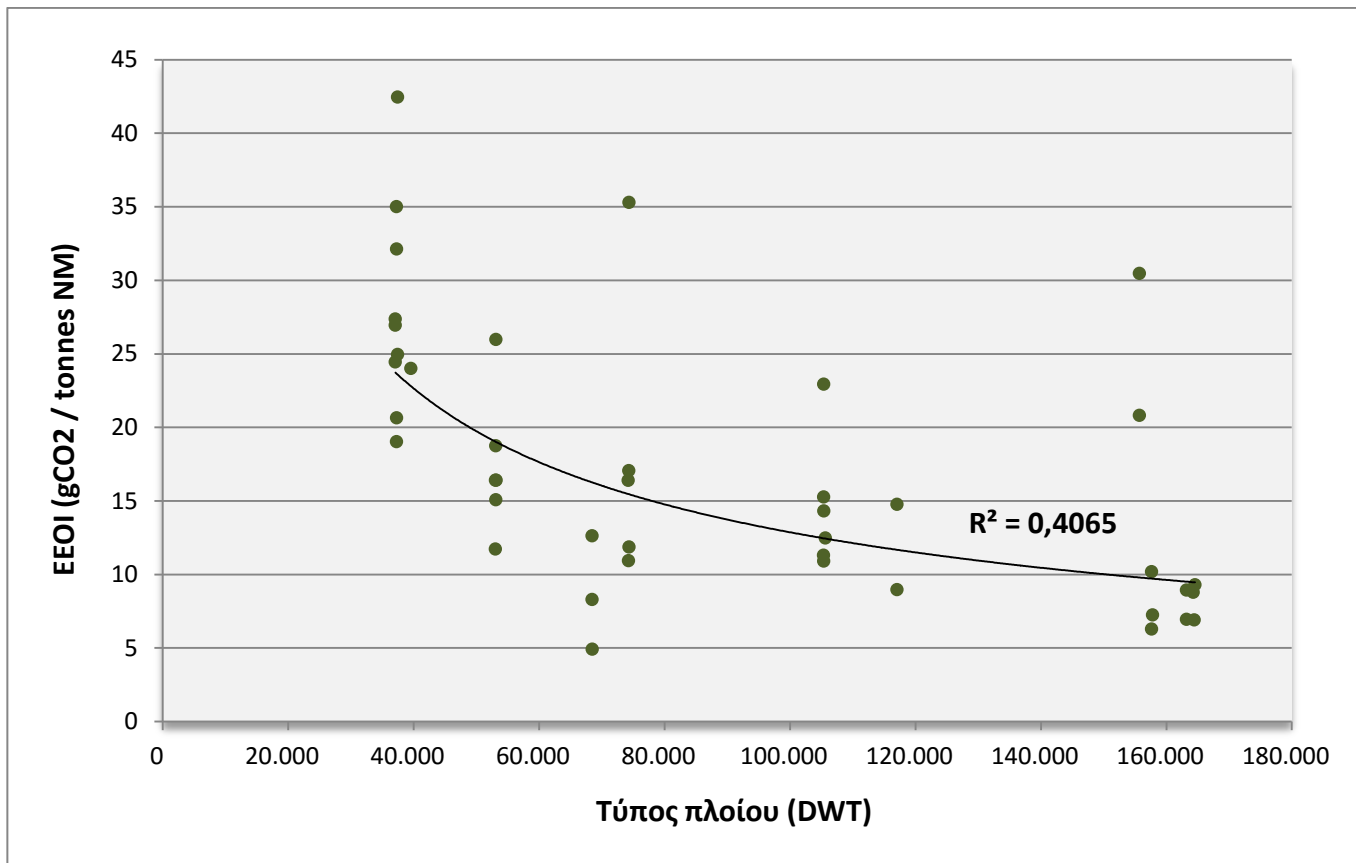
Σχήμα 7: Υπολογισμός του δείκτη EEOI με τη χρήση του MS Excel

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων για τα 42 πλοία μεταφοράς πετρελαίου παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



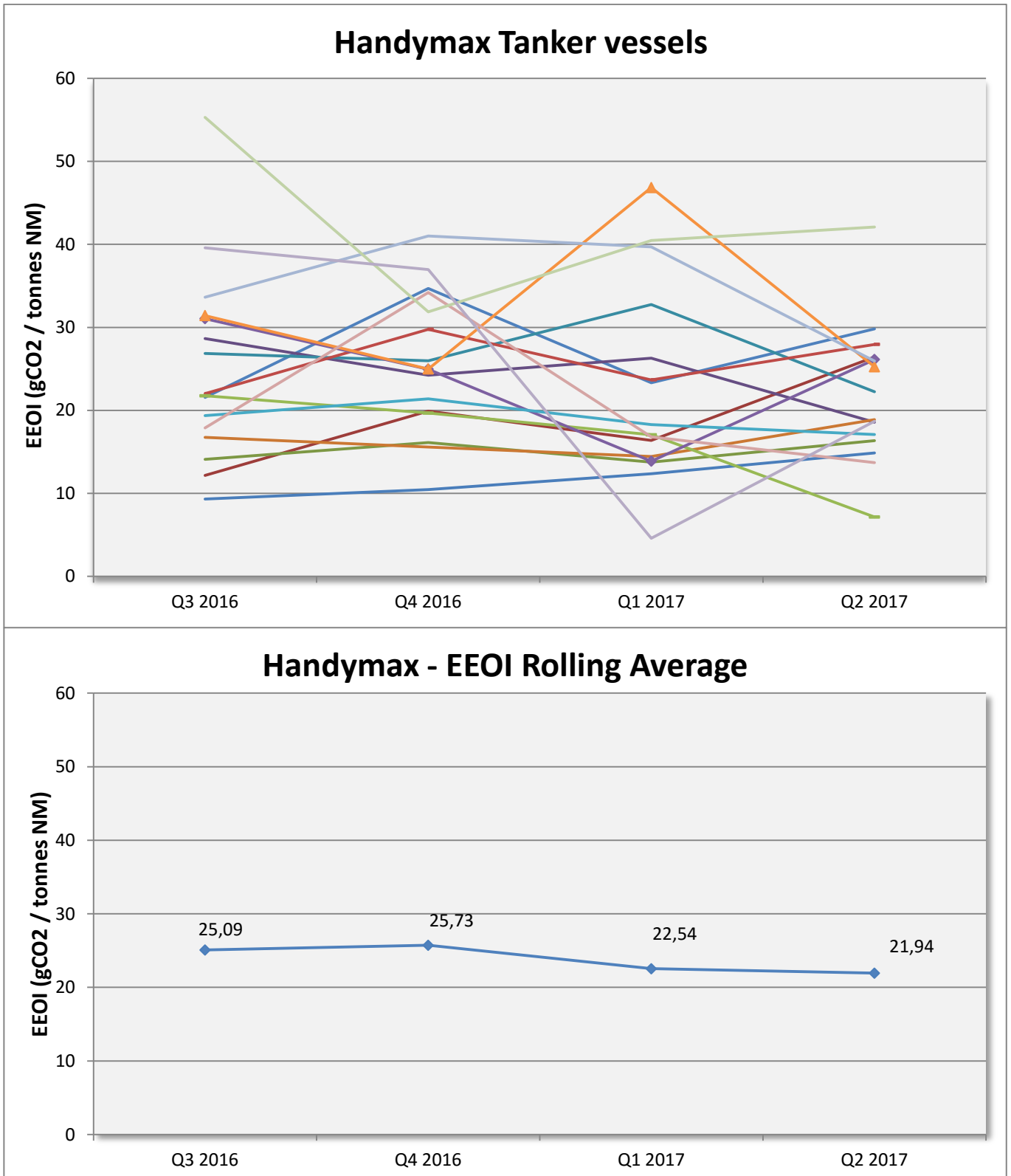
**Σχήμα 8:** Δείκτης EEOI ανά πλοίο για τη χρονική περίοδο 1/7/2016 - 30/6/2017

Όπως παρατηρείται από το σχήμα, τα επίπεδα του δείκτη κυμαίνονται από 5 έως 43 gr CO<sub>2</sub>/tonnes·NM και εξαρτώνται από τον τύπο του πλοίου. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται η τάση να μεγαλώνει η τιμή του δείκτη όσο μικραίνει το μέγεθος του πλοίου, για το λόγο αυτό τα Suezmax πλοία παρουσιάζονται ως πιο αποδοτικά σε σχέση με Handymax, Panamax και Aframax της μελέτης αυτής. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζεται η συσχέτιση του δείκτη με το DWT των 42 πλοίων μεταφοράς πετρελαίου. Η συσχέτιση των δεδομένων μας είναι 0,4065 ή 40,65% και η οποία δεν θεωρείται ιδιαίτερα ικανοποιητική (θέλουμε R<sup>2</sup> πάνω από 0.5). Η επιθυμητή – αποδεκτή συσχέτιση, όμως, μπορεί να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και η δεδομένη στην εργασία αυτή δε σημαίνει ότι είναι μη αποδεκτή.

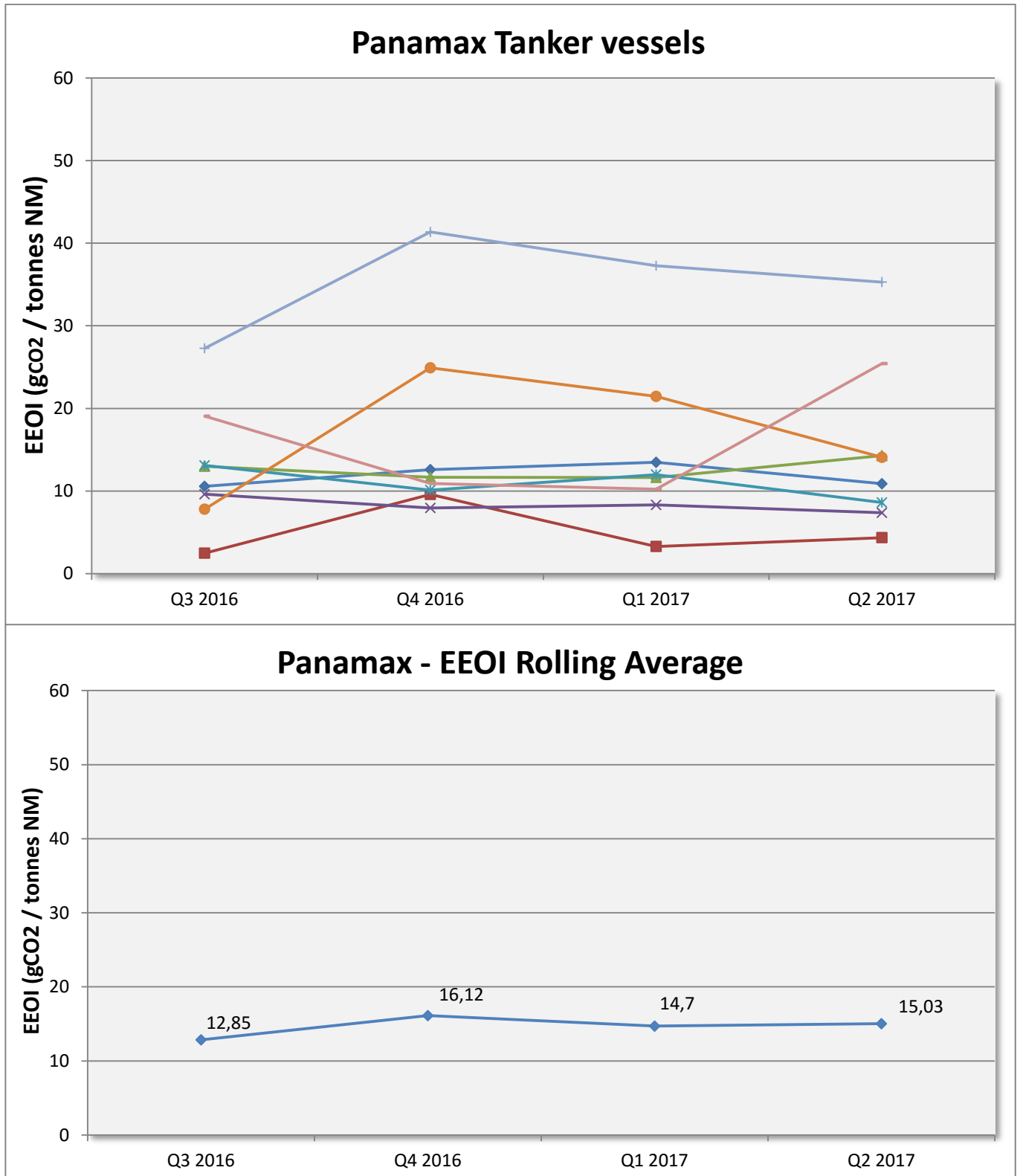


**Σχήμα 9:** Δείκτης EEOI και συσχέτιση με DWT

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ενεργειακή απόδοση κάθε πλοίου ανά τετράμηνο και ο αντίστοιχος μέσος δείκτης EEOI της κατηγορίας που ανήκει το κάθε πλοίο.

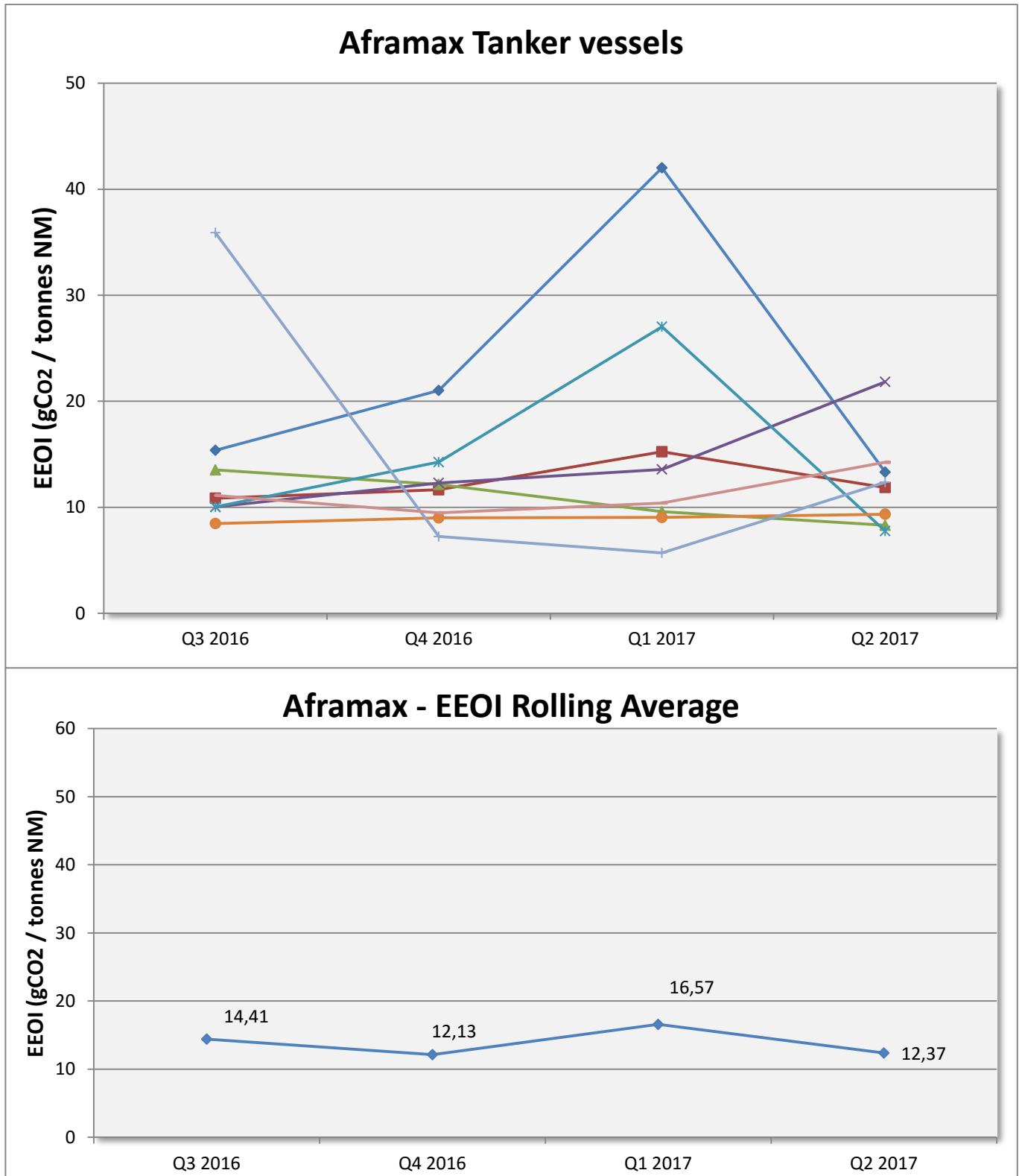


**Σχήμα 10:** Δείκτης EEOI για τα Handymax πλοία και μέσος δείκτης EEOI της κατηγορίας πλοίων Handymax

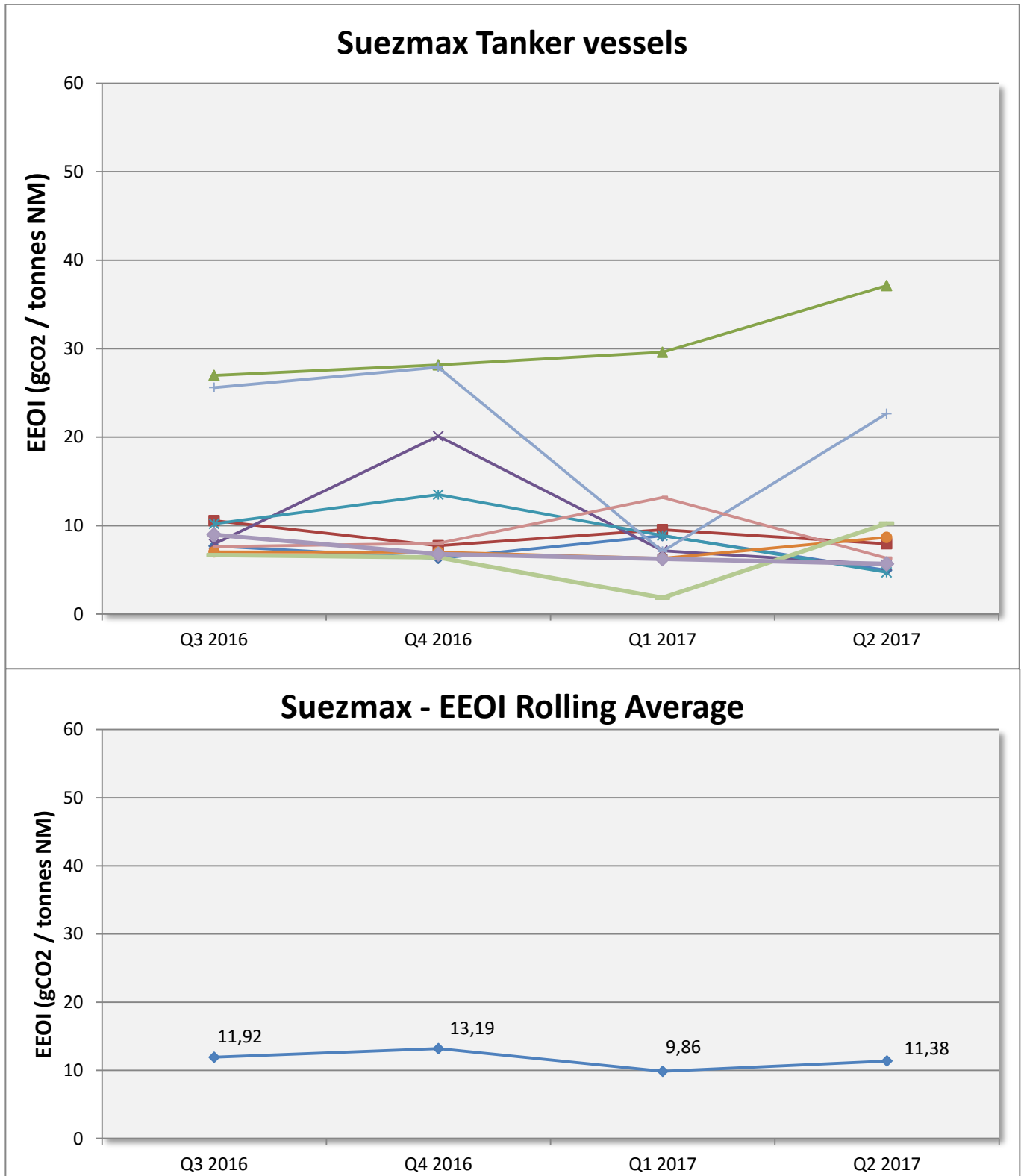


**Σχήμα 11:** Δείκτης EEOI για τα Panamax πλοία και μέσος δείκτης EEOI της κατηγορίας πλοίων Panamax



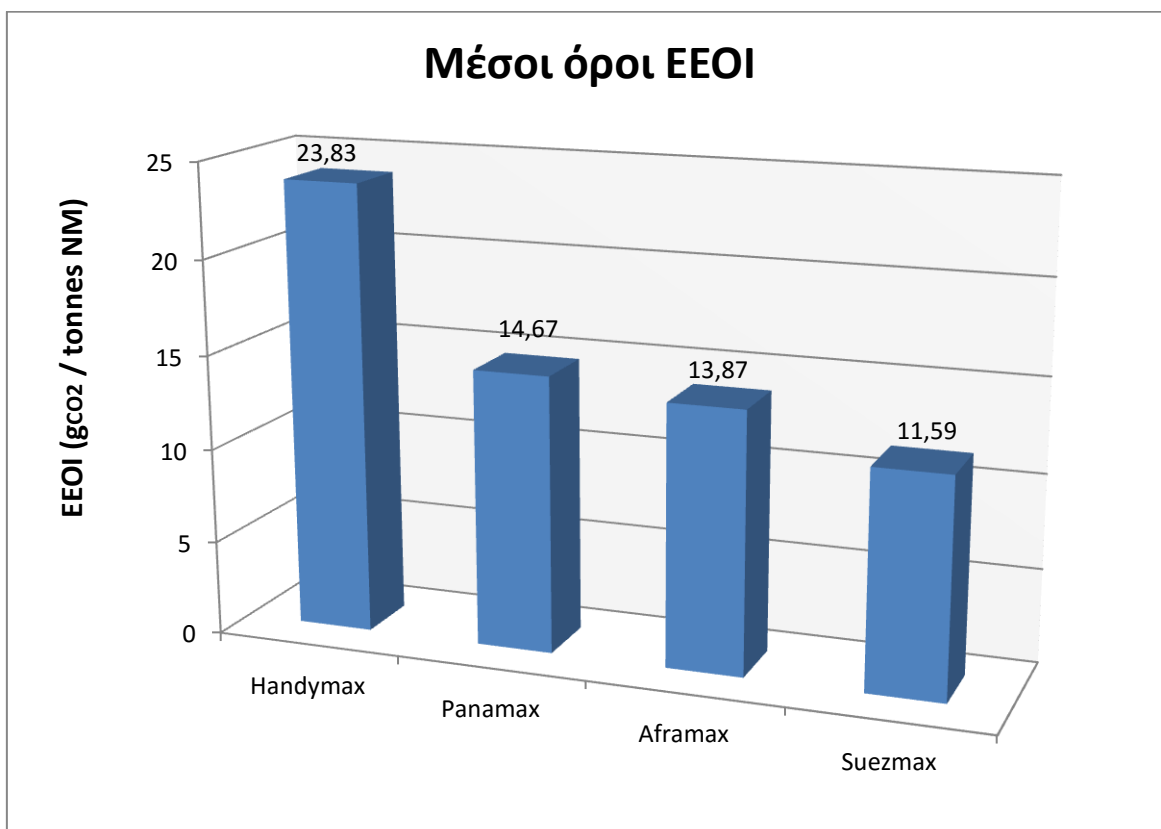


**Σχήμα 12:** Δείκτης EEOI για τα Aframax πλοία και μέσος δείκτης EEOI της κατηγορίας πλοίων Aframax



**Σχήμα 13:** Δείκτης EEOI για τα Suezmax πλοία και μέσος δείκτης EEOI της κατηγορίας πλοίων Suezmax

Βασιζόμενοι στους υπολογισμούς του δείκτη ΕΕΟΙ και στα διαγράμματα που προηγήθηκαν, συμπεραίνεται η μείωση του δείκτη με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου. Ενδεικτικά, στο σχήμα 14 εμφανίζονται οι μέσοι όροι του ΕΕΟΙ ανά κατηγορία πλοίου για την περίοδο που μελετήθηκε.



**Σχήμα 14:** Μέσοι όροι ΕΕΟΙ ανά κατηγορία πλοίου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### Συμπεράσματα - Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Η ενεργειακή απόδοση των πλοίων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφορών. Για το λόγο αυτό κατέστη επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας και υιοθέτησης ενεργειακών δεικτών ώστε να δίνεται η δυνατότητα ποσοτικοποίησης των δεδομένων μέσω της καταγραφής και επεξεργασίας τους, ώστε να οριστούν σημεία αναφοράς και όρια για κάθε κατηγορία πλοίου με στόχο την συνεχόμενη βελτίωσή τους με την πάροδο του χρόνου.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων της παρούσας μελέτης παρατηρείται ότι τα πλοία μεταφοράς πετρελαίου με μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα συμπεριφέρονται ως επί το πλείστον πιο αποδοτικά ενεργειακά σε σχέση με τα μικρότερα σε μέγεθος πλοία. Πιο συγκεκριμένα, κατά μέσο όρο τα Suezmaxes εμφανίζουν τιμή δείκτη EEOI στα 11.59 grCO<sub>2</sub>/tonnes·NM, τα Aframaxes στα 13.87 grCO<sub>2</sub>/tonnes·NM, τα Panamaxes στα 14.67 grCO<sub>2</sub>/tonnes·NM και τα μικρότερα Handymaxes στα 23.83 grCO<sub>2</sub>/tonnes·NM. Είναι αξιοσημείωτο, όμως, ότι παρατηρήθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις ακόμα και σε ίδιου μεγέθους πλοία. Παρόλα αυτά, το μέγεθος και ο τύπος του πλοίου συσχετίζεται μόνο κατά 40.65% (R<sup>2</sup>) με τον δείκτη EEOI.

Επομένως, με βάση τα όσα παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, γίνεται αντιληπτό ότι ο υπολογισμός του δείκτη EEOI γίνεται με τη χρήση βασικών πληροφοριών. Αυτός είναι και ο λόγος που παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ακόμα και μεταξύ παρόμοιου μεγέθους πλοίων.

Ένας λεπτομερέστερος υπολογισμός, παρότι είναι πιο σύνθετος, θα έπρεπε να λαμβάνει υπόψη και άλλους λειτουργικούς παράγοντες, όπως η ταχύτητα του πλοίου, οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση πλεύσης του πλοίου, η καθαρότητα της γάστρας και της έλικας, παράγοντες οι οποίοι με τον δικό τους τρόπο ο καθένας επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου.

Επίσης, η διαφοροποίηση στον τύπο των ταξιδιών που εκτελούνται ανά κατηγορία πλοίου είναι ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή

απόδοση του πλοίου. Ενδεικτικά, τα Suezmaxes και Aframaxes εκτελούν κυρίως μεγάλα υπερατλαντικά ταξίδια μεταφέροντας αργό πετρέλαιο. Τα μικρότερου τύπου δεξαμενόπλοια, Handymaxes, δραστηριοποιούνται σε τοπικές αγορές μικρότερης εμβέλειας όπου το μεταφερόμενο φορτίο είναι κυρίως υποπροϊόντα πετρελαίου (βενζίνη, κηροζίνη, λιπαντέλαια, πετρέλαιο θέρμανσης). Έτσι λοιπόν, προκύπτει ότι η σχέση της μεταφερόμενης ποσότητας και κατ'έκταση της μεταφορικής ικανότητας, με την διανυθείσα απόσταση του ταξιδιού κάτω από φυσιολογικές τιμές κατανάλωσης καυσίμου, διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό τις τιμές του δείκτη EEOI.

Επιπρόσθετα, ο τύπος ναύλωσης του πλοίου επηρεάζει τον ενεργειακό δείκτη. Για πλοία τα οποία είναι χρονοναυλωμένα, πολλές φορές η ταχύτητα καθορίζεται από τους ναυλωτές. Για να επιτυγχάνεται όσον το δυνατόν μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα, θα πρέπει τα πλοία να ναυλώνονται στο μέγιστο της μεταφορικής τους ικανότητας και οι καταναλώσεις να είναι οικονομικές με μειωμένη ταχύτητα κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Πολλές φορές, όμως, αυτό δεν είναι εφικτό κυρίως λόγω της φύσης της ναυτιλιακής αγοράς η οποία είναι δυναμική και ευμετάβλητη και δεν υπάρχει πάντα η ευχέρεια για την επιλογή ενός ταξιδιού με ιδανικά χαρακτηριστικά και κάτω από ιδανικές συνθήκες.

Πέραν, όμως, των όσων αναφέρθηκαν μέχρι τώρα για τον υπολογισμό του δείκτη και την σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων της ίδιας εταιρίας σε αυτή την εργασία, γεννώνται ερωτήματα ως προς τον τρόπο με τον οποίο ο δείκτης αυτός μπορεί να αποτελέσει μέτρο σύγκρισης των πλοίων σε παγκόσμιο επίπεδο. Μπορεί ο ορισμός και τα στοιχεία που απαιτεί η εξίσωση του δείκτη EEOI να είναι φαινομενικά απλά, η συλλογή τους, όμως, και ο τρόπος που ερμηνεύεται από διαφορετικές πλοιοκτήτριες και διαχειρίστριες εταιρίες ο όρος ταξίδι μπορεί να διαφέρουν.

Πρόταση για περαιτέρω μελέτη όχι μόνο σε ακαδημαϊκό επίπεδο αλλά και στην πράξη σε επίπεδο ναυτιλιακών εταιριών θα μπορούσε να είναι ο διαχωρισμός του δείκτη EEOI σε τρεις υποδείκτες ως ακολούθως:

- Cargo EEOI (μεταφερόμενο φορτίο διάφορο του μηδενός)
- Ballast EEOI (μεταφερόμενο φορτίο ίσο με μηδέν)
- Port EEOI

Με τον διαχωρισμό αυτό θα καταστεί πιο εύκολη τόσο η κατανόηση του δείκτη όσο και ο εντοπισμός των αιτιών διακύμανσής του. Έτσι, θα είναι πολύ πιο εύκολο να προσδιοριστούν τα πλοία που χρειάζονται βελτιώσεις.

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (ΕΕΟΙ) αποτελεί μια ένδειξη για το ενεργειακό αποτύπωμα των πλοίων κάθε εταιρίας, αλλά με την παρούσα του μορφή δεν μπορεί να αποτελέσει μέτρο σύγκρισης των πλοίων μεταξύ τους και να τεθεί σε υποχρεωτική ισχύ.

## Βιβλιογραφία

Αλεξόπουλος Α.Β., (2004), *Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ανατύπωση Διεθνές θαλάσσιο περιβαλλοντικό δίκαιο*, Τμήμα Θαλασσίων Επιστημών, Ακαδημαϊκό έτος 2004-2005

Γιάλοφος Ε., (2005), Παραπομπή στην διπλωματική εργασία με τίτλο: "Ανάλυση των παραγόντων που επιδρούν στις θαλάσσιες μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων"

Κατσιμπαρδής Κ., 2007, Παραπομπή στη διδακτορική διατριβή με τίτλο: "Το Διεθνές καθεστώς για την προστασία της ατμόσφαιρας : Η περίπτωση του θερμοκηπίου " , εκδ. Αντ. Ν. Σάκκουλα.

Κατσιμπαρδής Κ., 2007, *Θαλάσσιες μεταφορές και ατμοσφαιρική ρύπανση: Διεθνείς και κοινοτικές ρυθμιστικές προσεγγίσεις*, Εισήγηση στο Συνέδριο με θέμα: "Περιβάλλον και Θαλάσσιες Μεταφορές σε αναζήτηση μιας βιώσιμης προσέγγισης", Χίος 19-22 Απριλίου 2007

Tietenberg T., (1999), *Οικονομική του Περιβάλλοντος και των Φυσικών πόρων*, Gutenberg, Αθήνα

Delbeke J. (2016): *EU ETS Reform and Renewable Energy* European Commission Conference, Budapest Available at <http://towards2030.eu/sites/default/files/Jos%20Delbeke%20%28EC%2C%20DG%20CLIMA%29%20EU%20ETS%20Reform%20and%20Renewable%20Energy.pdf> (accessible on 17/8/2017)

Deloitte (2015): *Energy Market reform in Europe. European energy and climate policies: achievements and challenges to 2020 and beyond* Available at <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-energy-market-reform-in-europe.pdf> (accessible on 21/8/2017)

Earth System Research Laboratory (2013): Available at <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/> (accessible on 28/8/2017)

GESAMP Report and Studies No 39, (1990): *The state of the marine environment* available at [http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports\\_and\\_studies\\_39/gallery\\_1283/object\\_1296\\_large.pdf](http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports_and_studies_39/gallery_1283/object_1296_large.pdf) (accessible on 26/8/2017)

GESAMP Report and Studies No 75, (2007): *Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities* available at [http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports and studies 75/gallery\\_1042/object\\_1042\\_large.pdf](http://www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports%20and%20studies%2075/gallery_1042/object_1042_large.pdf) (accessible on 20/8/2017)

IMO (2009): *Second IMO GHG study* available at <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf> (accessible on 1/8/2017)

IPCC (2016): *IPCC AR4 SYR Appendix Glossary* available at [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) (accessible on 10/8/2017)

Lloyd's (2012): *Implementing a Ship Energy Efficiency Management Plan - Guidance for ship owners and operators* available at [http://www.navtronic-project.eu/userdata/file/Public%20deliverables/Lloyds%20SEEMP%20Guidance%20Notes%20for%20Clients%20v2\\_tcm155-240651.pdf](http://www.navtronic-project.eu/userdata/file/Public%20deliverables/Lloyds%20SEEMP%20Guidance%20Notes%20for%20Clients%20v2_tcm155-240651.pdf) (accessible on 6/8/2017)

United Nations (1992) *United Nations Framework Convention on Climate Change* available at [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) (accessible on 5/8/2017)



## Παράρτημα Α

**Πίνακας 7:** Τεχνικά χαρακτηριστικά του στόλου που μελετήθηκε

No.	Vessel Size Type	Year built	Deadweight tonnage (DWT)	Gross tonnage (GRT)	Net tonnage (NRT)	Length overall (m)	Breadth Overall (m)	Motor type	BHP	RPM
1	Aframax	2009	105.372	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
2	Aframax	2009	105.631	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
3	Aframax	2007	105.374	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
4	Aframax	2008	105.392	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
5	Aframax	2006	117.055	66.919	34.956	249,90	44,00	2-stroke	16.625,00	105,00
6	Aframax	2006	117.055	66.919	34.956	249,90	44,00	2-stroke	16.625,00	105,00
7	Aframax	2007	105.365	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
8	Aframax	2010	105.344	55.909	29.810	228,60	42,04	2-stroke	12.350,00	97,00
9	Handymax	2007	37.061	23.325	10.986	182,55	27,40	2-stroke	15.050,00	127,00
10	Handymax	2005	53.081	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
11	Handymax	2005	53.095	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
12	Handymax	2006	37.061	23.325	10.986	182,55	27,40	2-stroke	15.050,00	127,00
13	Handymax	2007	37.061	23.325	10.986	182,55	27,40	2-stroke	15.050,00	127,00
14	Handymax	2005	53.148	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
15	Handymax	2005	53.021	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
16	Handymax	2005	53.106	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
17	Handymax	2005	53.038	30.053	14.378	186,41	32,20	2-stroke	18.420,00	105,00
18	Handymax	2003	39.550	23.217	11.037	182,55	27,34	2-stroke	12.900,00	127,00
19	Handymax	2003	37.261	23.371	11.037	182,55	27,34	2-stroke	12.900,00	127,00
20	Handymax	2007	37.275	23.310	11.070	182,55	27,40	2-stroke	12.900,00	127,00
21	Handymax	2005	37.252	23.298	10.195	182,55	27,34	2-stroke	12.870,00	127,00
22	Handymax	2007	37.275	23.310	11.070	182,55	27,40	2-stroke	12.900,00	127,00

No.	Vessel Size Type	Year built	Deadweight tonnage (DWT)	Gross tonnage (GRT)	Net tonnage (NRT)	Length overall (m)	Breadth Overall (m)	Motor type	BHP	RPM
23	Handymax	2004	37.432	25.124	9.118	175,97	31,00	2-stroke	11.640,00	127,00
24	Handymax	2005	37.432	25.124	9.118	175,97	31,00	2-stroke	11.640,00	127,00
25	Panamax	2009	74.329	41.676	21.792	228,00	32,24	2-stroke	12.240,00	105,00
26	Panamax	2001	68.467	39.985	19.936	228,54	32,00	2-stroke	13.600,00	93,00
27	Panamax	2003	68.439	39.085	19.936	228,54	32,20	2-stroke	13.599,00	93,00
28	Panamax	2003	68.439	39.085	19.936	228,54	32,20	2-stroke	13.599,00	93,00
29	Panamax	2009	74.251	41.676	21.792	228,00	32,24	2-stroke	12.240,00	105,00
30	Panamax	2009	74.296	41.676	21.792	228,00	32,24	2-stroke	12.240,00	105,00
31	Panamax	2008	74.327	41.676	21.792	228,00	32,24	2-stroke	12.240,00	105,00
32	Panamax	2009	74.200	41.676	21.792	228,00	32,24	2-stroke	12.240,00	105,00
33	Suezmax	2006	163.216	85.421	53.684	274,12	50,00	2-stroke	18.660,00	91,00
34	Suezmax	2007	163.216	85.421	53.684	274,12	50,00	2-stroke	18.660,00	91,00
35	Suezmax	2013	155.709	83.078	50.355	278,50	48,00	2-stroke	15.200,00	82,00
36	Suezmax	2011	157.648	81.314	51.990	274,20	48,00	2-stroke	18.660,00	91,00
37	Suezmax	2005	164.565	85.431	53.684	274,12	50,00	2-stroke	18.660,00	91,00
38	Suezmax	2013	157.803	81.314	51.990	274,27	48,00	2-stroke	18.660,00	91,00
39	Suezmax	2013	155.709	83.078	50.355	278,50	48,00	2-stroke	15.200,00	82,00
40	Suezmax	2002	164.286	84.586	53.710	274,19	50,00	2-stroke	25.320,00	91,00
41	Suezmax	2011	157.648	81.314	51.990	274,20	48,00	2-stroke	18.660,00	91,00
42	Suezmax	2002	164.445	84.586	53.710	274,19	50,00	2-stroke	25.320,00	91,00

**MEPC.1/Circ.684, 17 August 2009,  
GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY  
EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)**



**IMO**

**E**

Ref. T5/1.01

MEPC.1/Circ.684  
17 August 2009

## **GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)**

- 1 The Marine Environment Protection Committee, at its fifty-ninth session (13 to 17 July 2009), agreed to circulate the Guidelines for voluntary use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) as set out in the annex.
- 2 Member Governments are invited to bring the Guidelines to the attention of all parties concerned and recommend them to use the Guidelines on a voluntary basis.
- 3 Member Governments and observer organizations are also invited to provide information on the outcome and experiences in applying the Guidelines to future sessions of the Committee.

\*\*\*



## ANNEX

### GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)

1 The Conference of Parties to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, held from 15 to 26 September 1997 in conjunction with the Marine Environment Protection Committee's fortieth session, adopted Conference resolution 8, on CO<sub>2</sub> emissions from ships.

2 IMO Assembly resolution A.963(23) on IMO policies and practices related to the reduction of greenhouse gas emissions from ships urged the Marine Environment Protection Committee (MEPC) to identify and develop the mechanism or mechanisms needed to achieve the limitation or reduction of Greenhouse Gas (GHG) emissions from international shipping and, in doing so, to give priority to the establishment of a GHG baseline; and the development of a methodology to describe the GHG efficiency of a ship in terms of GHG emission indicator for that ship.

3 As urged by the Assembly, MEPC 53 approved Interim Guidelines for Voluntary Ship CO<sub>2</sub> Emission Index for Use in Trials.

4 These Guidelines can be used to establish a consistent approach for voluntary use of an EEOI, which will assist shipowners, ship operators and parties concerned in the evaluation of the performance of their fleet with regard to CO<sub>2</sub> emissions. As the amount of CO<sub>2</sub> emitted from a ship is directly related to the consumption of bunker fuel oil, the EEOI can also provide useful information on a ship's performance with regard to fuel efficiency.

5 These Guidelines may be updated periodically, to take account of:

- Operational experiences from use of the indicator for different ship types, as reported to MEPC by industry organizations and Administrations; and
- Any other relevant developments.

6 Industry organizations and interested Administrations are invited to promote the use of the attached Guidelines or equivalent approaches and their incorporation in company and ship environmental management plans. In addition, they are invited to report their experience in applying the EEOI concept back to MEPC.

7 In addition to these Guidelines, due account should be taken of the pertinent clauses within the ISM Code in voluntary basis along with reference to relevant industry guidance on the management and reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

\* \* \*

## ANNEX

**GUIDELINES FOR VOLUNTARY USE OF THE SHIP ENERGY  
EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)**

**Contents**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	4
<b>2</b>	<b>OBJECTIVES</b>	4
<b>3</b>	<b>DEFINITIONS</b>	4
3.1	Indicator definition	4
3.2	Fuel consumption	5
3.3	Distance sailed	5
3.4	Ship and cargo types	5
3.5	Cargo mass carried or work done	5
3.6	Voyage	6
<b>4</b>	<b>ESTABLISHING ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)</b>	6
<b>5</b>	<b>DATA RECORDING AND REPORTING PROCEDURES</b>	6
<b>6</b>	<b>MONITORING AND VERIFICATION</b>	7
6.1	General	7
6.2	Rolling average indicator	7
<b>7</b>	<b>USE OF GUIDELINES</b>	8
<b>APPENDIX</b>	<b>Calculation of Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) based on operational data</b>	9

## 1 INTRODUCTION

In 1997 IMO adopted a resolution on CO<sub>2</sub> emissions from ships<sup>1</sup>.

IMO Assembly further adopted resolution A.963(23) on IMO policies and practices related to the reduction of greenhouse gas emissions from ships, which requests the MEPC to develop a greenhouse gas emission index for ships, and guidelines for use of that index.

This document constitutes the Guidelines for the use of an Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) for ships. It sets out:

- what the objectives of the IMO CO<sub>2</sub> emissions indicator are;
- how a ship's CO<sub>2</sub> performance should be measured; and
- how the index could be used to promote low-emission shipping, in order to help limit the impact of shipping on global climate change.

## 2 OBJECTIVES

The objective of these Guidelines is to provide the users with assistance in the process of establishing a mechanism to achieve the limitation or reduction of greenhouse gas emissions from ships in operation.

These Guidelines present the concept of an indicator for the energy efficiency of a ship in operation, as an expression of efficiency expressed in the form of CO<sub>2</sub> emitted per unit of transport work. The Guidelines are intended to provide an example of a calculation method which could be used as an objective, performance-based approach to monitoring the efficiency of a ship's operation.

These Guidelines are recommendatory in nature and present a possible use of an operational indicator. However, shipowners, ship operators and parties concerned are invited to implement either these Guidelines or an equivalent method in their environmental management systems and consider adoption of the principles herein when developing plans for performance monitoring.

## 3 DEFINITIONS

### 3.1 Indicator definition

In its most simple form *the Energy Efficiency Operational Indicator* is defined as the ratio of mass of CO<sub>2</sub> ( $M$ ) emitted per unit of transport work:

$$\text{Indicator} = M_{\text{CO}_2} / (\text{transport work})$$

For more details of indicator calculation, see 3.2 to 3.4 and Appendix 1.

---

<sup>1</sup> Resolution 8 of the 1997 International Conference of Parties to MARPOL 73/78.



### 3.2 Fuel consumption

*Fuel consumption*, FC, is defined as all fuel consumed at sea and in port or for a voyage or period in question, e.g., a day, by main and auxiliary engines including boilers and incinerators.

### 3.3 Distance sailed

*Distance sailed* means the actual distance sailed in nautical miles (deck log-book data) for the voyage or period in question.

### 3.4 Ship and cargo types

The Guidelines are applicable for all ships performing transport work.

#### .1 Ships:

- dry cargo carriers
- tankers
- gas tankers
- containerships
- ro-ro cargo ships
- general cargo ships
- passenger ships including ro-ro passenger ships

#### .2 Cargo:

Cargo includes but not limited to:

all gas, liquid and solid bulk cargo, general cargo, containerized cargo (including the return of empty units), break bulk, heavy lifts, frozen and chilled goods, timber and forest products, cargo carried on freight vehicles, cars and freight vehicles on ro-ro ferries and passengers (for passenger and ro-ro passenger ships)

### 3.5 Cargo Mass Carried or Work Done

In general, cargo mass carried or work done is expressed as follows:

- 1 for dry cargo carriers, liquid tankers, gas tankers, ro-ro cargo ships and general cargo ships, metric tonnes (*t*) of the cargo carried should be used;
- 2 for containerships carrying solely containers, number of containers (TEU) or metric tons (*t*) of the total mass of cargo and containers should be used;
- 3 for ships carrying a combination of containers and other cargoes, a TEU mass of 10 t could be applied for loaded TEUs and 2 t for empty TEUs; and
- 4 for passenger ships, including ro-ro passenger ships, number of passengers or gross tonnes of the ship should be used;

In some particular cases, work done can be expressed as follows:

- 5 for car ferries and car carriers, number of car units or occupied lane metres;

- .6 for containerships, number of TEUs (empty or full); and
- .7 for railway and ro-ro vessels, number of railway cars and freight vehicles, or occupied lane metres.

For vessels such as, for example, certain ro-ro vessels, which carry a mixture of passengers in cars, foot passengers and freight, operators may wish to consider some form of weighted average based on the relative significance of these trades for their particular service or the use of other parameters or indicators as appropriate.

### **3.6 Voyage**

*Voyage* generally means the period between a departure from a port to the departure from the next port. Alternative definitions of a voyage could also be acceptable.

## **4 ESTABLISHING AN ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI)**

The EEOI should be a representative value of the energy efficiency of the ship operation over a consistent period which represents the overall trading pattern of the vessel. Guidance on a basic calculation procedure for a generic EEOI is provided in the Appendix.

In order to establish the EEOI, the following main steps will generally be needed:

- .1 define the period for which the EEOI is calculated\*;
- .2 define data sources for data collection;
- .3 collect data;
- .4 convert data to appropriate format; and
- .5 calculate EEOI.

\* Ballast voyages, as well as voyages which are not used for transport of cargo, such as voyage for docking service, should also be included. Voyages for the purpose of securing the safety of a ship or saving life at sea should be excluded.

## **5 GENERAL DATA RECORDING AND DOCUMENTATION PROCEDURES**

Ideally, the data recording method used should be uniform so that information can be easily collated and analysed to facilitate the extraction of the required information. The collection of data from ships should include the distance travelled, the quantity and type of fuel used, and all fuel information that may affect the amount of carbon dioxide emitted. For example, fuel information is provided on the bunker delivery notes that are required under regulation 18 of MARPOL Annex VI.

If the example formula given in the Appendix is used, then the unit used for distance travelled and quantity of fuel should be expressed in nautical miles and metric tonnes. The work done can be expressed using units appropriate for the ship type in paragraph 3.5.

It is important that sufficient information is collected on the ship with regard to fuel type and quantity, distance travelled and cargo type so that a realistic assessment can be generated.

The distance travelled should be calculated by actual distance travelled, as contained in the ship's log-book.

Amount and type of fuel used (bunker delivery notes) and distance travelled (according to the ship's log-book) could be documented by the ship based either on the example described in the Appendix or on an equivalent company procedure.

## **6 MONITORING AND VERIFICATION**

### **6.1 General**

Documented procedures to monitor and measure, on a regular basis, should be developed and maintained. Elements to be considered when establishing procedures for monitoring could include:

- identification of operations/activities with impact on the performance;
- identification of data sources and measurements that are necessary, and specification of the format;
- identification of frequency and personnel performing measurements; and
- maintenance of quality control procedures for verification procedures.

The results of this type of self-assessment could be reviewed and used as indicators of the System's success and reliability, as well as identifying those areas in need of corrective action or improvement.

It is important that the source of figures established are properly recorded, the basis on which figures have been calculated and any decisions on difficult or grey areas of data. This will provide assistance on areas for improvement and be helpful for any later analysis.

In order to avoid unnecessary administrative burdens on ships' staff, it is recommended that monitoring of an EEOI should be carried out by shore staff, utilizing data obtained from existing required records such as the official and engineering log-books and oil record books, etc. The necessary data could be obtained during internal audits under the ISM Code, routine visits by superintendents, etc.

### **6.2 Rolling average indicator**

As a ship energy efficiency management tool, the rolling average indicator, when used, should be calculated by use of a methodology whereby the minimum period of time or a number of voyages that is statistically relevant is used as appropriate. "Statistically relevant" means that the period set as standard for each individual ship should remain constant and be wide enough so the accumulated data mass reflects a reasonable mean value for operation of the ship in question over the selected period.

## **7 USE OF GUIDELINES**

Methodology and use of EEOI, as described in these Guidelines, provide an example of a transparent and recognized approach for assessment of the GHG efficiency of a ship with respect to CO<sub>2</sub> emissions. The Guidelines are considered to be suitable for implementation within a company environmental management system.

Implementation of the EEOI in an established environmental management system should be performed in line with the implementation of any other chosen indicator and follow the main elements of the recognized standards (planning, implementation and operation, checking and corrective action, management review).

When using the EEOI as a performance indicator, the indicator could provide a basis for consideration of both current performance and trends over time.

One approach could be to set internal performance criteria and targets based on the EEOI data.

\* \* \*

APPENDIX

**CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR (EEOI) BASED ON OPERATIONAL DATA**

**1 General**

The objective of the Appendix is to provide guidance on calculation of the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) based on data from the operation of the ship.

**2 Data sources**

Primary data sources selected could be the ship's log-book (bridge log-book, engine log-book, deck log-book and other official records).

**3 Fuel mass to CO<sub>2</sub> mass conversion factors (C<sub>F</sub>)**

C<sub>F</sub> is a non-dimensional conversion factor between fuel consumption measured in g and CO<sub>2</sub> emission also measured in g based on carbon content. The value of C<sub>F</sub> is as follows:

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

**4 Calculation of EEOI**

The basic expression for EEOI for a voyage is defined as:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D} \quad \text{Equation 1}$$

Where average of the indicator for a period or for a number of voyages is obtained, the Indicator is calculated as:

$$Average\ EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo} \times D_i)} \quad \text{Equation 2}$$

Where:

- $j$  is the fuel type;
- $i$  is the voyage number;
- $FC_{ij}$  is the mass of consumed fuel  $j$  at voyage  $i$ ;
- $C_{Fj}$  is the fuel mass to CO<sub>2</sub> mass conversion factor for fuel  $j$ ;
- $m_{\text{cargo}}$  is cargo carried (tonnes) or work done (number of TEU or passengers) or gross tonnes for passenger ships; and
- $D$  is the distance in nautical miles corresponding to the cargo carried or work done.

The unit of EEOI depends on the measurement of cargo carried or work done, e.g., tonnes CO<sub>2</sub>/(tonnes • nautical miles), tonnes CO<sub>2</sub>/(TEU • nautical miles), tonnes CO<sub>2</sub>/(person • nautical miles), etc.

It should be noted that Equation 2 does not give a simple average of EEOI among number of voyage  $i$ .

## 5 Rolling average

Rolling average, when used, can be calculated in a suitable time period, for example one year closest to the end of a voyage for that period, or number of voyages, for example six or ten voyages, which are agreed as statistically relevant to the initial averaging period. The Rolling Average EEOI is then calculated for this period or number of voyages by Equation 2 above.

## 6 Data

For a voyage or period, e.g., a day, data on fuel consumption/cargo carried and distance sailed in a continuous sailing pattern could be collected as shown in the reporting sheet below.

## CO<sub>2</sub> Indicator reporting sheet

NAME AND TYPE OF SHIP						
Voyage or day (i)	Fuel consumption (FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type ( )	Fuel type ( )	Fuel type ( )		Cargo (m) (tonnes or units)	Distance (D) (NM)
1						
2						
3						

NOTE: For voyages with  $m_{cargo} = 0$ , it is still necessary to include the fuel used during this voyage in the summation above the line.

### 7 Conversion from g/tonne-mile to g/tonne-km

The CO<sub>2</sub> indicator may be converted from g/tonne-mile to g/tonne-km by multiplication by 0.54.

### 8 Example:

A simple example including one ballast voyage, for illustration purpose only, is provided below. The example illustrates the application of the formula based on the data reporting sheet.

NAME AND TYPE OF SHIP						
Voyage or day (i)	Fuel consumption (FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (LFO)	Fuel type ( )		Cargo (m) (tonnes or units)	Distance (D) (NM)
1	20	5			25,000	300
2	20	5			0	300
3	50	10			25,000	750
	10	3			15,000	150

$$EEOI = \frac{100 \times 3.114 + 23 \times 3.151}{(25,000 \times 300) + (0 \times 300) + (25,000 \times 750) + (15,000 \times 150)} = 13.47 \times 10^{-6}$$

unit: tonnes CO<sub>2</sub>/(tons·nautical miles)

