

Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Οικονομικών Σπουδών

Διπλωματική Εργασία

**Ανάλυση δεδομένων από την παρακολούθηση των εκπομπών CO₂ για
τα έτη 2018-2023 στη ναυτιλία**



Cover photo: © Getty Images (Royalty free)

Υπεύθυνη Φοιτήτρια: Μάνου Αναστασία

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Κωνσταντίνου Παναγιώτης

Αθήνα 2024

Η Μάνου Αναστασία του Θεοδώρου βεβαιώνω ότι το έργο που εκπονήθηκε και παρουσιάζεται στην υποβαλλόμενη διπλωματική εργασία είναι αποκλειστικά ατομικά δικό μου. Όποιες πληροφορίες και υλικό που περιέχονται έχουν αντληθεί από άλλες πηγές, έχουν καταλλήλως αναφερθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επιπλέον τελώ εν γνώσει ότι σε περίπτωση διαπίστωσης ότι δεν συντρέχουν όσα βεβαιώνονται από μέρος μου η εργασία μου θα μηδενιστεί.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	5
I. Εκπομπές αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία (CO ₂) και οι επιπτώσεις τους στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα	6
II. Νομοθετικό πλαίσιο.....	9
1. Διεθνές Πλαίσιο	9
2. Ευρωπαϊκό πλαίσιο	10
3. Εθνικό Πλαίσιο.....	12
III. Παρουσίαση δεδομένων	13
1. Συλλογή δεδομένων:.....	13
2. Μεθοδολογία:.....	14
2.1 Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε:.....	14
2.2 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν:.....	14
3. Περιγραφή δεδομένων:.....	15
4. Ορισμοί:.....	16
4.1 Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ [μ/τόνοι]:.....	16
4.2 Τεχνική Απόδοση του Πλοίου:.....	17
4.3 Φάσεις εφαρμογής Κανονισμών - Χρονικές περιόδους:.....	19
4.4 Αριθμός Αναγνώρισης IMO:.....	20
4.5 Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου [μ/τόνοι]:	20
4.6 Ετήσιος Συνολικός Χρόνος που Δαπανάται στη Θάλασσα σε Ταξίδια [ώρες]:.....	20
4.7 Τύπος Πλοίου:.....	20
IV. Ανάλυση δεδομένων	23
Βασικές συσχετίσεις - Εκτιμήσεις OLS – εμπειρικά αποτελέσματα:.....	23
1. Παλινδρόμηση της τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.....	23
2. Παλινδρόμηση τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 ανά τύπο πλοίου.	24
3. Συσχέτιση αποτελεσμάτων της παλινδρόμησης τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 ανά τύπο πλοίου με το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο.....	26
4. Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 και στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο πλοίου.	29

5. Παλινδρομήσεις των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στις αλληλεπιδράσεις αυτών.	32
5.1 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 και στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου.	33
5.2 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης-ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου.	34
5.3 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης - ψευδομεταβλητής χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.	35
5.4 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO ₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου, στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης-ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης- ψευδομεταβλητής χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.	36
5.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των ανωτέρω παλινδρομήσεων (5.1-5.4).....	37
V. Συμπεράσματα.....	39
Βιβλιογραφία.....	40
Παραρτήμα.....	42

Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να ερευνήσει την συμπεριφορά της ποσοστιαίας μεταβολής του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που σχετίζεται με τις εκπομπές αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται από τα πλοία, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων και μεταβλητών. Το σύνολο αυτών των δεδομένων περιλαμβάνει στοιχεία για τα έτη από το 2018 έως και το 2023 και αφορά τις τιμές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από πλοία που πραγματοποιούν πλόες τόσο προς ή από λιμένες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΕΟΧ), όσο και διεθνείς πλόες προς ή από λιμένες της ΕΕ/ΕΟΧ και καλύπτει πλοία κάθε σημαίας. Ειδικότερα, λαμβάνονται υπόψη η ταυτότητα του πλοίου (όνομα, αριθμός αναγνώρισης IMO, τύπος πλοίου, περίοδος αναφοράς), η τεχνική απόδοση του πλοίου (EEDI ή EIV), οι ετήσιες εκπομπές CO₂ [μ/τόνους], η ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου [μ/τόνους] και ο ετήσιος συνολικός χρόνος που πέρασε το πλοίο στη θάλασσα σε ταξίδια [ώρες]. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2015). Ο λόγος που καθιστά αυτή την ανάλυση σημαντική είναι η ανάγκη για την ταχεία μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως ότου οι εκπομπές να είναι μηδενικές το αργότερο έως το 2050 σύμφωνα με τον παγκόσμιο στόχο που έχει τεθεί για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023). Μέσα από την παρούσα, θα εξεταστεί αν και κατά πόσο επιτυγχάνεται ο ανωτέρω στόχος στο επιλεγμένο χρονικό πλαίσιο που αφορά τα δεδομένα της εργασίας, όπως αυτός έχει οριστεί από το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο. Στην Ενότητα I εξετάζονται σε γενικότερο θεωρητικό πλαίσιο οι εκπομπές αερίων ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία και ποιες είναι οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην κλιματική αλλαγή. Ακολούθως, στην Ενότητα II αναφέρεται αναλυτικά η νομοθεσία που διέπει το συγκεκριμένο ζήτημα των εκπομπών αερίων ρύπων στη ναυτιλία, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, τόσο σε διεθνές και ευρωπαϊκό όσο και η ενσωμάτωση της σε εθνικό επίπεδο. Στη συνέχεια, στην Ενότητα III παρουσιάζονται τα δεδομένα και συγκεκριμένα η προέλευση και η συλλογή των δεδομένων, ο τρόπος και τα εργαλεία επεξεργασίας τους, καθώς και η περιγραφή των παραμέτρων-μεταβλητών και οι ορισμοί τους. Στην Ενότητα IV προχωράμε στις εκτιμήσεις και

στην ανάλυση των οικονομετρικών μοντέλων καταλήγοντας στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους. Στην Ενότητα V γίνεται μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση των συμπερασμάτων των εκτιμήσεων. Τέλος, παρατίθενται η βιβλιογραφία και τα Παραρτήματα.

I. Εκπομπές αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία (CO₂) και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον

Οι εκπομπές αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα πλοία αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα, καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία συμβάλλει σημαντικά στην παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή. (Climate Action- European Commission, n.d.) Οι εκπομπές αυτές προκύπτουν κυρίως από την καύση καυσίμων στα πλοία, όπως το βαρύ μαζούτ και το ναυτιλιακό πετρέλαιο. Τα πλοία είναι υπεύθυνα για περίπου του 2-3% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, ενώ σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), οι εκπομπές από τη ναυτιλία αναμένεται να αυξηθούν εάν δεν ληφθούν μέτρα για τη μείωση τους. (IMO, 2021). Οι εκπομπές αυτές προέρχονται κυρίως από την καύση των καυσίμων στα κύρια και βοηθητικά μηχανήματα των πλοίων. Τα καύσιμα αυτά είναι συχνά πλούσια σε άνθρακα, πράγμα που σημαίνει ότι η καύση τους παράγει μεγάλες ποσότητες CO₂. Για τον λόγο αυτό, και προκειμένου ρυθμιστεί και μειωθεί η έκλυση των εκπομπών, ο IMO έχει θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 2008. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023). Μέτρα όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων, η χρήση καθαρότερων καυσίμων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών (π.χ., ηλεκτρικά πλοία, χρήση υδρογόνου) εφαρμόζονται για την επίτευξη αυτών των στόχων. (EMSA, n.d.) Οι εκπομπές CO₂ από τα πλοία αποτελούν μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις της ναυτιλίας, και η αντιμετώπιση τους απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες σε διεθνές επίπεδο, καθώς και τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών.

Η αναγκαιότητα και ο σκοπός αυτής της μελέτης πηγάζει από τη σημασία της κατανόησης των επιπτώσεων των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από κάθε άποψη. Οι εκπομπές CO₂ από τα πλοία συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή, με εκτεταμένες περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες. Τα βασικά

σημεία περιλαμβάνουν τη συμβολή στην κλιματική αλλαγή, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την ποιότητα του αέρα και την υγεία, τις τεχνολογικές και επιχειρησιακές λύσεις και την παγκόσμια συνεργασία.

Το CO₂ είναι ένα ισχυρό αέριο θερμοκηπίου που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στην κλιματική αλλαγή. Τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης, οδηγώντας σε αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η ναυτιλιακή βιομηχανία συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές CO₂, διαδραματίζοντας ουσιαστικό ρόλο στη συνολική παγκόσμια απογραφή αερίων θερμοκηπίου. (Veronika Eyting, Ivar S.A. Isaksen, Terje Berntsen, William J. Collins, James J. Corbett, Oyvind Endresen, Roy G. Grainger, Jana Moldanova, Hans Schlager, David S. Stevenson, 2010).

Επιπλέον, η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως τα βαρέα λάδια και το ντίζελ, σε κινητήρες πλοίων απελευθερώνει CO₂ στην ατμόσφαιρα ως υποπροϊόν, συμβάλλοντας στο ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην κλιματική αλλαγή. Οι προσπάθειες για την αντιμετώπιση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι κρίσιμες στο ευρύτερο πλαίσιο του μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα αυξημένα επίπεδα CO₂ έχουν ως αποτέλεσμα αλλοιωμένα καιρικά μοτίβα, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και διαταραχές στα οικοσυστήματα, επηρεάζοντας δυσμενώς τη θαλάσσια ζωή και τη βιοποικιλότητα. Η απορρόφηση της περίσσειας CO₂ από το θαλασσινό νερό οδηγεί σε οξίνιση των ωκεανών, αποτελώντας σημαντική απειλή για τα θαλάσσια οικοσυστήματα και είδη, ειδικά εκείνα με δομές ανθρακικού ασβεστίου. Εκτός από το CO₂, τα πλοία απελευθερώνουν και άλλους ρύπους όπως οξείδια του θείου (SO_x), οξείδια του αζώτου (NO_x) και σωματίδια, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα του αέρα. Οι κοινότητες κοντά σε λιμάνια και ναυτιλιακές λωρίδες αντιμετωπίζουν επιπτώσεις στην υγεία λόγω της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα που προκαλείται από τις εκπομπές των πλοίων. Αναγνωρίζοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι διεθνείς κανονισμοί, που παραδειγματίζονται από το Παράρτημα VI της MARPOL, θεσπίζουν πρότυπα για τον περιορισμό των ατμοσφαιρικών ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO₂, από τα πλοία. Εφαρμόζονται διάφορα μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων, τη μείωση των εκπομπών και τη διευκόλυνση της μετάβασης σε καθαρότερα καύσιμα. Οι συνεχείς προσπάθειες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη και την υιοθέτηση τεχνολογιών για την ενίσχυση της ενεργειακής

απόδοσης των πλοίων, περιλαμβάνοντας προόδους στον σχεδιασμό κινητήρων, τη βελτιστοποίηση του κύτους και τα εναλλακτικά συστήματα πρόωσης. Λειτουργικές στρατηγικές όπως η βελτιστοποίηση διαδρομής συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και, κατά συνέπεια, των εκπομπών CO₂. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στο συντονισμό παγκόσμιων πρωτοβουλιών για την αντιμετώπιση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία. Τα κράτη και οι ενδιαφερόμενοι σε όλο τον κόσμο συνεργάζονται ενεργά για την επίτευξη συλλογικών στόχων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αφορούν τον ναυτιλιακό τομέα. (Veronika Eyring, Ivar S.A. Isaksen, Terje Berntsen, William J. Collins, James J. Corbett, Oyvind Endresen, Roy G. Grainger, Jana Moldanova, Hans Schlager, David S. Stevenson, 2010). (EMSA, n.d.) (IMO, n.d.).

Οι εκπομπές καυσαερίων και σωματιδίων από ποντοπόρα πλοία συμβάλλουν σημαντικά στις συνολικές εκπομπές από τον τομέα των μεταφορών (Corbett J.J., Fischbeck P., 1997) (V. Eyring, H.W. Kohler, J. van Aardenne, A. Lauer, 2005) επηρεάζοντας έτσι τη χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας, του κλίματος και της περιφερειακής ποιότητας και υγείας του αέρα. (V. Eyring, H.W. Kohler, A. Lauer, B. Lempert, 2005b). Οι βασικές ενώσεις που εκπέμπονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), το διοξείδιο του θείου (SO₂), ο μαύρος άνθρακας (BC) και η σωματιδιακή οργανική ύλη (POM) (IMO, n.d.). Μία από τις προκλήσεις για την κοινωνία είναι ο περιορισμός ή η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (IMO, 2021) ιδιαίτερα του CO₂. Δεδομένου ότι τα καυσαέρια των πλοίων συμβάλλουν στην παγκόσμια ρύπανση του αέρα και της θάλασσας, τα πλοία αντιμετωπίζουν αυξανόμενο αριθμό κανόνων και κανονισμών καθώς και εθελοντικές εκκλήσεις από διεθνείς, εθνικούς και τοπικούς νομοθέτες. Τα εμπορικά πλοία σε διεθνή κυκλοφορία υπόκεινται στους κανονισμούς του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Οι εκπομπές από πλοία στο διεθνές εμπόριο ρυθμίζονται από το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI της MARPOL 73/78 (η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία). (Π.Δ. 13, 2023)

II. Νομοθετικό πλαίσιο

Το νομοθετικό πλαίσιο για τις εκπομπές αερίων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στα πλοία περιλαμβάνει διεθνείς, ευρωπαϊκούς και εθνικούς κανονισμούς που ρυθμίζουν και επιβλέπουν τη μείωση των εκπομπών από τη ναυτιλία.

1. Διεθνές Πλαίσιο

Σε διεθνές επίπεδο, ο κύριος διεθνής φορέας που ρυθμίζει τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία είναι ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organisation - IMO). Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αποτελεί την παγκόσμια αρχή που καθορίζει τα πρότυπα σχετικά με την ασφάλεια, την προστασία και την περιβαλλοντική απόδοση της διεθνούς ναυτιλίας. Ο κύριος σκοπός του είναι να διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων για τη ρύθμιση των τεχνικών πτυχών της ναυτιλίας που εμπλέκονται στο διεθνές εμπόριο. Ο IMO θέτει πρότυπα σχετικά με την ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα, την αποδοτικότητα της πλοήγησης και την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία. Ο IMO εργάζεται για τη μείωση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα της ναυτιλιακής βιομηχανίας και οι συζητήσεις περιλαμβάνουν πρωτοβουλίες που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων και στη δημιουργία ενός πλαισίου για την παρακολούθηση και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συμμετοχής του IMO, που περιλαμβάνει την ανάπτυξη, την υιοθέτηση και την τροποποίηση κανονισμών που αφορούν τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) (N.1269, 1982) και συγκεκριμένα το Παράρτημα VI της MARPOL. (IMO, n.d.)

Οι βασικές συμβάσεις και κανονισμοί περιλαμβάνουν τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) και ειδικότερα το Παράρτημα VI και τις αναθεωρήσεις και τις τροποποιήσεις αυτής. Η MARPOL είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που καλύπτει την πρόληψη της λειτουργικής ή ατυχηματικής ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία. Υιοθετήθηκε το 1973 και τροποποιήθηκε αργότερα το 1978. (N.1269, 1982) Το 1997, η Διάσκεψη για τη Ρύπανση της Ατμόσφαιρας υιοθέτησε το νέο Παράρτημα VI «Κανονισμοί για την Πρόληψη της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης από Πλοία» προσθέτοντας ένα Πρωτόκολλο στη MARPOL 73/78, το οποίο τέθηκε σε ισχύ τον Μάιο του 2005.

Το Παράρτημα VI αφορά την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία και θέτει όρια στις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_x), οξειδίων του αζώτου (NO_x), και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Εφαρμόζει επίσης το Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Design Index - EEDI) για νέα πλοία και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP) για όλα τα πλοία. (Π.Δ. 13, 2023) Η σύμβαση MARPOL τροποποιείται τακτικά για να ενσωματώνει νέες τεχνολογίες και βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Το Παράρτημα VI της MARPOL επικεντρώνεται ειδικά στον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία και ασχολείται με τη μείωση των εκπομπών επιβλαβών ουσιών, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα από τα καυσαέρια των πλοίων. Ένα από τα βασικά στοιχεία του Παραρτήματος VI της MARPOL είναι τα μέτρα που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων και στην παρακολούθηση της έντασης του άνθρακα τους, συμβάλλοντας στις παγκόσμιες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Αντιπροσωπεύει μια σημαντική διεθνή προσπάθεια για τη μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων αντιμετωπίζοντας τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που παράγονται από τα θαλάσσια σκάφη. (Π.Δ. 13, 2023) Οι κανονισμοί υπόκεινται σε περιοδικές αναθεωρήσεις και ενημερώσεις από τον IMO για να ευθυγραμμίζονται με τα εξελισσόμενα περιβαλλοντικά και τεχνολογικά πρότυπα. (IMO, n.d.)

2. Ευρωπαϊκό πλαίσιο

Ενώ όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι μέλη του IMO, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατέχει καθεστώς παρατηρητή. Ως αποτέλεσμα, τα κράτη μέλη συμμετέχουν ενεργά σε επιτροπές όπου συζητούνται νομοθετικά μέτρα και τροποποιήσεις στις διεθνείς συμβάσεις, ιδιαίτερα εκείνα που αφορούν ζητήματα που εμπίπτουν στην αποκλειστική αρμοδιότητα της ΕΕ. (Climate Action- European Commission, n.d.) Έτσι, σε ευρωπαϊκό πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θέσει πρόσθετα κανονιστικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία. Βασικοί πυλώνες προς αυτή την κατεύθυνση αποτελούν ο Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757 και ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/957. (EUR-Lex, n.d.) Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757 αφορά την παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από πλοία άνω των 5.000 μικτών τόνων που πλέουν προς, από ή μεταξύ λιμένων της ΕΕ.

Επιβάλλει τη συλλογή δεδομένων για τις εκπομπές CO₂, την κατανάλωση καυσίμων, την απόσταση που διανύθηκε, και το χρόνο στη θάλασσα. Τα δεδομένα αυτά επαληθεύονται από διαπιστευμένους οργανισμούς και δημοσιεύονται ετησίως σε συγκεντρωτική και ανώνυμη μορφή. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2015) ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/957 συμπληρώνει και τροποποιεί τον Κανονισμό 2015/757, προσαρμόζοντας το ρυθμιστικό πλαίσιο στις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις και τεχνολογίες. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023)

Κανονισμός 2015/757: Την 1η Ιουλίου 2015, η Ευρωπαϊκή Ένωση, στην προσπάθεια της να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να αντιμετωπίσει την κλιματική αλλαγή, υιοθέτησε τον Κανονισμό 2015/757, γνωστός και ως Κανονισμός ΕΕ MRV (Monitoring, Reporting, and Verification). Ο κανονισμός αυτός αποτελεί ένα σύστημα για την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τη θαλάσσια μεταφορά. Ο Κανονισμός 2015/757, ο Κανονισμός EU-MRV, επιβάλλει απαιτήσεις παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης στους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές πλοίων με βάρος άνω των 5.000 μικτών τόνων. Ο κανονισμός απαιτεί τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις εκπομπές CO₂, την κατανάλωση καυσίμων, την απόσταση που διανύθηκε, το χρόνο στη θάλασσα και το έργο μεταφοράς κατά τη διάρκεια των ταξιδιών προς, από και μεταξύ των λιμένων της ΕΕ. Τα δεδομένα αυτά υπόκεινται σε επαλήθευση από διαπιστευμένα όργανα για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια και η συμμόρφωση. Ετησίως, τα επαληθευμένα δεδομένα δημοσιεύονται στον σύνδεσμο <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report> στην επίσημη ιστοσελίδα του European Maritime and Safety Agency (EMSA) (EMSA, n.d.) σε συγκεντρωτική, ανώνυμη μορφή, ενισχύοντας τη διαφάνεια και επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένου του κοινού, να αξιολογούν την απόδοση των ναυτιλιακών εταιρειών σε ότι αφορά τον άνθρακα. Ο κανονισμός στοχεύει στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία, ενθαρρύνοντας βελτιώσεις και ενισχύοντας τον ανταγωνισμό βάσει της περιβαλλοντικής απόδοσης. Τελικά, ο Κανονισμός 2015/757 συμβάλλει στους ευρύτερους κλιματικούς στόχους της ΕΕ ρυθμίζοντας και παρακολουθώντας τις εκπομπές CO₂ από τη θαλάσσια μεταφορά, ευθυγραμμισμένος με τις προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών. Ο Κανονισμός 2015/757 συμπληρώθηκε και τροποποιήθηκε από τον Κανονισμό 2023/957.

3. Εθνικό Πλαίσιο

Τέλος, σε εθνικό επίπεδο η Ελλάδα, ως μέλος του ΙΜΟ και της ΕΕ, έχει ενσωματώσει τις διεθνείς και ευρωπαϊκές ρυθμίσεις στο εθνικό της δίκαιο. Η Ελλάδα έχει θεσπίσει νόμους και διατάγματα για την εφαρμογή των διεθνών και ευρωπαϊκών κανονισμών σχετικά με τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία. Τα Φύλλα Εφημερίδας της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ) περιλαμβάνουν τις σχετικές νομοθετικές ρυθμίσεις και προσαρμογές.

Με βάση το ανωτέρω νομοθετικό πλαίσιο οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές πλοίων οφείλουν να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς και να τηρούν τα απαιτούμενα σχέδια διαχείρισης και αναφοράς εκπομπών. Οι αρχές διενεργούν επιθεωρήσεις και επαληθεύσεις για να εξασφαλίσουν τη συμμόρφωση με τα πρότυπα και τους κανονισμούς. Αυτό το πολυεπίπεδο νομοθετικό πλαίσιο στοχεύει στη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία, ενισχύοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της ναυτιλίας και συμβάλλοντας στους παγκόσμιους και ευρωπαϊκούς στόχους για την κλιματική αλλαγή. Το Π.Δ. 13 (Α'28/2023), με τίτλο «Αποδοχή τροποποιήσεων στο Παράρτημα του Πρωτοκόλλου του 1997 περί τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη Ρύπανσης από Πλοία, 1973, όπως τροποποιήθηκε από το σχετικό επί αυτής Πρωτόκολλο του 1978 (Αναθεωρημένο Παράρτημα VI της Διεθνούς MARPOL 2021).» αποτελεί την ενσωμάτωση της διεθνούς νομοθεσίας σε εθνικό επίπεδο. (Π.Δ. 13, 2023) Στην Ελλάδα, ο αρμόδιος φορέας για τα θέματα πρόληψης ρύπανσης από εκπομπές CO₂ από τα πλοία είναι το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής μέσω της Διεύθυνσης Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος. Αυτή η Διεύθυνση είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή των διεθνών και ευρωπαϊκών κανονισμών που αφορούν την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO₂ από τα πλοία, σε συνεργασία με άλλους εθνικούς και διεθνείς φορείς, όπως ο ΙΜΟ (IMO, n.d.) και ο EMSA (EMSA, n.d.). Η Διεύθυνση Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος διαχειρίζεται την εφαρμογή των διεθνών συμβάσεων, όπως η MARPOL, και παρακολουθεί την εφαρμογή των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Επιπλέον, συνεργάζεται με άλλες αρχές, ναυτιλιακές εταιρείες και φορείς για να διασφαλίσει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και να προωθήσει την υιοθέτηση πιο καθαρών και αποδοτικών τεχνολογιών. (Υ.ΝΑ.Ν.Π., n.d.)

III. Παρουσίαση δεδομένων

1. Συλλογή δεδομένων:

Η συλλογή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των εκτιμήσεων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) προέρχεται από την επίσημη διαδικτυακή βάση δεδομένων EMSA EU THETIS –MRV (EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY/ EU/THETIS/MONITORING, REPORTING, VERIFICATION) και συγκεκριμένα από την αναφορά εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα (CO₂) που βρίσκεται στην επίσημη ιστοσελίδα <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>. Το σύστημα Thetis MRV (Monitoring, Reporting, and Verification) είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα που διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA). (European Maritime Safety Agency, n.d.). Το σύστημα αυτό εντάσσεται στο πλαίσιο της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για την παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από πλοία που πραγματοποιούν πλόες προς ή από λιμένες της ΕΕ και του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΕΟΧ). Το Thetis MRV λειτουργεί υπό τη δικαιοδοσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, βάσει του άρθρου 21 του Κανονισμού (ΕΕ) 2015/757 για την παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία. Αυτός ο κανονισμός εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία άνω των 5.000 GT που πραγματοποιούν πλόες προς ή από λιμένες της ΕΕ και του ΕΟΧ. Καλύπτει πλοία κάθε σημαίας, ανεξαρτήτως της χώρας νηολόγησής τους, εφόσον εισέρχονται ή εξέρχονται από λιμένες που βρίσκονται σε χώρες της ΕΕ και του ΕΟΧ. Η δικαιοδοσία του Thetis MRV επεκτείνεται σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές που καλύπτουν τα λιμάνια των κρατών μελών της ΕΕ και του ΕΟΧ. Οι εκπομπές CO₂ που αναφέρονται αφορούν τόσο πλόες εντός των υδάτων της ΕΕ/ΕΟΧ όσο και διεθνείς πλόες προς ή από λιμένες της ΕΕ/ΕΟΧ. Τα πλοία που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του Thetis MRV πρέπει να παρακολουθούν τις εκπομπές CO₂ τους και να υποβάλλουν ετήσιες εκθέσεις, οι οποίες πρέπει να επαληθεύονται από ανεξάρτητους φορείς επαλήθευσης. Η μη συμμόρφωση με αυτές τις απαιτήσεις μπορεί να οδηγήσει σε κυρώσεις σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία των κρατών μελών της ΕΕ. Όλα τα δεδομένα εκπομπών εισάγονται από τις Εταιρείες και επιβεβαιώνονται από διαπιστευμένα όργανα των Κρατών Μελών της ΕΕ. Το Thetis MRV είναι ένα βασικό εργαλείο της ΕΕ για την παρακολούθηση και τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία, στο

πλαίσιο της ευρύτερης στρατηγικής της ΕΕ για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η βάση δεδομένων καταγράφει πληροφορίες, μεταξύ άλλων, σχετικά με την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση της ταυτότητας του πλοίου (όνομα, αριθμός αναγνώρισης IMO, τύπος πλοίου, περίοδος αναφοράς και λιμάνι νηολόγησης ή οικείο λιμάνι), την τεχνική απόδοση του πλοίου (EEDI ή EIV), τις ετήσιες εκπομπές CO₂ [μ/τόνους], την ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου [μ/τόνους] και τον ετήσιο συνολικό χρόνο που πέρασε στη θάλασσα σε ταξίδια [ώρες]. Στην παρούσα ανάλυση, θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα που καλύπτουν τα έτη από το 2018 έως και το 2023, με ιδιαίτερη έμφαση στις φάσεις εφαρμογής των Κανονισμών της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL), που αποτελούν οι χρονικές περίοδοι 2018-2019 και 2020-2023.

2. Μεθοδολογία:

2.1 Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε: Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R (Έκδοση Eye Holes R-4.3.2.tar.gz | Κυκλοφόρησε στις 31 Οκτωβρίου 2023) και το RStudio (Έκδοση: 2023.09.1+494 | Κυκλοφόρησε στις 17 Οκτωβρίου 2023), χρησιμοποιώντας αρκετές από τις ενσωματωμένες βιβλιοθήκες του. Πιο συγκεκριμένα ενδεικτικά: η βιβλιοθήκη tidyverse για την τακτοποίηση των δεδομένων, η AER για τυπικά σφάλματα τύπου sandwich, η estimatr για OLS με ανθεκτικά τυπικά σφάλματα και σταθερές επιδράσεις, οι jtools και stargazer για ωραία απεικόνιση αποτελεσμάτων, η readxl για την ανάγνωση δεδομένων Excel και η plm για ανάλυση δεδομένων πάνελ. (Φουσκάκης Δ., 2021)

2.2 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν: Γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας ανθεκτικά τυπικά σφάλματα με ομαδοποιημένα δεδομένα και σταθερές επιδράσεις σε ομαδοποιημένα διαστρωματικά δεδομένα πάνελ.

Η επιλογή της γραμμικής παλινδρόμησης ως μεθόδου ανάλυσης δεδομένων βασίζεται σε διάφορους λόγους: 1) Απλότητα και Ερμηνευσιμότητα: Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια από τις πιο βασικές και κατανοητές μεθόδους στατιστικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα είναι εύκολα ερμηνεύσιμα, καθώς εκφράζουν την επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή με απλούς

όρους. 2) Γενίκευση Σχέσεων: Η γραμμική παλινδρόμηση είναι κατάλληλη όταν υποθέτουμε ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Αυτή η σχέση επιτρέπει την κατανόηση και γενίκευση των συσχετίσεων που υπάρχουν στα δεδομένα. 3) Ευελιξία: Η γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει αλληλεπιδράσεις μεταξύ μεταβλητών, σταθερές επιδράσεις και άλλες τροποποιήσεις που μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες της ανάλυσης, όπως στη χρήση δεδομένων πάνελ με σταθερές επιδράσεις. 4) Ευρεία Χρήση και Υποστήριξη: Υπάρχουν πολλές βιβλιοθήκες και εργαλεία στατιστικής ανάλυσης που υποστηρίζουν τη γραμμική παλινδρόμηση, κάτι που διευκολύνει την εφαρμογή της και την ανάλυση αποτελεσμάτων. 5) Ανθεκτικότητα σε Αποκλίσεις: Χρησιμοποιώντας ανθεκτικά τυπικά σφάλματα, η γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να είναι ανθεκτική σε αποκλίσεις από τις τυπικές υποθέσεις της, όπως η ετεροσκεδαστικότητα ή οι εξωγενείς επιρροές, κάτι που αυξάνει την αξιοπιστία των εκτιμήσεων. Για αυτούς τους λόγους, η γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί μια δημοφιλή επιλογή σε πολλές στατιστικές αναλύσεις, ιδιαίτερα όταν η σχέση μεταξύ των μεταβλητών θεωρείται γραμμική και τα δεδομένα πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της.

Τα δεδομένα πάνελ (panel data), γνωστά και ως διαχρονικά δεδομένα, είναι ένας τύπος δεδομένων που συνδυάζει διαστρωματικά δεδομένα και χρονολογικές σειρές. Δηλαδή, τα δεδομένα πάνελ περιλαμβάνουν πολλαπλές παρατηρήσεις για τις ίδιες οντότητες (πλοία) σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Προσφέρουν τη δυνατότητα να μελετηθούν τόσο οι διαφορές μεταξύ των οντοτήτων (διαστρωματική διάσταση) όσο και οι αλλαγές εντός της ίδιας οντότητας με την πάροδο του χρόνου (χρονολογική διάσταση), επιτρέπουν την ανάλυση δυναμικών φαινομένων, όπως οι επιδράσεις μιας αλλαγής σε ορισμένες μεταβλητές, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις διαφορές μεταξύ των οντοτήτων όσο και τις αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. (STOCK JAMES H., WATSON MARK W., 2011)

3. Περιγραφή δεδομένων:

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα ανάλυση, ενώ ακολουθούν αναλυτικά οι ορισμοί τους.

Μεταβλητή	Παρατηρήσεις
1.Ετήσιες Εκπομπές CO ₂	[μ/τόνοι]
2.Τεχνική απόδοση	<ul style="list-style-type: none"> • Δείκτης EEDI [gCO₂/tnm] • Δείκτης EIV[gCO₂/tnm]
3. Φάσεις εφαρμογής-Χρονικές περιόδοι	<ul style="list-style-type: none"> • 2018-2019 • 2020-2023
4.Αριθμός αναγνώρισης IMO	Μοναδικός για κάθε πλοίο
5.Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου	[μ/τόνοι]
6.Ετήσιος Συνολικός Χρόνος που Δαπανάται στη Θάλασσα σε Ταξίδια	[ώρες]
7.Τύπος πλοίου	<ul style="list-style-type: none"> • Φορηγό πλοίο ξηρού φορτίου (Bulk carrier) • Πλοίο μεταφοράς υγρών αερίων (Gas carrier) • Δεξαμενόπλοιο (Oil tanker) • Δεξαμενόπλοιο χημικών (Chemical tanker) • Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ship) • Πλοίο γενικού φορτίου (General cargo ship) • Πλοίο μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated cargo carrier) • Πλοίο μεταφοράς LNG (LNG carrier) • Πλοίο μεταφοράς οχημάτων (Vehicle carrier) • Πλοίο Ro-ro • Πλοίο Ro-pax • Επιβατηγό πλοίο (Passenger ship) • Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-ro (Container/ro-ro cargo ship)

4. Ορισμοί:

4.1 Ετήσιες Εκπομπές CO₂ [μ/τόνοι]: Οι ετήσιες εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν τη συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται από ένα πλοίο κατά τη διάρκεια ενός έτους, μετρούμενη σε μετρικούς τόνους. Οι εκπομπές CO₂ είναι ένας βασικός δείκτης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός

πλοίου και παρακολουθούνται στενά και ρυθμίζονται για να μετριαστεί η κλιματική αλλαγή και να μειωθεί η ρύπανση στον ναυτιλιακό τομέα.

4.2 Τεχνική Απόδοση του Πλοίου: Η τεχνική απόδοση αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα και την απόδοση ενός πλοίου στη χρήση πόρων και την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιείται η σπατάλη και η αναποτελεσματικότητα. Περιλαμβάνει διάφορες πτυχές όπως τα συστήματα πρόωσης, τη λειτουργία των μηχανημάτων, την απόδοση καυσίμου, τις πρακτικές συντήρησης και τη συνολική επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα. (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2015)

Η τεχνική απόδοση των πλοίων μετράται κυρίως με δύο βασικούς δείκτες, τον EEDI (Energy Efficiency Design Index - Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης) και τον EIV (Estimated Index Value - Εκτιμώμενος Δείκτης Τιμής). Αυτοί οι δύο δείκτες έχουν αντιστρόφως ανάλογη σχέση (αρνητική) με την τεχνική απόδοση και είναι σημαντικοί για την αξιολόγηση και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη ναυτιλία, συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των πλοίων: (Π.Δ. 13, 2023)

EEDI (Energy Efficiency Design Index - Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης): Ο EEDI είναι ένα μέτρο της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου σε σχέση με το μέγεθος και τη χωρητικότάτά του και ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου κατά το στάδιο του σχεδιασμού του. Υπολογίζει την ποσότητα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά μονάδα μεταφορικού έργου, εκφρασμένη σε γραμμάρια CO₂ ανά τόνο-μίλι. Ο EEDI είναι υποχρεωτικός για νέα πλοία, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και τη ρύθμιση της ενεργειακής απόδοσης των νέων πλοίων και στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Π.Δ. 13, 2023)

EIV (Estimated Index Value - Εκτιμώμενος Δείκτης Τιμής): Ο EIV είναι ένας εκτιμώμενος δείκτης ενεργειακής απόδοσης που χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν πλήρη δεδομένα για τον υπολογισμό του EEDI. Βασίζεται σε απλοποιημένα δεδομένα, όπως η ισχύς της κύριας μηχανής και η ταχύτητα του πλοίου, και παρέχει μια καλή προσέγγιση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου. Αν και λιγότερο ακριβής από τον EEDI, ο EIV χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ενεργειακής

απόδοσης, ειδικά σε περιπτώσεις προκαταρκτικής αξιολόγησης ή όταν τα πλήρη στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα. Ο Estimated Index Value (EIV), γνωστός και ως Δείκτης Εκτιμώμενης Τιμής, είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, ειδικά όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα πλήρη στοιχεία για τον Energy Efficiency Design Index (EEDI). (Π.Δ. 13, 2023)

Σύγκριση των δύο δεικτών EEDI-EIV: Ο EEDI αποτελεί τον βασικό δείκτη ενεργειακής απόδοσης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου κατά το στάδιο του σχεδιασμού του. Ο EEDI είναι πιο ακριβής και απαιτεί λεπτομερή δεδομένα σχετικά με την κατασκευή και τον εξοπλισμό του πλοίου. Ο EIV χρησιμοποιείται όταν τα πλήρη δεδομένα για τον EEDI δεν είναι διαθέσιμα και βασίζεται σε μια πιο απλοποιημένη προσέγγιση. Αν και είναι λιγότερο ακριβής, παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης. Ο EIV είναι ιδιαίτερα χρήσιμος ως ένα εργαλείο γρήγορης εκτίμησης ή όταν δεν είναι δυνατός ο πλήρης υπολογισμός του EEDI, προσφέροντας στους ναυπηγούς, τους εφοπλιστές και τους ρυθμιστικούς φορείς έναν τρόπο να αξιολογήσουν την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου. (GUIDANCE ON EIV – ARRANGEMENTS, 2017)

Η επιστημονική μελέτη με τίτλο «Analysis of EIVs of Ships That Have Entered The Fleet Since 2009» ανέλυσε την αποδοτικότητα σχεδιασμού των νέων πλοίων, όπως μετράται από τον Εκτιμώμενο Δείκτη Τιμής (EIV), όπου προκύπτει ότι αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή του EEDI. Έτσι λοιπόν, κατά μέσο όρο, η τιμή του EEDI είναι μικρότερη από την τιμή του EIV ή, με άλλα λόγια, ο EIV αποτελεί υπερεκτίμηση του EEDI. Συνήθως, η τιμή του Δείκτη Σχεδιαστικής Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) είναι χαμηλότερη από την τιμή του Δείκτη Λειτουργικής Ενεργειακής Απόδοσης (EIV). Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου κατά τη λειτουργία του (όπως μετράται από τον EIV) είναι λιγότερο αποδοτική από την αποδοτικότητα που προβλέφθηκε κατά το σχεδιασμό του πλοίου (όπως μετράται από τον EEDI). Αυτό μπορεί να συμβαίνει επειδή ο EEDI βασίζεται σε θεωρητικές τιμές και βέλτιστες συνθήκες που αφορούν το σχεδιασμό και την κατασκευή του πλοίου, ενώ ο EIV λαμβάνει υπόψη την πραγματική λειτουργία του πλοίου, η οποία επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως οι συνθήκες λειτουργίας, η συντήρηση,

και η χρήση του πλοίου. (Jasper Faber, Maarten 't Hoen, Marnix Koopman, Dagmar Nelissen, Saliha Ahdour, 2015)

Στην ανάλυση που θα κάνουμε παρακάτω, για λόγους απλούστευσης, οι τιμές του Εκτιμώμενου Δείκτη Τιμής EIV θα νοούνται ως τιμές του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης EEDI.

4.3 Φάσεις εφαρμογής Κανονισμών - Χρονικές περιόδους: Ο Κανονισμός 21 της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL (Annex VI) καθορίζει τους συντελεστές μείωσης του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) για τα νέα πλοία. Οι συντελεστές μείωσης υπολογίζονται ως ποσοστά μείωσης του EEDI σε σχέση με μια γραμμή αναφοράς, η οποία έχει καθοριστεί από τον IMO με βάση την ενεργειακή απόδοση πλοίων που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 2000 και 2010. (Π.Δ. 13, 2023)

Φάση 0 (1η Ιανουαρίου 2013 - 31 Δεκεμβρίου 2014): 0% μείωση: Δεν απαιτείται καμία μείωση του EEDI.

Φάση 1 (1η Ιανουαρίου 2015 - 31 Δεκεμβρίου 2019): 0 - 10% μείωση από τη γραμμή αναφοράς EEDI ανάλογα με τον τύπο και την ολική χωρητικότητα (Deadweight Tonnage-DWT) του εκάστοτε πλοίου.

Φάση 2 (1η Ιανουαρίου 2020 - 31 Μαρτίου 2022): 0-20% μείωση από τη γραμμή αναφοράς EEDI ανάλογα με τον τύπο και την ολική χωρητικότητα (Deadweight Tonnage-DWT) του εκάστοτε πλοίου.

Φάση 2 (1η Ιανουαρίου 2020 - 31 Δεκεμβρίου 2024): 0-20% μείωση από τη γραμμή αναφοράς EEDI ανάλογα με τον τύπο και την ολική χωρητικότητα (Deadweight Tonnage-DWT) του εκάστοτε πλοίου.

Φάση 3 (Από την 1η Απριλίου 2022 και έπειτα): 15-50% μείωση από τη γραμμή αναφοράς EEDI ανάλογα με τον τύπο και την ολική χωρητικότητα (Deadweight Tonnage-DWT) του εκάστοτε πλοίου..

Στην παρούσα ανάλυση, με βάση τα διατιθέμενα δεδομένα από την βάση δεδομένων του Thetis MRV, εξετάζονται οι χρονικές περιόδους 2018-2019 (που ανήκουν στην Φάση 1) και 2020-2023 (που ανήκουν στη Φάση 2).

4.4 Αριθμός Αναγνώρισης IMO: Ο αριθμός αναγνώρισης του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) είναι ένας μοναδικός αριθμητικός αναγνωριστικός αριθμός επτά ψηφίων που αποδίδεται στα πλοία από τον IMO. Λειτουργεί ως μόνιμος και διεθνώς αναγνωρισμένος αναγνωριστικός αριθμός για το πλοίο, διευκολύνοντας την παρακολούθηση, την επικοινωνία και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. (IMO, n.d.)

4.5 Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου [μ/τόνοι]: Η ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου δηλώνει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από ένα πλοίο εντός ενός έτους, μετρούμενη σε μετρικούς τόνους. Η κατανάλωση καυσίμου είναι μια κρίσιμη επιχειρησιακή παράμετρος που επηρεάζει άμεσα την απόδοση ενός πλοίου, το κόστος λειτουργίας και το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. (IMO, n.d.)

4.6 Ετήσιος Συνολικός Χρόνος που Δαπανάται στη Θάλασσα σε Ταξίδια [ώρες]: Ο ετήσιος συνολικός χρόνος που δαπανάται στη θάλασσα σε ταξίδια αναφέρεται στη συνολική διάρκεια κατά την οποία ένα πλοίο συμμετέχει ενεργά σε ταξίδια ή ναυτιλιακές επιχειρήσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους, μετρούμενη σε ώρες. Αντικατοπτρίζει την εκμετάλλευση και το επίπεδο επιχειρησιακής δραστηριότητας του πλοίου, επηρεάζοντας παραμέτρους όπως η κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές και η συνολική απόδοση. (IMO, n.d.)

4.7 Τύπος Πλοίου: Ο τύπος πλοίου κατηγοριοποιεί τα σκάφη σε διακριτές κατηγορίες με βάση το σχεδιασμό, τον σκοπό και τη λειτουργία τους. Οι τύποι πλοίων περιλαμβάνουν φορτηγά πλοία ξηρού φορτίου, πλοία μεταφοράς υγρών αερίων, δεξαμενόπλοια, δεξαμενόπλοια χημικών, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πλοία γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς ψυγείων, πλοία μεταφοράς LNG, πλοία μεταφοράς οχημάτων, πλοία Ro-ro, πλοία Ro-pan, επιβατηγά πλοία, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-ro και άλλα. Η ταξινόμηση των τύπων πλοίων βοηθά στη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, τη διαχείριση της ασφάλειας και τον επιχειρησιακό σχεδιασμό στη ναυτιλιακή βιομηχανία. (IMO, n.d.)

- Φορτηγό πλοίο ξηρού φορτίου/ πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου(Bulk carrier):
Σημαίνει ένα πλοίο που κατασκευάζεται γενικά με ένα κατάστρωμα,

δεξαμενές πλευρικών χώρων και δεξαμενές πλευρικών χώρων στο χώρο φορτίου, και προορίζεται κυρίως για τη μεταφορά χύδην ξηρού φορτίου, περιλαμβάνοντας τύπους όπως πλοία μεταφοράς μεταλλεύματος και συνδυασμένα πλοία. (SOLAS IX/1.6) (IMO, n.d.)

- Πλοίο μεταφοράς υγρών αερίων/Υγραεριοφόρο πλοίο (Gas carrier): Σημαίνει ένα φορτηγό πλοίο, εκτός από ένα πλοίο μεταφοράς LNG, κατασκευασμένο ή προσαρμοσμένο και χρησιμοποιούμενο για τη μεταφορά οποιουδήποτε χύδην υγροποιημένου αερίου. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Δεξαμενόπλοιο (Oil tanker): Σημαίνει ένα πλοίο κατασκευασμένο ή προσαρμοσμένο κυρίως για τη μεταφορά χύδην πετρελαίου στους χώρους φορτίου του και περιλαμβάνει συνδυασμένα πλοία, οποιοδήποτε "δεξαμενόπλοιο NLS" και οποιοδήποτε πλοίο μεταφοράς αερίου όπως ορίζεται στον κανονισμό 3.20 του κεφαλαίου II-1 του SOLAS 74 (όπως τροποποιήθηκε), όταν μεταφέρει φορτίο ή μέρος φορτίου χύδην πετρελαίου. (MARPOL Annex I reg. 1.5) (IMO, n.d.)
- Δεξαμενόπλοιο χημικών (Chemical tanker): Σημαίνει ένα πλοίο κατασκευασμένο ή προσαρμοσμένο για τη μεταφορά οποιουδήποτε χύδην υγρού προϊόντος που αναφέρεται στο κεφάλαιο 17 του Διεθνούς Κώδικα Χημικών Χύδην. (MARPOL 73/78, Παράρτημα II) (IMO, n.d.)
- Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ship): Σημαίνει ένα πλοίο σχεδιασμένο αποκλειστικά για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων στα αμπάρια και στο κατάστρωμα. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Πλοίο γενικού φορτίου (General cargo ship): Ένα πλοίο με πολυκατάστρωμα ή μονό κατάστρωμα σχεδιασμένο κυρίως για τη μεταφορά γενικού φορτίου. (MEPC.1/Circ.681 Annex) (IMO, n.d.)
- Πλοίο μεταφοράς ψυγείων / Φορτηγό ψυγείο πλοίο (Refrigerated cargo carrier): Σημαίνει ένα πλοίο σχεδιασμένο αποκλειστικά για τη μεταφορά ψυγείων φορτίων στα αμπάρια. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Πλοίο μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου LNG (LNG carrier): Σημαίνει ένα φορτηγό πλοίο κατασκευασμένο ή προσαρμοσμένο και χρησιμοποιούμενο για τη μεταφορά χύδην υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Πλοίο μεταφοράς οχημάτων/Φορτηγό (Ro-ro) πλοίο μεταφοράς οχημάτων (Vehicle carrier): Σημαίνει ένα πλοίο με πολυκατάστρωμα Roll-on/Roll-off

σχεδιασμένο για τη μεταφορά άδειων αυτοκινήτων και φορτηγών. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)

- Πλοίο Ro-ro/ Φορτηγό (Ro-ro) πλοίο : Σημαίνει ένα πλοίο σχεδιασμένο για τη μεταφορά μονάδων φορτίου Roll-on/Roll-off. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Πλοίο Ro-rax/ Επιβατηγό (Ro-ro) πλοίο: Σημαίνει ένα επιβατηγό πλοίο με χώρους φορτίου Roll-on/Roll-off. (MEPC 76/15/Add.1/Annex 1) (IMO, n.d.)
- Επιβατηγό πλοίο (Passenger ship): Είναι ένα πλοίο που μεταφέρει περισσότερους από δώδεκα επιβάτες. (SOLAS I/2) (IMO, n.d.)
- Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-ro (Container/ro-ro cargo ship): Σημαίνει ένα πλοίο σχεδιασμένο για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων, καθώς και φορτίων Roll-on/Roll-off. Αυτά τα πλοία είναι υβριδικά και μπορούν να μεταφέρουν τόσο εμπορευματοκιβώτια όσο και οχήματα ή άλλα φορτία που μπορούν να φορτωθούν και να εκφορτωθούν με τροχοφόρα μέσα. (IMO, n.d.)

IV.Ανάλυση δεδομένων

Βασικές συσχετίσεις - Εκτιμήσεις OLS - εμπειρικά αποτελέσματα:

1. Παλινδρόμηση της τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.

Αρχικά, ξεκινάμε την ανάλυση πραγματοποιώντας μία γραμμική παλινδρόμηση που έχει ως βασική εξίσωση εκτίμησης την:

$$\ln(y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Όπου y_{it} : ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency), D_{it} : μία ψευδομεταβλητή που είναι ίση με 1 για τα έτη 2020-2023 και 0 για τα έτη 2018-2019 (Period 2020-2023).

Αυτή η προσέγγιση μας επιτρέπει να διακρίνουμε αλλαγές στην τεχνική απόδοση με την πάροδο του χρόνου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια διαφορετικών περιόδων, αποσαφηνίζοντας τη μετάβαση από τη Φάση 1(2018-2019) στη Φάση 2(2020-2023). Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της παραπάνω παλινδρόμησης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1:

	Εξαρτημένη μεταβλητή: Coef of Technical efficiency
Period 2020-2023	-0.03706 *** (0.00261)
N	68924
R ²	0,94982
adjR ²	0,92889

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Παρατηρούμε ότι όταν η ψευδομεταβλητή (Period 2020-2023) της χρονικής περιόδου 2020-2023 είναι 1 (δηλαδή για τα έτη 2020-2023), ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση, είναι κατά 3,706% μικρότερος σε σύγκριση με την περίοδο που η ψευδομεταβλητή ήταν 0, δηλαδή την περίοδο 2018-2019. Δηλαδή, έχουμε μείωση του δείκτη της τεχνικής απόδοσης κατά περίπου 3,706%, άρα αύξηση της τεχνικής απόδοσης των πλοίων. Το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό σε επίπεδο 0,1 %, γεγονός που αποδεικνύει ότι υπάρχει πολύ ισχυρή ένδειξη ότι η μεταβολή στην τεχνική απόδοση μεταξύ των δύο περιόδων είναι στατιστικά σημαντική. Το τυπικό σφάλμα του συντελεστή είναι 0.00261, το οποίο είναι αρκετά μικρό, υποδηλώνοντας ότι η εκτίμηση του συντελεστή είναι αρκετά ακριβής. Η ανάλυση βασίζεται σε 68.924 παρατηρήσεις, που είναι ένας αρκετά μεγάλος αριθμός, ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το R^2 είναι 0.94982, που δείχνει ότι το 94.982% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής εξηγείται από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Αυτό δείχνει ότι το μοντέλο έχει πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα. Το προσαρμοσμένο $adjR^2$ είναι 0.92889, το οποίο είναι επίσης πολύ υψηλό και λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου σε σχέση με τον αριθμό των παρατηρήσεων. Δείχνει ότι το μοντέλο παραμένει εξαιρετικά ισχυρό ακόμα και όταν λαμβάνεται υπόψη η πολυπλοκότητα του μοντέλου. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency), μετρούμενος σε λογαριθμική κλίμακα, ήταν στατιστικά εξαιρετικά σημαντικά χαμηλότερος κατά την περίοδο 2020-2023 σε σύγκριση με την περίοδο 2018-2019.

2. Παλινδρόμηση τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 ανά τύπο πλοίου.

Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσω την ίδια εξίσωση παλινδρόμησης με την (1) με την ίδια εξαρτημένη και ανεξάρτητη μεταβλητή, εξειδικεύοντας το αποτέλεσμα για κάθε τύπο πλοίου ξεχωριστά. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2) παρουσιάζει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης που αξιολογεί τις τάσεις ή τις αλλαγές της τεχνικής απόδοσης ανά τύπο πλοίου όταν μεταβαίνουμε από την χρονική περίοδο 2018-2019 στη χρονική περίοδο 2020-2023.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2:

Εξαρτημένη μεταβλητή: Coef of Technical efficiency

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14
Period 2020-2023	-0.034 ***	-0.042 ***	-0.031 ***	-0.041 ***	-0.052 ***	-0.045 ***	-0.013 *	-0.122 ***	-0,017	-0.074 *	0,050	-0,032	-0,001	-0.019 *
	(0.004)	(0.011)	(0.004)	(0.005)	(0.005)	(0.006)	(0.006)	(0.036)	(0.016)	(0.032)	(0.039)	(0.048)	(0.003)	(0.009)
N	21189	1877	11057	7748	10231	6592	808	1648	2508	1324	2085	717	689	392
R2	0,877	0,955	0,950	0,923	0,917	0,928	0,965	0,741	0,707	0,791	0,785	0,844	0,998	0,970
adjR2	0,811	0,933	0,929	0,894	0,884	0,899	0,953	0,633	0,609	0,716	0,726	0,759	0,997	0,962

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

<u>Model No</u>	<u>Ship Type</u>
Model 1	Φορτηγό πλοίο ξηρού φορτίου (Bulk Carrier)
Model 2	Πλοίο μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier)
Model 3	Δεξαμενόπλοιο (Oil Tanker)
Model 4	Δεξαμενόπλοιο χημικών (Chemical Tanker)
Model 5	Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship)
Model 6	Πλοίο γενικού φορτίου (General Cargo Ship)
Model 7	Πλοίο μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated Cargo Carrier)
Model 8	Πλοίο μεταφοράς LNG (LNG Carrier)
Model 9	Πλοίο μεταφοράς οχημάτων (Vehicle Carrier)
Model 10	Πλοίο Ro-ro (Ro-Ro Ship)
Model 11	Πλοίο Ro-pax (Ro-Pax Ship)
Model 12	Επιβατηγό πλοίο (Passenger Ship)
Model 13	Other Ship Types
Model 14	Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/ Ro-ro (Container/ Ro-Ro Cargo Ship)

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα του Πίνακα 2 δείχνουν ότι υπάρχει μια σαφής, αρνητική και στατιστικά σημαντική επίδραση στον συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency) όταν μεταβαίνουμε από την αρχική περίοδο (2018-2019) στην περίοδο 2020-2023, με την προσαρμογή των μοντέλων να είναι γενικά καλή. Ειδικότερα, προκύπτει ότι τα Φορτηγά πλοία ξηρού φορτίου (Bulk Carrier), τα Πλοία μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier), τα Δεξαμενόπλοια (Oil Tanker), τα Δεξαμενόπλοια χημικών (Chemical Tanker), τα Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship), τα Πλοία γενικού φορτίου (General Cargo Ship) και τα Πλοία μεταφοράς LNG (LNG Carrier) συνδέονται με έναν εξαιρετικά στατιστικά σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο στον συντελεστή και κατά συνέπεια θετικό αντίκτυπο στην τεχνική απόδοση των πλοίων. Τα Πλοία Ro-pax (Ro-Pax Ship) παρουσιάζουν αύξηση του συντελεστή, δηλαδή μείωση της τεχνικής απόδοσης. Γενικότερα, προκύπτει μία αύξηση της τεχνικής απόδοσης στην πλειοψηφία των διαφόρων τύπων πλοίων, πράγμα που σημαίνει, ότι διατηρώντας όλους τους υπόλοιπους παράγοντες σταθερούς, υπάρχει βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη ναυτιλία, συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των πλοίων.

3. Συσχέτιση αποτελεσμάτων της παλινδρόμηση τεχνικής απόδοσης σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 ανά τύπο πλοίου με το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) αντιπαραβάλλονται τα αποτελέσματα της προηγούμενης παλινδρόμησης, που αφορούν την ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency), ανά τύπο πλοίου, κατά τη μετάβαση από τη μία περίοδο (2018-2019) στην άλλη (2020-2023), σε σύγκριση με τους συντελεστές μείωσης (σε ποσοστά) για τον δείκτη EEDI σε σχέση με την γραμμή αναφοράς αυτού ανά φάση εφαρμογής, έτσι όπως αυτές έχουν οριστεί στον Κανονισμό 21 της Διεθνούς Σύμβασης της MARPOL (Π.Δ. 13, 2023) και παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα 1 της παρούσας. Τα ποσοστά στις τρεις τελευταίες στήλες αντιπροσωπεύουν τη βελτίωση που πρέπει να επιτευχθεί στη σχεδίαση και την απόδοση των πλοίων, με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ και

την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Οι απαιτήσεις γίνονται πιο αυστηρές καθώς προχωράμε από τη Φάση 1 στη Φάση 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.					
<u>Model No</u>	<u>Ship Type</u>	<u>Αποτελέσματα συντελεστή του Πίνακα 2</u>	<u>Συντελεστές μείωσης Φάση 1 (01/01/2015-31/12/2019)</u>	<u>Συντελεστές μείωσης Φάση 2 (01/01/2020-31/03/2022) & (01/01/2020-31/12/2024)</u>	<u>Συντελεστές μείωσης Φάση 3 (01/04/2022-εφεξής)</u>
Model 1	Φορτηγό πλοίο ξηρού φορτίου (Bulk Carrier)	-3,4%	0-10% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	
Model 2	Πλοίο μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier)	-4,2%	0-10% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	30%
Model 3	Δεξαμενόπλοιο (Oil Tanker)	-3,1%	0-10% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	
Model 4	Δεξαμενόπλοιο χημικών (Chemical Tanker)	-4,1%	0-10% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	
Model 5	Πλοίο μεταφοράς εμπορευμα τοκιβωτίων (Container Ship)	-5,2%	0-10% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	15-50% ανάλογα το DWT
Model 6	Πλοίο γενικού φορτίου (General Cargo Ship)	-4,5%	0-10% ανάλογα το DWT	0-15% ανάλογα το DWT	0-30%
Model 7	Πλοίο μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated Cargo Carrier)	-1,3 %	0-10% ανάλογα το DWT	0-15% ανάλογα το DWT	
Model 8	Πλοίο μεταφοράς LNG (LNG Carrier)	-12,2%	10%	20%	30%
Model 9	Πλοίο μεταφοράς οχημάτων (Vehicle Carrier)	-1,7%	5%	15%	30%
Model 10	Πλοίο Ro-ro (Ro-Ro Ship)	-7,4%	0-5% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	0-30% ανάλογα το DWT
Model 11	Πλοίο Ro-pax (Ro-Pax Ship)	5,0%	0-5% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	0-30% ανάλογα το DWT
Model 12	Επιβατηγό πλοίο (Passenger Ship)	-3,2%	0-5% ανάλογα το DWT	0-20% ανάλογα το DWT	0-30% ανάλογα το DWT
Model 13	Other Ship Types	-0,1%	10%	20%	
Model 14	Πλοίο μεταφοράς εμπορευμα τοκιβωτίων/Ro-ro (Container/Ro-Ro Cargo Ship)	-1,9%	10%	20%	

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του πίνακα του Παραρτήματος 1 και των στηλών 4,5 και 6 του Πίνακα 3 που αποτελούν ένα είδος γενίκευσης του Παραρτήματος 1 και περιγράφουν τους συντελεστές μείωσης (εκφρασμένους σε ποσοστά) για τον EEDI σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς του κατά τις φάσεις, καθίσταται σαφές ότι η

ποσοστιαία διαφορά για τα περισσότερα πλοία στην στήλη 3 (Αποτελέσματα συντελεστή του Πίνακα 2) είναι αξιοσημείωτα μικρότερη σε σύγκριση με το ποσοστό που απαιτείται από την νομοθεσία. Σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο, προκύπτει ότι η διαφορά στους συντελεστές μείωσης του EEDI μεταβαίνοντας από την Φάση 1 (01/01/2015-31/12/2019) στην Φάση 2 [(01/01/2020-31/03/2022) & (01/01/2020-31/12/2024)], θα έπρεπε να είναι της τάξης του 5-15% ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, ενώ η διαφορά κατά την μετάβαση από τη Φάση 2 στη Φάση 3 (01/04/2022-εφεξής) θα έπρεπε να κυμαίνεται από 10% έως και 30% το ανώτερο για συγκεκριμένα πλοία. Στα αποτελέσματα της παλινδρόμησης ανά τύπο πλοίου, εμφανίζεται ότι η πλειοψηφία των διαφόρων τύπων πλοίων είναι εκτός ορίου μείωσης της τάξεως του 5-15%, κυμαινόμενα μεταξύ του 0,1-4,5%, αποτυγχάνοντας την επίτευξη του καθορισμένου στόχου. Τα πλοία μεταφοράς LNG (-12,2%), τα πλοία Ro-ro (-7,4%) και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (-5,2%) είναι εντός των ορίων σε σύγκριση με το ποσοστό που απαιτείται σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο, επιτυγχάνοντας τις απαιτήσεις. Τέλος, για την κατηγορία των πλοίων Ro-rax (+5%) δεν προκύπτει μείωση των ποσοστών του δείκτη, αντί αυτού, παρατηρείται αύξηση, δείχνοντας την εξ' ολοκλήρου μη συμμόρφωση με το νομοθετικό πλαίσιο.

4. Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνικής απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 και στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο πλοίου.

Ακολούθως, Στη συνέχεια, θα εξετάσω την ποσοστιαία μεταβολή των ετησίων εκπομπών CO₂ για κάθε τύπο πλοίου ξεχωριστά σε σχέση με διάφορους παράγοντες χρησιμοποιώντας ως βασική εξίσωση εκτίμησης την εξής:

$$\ln(y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(C_{it}) + \beta_2 D_{it} + \beta_3 \ln(F_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

όπου y_{it} : Ετήσιες Εκπομπές CO₂ [μ/τόνοι] (CO₂), C_{it} : ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency), D_{it} : μία ψευδομεταβλητή που είναι ίση με 1 για τα έτη 2020-2023 και 0 για τα έτη 2018-2019 (Period 2020-2023). F_{it} : Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου [μ/τόνοι] (Fuel).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.													Εξαρτημένη μεταβλητή: CO ₂	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13	Model 14
Coef of Technical efficiency	0,00146	0,00081	0,00089	0,00213	-0,00131	0,00106	0,00305	0,00117	0,00603	-0,00035	0,00191	0,00013	0,04493	0.00307 *
	(0.00075)	(0.00304)	(0.00061)	(0.00324)	(0.00162)	(0.00108)	(0.00285)	(0.00137)	(0.00327)	(0.00074)	(0.00188)	(0.00255)	(0.04363)	(0.00132)
Period 2020-2023	0.00274 ***	0.00265 ***	0,00126	0,00014	-0,00257	0.00612 ***	0.00223 ***	0,00259	-0,01203	-0,00158	-0,00263	-0,00208	-0,01613	-0,00012
	(0.00069)	(0.00065)	(0.00101)	(0.00167)	(0.00175)	(0.00025)	(0.00037)	(0.00136)	(0.01097)	(0.00345)	(0.00162)	(0.01186)	(0.01549)	(0.00032)
Fuel	1.00000 ***	0.99980 ***	0.99921 ***	0.99936 ***	0.99754 ***	0.99972 ***	0.99891 ***	0.99998 ***	0.99310 ***	0.99929 ***	0.99771 ***	0.98042 ***	0.98820 ***	0.99858 ***
	(0.00038)	(0.00051)	(0.00053)	(0.00075)	(0.00167)	(0.00040)	(0.00042)	(0.00139)	(0.00389)	(0.00095)	(0.00085)	(0.02268)	(0.01071)	(0.00067)
N	20086	1863	10919	7673	10102	6468	807	1642	2499	1320	2075	712	638	392
R ²	0,99967	0,99995	0,99951	0,99876	0,99800	0,99992	0,99999	0,99965	0,96590	0,99880	0,99956	0,99713	0,99769	0,99999
adjR ²	0,99949	0,99993	0,99930	0,99827	0,99722	0,99989	0,99999	0,99950	0,95450	0,99837	0,99943	0,99553	0,99536	0,99999

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Model No	Ship Type
Model 1	Φορτηγό πλοίο ξηρού φορτίου (Bulk Carrier)
Model 2	Πλοίο μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier)
Model 3	Δεξαμενόπλοιο (Oil Tanker)
Model 4	Δεξαμενόπλοιο χημικών (Chemical Tanker)
Model 5	Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship)
Model 6	Πλοίο γενικού φορτίου (General Cargo Ship)
Model 7	Πλοίο μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated Cargo Carrier)
Model 8	Πλοίο μεταφοράς LNG (LNG Carrier)
Model 9	Πλοίο μεταφοράς οχημάτων (Vehicle Carrier)
Model 10	Πλοίο Ro-ro (Ro-Ro Ship)
Model 11	Πλοίο Ro-pax (Ro-Pax Ship)
Model 12	Επιβατηγό πλοίο (Passenger Ship)
Model 13	Other Ship Types
Model 14	Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-ro (Container/Ro-Ro Cargo Ship)

Η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης καυσίμου είναι στατιστικά σημαντική για όλους τους τύπους των πλοίων. Αύξηση κατά 1% της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης καυσίμου επιφέρει από 0,98042% έως 1,00% αύξηση στις ετήσιες εκπομπές CO₂ σε όλες τις κατηγορίες πλοίων, δεδομένου ότι όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες παραμένουν σταθεροί.

Ειδικά σημαντικό ρόλο, ως προς την ερμηνευτικότητα στην εκάστοτε παλινδρόμηση παίζει η ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου για όλα τα είδη των πλοίων και η ψευδομεταβλητή που είναι ίση με 1 για τα έτη 2020-2023 και 0 για τα έτη 2018-2019 (Period 2020-2023) (συγκεκριμένα για τα φορτηγά πλοία ξηρού φορτίου (Bulk Carrier), τα πλοία μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier), τα πλοία γενικού φορτίου (General Cargo Ship) και τα πλοία μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated Cargo Carrier)), όπου το p-value είναι πολύ μικρό. Παρατηρούμε ότι σε σύγκριση με την περίοδο βάσης (2018-2019), την χρονική περίοδο 2020-2023 για τα Φορτηγά πλοία ξηρού φορτίου (Bulk Carrier), τα πλοία μεταφοράς υγρών αερίων (Gas Carrier), τα Δεξαμενόπλοια (Oil Tanker), τα Δεξαμενόπλοια χημικών (Chemical Tanker), τα πλοία γενικού φορτίου (General Cargo Ship), τα πλοία μεταφοράς ψυγείων (Refrigerated Cargo Carrier) και τα πλοία μεταφοράς LNG (LNG Carrier) υπήρχε αύξηση στις ετήσιες εκπομπές CO₂ σε εύρος τιμών από 0,014% - 0,612%, ενώ για τις υπόλοιπες κατηγορίες (Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container Ship), πλοία μεταφοράς οχημάτων (Vehicle Carrier), πλοία Ro-ro (Ro-Ro Ship), πλοία Ro-pax (Ro-Pax Ship), επιβατηγά πλοία (Passenger Ship), Άλλα είδη πλοίων (Other Ship Types) και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων/Ro-ro (Container/Ro-Ro Cargo Ship)) παρουσιάζεται μείωση στις ετήσιες εκπομπές CO₂ της τάξεως από 0,012% έως 1,613%.

Αναφορικά με τον συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI και κατ' επέκταση την τεχνική απόδοση του πλοίου, παρατηρώ σε γενικές γραμμές ότι μόνο για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (-0,00131%) και τα πλοία Ro-ro (-0,00035%) υπάρχει αρνητική σχέση στην ποσοστιαία μεταβολή των ετήσιων εκπομπών CO₂. Για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων παρατηρείται αύξηση των ετήσιων εκπομπών CO₂. Δηλαδή, για τους περισσότερους τύπους πλοίων μία αύξηση στον συντελεστή, ήτοι μείωση της τεχνικής απόδοσης, έχει σαν αποτέλεσμα την

αύξηση των ετήσιων εκπομπών CO₂ σε ένα εύρος τιμών από 0,00013% έως 0,04493%.

Το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής ερμηνεύεται από μεγάλο ποσοστό της μεταβλητότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς τόσο το R-squared όσο και το προσαρμοσμένο R-squared, είναι πολύ υψηλά σε όλες τις παλινδρομήσεις για κάθε τύπο πλοίου. Το μοντέλο είναι ικανό να προβλέψει την εξαρτημένη μεταβλητή με αρκετή ακρίβεια σε κάθε παλινδρόμηση.

5. Παλινδρομήσεις των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στις αλληλεπιδράσεις αυτών.

Στη συνέχεια, θα εξετάσω την ποσοστιαία μεταβολή των ετησίων εκπομπών CO₂ όλων των πλοίων, ανεξαρτήτως κατηγορίας, σε σχέση με διάφορους παράγοντες χρησιμοποιώντας ως βασική εξίσωση εκτίμησης την εξής:

$$\ln(y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(C_{it}) + \beta_2 D_{it} + \beta_3 \ln(F_{it}) + \beta_4 \ln(TEF_{it}) + \beta_5 \ln(TEP_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

όπου y_{it} : Ετήσιες Εκπομπές CO₂ [μ/τόνοι] (CO₂), C_{it} : ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency), D_{it} : μία ψευδομεταβλητή που είναι ίση με 1 για τα έτη 2020-2023 και 0 για τα έτη 2018-2019 (Period 2020-2023). F_{it} : Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου [μ/τόνοι] (Fuel), TEF_{it} : Αλληλεπίδραση του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency) με την Ετήσια Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου [μ/τόνοι] (Fuel) [Technical efficiency:Fuel], TEP_{it} : Αλληλεπίδραση του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης EEDI που εκφράζει την τεχνική απόδοση του πλοίου (Coef of Technical efficiency) με μία ψευδομεταβλητή που είναι ίση με 1 για τα έτη 2020-2023 και 0 για τα έτη 2018-2019 (Period 2020-2023) [Technical efficiency: Period 2020-2023].

5.1 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019 και στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 5.1

	Model 1 Εξαρτημένη μεταβλητή: CO ₂
Coef of Technical efficiency	0.00148 * (0.00069)
Period 2020-2023	0,00075 (0.00058)
Fuel	0.99852 *** (0.00062)
N	67255
R ²	0,99853
adjR ²	0,99790

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Το δείγμα στον Πίνακα 5.1 αποτελείται από 67.255 παρατηρήσεις. Ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Coef of Technical efficiency) είναι θετικός και στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο 5%. Ο συντελεστής αυτός έχει θετική, αλλά μικρή επίδραση στις ετήσιες εκπομπές CO₂. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς ο συντελεστής αυξάνεται κατά 1%, η τεχνική απόδοση των πλοίων μειώνεται και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται ελαφρώς κατά 0,00148%. Σε σύγκριση με την περίοδο 2018-2019, κατά την περίοδο 2020-2023 παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή αύξηση στις εκπομπές CO₂ (0,075%), αλλά το επίπεδο σημαντικότητας είναι μεγαλύτερο από 5%, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική η επίδραση. Η ετήσια κατανάλωση καυσίμου είναι σχεδόν άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές CO₂. Ο υψηλός συντελεστής δείχνει ότι η αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (κατά 1%) σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των εκπομπών CO₂ (κατά 0,99852%). Σε γενικές γραμμές η ερμηνευτικότητα του μοντέλου είναι αρκετά υψηλή (R² = 0.99853 και adjR² = 0.99790).

5.2 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης-ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου.

Πίνακας 5.2	
	Model 2 Εξαρτημένη μεταβλητή: CO ₂
Coef of Technical efficiency	0,01040 (0.00630)
Period 2020-2023	0,00073 (0.00059)
Fuel	1.00075 *** (0.00104)
Technical efficiency :Fuel	-0,00108 (0.00076)
N	67255
R ²	0,99853
adjR ²	0,99790

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Το δείγμα στον Πίνακα 5.2 αποτελείται από 67.255 παρατηρήσεις. Ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Coef of Technical efficiency) είναι θετικός και δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Ο συντελεστής αυτός δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στις ετήσιες εκπομπές CO₂. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς ο συντελεστής αυξάνεται κατά 1%, η τεχνική απόδοση των πλοίων μειώνεται και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται ελαφρώς κατά 0,01040%. Σε σύγκριση με την περίοδο 2018-2019, κατά την περίοδο 2020-2023 παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή αύξηση στις εκπομπές CO₂ (0,073%), αλλά το επίπεδο σημαντικότητας είναι μεγαλύτερο από 5%, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική η επίδραση. Η ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι σχεδόν άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές CO₂. Ο υψηλός συντελεστής δείχνει ότι η αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (κατά 1%) σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των εκπομπών CO₂ (κατά 1,00075%). Επιπρόσθετα, η αρνητική τιμή του συντελεστή της αλληλεπίδρασης του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης με την ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου (Technical efficiency:Fuel) υποδηλώνει ότι η αύξηση της τεχνικής απόδοσης των πλοίων θα μπορούσε να μειώσει την επίδραση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου στις ετήσιες εκπομπές CO₂ (-0,00108%), αλλά το αποτέλεσμα δεν είναι στατιστικά σημαντικό. Σε γενικές γραμμές

η ερμηνευτικότητα του μοντέλου είναι αρκετά υψηλή ($R^2 = 0.99853$ και $\text{adj}R^2 = 0.99790$), όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.

5.3 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης - ψευδομεταβλητής χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.

Πίνακας 5.3	
	Model 3
	Εξαρτημένη μεταβλητή: CO ₂
Coef of Technical efficiency	0.00235 ** (0.00085)
Period 2020-2023	0.00571 *** (0.00141)
Fuel	0.99849 *** (0.00062)
Technical efficiency : Period 2020-2023	-0.00234 ** (0.00084)
N	67255
R ²	0,99853
adjR ²	0,99790

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.

Το δείγμα στον Πίνακα 5.3 αποτελείται από 67.255 παρατηρήσεις. Ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Coef of Technical efficiency) είναι θετικός και είναι στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο 1%. Ο συντελεστής αυτός έχει ισχυρή επίδραση στις ετήσιες εκπομπές CO₂. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς ο συντελεστής αυξάνεται κατά 1%, η τεχνική απόδοση των πλοίων μειώνεται και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται κατά 0,00235%. Σε σύγκριση με την περίοδο 2018-2019, κατά την περίοδο 2020-2023 παρατηρείται ότι υπάρχει αύξηση στις εκπομπές CO₂ (0,571%), με το επίπεδο σημαντικότητας να είναι μικρότερο του 0,1%, πράγμα που σημαίνει ότι είναι εξαιρετικά στατιστικά σημαντική η επίδραση. Η ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι σχεδόν άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές CO₂. Ο υψηλός συντελεστής δείχνει ότι η αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (κατά 1%) σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των εκπομπών CO₂ (κατά 0,99849%). Η αρνητική τιμή του συντελεστή της αλληλεπίδρασης του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Technical

efficiency:Period 2020-2023) υποδηλώνει ότι κατά την περίοδο 2020-2023, η αύξηση της τεχνικής απόδοσης συσχετίστηκε με μια μείωση στις ετήσιες εκπομπές CO₂ (-0,00234%), και το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό. Σε γενικές γραμμές, το R² = 0.99853 και το adjR² = 0.99790 είναι αρκετά υψηλά, δείχνοντας ότι το μοντέλο έχει εξαιρετική προσαρμογή στα δεδομένα.

5.4 Παλινδρόμηση των ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων CO₂ στην τεχνική απόδοση, σε ψευδομεταβλητή των χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019, στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου, στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης-ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου και στην αλληλεπίδραση τεχνικής απόδοσης- ψευδομεταβλητής χρονικών περιόδων 2020-2023 και 2018-2019.

Πίνακας 5.4	
	Model 4
	Εξαρτημένη μεταβλητή: CO ₂
Coef of Technical efficiency	0.01315 * (0.00670)
Period 2020-2023	0.00616 *** (0.00147)
Fuel	1.00117 *** (0.00109)
Technical efficiency :Fuel	-0,00130 (0.00079)
Technical efficiency : Period 2020-2023	-0.00256 ** (0.00088)
N	67255
R ²	0,99853
adjR ²	0,99790

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Το δείγμα στον Πίνακα 5.4 αποτελείται από 67.255 παρατηρήσεις. Ο συντελεστής του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Coef of Technical efficiency) είναι θετικός και είναι στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο 5%. Ο συντελεστής αυτός έχει επίδραση στις ετήσιες εκπομπές CO₂. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς ο συντελεστής αυξάνεται κατά 1%, η τεχνική απόδοση των πλοίων μειώνεται και οι ετήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται κατά 0,01315%. Σε σύγκριση με την περίοδο 2018-2019, κατά την περίοδο 2020-2023 παρατηρείται ότι υπάρχει αύξηση στις εκπομπές CO₂ (0,616%), με το επίπεδο σημαντικότητας να είναι μικρότερο του 0,1%, πράγμα που σημαίνει ότι είναι εξαιρετικά στατιστικά σημαντική η επίδραση. Η ετήσια συνολική

κατανάλωση καυσίμου είναι σχεδόν άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές CO₂. Ο υψηλός συντελεστής δείχνει ότι η αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (κατά 1%) σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των εκπομπών CO₂ (κατά 1,00117%). Η αρνητική τιμή του συντελεστή της αλληλεπίδρασης του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Technical efficiency:Period 2020-2023) υποδηλώνει ότι κατά την περίοδο 2020-2023, η αύξηση της τεχνικής απόδοσης συσχετίστηκε με μια μείωση στις ετήσιες εκπομπές CO₂ (-0,00256%), και το αποτέλεσμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό, ενώ η αρνητική τιμή του συντελεστή της αλληλεπίδρασης του συντελεστή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης με την ετήσια συνολική κατανάλωση καυσίμου (Technical efficiency:Fuel) υποδηλώνει ότι η αύξηση της τεχνικής απόδοσης των πλοίων θα μπορούσε να μειώσει την επίδραση της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου στις ετήσιες εκπομπές CO₂ (-0,00130%), αλλά το αποτέλεσμα δεν είναι στατιστικά σημαντικό. Σε γενικές γραμμές, το R² = 0.99853 και το adjR² = 0.99790 είναι αρκετά υψηλά, δείχνοντας ότι το μοντέλο έχει εξαιρετική προσαρμογή στα δεδομένα, καθιστώντας την ερμηνευτικότητα του μοντέλου αρκετά υψηλή.

5.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των ανωτέρω παλινδρομήσεων (5.1-5.4).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Coef of Technical efficiency	0.00148 *	0,01040	0.00235 **	0.01315 *
	(0.00069)	(0.00630)	(0.00085)	(0.00670)
Period 2020-2023	0,00075	0,00073	0.00571 ***	0.00616 ***
	(0.00058)	(0.00059)	(0.00141)	(0.00147)
Fuel	0.99852 ***	1.00075 ***	0.99849 ***	1.00117 ***
	(0.00062)	(0.00104)	(0.00062)	(0.00109)
Technical efficiency :Fuel		-0,00108		-0,00130
		(0.00076)		(0.00079)
Technical efficiency : Period 2020-2023			-0.00234 **	-0.00256 **
			(0.00084)	(0.00088)
N	67255	67255	67255	67255
R2	0,99853	0,99853	0,99853	0,99853
adjR2	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Ο Πίνακας 5.5 περιλαμβάνει συγκεντρωτικά τις εκτιμήσεις των Πινάκων 5.1-5.4.

Εξετάζοντας τις παραμέτρους και τα αποτελέσματα του κάθε μοντέλου, παρακάτω παρατίθενται κάποιες γενικές παρατηρήσεις που προκύπτουν από την αντιπαραβολή τους.

1) Με την προσθήκη της αλληλεπίδρασης του (Technical efficiency:Fuel) δεν προστίθεται κάποια ερμηνευτική ικανότητα στο μοντέλο 2 ενώ με την προσθήκη της μεταβλητής της αλληλεπίδρασης του (Technical efficiency:Period 2020-2023) στο μοντέλο 3 η ερμηνευτική ικανότητα αυξάνεται και γίνεται πιο ακριβής, αφού είναι στατιστικά σημαντική λόγω της πολύ μικρής τιμής του p-value. Με την προσθήκη των αλληλεπιδράσεων (Technical efficiency:Period 2020-2023), παρατηρείται επίσης αύξηση του επιπέδου σημαντικότητας και για την ερμηνεία της ψευδομεταβλητής που το αντίστοιχο δεν συμβαίνει με το(Technical efficiency:Fuel).

2) Η μεταβλητή (Fuel) είναι εξαιρετικά στατιστικά σημαντική σε όλα τα μοντέλα με p-value < 0.001 και συντελεστές πολύ κοντά στο 1 (σχεδόν τέλειος θετικός συσχετισμός).

3) Η μεταβλητή (Coef of Technical efficiency) έχει διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας σε κάθε μοντέλο, λόγω της προσθήκης των αλληλεπιδράσεων των άλλων μεταβλητών. Η μεταβλητή αυτή δείχνει να είναι σημαντική σε τρία από τα τέσσερα μοντέλα, αλλά με διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας.

4) Η μεταβλητή (Period 2020-2023) έχει επίσης διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας σε κάθε μοντέλο, λόγω της προσθήκης των αλληλεπιδράσεων των άλλων μεταβλητών. Η μεταβλητή αυτή δείχνει να είναι σημαντική σε επίπεδο 1% σε δύο από τα τέσσερα μοντέλα, αλλά με διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας και φαίνεται πως ο λόγος είναι η προσθήκη της μεταβλητής (Technical efficiency : Period 2020-2023) στις παλινδρομήσεις.

V. Συμπεράσματα

Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε ότι οι εκπομπές CO₂ ανεξαρτήτως τύπου πλοίου, μεταβαίνουν από την χρονική περίοδο 2018-2019 στη χρονική περίοδο 2020-2023, αυξάνονται. Αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα ως προς την μεταβολή αυτή, είναι η επίδραση της μεταβλητής της τεχνικής απόδοσης σε αλληλεπίδραση με την εναλλαγή των χρονικών περιόδων. Αυτό που δείξαμε στην παρούσα ανάλυση, είναι η σημαντικότητα μείωσης του δείκτη τεχνικής απόδοσης στην ποσοστιαία μεταβολή των εκπομπών και κατ' επέκταση της προστασίας του περιβάλλοντος και πρόληψης από τις καταστροφικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Σε γενικές γραμμές, χωρίς να λάβουμε υπόψη το είδος του πλοίου, ο συντελεστής του δείκτη τεχνικής απόδοσης φαίνεται να μειώνεται με τα χρόνια, δηλαδή να αυξάνεται η τεχνική απόδοση των πλοίων και ως εκ τούτου να μειώνεται η εκπομπή ρύπων CO₂. Βέβαια, αν δούμε μεμονωμένα τις κατηγορίες των πλοίων παρατηρούμε ότι δεν συμβαίνει αυτό για όλους τους τύπους πλοίων. Το 50% των τύπων πλοίων έχουν θετικές τιμές στον δείκτη, δηλαδή παρουσιάζουν μείωση της τεχνικής απόδοσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της έκλυσης των ρύπων. Με άλλα λόγια, δεν παρατηρείται συμμόρφωση ή τάση συμμόρφωσης με την κείμενη νομοθεσία περί αύξησης της τεχνικής απόδοσης των πλοίων για το ήμισυ των κατηγοριών των πλοίων που πρέπει να συμμορφωθούν. Παρόλο που οι υπόλοιπες κατηγορίες δείχνουν μία τάση, δεν φαίνεται να καλύπτουν πλήρως μέχρι στιγμής, το αναμενόμενο ποσοστό αύξησης της τεχνικής απόδοσης. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει απόλυτη σύγκλιση και συμμόρφωση προς τη νομοθεσία και με την συνέχιση αυτού του ρυθμού θα είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για αυστηρότερα μέτρα από τις αρμόδιες ελεγκτικές αρχές ως προς τις προϋποθέσεις της λειτουργικότητας των πλοίων. Αναφορικά με τις κατηγορίες πλοίων, των οποίων οι φάσεις δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί ακόμα χρονικά, θα πρέπει να παρατηρηθεί απότομη και ραγδαία αλλαγή στους δείκτες της τεχνικής τους απόδοσης προκειμένου να πραγματοποιηθεί υλοποίηση του επιδιωκόμενου, από το νομοθετικό πλαίσιο, στόχου.

Βιβλιογραφία

Climate Action- European Commission, n.d. *Climate Action- European Commission, Natural Consequences, Marine Environment*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://climate.ec.europa.eu/index_en

EMSA, n.d. *European Maritime Safety Agency*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.emsa.europa.eu/>

EUR-Lex, n.d. *EUR-Lex: δίκαιο της ΕΕ*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=el>

European Environment Agency, European Maritime Safety Agency, 2021. *European Maritime Transport Environmental Report 2021*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Maritime Safety Agency, n.d. *Thetis MRV*, EU: s.n.

GUIDANCE ON EIV – ARRANGEMENTS, 2017. *European Union*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://climate.ec.europa.eu/document/download/6d3cd1cd-8d68-4454-b4fb-86f9a6cbb210_en

Harilaos N. Psaraftis, Christos A.Kontovas, 2009. CO2 Emission Statistics for the World Commercial Fleet. *WMU Journal of Maritime Affairs*.

IMO, 2021. *Fourth IMO GHG Study 2020*, London: International Maritime Organisation.

IMO, n.d. *International Maritime Organisation*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.imo.org/en>

Jasper Faber, Maarten 't Hoen, Marnix Koopman, Dagmar Nelissen, Saliha Ahdour, 2015. *Estimated Index Values of New Ships, Analysis of EIVs of Ships That Have Entered The Fleet Since 2009*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://cedelft.eu/>

STOCK JAMES H., WATSON MARK W., 2011. *Introduction to Econometrics*. 3rd Edition επιμ. s.l.:Prentice Hall.

THETIS MRV, n.d. *European Maritime Safety Agency THETIS Monitoring Reporting Verification CO2 Emission Report*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>

Veronika Eyring, Ivar S.A. Isaksen, Terje Berntsen, William J. Collins, James J. Corbett, Oyvind Endresen, Roy G. Grainger, Jana Moldanova, Hans Schlager, David S. Stevenson, 2010. *Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping*. Elsevier Ltd.

Ευρωπαϊκή Ένωση, 2015. Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των

εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, Issue L 123/55.

Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2023/1805 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ για τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών στις θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, 22 Σεπτεμβρίου. Issue L 234/48.

Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2023/957 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) 2015/757 για την εισαγωγή διατάξεων για τη συμπερίληψη των δραστηριοτήτων θαλάσσιων μεταφορών στο σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, Issue L 130/111.

Μυλωνάς Γεώργιος, 2023. *Πρόταση για μηδενικές εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία μέχρι το 2050*. σ.λ.: Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Ν.1269, 1982. *ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΜΒΑΣΗΣ «ΠΕΡΙ ΠΡΟΛΗΨΕΩΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ» ΤΟΥ 1973 ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΤΟΥ 1978.*

[Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.et.gr/SearchNomoi>

Π.Δ. 13, 2023. *Αποδοχή τροποποιήσεων στο Παράρτημα του Πρωτοκόλλου του 1997 περί τροποποίησης της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη Ρύπανσης από Πλοία, 1973, όπως τροποποιήθηκε από το σχετικό επί αυτής Πρωτόκολλο 1978 (Αναθεωρημένο Παράρτημα VI της Διεθνούς MARPOL 2021).* [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.et.gr/api/DownloadFeksApi/?fek_pdf=20230100028

Υ.ΝΑ.Ν.Π., n.d. *Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ynanp.gr/el/>

Φουσκάκης Δ., 2021. *Ανάλυση δεδομένων με χρήση της R*. 2η έκδοση επιμ. Αθήνα: ΤΣΟΤΡΑΣ.

Παράρτημα

Πίνακας 1 - Συντελεστές Μείωσης (σε ποσοστά) για τον EEDI σε σχέση με τη γραμμή αναφοράς EEDI

Τύπος Πλοίου	Μέγεθος	Φάση 0 1 Ιαν. 2013 - 31 Δεκ. 2014	Φάση 1 1 Ιαν. 2015 - 31 Δεκ. 2019	Φάση 2 1 Ιαν. 2020 - 31 Μαρ. 2022	Φάση 2 1 Ιαν. 2020 - 31 Δεκ. 2024	Φάση 3 1 Απρ. 2022 και εφεής	Φάση 3 1 Ιαν. 2025 και εφεής
Μικρά μεταφορές γρήγορ φορτίου	20,000 DWT και άνω	0	10		20		30
	10,000 και άνω αλλά αργότερα από 20,000 DWT	δ/κ	0-10 *		0-20*		0-30*
Υπερμεγάλα πλοία	15,000 DWT και άνω	0	10	20		30	
	10,000 και άνω αλλά αργότερα από 15,000 DWT	0	10		20		30
	2,000 και άνω αλλά αργότερα από 10,000 DWT	δ/κ	0-10 *		0-20*		0-30*
Δελταμενόλινα	20,000 DWT και άνω	0	10		20		30
	4,000 και άνω αλλά αργότερα από 20,000 DWT	δ/κ	0-10 *		0-20*		0-30*
Μικρά μεταφορές επιβατηφο- επιβυτίων	200,000 DWT και άνω	0	10	20		50	
	120,000 και άνω αλλά αργότερα από 200,000 DWT	0	10	20		45	
	80,000 και άνω αλλά αργότερα από 120,000 DWT	0	10	20		40	
	40,000 και άνω αλλά αργότερα από 80,000 DWT	0	10	20		35	
	15,000 και άνω αλλά αργότερα από 40,000 DWT	0	10	20		30	
	10,000 και άνω αλλά αργότερα από 15,000 DWT	δ/κ	0-10 *	0-20*		15-30*	

Πλοίο Γενικού Φορτίου	15,000 DWT και άνω	0	10	15		30
	1,000 και άνω αλλά λιγότερο από 15,000 DWT	Δ/ε	0-10 *	0-15*		0-30*
Φορτηγό ψυχγίο πλοίο	5,000 και άνω	0	10		15	30
	1,000 και άνω αλλά λιγότερο από 5,000 DWT	Δ/ε	0-10 *		0-15*	0-30*
Πλοίο Συνδυασμένου φορτίου	20,000 DWT και άνω	0	10		20	30
	4,000 και άνω αλλά λιγότερο από 20,000 DWT	Δ/ε	0-10 *		0-20*	0-30*
Αιζιμετέλλιο μεταφοράς Υγραερίου Ουρανού Αερίου (LNG)	10,000 DWT και άνω	Δ/ε	10 **	20		30
Φορτηγό (Ro-ro) πλοίο (μεταφοράς οχημάτων)	10,000 DWT και άνω	Δ/ε	5 **		15	30
Φορτηγό (Ro-ro) πλοίο	2,000 DWT και άνω	Δ/ε	5 **		20	30
	1,000 και άνω αλλά λιγότερο από 2,000 DWT	Δ/ε	0-5*, **		0-20*	0-30*
Επιβατηγό (Ro-ro) πλοίο	1,000 DWT και άνω	Δ/ε	5 **		20	30
	250 και άνω αλλά λιγότερο από 1,000 DWT	Δ/ε	0-5*, **		0-20*	0-30*
Κρουαζιερόπλοιο με μη συμβατική πρόωση	85,000 GT και άνω	Δ/ε	5 **	20		30
	25,000 και άνω αλλά λιγότερο από 85,000 GT	Δ/ε	0-5*, **	0-20*		0-30*

* Ο συντελεστής μείωσης γραμμικά περιβάλλεται μεταξύ των δύο τιμών ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου. Η χαμηλότερη τιμή συντελεστή μείωσης θα εφαρμόζεται για τα μικρότερα μεγέθη πλοία.

** Η Φάση I αρχίζει για αυτά τα πλοία την 1^η Σεπτεμβρίου 2015.

*** Ο συντελεστής μείωσης εφαρμόζεται σε αυτά τα πλοία που έχουν παραδοθεί την ή μετά την 1^η Σεπτεμβρίου 2019, όπως ορίζεται στην παράγραφο 2.1 του Κανονισμού 2.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Δ/ε νοείται ότι δεν εφαρμόζεται απαιτούμενος EEDI.

(Π.Δ. 13, 2023)