

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Τίτλος της Εργασίας:

**Καινοτόμος μεθοδολογία για τον αποτελεσματικό υπολογισμό
του Αποτυπώματος Άνθρακα στις Θαλάσσιες Μεταφορές**

Διπλωματική Εργασία

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Γεώργιος Κόντος

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

15/10/2013

ΑΘΗΝΑ 2013

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή: Γεώργιος Κόντος

Τίτλος της Εργασίας:

**Καινοτόμος μεθοδολογία για τον αποτελεσματικό υπολογισμό
του Αποτυπώματος Άνθρακα στις Θαλάσσιες Μεταφορές**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

15/10/2013

Διπλωματική Εργασία

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Συγγραφέας: Γεώργιος Κόντος

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Δημήτριος Β. Λυρίδης

ΑΘΗΝΑ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ΣΥΝΟΨΗ	1
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ (KEYWORDS)	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
2.1. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα του Πλοίου Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων	6
2.2. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα του Φορτηγού.....	7
2.3. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα για ολόκληρη τη μεταφορική αλυσίδα.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ –ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	11
4.1. Γενικές πληροφορίες για το Αποτύπωμα Άνθρακα.....	11
4.2. Η μέτρηση του αποτυπώματος άνθρακα	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCA).....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ (ΚΥΟΤΟ PROTOCOL).....	15
6.1. Γενικές πληροφορίες	15
6.2. Οι μηχανισμοί του Κιότο.....	16
6.3. Στόχοι για τις εκπομπές – Παρακολούθηση.....	16
6.4. Προσαρμογή	17
6.5. Το Πρωτόκολλο του Κιότο Σήμερα	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (CARBON FOOTPRINT) ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	19
7.1. Γενικές πληροφορίες	19
7.2. Αντικείμενο μελέτης και στόχοι.....	20
7.3. Γενικές οδηγίες για τη μέτρηση και τη διαχείριση των εκπομπών CO ₂ κατά τις μεταφορές.....	21
7.4. Εφαρμογή της διαδικασίας μέτρησης των εκπομπών κατά τις μεταφορές.....	22
7.5. Υπολογιστική μέθοδος	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΘΕΩΡΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΛΙΜΑΝΙΑ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΕΝΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΕΝΟΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ	44
13.1. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων με σταθερή ταχύτητα 20 κόμβους	45
13.2. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 2000 TEU για τις διάφορες.....	52
13.3. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 4000 TEU για τις διάφορες.....	59

13.4. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 6000 TEU για τις διάφορες.....	66
13.5. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 8000 TEU για τις διάφορες.....	73
13.6. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 10000 TEU για τις διάφορες.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΦΟΡΤΗΓΟ.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15 ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ	93
15.1. Μεταφορά εμπορεύματος μεγέθους 2 TEU από Οινόφυτα Βοιωτίας σε Bridgnorth Αγγλίας	93
15.2. Μεταφορά εμπορεύματος μεγέθους 2 TEU από Guiyang Κίνας στην Tarragona Ισπανίας.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΝΤΙΖΕΛ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17 ΕΝΑ ΒΗΜΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	102
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	108
ΠΗΓΕΣ	109

ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη του παραγόμενου Αποτυπώματος Άνθρακα σε μια μεταφορική αλυσίδα, εκφρασμένο σε μονάδες ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο μεταφερόμενου εμπορεύματος και ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης. Θεωρούμε ότι σε μια μεταφορική αλυσίδα χρησιμοποιούνται τα εξής μέσα μεταφοράς:

- Ένα φορτηγό (truck) μεταφέρει το φορτίο σε εμπορευματοκιβώτια (containers) από τον τόπο παραγωγής του σε ένα λιμάνι, ώστε να γίνει η φόρτωσή του σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containership).
- Έπειτα, φορτώνεται το εμπόρευμα στο πλοίο και αυτό αναχωρεί από εκεί για ένα άλλο λιμάνι, όπου θα ξεφορτώσει το φορτίο.
- Τέλος, πραγματοποιείται η φόρτωση του εμπορεύματος από το πλοίο σε ένα δεύτερο φορτηγό. Από το λιμάνι άφιξης, το φορτηγό παίρνει το φορτίο και το μεταφέρει στον τόπο διανομής του.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε λογισμικό, το οποίο υπολογίζει αναλυτικά τα απαιτούμενα μεγέθη. Το εν λόγω λογισμικό είναι φιλικό προς τον χρήστη, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από οποιονδήποτε επιθυμεί να υπολογίσει το Αποτύπωμα Άνθρακα, απλά και μόνο εισάγοντας ορισμένα από τα δεδομένα της διαδρομής, της ταχύτητας, της κατανάλωσης καυσίμου ή του τύπου των χρησιμοποιούμενων μεταφορικών μέσων (πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και φορτηγό). Αρχικά, αναφέρεται ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας παρουσιάζοντας βήμα-βήμα τα στάδια που ακολουθήθηκαν προκειμένου να παραχθεί ο αλγόριθμος. Τα στάδια αυτά αναφέρουν, με περιληπτικό τρόπο, τον υπολογισμό του Αποτυπώματος Άνθρακα για το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, ύστερα για το φορτηγό και τέλος για ολόκληρη τη μεταφορική αλυσίδα (φορτηγό - πλοίο - φορτηγό).

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και εξηγούνται ορισμένες έννοιες οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το θέμα με το οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία.

Στη συνέχεια, περιγράφεται με αναλυτικό τρόπο η διαδικασία - μεθοδολογία που ακολουθείται για την ανάπτυξη του αλγορίθμου και αναφέρονται τα δεδομένα και οι τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Αποτυπώματος Άνθρακα για το πλοίο, αλλά και για το φορτηγό ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται κατανοητή η πορεία που ακολουθούμε για να καταλήξουμε, σταδιακά, στους τελικούς τύπους που υπολογίζουν το Αποτύπωμα Άνθρακα για τα δύο προαναφερθέντα μέσα μεταφοράς. Έστερα, περιλαμβάνονται στην πράξη οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν κατά την διαδικασία παραγωγής του αλγορίθμου, με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel. Για διάφορους τύπους πλοίων, αλλά και ταχύτητες πλεύσης, βρέθηκε ένας τρόπος αναλυτικού υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα για το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Με παρόμοιο τρόπο έγινε η παραγωγή του αντίστοιχου αλγορίθμου για το φορτηγό για διάφορες μέσες αποστάσεις που διανύει ανά ημέρα.

Ακολούθως, παρατίθεται το λογισμικό που αναπτύχθηκε. Το εν λόγω λογισμικό υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Visual Basic, ενώ το Graphic User Interface σχεδιάστηκε με στόχο να είναι φιλικό προς τον χρήστη και να του παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίσει αυτό το μέγεθος για οποιαδήποτε διαδρομή επιθυμεί.

Τέλος, παρουσιάζονται εν συντομία ορισμένα βήματα που γίνονται για τη βελτίωση των πλοίων από οικολογικής άποψης, έτσι ώστε να περιορισθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και προτείνονται σημεία για την περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ (KEYWORDS)

Ορισμένες λέξεις κλειδιά που σχετίζονται άμεσα με το θέμα και την ανάλυση της παρούσας εργασίας στο σύνολό της αναφέρονται ακολούθως:

- Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint)
- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)
- Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία, εκπονήθηκε αναλυτική μελέτη που περιγράφει και υπολογίζει το Αποτύπωμα Άνθρακα, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκε λογισμικό το οποίο αποτυπώνει τους εν λόγω υπολογισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της εργασίας είναι ο αναλυτικός υπολογισμός και η εύρεση ενός κατανοητού και, συγχρόνως, εύχρηστου (προς διευκόλυνση των χρηστών – user friendly) αλγορίθμου, ο οποίος να υπολογίζει αποτελεσματικά και με γρήγορο τρόπο το παραγόμενο Αποτύπωμα Άνθρακα σε οδικές και θαλάσσιες μεταφορές.

Η μεταφορική αλυσίδα, για την οποία υπολογίστηκε το μέγεθος αυτό με τη βοήθεια του λογισμικού, είναι η ακόλουθη:

- Φορτηγό (Truck)
- Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership)
- Φορτηγό

Μέσω αυτής της μελέτης, παρέχεται η ευχέρεια σε οποιονδήποτε χρήστη επιθυμεί να υπολογίσει το Αποτύπωμα Άνθρακα, μιας, παρεμφερούς με την προηγούμενη, μεταφορικής αλυσίδας. Μπορεί, λοιπόν, απλά και μόνο εισάγοντας ορισμένα από τα δεδομένα της διαδρομής, της ταχύτητας, της κατανάλωσης καυσίμου ή του τύπου των χρησιμοποιούμενων μεταφορικών μέσων (πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και φορτηγό) να υπολογίσει αναλυτικά και με ακριβή τρόπο το συγκεκριμένο μέγεθος.

Επομένως, το λογισμικό αυτό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται σε οποιαδήποτε μεταφορική αλυσίδα της παραπάνω μορφής και, κατ' επέκταση, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν.

Επιπρόσθετα, η εργασία περιλαμβάνει και ορισμένες προτάσεις για ανάπτυξη και βελτίωση των μεθόδων κατασκευής πλοίων που θα συμβάλλουν μελλοντικά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κίνησης με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εν λόγω εργασία ασχολείται με το αντικείμενο του Αποτυπώματος Άνθρακα (Carbon Footprint). Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της εργασίας είναι ο αναλυτικός υπολογισμός και η εύρεση ενός κατανοητού και, συγχρόνως, εύκολου στην εφαρμογή (προς διευκόλυνση των χρηστών – user friendly) αλγορίθμου, ο οποίος να υπολογίζει αποτελεσματικά και γρήγορα το Αποτύπωμα Άνθρακα σε οδικές και θαλάσσιες μεταφορές.

Θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο είναι δυνατόν να εξαχθεί ο αλγόριθμος υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα για μια ολοκληρωμένη μεταφορική αλυσίδα. Ειδικότερα, η μεταφορική αλυσίδα θα έχει τη μορφή η οποία παρίσταται ακολούθως:

- Ένα φορτηγό (truck) μεταφέρει ένα συγκεκριμένο συσκευασμένο φορτίο σε εμπορευματοκιβώτιο (container) από τον τόπο παραγωγής του (συγκεκριμένη πόλη) σε ένα λιμάνι, διανύοντας μια συγκεκριμένη διαδρομή, ώστε να γίνει η φόρτωση του εμπορεύματος αυτού σε ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containership).
- Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η φόρτωση του εμπορεύματος, που έχει φθάσει στο λιμάνι, στο πλοίο και αυτό αναχωρεί από εκεί για ένα άλλο λιμάνι, όπου θα ξεφορτώσει το φορτίο.
- Τέλος, πραγματοποιείται η φόρτωση του εμπορεύματος από το πλοίο σε ένα δεύτερο φορτηγό. Από το λιμάνι άφιξης, το φορτηγό παίρνει το φορτίο και το μεταφέρει σε κάποια συγκεκριμένη πόλη, η οποία θα είναι ο τόπος διανομής του προϊόντος στον τελικό καταναλωτή, διανύοντας συγκεκριμένη απόσταση.

Στόχος, επομένως, της συγκεκριμένης εργασίας είναι να μελετηθεί ένας αλγόριθμος που να υπολογίζει το Αποτύπωμα Άνθρακα κάθε ενός από τα τρία προαναφερθέντα στάδια της μεταφορική αλυσίδας, καθώς και της συνολικής διαδρομής για τη μεταφορά του εμπορεύματος μέσω της αλυσίδας Φορτηγό – Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων – Φορτηγό και, ακολούθως, να γίνει σύγκριση αυτής της τιμής με άλλες εναλλακτικές μορφές μεταφοράς (οδικώς, σιδηροδρομικώς, αεροπορικώς).

2.1. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα του Πλοίου Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων

Αρχικά, υλοποιείται ο γενικός αλγόριθμος υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα για το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων για διάφορες τιμές των ταχυτήτων σε κόμβους (knots) και για διάφορα μεγέθη πλοίων σε TEU. Ο αλγόριθμος αυτός επιμερίζεται στα παρακάτω τμήματα, για κάθε ένα από τα οποία υπολογίζεται χωριστά το Αποτύπωμα Άνθρακα:

- Αποτύπωμα Άνθρακα του πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά τη μεταφορά του φορτίου (κατά την πλεύση του).

- Συμμετοχή του Αποτυπώματος Άνθρακα που παράγεται κατά την κατασκευή του πλοίου, στη μεταφορά εμπορευμάτων.

- Συμμετοχή του Αποτυπώματος Άνθρακα που παράγεται κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι, στη μεταφορά εμπορευμάτων.

Αθροίζοντας τις τιμές του Αποτυπώματος Άνθρακα που προαναφέρθηκαν προκύπτει η τιμή του συνολικού Αποτυπώματος Άνθρακα για το πλοίο.

Διαμορφώνονται, έπειτα, ορισμένα διαγράμματα για να παρουσιασθεί ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται η καμπύλη του Αποτυπώματος Άνθρακα κάθε βήματος ξεχωριστά, αλλά και του συνολικού Αποτυπώματος Άνθρακα.

2.2. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα του Φορτηγού

Στο επόμενο βήμα, κατασκευάζεται ο γενικός αλγόριθμος υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα του φορτηγού. Πάλι, με παρόμοιο τρόπο με αυτόν για το πλοίο, χωρίζουμε το Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού σε στάδια, όπως παρουσιάζονται ακολούθως:

- Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού κατά την κίνησή του με φορτίο (μεταφορά του φορτίου).
- Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού κατά την κίνησή του χωρίς φορτίο (επιστροφή του φορτηγού κενό στη βάση του).
- Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού που προκύπτει κατά την κατασκευή του.

Αθροίζοντας τις τιμές του Αποτυπώματος Άνθρακα για τα στάδια που σημειώθηκαν παραπάνω, προκύπτει η τιμή του συνολικού Αποτυπώματος Άνθρακα για το φορτηγό.

Στη συνέχεια, κατασκευάζονται και πάλι μερικά διαγράμματα για να παρουσιασθεί ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται η καμπύλη του Αποτυπώματος Άνθρακα κάθε βήματος ξεχωριστά, αλλά και του συνολικού Αποτυπώματος Άνθρακα για το φορτηγό.

2.3. Υπολογισμός του Αποτυπώματος Άνθρακα για ολόκληρη τη μεταφορική αλυσίδα

Όπως ακριβώς αναφέρθηκε, η μεταφορική αλυσίδα που μελετάται, απαρτίζεται από τρία στάδια (Φορτηγό – Πλοίο – Φορτηγό) για κάθε ένα από τα οποία επισημάνθηκε εν συντομία ο τρόπος υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα.

Για να υπολογίσουμε τώρα το μέγεθος αυτό για όλη τη μεταφορική αλυσίδα, πολύ απλά, αθροίζουμε τις συνολικές τιμές του Αποτυπώματος Άνθρακα που έχουν προκύψει σε κάθε ένα από τα τρία στάδια και το αποτέλεσμα που θα πάρουμε είναι και το ζητούμενο.

Στη συνέχεια εκτελούμε ορισμένες εφαρμογές του αλγορίθμου υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα για διάφορες διαδρομές και υπολογίζουμε σε κάθε μία το μέγεθος αυτό για ποικίλες ταχύτητες και μεγέθη πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Ακολουθώς ταξινομούμε κατά αύξουσα σειρά τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουν προκύψει, σε κάθε σενάριο που μελετήθηκε και βλέπουμε σε ποιά ταχύτητα και ποιο μέγεθος πλοίου αντιστοιχεί η κάθε τιμή του Αποτυπώματος Άνθρακα. Βρίσκουμε, συνεπώς, πού έχουμε μέγιστο Αποτύπωμα Άνθρακα και άρα μέγιστες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και πού ελάχιστο.

Τέλος, εξετάζουμε, για τα ίδια σενάρια εφαρμογών με πριν, το Αποτύπωμα Άνθρακα που θα είχαμε και στην περίπτωση όπου η μεταφορά θα ήταν αποκλειστικά οδική (μόνο φορτηγό), με χρήση και πάλι του αλγορίθμου υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα που κατασκευάστηκε για το φορτηγό, ενώ ακόμη, με βάση ήδη υπάρχουσες μελέτες και τιμές, υπολογίζουμε το Αποτύπωμα Άνθρακα που θα είχαμε αν χρησιμοποιούσαμε ως μέσο μεταφοράς αεροπλάνο ή τρένο.

Συνοψίζοντας, βλέπουμε τις διαφορές στις τιμές του μεγέθους του Αποτυπώματος Άνθρακα μεταξύ των περιπτώσεων:

- Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με χρήση των εξής μεταφορικών μέσων με την αντίστοιχη σειρά:
Φορητό – Πλοίο (Contaireship) – Φορητό.
- Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με χρήση φορητού αποκλειστικά (οδική μεταφορά του φορτίου).
- Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με χρήση ηλεκτρικού τρένου αποκλειστικά (σιδηροδρομική μεταφορά του φορτίου).
- Μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με χρήση αεροπλάνου αποκλειστικά (αεροπορική μεταφορά του φορτίου).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τα αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG) είναι αέρια σε μια ατμόσφαιρα που απορροφούν και εκπέμπουν ακτινοβολία στο θερμικό υπέρυθρο φάσμα. Η εν λόγω διαδικασία αποτελεί τη βασική αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα βασικά αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης είναι οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το όζον. Η εκπομπή αυτών των αερίων προκαλεί υπερθέρμανση του πλανήτη με καταστροφικές συνέπειες για την ανθρωπότητα. Στο ηλιακό μας σύστημα, οι ατμόσφαιρες της Αφροδίτης, του Άρη και του Τιτάνα περιέχουν επίσης αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αέρια του θερμοκηπίου επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία της Γης. Χωρίς αυτά, η επιφάνεια της Γης θα ήταν κατά μέσο όρο περίπου 33 °C ψυχρότερη από τον σημερινό μέσο όρο των 14 °C.

Ωστόσο, από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει συμβάλει στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από 280 ppm έως 397 ppm, παρά την πρόσληψη ενός μεγάλου τμήματος των εκπομπών μέσω των διαφόρων φυσικών καταβολών, οι οποίες εμπλέκονται στον κύκλο του άνθρακα [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

4.1. Γενικές πληροφορίες για το Αποτύπωμα Άνθρακα

Ιστορικά, το Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint) έχει ορισθεί ως το σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλείται από έναν οργανισμό, γεγονός, προϊόν ή πρόσωπο [2]. Το ανθρακικό αποτύπωμα αποτελεί, ουσιαστικά, το μέτρο της συνολικής ποσότητας των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται άμεσα ή έμμεσα από μία δραστηριότητα είτε συσσωρεύεται κατά τα στάδια ζωής ενός προϊόντος, δηλαδή ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας.

Ωστόσο, ο υπολογισμός του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα είναι πρακτικά αδύνατος, λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων που απαιτούνται, της σχετικά πρόσφατης προσοχής που τέθηκε σε αυτό το θέμα κατά τον τελευταίο αιώνα, και του γεγονότος ότι το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να παραχθεί από φυσικά φαινόμενα. Για τον λόγο αυτόν, οι Wright, Kemp και Williams, γράφοντας στο περιοδικό *Carbon Management* προτείνουν έναν πιο πρακτικό ορισμό:

“Το αποτύπωμα άνθρακα αποτελεί ένα μέτρο του συνολικού ποσού εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) ενός συγκεκριμένου δείγματος πληθυσμού, συστήματος ή δραστηριότητας, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σχετικές πηγές, καταβόθρες και αποθηκευτικούς χώρους του συγκεκριμένου αυτού δείγματος πληθυσμού, συστήματος ή δραστηριότητας και υπολογίζεται ως το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) χρησιμοποιώντας το σχετικό 100-χρόνων δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP100)” [2].

Τα αέρια του θερμοκηπίου μπορεί να εκπέμπονται μέσω των μεταφορών, εκσκαφών και εκχερσώσεων, καθώς και της παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων, καυσίμων, βιομηχανικών προϊόντων, υλικών, οδικών κατασκευών, κτιρίων και άλλων συναφών δραστηριοτήτων. Συχνά, για λόγους απλούστευσης, ο όρος αποτύπωμα άνθρακα

εκφράζεται σε ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ή ισοδύναμη αυτού εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

Έρευνες αποδεικνύουν ότι οι περισσότερες από τις εκπομπές του αποτυπώματος άνθρακα για το μέσο νοικοκυριό προέρχονται από έμμεσες πηγές, όπως για παράδειγμα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αγαθών μακράν του τόπου κατανάλωσης, καθώς και από άμεσες πηγές που αναφέρονται στον καταναλωτή, όπως καύσιμα αυτοκινήτων και θέρμανσης κατοικιών.

Η αρχική ιδέα για την ονομασία αποτύπωμα άνθρακα προήλθε από τους Rees και Wackernagel τη δεκαετία του 1990, στην προσπάθειά τους να εκτιμήσουν το οικολογικό αποτύπωμα (οικολογικές επιπτώσεις) εάν, θεωρητικά, κάθε άνθρωπος στον πλανήτη κατανάλωνε τους ίδιους φυσικούς πόρους. Παρ' όλα αυτά, το αποτύπωμα του άνθρακα είναι πολύ πιο συγκεκριμένη έννοια από το οικολογικό αποτύπωμα, δεδομένου ότι μετρά τις άμεσες εκπομπές των αερίων που προκαλούν την κλιματική αλλαγή στην ατμόσφαιρα.

4.2. Η μέτρηση του αποτυπώματος άνθρακα

Το αποτύπωμα άνθρακα μπορεί να μετρηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και άλλες δραστηριότητες που συμβάλλουν στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Γνωρίζοντας το αποτύπωμα του άνθρακα, μπορούμε να χαράξουμε στρατηγικές που θα οδηγήσουν στη σταδιακή μείωσή του. Χρήσιμη σε αυτό τον τομέα θεωρείται η ανάπτυξη της τεχνολογίας για καλύτερη διαχείριση της παραγωγής των προϊόντων, καθώς και πολιτικές κρατών και κυβερνήσεων που λαμβάνουν σχετική μέριμνα. Εδώ πρέπει να επισημανθεί και η αναμενόμενη συμβολή του ιδιωτικού τομέα (βιομηχανία, επιχειρήσεις), ο οποίος καλείται να αναπτύξει κατάλληλη κουλτούρα στα πλαίσια της εν λόγω μέριμνας.

Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική, καθώς και ενέργειες που συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος (π.χ. αναδάσωση μετά από πυρκαγιές) αποτελούν, επίσης, έναν τρόπο μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα που είναι γνωστός και ως αντιστάθμιση άνθρακα.

Κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η προσπάθεια που καταβάλλεται από όλες τις παραγωγικές μονάδες για παραγωγή προϊόντων με όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας με σκοπό τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCA)

Η Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) χρονολογείται από τη δεκαετία του '70, όταν και άρχισαν οι σχετικές μελέτες για την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού. Αποτελεί μια σύγχρονη και διαρκώς εξελισσόμενη μέθοδο με σκοπό να περιορισθούν στο ελάχιστο δυνατό τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται κατά την παραγωγή των προϊόντων. Εξετάζει δε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων, δηλαδή τον τρόπο συλλογής των πρώτων υλών και τις επιπτώσεις εξόρυξης ορυκτού πλούτου από το περιβάλλον, τη χρήση τους για παραγωγή προϊόντων, τη μεταφορά των προϊόντων προς τα σημεία διάθεσης και τον τελικό χρήστη/καταναλωτή, τα απόβλητα που δημιουργούνται από τη χρήση των προϊόντων, καθώς και τη μεταφορά και απόθεση των αποβλήτων.

Η μελέτη της παρούσας εργασίας θα επικεντρωθεί στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη θαλάσσια μεταφορά των εμπορευμάτων.

Η Εκτίμηση Κύκλου Ζωής περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

- **Προσδιορισμός του στόχου**

Κατά το στάδιο αυτό, προσδιορίζονται ως στόχοι τα όρια της μελέτης σε συνδυασμό με το αντικείμενο που μελετάται, και προβάλλονται τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα που πρέπει να αναλυθούν για την υλοποίηση του στόχου.

- **Απογραφική ανάλυση**

Κατά το στάδιο αυτό, προσδιορίζεται το είδος και η ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων ή έργων, καθώς και των δημιουργούμενων παραπροϊόντων και αποβλήτων.

- **Εκτίμηση επιπτώσεων**

Κατά το τρίτο στάδιο, γίνεται εκτίμηση των επιπτώσεων από την παραγωγή, διακίνηση και απόθεση των προϊόντων στον άνθρωπο και το οικοσύστημα.

- **Ερμηνεία αποτελεσμάτων**

Στο τέταρτο στάδιο, αναλύονται τα αποτελέσματα και οι επιπτώσεις του κύκλου ζωής των προϊόντων και προσδιορίζονται διαδικασίες για την απόκτηση πρώτων υλών, την παραγωγή προϊόντων, τη μεταφορά-διάθεση και χρήση τους, καθώς και την απόθεση των δημιουργούμενων αποβλήτων, με σκοπό να έχουμε την ελάχιστη δυνατή επίπτωση στον άνθρωπο και το οικοσύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ (ΚΥΟΤΟ PROTOCOL)

6.1. Γενικές πληροφορίες

Το Πρωτόκολλο του Κιότο (Kyoto Protocol) αποτελεί μια διεθνή συμφωνία που θέτει δεσμευτικούς όρους για την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και 37 βιομηχανικές χώρες, σχετικά με το θέμα της ελάττωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Η εν λόγω συμφωνία συνδέεται με το πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών που αφορά στην Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC ή FCCC). Αυτή είναι μια διεθνής περιβαλλοντική συνθήκη, η οποία προτρέπει τις βιομηχανικές χώρες να σταθεροποιήσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σε αντίθεση με το Πρωτόκολλο που, ουσιαστικά, τις δεσμεύει προς αυτή την κατεύθυνση [3].

Το Πρωτόκολλο του Κιότο εγκρίθηκε αρχικά στο Κιότο της Ιαπωνίας, στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Οι λεπτομερείς κανόνες για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου εκδόθηκαν κατά την COP 7 στο Μαρακές το 2001, και καλούνται “Συμφωνίες του Μαρακές” [4]. Από το Σεπτέμβριο του 2011, 191 χώρες έχουν υπογράψει και επικυρώσει το Πρωτόκολλο. Η μόνη σημαίνουσα υπογραφή που εκκρεμεί είναι εκείνη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Άλλα μέλη των Ηνωμένων Εθνών που δεν έχουν υπογράψει είναι το Αφγανιστάν, η Ανδόρα και το Νότιο Σουδάν. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το Δεκέμβριο του 2011, ο Καναδάς αποσύρθηκε από το Πρωτόκολλο.

Το Πρωτόκολλο, επίσης, αναγνωρίζει ότι κυρίως οι αναπτυγμένες χώρες ευθύνονται για τα υψηλά επίπεδα εκπομπών των αερίων GHG, ως αποτέλεσμα πάνω από 150 χρόνων βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

6.2. Οι μηχανισμοί του Κιότο

Σύμφωνα με τη Συνθήκη, οι χώρες πρέπει να επιτύχουν τους στόχους τους κυρίως μέσω εθνικών μέτρων. Ωστόσο, το Πρωτόκολλο του Κιότο τους προσφέρει ένα επιπλέον μέσο για την επίτευξη των στόχων τους με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και παράλληλα συμβάλλει στην τόνωση των πράσινων επενδύσεων με τη χρήση τριών μηχανισμών.

Οι μηχανισμοί του Κιότο είναι οι ακόλουθοι:

- Η εμπορία εκπομπών - γνωστή ως "η αγορά του άνθρακα"
- Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean development mechanism, CDM)
- Κοινή Εφαρμογή (Joint Implementation, JI) [4]

6.3. Στόχοι για τις εκπομπές – Παρακολούθηση

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, οι εκπομπές των χωρών πρέπει να παρακολουθούνται σχολαστικά και να τηρούνται ακριβή αρχεία.

Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται μητρώο καταγραφής των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από όλα τα συμβαλλόμενα μέρη βάσει των μηχανισμών. Η Γραμματεία Κλιματικής Αλλαγής, που εδρεύει στη Βόννη, διαθέτει ένα διεθνές σύστημα καταγραφής συναλλαγών που επαληθεύει ότι οι συναλλαγές είναι σύμφωνες με τους κανόνες του Πρωτοκόλλου.

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνονται αναφορές από τα συμβαλλόμενα μέρη μέσω της υποβολής ετήσιων απογραφών εκπομπών και εθνικών εκθέσεων σύμφωνα με το πρωτόκολλο.

Το σύστημα εξασφαλίζει ότι τα συμβαλλόμενα μέρη εκπληρώνουν τις δεσμεύσεις τους και σε περίπτωση που δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις υποχρεώσεις τους, τους προσφέρει σημαντική βοήθεια.

6.4. Προσαρμογή

Το Πρωτόκολλο του Κιότο, όπως ακριβώς και η Σύμβαση, λαμβάνει μέριμνα για την ομαλή προσαρμογή των χωρών στις δυσμενείς συνθήκες και επιπτώσεις που αποφέρει η Κλιματική Αλλαγή, χρησιμοποιώντας ειδικές τεχνικές για την επίτευξη αυτής της προσαρμογής. Το Ταμείο Προσαρμογής ιδρύθηκε για τη χρηματοδότηση έργων και προγραμμάτων προσαρμογής στις αναπτυσσόμενες χώρες που είναι συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Το Ταμείο χρηματοδοτείται κυρίως με ένα μερίδιο των εσόδων από τις δραστηριότητες του έργου του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης (CMD).

6.5. Το Πρωτόκολλο του Κιότο Σήμερα

Στις 8 Δεκεμβρίου του 2012, στην Ντόχα του Κατάρ περίπου 200 κράτη συμμετείχαν στην επέκταση της ισχύος του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών μέχρι το 2020. Βοήθησαν, έτσι, περαιτέρω τις προσπάθειες (άκαρπες τις περισσότερες φορές) που καταβάλλει ο ΟΗΕ, προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η οκταετής επέκταση πέραν του 2012 για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη διατηρεί το Πρωτόκολλο ζωντανό ως το μόνο νομικά δεσμευτικό σχέδιο για την καταπολέμηση του φαινομένου αυτού.

Η Ρωσία, η Ιαπωνία και ο Καναδάς αποχώρησαν από τη συνεδρίαση αυτή και τα λοιπά μέλη που το συνυπογράφουν αναλογούν τώρα στο 15% των παγκοσμίων εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ο εκπρόσωπος της Μόσχας Όλεγκ Σαμάνοφ δήλωσε ότι η Ρωσία, η Ουκρανία και η Λευκορωσία δεν συμφωνούν με το προτεινόμενο σχέδιο για επέκταση του Πρωτοκόλλου του Κιότο πέραν του 2012.

Η Ρωσία ήθελε λιγότερο αυστηρά όρια όσον αφορά τη χρήση του «θερμού αέρα», όπως είναι γνωστό το πλεόνασμα που υπάρχει βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο στις

ποσοτώσεις των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο αντιστοιχεί σε 13 δισεκατομμύρια τόνους για το διοξείδιο του άνθρακα. Αποφασίστηκε, επίσης, ότι τα φτωχά κράτη θα πρέπει να αποζημιωθούν από τα πλουσιότερα, για τις καταστροφικές επιπτώσεις που αντιμετωπίζουν τα πρώτα λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Ο διάλογος περί των αιτημάτων των αναπτυσσόμενων χωρών για περισσότερα χρήματα προκειμένου να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη αναβλήθηκε μέχρι το 2013 από τη συνεδρίαση της Ντόχα.

Όλες οι πλευρές δήλωσαν ότι οι αποφάσεις της Ντόχα υπολείπονται κατά πολύ από τους στόχους που είχαν θέσει οι επιστήμονες για αποφασιστικότερη δράση που θα βοηθούσε να αποτραπούν περισσότεροι καύσωνες, αμμοθύελλες, πλημμύρες, ξηρασίες και μεγαλύτερη άνοδος της στάθμης της θάλασσας.

Η νέα συμφωνία για επέκταση του Πρωτοκόλλου του Κιότο για οκτώ χρόνια θα εφαρμοστεί από το 2013. Το Πρωτόκολλο του Κιότο υποχρέωνε περίπου 35 βιομηχανικές χώρες να μειώσουν την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου κατά μέσο όρο τουλάχιστον 5,2% κάτω από τα επίπεδα του 1990 την περίοδο 2008-2012 με σθεναρούς υποστηρικτές αυτού την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Αυστραλία και κύριο επικριτή τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Αξιοσημείωτο είναι ότι την περίοδο του 2012-2013 οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αναμένεται να αυξηθούν κατά 2,6% και είναι περισσότερο από 50% υψηλότερες από ό, τι ήταν το 1990. Η πρόσφατη αύξηση προέρχεται κυρίως από τις αναδύμενες οικονομίες, των οποίων ηγούνται η Κίνα και η Ινδία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (CARBON FOOTPRINT) ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

7.1. Γενικές πληροφορίες

Η μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων αναλογεί περίπου στο 20% όλων των αερίων GHG της Ευρωπαϊκής Ένωσης και υπολογίζεται ότι αν δεν ληφθεί κανένα δραστικό μέτρο, μέχρι το 2020 οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τις μεταφορές θα αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό, προσεγγίζοντας ποσοστά μεγαλύτερα και από το 30% των εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το ένα τρίτο της συνολικής εκπομπής αερίων GHG λόγω μεταφορών, αντιστοιχεί στις εκπομπές που προκύπτουν κατά τη μεταφορά φορτίων-εμπορευμάτων, ενώ ένα 93-95% αναλογεί στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Σημαντικές προσπάθειες για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά τη μεταφορά εμπορευμάτων καταβάλλονται από τη βιομηχανία. Παρά τη βελτίωση αυτή, όμως, η ενεργειακή απόδοση δεν είναι αρκετή για να αντισταθμίσει την ολοένα και ταχύτερη αύξηση των εκπομπών που οφείλεται στη μεταφορά εμπορευμάτων μεγαλύτερου όγκου και διαστάσεων, εξαιτίας της κατακόρυφης αύξησης του διεθνούς εμπορίου και της περαιτέρω ενσωμάτωσης χωρών στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Θέτοντας, όπως προαναφέρθηκε, ως στόχο την ελάττωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του αποτυπώματος άνθρακα σε μεγάλο βαθμό μέχρι το 2020, η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει μεγάλη βαρύτητα στο θέμα της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και προβλέπεται ότι θα ληφθεί ακόμα μεγαλύτερη μέριμνα στα μετέπειτα χρόνια. Για την επίτευξη αυτής της προσπάθειας, οι βιομηχανίες καλούνται να αναπτύξουν στρατηγικές εξάλειψης του αποτυπώματος άνθρακα (decarbonisation strategies) για την αποθήκευση και μεταφορά των εμπορευμάτων στο κοντινό μέλλον. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η χημική βιομηχανία, εκπροσωπώντας ένα 10% των συνολικών εκπομπών από εμπορεύματα, καταβάλλει πολύ δυναμικές προσπάθειες για τη μείωση των δυσάρεστων αυτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο θέμα διακίνησης εμπορευμάτων, σε στενή συνεργασία με τους προμηθευτές της.

Δυστυχώς, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει μια ολοκληρωμένη και συμφωνημένη μέθοδος υπολογισμού διεθνούς εμβέλειας που να συντελέσει στην τυποποίηση των μετρήσεων και αναφορών σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η πραγματοποίηση αυτού του στόχου θα οδηγούσε, σταδιακά, στη διεθνή συνοχή σε θέματα περιβάλλοντος και θα βοηθούσε σε μεγάλο βαθμό στην προστασία του. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN (European Committee for Standardisation) αναμένεται να εκδώσει μεθόδους για την τυποποίηση των μετρήσεων των εκπομπών.

Ένα σύνολο από μελέτες πραγματοποιούνται τα τελευταία 20 χρόνια με σκοπό τη μελέτη παραγόντων που επιδρούν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τα διάφορα είδη μεταφορών. Οι μελέτες αυτές ποικίλλουν ανάλογα με το είδος της μεταφοράς και του οχήματος που χρησιμοποιείται, καθώς και του τρόπου φόρτωσης και του βάρους των εμπορευμάτων. Είναι, λοιπόν, αναγκαίο να εφαρμοσθεί ένας κατάλληλος τρόπος μεταφοράς που θα μειώνει αποτελεσματικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και κατ' επέκταση τις καταστροφικές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

7.2. Αντικείμενο μελέτης και στόχοι

Οι γενικές κατευθύνσεις για τη μελέτη του αντικειμένου της μέτρησης και διαχείρισης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά τις μεταφορές των εμπορευμάτων συνοψίζονται ακολούθως:

- Ανάπτυξη μιας απλής, ακριβούς και κοινά εφαρμοζόμενης μεθόδου για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ που επιτρέπει στις μεταφορικές εταιρίες να υπολογίσουν το δικό τους αποτύπωμα άνθρακα.
- Εκτίμηση, αλλά και υποστήριξη από τη μεριά της βιομηχανίας, των βέλτιστων πρακτικών για τη μείωση των εκπομπών κατά τις μεταφορές.

7.3. Γενικές οδηγίες για τη μέτρηση και τη διαχείριση των εκπομπών CO₂ κατά τις μεταφορές

Κατά την ανάπτυξη της μεθόδου, θα πρέπει να αξιολογηθούν τα ακόλουθα στοιχεία από τις βιομηχανίες και τις εταιρίες μεταφορών:

- Εφαρμογή γενικών πλαισίων για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα κατά τις μεταφορές προσδιορίζοντας το αντικείμενο, το στόχο και το χρονικό πλαίσιο της εφαρμογής.
- Εκπόνηση υπολογιστικού μοντέλου για τη μέτρηση των βασικών εκπομπών αερίων κατά τη μεταφορά εμπορευμάτων την τρέχουσα χρονική περίοδο.
- Προσδιορισμός ενός ρεαλιστικού στόχου για μείωση των εκπομπών CO₂ κατά τις μεταφορές και του χρονικού ορίζοντα μέσα στον οποίο καλείται να επιτευχθεί (π.χ. x% μείωση των εκπομπών CO₂ μέσα σε 10 χρόνια). Ο στόχος αυτός μπορεί να είναι απόλυτος ή σχετικός, όπως ακριβώς φαίνεται παρακάτω:
 - Απόλυτος στόχος: μείωση κατά x% του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα που προκύπτει από τις εκπομπές κατά τις μεταφορές
 - Σχετικός στόχος: μείωση κατά x% των εκπομπών ανά τόνο (tonne) για παραχθέντα προϊόντα ή μείωση κατά x% των εκπομπών σε τονοχιλιόμετρα (tonne-km) των μεταφερόμενων προϊόντων.
- Πραγματοποίηση ενός σχεδίου δράσης το οποίο να καταδεικνύει συγκεκριμένα μέτρα για τη μείωση του Αποτυπώματος Άνθρακα προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος μείωσης των εκπομπών που προαναφέρθηκε.
- Συστηματική παρακολούθηση της προόδου και ετήσιες αναφορές των επιτευγμάτων της μεθόδου που περιγράφεται.

7.4. Εφαρμογή της διαδικασίας μέτρησης των εκπομπών κατά τις μεταφορές

Αυτή η μέθοδος υπολογισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου περιέχει τις ακόλουθες οδηγίες:

- Εφαρμογή σχεδίου δράσης στις παραγωγικές μονάδες.
- Εφαρμογή σχεδίου δράσης για τις μεταφορικές εταιρίες.
- Δέσμευση των υπεργολάβων για την τήρηση των παραπάνω σχεδίων δράσης.

7.5. Υπολογιστική μέθοδος

α) Δραστηριοκεντρική προσέγγιση

Η δραστηριοκεντρική αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί τον ακόλουθο βασικό τύπο:

Εκπομπές CO₂ = Μεταφερόμενος όγκος φορτίου από το μεταφορικό μέσο * Μέση απόσταση μεταφοράς του φορτίου από το μεταφορικό μέσο * μέσος συντελεστής εκπομπών CO₂ ανά τονοχιλιόμετρο από το μεταφορικό μέσο

Εκπεμπόμενοι τόνοι CO₂ = tones (μεταφοράς) * km (απόσταση) * g CO₂ ανά tone-km/1000000

Υψίστης σημασίας είναι η επιλογή των καταλληλότερων συντελεστών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για κάθε μέσο μεταφοράς φορτίου που χρησιμοποιείται.

β) Ενεργειακή προσέγγιση

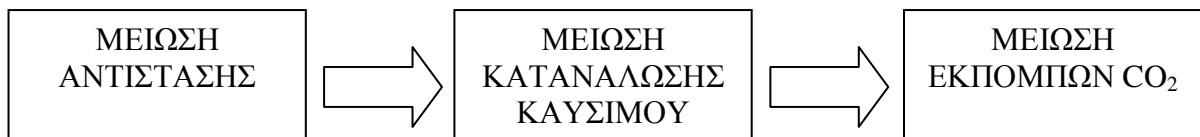
Η συγκεκριμένη μέθοδος της ενεργειακής προσέγγισης αποτελεί έναν εύκολο και ακριβή τρόπο υπολογισμού των εκπομπών ρύπων και χρησιμοποιείται κατά κόρον από μεταφορικές εταιρίες. Βασίζεται στη χρήση συντελεστών εκπομπών καυσίμου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται προκειμένου να μετατραπούν η εκπεμπόμενη ενέργεια και τα καύσιμα σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η ενεργειακή μέθοδος χρησιμοποιεί τον ακόλουθο βασικό τύπο:

$$\text{Εκπομπές CO}_2 = \text{Κατανάλωση καυσίμου} * \text{συντελεστής εκπομπής καυσίμου}$$

Σημαντική είναι η επιλογή των καταλληλότερων συντελεστών εκπομπών καυσίμου του θερμοκηπίου για κάθε μέσο μεταφοράς φορτίου που χρησιμοποιείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΘΕΩΡΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



Ο κυριότερος λόγος που ένα πλοίο αντιμετωπίζει αντίσταση είναι η ύπαρξη του θαλασσινού νερού μέσα από το οποίο διέρχεται κατά την πλεύση του. Η αντίσταση αυτή είναι η δύναμη που δέχεται το πλοίο κατά την πορεία του, η οποία είναι αντίθετης φοράς από την κίνησή του και πρόκειται για τη συνολική αντίσταση της γάστρας του πλοίου.

Η αντίσταση που δέχεται το πλοίο λόγω της κίνησής του στο νερό έχει τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Αντίσταση τριβής: εξαρτάται από την επιφάνεια της γάστρας που βρίσκεται βυθισμένη μέσα στο νερό

- Αντίσταση πίεσης: προκύπτει λόγω της πίεσης που ασκεί το νερό στην επιφάνεια της γάστρας του πλοίου και εξαρτάται από την ποσότητα του εκτοπιζόμενου νερού

- Αντίσταση κυματισμού

Άλλη μορφή αντίστασης που αντιτίθεται στην πορεία του πλοίου είναι η αντίσταση του αέρα, η οποία, όμως, δεν επηρεάζει τόσο πολύ την κίνησή του όσο άλλες μορφές αντίστασης.

Μειώνοντας την αντίσταση που δέχεται το πλοίο από εξωτερικές πηγές είναι δυνατό να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό οι εκπομπές ρύπων και καυσίμου που αναλώνει το πλοίο. Αυτό απορρέει από το γεγονός ότι ελαττώνοντας το μέγεθος της ασκούμενης στο πλοίο αντίστασης, θα απαιτείται λιγότερη κατανάλωση καυσίμου για να κινηθεί, καθώς η συνισταμένη των δυνάμεων που θα δέχεται το πλοίο και θα αντιτίθεται στην κίνησή του θα έχει μικρότερη τιμή. Βλέπουμε, επομένως, ότι και η αντίσταση που δέχεται ένα πλοίο, αν μετριασθεί μπορεί να συντελέσει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα την ελάττωση του Αποτυπώματος Άνθρακα που παράγει και, συνεπώς, την αποφυγή της περιβαλλοντικής ρύπανσης, ως ένα ποσοστό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΛΙΜΑΝΙΑ

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, με την επιβράδυνση των πλοίων κατά 10 με 15 μίλια ανά ώρα, καθώς αυτά προσεγγίζουν το λιμάνι άφιξης, είναι δυνατό να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό οι εκπεμπόμενοι ρύποι, καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα - αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην μεταβολή του κλίματος - με συνέπεια τη σημαντική ελάττωση του Αποτυπώματος Άνθρακα. Αυτό, όπως είναι προφανές, είναι υψίστης σημασίας ιδίως για τους κατοίκους που μένουν κοντά σε λιμάνια, καθώς υποφέρουν από τη 'βεβαρημένη' ατμόσφαιρα, λόγω των εκπομπών ρύπων των πλοίων.

Η συγκεκριμένη μελέτη βασίζεται στην εφαρμογή ενός ορίου ταχύτητας, το οποίο δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα πλοία, ώστε να επιτυγχάνεται η μείωση του Αποτυπώματος Άνθρακα. Η τιμή γύρω από την οποία ενδείκνυται να κυμαίνεται η ταχύτητα, καθώς προσεγγίζουν το λιμάνι είναι τα 8 μίλια ανά ώρα.

Η κατανάλωση και οι εκπομπές καυσίμου ενός πλοίου αυξάνονται, αυξανομένης της ταχύτητας. Αυτό σημαίνει ότι πλοία τα οποία πλέουν με υψηλές ταχύτητες εκπέμπουν περισσότερους ρύπους στην ατμόσφαιρα από ό, τι τα αργόπλοια πλοία.

Καθώς η ναυτιλία ευθύνεται για ένα περίπου 3% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε ολόκληρο τον πλανήτη, πολλά λιμάνια παγκοσμίως έχουν δεσμευθεί να λάβουν μέτρα για τη δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό, όπως είναι λογικό θα συντελέσει στη μείωση των ρύπων που απελευθερώνονται από τα πλοία και, κατά συνέπεια, την ελάττωση του ποσοστού κατά το οποίο ευθύνεται η ναυτιλιακή βιομηχανία για τη μόλυνση του περιβάλλοντος λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Είναι γεγονός ότι στη σημερινή εποχή, η ναυτιλία, αποτελεί τον πιο συντηρητικό, σε ό, τι αφορά τη ρύπανση του περιβάλλοντος μέσω εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τρόπο για την εξυπηρέτηση των εμπορικών μεταφορών, σε διεθνές επίπεδο.

Πολλές ναυτιλιακές εταιρίες παγκοσμίως, ερευνώντας το θέμα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και διαπιστώνοντας ότι η ναυτιλία καλύπτει περίπου ένα 3% των συνολικών εκπομπών σε όλο τον πλανήτη, κινούνται με γρήγορους ρυθμούς στην κατεύθυνση της εύρεσης λύσεων για τον περιορισμό τους. Διαπιστώνουν, φυσικά, ότι η επίτευξη της ελάττωσης των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, εκτός της προστασίας του περιβάλλοντος που θα είναι το άμεσο και οφθαλμοφανές αποτέλεσμα, θα είναι και πιο προσοδοφόρα για τις ίδιες τις εταιρίες. Η ‘πράσινη’ ναυτιλία, δηλαδή, θα αποφέρει μεγαλύτερα κέρδη στις εταιρίες, καθώς θα πραγματοποιούνται οι ίδιες εμπορικές μεταφορές με λιγότερη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας και του υδάτινου κόσμου, μέσω της ελάττωσης της κατανάλωσης καυσίμου.

Για να συμβεί αυτό το σημαντικό βήμα στη ναυτιλία, δηλαδή η απόδοση μεγαλύτερης προσοχής στην προστασία του περιβάλλοντος, οι εταιρίες ερευνούν τη δυνατότητα χρήσης πιο εξελιγμένων και έξυπνων τεχνικών κατά τις μεταφορές προϊόντων, προκειμένου να μειώσουν, σε σημαντικό βαθμό, την απαιτούμενη ποσότητα ενεργειακών αποθεμάτων.

Ορισμένες ναυτιλιακές εταιρίες προσπάθησαν να προβούν προς την κατεύθυνση της ‘πράσινης’ ναυτιλίας από νωρίς και σχεδιάζουν μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και, συνεπώς, ελάττωση του Αποτυπώματος Άνθρακα κατά ποσοστά που να αγγίζουν και το 25% περίπου, έως το 2020. Αυτό μπορεί, σύμφωνα με κάποιες, να γίνει εφικτό με τη μετασκευή του στόλου της εταιρίας και με την πιο ενεργειακά αποδοτική αξιοποίησή του.

Επιπρόσθετα, η πλεύση των πλοίων με πιο αργές ταχύτητες, όπως είναι εμφανές, εξοικονομεί χρήματα και άνθρακα, καθώς και παρέχει πιο ακριβείς πληροφορίες στους

πελάτες, όπως για παράδειγμα η ημερομηνία άφιξης. Έτσι, μειώνεται κατά πολύ το λειτουργικό κόστος, προστατεύεται σε υψηλό βαθμό το περιβάλλον και βελτιώνονται οι παρεχόμενες στους πελάτες υπηρεσίες. Είναι εφικτό, λοιπόν, να κινηθούν περισσότερες, ακόμη, ναυτιλιακές εταιρίες προς την κατεύθυνση της επίτευξης πιο αργών ταχυτήτων, μιας και, όπως προαναφέρθηκε, μειώνεται αρκετά το κόστος λειτουργίας του στόλου, πράγμα το οποίο αποτελεί σημαντικότατο κίνητρο.

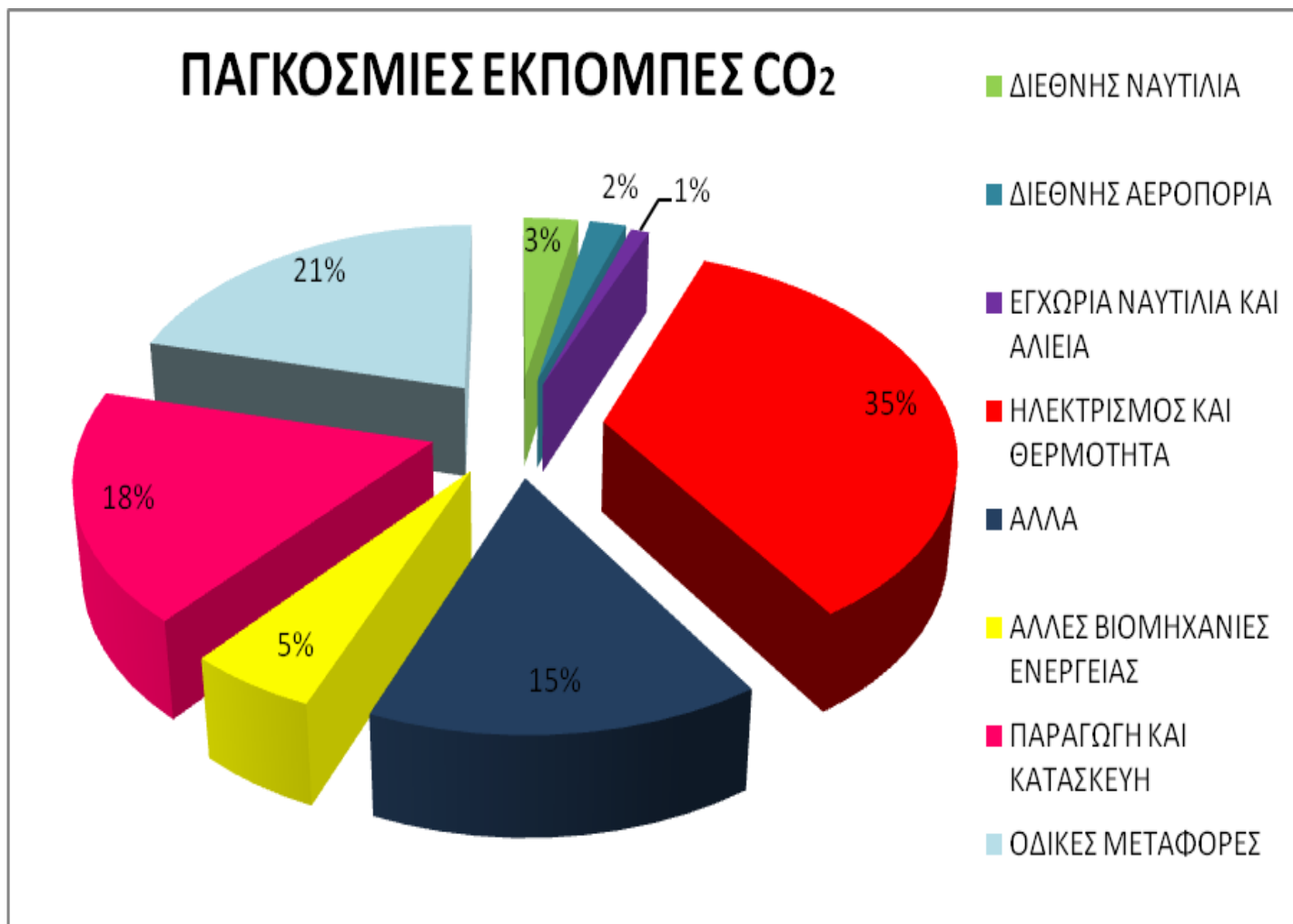
Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, η παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία έχει καταφέρει να μειώσει τις ταχύτητες πλεύσης των πλοίων κατά μέσο όρο κατά ένα ποσοστό 27%, από το 2008 και έπειτα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν εξοικονομηθεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας και εκπομπών καυσίμου και διοξειδίου του άνθρακα τα τελευταία χρόνια.

Έχει υπολογισθεί ότι αν τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων πλέουν στο εύρος ταχυτήτων 15-20 κόμβους, αντί του εύρους 20-25 κόμβους, δηλαδή με μείωση της ταχύτητας κατά ένα ποσοστό 20%, το ποσοστό της κατανάλωσης καυσίμου που γλιτώνουν ανέρχεται περίπου στο 40%. Αυτό σημαίνει ότι με τη μισή, περίπου, ποσοστιαία μείωση της ταχύτητας επιτυγχάνεται ελάττωση των εκπομπών καυσίμου κατά το διπλάσιο ποσοστό [5].

Η προσπάθεια επίτευξης αργών ταχυτήτων από τα πλοία, έτσι ώστε να ελαττωθούν δραστικά οι εκπομπές CO₂ και, επακόλουθα, το Αποτύπωμα Άνθρακα αποτελεί μια κίνηση η οποία, σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, ξεκίνησε από την εποχή του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου.

Γενικά, όμως, απαιτείται ένας συνδυασμός τεχνολογικά και λειτουργικά πιο αναπτυγμένων λειτουργιών, αλλά και η εισαγωγή καινούριων και μεγαλύτερου μεγέθους πλοίων, προκειμένου οι ναυτιλιακές εταιρίες να πετύχουν το στόχο που αναφέρθηκε πιο πάνω, δηλαδή (μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τα πλοία και του Αποτυπώματος Άνθρακα έως και 25% μέχρι το 2020). Πράγματι, έχει παρατηρηθεί, σημαντική βελτίωση σε αυτούς τους τομείς με εμφανές το στοιχείο της βελτίωσης της απόδοσης των κινητήρων των πλοίων.

Η ποσοστιαία επιβάρυνση του πλανήτη μέσω του Αποτυπώματος Άνθρακα, κατανέμεται σήμερα, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα:



Εικόνα 1
Παγκόσμια ποσοστά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε ποικίλες δραστηριότητες [5].

Πρόσθετοι τρόποι που θα μπορούσαν να συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό στη μείωση των εκπομπών καυσίμου των πλοίων είναι ο επιπλέον πιο προσεκτικός, αναλυτικός και αναπτυγμένος σχεδιασμός του περιβλήματος της γάστρας, της μηχανής και των προωστήριων μέσων. Έτσι, είναι εφικτό να μειωθεί περαιτέρω η εκπομπή CO₂ και κατ' επέκταση το παραγόμενο Αποτύπωμα Άνθρακα.

Άλλες μορφές ενέργειας που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είναι ακόμη και η αιολική, αλλά και η ηλιακή ενέργεια. Σαφώς, αυτές τα είδη ενέργειας, από μόνα τους, είναι αδύνατο να καλύψουν πλήρως όλο το εύρος λειτουργιών ενός πλοίου. Θα μπορούσαν όμως να χρησιμοποιηθούν επικουρικά σε ορισμένες από τις λειτουργίες του, όπως για παράδειγμα ο φωτισμός, συντελώντας και αυτά με τη σειρά τους σε κάποια στοιχειώδη μείωση της ποσότητας του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα και άρα και του Αποτυπώματος Άνθρακα του πλοίου. Μπορεί με τις εναλλακτικές αυτές μορφές ενέργειας να μην παρατηρηθεί δραστική ελάττωση του Αποτυπώματος Άνθρακα, καθώς θα σχετίζονται με λίγες από τις λειτουργίες του πλοίου και μόνο βοηθητικά, αλλά ακόμη και αυτό το μικρό βήμα προστιθέμενο σε άλλες ενέργειες, όπως αυτές που προαναφέρθηκαν παραπάνω είναι δυνατό να έχουν πολύ θετικά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΕΝΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Για τον υπολογισμό του Αποτυπώματος Άνθρακα του Πλοίου Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων έγιναν ορισμένες εκτιμήσεις για διάφορους παράγοντες που εμπλέκονται στη συγκεκριμένη μελέτη. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται σε πίνακες και μελέτες που έχουν κατά καιρούς δημοσιευθεί, όπως ακριβώς αναφέρονται και στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας.

Για τον περιορισμό στο ελάχιστο ή ακόμη και την εξάλειψη των λαθών, οι μελέτες και οι δημοσιεύσεις που ελήφθησαν υπόψη διασταυρώθηκαν και με άλλες αντίστοιχες μελέτες και στοιχεία, έτσι ώστε να διασφαλισθεί ότι δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις.

Οι εκτιμήσεις που πραγματοποιήθηκαν σημειώνονται παρακάτω:

- Θεωρούμε ότι τα Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων που εκτελούν μεταφορές φορτίων έχουν κατά πλειοψηφία μεταφορική ικανότητα τάξης μεγέθους 2000, 4000, 6000, 8000 και 10000 TEU.
- Λαμβάνουμε ως μέσο χρόνο ζωής ενός πλοίου τα 26 έτη.
- Θεωρούμε ότι ένα μέσο πλοίο βρίσκεται 292 ημέρες εν πλω και 73 ημέρες στο λιμάνι ανά έτος [6].
- Εξετάζουμε τα πλοία των 2000 TEU για μέσες ταχύτητες πλεύσης 14, 16, 18, 20 και 21 κόμβους (knots), ενώ τα πλοία των 4000, 6000, 8000 και 10000 TEU για ταχύτητες πλεύσης 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 κόμβους.
- Υπολογίζουμε τις ημερήσιες, εβδομαδιαίες και ετήσιες αναλώσεις για κάθε πλοίο και κάθε ταχύτητα, λαμβάνοντας υπόψη τα διαγράμματα αναλώσεων που δημοσιεύονται και αναφέρονται στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας.

- Θεωρούμε ότι όταν ένα πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι δαπανά το 5% του καυσίμου ντίζελ ανά ημέρα που θα καταλάωνε αν βρισκόταν εν πλω, στοιχείο που εμπεριέχεται στη βιβλιογραφία [6].
- Από μελέτες φαίνεται ότι η δαπανώμενη ενέργεια για την κατασκευή ενός πλοίου είναι το 1,2% του κόστους κατασκευής του [7].
- Εκτιμάται ότι το κόστος κατασκευής ενός πλοίου είναι το 90% του κόστους πώλησής του.
- Λαμβάνονται υπόψη σχετικές μέσες τιμές πώλησης των διαφόρων τύπων Πλοίων Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων, από μελέτες και διαγράμματα που περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία της εργασίας.
- Θεωρούμε μέση τιμή του καυσίμου ντίζελ τα 4\$/γαλόνι.

Δεδομένα

- Σύμφωνα με μελέτες, όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι καταναλώνει περίπου το $c_1=5\%=0,05$ της ενέργειας που θα κατανάλωνε αν ήταν εν πλω.
- Το 1 λίτρο αντιστοιχεί σε $c_2=0,264172052$ US gallons.
- Κάθε γαλόνι καυσίμου ντίζελ περιέχει 2778 γραμμάρια απλού άνθρακα. Κάθε γραμμάριο ατομικού άνθρακα, όταν οξειδώνεται με οξυγόνο, παράγει 3,66 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα (gCO_2). Με άλλα λόγια, το βάρος κάθε μορίου CO_2 είναι 3,66 φορές μεγαλύτερο από το βάρος ενός ατόμου άνθρακα. Σε ένα μέσο κινητήρα που λειτουργεί με καύση υγρού υδρογονάνθρακα, περίπου 99% του καυσίμου οξειδώνεται.
Επομένως, 1 γαλόνι καυσίμου ντίζελ εκπέμπει κατά την καύση του:
$$c_3 = 2778 \text{g} \cdot 3,66 \cdot 0,99 \Rightarrow c_3 = 10084,3 \text{ gCO}_2$$
- Συνεπώς το 1 λίτρο καυσίμου ντίζελ παράγει κατά μέσο όρο:
$$c_4 = c_2 \cdot c_3 = 0,264172052 \cdot 10084 \Rightarrow c_4 = 2664 \text{ gCO}_2$$
- Εκτιμώμενη τιμή καυσίμου ντίζελ: $c_5=4$ \$/gallon.
- Κόστος δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής πλοίου: $c_6 = 1,2\% = 0,012$ του κόστους του πλοίου.
- Υποθέτουμε ότι $\frac{\text{Κόστος Κατασκευής πλοίου}}{\text{Κόστος Αγοράς πλοίου}} = c_7 = 0,9$.
- Το 1 TEU αντιστοιχεί περίπου σε $c_8=12$ tones.
- Το ειδικό βάρος του πετρελαίου κίνησης είναι 0,79 kg/litre.
1 τόνος καυσίμου ντίζελ αντιστοιχεί σε $c_9 = \frac{1000}{0,79}$ litres.

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία παραγωγής του τύπου που υπολογίζει το Αποτύπωμα Άνθρακα του πλοίου.

Θεωρούμε τα ακόλουθα μεγέθη και κάνουμε τους απαιτούμενους υπολογισμούς:

- Μέγεθος πλοίου: A [TEU]
- Μεταφορική ικανότητα: $M = c_8 \cdot A \Rightarrow M = 12 \cdot A$ [tones]
- Χρόνος ζωής του πλοίου: T [years]
- Αριθμός ημερών που το πλοίο βρίσκεται εν πλω ανά έτος: a_1 [days/year]
- Αριθμός ημερών που το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι ανά έτος: a_2 [days/year]
- Ταχύτητα: V [knots]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ ανά ημέρα: W [tones/day]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ ανά έτος: $W \cdot a_1$
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ σε όλο το χρόνο ζωής του πλοίου: $W \cdot a_1 \cdot T$
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ ανά ημέρα σε [litres/day]:

$$W_l = W \cdot c_9 = W \cdot \frac{1000}{0,79}$$
 [litres/day]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ ανά ημέρα σε [gallons/day]:

$$W_g = W_l \cdot 0,264172052 = W_l \cdot c_2 \Rightarrow W_g = W \cdot c_9 \cdot c_2$$
 [gallons/day]
- Εκπομπές γραμμαρίων CO₂ ανά ημέρα πλεύσης:

$$W_c = W_l \cdot 2664 = W_l \cdot c_4 \Rightarrow W_c = W \cdot c_9 \cdot c_4$$
 [gCO₂/day]
- Αποτύπωμα Άνθρακα μεταφοράς:

$$CF_M = \frac{W_c}{V \cdot 24 \cdot M}$$
 [gCO₂/tn*sm]
- Κόστος αγοράς του πλοίου: K_α [\$]
- Κόστος κατασκευής του πλοίου: $K_\kappa = c_7 \cdot K_\alpha \Rightarrow K_\kappa = 0,9 \cdot K_\alpha$ [\$]
- Κόστος ενέργειας κατασκευής του πλοίου:

$$K_{EK} = c_6 \cdot K_\kappa \Rightarrow K_{EK} = 1,2\% \cdot K_\kappa$$
 [\$]

- Ενέργεια κατασκευής του πλοίου ανηγμένη σε γαλόνια καυσίμου ντίζελ με εκτιμώμενη τιμή καυσίμου ντίζελ $c_5 = 4 \text{ \$/gallon}$:

$$E_k = \frac{K_{EK}}{c_5} \Rightarrow E_k = \frac{K_{EK}}{4} \quad [\text{gallons}]$$

- Παραγόμενα καύσιμα κατά την κατασκευή του πλοίου:

$$f = E_k \cdot c_3 \Rightarrow f = E_k \cdot 10084 \quad [\text{gCO}_2]$$

- Συνολική απόσταση που διανύει το πλοίο σε όλο το χρόνο ζωής του:

$$\delta = \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T \quad [\text{sm}]$$

- Αποτύπωμα Άνθρακα κατασκευής του πλοίου:

$$CF_k = \frac{f}{M \cdot \delta} \quad [\text{gCO}_2/\text{tn*sm}]$$

- Συνολικός χρόνος παραμονής του πλοίου στο λιμάνι σε όλο το χρόνο ζωής του πλοίου:

$$t_\lambda = \alpha_2 \cdot T \quad [\text{days}]$$

- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ στο λιμάνι σε όλο το χρόνο ζωής του:

$$W_\lambda = c_1 \cdot t_\lambda \cdot W_g \Rightarrow W_\lambda = 0,05 \cdot t_\lambda \cdot W_g \quad [\text{gallons}]$$

- Εκπομπές Άνθρακα στο λιμάνι σε όλο το χρόνο ζωής του:

$$Y = W_\lambda \cdot c_3 \Rightarrow Y = W_\lambda \cdot 10084 \quad [\text{gCO}_2]$$

- Αποτύπωμα Άνθρακα στο λιμάνι:

$$CF_\lambda = \frac{Y}{M \cdot \delta} \quad [\text{gCO}_2/\text{tn*sm}]$$

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν, το συνολικό Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint) του πλοίου εκφρασμένο σε $[\text{gCO}_2/\text{tn*sm}]$ θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned}
CF_{SHIP} &= CF_M + CF_K + CF_\Lambda = \frac{W_c}{V \cdot 24 \cdot M} + \frac{f}{M \cdot \delta} + \frac{Y}{M \cdot \delta} = \\
&= \frac{W \cdot c_9 \cdot c_4}{V \cdot 24 \cdot c_8 \cdot A} + \frac{E_\kappa \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} + \frac{W_\Lambda \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} = \\
&= \frac{W \cdot c_9 \cdot c_4}{V \cdot 24 \cdot c_8 \cdot A} + \frac{\frac{K_{EK}}{c_5} \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} + \frac{c_1 \cdot t_\Lambda \cdot W_g \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} = \\
&= \frac{W \cdot c_9 \cdot c_4}{V \cdot 24 \cdot c_8 \cdot A} + \frac{\frac{c_6 \cdot K_\kappa}{c_5} \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} + \frac{c_1 \cdot t_\Lambda \cdot W \cdot c_9 \cdot c_2 \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} = \\
&= \frac{W \cdot c_9 \cdot c_4}{V \cdot 24 \cdot c_8 \cdot A} + \frac{\frac{c_6 \cdot c_7 \cdot K_\alpha}{c_5} \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} + \frac{c_1 \cdot t_\Lambda \cdot W \cdot c_9 \cdot c_2 \cdot c_3}{c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot V \cdot 24 \cdot T} \Rightarrow \\
CF_{SHIP} &= \frac{c_4 \cdot c_9 \cdot W}{24 \cdot V \cdot c_8 \cdot A} + \frac{c_6 \cdot c_7 \cdot K_\alpha \cdot c_3}{24 \cdot V \cdot c_5 \cdot c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot T} + \frac{c_1 \cdot t_\Lambda \cdot W \cdot c_9 \cdot c_2 \cdot c_3}{24 \cdot V \cdot c_8 \cdot A \cdot \alpha_1 \cdot T} \text{ [gCO}_2 \text{ / tn * sm]}
\end{aligned}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΙ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΕΝΟΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ

Για να ξεκινήσουμε τη μελέτη υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα (Carbon Footprint) του φορτηγού, θα πρέπει να κάνουμε κάποιες εκτιμήσεις για διάφορους παράγοντες που εμπλέκονται στη συγκεκριμένη μελέτη.

Αυτές οι εκτιμήσεις, οι οποίες επισημαίνονται παρακάτω, πραγματοποιήθηκαν βάσει στοιχείων που συλλέξαμε από εταιρίες εμπορίας φορτηγών αυτοκινήτων και σχετικές μελέτες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας:

- Θεωρούμε φορτηγό με μεταφορική ικανότητα 2 TEU=24 tones.
- Λαμβάνουμε ως μέσο χρόνο ζωής του φορτηγού τα 9 έτη.
- Θεωρούμε ότι το φορτηγό παράλληλα με την κίνησή του με φορτίο θα καλύπτει επιπλέον 50 χιλιόμετρα ανά ημέρα χωρίς φορτίο.
- Υποθέτουμε πως η μέγιστη απόσταση που θα διανύσει το φορτηγό ανά ημέρα κινούμενο με φορτίο είναι 750 χιλιόμετρα (ένα 12ωρο, ένας οδηγός).
- Εκτιμούμε ότι αποστάσεις S που είναι μεγαλύτερες από 750 χιλιόμετρα, θα τις διανύσει σε $\frac{S}{750}$ ημέρες και έπειτα θα επιστρέψει κενό στη βάση του.
- Λαμβάνουμε ως χρόνο κίνησης του φορτηγού 5 ημέρες ανά εβδομάδα και 46 εβδομάδες ανά έτος.
- Θεωρούμε ως μέση ανάλωση καυσίμου ντίζελ, όταν το φορτηγό κινείται μαζί με το φορτίο, τα 0,476 litres/km.
- Κάνουμε την εκτίμηση ότι η μέση τιμή του κόστους κατασκευής του φορτηγού είναι το 90% της τιμής πώλησής του (περίπου 180000 €).

- Από μελέτες φαίνεται ότι η δαπανώμενη ενέργεια κατασκευής του φορτηγού είναι το 1,2% του κόστους του.
- Χρησιμοποιούμε ως μέση τιμή καυσίμου ντίζελ τα 4\$/gallon.

Όπως θα δούμε παρακάτω, στη συγκεκριμένη μελέτη, αφού υπολογισθούν οι εκπομπές CO₂ κατά το χρόνο μεταφοράς του φορτίου με το φορτηγό, θα υπολογίσουμε και την επίπτωση που θα έχουν στο περιβάλλον η κίνηση του φορτηγού χωρίς φορτίο (κενό), καθώς και η ενέργεια που δαπανάται για την κατασκευή του φορτηγού. Στη συνέχεια, κάνουμε αναγωγή των μεγεθών αυτών σε χιλιόμετρα μεταφερόμενου φορτίου.

Δεδομένα

- Το 1 λίτρο αντιστοιχεί σε $c_2 = 0,264172052$ US gallons.

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, 1 γαλόνι καυσίμου ντίζελ εκπέμπει κατά την καύση του:

$$c_3 = 2778g \cdot 3,66 \cdot 0,99 \Rightarrow c_3 = 10084,3 \text{ gCO}_2$$

- Συνεπώς, το 1 λίτρο καυσίμου ντίζελ παράγει κατά μέσο όρο $c_4 = c_2 \cdot c_3 = 0,264172052 \cdot 10084 \Rightarrow c_4 = 2664 \text{ gCO}_2$
- Εκτιμώμενη τιμή καυσίμου ντίζελ: $c_5 = 4$ \$/gallon.
- Κόστος δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής φορτηγού: $c_6 = 1,2\% = 0,012$ του κόστους του φορτηγού.

$$\text{Υποθέτουμε ότι } \frac{\text{Κόστος Κατασκευής φορτηγού}}{\text{Κόστος Αγοράς φορτηγού}} = c_7 = 0,9.$$

- Θεωρούμε ότι το μεταφερόμενο από το φορτηγό φορτίο έχει βάρος κατά μέσο όρο 24 tones. Το καθαρό βάρος του φορτηγού χωρίς φορτίο (κενό) είναι $B_K = 18$ tones. Συνεπώς το μικτό βάρος του φορτηγού μαζί, δηλαδή, με το μεταφερόμενο φορτίο είναι:
 $B_\Phi = 24 + B_K \Rightarrow B_\Phi = 24 + 18 \Rightarrow B_\Phi = 42$ tones

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία παραγωγής του τύπου που υπολογίζει το Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint) του φορτηγού (truck) που μεταφέρει το εμπόρευμα από τον τόπο παραγωγής του στο λιμάνι προκειμένου να γίνει η φόρτωσή του στο πλοίο, αλλά και από το λιμάνι όπου γίνεται η εκφόρτωση του προϊόντος από το πλοίο ώστε να διανεμηθεί στον τελικό καταναλωτή.

Θεωρούμε τα ακόλουθα μεγέθη και κάνουμε τους απαιτούμενους υπολογισμούς:

- Μεταφορική ικανότητα: M [tones], όπου θεωρούμε ότι κατά μέσο όρο $M=24$ tones, όπως προαναφέρθηκε.
- Χρόνος ζωής του φορτηγού: T [years]
- Μέση απόσταση που διανύει το φορτηγό ανά ημέρα: δ_1 [km/day]
- Χρόνος (σε εβδομάδες) κίνησης του φορτηγού ανά έτος: t_1 [weeks/year]
- Χρόνος (σε ημέρες) κίνησης του φορτηγού ανά εβδομάδα: t_2 [days/week]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ για κίνηση του φορτηγού με φορτίο ανά χιλιομετρική απόσταση που διανύει: W_{ϕ_1} [litres/km]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ για κίνηση του φορτηγού με φορτίο ανά ημέρα:
 $W_{\phi_2} = W_{\phi_1} \cdot \delta_1$ [litres/day]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ για κίνηση του φορτηγού με φορτίο σε όλο το χρόνο ζωής του: $W_{\phi} = W_{\phi_2} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T$ [litres]
- Εκπομπές Άνθρακα του φορτηγού σε όλο το χρόνο ζωής του:
 $Y_1 = c_4 \cdot W_{\phi} \Rightarrow Y_1 = 2664 \cdot W_{\phi}$ [gCO₂]
- Συνολική απόσταση που διανύει το φορτηγό για με φορτίο σε όλο το χρόνο ζωής του: $\delta_{ολ} = \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T$ [km]
- Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού που προκύπτει κατά τη μεταφορά του φορτίου:
 $CF_{\phi} = \frac{Y_1}{M \cdot \delta_{ολ}}$ [gCO₂/tn*km]
- Μέση απόσταση που διανύει το φορτηγό ανά ημέρα, χωρίς φορτίο (κενό):
 δ_2 [km/day]
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ του φορτηγού, χωρίς φορτίο (κενό) σε [litres/km]:
 $W_{K1} = W_{\phi_1} \cdot \frac{B_K}{B_{\phi}} \Rightarrow W_{K1} = W_{\phi_1} \cdot \frac{18}{42}$ [litres/km]

- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ του φορτηγού, χωρίς φορτίο (κενό) σε [litres/day]:

$$W_{K2} = W_{K1} \cdot \delta_2 \text{ [litres/day]}$$
- Ανάλωση καυσίμου ντίζελ του φορτηγού, χωρίς φορτίο (κενό) σε όλο το χρόνο ζωής του: $W_K = W_{K2} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T \text{ [litres]}$
- Εκπομπές Άνθρακα του φορτηγού, χωρίς φορτίο (κενό) σε όλο το χρόνο ζωής του: $Y_2 = c_4 \cdot W_K \Rightarrow Y_2 = 2664 \cdot W_K \text{ [gCO}_2\text{]}$
- Πρόσθετο Αποτύπωμα Άνθρακα του φορτηγού που προκύπτει κατά την κίνησή του χωρίς φορτίο (κενό):

$$CF_{X\Phi} = \frac{Y_2}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} \text{ [gCO}_2\text{/tn*km]}$$
- Κόστος αγοράς του φορτηγού: $K_\alpha \text{ [\$]}$
- Κόστος κατασκευής του φορτηγού: $K_\kappa = 0,9 \cdot K_\alpha \Rightarrow K_\kappa = c_7 \cdot K_\alpha \text{ [\$]}$
- Κόστος ενέργειας κατασκευής του φορτηγού:

$$K_{EK} = c_6 \cdot K_\kappa \Rightarrow K_{EK} = 1,2\% \cdot K_\kappa \text{ [\$]}$$
- Ενέργεια κατασκευής του φορτηγού ανηγμένη σε γαλόνια καυσίμου ντίζελ με εκτιμώμενη τιμή καυσίμου ντίζελ $c_5 = 4 \text{ \$/gallon}$:

$$E_\kappa = \frac{K_{EK}}{c_5} \Rightarrow E_\kappa = \frac{K_{EK}}{4} \text{ [gallons]}$$
- Παραγόμενα καύσιμα κατά την κατασκευή του φορτηγού:

$$f = E_\kappa \cdot c_3 \Rightarrow f = E_\kappa \cdot 10084 \text{ [gCO}_2\text{]}$$
- Πρόσθετο Αποτύπωμα Άνθρακα κατασκευής του φορτηγού:

$$CF_K = \frac{f}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} \text{ [gCO}_2\text{/tn*km]}$$

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν, το συνολικό Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint) σε $[\text{gCO}_2\text{/tn*km}]$ του φορτηγού (truck) θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned}
CF_{TRUCK} &= CF_{\Phi} + CF_{X\Phi} + CF_K = \frac{Y_1}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} + \frac{Y_2}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} + \frac{f}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} = \\
&= \frac{c_4 \cdot W_{\Phi} + c_4 \cdot W_K + E_K \cdot c_3}{M \cdot \delta_{O\Lambda}} = \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 2} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + c_4 \cdot W_{K 2} \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + \frac{K_{EK}}{c_5} \cdot c_3}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} = \\
&= \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + c_4 \cdot W_{K 1} \cdot \delta_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + \frac{c_6 \cdot K_K}{c_5} \cdot c_3}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} = \\
&= \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot \frac{B_K}{B_{\Phi}} \cdot \delta_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T + \frac{c_6 \cdot c_7 \cdot K_{\alpha}}{c_5} \cdot c_3}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} = \\
&= \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} + \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot \frac{B_K}{B_{\Phi}} \cdot \delta_2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} + \frac{\frac{c_6 \cdot c_7 \cdot K_{\alpha}}{c_5} \cdot c_3}{M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} \Rightarrow \\
\Rightarrow CF_{TRUCK} &= \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1}}{M} + \frac{c_4 \cdot W_{\Phi 1} \cdot B_K \cdot \delta_2}{B_{\Phi} \cdot M \cdot \delta_1} + \frac{c_3 \cdot c_6 \cdot c_7 \cdot K_{\alpha}}{c_5 \cdot M \cdot \delta_1 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot T} \text{ [gCO}_2 \text{ / tn * km]}
\end{aligned}$$

Με βάση τους υπολογισμούς που έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση των παραπάνω τύπων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ενώ η κίνηση του φορτηγού χωρίς φορτίο μπορεί να συμμετέχει σημαντικά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο μεταφερόμενου φορτίου, η δαπανώμενη ενέργεια κόστους κατασκευής του φορτηγού έχει πολύ μικρή συμμετοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

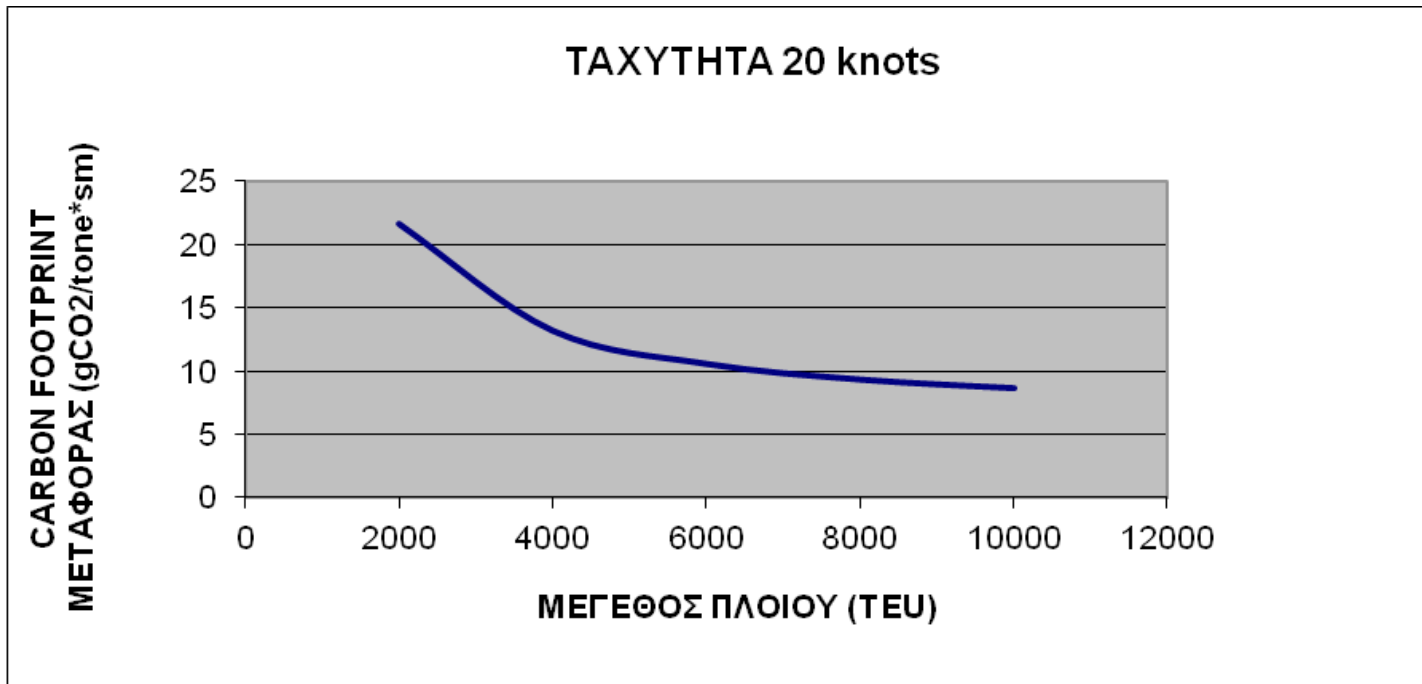
ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ						
1	TEU	=>	12	tones		
1	litre	=>	0,26417	US gallons		
1	litre	=>	2664	gCO ₂		
1	US gallon	=>	10084,3	gCO ₂		
1	US gallon	=>	4	\$	(τιμή Fuel Diesel)	
<p>Κόστος δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής πλοίου = 1,20% του κόστους του πλοίου</p> <p>Όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι καταναλώνει το 5% της ενέργειας που θα κατανάλωνε αν ήταν εν πλω.</p>						

13.1. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων με σταθερή ταχύτητα 20 κόμβους

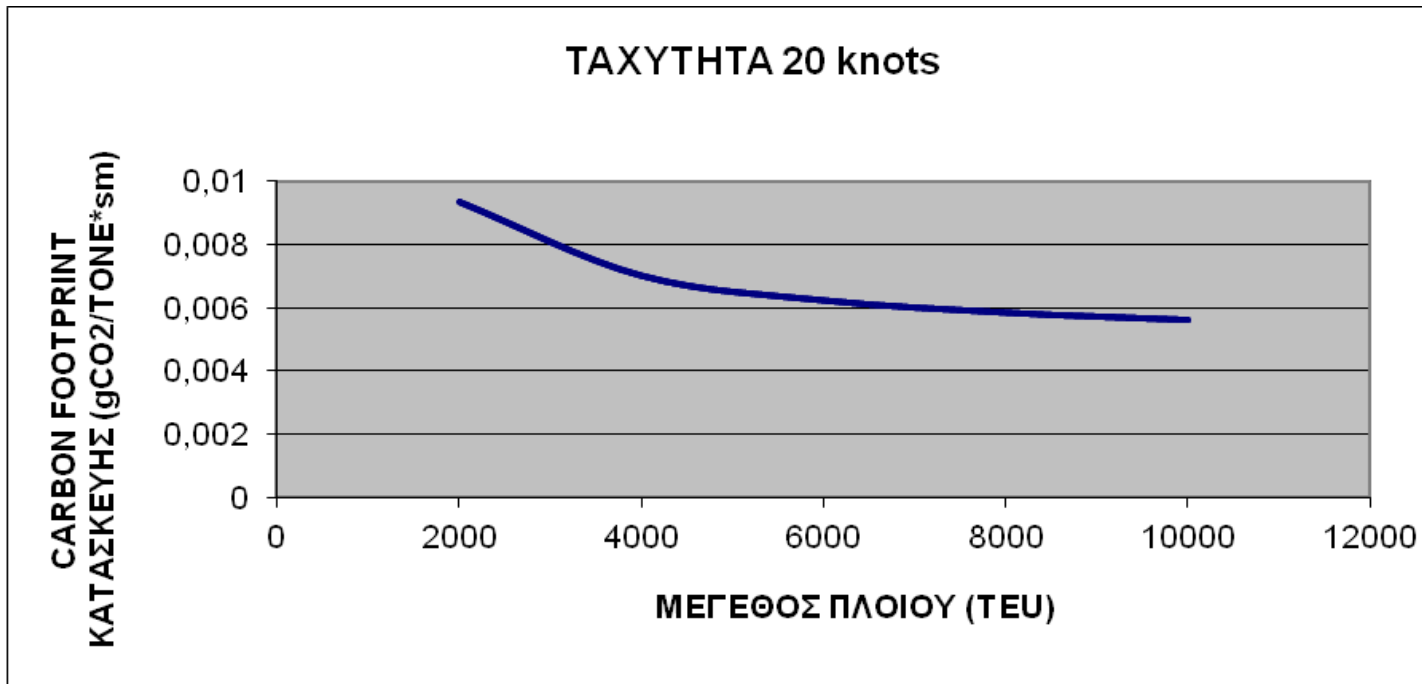
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
2.000	24.000	26	292	73	20	74	21.608	561.808	93.671	24.745	250	21,66
4.000	48.000	26	292	73	20	90	26.280	683.280	113.924	30.096	303	13,17
6.000	72.000	26	292	73	20	108	31.536	819.936	136.709	36.115	364	10,54
8.000	96.000	26	292	73	20	127	37.084	964.184	160.759	42.468	428	9,29
10.000	120.000	26	292	73	20	147	42.924	1.116.024	186.076	49.156	496	8,61

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
2.000	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	3.644.160	0,01
4.000	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	3.644.160	0,01
6.000	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	3.644.160	0,01
8.000	75.000.000	67.500.000	810.000	202.500	2.042	3.644.160	0,01
10.000	90.000.000	81.000.000	972.000	243.000	2.450	3.644.160	0,01

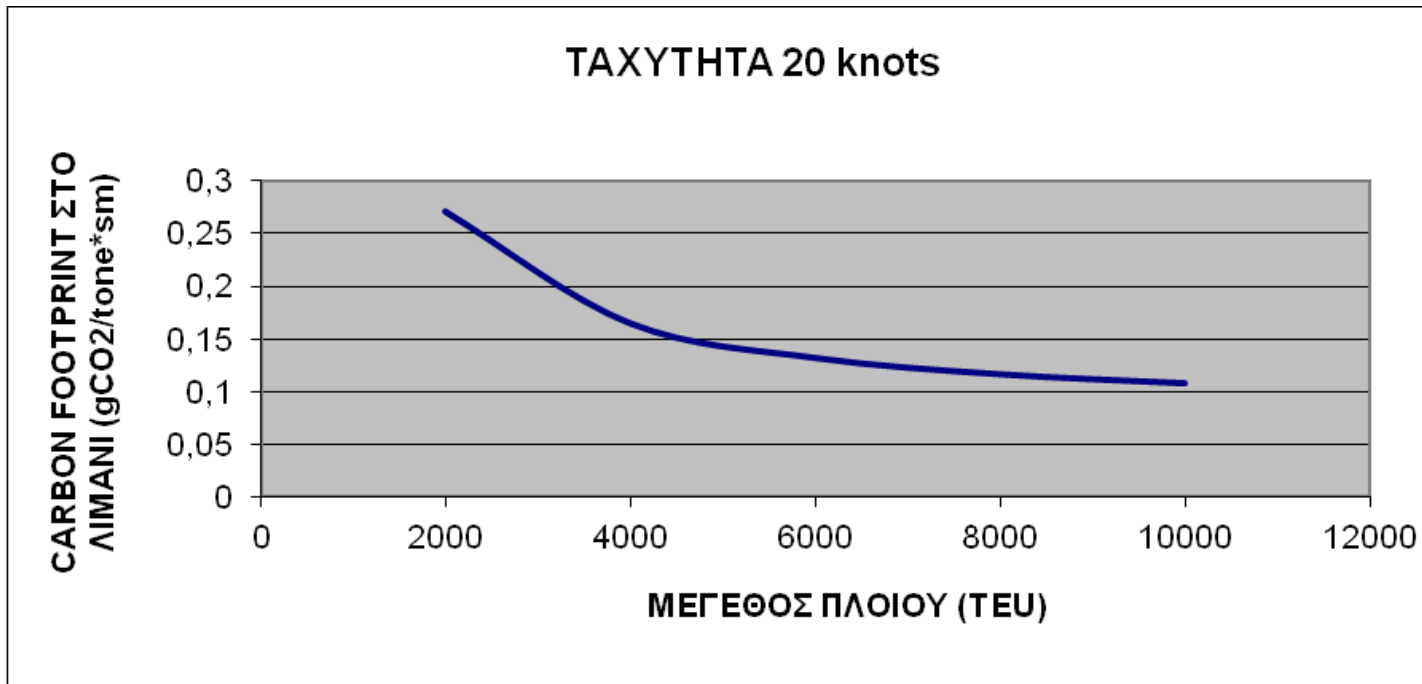
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO₂ / tone*sm]
2.000	1.898	2.348.322	23.681	0,27	21,94
4.000	1.898	2.856.068	28.802	0,16	13,34
6.000	1.898	3.427.281	34.562	0,13	10,68
8.000	1.898	4.030.229	40.642	0,12	9,42
10.000	1.898	4.664.911	47.043	0,11	8,72



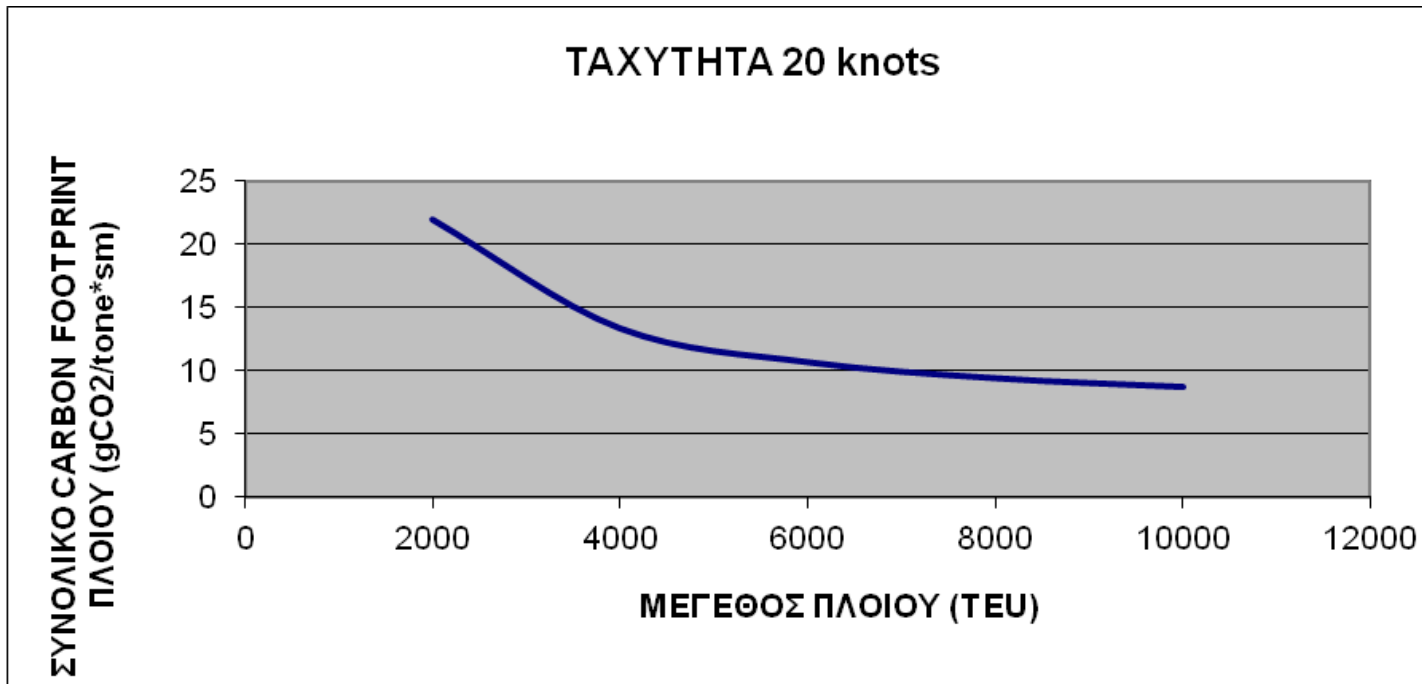
Διάγραμμα 1



Διάγραμμα 2



Διάγραμμα 3



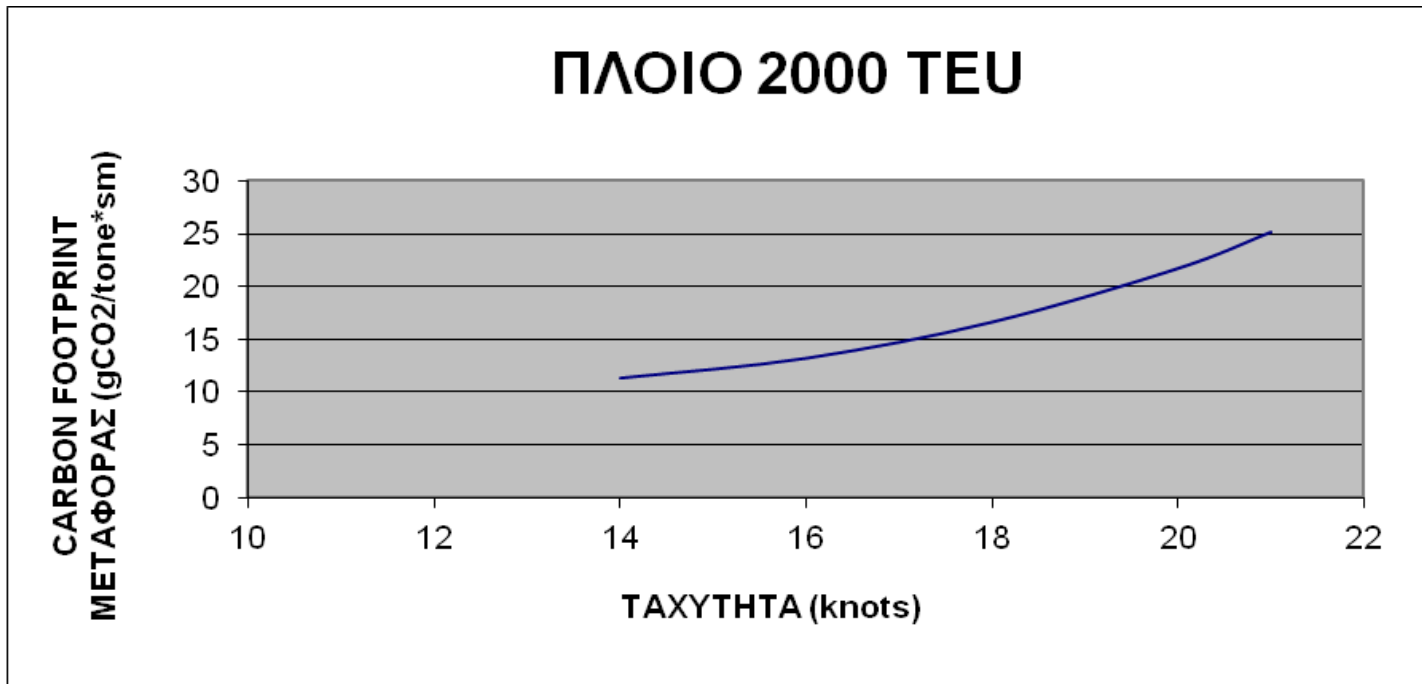
Διάγραμμα 4

13.2. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 2000 TEU για τις διάφορες

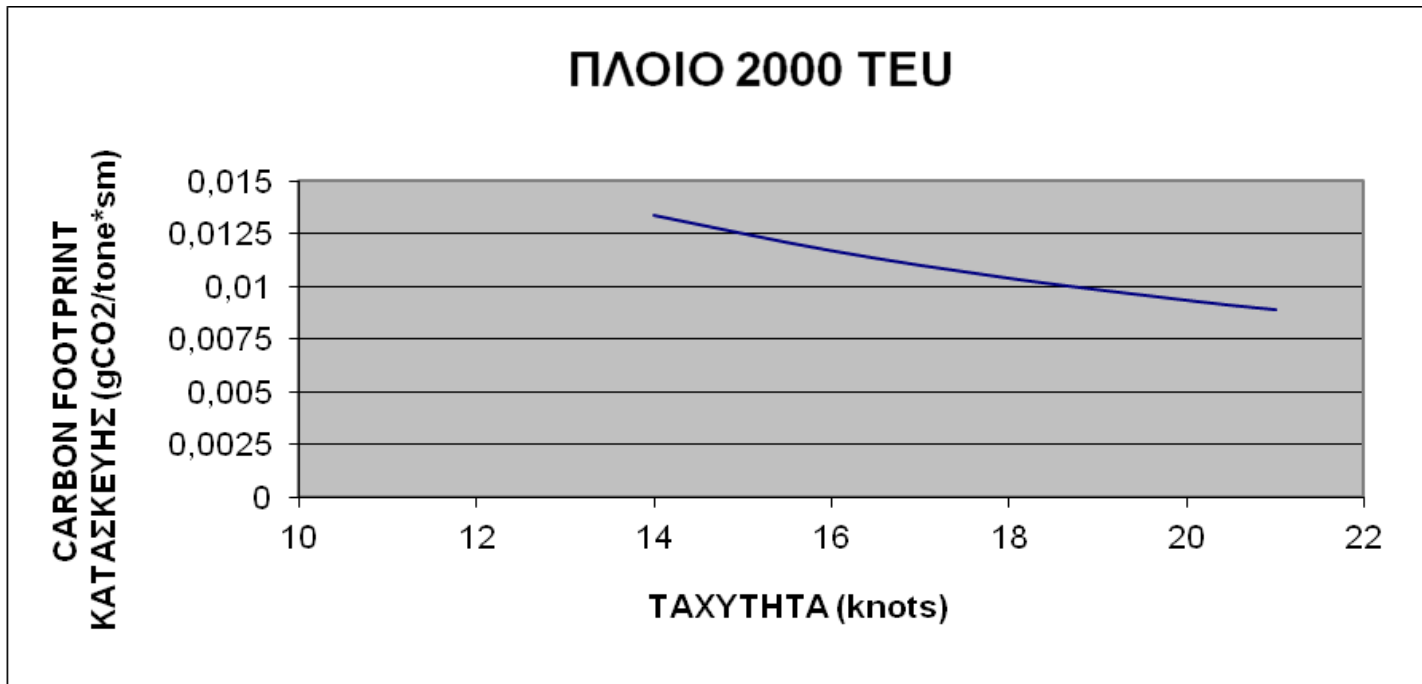
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
2.000	24.000	26	292	73	14	27	7.884	204.984	34.177	9.029	91	11,29
2.000	24.000	26	292	73	16	36	10.512	273.312	45.570	12.038	121	13,17
2.000	24.000	26	292	73	18	51	14.892	387.192	64.557	17.054	172	16,59
2.000	24.000	26	292	73	20	74	21.608	561.808	93.671	24.745	250	21,66
2.000	24.000	26	292	73	21	90	26.280	683.280	113.924	30.096	303	25,09

ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
14	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	2.550.912	0,01
16	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	2.915.328	0,01
18	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	3.279.744	0,01
20	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	3.644.160	0,01
21	30.000.000	27.000.000	324.000	81.000	817	3.826.368	0,01

TAXYTHTA [knots]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO₂ / tone*sm]
14	1.898	856.820	8.640	0,14	11,45
16	1.898	1.142.427	11.521	0,16	13,35
18	1.898	1.618.438	16.321	0,21	16,81
20	1.898	2.348.322	23.681	0,27	21,94
21	1.898	2.856.068	28.802	0,31	25,41

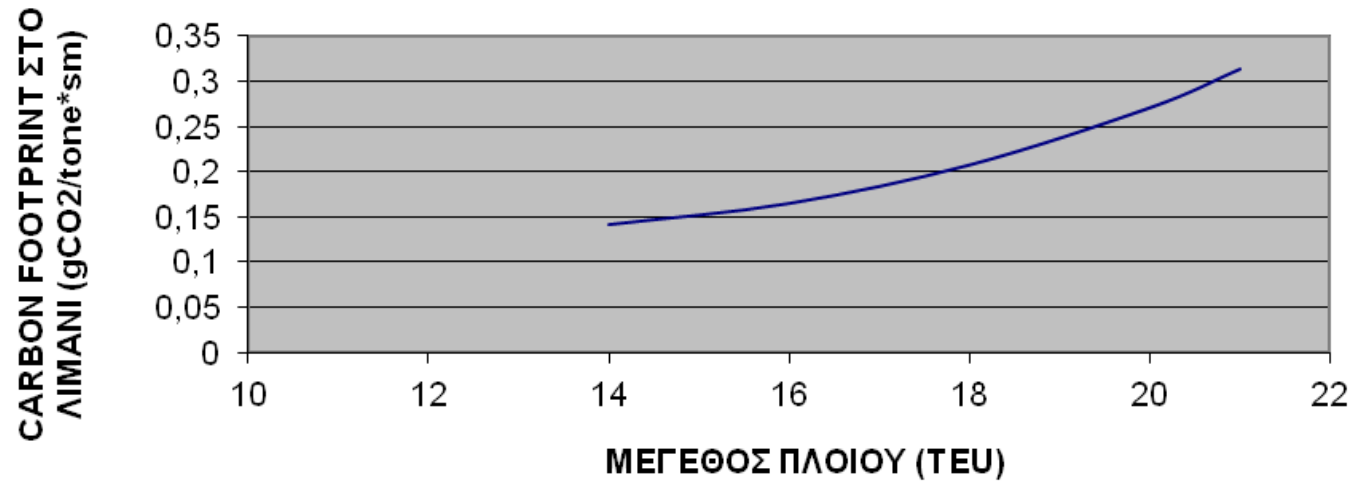


Διάγραμμα 5



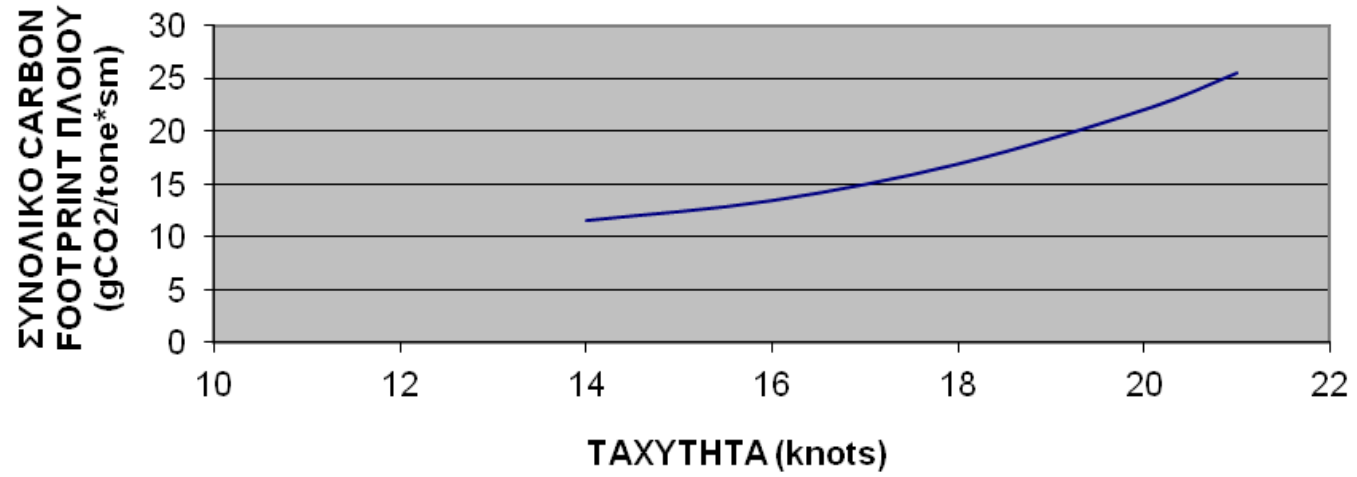
Διάγραμμα 6

ΠΛΟΙΟ 2000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 7

ΠΛΟΙΟ 2000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 8

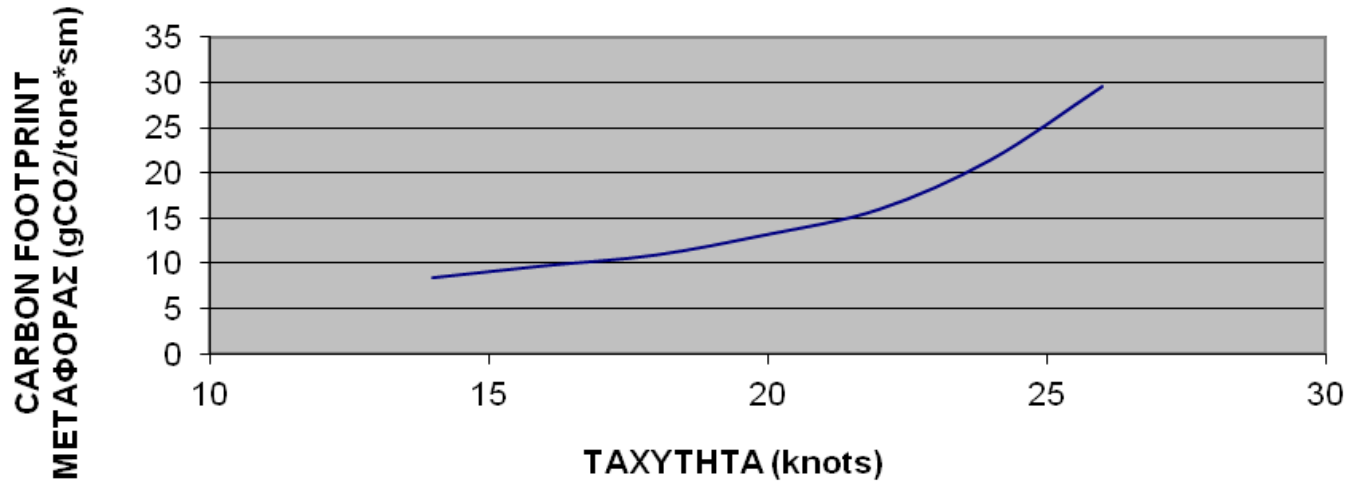
13.3. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 4000 TEU για τις διάφορες

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
4.000	48.000	26	292	73	14	40	11.680	303.680	50.633	13.376	135	8,36
4.000	48.000	26	292	73	16	53	15.476	402.376	67.089	17.723	179	9,70
4.000	48.000	26	292	73	18	67	19.564	508.664	84.810	22.404	226	10,90
4.000	48.000	26	292	73	20	90	26.280	683.280	113.924	30.096	303	13,17
4.000	48.000	26	292	73	22	120	35.040	911.040	151.899	40.127	405	15,97
4.000	48.000	26	292	73	24	176	51.392	1.336.192	222.785	58.854	593	21,47
4.000	48.000	26	292	73	26	263	76.796	1.996.696	332.911	87.946	887	29,61

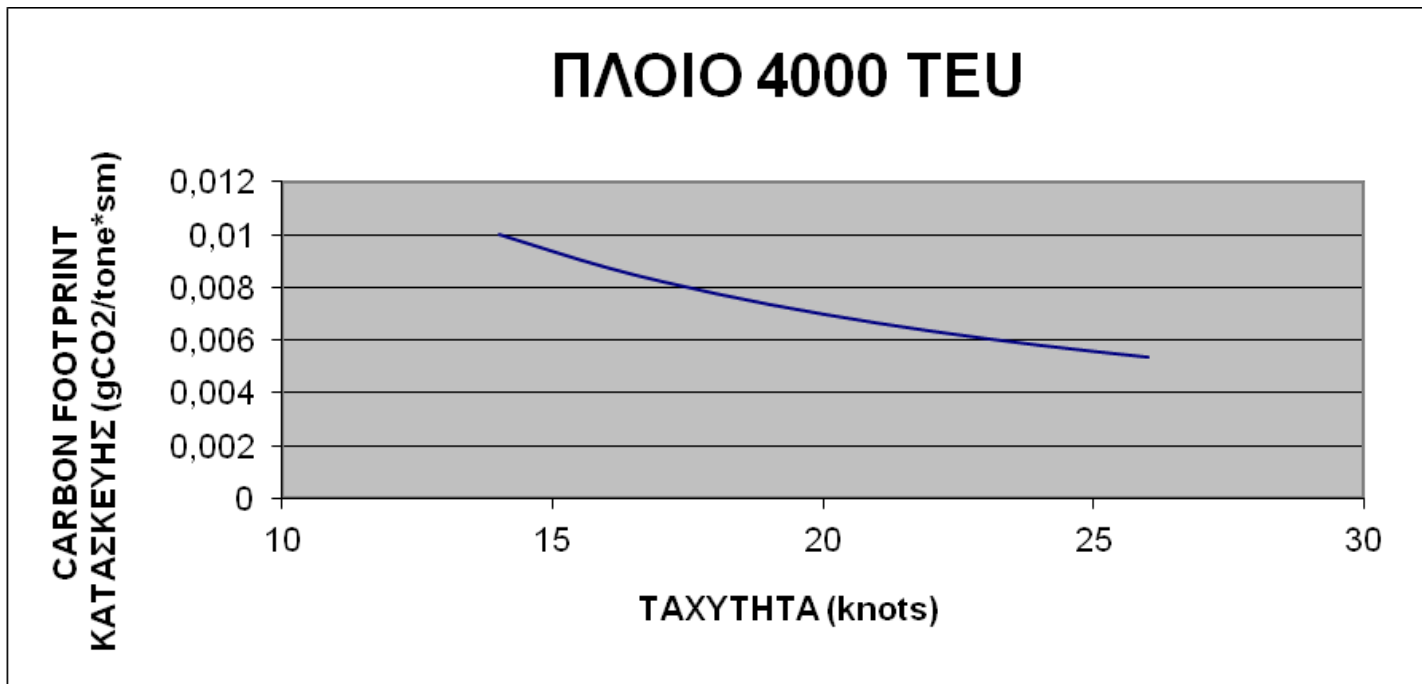
ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
14	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	2.550.912	0,01
16	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	2.915.328	0,01
18	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	3.279.744	0,01
20	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	3.644.160	0,01
22	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	4.008.576	0,01
24	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	4.372.992	0,01
26	45.000.000	40.500.000	486.000	121.500	1.225	4.737.408	0,01

TAXYTHTA [knots]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO ₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO ₂ / tone*sm]
14	1.898	1.269.363	12.801	0,10	8,48
16	1.898	1.681.907	16.961	0,12	9,83
18	1.898	2.126.184	21.441	0,14	11,04
20	1.898	2.856.068	28.802	0,16	13,34
22	1.898	3.808.090	38.402	0,20	16,17
24	1.898	5.585.199	56.323	0,27	21,74
26	1.898	8.346.065	84.165	0,37	29,99

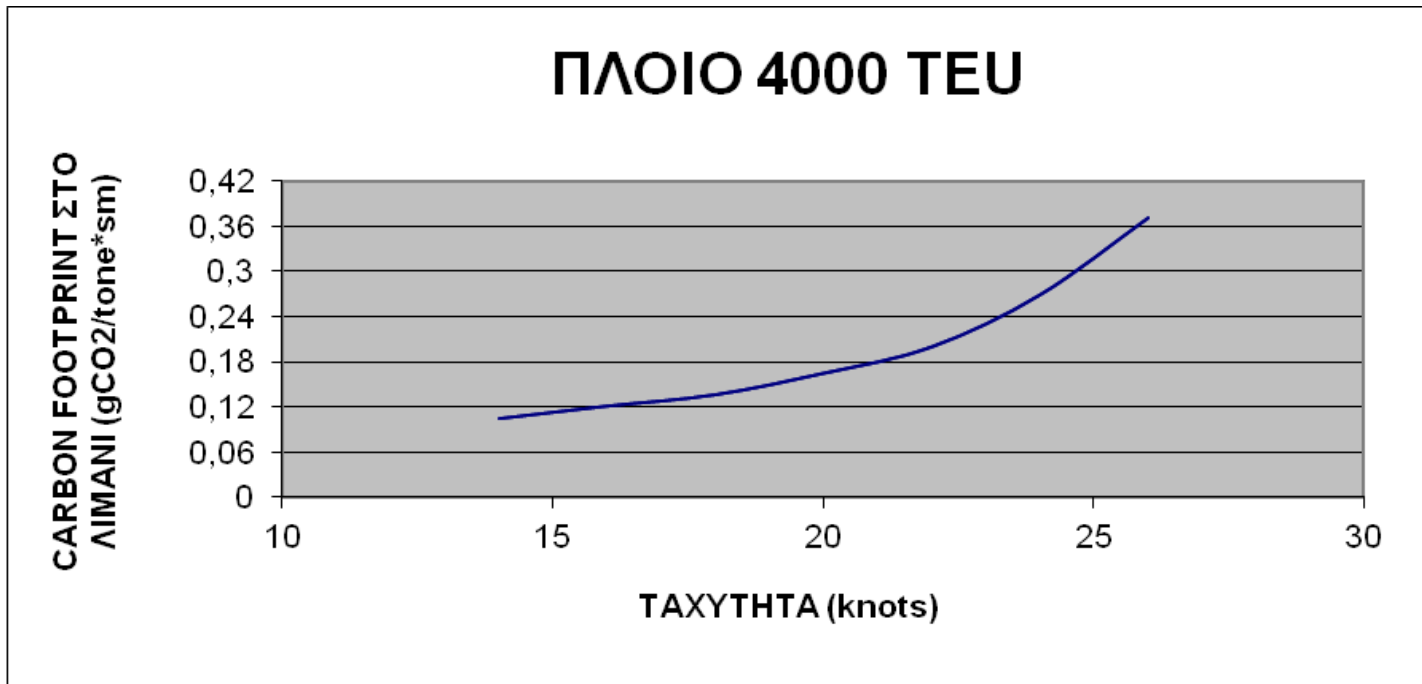
ΠΛΟΙΟ 4000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 9



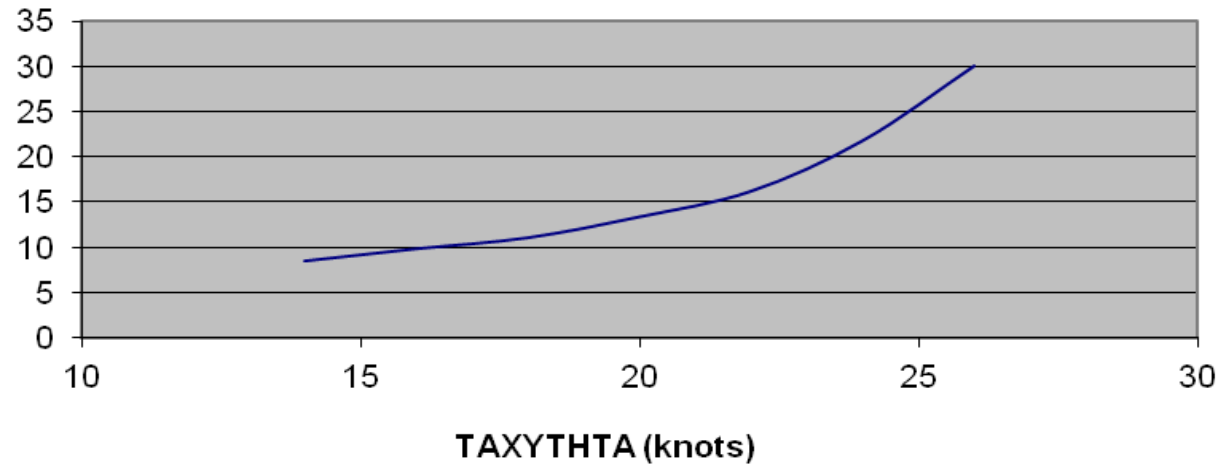
Διάγραμμα 10



Διάγραμμα 11

ΠΛΟΙΟ 4000 ΤΕΥ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT
ΠΛΟΙΟΥ (gCO₂/tone*sm)



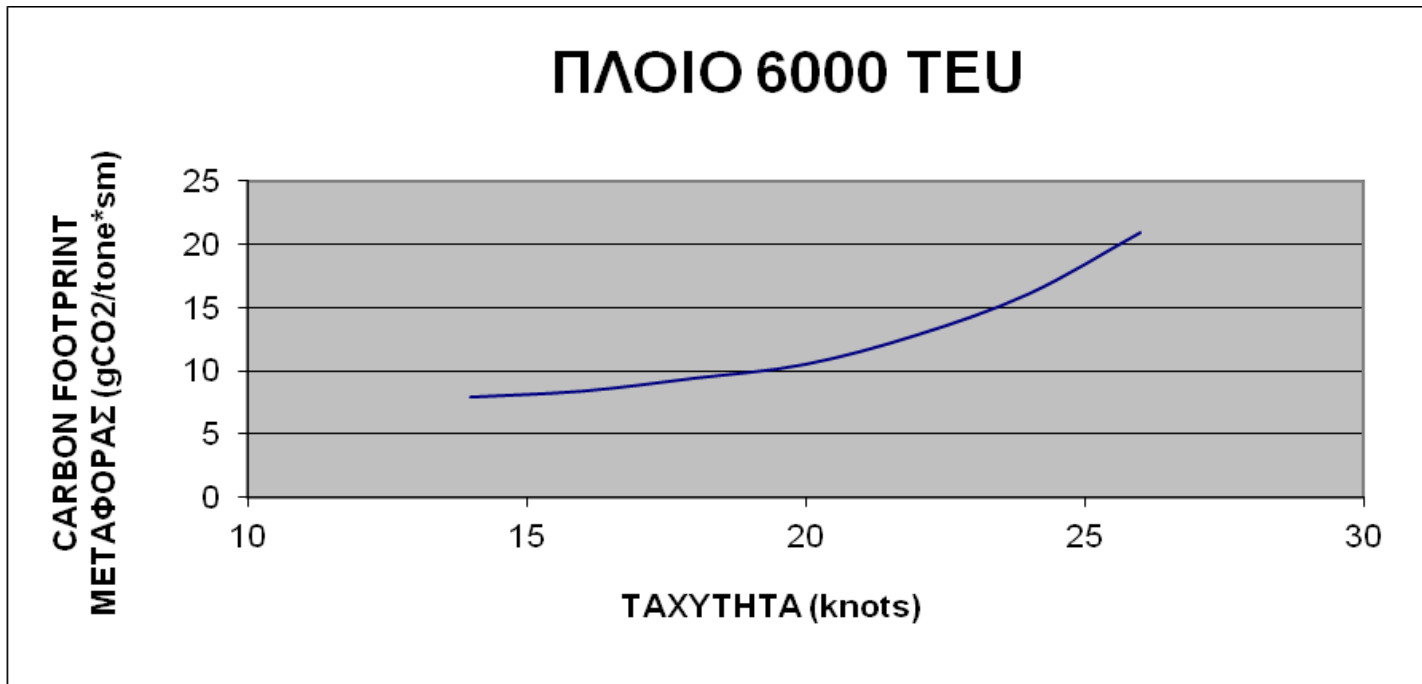
Διάγραμμα 12

13.4. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 6000 TEU για τις διάφορες

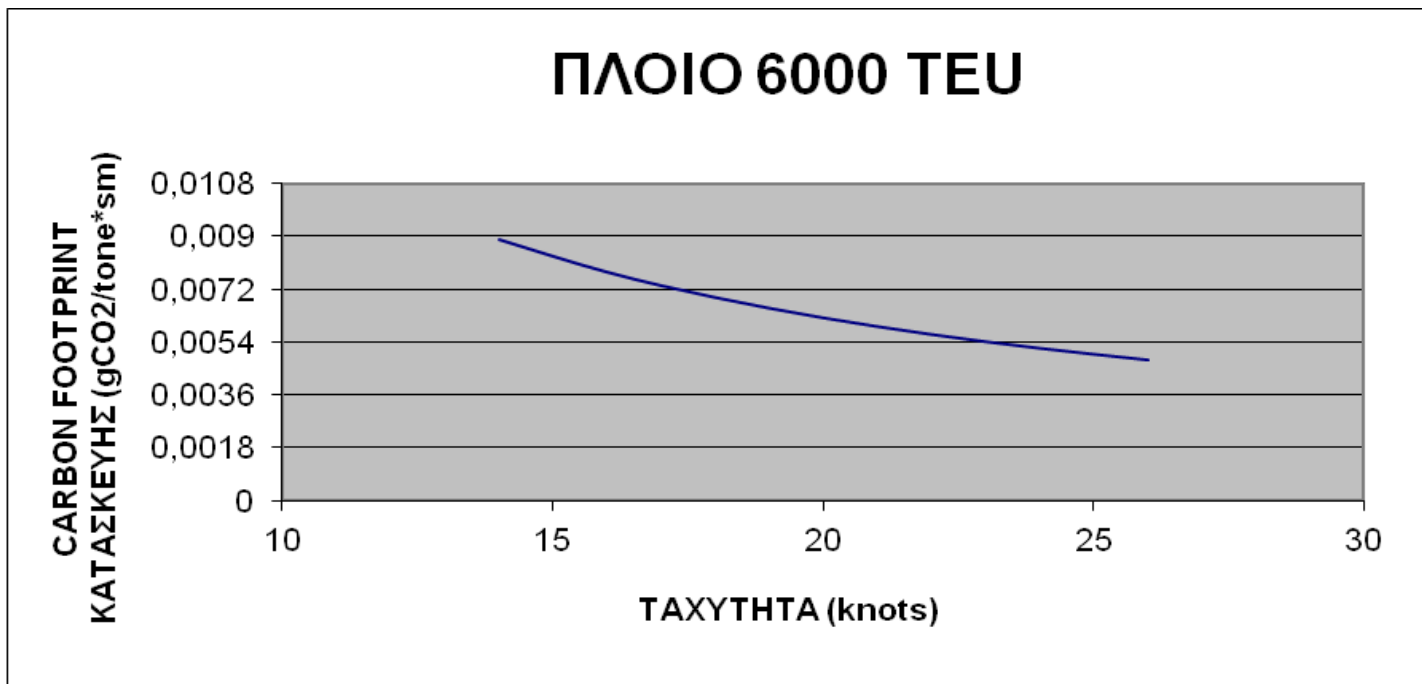
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	TAXYTHTA [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
6.000	72.000	26	292	73	14	57	16.644	432.744	72.152	19.061	192	7,95
6.000	72.000	26	292	73	16	69	20.148	523.848	87.342	23.073	233	8,42
6.000	72.000	26	292	73	18	87	25.404	660.504	110.127	29.092	293	9,43
6.000	72.000	26	292	73	20	108	31.536	819.936	136.709	36.115	364	10,54
6.000	72.000	26	292	73	22	145	42.340	1.100.840	183.544	48.487	489	12,86
6.000	72.000	26	292	73	24	198	57.816	1.503.216	250.633	66.210	668	16,10
6.000	72.000	26	292	73	26	279	81.468	2.118.168	353.165	93.296	941	20,94

ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
14	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	2.550.912	0,01
16	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	2.915.328	0,01
18	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	3.279.744	0,01
20	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	3.644.160	0,01
22	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	4.008.576	0,01
24	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	4.372.992	0,01
26	60.000.000	54.000.000	648.000	162.000	1.634	4.737.408	0,00

TAXYTHTA [knots]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO ₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO ₂ / tone*sm]
14	1.898	1.808.843	18.241	0,10	8,05
16	1.898	2.189.652	22.081	0,11	8,53
18	1.898	2.760.865	27.841	0,12	9,56
20	1.898	3.427.281	34.562	0,13	10,68
22	1.898	4.601.442	46.402	0,16	13,03
24	1.898	6.283.349	63.363	0,20	16,31
26	1.898	8.853.810	89.285	0,26	21,21

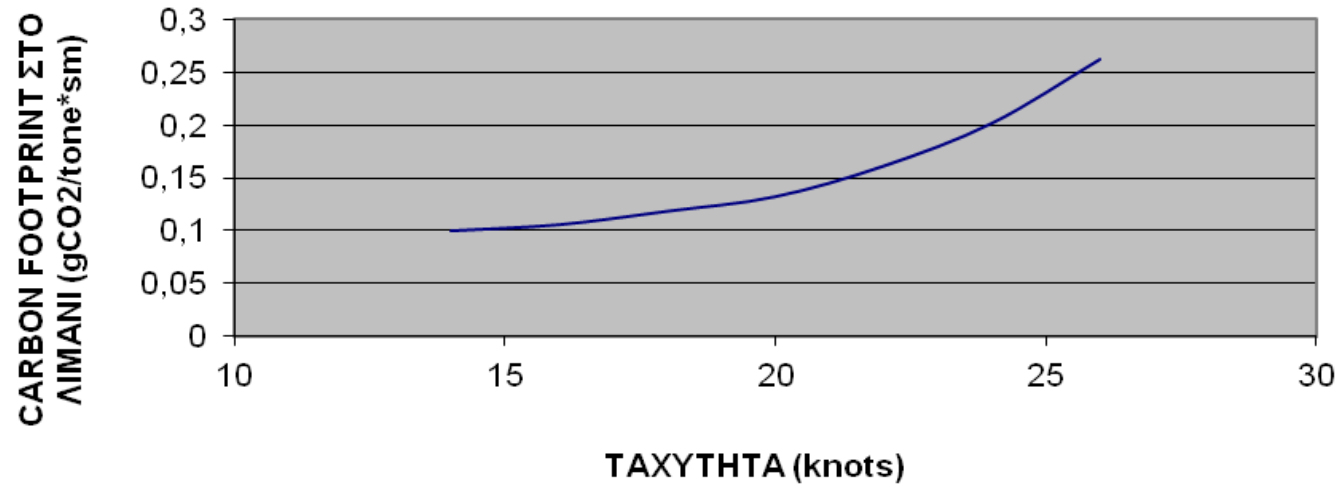


Διάγραμμα 13

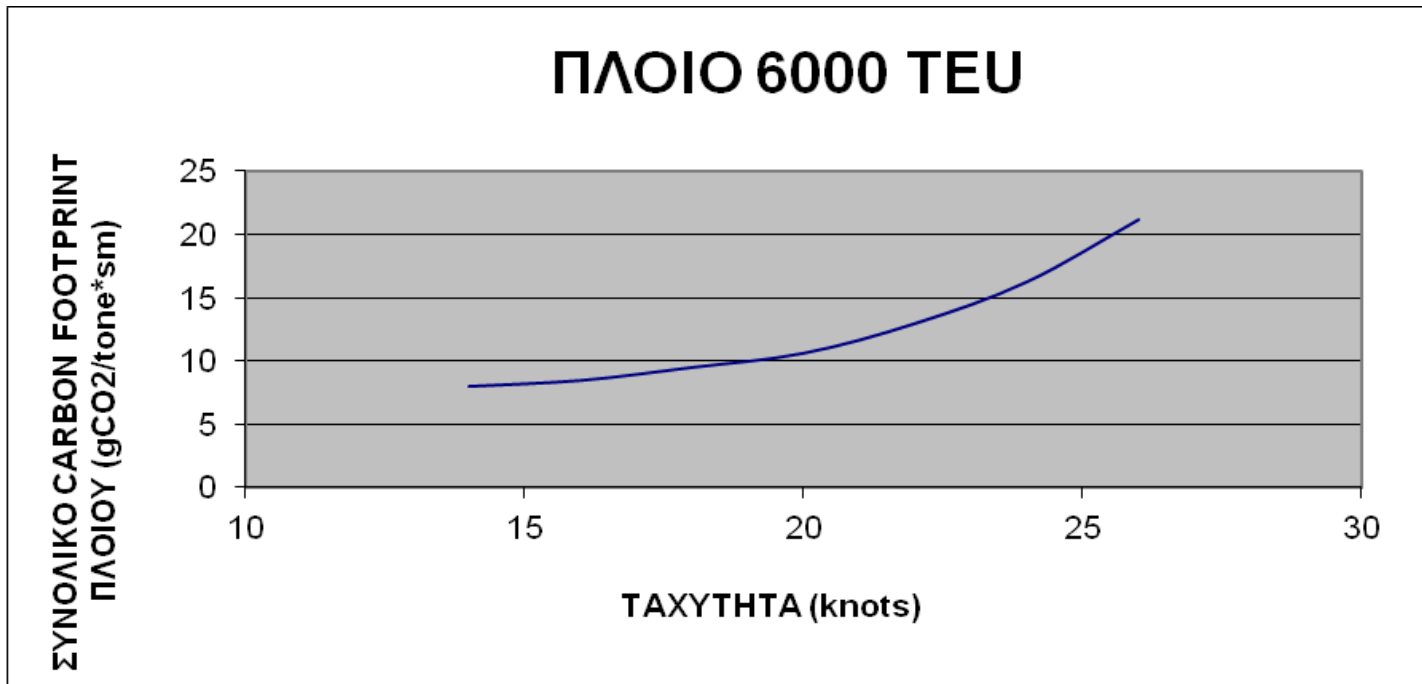


Διάγραμμα 14

ΠΛΟΙΟ 6000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 15



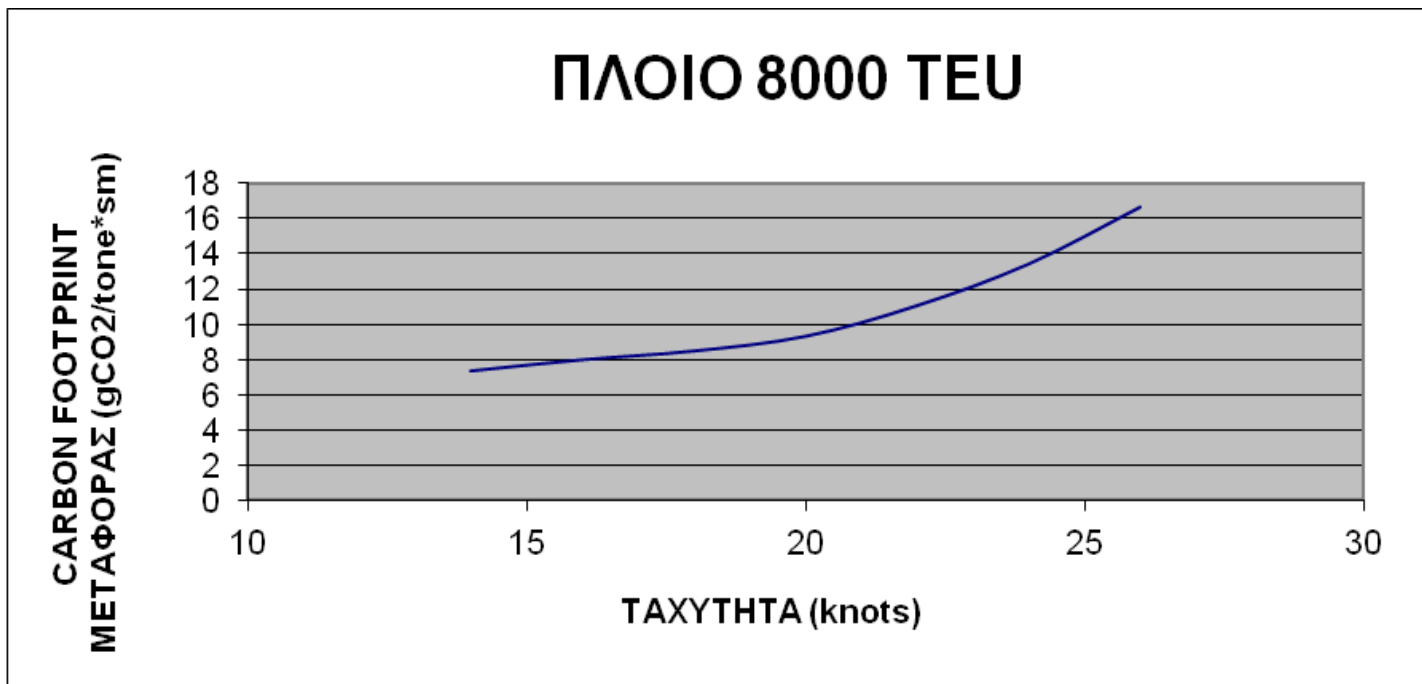
Διάγραμμα 16

13.5. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 8000 TEU για τις διάφορες

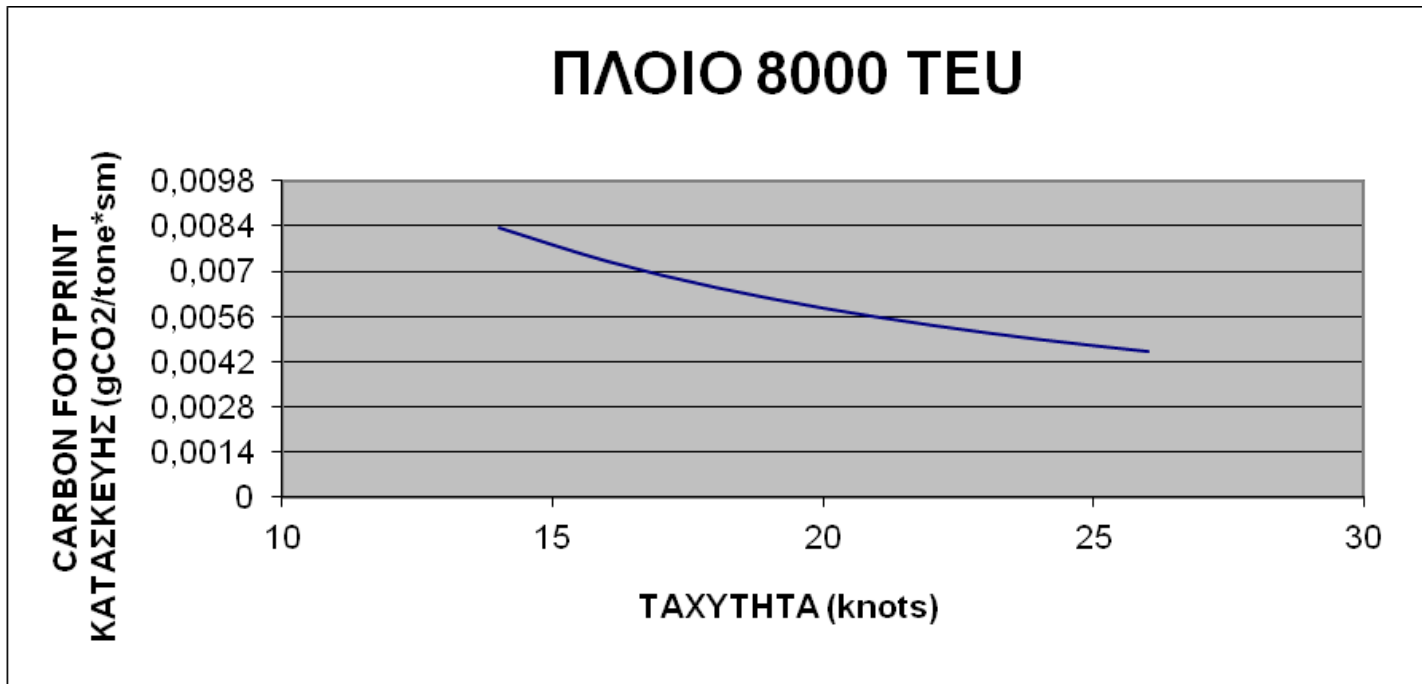
ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
8.000	96.000	26	292	73	14	70	20.440	531.440	88.608	23.408	236	7,32
8.000	96.000	26	292	73	16	87	25.404	660.504	110.127	29.092	293	7,96
8.000	96.000	26	292	73	18	104	30.368	789.568	131.646	34.777	351	8,46
8.000	96.000	26	292	73	20	127	37.084	964.184	160.759	42.468	428	9,29
8.000	96.000	26	292	73	22	166	48.472	1.260.272	210.127	55.510	560	11,04
8.000	96.000	26	292	73	24	220	64.240	1.670.240	278.481	73.567	742	13,42
8.000	96.000	26	292	73	26	296	86.432	2.247.232	374.684	98.981	998	16,66

ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
14	67.500.000	810.000	202.500	2.042	2.550.912	0,01	67.500.000
16	67.500.000	810.000	202.500	2.042	2.915.328	0,01	67.500.000
18	67.500.000	810.000	202.500	2.042	3.279.744	0,01	67.500.000
20	67.500.000	810.000	202.500	2.042	3.644.160	0,01	67.500.000
22	67.500.000	810.000	202.500	2.042	4.008.576	0,01	67.500.000
24	67.500.000	810.000	202.500	2.042	4.372.992	0,00	67.500.000
26	67.500.000	810.000	202.500	2.042	4.737.408	0,00	67.500.000

TAXYTHTA [knots]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO₂ / tone*sm]
14	2.221.386	22.401	0,09	7,42	2.221.386
16	2.760.865	27.841	0,10	8,07	2.760.865
18	3.300.345	33.282	0,11	8,57	3.300.345
20	4.030.229	40.642	0,12	9,42	4.030.229
22	5.267.858	53.123	0,14	11,19	5.267.858
24	6.981.499	70.404	0,17	13,59	6.981.499
26	9.393.289	94.725	0,21	16,88	9.393.289

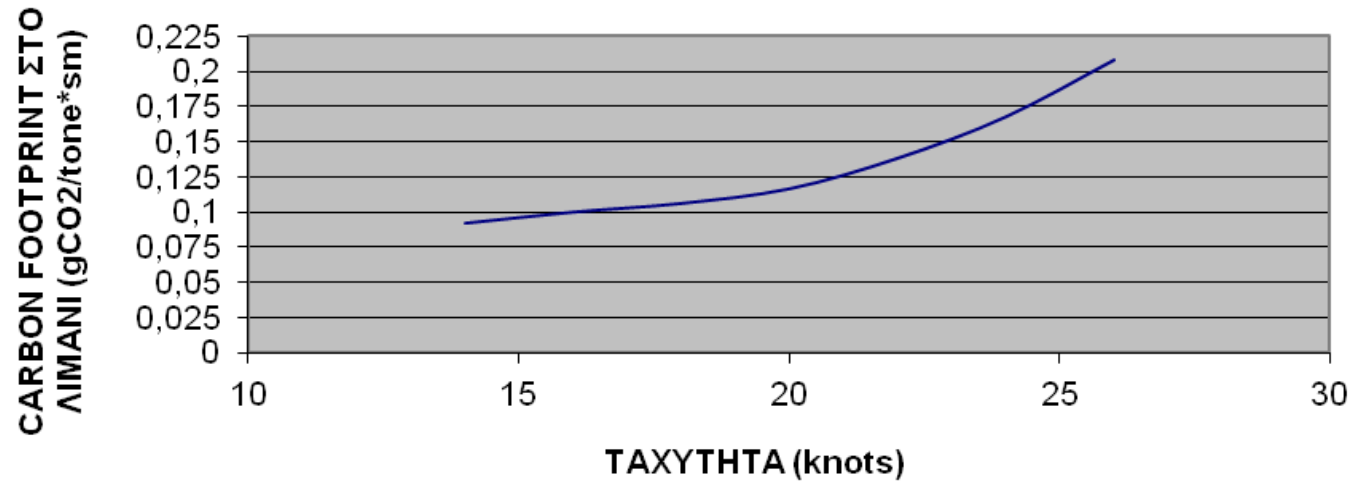


Διάγραμμα 17



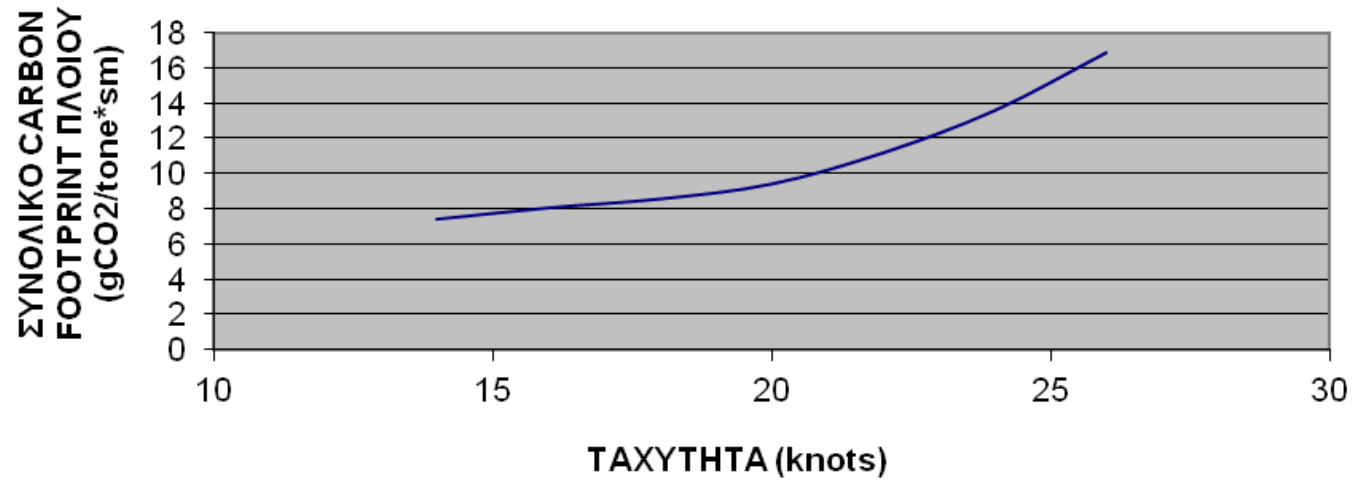
Διάγραμμα 18

ΠΛΟΙΟ 8000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 19

ΠΛΟΙΟ 8000 ΤΕΥ



Διάγραμμα 20

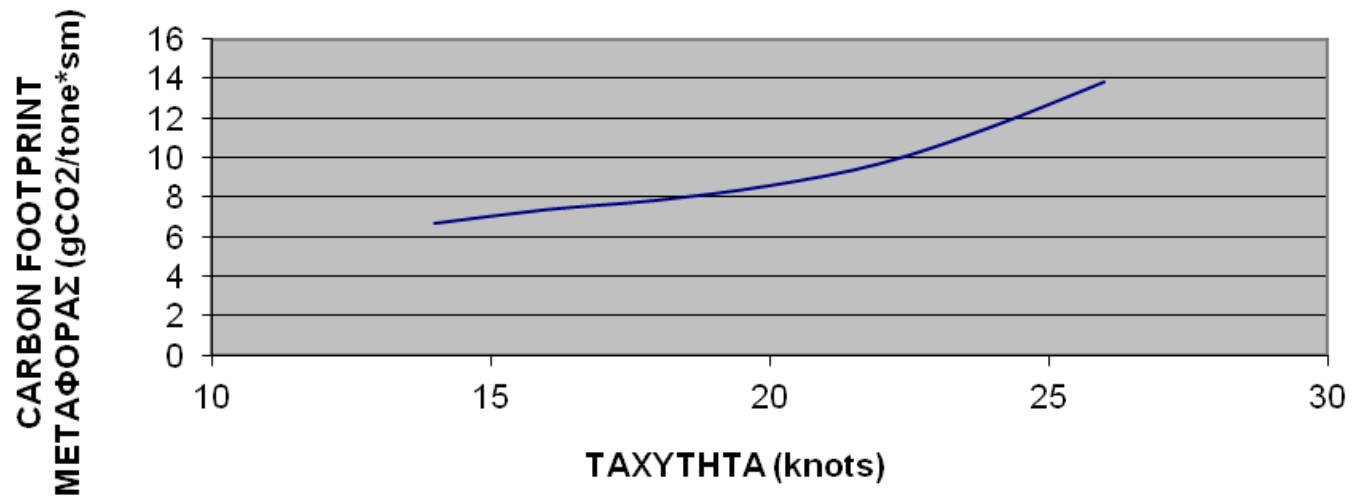
13.6. Μελέτη Αποτυπώματος Άνθρακα για Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων μεγέθους 10000 TEU για τις διάφορες

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΕΝ ΠΛΩ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΑΝΑ ΕΤΟΣ [days]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΕΤΟΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tones]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [gallons]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ CO ₂ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [gCO ₂ / tone*sm]
10.000	120.000	26	292	73	14	80	23.360	607.360	101.266	26.752	270	6,69
10.000	120.000	26	292	73	16	101	29.492	766.792	127.848	33.774	341	7,39
10.000	120.000	26	292	73	18	121	35.332	918.632	153.165	40.462	408	7,87
10.000	120.000	26	292	73	20	147	42.924	1.116.024	186.076	49.156	496	8,61
10.000	120.000	26	292	73	22	183	53.436	1.389.336	231.646	61.194	617	9,74
10.000	120.000	26	292	73	24	238	69.496	1.806.896	301.266	79.586	803	11,61
10.000	120.000	26	292	73	26	308	89.936	2.338.336	389.873	102.994	1.039	13,87

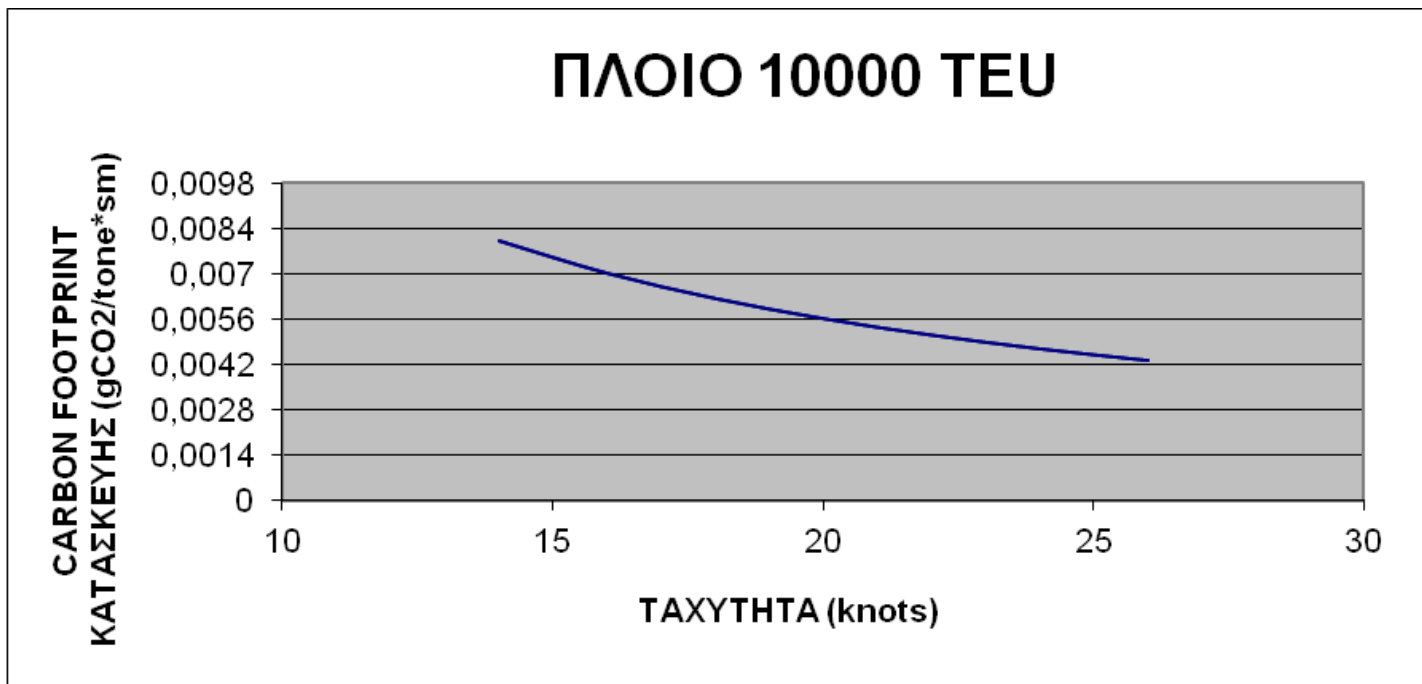
ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΟΙΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΟΙΟΥ [tonesCO ₂]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [sm]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO ₂ / tone*sm]
14	81.000.000	972.000	243.000	2.450	2.550.912	0,01	81.000.000
16	81.000.000	972.000	243.000	2.450	2.915.328	0,01	81.000.000
18	81.000.000	972.000	243.000	2.450	3.279.744	0,01	81.000.000
20	81.000.000	972.000	243.000	2.450	3.644.160	0,01	81.000.000
22	81.000.000	972.000	243.000	2.450	4.008.576	0,01	81.000.000
24	81.000.000	972.000	243.000	2.450	4.372.992	0,00	81.000.000
26	81.000.000	972.000	243.000	2.450	4.737.408	0,00	81.000.000

TAXYTHTA [knots]	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [days]	ΑΝΑΛΩΣΗ FUEL DIESEL ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [gallons]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO ₂]	CARBON FOOTPRINT ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ [gCO ₂ / tone*sm]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ [gCO ₂ / tone*sm]
14	2.538.727	25.601	0,08	6,78	2.538.727
16	3.205.143	32.322	0,09	7,49	3.205.143
18	3.839.824	38.722	0,10	7,98	3.839.824
20	4.664.911	47.043	0,11	8,72	4.664.911
22	5.807.338	58.563	0,12	9,87	5.807.338
24	7.552.712	76.164	0,15	11,76	7.552.712
26	9.774.098	98.565	0,17	14,05	9.774.098

ΠΛΟΙΟ 10000 ΤΕΥ

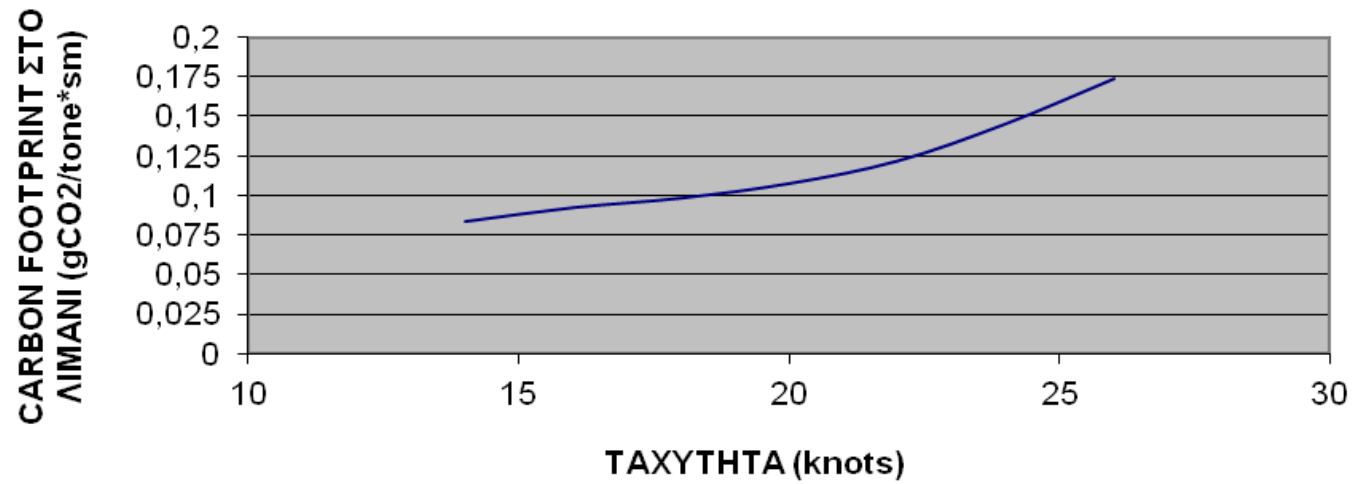


Διάγραμμα 21



Διάγραμμα 22

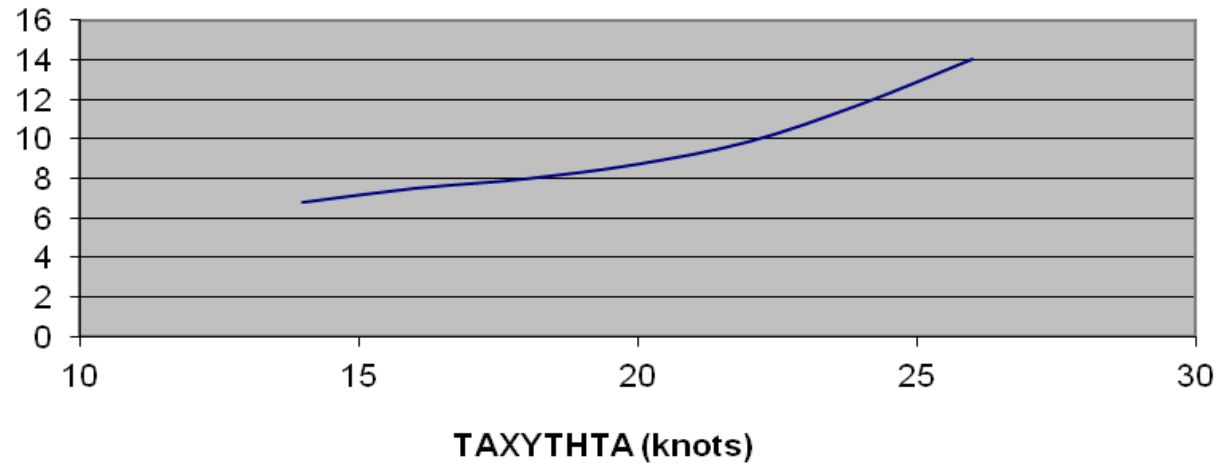
ΠΛΟΙΟ 10000 ΤΕΥ



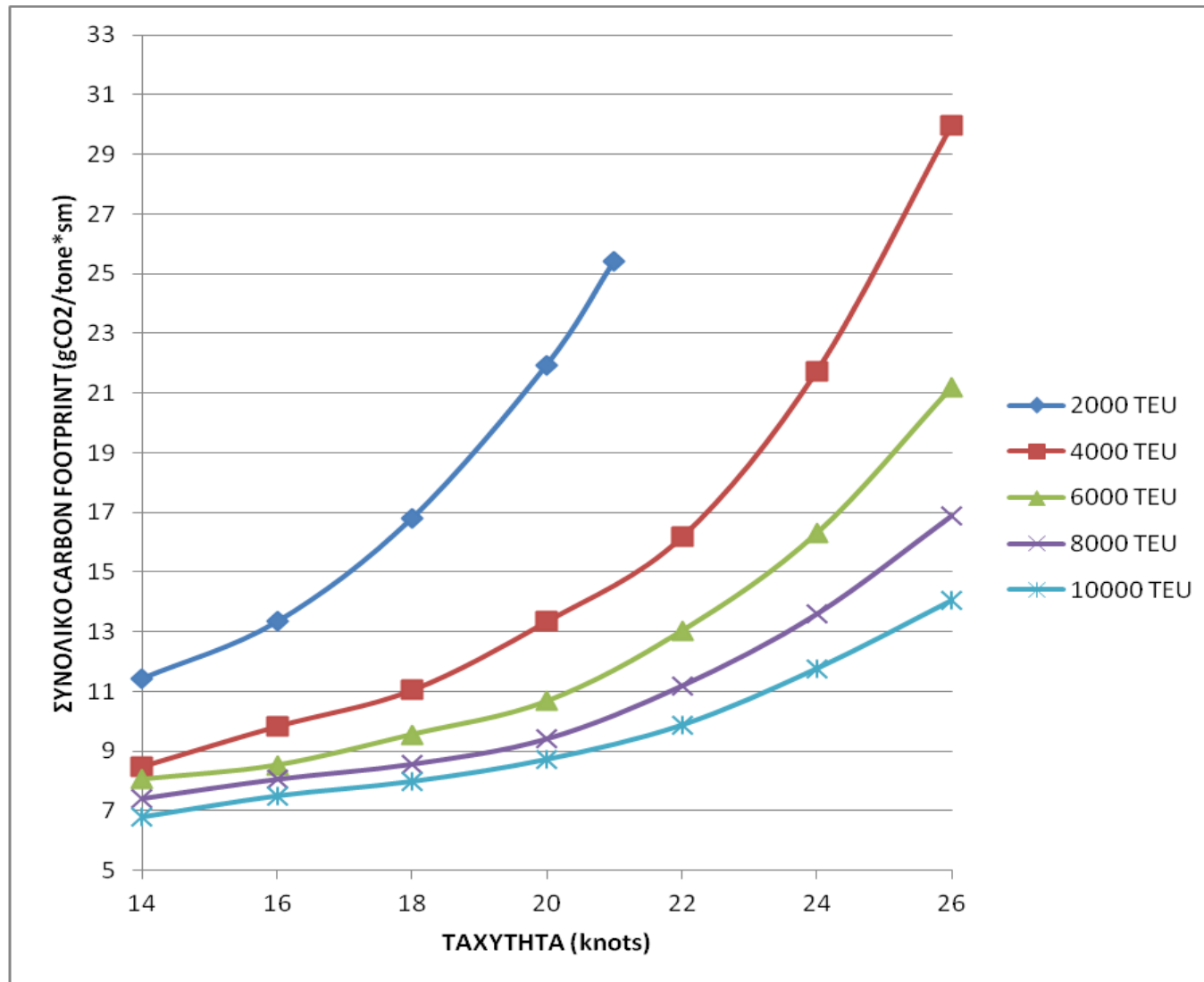
Διάγραμμα 23

ΠΛΟΙΟ 10000 ΤΕΥ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT
ΠΛΟΙΟΥ (gCO₂/tone*sm)



Διάγραμμα 24



Διάγραμμα 25

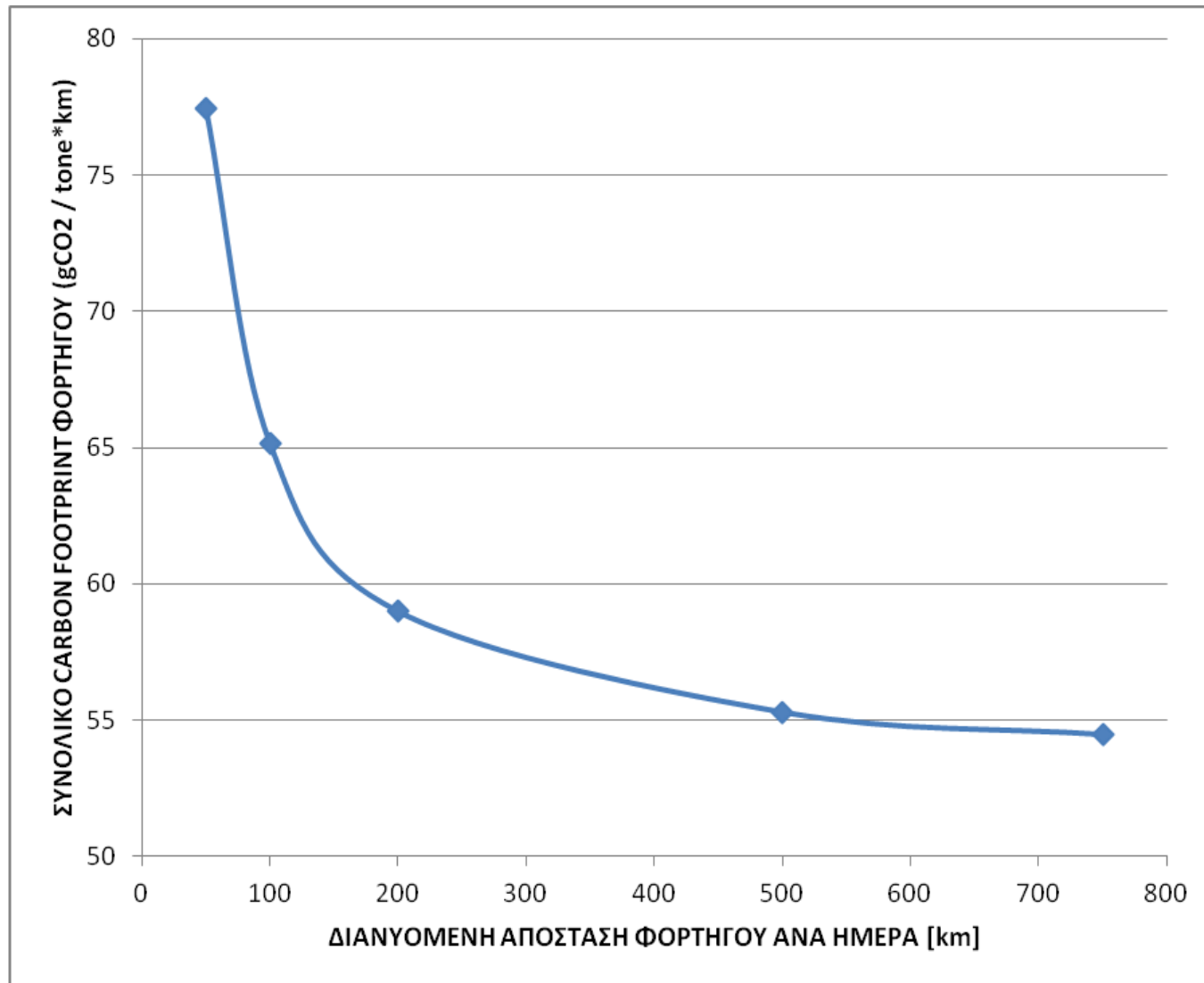
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΦΟΡΤΗΓΟ

ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ					
1	litre	=>	0,26417	US gallons	
1	litre	=>	2664	gCO2	
1	US gallon	=>	10084,3	gCO2	
1	US gallon	=>	4	\$	(τιμή Fuel Diesel)
Βάρος φορτηγού χωρίς φορτίο		=	18	t	
Βάρος φορτηγού με φορτίο		=	42	t	
Κόστος δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής φορτηγού		=	1,20% του κόστους του φορτηγού		

ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ [tones]	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ [years]	ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ ΤΟ ΦΟΡΤΗΓΟ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [km]	ΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [weeks / year]	ΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [days / week]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ [litres / km]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [litres]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [litres]	CARBON EMISSIONS ΤΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO2]	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ ΤΟ ΦΟΡΤΗΓΟ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [km]	CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ [gCO2 / tone*km]
24	9	50	46	5	0,476	23,8	49.266	131,2	103.500	52,8
24	9	100	46	5	0,476	47,6	98.532	262,5	207.000	52,8
24	9	200	46	5	0,476	95,2	197.064	525,0	414.000	52,8
24	9	500	46	5	0,476	238	492.660	1.312,4	1.035.000	52,8
24	9	750	46	5	0,476	357	738.990	1.968,7	1.552.500	52,8

ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ ΤΟ ΦΟΡΤΗΓΟ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ [km]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ [litres / km]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ [litres / day]	ΑΝΑΛΩΣΗ (FUEL) ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [litres]	CARBON EMISSIONS ΤΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ [tonesCO2]	ΠΡΟΣΘΕΤΟ CARBON FOOTPRINT ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ [gCO2 / tone*km]
50	0,204	10,2	21.114	56,2	22,6
50	0,204	10,2	21.114	56,2	11,3
50	0,204	10,2	21.114	56,2	5,7
50	0,204	10,2	21.114	56,2	2,3
50	0,204	10,2	21.114	56,2	1,5

ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [\$]	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [\$]	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [gallons]	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ FUELS ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΟΡΤΗΓΟΥ [tonesCO2]	CARBON FOOTPRINT ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ [gCO2 / tone*km]	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΦΟΡΤΗΓΟΥ [gCO2 / tone*km]
180000	162000	1944	486	4,9	1,97	77,45
180000	162000	1944	486	4,9	0,99	65,14
180000	162000	1944	486	4,9	0,49	58,99
180000	162000	1944	486	4,9	0,20	55,30
180000	162000	1944	486	4,9	0,13	54,48



Διάγραμμα 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15 ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ

15.1. Μεταφορά εμπορεύματος μεγέθους 2 TEU από Οινόφυτα Βοιωτίας σε Bridgnorth Αγγλίας

- 1) Οινόφυτα – Πειραιάς με φορτηγό, Πειραιάς – Manchester με πλοίο, Manchester – Bridgnorth με φορτηγό

Αποστάσεις

Οινόφυτα – Πειραιάς: 60 km

Λιμάνι Πειραιά – Λιμάνι Manchester: 2787 sm

Manchester – Bridgnorth: 82 km

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 2 TEU [kgCO ₂]
10000	14	693
8000	14	735
10000	16	740
10000	18	773
6000	14	778
8000	16	779
4000	14	806
6000	16	810
8000	18	812
10000	20	822

8000	20	869
6000	18	878
4000	16	896
10000	22	899
6000	20	953
4000	18	978
8000	22	987
2000	14	1005
10000	24	1026
4000	20	1132
6000	22	1111
2000	16	1132
8000	24	1148
10000	26	1179
4000	22	1321
6000	24	1330
2000	18	1363
8000	26	1368
6000	26	1658
4000	24	1693
2000	20	1707
2000	21	1939
4000	26	2245

- 2) Με βάση μελέτη της MAERSK LINE που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί έχουμε τις παρακάτω ενδεικτικές τιμές για τα γραμμάρια CO₂ που εκπέμπονται ανά [TEU*km] για αεροπορικές και σιδηροδρομικές μεταφορές:

ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	5582	[gCO ₂ /TEU*km]
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΡΕΝΟ)	176	[gCO ₂ /TEU*km]

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΣ		
	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΟΙΝΟΦΥΤΑ - BRIDGNORTH [km]	ΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [kgCO₂]
ΟΔΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	3450	4511
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΡΕΝΟ)	3200	1126
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	2550	28468

15.2. Μεταφορά εμπορεύματος μεγέθους 2 TEU από Guiyang Κίνας στην Tarragona Ισπανίας

- 1) Guiyang – Hong Kong με φορτηγό, Hong Kong – Barcelona με πλοίο, Barcelona – Tarragona με φορτηγό

Αποστάσεις

Guiyang – Hong Kong: 1430 km

Λιμάνι Hong Kong – Λιμάνι Barcelona: 5444 sm

Barcelona – Tarragona: 98 km

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ [TEU]	ΤΑΧΥΤΗΤΑ [knots]	ΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 2 TEU [kgCO ₂]
10000	14	2910
8000	14	2993
10000	16	3002
10000	18	3066
6000	14	3076
8000	16	3077
4000	14	3131
6000	16	3138
8000	18	3143
10000	20	3163
8000	20	3254
6000	18	3272
4000	16	3307
10000	22	3313
6000	20	3418
4000	18	3466
8000	22	3485
2000	14	3519
10000	24	3560
4000	20	3767
6000	22	3726
2000	16	3768
8000	24	3799
10000	26	3859
4000	22	4137
6000	24	4154

2000	18	4219
8000	26	4228
6000	26	4794
4000	24	4864
2000	20	4890
2000	21	5344
4000	26	5941

2) Όπως στο προηγούμενο σενάριο, για αεροπορικές και σιδηροδρομικές μεταφορές έχουμε:

ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	5582	[gCO ₂ /TEU*km]
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΡΕΝΟ)	176	[gCO ₂ /TEU*km]

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΣ		
	ΑΠΟΣΤΑΣΗ GUIYANG - TARRAGONA [km]	ΟΛΙΚΟ CARBON FOOTPRINT ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [kgCO₂]
ΘΑΛΙΝΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	13890	18160
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΡΕΝΟ)	10070	3545
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	9275	103546

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΝΤΙΖΕΛ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂

Τη δεκαετία του 1940 διαπιστώθηκε ότι υπάρχει η δυνατότητα μείωσης της αντίστασης τριβής μεταξύ της γάστρας του πλοίου και του θαλασσινού νερού από την αποτελεσματική χρήση του αέρα. Από το 2000 περίπου, η δυνατότητα αυτή άρχισε και πάλι να έρχεται στην επιφάνεια, με πειράματα με τη μέθοδο λίπανσης με χρήση αέρα που άρχισαν να εκτελούνται σε πραγματικά πλοία. Γνωστή εταιρία ανέπτυξε, ύστερα από ελέγχους επαλήθευσης της μεθόδου, το συγκεκριμένο σύστημα λίπανσης σε πλοία, προκειμένου να μειωθεί σημαντικά η αντίσταση τριβής και στη συνέχεια διατέθηκε στο εμπόριο με μεγάλη επιτυχία.

Αυτή η νέα τεχνολογία, καθώς και μια πρόσφατα αναπτυγμένη, υψηλής απόδοσης μορφή γάστρας με μικρή αντίσταση είναι ορισμένα μεγάλα βήματα που έχουν γίνει προς την κατεύθυνση μείωσης της κατανάλωσης του καυσίμου ντίζελ και κατά συνέπεια των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Το εν λόγω σύστημα λειτουργεί με βάση τα ακόλουθα στοιχεία που παρατίθενται:

- Υπάρχουν φουσητήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι επί του σκάφους προκειμένου να στέλνουν αέρα κάτω από τον πυθμένα του πλοίου.
- Ο αέρας διοχετεύεται εκτός του πλοίου με τη βοήθεια οπών που βρίσκονται σε κάποιο σημείο του πυθμένα του σκάφους.
- Ο αέρας αναμιγνυόμενος με τη ροή που έχει το θαλασσινό νερό δημιουργεί φουσαλίδες κάτω από τον πυθμένα του πλοίου, οι οποίες ρέουν προς την πρύμνη.
- Η διοχέτευση του αέρα διατηρείται σε ένα επίπεδο, ώστε η παραγωγή των φουσαλίδων να συνάδει με την ταχύτητα του πλοίου και την ίσαλο γραμμή, προκειμένου να υπάρχει διαρκώς επαρκής ποσότητα αέρα στον πυθμένα.
- Η επαρκής παραγωγή φουσαλίδων αέρα ρυθμίζεται με τη σωστή προσαρμογή του ανοίγματος των οπών μέσω βαλβίδων που είναι εγκατεστημένες σε σωλήνες.

Με τη μέθοδο αυτή ελαττώνεται η κατανάλωση καυσίμου ντίζελ περίπου κατά 10 % και αντίστοιχα μειώνονται και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

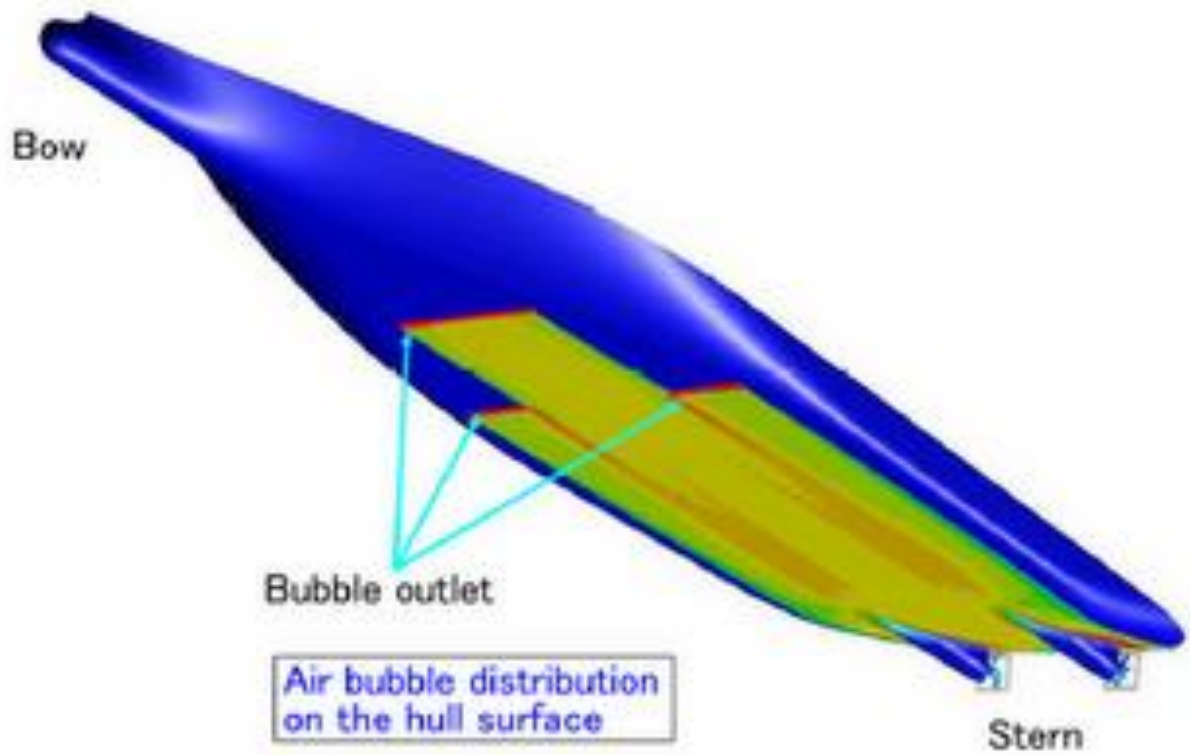
Μια άλλη μέθοδος που περιορίζει σημαντικά το συντελεστή τριβής μεταξύ της γάστρας του πλοίου και του θαλασσινού νερού είναι η επικάλυψη της γάστρας με ειδικές υδρόφοβες ρητίνες χαμηλού ιξώδους που μειώνουν την τριβή κατά περίπου 8% σε σχέση με τις συμβατικές γάστρες [8].

Με την εν λόγω μέθοδο, εξοικονομείται ένα 3-5% της κατανάλωσης του καυσίμου ντίζελ με αντίστοιχη μείωση των εκπομπών αερίων CO₂.

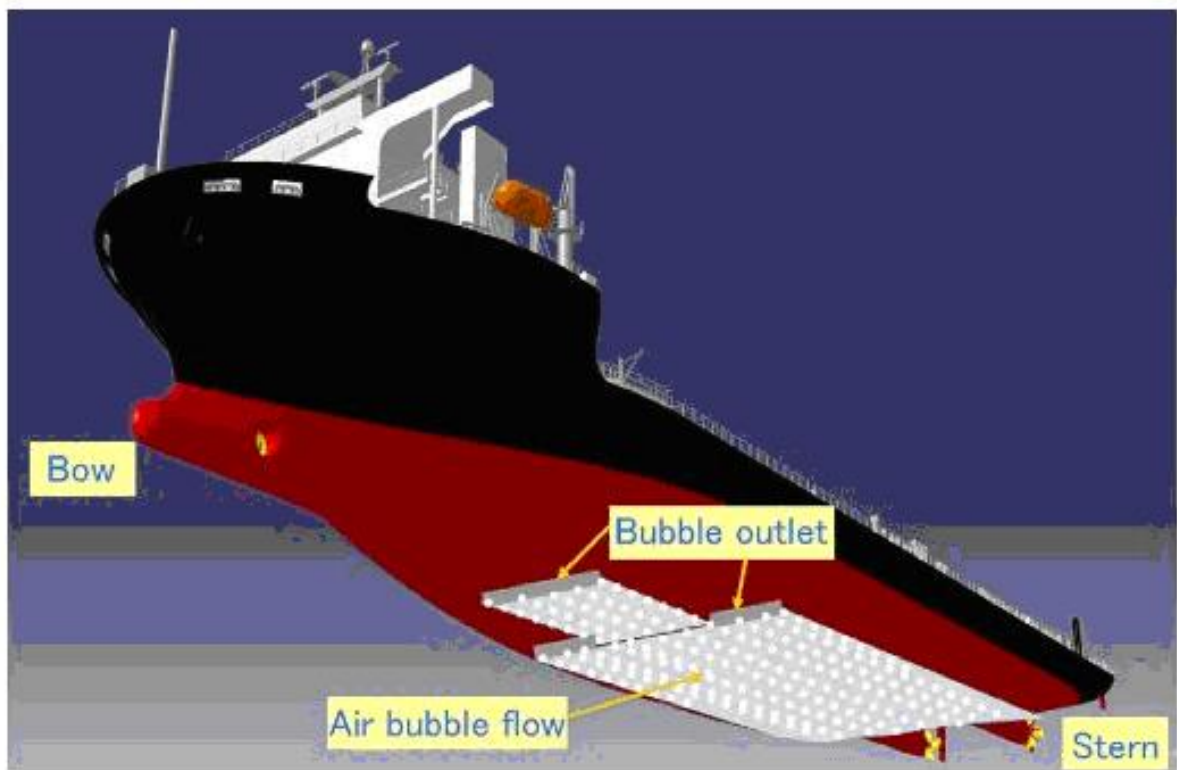


Εικόνα 2

Σκαρίφημα πλοίου που παρουσιάζει την παραγωγή φυσαλίδων αέρα [8].



Εικόνα 3
Σημείο του πυθμένα του πλοίου όπου βρίσκονται οι οπές στη μέθοδο φυσαλίδων αέρα [8].



Εικόνα 4
Σκαρίφημα πλοίου που παρουσιάζει τη σύστημα ροής φυσαλίδων αέρα [8].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17 ΕΝΑ ΒΗΜΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Μεγάλη ναυτιλιακή εταιρία εργάζεται σε έντονους ρυθμούς για την οικοδόμηση του μεγαλύτερου Πλοίου Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων (Containership) όλων των εποχών. Το συγκεκριμένο πλοίο, που βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη, ονομάζεται Triple-E Class και έχει χωρητικότητα 18000 εμπορευματοκιβωτίων (18000 TEU).

Πρόκειται για το μεγαλύτερο Πλοίο Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων του κόσμου με διαστάσεις:

400 μέτρα μήκος, 59 μέτρα πλάτος και 73 μέτρα κοίλο. Τα 20 νέα πλοία αυτής της κατηγορίας θα χρησιμοποιηθούν για τη ζώνη εμπορίου μεταξύ Ασίας και Ευρώπης.

Το Triple-E Class, στην πραγματικότητα, είναι κάτι πολύ παραπάνω από τις υπέρογκες διαστάσεις και τη χωρητικότητά του που, σαφώς, το κάνουν να υπερέχει των άλλων Containerships. Το όνομά του αναφέρεται στους τρεις κύριους λόγους που 'κρύβονται' πίσω από τη δημιουργία του, τους εξής:

Οικονομία κλίμακας, ενεργειακή απόδοση και περιβαλλοντική προστασία.

Τα Πλοία Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων Triple-E θα σχεδιάζονται έτσι ώστε να μειώνουν τις εκπομπές CO₂ κατά 20 % ανά μεταφερόμενο εμπορευματοκιβώτιο σε σύγκριση με το μέχρι σήμερα μεγαλύτερο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, ενώ κατά 50% σε σχέση με τη βιομηχανία που εξυπηρετεί τη γραμμή εμπορίου μεταξύ Ασίας-Ευρώπης.

Τα πλοία θα είναι εξοπλισμένα με ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας των αποβλήτων, εξοικονομώντας έως και 10% της κύριας ισχύος του κινητήρα, ποσότητα περίπου ίση με τη μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 5.000 ευρωπαϊκών νοικοκυριών.

Τα σκάφη Triple-E σχεδιάζονται προκειμένου να ταξιδεύουν αναλώνοντας 1 κιλοβατώρα (kWh) ενέργειας ανά τόνο φορτίου κάθε 184 χιλιόμετρα, τη στιγμή που τα πλοία jumbo jets ταξιδεύουν μόλις μισό χιλιόμετρο αναλώνοντας την ίδια ποσότητα ενέργειας ανά τόνο φορτίου [9].

Τα πρώτα 10 πλοία Triple-E Class πρόκειται να παραδοθούν το 2013 και το 2014, ενώ τα υπόλοιπα έχουν προγραμματιστεί για παράδοση από τα έτη 2014- 2015 και έπειτα.



Εικόνα 5
Το μεγαλύτερο πλοίο του κόσμου που πρόκειται να παραδοθεί το 2013-2014
(18000 TEU) [9].



Εικόνα 6
Κατασκευή του μεγαλύτερου πλοίου στον κόσμο [9].

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

A) ΓΕΝΙΚΑ

Η μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων με πλοίο αποτελεί την οικονομικότερη, αλλά και την πλέον οικολογική μεταφορά για τις ίδιες αποστάσεις σε αντιπαραβολή με τους άλλους τρόπους μεταφορών.

Το μοναδικό μειονέκτημα της χρήσης του πλοίου είναι ο χρόνος μεταφοράς του φορτίου, ο οποίος είναι κατά πολύ μεγαλύτερος.

Αναφορικά με τη θαλάσσια μεταφορά, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο παράγοντες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Για ίδιους προορισμούς, απαιτεί την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων συγκριτικά με τους υπόλοιπους τρόπους μεταφοράς.
- Πρέπει αναγκαστικά να συνοδεύεται με μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων με φορτηγό από τον τόπο παραγωγής προς το λιμάνι, καθώς και από το λιμάνι προς τον τόπο διάθεσής του.

Παρόλα αυτά, όπως είδαμε και στη μελέτη των σεναρίων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, ακόμα και σε περιπτώσεις που η μεταφορά του φορτίου με πλοίο απαιτεί την κάλυψη αισθητά μεγαλύτερων αποστάσεων, μπορούν να υπάρξουν δυνατοί συνδυασμοί μεγέθους και ταχύτητας πλοίων που αποτελούν τον οικολογικότερο τρόπο μεταφοράς.

B) ΠΛΟΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Από τη μελέτη του υπολογισμού του Αποτύπωματος Άνθρακα για σταθερή διανυόμενη απόσταση προκύπτουν τα ακόλουθα:

- 1) Αυξανόμενου του μεγέθους του πλοίου με σταθερή ταχύτητα, μειώνεται το παραγόμενο Αποτύπωμα Άνθρακα ανά τόνο μεταφερόμενου εμπορεύματος.
- 2) Αυξανόμενης της ταχύτητας με σταθερό μέγεθος πλοίου, αυξάνεται το παραγόμενο Αποτύπωμα Άνθρακα ανά τόνο μεταφερόμενου εμπορεύματος.
- 3) Το Αποτύπωμα Άνθρακα λόγω παραμονής του πλοίου στο λιμάνι είναι αρκετά μικρό σε σχέση με το συνολικό Αποτύπωμα Άνθρακα, της τάξεως του 1% περίπου.
- 4) Το Αποτύπωμα Άνθρακα λόγω της δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής του πλοίου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.

Γ) ΦΟΡΤΗΓΟ

Από τη μελέτη του υπολογισμού του Αποτυπώματος Άνθρακα προκύπτουν τα ακόλουθα:

- 1) Αυξανομένης της απόστασης που διανύει το φορτηγό ανά ημέρα, μειώνεται το παραγόμενο Αποτύπωμα Άνθρακα ανά τονοχιλιόμετρο. Αυτό οφείλεται στη σημαντική συνεισφορά του Αποτυπώματος Άνθρακα κατά την κίνηση του φορτηγού χωρίς φορτίο στην τιμή του συνολικού Αποτυπώματος Άνθρακα, όταν αυτό καλύπτει μικρές ή μεσαίες χιλιομετρικές αποστάσεις ανά ημέρα και επιστρέφει κενό στη βάση του.
- 2) Το Αποτύπωμα Άνθρακα λόγω της δαπανώμενης ενέργειας κατασκευής του φορτηγού μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του λογισμικού για τον υπολογισμό του Αποτυπώματος Άνθρακα:

- Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων των τύπων πλοίων ανάλογα με το μέγεθός τους.
- Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων των ταχυτήτων που επιτυγχάνουν τα πλοία.
- Αναλυτική μελέτη των εναλλακτικών μέσων μεταφοράς (ηλεκτρικό τρένο, αεροπλάνο, αμιγώς οδική μεταφορά με φορτηγό).
- Εισαγωγή βάσης δεδομένων που καλύπτει μεγάλο εύρος δυνατών προορισμών (πίνακας αναλυτικών αποστάσεων μεταξύ εμπορικών λιμένων και πίνακας οδικών, αεροπορικών και σιδηροδρομικών αποστάσεων μεταξύ των τόπων παραγωγής και κέντρων διάθεσης των μεταφερομένων εμπορευμάτων).

ΠΗΓΕΣ

Πηγές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία:

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_footprint

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol

[4] United Nations Framework Convention on Climate Change, <<Kyoto Protocol>>

[5] Lauga Oskarsdottir, <<The Carbon Footprint of the Shipping Industry>>, January 6, 2012

[6] <<North Carolina Maritime Strategy>>, NC Maritime Strategy Vessel Size vs. Cost Prepared for the North Carolina Department of Transportation by AECOM in association with URS, May 31, 2012

[7] United States Environmental Protection Agency, Sector Strategies, <<Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes>>, March 2007

[8] MHI Nagasaki Shipyard, <<Yamatai>> , March, 2010

[9] Maersk, <<Building the world's biggest ship>>

Πηγές που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία:

- http://www.ehow.com/how_6023500_calculate-dioxide-emissions-diesel-generator.html
- <http://www.freightmetrics.com.au>
- <http://www.chemicaltransportation.com>
- <http://www.seaplus.com/know.html>
- <http://www.container-transportation.com>
- http://www.answerbag.com/q_view/2435483
- <http://timeforchange.org>
- <http://www.universalcargo.com>
- <http://news.in.gr/science-technology>
- Niels Bjørn Mortensen, <<Ship fuel efficiency in a historical perspective>> , Baltic and International Maritime Council (BIMCO), 2009
- Professor Alan McKinnon, Dr. Maja Piecyk, Logistics Research Centre Heriot-Watt University Edinburgh, UK, <<Measuring and Managing CO₂ Emissions of European Chemical Transport>>
- ECTA, <<Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations>>, March 2011
- MAERSK Line - MAERSK Logistics, <<CO₂ Emissions by Mode of Transportation>>
- World Shipping Council, Carbon Emissions, 2013

- Jacques Leonardi, Michael Browne, University of Westminster
Department for Transport Studies, London, UK
Logistics Research Network Annual Conference
<<Method for assessing the carbon footprint of maritime freight transport:
European case study and results>> , 9-11 September 2009
- Beagley-Brown, <<Carbon Offsetting vs. Containerships>>
- OECD Observer, <<Maritime Transport and CO₂ Emissions>> , May-June 2008
- Brett Israel, Environmental Health News, <<Slowing cargo ships cuts pollution
near ports by more than half, study finds>> , November 19, 2012
- DNV, Managing Risk, <<The future of the ultra large container ship>> , 17
December 2009
- IFEU – Institut für Energie – und Umweltforschung Heidelberg GmbH,
Comissioned by the International Aluminium Institute (IAI), <<Energy savings
by light-weighting – II Final Report>> , Heidelberg, June 2004
- The Guardian, John Vidal, environment editor, <<CO₂ output from shipping
twice as much as airlines>> , 3 March 2007
- United Nations, Framework Convention on Climate Change
- REALISE European Project on Short Sea Shipping and Intermodality: Normal
performance criteria
- Congress of the United States Congressional Budget Office, << Policy Options
for Reducing CO₂ Emissions>> , February 2008
- Jack Devanney, <<Efficient, Safe Reduction of CO₂ Emissions from
Shipping>> , 05 – 09 – 2010

- Bo P. Weidema, Mikkel Thrane, Per Christensen, Jannick Schmidt and Søren Løkke, <<Carbon Footprint, A Catalyst for Life Cycle Assessment?>> , Yale University 2008
- Harilaos N. Psaraftis, <<Market-based measures for greenhouse gas emissions from ships>> , 28 March 2012
- Environment CO₂ & Energy – LG Electronics Greece, <<Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και ενέργεια>>
- Ιωάννης Ψαρράς, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, <<Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη και Αποτύπωμα Άνθρακα>>
- Ιωάννης Ψαρράς, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, <<Πρωτόκολλο του Κιότο>>
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Χημείας
 Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
 Χημεία και Καθημερινή Ζωή, Πρασινη Προσέγγιση
 <<Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA)>> , Θεσσαλονίκη 2006
 Εκπόνηση: Μάντζου Γενοβέφα, Μπενέτου Παναγιώτα, Χαρίτου Άννα Ηρώ