



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρης

ΜΝΣΝΔ 20063

Επιβλέπων:

Αναπληρωτής Καθηγητής Θεόδωρος Κ. Ζάννης

Πειραιάς

Δεκέμβριος 2021

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

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

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄: Θεόδωρος Ζάννης

ΜΕΛΟΣ Β΄: Ευθύμιος Παριώτης

ΜΕΛΟΣ Γ΄: Ιωάννης Κατσάνης



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-
based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”*

“Θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στον Επιβέποντα καθηγητή μου Αναπλ. Καθηγητή Θεόδωρο Κ. Ζάννη για όλη τη βοήθεια και την καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή του Τεχνικού Πανεπιστημίου της Δανίας Δρ. Χαρίλαο Ψαραύτη για την ευγενική χορηγία επιστημονικών του δημοσιεύσεων, οι οποίες αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες για την διαμόρφωση της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου Δημήτριο Ταυρή και Βασιλική Κυριάκου για το συνεχές ενδιαφέρον και τη στήριξη τους καθ’ όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου σε αυτό το ΠΜΣ. ”



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία έγινε εκτενής βιβλιογραφική μελέτη στο θέμα μείωσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς επίσης και στους τρόπους επίτευξής της. Αρχικά γίνεται αναφορά στα τεχνολογικά καθώς επίσης και στα λειτουργικά μέτρα, που αν εφαρμοστούν ενδέχεται να μειωθούν οι εκπομπές CO₂. Στην συνέχεια αναπτύσσονται τα μέτρα που βασίζονται στην αγορά (Market Based Measures: MBM's) με κυριότερα να είναι η απευθείας επιβολή φόρου στο καύσιμο τροφοδοσίας (bunker levy) και τα σχήματα εμπορίας εκπομπών (Emission Trading Schemes: ETS's). Τέλος γίνεται μελέτη στην αποτελεσματικότητα του κάθε MBM και εκτιμάται ότι αυτό που θα έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα θα είναι ένα μέτρο απευθείας φόρου στο καύσιμο.

Abstract

In the frames of this paper there has been an extensive literature survey about the carbon dioxide emissions reduction and the ways of achieving this reduction. At first reference is made about the technological and operational measures, that if implemented may cause reductions at the emissions of CO₂. At next market based measures are outlined, the most significant of which are the bunker levy and an emission trading scheme. At the end a study is being made about the effectiveness of each MBM and the MBM with the greatest effectiveness is estimated to be the bunker levy.

Λέξεις – Κλειδιά

MBM, Decarbonisation, Carbon Free shipping, IMO, ETS



Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	v
Abstract	v
Πίνακας Περιεχομένων	vi
Πίνακες.....	vii
Πίνακας Εικόνων	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1 Μέτρα περιορισμού εκπομπών καυσαερίων στη Ναυτιλία	11
1.1 Τεχνολογικά Μέτρα.....	11
1.1.1 Χρήση εναλλακτικών καυσίμων	11
1.1.2 Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	12
1.1.3 Χρήση τεχνικών επεξεργασίας καυσαερίων.....	12
1.1.4 Τεχνικές μέθοδοι μείωσης εκπομπών	13
1.2 Λειτουργικά Μέτρα	14
1.2.1 Μείωση της ταχύτητας πλεύσης (slow steaming)	14
1.2.2 Λειτουργία με μειωμένα έρμα.....	15
1.2.3 Σχεδιασμός δρομολογίων με βάση τον καιρό	15
1.3 Μέτρα βασισμένα στην αγορά (Market Based Measures MBM's)	15
1.3.1 Σχήμα εμπορίου εκπομπών (ETS)	16
1.3.2 Απευθείας φόρος στο καύσιμο (Bunker Levy)	17
1.3.3 Λοιπά MBM's	18
2 Κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου MBM	19
2.1 Οριακό κόστος μείωσης (MAC: Marginal abatement cost)	19
2.2 Αξιολόγηση απευθείας φόρου στο καύσιμο	20
2.3 Αξιολόγηση Σχημάτων Εμπορίας εκπομπών καυσαερίων	21
2.4 Συγκριτική αξιολόγηση λοιπών MBM's	23
3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΣΤΟΛΟ ΠΛΟΙΩΝ (HANDYMAX BULK CARRIERS).....	25
3.1 Συσχετισμός οριακού κόστους μείωσης και εφαρμογής του μετρου.....	25
3.2 Εφαρμογή ενός φορου στο καυσιμο τροφοδοσιας σε εργαλειο υπολογισμου εκπομπων και βελτιστοποιησης της ταχυτητας πλευσης.....	25
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	27
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	28



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

Πίνακες

Πίνακας 1: Εναλλακτικά καύσιμα και εκτίμηση μείωσης εκπομπών CO ₂ από την εφαρμογή τους [4].....	11
Πίνακας 2: Συγκριση λοιπών MBMs προταθέντων στον IMO. Πηγή [21].....	24
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Πλοίου Μοντελοποίησης.....	26
Πίνακας 4: Σύγκριση κυριότερων αποτελεσμάτων με και χωρίς το φόρο. Πηγή: [29].....	27

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Περιοχές Ελέγχου εκπομπών SO _x . Πηγή: https://www.rempc.org/en/knowledge-centre/online-catalogue/3-zb-l01-marpol-annex-vi-regulations-final.pdf	8
Εικόνα 2: Τεχνικές μείωσης εκπομπών NO _x [9].....	13
Εικόνα 3: Απλοποιημένο διάγραμμα ETS. Η ίδια αρχή που ισχύει για τα εργοστάσια ισχύει και για τα πλοία. Πηγή [15].....	17



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από τον αέναο μαραθώνιο του ανθρώπου για ανάπτυξη και την βελτίωση του βιοτικού του επιπέδου με τεχνολογικές διευκολύνσεις τόσο σε ατομικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, η κλιματική αλλαγή και γενικότερα οι επιπτώσεις της μόλυνσης του περιβάλλοντος έχουν ευαισθητοποιήσει τη διεθνή κοινότητα ως προς την ανάγκη άμεσης λήψης μέτρων για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες επιβαρυντικές παρεμβάσεις. Συγκεκριμένα η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα το λιώσιμο των πάγων και τη συνακόλουθη αύξηση της στάθμης των ωκεανών και το πλημμύρισμα παραθαλάσσιων περιοχών. Επιπλέον πέραν των ακραίων καιρικών φαινομένων που ολοένα και συχνότερα καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συχνότερων και εντονότερων περιόδων ξηρασίας. Ακόμη σημαντικές είναι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην αφθονία τροφής, αφού μειώνονται οι καλλιεργήσιμες περιοχές γης και οι πηγές άρδευσης. Στο πλαίσιο αυτό, τόσο ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) όσο και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) μετά από συνεδρίες έχουν προτείνει μέτρα για την επίτευξη της μείωσης εκπομπών επιβαρυντικών για το περιβάλλον αερίων, τα οποία αφορούν μεταξύ άλλων πολλούς κλάδους ένας εκ των οποίων είναι και η Ναυτιλία.

Όσον αφορά τη ναυτιλία και τον περιορισμό των εκπομπών που παράγονται από τις δραστηριότητες της προσπάθεια κινήθηκε σε δύο άξονες. Ο ένας άξονας αφορούσε τον περιορισμό εκπομπών Θεικών (SO_x) και Νιτρικών (NO_x) Οξειδίων και ο άλλος αφορούσε τα αέρια του Θερμοκηπίου με κυριότερο το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂). Το 2008, ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) υιοθέτησε τους κανονισμούς του Παραρτήματος VI της MARPOL που προβλέπει περιορισμούς στην εκπομπή SO_x και NO_x από τα πλοία τόσο στην ανοικτή θάλασσα όσο και στους λιμένες. Παρότι τα αέρια αυτά δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου, είναι υπεύθυνα για την πρόκληση άλλων μη επιθυμητών φαινομένων μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η όξινη βροχή. Στην Εικόνα 1 φαίνεται ο παγκόσμιος χάρτης με το ποσοστό επιτρεπόμενων εκπομπών Θεικών Οξειδίων με βάση το Παράρτημα VI.



Εικόνα 1: Περιοχές Ελέγχου εκπομπών SO_x. Πηγή: <https://www.rempec.org/en/knowledge-centre/online-catalogue/3-zb-l01-marpol-annex-vi-regulations-final.pdf>

Στον άξονα περιορισμού των αερίων του θερμοκηπίου η εποχή της μη ρύθμισης των εκπομπών τους έφτασε στο τέλος της τον Ιούλιο του 2011 όταν η Ναυτιλιακή επιτροπή προστασίας του περιβάλλοντος (MEPC) ύστερα από έντονες διαφωνίες κάποιων μελών της, που προέρχονταν κυρίως από αναπτυσσόμενες χώρες, υιοθέτησε το δείκτη



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού (EEDI) για νεότευκτα πλοία εκτοπίσματος άνω των 400 grt , στόχος του οποίου είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Παρόλα αυτά, η ναυτιλία δεν συμπεριλαμβάνεται στους στόχους μείωσης των εκπομπών του CO₂ του Συνεδρίου των ΗΕ για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC).

Ο IMO έχει ορίσει συγκεκριμένη στοχοθεσία σχετικά με τη μείωση των εκπομπών του CO₂. Συγκεκριμένα μέχρι το 2023 πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η εφαρμογή όλων των βραχυπρόθεσμων μέτρων και να γίνει αναθεώρηση της Αρχικής Στρατηγικής. Μέχρι το 2025 υπάρχει στόχος για 30% μείωση του αποτυπώματος σε CO₂ κάθε πλοίου. Από το 2023 έως και το 2030 στόχος είναι η μείωση κατά τουλάχιστον 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία. Μέχρι το 2050 ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι η μείωση των εκπομπών CO₂ κατά τουλάχιστον 70% ενώ ο τελικός στόχος είναι η μηδενική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου το συντομότερο δυνατόν εντός του 21^{ου} αιώνα [1].

Στα πλαίσια επίτευξης των ανωτέρω στόχων ο IMO χρησιμοποιεί κάποιους δείκτες για να αξιολογήσει την ενεργειακή απόδοση και να επιβάλει ένα κοινό κανόνα για αναφορά και σύγκριση (*benchmarking*).

Ο EEDI (Energy Efficient Design Index) είναι ο σπουδαιότερος δείκτης ενεργειακής απόδοσης για νεότευκτα πλοία και έχει ως στόχο την εκτενέστερη χρήση αποδοτικότερων και λιγότερο επιβαρυντικών για το περιβάλλον μηχανών και εξοπλισμού. Ο εν λόγω δείκτης απαιτεί ένα ελάχιστο βαθμό απόδοσης ανά μίλι μεταφοράς για διαφορετικά φορτία και πλοία. Ο EEDI μετριέται σε γραμμάρια CO₂ ανά μίλι χωρητικότητας, υπολογίζεται με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές του πλοίου, όσο μικρότερος είναι τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικό είναι το πλοίο και η τιμή του δίνεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emitted (grams)}}{Deadweight (tons) \times Distance travelled (Nautical Miles)} \quad (1)$$

,όπου στον αριθμητή συμπεριλαμβάνεται η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα τόσο από τις κύριες όσο και από τις βοηθητικές μηχανές.

Προκειμένου να πετύχει τους στόχους για μείωση των εκπομπών CO₂ ο IMO υιοθέτησε τον Ιούνιο του 2021 τον Energy Efficiency Design Index για ήδη υπάρχοντα πλοία δηλαδή τον Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Οι απαιτήσεις του θα τεθούν σε ισχύ από 1^η Ιανουαρίου 2023 και ο δείκτης θα εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία άνω των 400 grt. Ο τύπος από τον οποίο υπολογίζεται ο EEXI είναι ο ίδιος με αυτόν του EEDI.

Επιπλέον ο IMO έχει θεσπίσει έναν ακόμα δείκτη, τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII: Carbon Intensity Indicator), με βάση τον οποίο από το 2023 θα τεθούν περιορισμοί με τους οποίους θα πρέπει να συμμορφωθούν όλο τα εμπορικά πλοία, τα RoPax και τα κρουαζιερόπλοια άνω των 5000 GT καθώς και το διεθνές εμπόριο. Ο δείκτης αυτός δείχνει πόσο αποδοτικά μεταφέρει ένα πλοίο φορτία ή ανθρώπους και μετριέται σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα χωρητικότητας φορτίου και ναυτικά μίλια (CO₂ grams/ton-miles ή CO₂ grams/passenger-miles). Το πλοίο λαμβάνει μια βαθμολογία από το Α έως το Ε και η κατάταξη στις κατηγορίες αυτές θα γίνεται ολοένα και πιο σκληρή καθώς θα πλησιάζουμε στο 2030. Η διαφορά του CII με το EEXI είναι ότι ο μεν πρώτος δείκτης μετράει το πραγματικό αποτύπωμα του πλοίου σε εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία του ενώ ο EEXI είναι μια πιστοποίηση που δεν αναθεωρείται και λαμβάνει υπόψιν τις σχεδιαστικές παραμέτρους του πλοίου.

Ένα επιχειρησιακό μέτρο που δίνει τη δυνατότητα εγκαθίδρυσης ενός μηχανισμού για την, οικονομικά συμφέρουσα βελτίωση, της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου είναι το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης του πλοίου (SEEMP). Το SEEMP δίνει την δυνατότητα στις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ναυτιλίας να διαχειρίζονται την αποδοτικότητα τόσο των μεμονωμένων πλοίων όσο και του στόλου τους σαν σύνολο [2]. Για να το κάνουν αυτό μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα δείκτη, τον



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

ΕΕΟΙ (Energy Efficiency Operational Indicator). Ο δείκτης αυτός επιτρέπει στους χειριστές των πλοίων να μετρώνε την απόδοση στην κατανάλωση καυσίμων κατά τη λειτουργία του πλοίου και να υπολογίζουν το αποτέλεσμα που θα είχε η αλλαγή στην λειτουργία του πλοίου, είτε με αλλαγή του τρόπου σχεδίασης του ταξιδιού είτε με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών στα συστήματα πρόωσης και ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του ΕΕΟΙ είναι καθαρά εθελοντική σε αυτή τη φάση και όχι επιβεβλημένη. Το SEEMP είναι λοιπόν ένα εργαλείο το οποίο είναι εξειδικευμένο για κάθε πλοίο, αφού ακόμα και δύο αδερφά πλοία θα πρέπει να λειτουργούν με διαφορετικό SEEMP εφόσον επιχειρούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Οι παράμετροι που μετράει το SEEMP είναι:

- Η σχεδίαση του δρομολογίου με βάση τις καιρικές συνθήκες (weather routing).
- Κρατάει αρχεία και δίνει ανάδραση πληροφοριών στην εταιρεία.
- Η ενεργειακή διαχείριση του πλοίου.
- Μέθοδοι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων.
- Βελτιστοποίηση των χειρισμών του πλοίου και του φορτίου.
- Συντήρηση του προωστήριου σκεύους.
- Παρακολούθηση και συντήρηση της γάστρας. [3]

Για την εξοικονόμηση ενέργειας και συνακόλουθα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχουν προταθεί από διεθνείς φορείς διάφορα τεχνολογικά και διάφορα λειτουργικά μέτρα. Στα τεχνολογικά μέτρα συμπεριλαμβάνονται:

- Πιο αποδοτικές μηχανές (κύριες και βοηθητικές).
- Αποδοτικότερος σχεδιασμός πλοίου και υφάλων.
- Αποδοτικότερες έλικες.
- Καθαρότερα καύσιμα, που θα έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα όπως για παράδειγμα το LNG.
- Συσκευές καθαρισμού καυσαερίων.
- Χρήση ρεύματος ξηράς στους λιμένες.

Όσον αφορά τα λειτουργικά-επιχειρησιακά μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

- Βελτιστοποίηση ταχύτητας.
- Βελτιστοποιημένη σχεδίαση δρομολογίου με βάση τις καιρικές συνθήκες.
- Βέλτιστη ανάπτυξη και διαχείριση του στόλου.
- Αποτελεσματική διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Οτιδήποτε άλλο που έχει επίδραση στην λειτουργία του εφοδιασμού.

Παρά την αρχική εφαρμογή των μέτρων αυτών, σε εθελοντική βάση τα περισσότερα, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει ο IMO εντός του καθορισμένου χρονοδιαγράμματος απαιτείται η εφαρμογή υποχρεωτικών μέτρων που θα επιφέρουν δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τέτοια μέτρα είναι τα μέτρα της αγοράς (Market Based Measures MBM's), η ανάλυση και αξιολόγηση των οποίων είναι και το αντικείμενο της παρούσης εργασίας.



1 Μέτρα περιορισμού εκπομπών καυσαερίων στη Ναυτιλία

1.1 Τεχνολογικά Μέτρα

Μέσα από βιβλιογραφική μελέτη προέκυψε ότι υπάρχει εκτενής αναφορά σε πλήθος μέτρων τεχνολογικής φύσης η εφαρμογή των οποίων έχει ως στόχο τη μείωση των καυσαερίων προερχόμενα από τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) των πλοίων.

1.1.1 Χρήση εναλλακτικών καυσίμων

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης εκπομπών καυσαερίων έχει προταθεί από πολλούς φορείς η αξιοποίηση εναλλακτικών καυσίμων για τις κύριες και βοηθητικές μηχανές των πλοίων. Τα δημοφιλέστερα καύσιμα στον αγώνα για απανθρακοποίηση της ναυτιλίας και μια εκτίμηση για την πιθανή μείωση εκπομπών CO₂ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Καύσιμο	Πιθανή μείωση εκπομπών CO ₂ (%)
Βιοκαύσιμα	25-100
LNG	0-20
Υδρογόνο	0-100
Αμμωνία	0-100
Κυψέλες Καυσίμων	2-20

Πίνακας 1: Εναλλακτικά καύσιμα και εκτίμηση μείωσης εκπομπών CO₂ από την εφαρμογή τους [4]

Η παραγωγή των **βιοκαυσίμων** γίνεται από οργανικά απόβλητα είτε φυτικά είτε ζωικά και τη δεδομένη χρονική στιγμή γίνεται από φυτικά σάκχαρα και έλαια [5]. Τα βιοκαύσιμα είναι εξαιρετικοί «υποψήφιοι» για τη ναυτιλία και η πιο βιώσιμη επιλογή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και χαμηλές εκπομπές CO₂ και μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του VLSFO και του ULSFO [5]. Το πρόβλημα με τα βιοκαύσιμα στη ναυτιλία είναι ότι υπάρχει λίγη τεχνογνωσία και εμπειρία στο χειρισμό αυτών των καυσίμων καθώς επίσης και ο μεγάλος όγκος των βιοκαυσίμων που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών της ναυτιλίας [5]. Τέλος προβληματισμούς εγείρει το κόστος παραγωγής των εν λόγω καυσίμων καθώς επίσης και η επίπτωση της μαζικής παραγωγής τους στην παραγωγική διαδικασία των τροφίμων.

Από τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα το καύσιμο που ήδη χρησιμοποιείται και παράγεται σε σημαντικές ποσότητες είναι το **υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)**. Το LNG είναι οικονομικά βιώσιμο, πολύ ευκολότερο να αποθηκευτεί σε σχέση με το φυσικό αέριο σε αέρια μορφή και σαν καύσιμο συνεισφέρει στην μείωση της μόλυνσης από μικροσωματίδια (PM: Particle Matter), από SO_x και NO_x και μειώνει τις εκπομπές CO₂ σε ποσοστό 20 με 30% [6]. Παρόλα αυτά κατά την καύση του παρατηρείται διαρροή άκαυστου μεθανίου, γεγονός που μετριάξει τις περιβαλλοντικές του ωφέλειες. Ένα παράδειγμα πλοίου που κινείται με LNG είναι το AIDnona το οποίο πέτυχε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία 95-100% μείωση σε εκπομπές οξειδίων του θείου, 85% σε εκπομπές



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-
based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

νιτρικών οξέων και PM και 22% σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [7] δείχνοντας τη δυναμική του LNG ως καύσιμο για μια πιο «πράσινη ναυτιλία».

Άλλα καύσιμα με προοπτική αξιοποίησης είναι το **υδρογόνο** και η **αμμωνία** με το καθένα να έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Το υδρογόνο έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι με την καύση του δεν εκλύει CO₂, PM και SO_x. Παρόλα αυτά έχει μικρή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας και δεν παράγεται (φθηνά) σε μεγάλες ποσότητες, γεγονός που απαιτεί επιπρόσθετες μετασκευές και αναθεώρηση του σχεδιασμού των συστημάτων. Προκειμένου το υδρογόνο να θεωρηθεί «πράσινο» καύσιμο πρέπει να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Το υδρογόνο επίσης μπορεί να παραχθεί από πυρηνική ενέργεια («κίτρινο»), από οξειδώσεις («γκρί»), και από φυσικό αέριο με συλλογή του CO₂ («μπλέ»), με το ιδανικό υδρογόνο να είναι ωστόσο το «πράσινο». Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια οι τιμές του «πράσινου» υδρογόνου πέφτουν και αναμένεται να πέσουν και άλλο καθιστώντας το οικονομικά ανταγωνιστικό με το «γκρί» και το «μπλέ». [4] Ο κύριος τρόπος παραγωγής αμμωνίας είναι με τη μέθοδο Haber-Bosch [4] στην οποία συνδυάζεται υδρογόνο με άζωτο. Η παραγωγή πράσινης αμμωνίας στηρίζεται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστική σε σχέση με τη συμβατική αμμωνία. Σε σύγκριση με το υδρογόνο η αμμωνία πλεονεκτεί στο γεγονός ότι επιτρέπει οικονομικότερη και αποδοτικότερη αποθήκευση και έχει παραπλήσιο θερμικό περιεχόμενο με αυτό.

1.1.2 Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Ένα άλλο μέσο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλία που στηρίζεται στην τεχνολογία είναι η εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεθόδων που στηρίζονται σε αυτές. Όσον αφορά την **αιολική ενέργεια** αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόωση των πλοίων. Υπάρχουν κάποιες τεχνολογίες που έχουν δείξει ότι μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη, όπως τα ιστία, οι περιστροφείς Flettner, η τεχνολογία ιστίων Kite και ανεμογεννήτριες. Το κύριο πρόβλημα με τον άνεμο είναι η δυσκολία μεγιστοποίησης της αποδοτικότητας κατά την πλεύση [4].

Επίσης σημαντικές προοπτικές για τη ναυτιλία έχει η χρήση ηλιακής ενέργειας κυρίως με εφαρμογές της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών τα οποία δύνανται να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, με σημαντικές εφαρμογές τόσο στην ηλεκτροπρόωση όσο και σαν μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Το κυριότερο πρόβλημα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι απαιτούν μεγάλη επιφάνεια για να καλύψουν τις ανάγκες του πλοίου, μεγάλο αριθμό συσσωρευτών και είναι ευαίσθητα στην διάβρωση λόγω του αλατιού στο θαλασσινό νερό [4]. Μια υπόθεση για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι ότι θα οδηγήσει σε μείωση κατανάλωσης καυσίμου της τάξης του 0.1-3% από βοηθητικές μηχανές [8]. Η κύρια εφαρμογή των φωτοβολταϊκών εκτιμάται ότι θα αφορά μικρά πλοία και απαιτεί περαιτέρω έρευνα όσον αφορά την κατασκευή μη διαβρώσιμων υλικών τα οποία θα μειώσουν τις απώλειες ενέργειας λόγω διάβρωσης στο θαλάσσιο περιβάλλον.

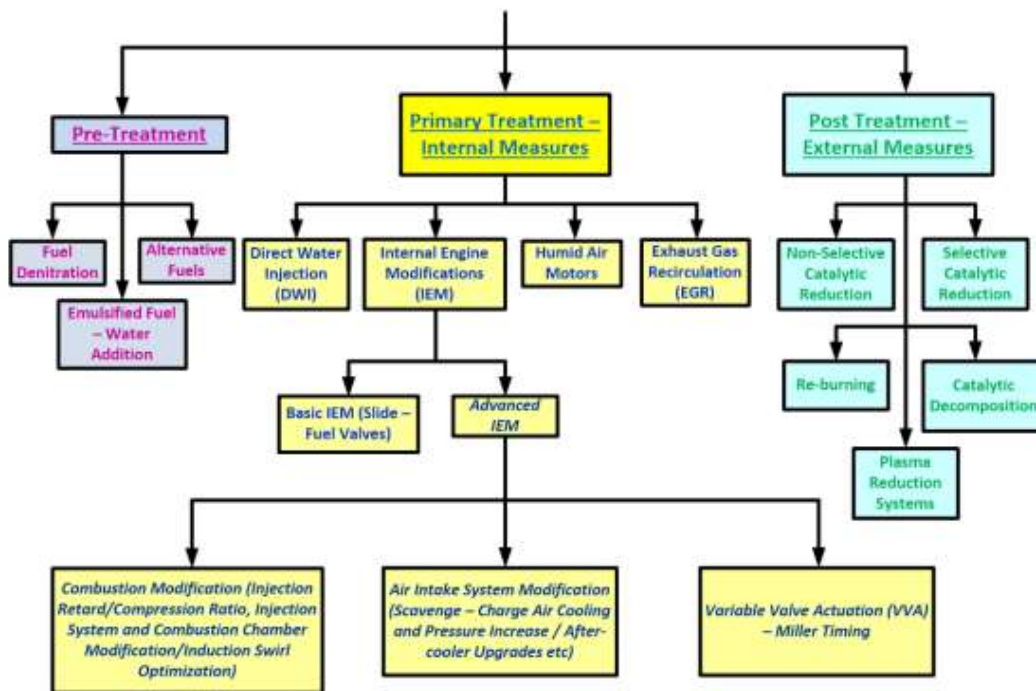
1.1.3 Χρήση τεχνικών επεξεργασίας καυσαερίων

Είναι αυτονόητο ότι οι MEK θα χρησιμοποιούνται εκτενώς στη ναυτιλία για αρκετό καιρό ακόμα, οπότε στη συζήτηση για μείωση των ρύπων δεν θα μπορούσαμε να αγνοήσουμε τις τεχνικές επεξεργασίας καυσαερίων (after-treatment Technologies). Η



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”

μόλυνση προέρχεται όχι μόνο από το CO₂ αλλά επίσης και από τα SO_x, NO_x και τα αιωρούμενα σωματίδια. Πολλές φορές προσπαθώντας να μειώσουν τις εκπομπές ενός ρύπου αυξάνουμε τις εκπομπές ενός άλλου. Στην Εικόνα 2 φαίνονται συνοπτικά οι κύριες τεχνικές επεξεργασίας καυσαερίων.



Εικόνα 2: Τεχνικές μείωσης εκπομπών NO_x [9]

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές επεξεργασίας καυσαερίων που στοχεύουν στη μείωση των ρύπων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- Άμεση εισαγωγή ύδατος (DWI)
- Προσθήκη υγρασίας στον αέρα εισαγωγής
- Προσθήκη ύδατος στο καύσιμο
- Μη θερμικό πλάσμα (NTP)
- Επιλογική καταλυτική μείωση (SCR)
- Επανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR)
- Έλεγχος εκπομπών PM

Επειδή κύριος στόχος της εργασίας είναι η μελέτη για μείωση εκπομπών CO₂ συνοπτική αναφορά θα γίνει για την τεχνική **DWI** η οποία πετυχαίνει ακριβώς αυτή τη μείωση. Στην τεχνική αυτή το νερό εισάγεται απευθείας εντός του κυλίνδρου καύσης μειώνοντας έτσι τις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Το αποτέλεσμα είναι να επιτυγχάνεται μια μεγάλη μείωση εκπομπών NO_x, αύξηση της απόδοσης της μηχανής και μείωση εκπομπών CO₂, με συνακόλουθη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και παραγωγής καπνού ειδικά στα χαμηλά φορτία. [4]

1.1.4 Τεχνικές μέθοδοι μείωσης εκπομπών

Στο σημείο αυτό θα απαριθμήσουμε τις βασικότερες μεθόδους (τεχνολογικής φύσεως), με τις οποίες μπορούμε να πετύχουμε μείωση του εκπεμπόμενου CO₂.



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

- Μείωση της αντίστασης της γάστρας: Επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό γάστρας και προπέλας και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου και επομένως μείωσης εκπομπών CO₂.
- Καθαρισμός γάστρας: Όπως και πριν επιτυγχάνει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Εκτιμάται ότι η τράχυνση της επιφάνειας της γάστρας λόγω μη καθαρισμού της σε ένα χρόνο έχει ως αποτέλεσμα αύξηση κατανάλωσης καυσίμου της τάξεως του 1%. [10]
- Ανοίγματα γάστρας χαμηλού προφίλ: Μειώνουν τις επιδράσεις της τυρβώδους ροής και μειώνουν την αντίσταση και άρα την κατανάλωση καυσίμων περί το 5%. [11]
- Σχεδιασμός του πλοίου: Με την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί η αύξηση της απόδοσης του πλοίου στον τομέα της ενέργειας και άρα να μειωθούν οι εκπομπες CO₂ κατά την πλεύση του. Μέθοδοι για την ενεργειακά αποδοτικότερη σχεδίαση του πλοίου είναι:
 - Η κατασκευή του πλοίου με πιο ελαφριά υλικά (π.χ. ανθρακονήματα ή αλουμίνιο)
 - Η κατασκευή του πλοίου με τις βέλτιστες διαστάσεις για ελαχιστοποίηση των τριβών
 - Η τοποθέτηση βολβοειδούς πλώρης που θα κάνει στρωτή τη ροή του νερού γύρω από τη γάστρα και υπολογίζεται ότι οδηγεί σε 20% μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. [4]
 - Βελτιστοποίηση σχεδιασμού της προπέλας.
- Λίπανση με χρήση αέρα: Είναι μια καινοτόμος ιδέα η οποία χρησιμοποιεί ένα στρώμα αέρα μεταξύ της γάστρας και της επιφάνειας του νερού για να μειώσει την τριβή. Σύμφωνα με έρευνες [12] έχει υπολογιστεί ότι η εν λόγω μέθοδος μπορεί να μειώσει τις τριβές μέχρι και 8%.
- Μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης θερμότητας από τα καυσαέρια: Περίπου η μισή ενέργεια χάνεται λόγω μη αναστρέψιμων θερμοδυναμικών μεταβολών και από την απόρριψη θερμότητας [4]. Παρόλα αυτά κάποια από αυτήν την ενέργεια μπορεί να διασωθεί από τα καυσαέρια, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και συνακόλουθως λιγότερες εκπομπές. Η μείωση εκπομπών CO₂ με χρήση τεχνολογιών εκμετάλλευσης καυσαερίων εκτιμώνται από τον IMO περί το 4-16%. [4] Οι κυριότερες τεχνολογίες αυτού του τύπου είναι:
 - Κύκλος Rankine (RC)
 - Κύκλος Kalina (KC)
 - Σύστημα στροβίλου καυσαερίων
 - Συστήματα θερμοηλεκτρικών γεννητριών

1.2 Λειτουργικά Μέτρα

Πέραν της εφαρμογής μέτρων τεχνολογικής φύσεως, η επίτευξη μείωσης στην εκπομπή καυσαερίων μπορεί να επιτευχθεί και με διάφορες τεχνικές που αφορούν τον τρόπο λειτουργίας των πλοίων. Στις υποπαραγράφους του παρόντος θα σκιαγραφηθούν οι κυριότερες από αυτές τις τεχνικές.

1.2.1 Μείωση της ταχύτητας πλεύσης (slow steaming)

Μειώνοντας την ταχύτητα πλεύσης ενός πλοίου συνακόλουθα μειώνεται και η κατανάλωση καυσίμου αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται ο χρόνος μεταφοράς. Η αύξηση αυτή



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

του χρόνου μεταφοράς σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα πλοία για τη μεταφορά αγαθών, μετριάζοντας έτσι την οικονομία σε καύσιμο. Η τεχνική αυτή είναι πλέον μια ώριμη μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί καθολικά σε όλα τα πλοία με σημαντικά πλεονεκτήματα. Το ένα αναφέρθηκε προηγουμένως και είναι η μείωση κατανάλωσης καυσίμου. Εκτιμάται ότι μια μείωση ταχύτητας της τάξεως του 10% θα επιφέρει μείωση εκπομπών καυσαερίων περί το 19% [13].

1.2.2 Λειτουργία με μειωμένα έρμα

Όταν το πλοίο πλέει με λιγότερα έρμα είναι ελαφρύτερο και έχει λιγότερες τριβές λόγω μειωμένης επιφάνειας κάτω από το νερό. Πρέπει τα ερμά να είναι τόσα ώστε να προσδίδουν σταθερότητα και αρκετό βύθισμα για αποδοτική λειτουργία της προπέλας. Εκτιμάται ότι με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μείωση κατανάλωσης καυσίμων έως και 7% [14] με τις συνακόλουθες μειώσεις σε εκπομπές καυσαερίων.

1.2.3 Σχεδιασμός δρομολογίων με βάση τον καιρό

Ο σχεδιασμός δρομολογίων με βάση τις καιρικές συνθήκες (weather routing) λαμβάνει υπ' όψιν τόσο το είδος του δρομολογίου όσο και τις ταχύτητες ανά σκέλος ως μεταβλητές των καιρικών συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθεί να βρεθεί η βέλτιστη πλευση με το δεδομένο ύψος κύματος, διεύθυνσης και έντασης ανέμου, θαλάσσιων ρευμάτων και άλλων παραγόντων. Έτσι μειώνεται η κατανάλωση του καυσίμου καθώς το πλοίο εκμεταλλευόμενο τις καλύτερες καιρικές συνθήκες πλέει με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις για να παράξει το ίδιο μεταφορικό έργο, εφόσον είναι κοινώς αποδεκτό ότι με κακό καιρό πρέπει να αυξήσει την ισχύ των κύριων μηχανών, με αύξηση κατανάλωσης καυσίμου, για να διατηρήσει τα κινηματικά του στοιχεία.

1.3 Μέτρα βασισμένα στην αγορά (Market Based Measures MBM's)

Η εφαρμογή πολλών από τα ανωτέρω λειτουργικά και τεχνολογικά μέτρα έχει αποδειχθεί ανεπαρκής από μόνη της για να επιτευχθεί ο στόχος της πλήρους απανθρακοποίησης της ναυτιλίας. Για τον λόγο αυτό έχουν κατατεθεί τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό αλλά και περιφερειακό επίπεδο αρκετά μέτρα τα οποία βασίζονται στην επιρροή της αγοράς. Με αυτόν τον τρόπο οι διεθνείς οργανισμοί θα ωθούν τη ναυτιλιακή αγορά να προβεί από μόνη της σε μείωση και σταδιακά εξάλειψη των εκπομπών CO₂. Τα περισσότερα από αυτά τα μέτρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες.

- Σχήμα εμπορίου εκπομπών (ETS: Emission Trading Scheme)
- Απευθείας φόρος στο καύσιμο

Φυσικά πέραν των ανωτέρω δυο κατηγοριών υπάρχουν και λοιπά MBM's στα κυριότερα από τα οποία θα γίνει σχετική αναφορά στην παρούσα εργασία.



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”*

1.3.1 Σχήμα εμπορίου εκπομπών (ETS)

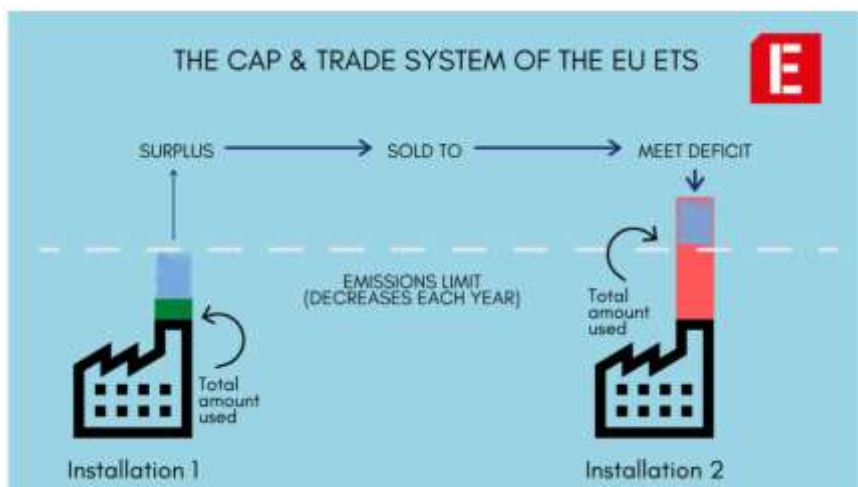
Τα σχήματα εμπορίου εκπομπών συνιστούν μια ομάδα μέτρων που έχει φανεί ότι μπορεί να εφαρμοστεί να έχει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση εκπομπών CO₂. Παρότι υπάρχουν αρκετά τέτοια σχήματα η βασική αρχή των περισσότερων είναι ότι υπάρχει μια «α priori» καθορισμένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που μπορεί να εκπέμψει ένα πλοίο ανά χρόνο. Αν ένα πλοίο είναι ενεργειακά αποδοτικό και εκπέμπει λιγότερο από το δικαιούμενο μπορεί να «πουλήσει» το δικαίωμα εκπομπής άνθρακα σε κάποιο άλλο πλοίο που εκπέμπει περισσότερο. Αντίθετα πλοία που εκπέμπουν περισσότερο άνθρακα από το προβλεπόμενο θα υφίστανται κυρώσεις (πρόστιμα). Έχουν προταθεί αρκετά ETS τα οποία θα έχουν εφαρμογή σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Τα σπουδαιότερα είναι το παγκοσμίου κάλυψης METS (Global Maritime Emission Trading System) και το ευρωπαϊκό ETS (European Trading System). Όσον αφορά το METS είναι δεν έχει εφαρμοστεί ενώ μετά την αρχική πρόταση του το 2010 δεν έχει προταθεί από την επιστημονική κοινότητα κάποιο άλλο παγκόσμιο σχήμα εμπορίου ρύπων. Αντιθέτως το ETS, που έχει εφαρμοστεί, πέραν της ναυτιλίας ενσωματώνει και άλλους βιομηχανικούς κλάδους σε ευρωπαϊκό επίπεδο και συνιστά το μεγαλύτερο σχήμα του είδους στον κόσμο.

Η εφαρμογή ενός παγκόσμιου METS έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Υποστηρίζεται [15] ότι ένα τέτοιο μέτρο θα δώσει κίνητρο στη βιομηχανία να επενδύσει μακροπρόθεσμα σε τεχνολογίες ουδέτερες σε άνθρακα. Επιπλέον το αυξημένο κόστος των αδειών εκπομπής μπορεί να αναγκάσει τις εταιρείες να υιοθετήσουν λειτουργικές πρακτικές όπως την βραχυπρόθεσμη μείωση ταχύτητας πλεύσης. Τις αποφάσεις αυτές όμως επηρεάζουν και παράγοντες όπως η τιμή του καυσίμου και οι ναύλοι και εν τέλη η μείωση ή όχι των εκπομπών θα εξαρτάται από τις συνθήκες της αγοράς. Η συγκεκριμένη μελέτη υποστηρίζει ότι η εφαρμογή ενός METS μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε αύξηση εκπομπών σε περιπτώσεις που οι ναύλοι και οι τιμές των καυσίμων είναι χαμηλές, οι άδειες ιδιαίτερα ακριβές ή το μέτρο αντί να εφαρμόζεται παγκοσμίως έχει μόνο περιφερειακή εφαρμογή. Ακόμη εκτιμάται [6] ότι η εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου θα δημιουργούσε επιπρόσθετα έξοδα στο εμπόριο, την παρακολούθηση και την επαλήθευση των αδειών. Αυτή η αύξηση σε συνδυασμό με μικρό αριθμό αδειών θα δημιουργήσει συνθήκες εμπορίου που μπορεί να μην οδηγήσουν σε μείωση των εκπομπών. Τέλος έχει διατυπωθεί στη βιβλιογραφία [16] ότι μια υψηλή τιμή άνθρακα παγκοσμίως θα μπορούσε να οδηγήσει σε αλλαγή προτίμησης όσον αφορά τη ναυτιλία ως μέσο και να αυξήσει το μερίδιο αγοράς η ναυτιλία μικρών αποστάσεων και η χερσαίες μεταφορές. Αντιθέτως στην ίδια έρευνα εκτιμάται ότι ένα ETS περιφερειακού χαρακτήρα θα δημιουργούσε διαταραχή στον ανταγωνισμό.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι παρά τα προβλήματα του το ευρωπαϊκό ETS λειτουργεί και μπορεί να βοηθήσει στην μείωση εκπομπών καυσαερίων. Το ETS ξεκίνησε να λειτουργεί το 2005 και σε αυτό συμμετέχουν 31 χώρες συμπεριλαμβανομένων κρατών μελών της ΕΕ, το ΗΒ η Ισλανδία η Νορβηγία και το Λιχτενστάιν.



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”



Εικόνα 3: Απλοποιημένο διάγραμμα ETS. Η ίδια αρχή που ισχύει για τα εργοστάσια ισχύει και για τα πλοία.
Πηγή [15]

Πέραν του CO₂ το ETS λαμβάνει υπόψιν του και τις εκπομπές NO_x και άλλων ρύπων. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχει τους ρύπους από περίπου 11.000 εγκαταστάσεων με έντονες ενεργειακές απαιτήσεις καθώς επίσης και τον ευρωπαϊκό εναέριο χώρο συμπεριλαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο περί το 45% των ανθρώπινων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον Ευρωπαϊκό χώρο δραστηριοποίησης.

Όσον αφορά τη λειτουργία του ETS αυτή είναι αρκετά απλή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός αδειών εκπομπής ανά έτος που μειώνεται με το πέρασμα του καιρού. Οι άδειες αυτές μπορούν να εμπορευτούν ελεύθερα στην αγορά. Στο τέλος του έτους κάθε μονάδα που εκπέμπει ρύπους οφείλει να παραδώσει στην ειδική επιτροπή άδειες εκπομπής ίσες με τους ρύπους του έτους. Αν εκπέμπει λιγότερο από ότι δικαιούται τότε μπορεί να πουλήσει το περίσσειμα. Αντίθετα αν παρουσιάσει λιγότερες άδειες από ότι εξέπεμψε τότε θα έρθει αντιμέτωπος με πρόστιμα της τάξεως του 100 Ευρώ/τόνο CO₂ [16].

1.3.2 Απευθείας φόρος στο καύσιμο (Bunker Levy)

Ο φόρος στο καύσιμο είναι ένα μέτρο που είναι εύκολο να εφαρμοστεί και παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερότητας της τιμής, καθόσον οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να σχεδιάσουν και να δράσουν με μικρότερο ρίσκο γνωρίζοντας εκ των προτέρων την αύξηση της τιμής στα καύσιμα. Σύμφωνα με έρευνες [17] ο φόρος στο καύσιμο είναι πιο κατάλληλος για τη ναυτιλία και είναι ένας μοχλός πίεσης για την υιοθέτηση τεχνολογιών με υψηλό TRL (Technology Readiness Level), δηλαδή ώριμες τεχνολογίες και για την ανάπτυξη R&D για νέες καινοτόμες τεχνολογίες. Ο λόγος είναι ότι μια σταθερότητα στις τιμές του άνθρακα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να δημιουργηθεί ένα επιχειρηματικό περιβάλλον, φιλικό για επενδύσεις.

Προτάθηκαν από τους Κοσμά και Acciario [18] δυο τρόποι επιβολής του φόρου. Ο πρώτος τρόπος είναι με φόρο ανά τόνο καυσίμου και ο δεύτερος είναι φόρος επί της αξίας του καυσίμου σαν ποσοστό της τιμής του. Και τα δύο σενάρια οδηγούν σε μείωση ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμου αντίστοιχη με μια αύξηση στην ενεργειακή απόδοση, οδηγώντας παράλληλα σε μια μείωση στο κέρδος της ναυτιλιακής βιομηχανίας το οποίο εξαρτάται από τις συνθήκες της αγοράς και το μέγεθος του φόρου. Η έρευνα τους καταλήγει στο συμπέρασμα ότι όταν οι συνθήκες της αγοράς είναι ευνοϊκές για τη



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

ναυτιλιακή βιομηχανία, με πλεονάζουσα ζήτηση και υψηλά ναύλα, οι δικαιούχοι των φορτίων θα πληρώνουν μεγαλύτερο ποσοστό των εξόδων λόγω φόρων και αντιστροφής.

Έχει προταθεί [19] ότι τα κέρδη από τον επιπλέον φόρο καυσίμου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της έρευνας και της εφαρμογής νέων τεχνολογιών. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι το Νορβηγικό ταμείο NOx που είναι ένας επενδυτικός μηχανισμός και έχει εφαρμοστεί με εξαιρετικά αποτελέσματα με στόχο την δημιουργία κινήτρων για υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών. Αν ο φόρος είναι πολύ χαμηλός τότε οι εταιρείες δεν θα έχουν κίνητρο για να επενδύσουν σε νέες οικολογικές τεχνολογίες. Αντιθέτως ένας πολύ μεγάλος φόρος θα δημιουργούσε λειτουργικά προβλήματα στη ναυτιλία και σε άλλους συνδεδεμένους σε αυτήν κλάδους. Για το λόγο αυτό το ύψος του φόρου και οι θεσμοί που θα διαδραματίσουν το ρόλο του διαχειριστή είναι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να μελετηθούν εκτενώς πριν την εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι αν και ποια πλοία θα εξαιρεθούν από ένα τέτοιο όρο. Προτάθηκε [19] για λόγους μη διατάραξης του ανταγωνισμού ο φόρος να εφαρμοστεί σε όλα ανεξαιρέτως τα πλοία, εκτός από τα πολύ μικρά και συγκεκριμένα αυτά με μέγεθος μικρότερο από 400 GRT. Οποιαδήποτε διαφοροποίηση ή απαλλαγή θα πρέπει να είναι προσεκτικά σχεδιασμένη και να συμπεριλαμβάνει κριτήρια όπως τον τύπο του πλοίου, το μέγεθος, τη σημαία την ηλικία, κάποια σύγκριση με βάση τον EEDI και τις υιοθετημένες τεχνολογίες που αυξάνουν την απόδοση του πλοίου. Επιπλέον ο φόρος θα πρέπει να είναι συνάρτηση του καυσίμου. Συγκεκριμένα καύσιμα με μικρότερο αποτύπωμα σε άνθρακα θα πρέπει να υπόκεινται σε μικρότερο φόρο σε σχέση με καύσιμα με μεγαλύτερο αποτύπωμα. Υπολογίζεται ότι ένας μικρός φόρος της τάξεως των 0.5-5\$/τόνο CO₂ θα είχε αμελητέα αποτελέσματα και θα συγκέντρωνε απλά χρήματα για R&D. Ένας φόρος της τάξεως 5-75\$/τόνο CO θα πετύχαινε σημαντικότερα αποτελέσματα ενώ ένας φόρος υψηλότερος των 75\$/τόνο θα είχε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα και θα ωθούσε την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων. Τέλος όσον αφορά την διαχειριστική αρχή προτείνεται να είναι ένα παράρτημα του IMO βασισμένο στο IOPCF.

1.3.3 Λοιπά MBM's

Πέραν των αναφερόμενων στις παραγράφους 1.3.1 και 1.3.2 έχουν ανά καιρούς προταθεί αρκετά μέτρα μείωσης των εκπομπών CO₂ που βασίζονται στην αγορά. Στην παρούσα παράγραφο θα αναφερθούν τα σημαντικότερα από αυτά.

- **Μικτή πολιτική φορολογίας των εκπομπών και άμεσης επιδότησης:** Μια μελέτη [22] υποστήριξε ότι πρόκειται για τη βέλτιστη λύση για μια διεθνή ναυτιλιακή εταιρεία. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή όταν η τιμή του καυσίμου αυξάνεται οι εταιρείες θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση των πλοίων τους και θα αυξήσουν το διάστημα των ταξιδιών τους. Με αυτόν τον τρόπο εκτιμάται ότι θα μειωθούν οι εκπομπές CO₂. Είναι, ωστόσο, πιθανό οι εταιρείες να αυξήσουν τις αποστάσεις των ταξιδιών τους για να έχουν περισσότερα έσοδα και να αντισταθμίσουν το κόστος εφαρμογής μιας τέτοιας πολιτικής.

- **Παγκόσμιος φόρος και όριο εκπομπής CO₂:** Ένα τέτοιο μέτρο είναι το Maritime Emission Reduction Scheme (MERS) το οποίο προτάθηκε από τον Miola [23]. Πρόκειται για ένα υβριδικό μέτρο που συμπεριλαμβάνει ένα «ταβάνι» στις εκπομπές CO₂ και ένα φόρο σε όλες τις εκπομπές. Τα κέρδη που θα συγκεντρώνονται θα συλλέγονται σε ένα ταμείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνικές και λειτουργικές βελτιώσεις της βιομηχανίας ή και μηχανισμούς προσαρμογής για αναπτυσσόμενες χώρες. Το συγκεκριμένο μέτρο είναι πιο βιώσιμο από ένα



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

παγκόσμιο ETS καθώς αποφεύγει τα λειτουργικά έξοδα παρακολούθησης και αξιολόγησης του παγκόσμιου εμπορίου.

- **Παγκόσμια Πίστωση του τομέα:** Επίσης προτάθηκε [23] το Maritime Sector Crediting Mechanism (MSCM), που είναι ένα εθελοντικό σχήμα που χρησιμοποιεί κάποια όρια για τις εκπομπές του τομέα της ναυτιλίας. Μια μείωση εκπομπών κάτω από αυτό το όριο θα δημιουργήσει εμπορεύσιμες πιστώσεις για όλο τον τομέα και θα μειωθεί με αυτόν τον τρόπο το εκπεμπόμενο CO₂. Παρόλα αυτά λόγω της εθελοντικής του βάσης δεν υπάρχει τρόπος να επιβληθεί και μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά σε ένα σύστημα cap&trade όπως ένα ETS.

- **Μηχανισμός έκπτωσης εντός του ταμείου GHG:** Αυτό το μέτρο αρχικά προτάθηκε στον IMO από τη Διεθνή Ένωση για τη διατήρηση της φύσης (IUCN) το 2010 και ως στόχο είχε την αποζημίωση των αναπτυσσόμενων χωρών από την εφαρμογή ενός MBM. Εκτιμάται ότι ένα παγκόσμιο ταμείο GHG είναι το πιο αποτελεσματικό και οικονομοτεχνικά συμφέρον, Παρόλα αυτά μια τέτοια κίνηση αποζημίωσης θα ήταν σύμφωνη με τις αρχές CBDR (Common but differentiated responsibilities) και NMFT (No more favorable treatment) και θα ήταν πιο αποτελεσματικό στην προστασία του περιβάλλοντος αφού θα βοηθούσε τις αναπτυσσόμενες χώρες να συμμετάσχουν στην εφαρμογή ενός MBM.

2 Κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου MBM

2.1 Οριακό κόστος μείωσης (MAC: Marginal abatement cost)

Η βασική σκέψη πίσω από την υιοθέτηση των Μέτρων που βασίζονται στην αγορά είναι η εφαρμογή μιας τακτικής ότι όποιος μολύνει θα πληρώνει για αυτό. Με άλλα λόγια τα MBMs οδηγούν σε εσωτερικευση του κόστους της μόλυνσης εντός του τομέα της ναυτιλίας. Βραχυπρόθεσμα μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της ταχύτητας πλεύσης ή στην υιοθέτηση λειτουργικών μέτρων που θα οδηγήσουν σε μείωση εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ). Μακροπρόθεσμα τα MBMs ενδεχομένως να δώσουν κίνητρο για υιοθέτηση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας όπως καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, η χρήση των οποίων δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα για όσο καιρό παραμένει χαμηλή η τιμή των ορυκτών καυσίμων. Η υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών θα οδηγήσει σε μείωση εκπομπών ΑτΘ και η υιοθέτηση τους από τις ναυτιλιακές εταιρείες να είναι προτιμητέα από το να πληρώνουν λόγω της εφαρμογής ενός MBM.

Πως όμως μια εταιρεία θα αποφασίσει αν την συμφέρει η μη υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών ή όχι; Για κάθε τεχνολογία υπάρχει ο δείκτης MAC που είναι το οριακό κόστος μείωσης και δίνεται από τη σχέση (2).

$$MAC = \Delta GC / \Delta CO_2 - P/F \quad (2)$$

Όπου:

ΔGC είναι το κόστος εφαρμογής της τεχνολογίας

ΔCO_2 είναι οι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα που αποφεύγονται με την χρήση της

P είναι η τιμή του καυσίμου

F είναι ο συντελεστής άνθρακα του καυσίμου.

Αν το $MAC < 0$ τότε ο ιδιοκτήτης έχει κίνητρο να επενδύσει σε αυτήν την τεχνολογία όποτε υπάρχει μια κατάσταση win-win τόσο για αυτόν όσο και για το περιβάλλον. Επιπλέον διαπιστώνεται ότι για κάθε τεχνολογία το MAC μπορεί να γίνει μικρότερο του 0, αναδεικνύοντας έτσι τη δυνατότητα ενός φόρου στο καύσιμο να δώσει κίνητρα στις ναυτιλιακές εταιρείες να στραφούν σε οικολογικές τεχνολογίες, μειώνοντας



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

έτσι τις εκπομπές ΑτΘ και την συμβολή του στην επίτευξη του στόχου του IMO για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας.

2.2 Αξιολόγηση απευθείας φόρου στο καύσιμο

Καθοριστικό για την αποτελεσματικότητα του μέτρου αυτού είναι το ύψος του φόρου που θα επιβληθεί. Η επιλογή για το ύψος του πρέπει να γίνει μετά από ανάλυση τόσο των βραχυπρόθεσμων όσο και των μακροπρόθεσμων συνεπειών του φόρου αυτού. Εκτιμάται από τον IMO [24] ότι η μικρότερη μείωση CO₂ εντός του τομέα θα είναι πολύ μέτρια και συγκεκριμένα 1-31 εκ. τόνους/έτος. Αντίθετα οι μειώσεις εκτός του τομέα θα είναι αρκετά μεγαλύτερες (152-584 εκ. τόνους/έτος). Παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετά στοιχεία ότι αναλόγως και του φόρου οι μειώσεις σε εκπομπές εντός του τομέα μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερες από την εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου. Υπάρχουν αρκετές εκτιμήσεις στη βιβλιογραφία σχετικά με την μείωση εκπομπών CO₂. Μια από αυτές [25] υποστηρίζει ότι αν η τιμή του καυσίμου αυξηθεί από 400 σε 1000\$ ανά τόνο τότε για ένα μόνο VLCC οι εκπομπές θα πέσουν κατά 50%, με ανάλογα αποτελέσματα και για τα πλοία χύδην φορτίου. Σε στρατηγικό επίπεδο ένας τέτοιος φόρος θα έδινε κίνητρα σε εταιρείες να επενδύσουν σε περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες εφόσον το MAC για τις τεχνολογίες αυτές είναι αρνητικό, αλλά όπως επισημάνθηκε στην ενότητα 2.2 το MAC οποιασδήποτε τεχνολογίας μπορεί να είναι αρνητικό αν είναι αρκετά υψηλή η τιμή του καυσίμου και κατ' επέκταση ο φόρος σε αυτό.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις από την εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου, αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα δεν έχει εκπονηθεί από τον IMO ή κάποιον άλλο φορέα κάποια μελέτη. Μια πρόταση του Ανδρέα Χριστοδούλου, που ήταν πρόεδρος της MEPC και της ειδικής ομάδας του IMO για τα MBM (2010-2013), για διενέργεια μιας τέτοιας μελέτης είχε απορριφθεί. Αν και όταν βρεθεί η πολιτική θέληση για εφαρμογή ενός τέτοιου MBM πρέπει να εκπονηθεί μια μελέτη αξιολόγησης έτσι ώστε να μη διαταραχθεί ή/και αποσταθεροποιηθεί η αγορά.

Υπό το πρίσμα της ευκολίας υλοποίησης του μέτρου αυτού θα έλεγε κανείς ότι είναι σχετικά μικρή. Υπάρχουν τρεις επιλογές για την διαχείριση του μέτρου. Η επιλογή 1 είναι να συλλέγονται τα χρήματα από τον προμηθευτή καυσίμων. Η 2^η επιλογή είναι να συλλέγονται από το πλοίο. Η 3^η επιλογή είναι να συλλέγονται τα χρήματα από το διυλιστήριο. Κάποιοι θεωρούν ότι καμία από τις 3 αυτές επιλογές είναι βιώσιμη και προτείνουν την απευθείας μέτρηση με του CO₂ που εκπέμπουν τα πλοία με χρήση ειδικής τεχνολογίας και να τα φορολογούν με βάση την μετρηθείσα ποσότητα. Αν αξιοποιηθούν οι επιλογές 1, 3 ή 4 τότε τα πράγματα είναι σχετικά απλά. Αν επιλεγθεί η 2^η επιλογή τότε θα προκύψουν επιπλέον διαχειριστικές δυσκολίες στις περιπτώσεις χρονοναυλώσεων.

Η εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου προφανώς θα έχει και εμπορικές επιπτώσεις. Αν ο φόρος καυσίμου επιβληθεί μόνο στη ναυτιλία και όχι και στα ορυκτά καύσιμα των άλλων μεταφορικών μέσων τότε ενδεχομένως να διαταραχθεί ο ανταγωνισμός και να έχουμε μετατόπιση της μεταφορικής ζήτησης σε άλλα μέσα. Η μετατόπιση αυτή θα παρατηρηθεί κυρίως στα ακριβότερα και πιο ευαίσθητα προϊόντα. Εντός της ναυτιλιακής αγοράς οι εταιρείες που έχουν πλοία με μικρότερες τριβές και άρα κατανάλωση καυσίμου θα έχουν πλεονέκτημα, ενώ μακροπρόθεσμα θα ευνοηθούν οι εταιρείες που έχουν αρκετό κεφάλαιο για να επενδύσουν σε νέες ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες. Επιπλέον θα ευνοηθούν οι παραγωγοί εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών αφού τα προϊόντα θα έχουν μεγαλύτερη ζήτηση. Αύξηση στη ζήτηση θα απολαύσουν και οι κατασκευαστές τεχνολογίας μέτρησης εκπομπών καυσαερίων. Εν κατακλείδι για να αποφευχθούν καταστάσεις διατάραξης του ανταγωνισμού οι πόροι που θα συγκεντρωθούν από την επιβολή ενός



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-
based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Ανθρακα ”*

τέτοιου φόρου πρέπει να χρησιμοποιηθούν για επενδύσεις εντός του κλάδου ή για μέτρα βοήθειας για τις αναπτυσσόμενες χώρες. [26]

2.3 Αξιολόγηση Σχημάτων Εμπορίας εκπομπών καυσαερίων

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων σχημάτων αυτά που έχουν παγκόσμια κάλυψη όπως το προταθέν μέτρο της Νορβηγίας του 2010 και αυτά που έχουν περιφερειακή κάλυψη όπως το ευρωπαϊκό ETS. Όσον αφορά τα μέτρα της 1^{ης} κατηγορίας αυτά είναι ορισμένα με ακρίβεια και γερά θεμέλια. Αντιθέτως το ευρωπαϊκό ETS υπάρχουν προβληματισμοί σχετικά με την ένταξη της ναυτιλίας σε αυτό, καθώς υπάρχει ασάφεια σε κάποιους βασικούς πυλώνες του εγχειρήματος αυτού. Οι σημαντικότεροι πυλώνες είναι οι επιπτώσεις ενός τέτοιου μέτρου και το νομοθετικό πλαίσιο στο οποίο θα λειτουργήσει. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του μέτρου, λαμβάνοντας υπ’ όψη τις έντονα κυμαινόμενες τιμές του άνθρακα στο ETS και θέτοντας μια ενδεικτική τιμή 25 ευρώ ανά τόνο CO₂ με βάση τις εκπομπές της περιόδου του 2020 πριν την έλευση του Covid-19 θα συγκεντρωνόντουσαν περί τα 3.45 δις ευρώ με βάση εκτιμήσεις του Παγκοσμίου Συμβουλίου Ναυτιλίας [27].

Το παραπάνω νούμερο είναι ενδεικτικό για τα ποσά που θα μπορούσαν να συγκεντρωθούν από το μέτρο αυτό αλλά δεν λαμβάνει υπόψιν αλλαγές στην αγορά που θα προκαλούσε η εφαρμογή του. Αυτές οι αλλαγές θα μπορούσαν να προκαλέσουν αλλαγές στην ταχύτητα αλλά και στα δρομολόγια των πλοίων. Επιπλέον θα μπορούσαν να αλλάξουν ποικιλοτρόπως τις εκπομπές CO₂ τόσο για πλοία ίδιου τύπου όσο και διαφορετικού, με διαφορετικό τρόπο για κάθε τύπο. Προκειμένου το ETS να πετύχει το στόχο του πρέπει να αποσαφηνιστούν τα εξής [26]:

- Αν η κάλυψη του EU ETS θα είναι η ίδια με το EU MRV ή θα περιορίζεται μόνο σε ταξίδια εντός της ευρωπαϊκής περιοχής δραστηριοποίησης.
- Ποιος θα είναι ο μηχανισμός έκδοσης, προσδιορισμού και δημοπράτησης των αδειών εκπομπών.
- Αν θα είναι ένα ανοικτό ή κλειστό ETS.
- Αν θα παρέχονται δωρεάν άδειες εκπομπής και αν ναι πόσες και πως θα χορηγούνται.
- Αν οι χρονοναυλωτές θα μπορούν να εμπορεύονται άδειες εκπομπής ή αυτό θα περιορίζεται μόνο στους πλοιοκτήτες.

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του μέτρου, οι υποστηρικτές του εκφράζουν « πλήρη βεβαιότητα ότι θα τηρηθούν οι στόχοι μείωσης με την εφαρμογή του μέτρου». Αυτό προκύπτει με τη λογική ότι εφόσον θα τεθεί ένα μέγιστο επιτρεπτό όριο εκπομπών, τότε αν οι εκπομπές φτάσουν αυτό το όριο τότε κανένα πλοίο δεν θα έχει την άδεια να εκπέμψει νόμιμα CO₂. Έτσι εφόσον το όριο μέχρι το 2050 τεθεί κατάλληλα μέχρι το 2050 θα έχουμε 50% μείωση εκπομπών σε σχέση με το 2008 [26]. Όμως υπάρχουν παράγοντες που θα οδηγούσαν σε «διαρροή» άνθρακα. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η χορήγηση δωρεάν αδειών εκπομπής. Ακόμα όμως και αν κάποιος δεχτεί με βεβαιότητα την μείωση εκπομπών, υπάρχουν αρκετές αμφιβολίες σχετικά με το πως θα επιτευχθεί αυτό με ένα μέτρο περιφερειακής ισχύος. Αν το ETS έχει ισχύ μόνο εντός του ΕΕΑ και δεν ληφθεί ένα ανάλογο μέτρο σε παγκόσμιο επίπεδο από τον IMO τότε είναι αμφίβολο το κατά πόσο θα επιτευχθεί ο στόχος μείωσης εκπομπών του IMO, καθώς υπάρχει περίπτωση οι ναυτιλιακές να αλλάξουν τα λιμάνια και τα δρομολόγια τους επιλέγοντας λιμένες που είναι κοντά στον ΕΕΑ αλλά όχι μέσα ώστε να αποφύγουν την ένταξη τους στο ETS. Επιπλέον ένας άλλος παράγοντας που δυσκολεύει την εφαρμογή του μέτρου είναι η αστάθεια στην



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-
based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”*

τιμή του άνθρακα και το γεγονός ότι αυτή είναι τελείως άγνωστη δυσκολεύοντας έτσι το επενδυτικό περιβάλλον για τις ναυτιλιακές εταιρείες. Ακόμη πρέπει να γίνει μελέτη για τα πλοία στα οποία το μέτρο θα εφαρμοστεί. Αν εναρμονιστεί με το EU MRV τότε θα ισχύει για πλοία μεγέθους από 5000 GRT και πάνω. Τότε υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθούν πολλά πλοία 4900 GRT ώστε να μη συμπεριληφθούν στο μέτρο.

Υπό την οπτική του διαχειριστικού φορτίου το ETS έχει περίπου τις ίδιες απαιτήσεις με αυτές που θα είχε και το μέτρο απευθείας φόρου στο καύσιμο αν αυτός συλλεγόταν από το ίδιο το πλοίο [26]. Επιπλέον όμως θα είχε και άλλο κόστος που θα σχετιζόταν με την έκδοση αδειών, την εμπορία τους, την παρακολούθηση συμμόρφωσης με αυτές και την αποφυγή απάτης μεταξύ άλλων. Όσον αφορά την ΕΕ έχει αναπτύξει ένα σχετικά ισχυρό διαχειριστικό σύστημα που θα μπορούσε να υποστηρίξει αυτό το έργο, όμως από τη μεριά των ναυτιλιακών η επιπλέον γραφειοκρατία θα δημιουργούσε δυσκολίες.

Οι επιπτώσεις στην αγορά που αναφέρθηκαν με την εφαρμογή απευθείας φόρου στο καύσιμο θα ισχύουν και για την εφαρμογή ενός ETS. Μια μεγάλη διαφορά σε σχέση με τον απευθείας φόρο είναι η μη προβλεψιμότητα της τιμής του άνθρακα, αλλά και το υψηλό διαχειριστικό φορτίο αλλά και η μικρότερη πρακτικότητα του ETS. Όλα αυτά, όπως προαναφέρθηκε μπορεί να μειώσουν τα κίνητρα για επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα ή καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Το θετικό του ETS είναι ότι θα συνιστούσε εξαιρετική επιχειρηματική ευκαιρία για αυτόν στον οποίο θα ανατεθεί η διαχείριση των αδειών εκπομπής και όλων των γραφειοκρατικών καθηκόντων που συνδέονται με το ETS. Καθώς το γραφειοκρατικό φορτίο θα είναι σημαντικό, σημαντικές θα είναι και οι απολαβές από αυτούς που θα παρέχουν υπηρεσίες για τη διαχείριση του ETS.



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
 “Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

2.4 Συγκριτική αξιολόγηση λοιπών MBM's

Στην υποενότητα αυτή προς αποφυγή υπερανάπτυξης της αξιολόγησης θα παρατεθεί ο κάτωθι πίνακας ο οποίος θα συγκρίνει τα λοιπά μέτρα που έχουν προταθεί στον IMO.

Κριτήριο	Μπαχάμες (καμία ενέργεια)	IUCN	STEEM	EIS (Βασισμένο στον EEDI)	SECT (Βασισμένο στον EEDI)
Αποτελεσματικότητα μείωσης ΑτΘ	Μπορούν να επιτευχθούν κάποιες μειώσεις CO ₂ ακόμα χωρίς MBM	Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε MBM. Η αποτελεσματικότητά του είναι η ίδια με το μέτρο στο οποίο θα εφαρμοστεί.	Υπάρχει ρίσκο διαρροής άνθρακα καθώς κάποια κράτη μπορεί να μην το εφαρμόσουν	Μικρότερη από αυτή του Ταμείου GHG, καθώς κάποια πλοία θα εξαιρεθούν	Μικρή. Δεν υπάρχει βεβαιότητα μείωσης εκπομπών. Καμία προσπάθεια για απευθείας υπολογισμού του CO ₂ .
Συμβατότητα με το υπάρχον νομικό πλαίσιο	Πλήρως συμβατό.	Η ίδια με το μέτρο στο οποίο θα εφαρμοστεί.	Μπορεί να συναντήσει νομικά εμπόδια.	Μπορεί να συναντήσει νομικά εμπόδια.	Μπορεί να συναντήσει νομικά εμπόδια.
Πιθανές επιπτώσεις στα κράτη	Καμία	Μπορεί να είναι κερδοφόρο για τα LDCs και τα SIDS αν ο φόρος βασίζεται στις εισαγωγές	Ασαφές. Μπορεί να δημιουργήσει διαταραχές εκτρέποντας την κίνηση σε λιμένες που δεν εφαρμόζουν το μέτρο	Ασαφές. Τα SIDS χρησιμοποιούν κυρίως παλαιότερα πλοία και αυτό μπορεί να είναι ένα μειονέκτημα	Ασαφές. Τα SIDS χρησιμοποιούν κυρίως παλαιότερα πλοία και αυτό μπορεί να είναι ένα μειονέκτημα
Διαχειριστικό φορτίο	Μηδενικό	Υψηλότερο από αυτό του μέτρου που θα εφαρμοστεί	Υψηλό	Μικρότερο από το SECT αλλά υψηλότερο από το ταμείο GHG	Χειρότερο από το ETS



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
 “Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

Πρακτικότητα	Μέγιστη	Μικρότερη από αυτή του μέτρου στο οποίο θα εφαρμοστεί	Μικρή. Είναι πρακτικά αδύνατη η παρακολούθηση των εκπομπών	Υψηλότερη από το SECT αλλά μικρότερη από το ταμείο GHG λόγω του προσδιορισμού EEDI για υπάρχοντα πλοία	Μικρότερη του ETS. Συνδυάζει προβλήματα του ETS με αυτά του προσδιορισμού EEDI για τα υπάρχοντα πλοία και την εκτίμηση του επιπέδου δραστηριότητας
Αποφυγή αντικρουόμενων κινήτρων	Κανένα αντικρουόμενο κίνητρο	Το ίδιο με αυτό του μέτρου στο οποίο θα εφαρμοστεί	Ασαφές	Ασαφές	Ασαφές
Επίδραση στην αγορά	Καμία	Ίδια με αυτή του μέτρου στο οποίο θα εφαρμοστεί	Ασαφής	Μπορεί να ευνοήσει χώρες με ισχυρό ναυπηγικό τομέα	Μπορεί να ευνοήσει χώρες με ισχυρό ναυπηγικό τομέα

Πίνακας 2: Συγκριση λοιπών MBMs προταθέντων στον IMO. Πηγή [21]



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΣΤΟΛΟ ΠΛΟΙΩΝ (HANDYMAX BULK CARRIERS)

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στο μέτρο επιβολής απευθείας φόρου στο καύσιμο ανεφοδιασμού. Θα γίνει αναφορά στον τρόπο μοντελοποίησης της απόδοσης του μετρου καθώς επίσης και στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές. Τόσο η μοντελοποίηση όσο και τα στοιχεία που θα παρατεθούν προέρχονται από την εργασία του των κ. Καπετάνη, Γκόνη και Ψαραυτή [29].

3.1 Συσχετισμός οριακού κόστους μείωσης και εφαρμογής του μετρου

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1 το οριακό κόστος μείωσης (MAC) είναι ίσο με $MAC = \Delta GC / \Delta CO_2 - P/F$. Το αρνητικό μέρος της εξίσωσης δείχνει τα χρήματα που εξοικονομούνται ανά τόνο μη εκπομπής CO₂ λόγω μείωσης κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό επίσης δείχνει ότι για οποιοδήποτε μέτρο το MAC μπορεί να είναι αρνητικό αν η τιμή του καυσίμου είναι αρκετά υψηλή.

Μια αρνητική τιμή MAC σημαίνει ότι ο πλοιοκτήτης θα έχει οικονομικό κίνητρο να εφαρμόσει το μέτρο. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνει τα κέρδη και ταυτόχρονα μειώνει τις εκπομπές CO₂ και δεν θα χρειαζόταν να επιβληθεί υποχρεωτικά το μέτρο. Αντίθετα, αν το MAC του μέτρου έχει θετική τιμή, τότε ο ιδιοκτήτης δεν θα έχει κανένα κίνητρο να το εφαρμόσει και θα υπήρχε η ανάγκη υποχρεωτικής εφαρμογής του μέτρου.

Μια σημαντική διαπίστωση από τα παραπάνω είναι ότι ακόμα και αν εφαρμόζοταν ένα μέτρο αδράνειας τότε και πάλι θα είχαμε κάποια μείωση εκπομπών καθώς θα εφαρμόζονταν όλα τα μέτρα που έχουν αρνητική τιμή MAC. Με την πρόβλεψη ότι θα αυξηθούν οι τιμές του καυσίμου, προκύπτει ότι ολοένα και περισσότερα μέτρα θα έχουν MAC με αρνητική τιμή οπότε και θα εφαρμοστούν.

3.2 Εφαρμογή ενός φορου στο καυσίμο τροφοδοσιας σε εργαλειο υπολογισμού εκπομπων και βελτιστοποίησης της ταχυτητας πλευσης

Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Ναυτιλιακών μεταφορών και έχει παρουσιαστεί αναλυτικά σε άλλες εργασίες των κ. Γκόνη και Ψαραυτή, οπότε και χρησιμοποιήθηκε στη βασική του μορφή για τη μελέτη της επίδρασης ενός φόρου στο καύσιμο. Επιλέχθηκε ένα πραγματικό δρομολόγιο πλοίου χύδην φορτίου συμπεριλαμβανομένων ενός έμφορτου και ενός άφορτου σκέλους. Το πρόγραμμα «έτρεξε» στο πρώτο στάδιο (ένα πλοίο) και στο δεύτερο στάδιο (τμήμα στόλου) τόσο με όσο και χωρίς την επιβολή φόρου. Για τις δοκιμές χωρίς την επιβολή φόρου επιλέχθηκαν οι τιμές καυσίμου του 2010, ενώ για τις δοκιμές με το φόρο επιλέχθηκε ένας φόρος ύψους 200\$/τόνο καυσίμου. Για τις δοκιμές επιλέχθηκε πλοίο 54000 dwt με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Τύπος Πλοίου	Bulk Carrier
Μέγεθος Πλοίου	54,000 DWT (Panamax)
DWT	54,000
Εκτόπισμα	64,301 m.tons
Τύπος Μηχανής	STX MAN 6S50MC-C



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
 “Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
 Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

Ισχύς μηχανής-MCR	9480kW@127RPM
Ισχύς Βοηθητικών Μηχανών	3-600kW
Μέγιστη συνεχής ταχύτητα	14,5kts

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Πλοίου Μοντελοποίησης

Το υποδεικνυόμενο δρομολόγιο για την προσομοίωση είναι από το Newcastle στην Ιαπωνία και η τιμή του καυσίμου είναι 450\$/τόνο, ενώ η τιμή του φόρου 200\$/τόνο. Τα ναύλα που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από τους Clarksons και αναφέρονται στα πλοία χύδην φορτίου handymax που κινούνταν στο δρομολόγιο Ιαπωνία-Newcastle το 2010, δηλαδή 20.68\$/τόνο. Το διάγραμμα του ταξιδιού εκτιμήθηκε στα 4287 ν.μ., οι μέρες παραμονής σε κάθε λιμάνι 3, ενώ οι μέρες λειτουργίας του πλοίου ανά έτος είναι 285. Τέλος για τους υπολογισμούς θεωρήσαμε ότι το ποσοστό αξιοποίησης της χωρητικότητας του πλοίου ήταν 90% επί της συνολικής χωρητικότητας των 54,160 τόνων. [29]

Το αποτέλεσμα των προσομοιώσεων αυτού του σταδίου αφορά υπολογισμούς για ένα πλοίο σε επίπεδο ταξιδιού, όσο και ετήσιο. Η ταχύτητα βελτιστοποιείται μεγιστοποιώντας μια συνάρτηση, η οποία συνδέεται επί της ουσίας με τη μεγιστοποίηση του κέρδους του πλοιοκτήτη ή του διαχειριστή. Πέρα από την βελτιστοποίηση της ταχύτητας γίνονται υπολογισμοί για τις εκπομπές καθώς και για τις εμπορικές συνέπειες. Τροφοδοτώντας τον υπολογιστή στο δεύτερο στάδιο, που αφορά ένα τμήμα στόλου, με την βέλτιστη ταχύτητα που υποδεικνύεται από το πρώτο στάδιο υπολογίζονται τα ίδια μεγέθη με πριν. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Τιμή καυσίμου	450	650	44,4
Ταχύτητα έμφορτου σκέλους	14	12	-14,3
Ταχύτητα άφορτου σκέλους	14	14	0
Μέση ταχύτητα (κόμβοι)	14	13	-7,1
Ετήσιες εκπομπές CO2 (t) για ένα πλοίο	22.496	18.584	-17.4
Ετήσιες εκπομπές CO2 (mil.t) για τμήμα στόλου	47.7	39.4	-17.4
Ετήσιο μεταφορικό έργο για ένα πλοίο (mil. Ton-miles)	1.700	1.600	-5.9
Ετήσιο μεταφορικό έργο για τμήμα στόλου (bil. Ton-miles)	3.688	3.346	-9.3
Ετήσιες εκπομπές CO2 (grams/ton-mile) για ένα πλοίο	13.2	11.6	-12.2



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

Ετήσιες εκπομπές CO ₂ (grams/ton-mile) για τμήμα στόλου	12.9	11.8	-8.9
Αριθμός επιπλέον απαιτούμενων πλοίων για την κάλυψη του κενού		214	
Συνολικές εκπομπές CO ₂ χωρίς τα επιπλέον πλοία για το ίδιο μεταφορικό έργο (χωρίς το φόρο)		43,3	
Εκπομπές CO ₂ για το ίδιο μεταφορικό έργο (mil. t)	47.7	43.4	-9.1

Πίνακας 4: Σύγκριση κυριότερων αποτελεσμάτων με και χωρίς το φόρο. Πηγή: [29]

Εφαρμόζοντας ένα φόρο στο καύσιμο της τάξης των 200\$/t θα επηρέαζε τους διαχειριστές πλοίων στρατηγικά σε βάθος χρόνου αλλά και λειτουργικά βραχυπρόθεσμα. Στο επίπεδο ενός πλοίου σε ένα ταξίδι, με ένα εμπορτο και ένα άφορτο σκέλος, η αυξημένη τιμή καυσίμου θα μείωνε την μέση ταχύτητα από 14 σε 13 κόμβους. Οι εκπομπές CO₂ για το συγκεκριμένο πλοίο θα πέσουν από 22,496 σε 18,584 τόνους, που δείχνει ότι με μια μείωση ταχύτητας λειτουργίας 1 κόμβου (-7%) οι εκπομπές θα πέσουν κατά 17%. Το ετήσιο μεταφορικό έργο μειώνεται κατά 6% λόγω της μείωσης ταχύτητας. Παράλληλα οι εκπομπές CO₂ ανά τονομίλι μειώνεται κατά 12%. Ο λόγος για αυτή τη μείωση είναι ότι η μείωση των εκπομπών CO₂ είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του μεταφορικού έργου. [29]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το πιο αποτελεσματικό οικονομικό μέτρο της αγοράς (market-based measure) και το οποίο αναμένεται να ασκήσει την μεγαλύτερη πίεση στους stakeholders της ναυτιλίας και να αποφέρει τα περισσότερα χρήματα είναι η επιβολή φόρου στο καύσιμο τροφοδοσίας (bunker levy) και σε μικρότερο βαθμό η επιβολή φόρου του άνθρακα στις εκπομπές CO₂ από πλοία.
- Μια από τις βασικές λύσεις για απαλλαγή από τον άνθρακα και για ικανοποίηση των στόχων για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030 και μέχρι το 2050 είναι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων με ελάχιστο ή και καθόλου άνθρακα (zero carbon fuels) όπως είναι το πράσινο υδρογόνο, η πράσινη αμμωνία, το πράσινο μεθάνιο και η πράσινη μεθανόλη. Ο όρος "πράσινος" στα προηγούμενα καύσιμα σημαίνει ότι τα συγκεκριμένα καύσιμα δεν παράγονται από ορυκτά καύσιμα διότι έτσι επιβαρύνεται σημαντικά σε επίπεδο κύκλου ζωής οι εκπομπές CO₂ αλλά παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας π.χ. υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με ηλεκτρόλυση νερού χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια από ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά. Το κόστος παραγωγής, μεταφοράς και



*“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-
based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”*

αποθήκευσης όμως των "πράσινων" εναλλακτικών καυσίμων είναι ιδιαίτερα υψηλό και αυτό είναι σημαντικός αποτρεπτικός παράγοντας για την ευρεία χρήση αυτών των "πράσινων" καυσίμων στην ναυτιλία και για την επίτευξη των στόχων για το 2030 και το 2050 του ΙΜΟ. Επομένως μια πολλά υποσχόμενη λύση είναι η επιβολή φόρου στα καύσιμα τροφοδοσίας (bunker levy) ή φόρου στις εκπομπές CO₂ από πλοία (φόρος άνθρακα - carbon tax) ώστε αφενός να συγκεντρωθεί ένα κεφάλαιο (fund) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την χρηματοδότηση της έρευνας που αποσκοπεί στην εξεύρεση λύσεων μείωση του κόστους παραγωγής, μεταφοράς και αποθήκευσης εναλλακτικών "πράσινων" καυσίμων και αφετέρου να ασκηθεί πίεση στα υφιστάμενα και σε νεότευκτα πλοία για την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησης καυσίμου και ενέργειας, οι οποίες θα συνεισφέρουν σημαντικά στην υλοποίηση των στόχων του ΙΜΟ για το 2030 και το 2050.

- Μέχρι σήμερα κανένα ΜΒΜ δεν έχει «βγει» από τις αίθουσες συσκέψεων των διαφόρων φορέων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αντιτίθενται στην εφαρμογή των μέτρων αυτών οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες οι οποίες θα βρεθούν σε μειονεκτική θέση αν τεθεί σε εφαρμογή τα μέτρα αυτά. Για την ομόφωνη εφαρμογή των ΜΒΜ's αλλά και για την εξομάλυνση των αδικιών προτείνεται σε όποιο μέτρο εφαρμοστεί να ενσωματωθεί και μια πρόβλεψη «επιστροφής» (rebate mechanism) για τα αναπτυσσόμενα κράτη-σημαίες.
- Ο κλάδος της ναυτιλίας δεν βλέπει θετικά την περίπτωση της επιβολής φόρου στο bunker fuel ή φόρο στον άνθρακα διότι αυτό θα επιβαρύνει σημαντικά το κόστος λειτουργίας των πλοίων. Επομένως οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές πλοίων δεν θέλουν να επωμιστούν αυτό το κόστος και επίσης γενικότερα ο κλάδος της ναυτιλίας δεν θέλει να επωμιστεί αυτό το κόστος διότι αυτό το κόστος θα περάσει στα ναύλα των πλοίων και θα επιβαρύνει σημαντικά και το κόστος μεταφοράς αγαθών με πλοία και έτσι θα έχει συνέπειες και σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους. Εν κατακλείδι, δεν φαίνεται η ναυτιλία να είναι ακόμα θετική σε επιβολή φόρων είτε στο καύσιμο είτε στον άνθρακα και έτσι δεν θέλει να επωμιστεί το κόστος ανάπτυξης τεχνολογιών παραγωγής φθηνών πράσινων εναλλακτικών καυσίμων και το κόστος ανάπτυξης και εφαρμογής φθηνών λύσεων μεγάλης εξοικονόμησης ενέργειας σε πλοία.
- Οποιοδήποτε μέτρο αγοράς και αν εφαρμοστεί πρέπει να μελετηθεί, σχεδιαστεί και αξιολογηθεί επαρκώς λαμβάνοντας υπόψιν του τις πιθανές επιπτώσεις στην αγορά συμπεριλαμβανομένης και μιας πιθανής μεταβολής στη χρήση των μέσων (modal shift) καθώς αν η ναυτιλία γίνει πολύ ακριβή ενδεχομένως μέρος της αγοράς να στραφεί σε άλλα μεταφορικά μέσα τα οποία δεν διέπονται από ΜΒΜ και εν τέλει να μην επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης του άνθρακα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «International Maritime Organisation,» 26 Οκτώβριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>.



“Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής”,
“ Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της
Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα ”

- [2] «International Maritime Organisation,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>. [Πρόσβαση 26 Οκτώβριος 2021].
- [3] KaranC, «Marine Insight,» 8 Ιανουάριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-energy-efficiency-management-plan/>. [Πρόσβαση 26 Οκτώβριος 2021].
- [4] E. A. Y. George Malloupas, «Decarbonization in Shipping Industry: A Review of Research, Technology Development, and Innovation Proposals,» MDPI, Larnaca, 202
- [5] C.-W. Hsieh και C. Felby, «Biofuels for the Marine Shipping Sector,» IEA Bioenergy Paris, 2017.
- [6] P. Balcombe, J. Brierley, C. Lewis, L. Skatvedt, J. Speirs, A. Hawkesa και I. Staffell, «How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies,» Energy Convers, 2019.
- [7] Shell, «Decarbonising Shipping: Setting Shell’s Course,» Hague, Netherlands, 2020.
- [8] T. Smith, J. Jalkanen, B. Anderson, J. Corbett, J. Faber, S. Hanayama, E. O’Keeffe, S Parker και L. Johansson, «Third IMO GHG Study,» International Maritime Organization, London, 2018.
- [9] S. Raptotasio, N. Sakellaridis, R. Papagiannakis και Hountalas, «, D.T. Application of multizone combustion model to,» Appl. Energy , 2015.
- [10] J. Willsher, «The Effect of Biocide Free Foul Release Systems on Vessel Performance International Paint Ltd, London, UK, 2008.
- [11] R. Almeida, «Part 1: How to Design a More Efficient Ship. 4 January 2012,» 2012.
- [12] A. Fotopoulos και D. Margaris, «. Computational analysis of air lubrication system for commercial shipping and impacts on fuel,» 2020.
- [13] IMarEST, «Reduction of GHG Emissions from Ships, Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures,» London,UK, 2011.
- [14] E. Pariotis, T. Zannis, E. Yfantis, I. Roumeliotis και Katsanis, «Energy saving techniques in ships—Technical and,» Athens, Greece,, 2016.
- [15] Y. Gu, S. Wallace και X. Wang, «Can an Emission Trading Scheme really reduce CO emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model,» 2019.
- [16] X. Wang, I. Norstad, K. Fagerholt και M. Christiansen, « Green Tramp Shipping Routing and Scheduling: Effects of Market-Based Measures on CO2 Reduction,» Sustain. Shipping 2019.
- [17] P. ANDERSON, «Investigate europe,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.investigate-europe.eu/en/2020/eu-emissions-trading-scheme-explained/?ie_s=ga&pk_campaign=en_dsa&pk_source=google&pk_medium=cpc&gclid=CjwKCAiAv_KMBhAzEiwAs-rX1JMmSKSdIvfQKz31gLBj6EFoWAMnWdtzZim4LO2Y4ZpjOdlcYG2SqhoCSLwAvD_BwE. [Πρόσβαση 24 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2021].
- [18] «White Case,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.whitecase.com/publications/insight/european-union-greenhouse-gas-emissions-trading-schemes>. [Πρόσβαση 26 November 2021].



“*Αλέξανδρος-Ιωάννης Ταυρής*”,
“*Αξιολόγηση Μέτρων της Ναυτιλιακής Αγοράς (Market-based Measures) για Απαλλαγή της Ναυτιλίας από τις Εκπομπές Άνθρακα*”

- [19] K.-H. Chai, X. Lee και A. Gaudin, «A Systems Perspective to Market-Based Mechanisms (MBM) Comparison,» 2019.
- [20] V. Kosmas και M. Acciaro, «Bunker levy schemes for greenhouse gas (GHG) emission reduction in international,» 2017.
- [21] H. Psaraftis και S. Lagouvardou, «Market Based Measures for the reduction of Green House Gas Emissions,» 2020.
- [22] H. Tanaka και A. Okada, «Effects of market-based measures on a shipping company: Using an optimal control approach for long-term modeling,» 2019.
- [23] A. Miola, M. Marra και B. Ciuffo, «Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Market-based measures and technological options for global and regional policy actions,» 2011.
- [24] IMO, «Full report of the work undertaken by the expert group on feasibility study and impact assessment of possible market-based measures,» 2010.
- [25] K. G. H. P. GN Kapetanis, «Estimating the operational effect of a bunker levy: the case of handymax bulk carriers,» Transport Research Arena, 2014.
- [26] H. N. Psaraftis*, «A comparative evaluation of market based measures for shipping decarbonization,» Maritime Transport Research, 2021.
- [27] W. S. Council, «EU ETS discussion paper, report by the World Shipping Council,» 2020.
- [28] P. Balcombe, J. Brierley, C. Lewis, L. Skatvedt, J. Speirs, A. Hawkes και I. Staffell, «How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies,» s. Energy Convers, 2019.
- [29] G. N. Kapetanis, K. G. Gkonis, H. N. Psaraftis, «Estimating the operational effect of a bunker levy: The case of handymax bulk carriers», Transport Research Arena, 2014.
- [30] H. N. Psaraftis, «Speed optimization versus speed reduction: Are speed limits better than a bunker levy», Springer Nature, 2019.
- [31] K. G. Gkonis, H. N. Psaraftis, «Modeling Tankers’ Optimal Speed and Emissions».