ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
στην
ΝΑΥΤΙΛΙΑ

« ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΕΡΙΑΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ (Air Lubrication) ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ »

Καλλιακούδας Ηλίας

Διπλωματική
Εργασία

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

Πειραιάς

Σεπτέμβριος 2012

<u>Σελίδα δήλωσης αυθεντικότητας / Ζητήματα copyright</u>

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 του τμήματος, που σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

ΣελίδαΤριμελούςΕξεταστικήςΕπιτροπής

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

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Κος ΤΖΑΝΝΑΤΟΣ ΕΡΝΕΣΤΟΣ (Επιβλέπων)
- Κος ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ - ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ
- Κα ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΑΔΟΥ ΦΑΝΗ

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

Ευχαριστίες

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, ώστε η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Τζαννάτο Ερνέστο για την καθοδήγηση και υποστήριξη του μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους δικούς μου ανθρώπους και ιδιαίτερα την οικογένεια μου, για την ηθική και υλική στήριξη που μου προσέφεραν για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου σε μία δύσκολη χρονική στιγμή της ζωής μου.

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 24 / 09 /2012

ΗΛΙΑΣ ΚΑΛΛΙΑΚΟΥΔΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

AIR CAVITY

Το θαλάσσιο εμπόριο αντιστοιχεί στο 90% του όγκου του διεθνούς εμπορίου, ενώ ταυτόχρονα είναι ο πλέον οικονομικός και φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος μεταφοράς ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου σύμφωνα με την αναφορά της UNCTAD, 2011 **[1]**. Εντούτοις ο συνδυασμός της αναζήτησης ακόμη χαμηλότερου κόστους και υψηλότερης περιβαλλοντικής φιλικότητας στην ναυτιλία, επιβάλλει την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και μέσω αυτής την μείωση των καυσαερίων εκπομπών.

Οι τρόποι που θα μπορούσαν να αποφέρουν τέτοια θετικά αποτελέσματα είναι πάρα πολλοί και χωρίς να επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στο σχήμα του κύτους, τη μείωση της υπηρεσιακής του ταχύτητας ή του μεγέθους του. Με δεδομένα το μέγεθος και την αντίσταση κύματος στο πλοίο, η μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι η μείωση της αντίστασης τριβής του νερού στο κύτος του πλοίου. Αυξημένο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τις τελευταίες δύο δεκαετίες στο θέμα της μείωσης της τριβής και έχουν γίνει πολλές σχετικές έρευνες στις Η.Π.Α , την Ευρώπη και την Ασία.

Μεταξύ αυτών έχει διερευνηθεί η πιθανότητα της μείωσης της τριβής χρησιμοποιώντας την «αέρια λίπανση», γνωστή ως τεχνική « air lubrication » ή « air cavity ». Αυτό μπορεί να επιτευχθεί διοχετεύοντας αέρα στο κάτω μέρος του κύτους ώστε να μειώνεται η περιοχή του κύτους που έρχεται σε επαφή με το νερό είτε με την δημιουργία ενός στρώματος από αερο-φυσαλίδες σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο κάτω μέρος του κύτους του πλοίου ή με πλήρωση αυτού του χώρου με αέρα. Αν η διαδικασία γίνει σωστά, υπολογίζεται ότι η αέρια λίπανση μπορεί να οδηγήσει σε καθαρή μείωση κόστους καυσίμων μεταξύ 5% και 20% και με αντίστοιχη μείωση εκπομπής καυσαερίων τόσο σε NOx , SOx αλλά και κυρίως CO_2 .

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται και αναλύεται η εφαρμογή της τεχνικής της αέριας λίπανσης στα πλοία .

AIR CAVITY SYSTEMS

The maritime trade accounts for 90% of the volume of international trade, while it is the most economical and environmentally friendly mode of transport per unit of freight transported according to the report of UNCTAD, 2011 [1]. However, the combination of search even lower cost and higher environmental friendliness in shipping, requires less fuel consumption and thereby reducing exhaust emissions.

The ways that could yield such positive results is too many and without causing major changes in the shape of the hull, reducing the Staff of the speed or size. Given the size and the ship wave resistance, the method could be used is to reduce the frictional resistance of water in the hull. Increased interest shown in the last two decades with regard to reducing friction and have been many investigations in the U.S., Europe and Asia.

Among those investigations is the possibility of reducing friction by using the technique known as «air lubrication» or «air cavity». This can be achieved by channeling air to the bottom of the hull to reduce the area of the hull in contact with the water or by creating a layer of air bubbles in a specially designed space at the bottom of the hull or fill that space with air. If the procedure is done correctly, it is estimated that the gas lubrication can result in a net reduction in fuel costs between 5% and 20% and a corresponding reduction in emission at both NO_x , SO_x and mainly CO_2.

This paper presents and analyzes the application of the technique of Air lubrication to ships.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει αποδειχθεί και έχει γίνει αποδεκτό, η ναυτιλία αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο μεταφοράς προϊόντων και πρώτων υλών παγκοσμίως με την χαμηλότερη εκπομπή καυσαερίων σε ποσοστό 2.3% του συνολικού όγκου εκπομπής καυσαερίων. Παρόλα αυτά γίνονται συνεχώς μελέτες για βελτιστοποίηση των πλοίων και ταυτόχρονα μεγαλύτερης μείωσης εκπομπής καυσαερίων. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν σχεδιασμό νέων τύπων πλοίων εξοπλισμένων με τις τελευταίες τεχνολογίες και εφαρμογή νέων τεχνολογιών στα ήδη υπάρχοντα πλοία. Η πρόκληση όμως εφαρμογής αυτών των νέων τεχνολογιών έχει να αντιμετωπίσει κάποιους περιορισμούς οικονομικής φύσης όπως για παράδειγμα το κρυμένο κόστος (sunk cost) από την χρήση μίας νέας τεχνολογίας το οποίο δεν μπορεί να αποσβεσθεί, όπως είναι το κόστος εκπαίδευσης του πληρώματος στην χρήση των νέων τεχνολογιών, αλλά και από την απροθυμία των ναυπηγείων λόγω του υψηλού κινδύνου των καθυστερήσεων παράδοσης και των αυξανόμενων δαπανών σχεδίου και κατάρτισης στις συμβάσεις που έχουν ήδη υπογράψει. Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση της μεθόδου Air Cavity, των μελετών που έχουν δημοσιευθεί ως σήμερα σχετικά με την μέθοδο αυτή και αναλύονται τόσο τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής αυτής της μεθόδου αλλά και τα μειονεκτήματα της καθώς επίσης και ποιοί παράγοντες συμβάλλουν στην προώθηση και βελτιστοποίηση της τεχνολογίας αυτής αλλά και οι παράγοντες που δρουν αρνητικά απέναντι της. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται οι δείκτες EEDI και SEEMP και η επίδραση που έχουν στην τεχνολογία Air Cavity. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι αέριας λίπανσης που έχουν δοκιμαστεί και σε μερικές περιπτώσεις έχουν εφαρμοσθεί κιόλας. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το ερευνητικό πρόγραμμα PELS που αναφέρεται στην εφαρμογή της χρήσης τεχνολογίας Air Cavity καθώς και οι ενέργειες της πρώτης εμπορικής εταιρείας Ολλανδικής προέλευσης, της DK-Group που διαθέτει στην αγορά το σύστημα Air Cavity. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στις οικονομικές μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διερευνηθεί αν η επένδυση στην τεχνολογία Air Cavity συμφέρει. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω του γεγονότος ότι η τεχνολογία Air Cavity πρόσφατα επανήλθε στο προσκήνιο και υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός από της εταιρείες που θέλουν να την προωθήσουν στην αγορά, δεν υπάρχουν διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία οπότε αναφέρονται οι οικονομικές μόνο μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση μιας τέτοιας επένδυσης. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι φραγμοί που υπάρχουν για την υλοποίηση επενδύσεων στην τεχνολογία Air Cavity, και στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ένα αριθμητικό παράδειγμα για την ωφέλεια που προκύπτει από την εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι κριτικές απόψεις. Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε αφορά κυρίως πηγές από επιστημονικά άρθρα ερευνητών και ναυτιλιακών ιδρυμάτων λόγω του γεγονότος ότι η τεχνολογία Air Cavity δεν είναι ευρέως διαδεδομένη και δεν έχει αξιοποιηθεί ακόμα στην αγορά σε μεγάλο βαθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο – ΔΕΙΚΤΕΣ EEDI & SEEMP

Στις 31/10/11 δημοσιεύτηκε μία μελέτη σχετικά με την αξιολόγηση εξουσιοδοτημένων μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας για την διεθνή ναυτιλία την οποία διεξήγαγαν σε συνεργασία οι Lloyds Register του Λονδίνου και ο Νορβηγικός Νηογνώμονας (DNV). **[2]** Συγκεκριμένα οι Lloyds Register αντιπροσωπεύτηκαν από τον Zabi Bazari και ο DNV απο τον Tore Longva. Η μελέτη αυτή ανατέθηκε απο τον Διεθνή Θαλάσσιο Οργανισμό (IMO) για να αναλύσει την πιθανή μείωση CO_2 ως αποτέλεσμα των εγκεκριμένων κανονισμών ενεργειακής αποδοτικότητας σχετικά με τους δείκτες EEDI και SEMP απο την διεθνή ναυτιλία για κάθε έτος έως και το έτος 2050 ώς αποτέλεσμα αυτών των συμφωνηθέντων μέτρων που χρησιμοποιούν διάφορα σενάρια. Ένα μέρος της μελέτης αυτής μελετά και τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η ρήτρα απαλλαγής απο τον EEDI σύμφωνα με τον κανονισμό 19.5 **[3]** αλλά και τις πιθανές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των μελλοντικών επιπέδων εκπομπής ρύπων που θέτει ο EEDI. Επίσης μελετούνται και τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης που θέτει ο SEEMP και θα μπορούσαν να υιοθετηθούν ώστε να αποδειχθεί και η αποτελεσματικότητα του SEEMP. Τα μέτρα που προτείνονται από τον SEEMP είναι κυρίως διοικητικής φύσεως. Οι παράμετροι που λήφθησαν υπόψη ώστε να οριστεί ένα πλαίσιο μέσα στου οποίου τα όρια θα διεξαγόταν η έρευνα, ήταν τα ακόλουθα :

Α) Κανόνες ενεργειακής απόδοσης βάση της MEPC 62 **[3]** η οποία ακολουθεί τις κατευθυντήριες γραμμές του κανονισμού 6 όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4 της MARPOL και αφορούν τα ακόλουθα :

- Μέθοδος υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης για τα νέα πλοία σύμφωνα με τον EEDI
- Κανόνες που θέτει ο EEDI για την επιθεώρηση και πιστοποίηση των πλοίων.
- Κανόνες για την ανάπτυξη ενός σχεδίου ενεργειακής απόδοσης SEEMP
- Κανόνες που καθορίζουν την ελάχιστη δύναμη πρόωσης και ταχύτητας εξασφαλίζοντας ασφαλείς ελιγμούς σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

B) Μέτρα μείωσης εκπομπής CO_2

Επί του παρόντος οι κύριοι τρόποι μείωσης του CO_2 είναι ένα αμάλγαμα επιχειρησιακών μέτρων, τεχνολογικών βελτιώσεων και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε CO_2. Στην μελέτη αυτή ίσχυαν οι παρακάτω υποθέσεις

- Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και χαμηλών σε περιεκτικότητα CO2 καυσίμων , γίνεται σύμφωνα με το τι ορίζει ο EEDI.
- Η λήψη λειτουργικών μέτρων και η οικονομικά αποδοτική αναβάθμιση της τεχνολογίας θα πρέπει να ενθαρύνονται απο τον SEEMP σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των καυσίμων και του CO_2.

Στο σημείο αυτό γίνεται ιδιαίτερη αναφορά για τους δείκτες EEDI και SEEMP λόγω της σπουδαιότητας που έχουν στην ναυτιλιακή βιομηχανία. Ξεκινώντας με τον EEDI σύμφωνα με τα όσα στοιχεία αναφέρονται σε αυτόν τόσο γενικά όσο και πιο εξειδικευμένα στοιχεία στα οποία στηρίχτηκαν τα αποτελέσματα της έρευνας ισχύουν τα ακόλουθα.

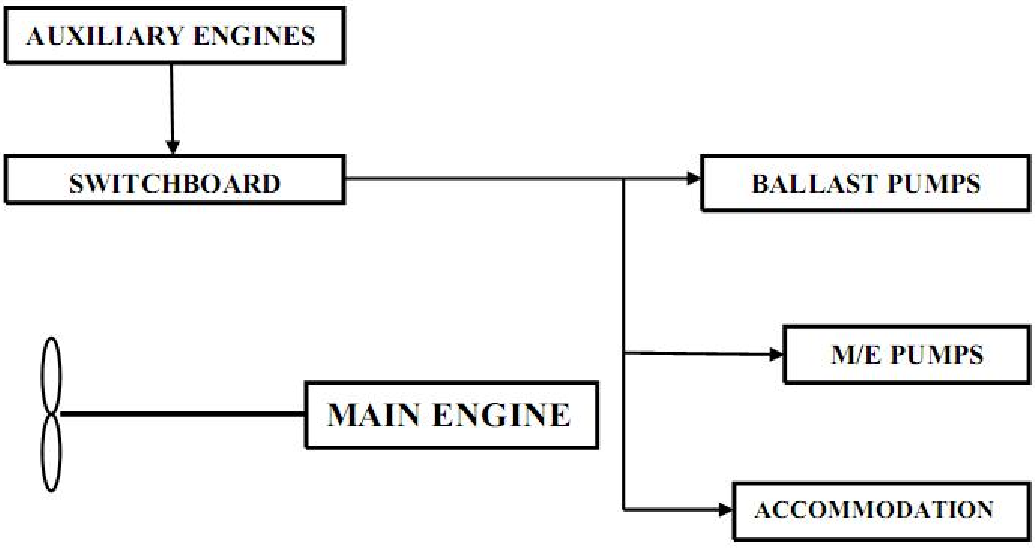
1.1 ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI)

Η εφαρμογή του EEDI θα είναι υποχρεωτική σε πλοία χωρητικότητας άνω των 400 GT με εξαίρεση τα πλοία ανοιχτής θαλάσσης, τα πλοία τύπου Ro-Ro και τα κρουαζιερόπλοια. Στην μελέτη που διεξάχθηκε απο τους Lloyds Register και τον DNV τα πλοία που συμπεριλήφθησαν ήταν : Πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Containers Ships) , πλοία γενικών φορτίων, πλοία ψυγεία και πλοία συνδιασμένων μεταφορών. Η εφαρμογή του EEDI βασίζεται σε κάποιους κανονισμούς **[4]** απο τους οποίους πρέπει να αναφερθούν οι ακόλουθοι.

- Ο κανονισμός 19.5 ο οποίος στην ουσία είναι ρήτρα εξαίρεσης από την εφαρμογή του EEDI και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πλοία που ανήκουν σε κάποιες συγκεκριμένες σημαίες, δίνοντας τους την δυνατότητα να εξαιρεθούν από τον EEDI για 4 χρόνια.

Αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να αυξηθεί κατά 2,5 χρόνια σύμφωνα με την παράγραφο 3 του κανονισμού 19.5 **[3]** , αν η ημερομηνία παράδοσης του πλοίου χρησιμοποιηθεί για λόγους εναρμόνισης των τεχνικών χαρακτηριστικών των πλοίων με τις απαιτήσεις του EEDI.

- Ο κανονισμός 20 αναφέρει ότι κάθε πλοίο πρέπει να έχει συγκεκριμένο δείκτη EEDI και να δείχνει την εκτιμώμενη επίδοση του πλοίου από πλευρά ενεργειακής απόδοσης. Επίσης θα πρέπει να συνοδεύεται από ένα τεχνικό αρχείο EEDI το οποίο θα περιλαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό του EEDI καθώς επίσης και θα αποδεικνύεται η διαδικασία υπολογισμού του. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα τεχνικού δελτίου EEDI για ένα υποτιθέμενο Bulk carrier χωρητικότητας 150.000 DWT και ταχύτητας 14.25 Knot.



Εικόνα 1. – Σύστημα πρόωσης και ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Τα τεχνικά στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του EEDI είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κύριας και της βοηθητικής μηχανής όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Κύρια Μηχανή

MCR_{ME} (kW)	Shaft Gen.	P_{ME} (kW)	Type of Fuel	C_{FME}	SCF_{ME} (g/kWh)
15,000	N/A	11,250	HFO	3.1144	165.0

Βοηθητική Μηχανή

PAE(Kw)	Type of Fuel	C_{FAE}	SCF_{ME} (g/kWh)
625	HFO	3.1144	220.0

Ο τύπος υπολογισμού του δείκτη EEDI δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^{M} f_j\right)\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} * C_{FME(i)} * SFC_{ME(i)}\right) + \left(P_{AE} * C_{FAE} * SFC_{AE}\right)}{f_1 * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

$$+ \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^{M} f_j * \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} * P_{AEeff(i)}\right) C_{FAE} * SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} * P_{eff(i)} * C_{FME} * SFC_{ME}\right)}{f_1 * Capacity * V_{ref} * f_w}$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο τα στοιχεία από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ο δείκτης του EEDI για το εν λόγω πλοίο ο οποίος είναι ίσος με 2.905 (g – CO_2 / ton mile)

- Ο κανονισμός 21 σύμφωνα με τον οποίο τα πλοία μικτού βάρους μικρότερο απο 400 GT δεν υποχρεούνται να υπαχθούν στον δείκτη EEDI. Ανάλογα με την κατηγορία κάθε πλοίου ο δείκτης EEDI ορίζει το ποσοστό μείωσης εκπομπής καυσαερίων που πρέπει να έχει κάθε πλοίο σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που ονομάζονται ‘φάσεις’ όπως παρουσιάζονται και στον παρακάτω πίνακα.

Reduction factors (in percentage) for the EEDI relative to the reference line for each ship type.

	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 onwards
Bulk Carriers	>20,000 Dwt	0%	10%	20%	30%
	10-20,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-20%*	0-30%*
Gas tankers	>10,000 Dwt	0%	10%	20%	30%
	2-10,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-20%*	0-30%*
Tanker and combination carriers	>20,000 Dwt	0%	10%	20%	30%
	4-20,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-20%*	0-30%*
Container ships	>15,000 Dwt	0%	10%	20%	30%
	10-15,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-20%*	0-30%*
General Cargo ships	>15,000 Dwt	0%	10%	15%	30%
	3-15,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-15%*	0-30%*
Refrigerated cargo carriers	>5,000 Dwt	0%	10%	15%	30%
	3-5,000 Dwt	n/a	0-10%*	0-15%*	0-30%*

* The reduction factor is to be linearly interpolated between the two values depending on the vessel size. The lower value of the reduction factor is to be applied to the smaller ship size.

Πίνακας 1- . Ποσοστά μείωσης του EEDI, όρια πλοίων και μεταβατικές φάσεις. [2]

Οι τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες και σύμφωνα με τον EEDI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση, παρουσιάζονται παρακάτω. Ανάμεσα σε αυτές τις τεχνολογίες είναι και η τεχνολογία της αέριας λίπανσης για μείωση της αντίστασης της τριβής στο κύτος του πλοίου.

Α/Α	Τεχνολογία σύμφωνα με τον EEDI	Σχόλια
1	Βελτίωση των διαστάσεων και της μορφής του κύτους.	Ο αποδοτικός σχεδιασμός προκύπτει μέσω επιλογής των λιμανιών και καναλιών που ταξιδεύει το πλοίο.
2	Κατασκευές χαμηλού βάρους	Χρήση νέων ελαφρότερων υλικών
3	Επικάλυψη κύτους	Χρήση βελτιωμένων χρωμάτων
4	Σύστημα αέριας λίπανσης του κύτους	Αέριες κοιλότητες με εισαγωγή αέρα στο κάτω μέρος ή στα πλαϊνά του πλοίου για μείωση της αντίστασης της τριβής
5	Βελτιστοποίηση της γάστρας της προπέλας με συσκευές διασύνδεσης και ροής	Βελτιστοποίηση σχεδιασμού προπέλας και πρύμνης του πλοίου
6	Προπέλες ανάποδης περιστροφής	2 προπέλες στη σειρά κινούμενες σε αντίθετη κατεύθυνση
7	Βελτιστοποίηση απόδοσης της μηχανής	Ηλεκτρονικός ψεκασμός, υπερσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας
8	Ανάκτηση αποβαλλόμενης θερμότητας	Κύριες και βοηθητικές μηχανές ανάκτησης θερμότητας και μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια
9	Χρήση φυσικού αερίου ώς καύσιμο	Φυσικό αέριο και μηχανές διπλής καύσης
10	Χρήση υβριδικής ηλεκτρικής ενέργειας και πρόωσης	Σε κάποια πλοία η χρήση ηλεκτρικής ή υβριδικής ενέργειας θα ήταν αποτελεσματική
11	Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται on-board	Μέγιστη ανάκτηση θερμότητας και ελαχιστοποίηση ηλεκτρικών φορτίων,ευέλικτες λύσεις διαχείρισης ενέργειας

12	Μετάδοση μεταβλητής ταχύτητας για αντλίες,ανεμιστήρες κτλ	Χρήση μεταβλητής ταχύτητας ηλεκτροκινητήρων για τον έλεγχος της περιστροφής των μηχανών οδηγεί σε σημαντική μείωση της απαιτούμενης ενέργειας που χρειάζεται
13	Αιολική ενέργεια	Πανιά, στροφεία, χαρταετοί. Θεωρούνται αναδυόμενες τεχνολογίες.
14	Ηλιακή ενέργεια	Χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.
15	Σχεδιασμός μείωσης ταχύτητας	Χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.

Πίνακας 2. Τεχνολογίες εφαρμόσιμες σύμφωνα με δείκτη EEDI. [2]

1.2 SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)

Ο δείκτης SEEMP αναφέρεται στις καλύτερες πρακτικές για την πιο αποδοτική λειτουργία του πλοίου κατα την διάρκεια ενός ταξιδίου σύμφωνα με τις απαιτήσεις της MARPOL και θα αφαρμοστεί απο 1/1/13 για όλα τα πλοία μεικτού βάρους άνω των 400 τόνων. Τα κύρια βήματα μέσω των οποίων μπορεί να επιτύχει ο SEEMP είναι τα ακόλουθα:

- Σχεδιασμός
- Εκτέλεση
- Παρακολούθηση
- Αυτο-αξιολόγηση και βελτίωση

Τα παραπάνω βήματα απαιτούν την συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών όπως είναι οι πλοιοκτήτες, οι ναυλομεσίτες και οι λιμενικές αρχές. Η συνεργασία τους μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και της εκπομπής CO_2 με τις παρακάτω 3 μορφές συνεργασίας.

➢ **Ενισχυμένη τεχνική και επιχειρησιακή διαχείριση**.

Τα μέτρα της συγκεκριμένης μορφής συνεργασίας περιλαμβάνουν καθαρισμό του κύτους και της προπέλας. Βελτιστοποίηση των διαδρομών, πληρέστερη μέτρηση αποδόσεων στα ταξίδια και υποβολή εκθέσεων. Ανάπτυξη αποδοτικών κινητήρων, προωθητών και βοηθητικών τεχνολογιών.

➢ **Ενίσχυση της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics)**

Σε αυτή την μορφή συνεργασίας τα μέτρα περιλαμβάνουν καλύτερο συνδυασμό φορτίων για επίτευξη υψηλότερου ποσοστού χρησιμότητας, μεγαλύτερες παρτίδες φορτίων και βελτιστοποιημένους χρόνους άφιξης.

➢ **Μέτρα σχετικά με το λιμάνι**

Τα μέτρα σχετικά με το λιμάνι περιλαμβάνουν την κατάργηση των περιορισμών για το μέγεθος του πλοίου, την ανάπτυξη των υποδομών, την μεγαλύτερη χωρητικότητα των λιμένων, ταχύτερη φόρτωση και εκφόρτωση και πιο ευέλικτο σχεδιασμό του εξοπλισμού χειρισμού φορτίου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα μέτρα που συμπεριλαμβάνονται στον δείκτη SEEMP.

1	Ρύθμιση & παρακολούθηση του κινητήρα	Μηχανή επιχειρησιακής απόδοσης και βελτιστοποίησης .
2	Κατάσταση κύτους	Απομάκρυνση ακαθαρσιών και αποφυγη ζημιών
3	Κατάσταση προπέλας	Απομάκρυνση ακαθαρσιών και αποφυγή ζημιών
4	Μειωμένη βοηθητική ισχύς	Μείωση ηλεκτρικού φορτίου μέσω λειτουργίας μηχανημάτων και διαχείρισης ενέργειας

5	Μείωση επιχειρησιακής ταχύτητας	Μείωση με διαχειριστικό τρόπο και όχι μηχανικό
6	Σχεδιασμός και διαμόρφωση	Με παρακολούθηση σχεδιασμού και βελτιστοποίηση του
7	Εκτέλεση ταξιδιού	Μείωση χρόνων αναμονής και αύξηση χρόνου διέλευσης.
8	Δρομολόγηση βάση καιρού	Χρήση πληροφοριών για τον καιρό ώστε να αποφεύγονται τρικυμίες και ρεύματα.
9	Ειδική επίστρωση κύτους	Βάψιμο με νέου τύπου χρώματα
10	Αναβάθμιση προπέλας και συσκευών ροής.	Βελτιστοποίηση προπέλας και προσθήκη συσκευών ροής.

Πίνακας 3. – Τεχνολογίες εφαρμόσιμες σύμφωνα με δείκτη SEEMP. [2]

1.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΞΥ EEDI & SEEMP

Οι τεχνολογίες που προτείνονται από τον δείκτη EEDI και τον SEEMP μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους ώστε να είναι οικονομικά αποδοτικές. Λόγω και των συνεχών ελέγχων που γίνονται για τις εκπομπές καυσαερίων, είναι σίγουρο ότι κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες του δείκτη SEEMP θα υιοθετηθούν. Παρόλο που με το τρέχον κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με τις εκπομπές καυσαερίων, δεν αναμένεται να έχει ένα συγκεκριμένο στόχο, θα μπορέσει να θέσει σε εφαρμογή έναν αποτελεσματικό έλεγχο για την παρακολούθηση του συστήματος, την οικοδόμηση της ευαισθητοποίησης και την επίλυση ζητημάτων σχετικά με τα επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης και θα διευκολύνει την ενισχυμένη υιοθέτηση των μέτρων SEEMP που θα εφαρμόζει ο παγκόσμιος στόλος.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα μέτρα και των 2 δεικτών - EEDI και SEEMP – ώστε να αποτυπωθεί καλύτερα η σχέση μεταξύ αυτών των δεικτών και των μέτρων που ορίζουν.

Α/Α	Τεχνολογία σύμφωνα με EEDI	Τεχνολογία σύμφωνα με SEEMP
1	Βελτίωση των διαστάσεων και της μορφής του κύτους.	Ρύθμιση & παρακολούθηση του κινητήρα
2	Κατασκευές χαμηλού βάρους	Κατάσταση κύτους
3	Επικάλυψη κύτους	Κατάσταση προπέλας
4	Σύστημα αέριας λίπανσης του κύτους	Μειωμένη βοηθητική ισχύς
5	Βελτιστοποίηση της γάστρας της προπέλας με συσκευές διασύνδεσης και ροής	Μείωση επιχειρησιακής ταχύτητας
6	Προπέλες ανάποδης περιστροφής	Σχεδιασμός και διαμόρφωση
7	Βελτιστοποίηση απόδοσης της μηχανής	Εκτέλεση ταξιδιού
8	Ανάκτηση αποβαλλόμενης θερμότητας	Δρομολόγηση βάση καιρού
9	Χρήση φυσικού αερίου ώς καύσιμο	Ειδική επίστρωση κύτους
10	Χρήση υβριδικής ηλεκτρικής ενέργειας και πρόωσης	Αναβάθμιση προπέλας και συσκευών ροής.
11	Μείωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται on-board	
12	Μετάδοση μεταβλητής ταχύτητας για αντλίες,ανεμιστήρες κτλ	
13	Αιολική ενέργεια	
14	Ηλιακή ενέργεια	
15	Σχεδιασμός μείωσης ταχύτητας	

Πίνακας 4. – Συσχετισμός EEDI & SEEMP . [2]

Η μεθοδολογία βασίστηκε στην υιοθέτηση κάποιων σεναρίων όπως, ανάπτυξη του στόλου, χρήση της ρήτρας απαλλαγής από τον EEDI, χρήσης του δείκτη SEEMP σε διαφορετικά επίπεδα και οι τιμές των καυσίμων.

Πιο συγκεκριμένα το σενάριο σχετικά με την ανάπτυξη του στόλου περιλάμβανε 2 ενδεχόμενα **[2]** , το ένα ήταν το A1B κατά το οποίο θα υπήρχε ταχεία και επιτυχημένη οικονομική ανάπτυξη παγκοσμίως και το σενάριο B2 το οποίο δίνει έμφαση στην τοπική ανάπτυξη της οικονομίας. Και στις δύο περιπτώσεις το ποσοστό διάλυσης πλοίων θεωρείται σταθερό. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα ταξινομημένα κατα τύπο πλοίο.

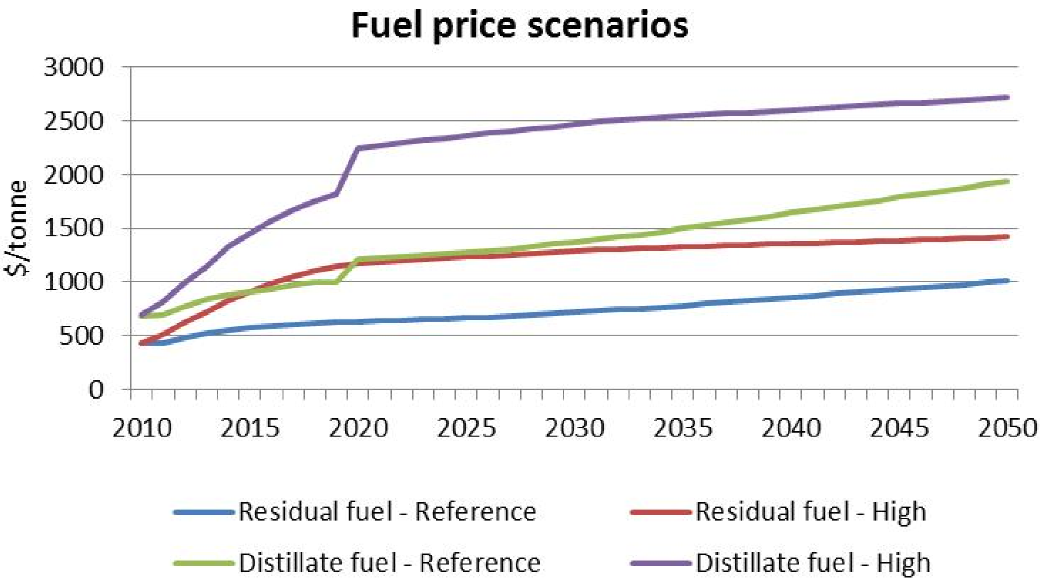
	Growth rate		Scrapping rate
	A1B	B2	
Bulk carrier	2.1 %	1.4 %	3.0 %
Gas carrier	2.1 %	1.4 %	3.0 %
Tanker / Combination carrier	2.1 %	1.4 %	3.0 %
Container ship	5.2 %	4.3 %	3.0 %
General cargo ship	2.1 %	1.4 %	3.0 %
Refrigerated cargo carrier	2.1 %	1.4 %	3.0 %

Πίνακας 5. – Σενάρια ανάπτυξης και διάλυσης στόλου. [2]

Τα σενάρια για την χρήση της ρήτρας απαλλαγής απο τον δείκτη EEDI θεωρούσαν οτι ένα χαμηλό ποσοστό υιοθέτησης της ρήτρας απαλλαγής θα ήταν της τάξης του 5% και ένα υψηλό ποσοστό της τάξης του 30%.

Για την υιοθέτηση του δείκτη SEEMP θεωρήθηκε ως χαμηλό ποσοστό αποδοχής του ένα 30% και ένα υψηλό ποσοστό αποδοχής το 60%.

Τέλος στο σενάριο σχετικά με τις τιμές των καυσίμων λύφθηκαν υπόψη τα εξής : α) οτι οι τιμές για το συμβατικό καύσιμο θα είναι μεταξύ 371$ / τόνο και 594$ / τόνο με πιθανότητα αύξησης της τιμής μέχρι το 2050 μεταξύ 1008$ / τόνο έως και 1935$ / τόνο ενώ για τα υψηλά καύσιμα από 371$ / τόνο έως 594$ / τόνο με πιθανότητα αύξησης της τιμής από 1416$ / τόνο έως 2719$ / τόνο έως το 2050 και β) Για το χρονικό διάστημα 2013 – 2019 η αναλογία καυσίμων θα είναι 80% HFO και 20% MGO, ενώ απο το 2020 και μετά η αναλογία ορίζεται 20% HFO και 80% MGO.



Πίνακας 6 . - Σενάριο τιμής καυσίμων. [2]

1.4 EEDI & ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO2

Για να αποδειχθεί πως η εφαρμογή του EEDI μπορεί να επιρεάσει τις εκπομπές CO_2 στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές CO_2 σε τονομίλια ανά κατηγορία πλοίων που χρησιμοποιούνται ως βάση σύγκρισης.

Ship type	CO_2 emission 2010
Bulk carrier	169.3
Gas tanker	40.8
Tanker	181.3
Container ship	231.6
General cargo ship	91.1
Refrigerated cargo carrier	18.6
Other	132.9
Total	**865.6**

Πίνακας 7. – Βάση δεδομένων εκπομπής CO_2 του στόλου. [2]

Με την εισαγωγή του EEDI στην ναυτιλιακή βιομηχανία τα ποσοστά μείωσης των εκπομπών CO2 θα είναι τα ακόλουθα όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Ο πρώτος πίνακας αφορά τα υπάρχοντα πλοία ενώ ο δεύτερος πίνακας αφορά τα νεότευκτα πλοία.

	Reduction factor							
	2013	2015	2017	2020	2025	2030	2040	2050
Bulk carrier	0 %	10 %	10 %	20 %	30 %	30 %	40 %	40 %
Gas tanker	0 %	10 %	10 %	20 %	30 %	30 %	40 %	40 %
Tanker	0 %	10 %	10 %	20 %	30 %	30 %	40 %	40 %
Container ship	0 %	10 %	10 %	20 %	30 %	30 %	40 %	40 %
General cargo ship	0 %	10 %	10 %	15 %	30 %	30 %	40 %	40 %
Refrigerated cargo carrier	0 %	10 %	10 %	15 %	30 %	30 %	40 %	40 %

Πίνακας 8. – Συντελεστές μείωσης εκπομπής CO_2 κατά EEDI για υπάρχοντα πλοία. [2]

	Average EEDI reduction rate							
	2013	2015	2017	2020	2025	2030	2040	2050
Bulk carrier	9 %	15 %	15 %	22 %	31 %	31 %	40 %	40 %
Gas tanker	14 %	18 %	18 %	25 %	33 %	33 %	41 %	41 %
Tanker	14 %	18 %	18 %	25 %	33 %	33 %	41 %	41 %
Container ship	14 %	18 %	18 %	25 %	33 %	33 %	41 %	41 %
General cargo ship	20 %	25 %	25 %	25 %	39 %	39 %	45 %	45 %
Refrigerated cargo carrier	14 %	18 %	18 %	18 %	33 %	33 %	41 %	41 %
Other	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

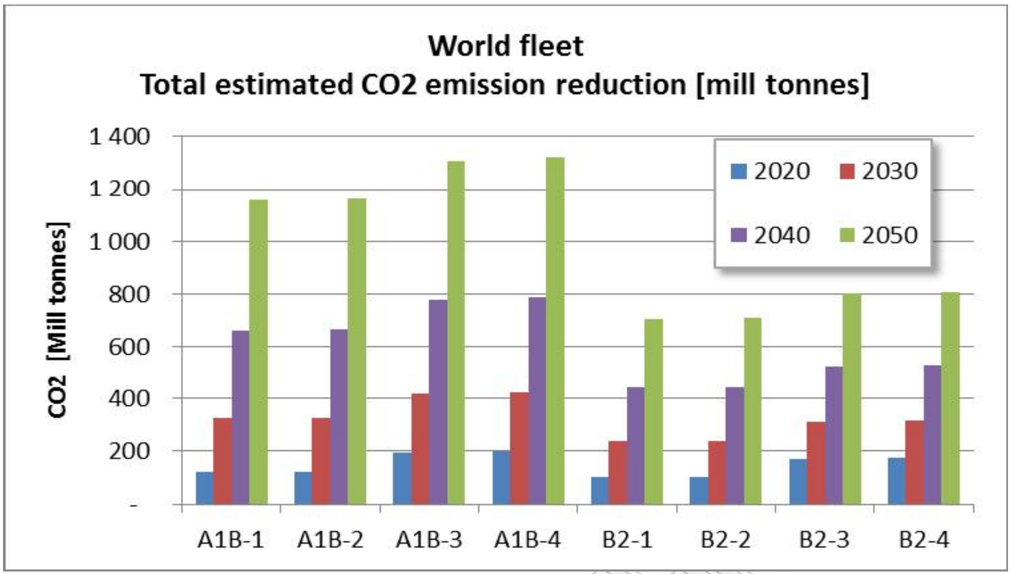
Πίνακας 9. – Ποσοστά μείωσης CO_2 κατά EEDI σε νεότευκτα πλοία. [2]

1.5 SEEMP & ΕΚΠΟΜΠΗ CO_2 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Ο δείκτης SEEMP θεωρεί οτι μόνο οικονομικώς αποδοτικά μέτρα θα εφαρμοστούν απο την υποχρεωτική εφαρμογή του που θα γίνει απο 01/01/2013. Λειτουργεί μόνο ώς καταλύτης και αυξάνει την ευαισθητοποίηση στον τομέα που θα εφαρμοστούν τα πιθανά μέτρα.

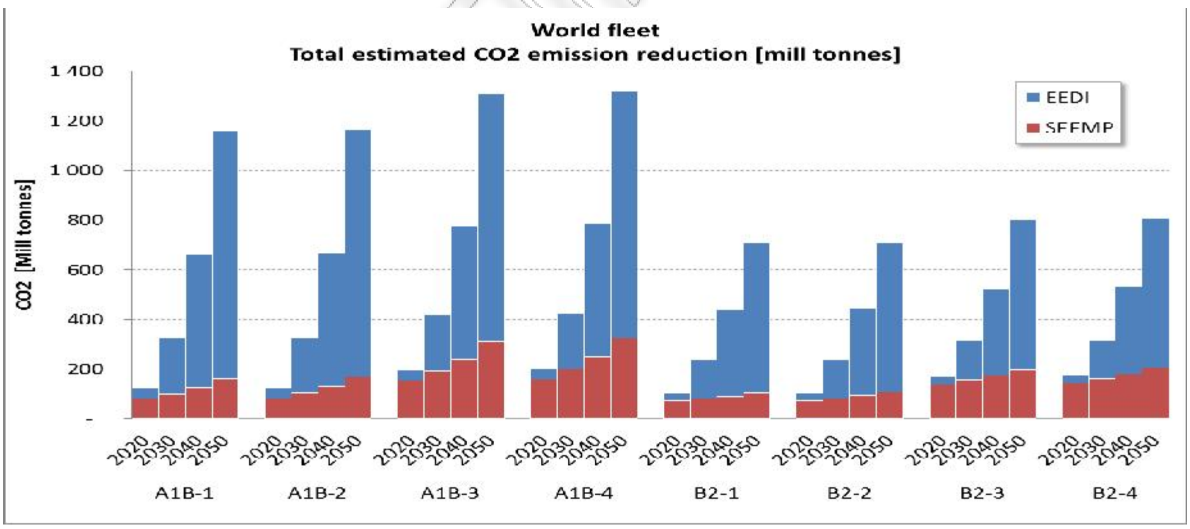
Η χρήση τόσο του δείκτη SEEMP όσο και του EEDI θα οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών CO_2 όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες .

Ο πρώτος πίνακας δείχνει την συνολική μείωση της εκπομπής CO_2 που οφείλεται στον συνδιασμό των δεικτών EEDI και SEEMP, λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός οτι έχει υιοθετηθεί και η ρήτρα απαλλαγής απο τον EEDI.



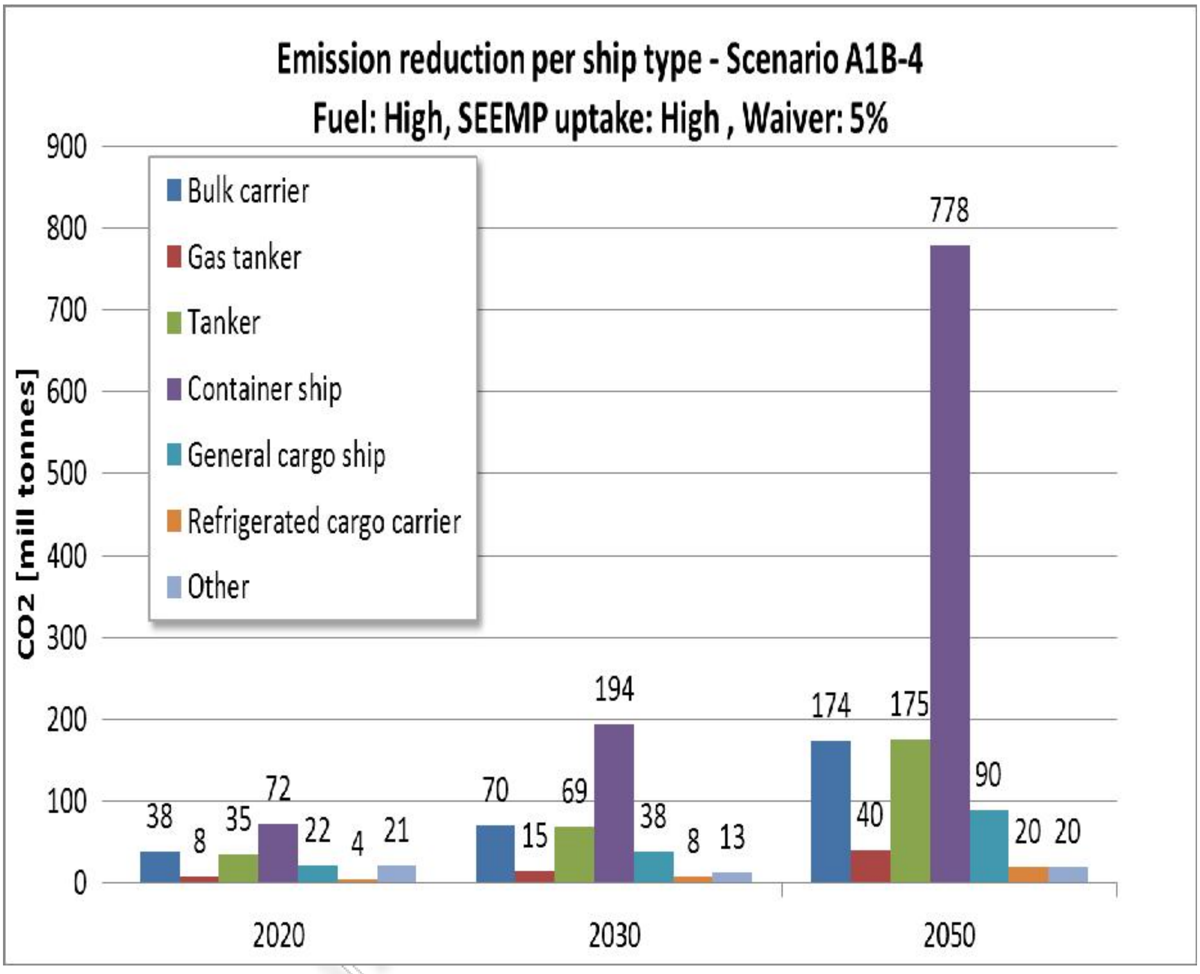
Πίνακας 10. – Μείωση εκπομπών CO2 στο παγκόσμιο στόλο. [2]

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει την αναλογία που κάθε δείκτης θα συμβάλει στην μείωση εκπομπών του CO2.



Πίνακας 11. - Μείωση εκπομπών CO2 στο παγκόσμιο στόλο κατα δείκτη. [2]

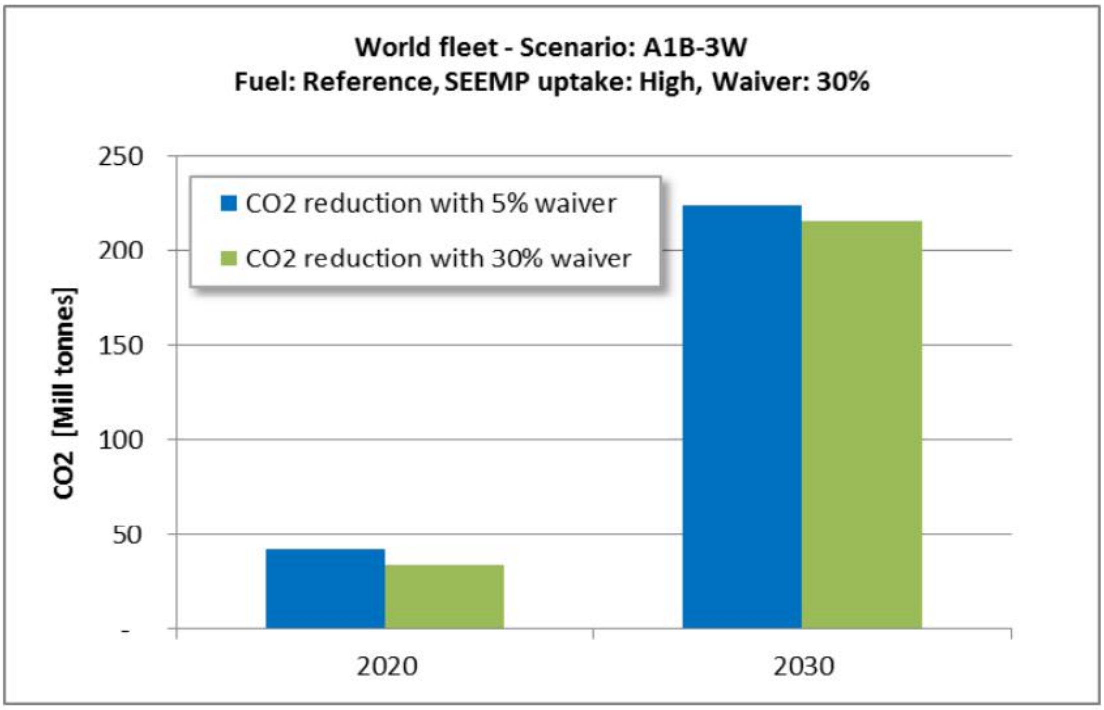
Οι δείκτες EEDI και SEEMP λαμβάνουν υπόψη τους και τον τύπο του πλοίου που υιοθετεί τους δείκτες αυτούς , συνεπώς ανάλογα με τον τύπο πλοίου οι προβλεπόμενες μειώσεις εκπομπών CO_2 απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Αξίζει να αναφερθεί οτι οι εκπομπές CO_2 στα πλοία εμπορευματοκιβωτίων είναι αυξημένες αλλά αυτό οφείλεται στο μεγάλο ρυθμό ανάπτυξης του τμήματος αυτού.



Πίνακας 12. - Μείωση εκπομπής CO2 ανα κατηγορία πλοίων. [2]

1.6 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΟΣ ΕΞΑΙΡΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ EEDI

Ο αντίκτυπος του δικαιώματος εξαίρεσης απο τον EEDI υπολογίζεται να είναι χαμηλός στην συνολική δυνατότητα μείωσης εκπομπών του CO_2. Σε μια αλλαγή του ποσοστού δικαιώματος παραίτησης απο 5% στο 30% θα οδηγήσει σε μείωση του CO_2 κατα 7 εκατομύρια τόνους έως το 2030. Υπολογίζεται οτι μέχρι το 2050 η ανανέωση του στόλου θα έχει αφαιρέσει όλα τα πλοία που επιρεάζονται απο το δικαίωμα παραίτησης και το ίδιο επίπεδο μείωσης θα έχει επιτευχθεί. Οι αναλύσεις δείχνουν οτι το κόστος συμμόρφωσης στις φάσεις 0 και 1, δηλαδή απο 01/01/2013 έως 31/12/2019, θα είναι ασήμαντο και οι πλοιοκτήτες δεν θα έχουν καμμία οικονομική αιτιολόγηση ώστε να επιλέξουν να εξαιρεθούν απο τον EEDI αφού τα πλοία που εξαιρούνται απο τον EEDI μπορούν να θεωρηθούν απο τους ναυλομεσίτες ως ανεπαρκή με αποτέλεσμα να υποφέρουν εμπορικά. Επίσης τα πλοία που δεν θα έχουν υιοθετήσει τον EEDI όταν καταλήξουν στην αγορά των μεταχειρισμένων θα έχουν πολύ χαμηλότερη αξία απο αντίστοιχα μεταχειρισμένα που είχαν υιοθετήσει τον δείκτη EEDI. Συνάγεται λοιπόν ότι τα περιθώρια που λαμβάνονται υπόψη για το δικαίωμα εξαίρεσης από τον EEDI, με χαμηλό το 5% και υψηλό το 30% θεωρούνται λογικά και πιστευέται ότι το δικαίωμα εξαίρεσης θα παραμείνει στο 5%. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο αντίκτυπος του δικαιώματος εξαίρεσης από τον EEDI για ποσοστό 5% και 30%.

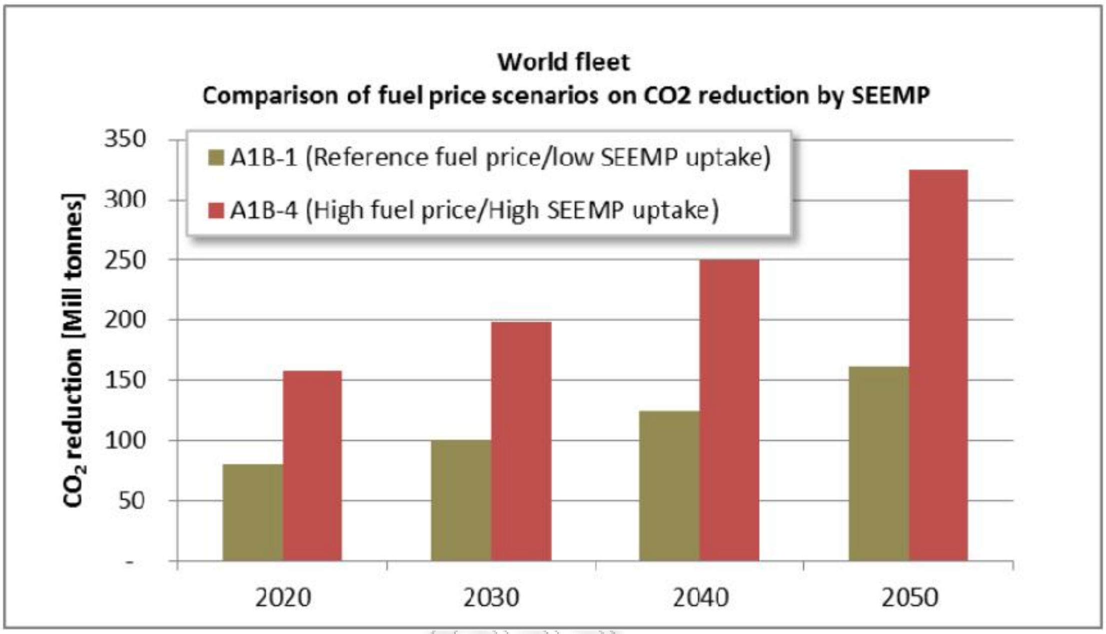


Πίνακας 13. – Αντίκτυπος δικαιώματος εξαίρεσης από τον EEDI στην εκπομπή CO_2. [2]

1.7 Ο αντίκτυπος της τιμής των καυσίμων στην εκπομπή CO2

Ο αντίκτυπος της τιμής καυσίμων στις εκπομπές CO_2 είναι εκτιμήσιμος μέσω των μέτρων που θα ληφθούν από την εφαρμογή του SEEMP. Βασική προυπόθεση είναι να παραμείνει σταθερό το κόστος υιοθέτησης των μέτρων SEEMP και να μην μεταβάλεται ταυτόχρονα με τις τιμές των καυσίμων. Οι μέχρι τώρα ενδείξεις αποδεικνύουν ότι λόγω έλλειψης ενός κανονιστικού πλαισίου, η υιοθέτηση του δείκτη SEEMP θα οριστεί κυρίως από τις τιμές των καυσίμων και την ποσότητα εκπομπής CO_2 . Για αυτό τον λόγο θα μπορούσε να διατυπωθεί η υπόθεση ότι με χαμηλές τιμές καυσίμων θα υπάρχει και χαμηλή υιοθέτηση των μέτρων του δείκτη SEEMP, ενώ το αντίθετο θα συμβεί με υψηλές τιμές καυσίμων όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

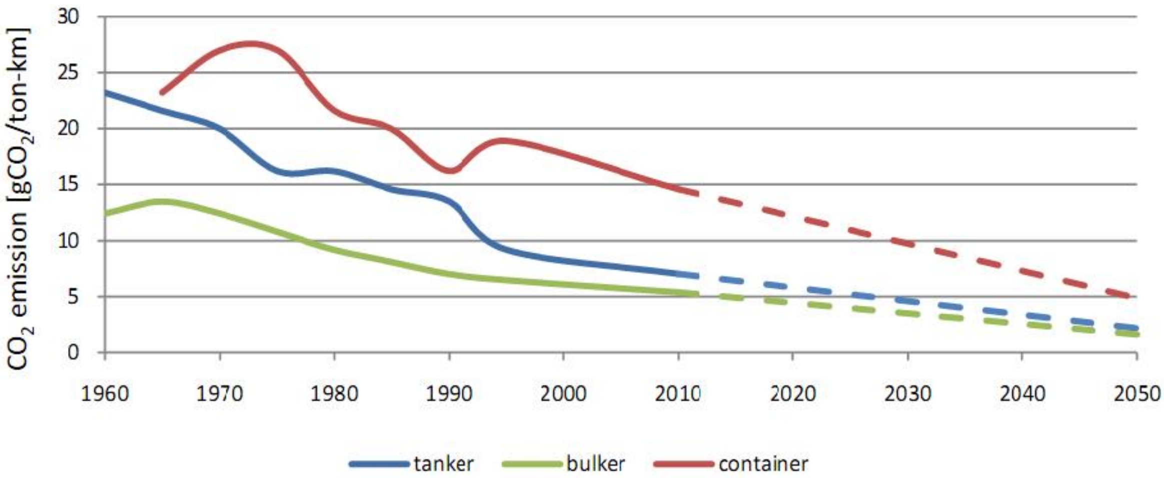
Το σενάριο A1B-1 αναφέρεται σε χαμηλές τιμές καυσίμων και μικρή υιοθέτηση των μέτρων του δείκτη SEEMP και το σενάριο A1B-4 αναφέρεται σε υψηλές τιμές καυσίμων και υψηλή υιοθέτηση των μέτρων του δείκτη SEEMP.



Πίνακας 14. – Αντίκτυπος της τιμής καυσίμων στην μείωση εκπομπής CO_2 με χρήση του δείκτη SEEMP. [2]

Επίσης ο στόχος για τον εντοπισμό των υποσχόμενων τεχνολογιών που θα οδηγήσουν σε μείωση των εκπομπών καυσαερίων που είναι σχετιζόμενες με τις εκπομπές αεριών του θερμοκηπίου (GHG) μελετάται και από το πρόγραμμα TOSCA (Technology Opportunities and Strategies towards Climate friendly transport) **[5]** . Μια σημαντική δομική μονάδα του προγράμματος αυτού είναι η τεχνοοικονομική προδιαγραφή της τεχνολογίας για την χαμηλή εκπομπή GHG η οποία λαμβάνει υπόψη όλους τους σημαντικούς τρόπους μεταφοράς επιβατών και εμπορευμάτων σε συνδυασμό με τα καύσιμα μεταφορών και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί μια σωστή δομή. Οι βελτιώσεις τεχνολογίας στα μεταφερόμενα δια της θαλάσσης οχήματα έχουν οδηγήσει σε μία αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων που χρησιμοποιούνται.

Μια μελέτη του IMO (International Maritime Organization) έχει αναλύσει τις ιστορικές τάσεις στην αποδοτικότητα των μεταφορών και της κατανάλωσης καυσίμων όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 1. - Μέσος όρος εκπομπής CO_2 σε σχέση με την αποδοτικότητα κατανάλωσης ανά τύπο πλοίου. [5]

Αν και οι τάσεις δεν διακρίνουν ρητά τα αποτελέσματα των βελτιώσεων τεχνολογίας, της αλλαγής ταχυτήτων και μεγέθους των πλοίων, παρουσιάζουν σαφώς την γενική τάση προς τις υψηλότερες αποδοτικότητες των μεταφορών του στόλου. Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα οι εκπομπές CO_2 που παρουσιάζονται, αναφέρονται γενικά στον χάρτη του υπάρχοντος στόλου και περιλαμβάνουν βοηθητικά περιθώρια κατανάλωσης και ασφαλείας των καυσίμων.

Δεδομένου ότι το 50% περίπου της προωθητικής δύναμης (της ώσης) ενός τυπικού πλοίου, απαιτείται για να καλύψει την αντίσταση τριβής, το 25% της ενέργειας χάνεται με την μορφή καυσαερίων και το υπόλοιπο απελευθερώνεται ως θερμότητα.

Συνάγεται λοιπόν η άποψη πως οποιαδήποτε τεχνική που θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά την τριβή, θα είχε σημαντικό αντίκτυπο τόσο οικονομικό όσο και περιβαλλοντικό.

Η κατανομή της ενέργειας που χρησιμοποιείται στα διάφορα μέρη του πλοίου κατά την κίνηση του παρουσιάζεται στον πίνακα 15.

Parameter	Tanker/bulker	container
Exhaust	25.5	25.0
Heat	25.2	24.5
Shaft	49.3	50.5
propeller loss	16.3	15.6
propeller power	32.1	33.7
transmission	1.0	1.3

Πίνακας 15. – Ποσοστά απώλειας ενέργειας στα μέρη του πλοίου εν κινήση. [5]

Η αντίσταση τριβής αναπτύσσεται λόγω της κίνησης μίας στερεάς επιφάνειας εντός κάποιου ρευστού. Η συνεκτικότητα του τελευταίου αποτρέπει την ολίσθηση και συντελεί στην ανάπτυξη του οριακού στρώματος, εντός του οποίου η ταχύτητα του ρευστού στο σημείο επαφής του με την κινούμενη στερεά επιφάνεια είναι ίση με αυτή (δηλαδή στο μέγιστο πάχος του οριακού στρώματος). Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την διαφοροποίηση της ταχύτητας εντός του ρευστού, η αντίσταση τριβής εκφράζει την αντίσταση που προβάλει το ρευστό στην προσπάθεια παραμόρφωσης του και πιο συγκεκριμένα της διάτμησης του. Στην περίπτωση της αέριας λίπανσης του κύτους των πλοίων, η μείωση της αντίστασης τριβής επιτυγχάνεται μέσω της αντικατάστασης του νερού που βρέχει το κύτος του πλοίου απο αέρα, δηλαδή μέσω της παρεμβολής ρευστού χαμηλότερης συνεκτικότητας και συνεπώς μικρότερης αντίστασης τριβής. Ένα απλό πείραμα που μπορεί να εξηγήσει πώς λειτουργεί η αέρια λίπανση είναι να κινηθεί μια λεπτή αλλά εύρωστη επιφάνεια πρώτα μέσα σε ένα στρώμα αέρα και μετά μέσα σε ένα στρώμα νερού, διατηρώντας τις ευρύτερες περιοχές στις πλευρές. Η αντίσταση που δημιουργείται οφείλεται συνήθως στην αντίσταση τριβής και μπορεί άμεσα να παρατηρηθεί πως η αντίσταση στον αέρα είναι μικρότερη από ότι στο νερό.

Η επιτυχής εφαρμογή της αέριας λίπανσης τόσο σε υπάρχοντα πλοία όσο και σε καινούρια θα οδηγούσε σε εξοικονόμηση καυσίμων και κατά συνέπεια και σε μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων. Η πρόκληση είναι να διοχετευτεί σωστά και σε επάρκεια η ποσότητα του αέρα στο κύτος του πλοίου και να ρυθμιστεί η ροή του με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη μείωση της αντίστασης τριβής. Αν η διαδικασία αυτή εφαρμοστεί επιτυχώς, έχει υπολογιστεί ότι θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε ποσοστό μεταξύ 5% και 20%. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλοι οι μέθοδοι βελτιστοποίησης των πλοίων και οι μειώσεις των εκπομπών ρύπων που επιτυγχάνονται από την κάθε μέθοδο λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή φορτίου του πλοίου σε ποσοστό 48% , 50% και 70%.

	unit	oil tanker	Bulker	Container
Reference vehicle				
Fuel consumption[1]	g/ton-km	1.35	1.26	5.09
WTW CO_2 emission[2]	gCO_2-eq/ton-km	4.76	4.44	17.97
Transport work	Thousand m ton-km	13.0	7.1	7.8
Load factor	%	48%	50%	70%
Technological measures				
Air cavity system				
Fuel consumption	g/ton-km	1.15 - 1.21	1.07-1.13	4.63-4.83
WTW CO_2 emission	gCO_2eq/ton-km	4.05 - 4.29	3.77-3.99	16.35-17.07
Propeller design optimization		PBCF	PBCF	CCRP
Fuel consumption	g/ton-km	1.29 - 1.32	1.21-1.24	4.78-4.93
WTW CO_2 emission	gCO_2eq/ton-km	4.57 - 4.67	4.26-4.39	16.89-17.43
Engine energy recovery				
Fuel consumption	g/ton-km	1.21	1.13	4.58
WTW CO_2 emission	gCO_2eq/ton-km	4.29	3.99	16.17
Operational measures				
Hull coating				
Fuel consumption	g/ton-km	1.25 - 1.33	1.19-1.24	4.81-5.03
WTW CO_2 emission	gCO_2eq/ton-km	4.42 – 4.69	4.22-4.39	16.98-17.77
Propeller maintenance				
Fuel consumption	g/ton-km	1.28 - 1.32	1.19-1.23	4.83-4.98
WTW CO_2 emission	gCO_2eq/ton-km	4.52 - 4.67	4.22-4.32	17.07-17.61

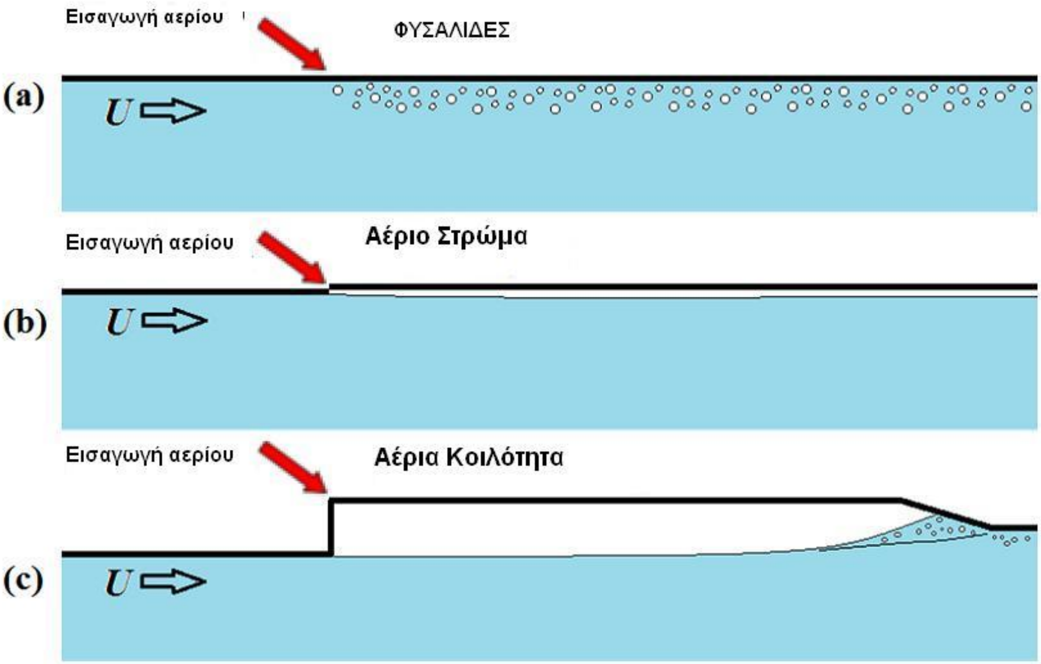
Πίνακας 16. – Μέθοδοι βελτιστοποίησης πλοίων και εκπομπές ρύπων αυτών των μεθόδων. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΕΡΙΑΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Οι τεχνικές αέριας λίπανσης μπορούν να χωριστούν σε 3 κύριες κατηγορίες που είναι οι ακόλουθες:

1. Μείωση Αντίστασης Φυσαλίδων (Bubble Drag Reduction , BDR)
2. Μείωση Αντίστασης Στρώματος Αέρα (Air Layer Drag Reduction, ALDR)
3. Μείωση Αντίστασης Μερικής Κοιλότητας (Partial Cavity Drag Reduction, PCDR)

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται σχηματικά αυτές οι τρείς τεχνικές και γίνεται μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών της καθεμιάς.



Εικόνα 2. – Μέθοδοι Αέριας Λίπανσης [6]

(a) Στη μέθοδο BDR αερο-φυσαλίδες εισάγονται στο σημείο επαφής του κύτους με το νερό και θεωρείται ότι θα μειώσουν την αντίσταση τριβής μέσω της μείωσης του φαινομένου το ειδικού βάρους και την τροποποίηση μεταφοράς της ορμής αλλά οι αερο-φυσαλίδες μπορεί να απομακρυνθούν από την επιφάνεια και η επίδραση τους μειώνεται.

(b) Στη μέθοδο ALDR ένα συνεχόμενο στρώμα αέρα διαχωρίζει το κύτος από το νερό μειώνοντας κατά συνέπεια την τριβή. Αυτό το στρώμα αέρα σε μορφή συνεχόμενης ταινίας αέρα έχει βρεθεί ότι μένει μακριά κάτω από την περιοχή εγχύσεως αερίου.

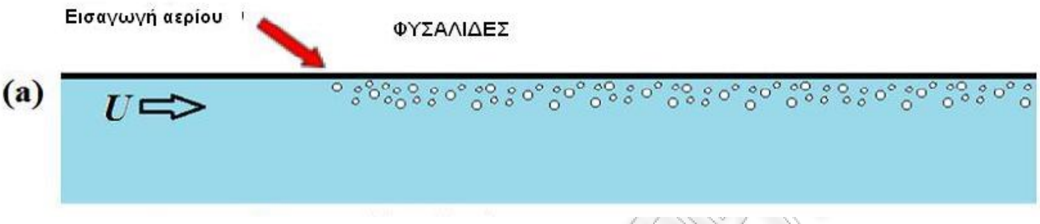
(c) Στην μέθοδο PCDR το κύτος του πλοίου έχει ειδικά διαμορφωμένες κοιλότητες που γεμίζουν αέρα και κατά συνέπεια μειώνεται η επιφάνεια τριβής. Το πίσω μέρος της κοιλότητας σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, έχοντας μια μικρή κλίση ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια αέρα. **[6]**

Για οποιαδήποτε τεχνική αέριας λίπανσης που εξετάζεται για εφαρμογή θα πρέπει η πιθανή ενέργεια που εξοικονομείται να είναι επαρκής ώστε να δικαιολογείται η προστιθέμενη πολυπλοκότητα του συστήματος παροχής αέρα αλλά και το κόστος κεφαλαίου, διαχείρισης και συντήρησης που απαιτείται για την υιοθέτηση αυτής της τεχνικής.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια πιο εκτενής ανάλυση της κάθε μεθόδου αέριας λίπανσης καθώς και τα σχετικά πειράματα που έχουν διεξαχθεί σε κάθε μια από αυτές.

2.1 ΜΕΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ (BUBBLE DRAG REDUCTION , BDR)

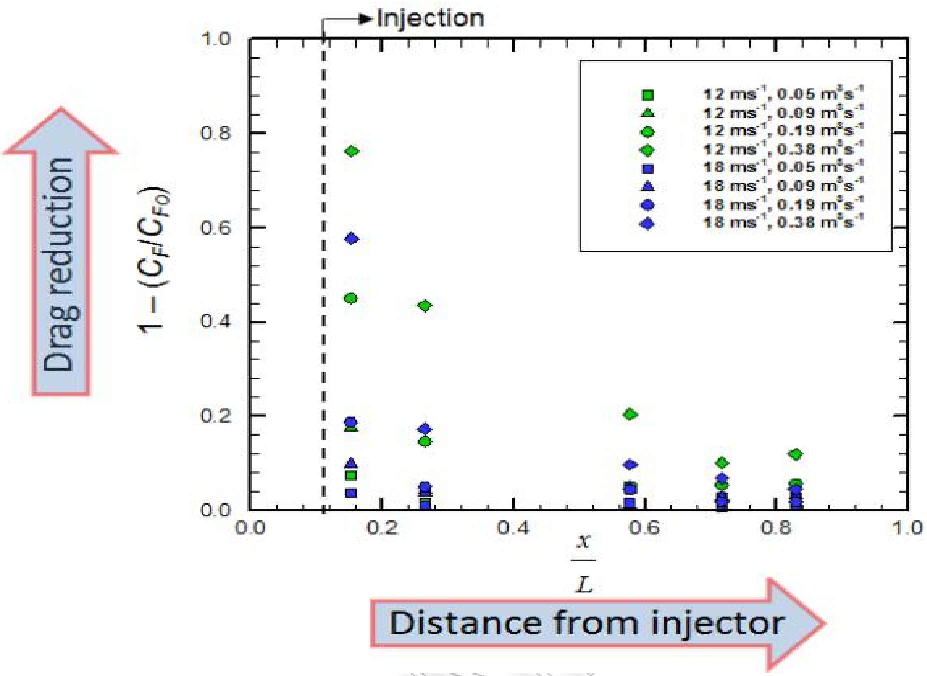
Στην Μείωση Αντίστασης Φυσαλίδων (BDR) οι μικρές φυσαλίδες εγχέονται στο κάτω μέρος του κύτους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3:- Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας φυσαλίδων με την τεχνική BDR [6]

Οι διασκορπισμένες φυσαλίδες ενεργούν για να μειώσουν το φαινόμενο του ειδικού βάρους και να τροποποιήσουν την ταραχώδη μεταφορά ορμής. Όταν οι φυσαλίδες είναι πάρα πολύ μικρές τότε η τεχνική αυτή αναφέρεται και ως τεχνική μείωσης αντίστασης μικροφυσαλίδων. Στην παρούσα μέθοδο εξετάζεται αν η μείωση της αντίστασης τριβής προέρχεται από την τροποποίηση του αποτελεσματικού ιξώδους, την αλλαγή πυκνότητας του υγρού, την τροποποίηση αναταραχής ή την μεταφορά αλλαγής της ορμής. Η τεχνική BDR έχει γίνει αντικείμενο αρκετών μελετών εκ των οποίων μία από αυτές είναι του Yoshiak Kodama από το Εθνικό Ινστιτούτο Ναυτιλίας Ιαπωνίας **[6]**. Στην μελέτη αυτή ο Kodama αναφέρει ότι η τεχνική BDR θα ήταν ιδανική για χρήση σε πλοία τύπου tanker για τους εξής λόγους: α) Λόγο του όγκου που έχουν τα tanker, η επιφάνεια του πλοίου που έρχεται σε επαφή με το νερό και δημιουργείται το φαινόμενο της τριβής αποτελεί το 80% της συνολικού όγκου του πλοίου, β) Λόγο του σχήματος αυτών των πλοίων τα οποία μοιάζουν σαν κουτιά – εξαιρώντας το τμήμα της πλώρης και της πρύμνης – προσφέρουν μια τεράστια επίπεδη επιφάνεια όπου οι φυσαλίδες παραμένουν κοντά στο κύτος του πλοίου κατά την πλεύση και δεν απομακρύνονται από αυτό αυτό.

Τα πειράματα του Kodama διεξήχθησαν σε μοντέλο εργαστηριακής κλίμακας και όχι σε κανονικής κλίμακας πλοία και τα αποτελέσματα που προέκυψαν απεικονίζονται στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα.



Διάγραμμα 2 : - Διαγραμματική απεικόνιση μελέτης σχέσης μεταξύ ποσότητας εγχεόμενου αέρα και ποσοστού μείωσης της τριβής με τη χρήση της μεθόδου BDR. [6]

Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ποσότητα εγχεόμενου αέρα και στον κάθετο άξονα το ποσοστό μείωσης της τριβής. Όπως παρατηρήθηκε και αποτυπώνεται στο διάγραμμα αυτό, με την αύξηση της ποσότητας του εγχεόμενου αέρα, η τριβή στην επιφάνεια του κύτους μειώνεται έως και 80% λόγω της εφαρμογής της τεχνικής BDR.

Παρόλα αυτά τα πειράματα σε εργαστηριακή κλίμακα, ακόμα παραμένουν αναπάντητα κάποια ερωτήματα σχετικά με την εφαρμογή της τεχνολογίας BDR σε πλοία κανονικής κλίμακας, όπως για παράδειγμα ποιά ποσότητα εγχεόμενου αέρα απαιτείται, ποιό το μέγιστο πιθανό FDR, πόσο μακριά προς τα κάτω από την έγχυση η περιοχή FDR θα εμμείνει, πόσο σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος των φυσαλίδων, ποιά η απόδοση σε θαλασσινό νερό, και ποιά είναι η καλύτερη μέθοδος εγχύσεων.

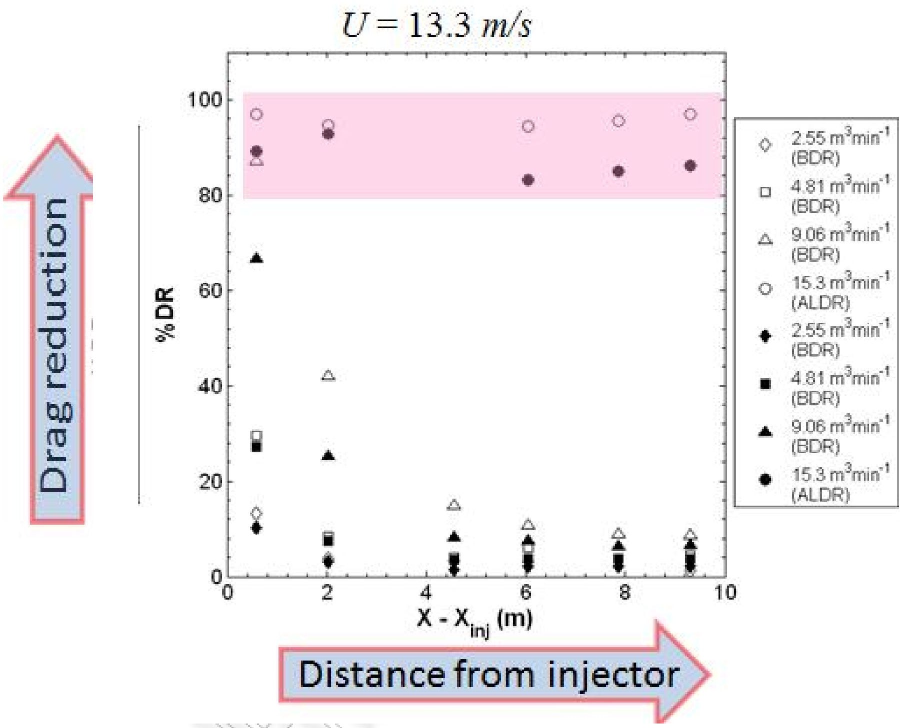
2.2 ΜΕΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΕΡΑ (AIR LAYER DRAG REDUCTION, ALDR)

Εικόνα 4:- Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας φυσαλίδων με την τεχνική ALDR [6]

Με την μέθοδο Μείωσης Αντίστασης Στρώματος Αέρα (ALDR) ο εγχεόμενος αέρας δημιουργεί ένα φαινομενικά συνεχές στρώμα αέριας λίπανσης μεταξύ του κύτους του πλοίου και του υγρού. Οι συσκευές επιφάνειας (όπως το μικρό οπίσθιο βήμα για παράδειγμα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιβάλλουν το διαχωρισμό του στρώματος ορίου προς το επάνω μέρος του σημείου εγχύσεως αέρα, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο την δημιουργία του αέριου στρώματος.

Στην παρούσα μέθοδο όπως και στην μέθοδο BDR δεν καταβάλλεται καμία προσπάθεια ώστε να διανεμηθεί ο εγχεόμενος αέρας, ο οποίος όταν ξεκινά να εγχέεται δημιουργεί μικροφυσαλίδες και στην συνέχεια με αύξηση της εγχεόμενης ποσότητας του αλλά και με την βοήθεια ενός οπίσθιου βήματος οδηγεί στην δημιουργία του φαινομενικού στρώματος συνεχούς αέρα. Το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου αέριας λίπανσης είναι η μείωση της αντίστασης τριβής στην περιοχή που καλύπτεται από αέρα σε ποσοστό λίγο παραπάνω από 80%.

Σε σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων BDR και ALDR **[6]** σε ένα μοντέλο εργαστηριακής κλίμακας, με μήκος 13 m και τον εγχυτήρα αέρα σε βάθος 2m από το σημείο αιχμής, παρατηρήθηκε ότι η επίδραση της μεθόδου ALDR παρέμενε σταθερή καθ όλο του μήκους του προτύπου ενώ η επίδραση της μεθόδου BDR άρχισε να αποσυντίθεται γρήγορα. Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού εμφανίζονται στο παρακάτω σχήμα όπου παρατηρείται στην ροζ περιοχή ότι η μέθοδος BDR που απεικονίζεται με τις έντονες κουκίδες αποσυντίθεται γρηγορότερα ενώ η μέθοδος ALDR παραμένει σταθερή.



Διάγραμμα 3.- Σύγκριση των μεθόδων BDR και ALDR σε μοντέλο 13m. [6]

Εκτός όμως από τα εργαστηριακής κλίμακας πειράματα για την μέθοδο αέριας λίπανσης ALDR , έγιναν και δύο πειράματα σε κανονικού μεγέθους πλοία **[6]**. Το πρώτο πείραμα έγινε από τον Hoang στο πλοίο Pacific Seagull το 2009 και το δεύτερο πείραμα έγινε από τον Shuji Mizokami για λογαριασμό της Mitsubishi Heavy Industries το 2010.

Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά του πλοίου Pacific Seagull ήταν τα παρακάτω

Length over all	126.6 m
Length between perpendiculars	120.0 m
Breadth	21.4 m
Depth	9.9 m
Draft (designed full)	7.1m
Draft (Full)	7.0 m even
Draft (Ballast)	4.0 m (trim by stern 1.5 m)
Speed (service)	12.4 kt
Main engine	3883 kW x1
Propeller	4 blades CPP
Diameter of propeller	3.6 m

Πίνακας 17.- Χαρακτηριστικά πλοίου Pacific Seagull. [6]

Με την ολοκλήρωση του πειράματος τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν

- Μείωση της αντίστασης τριβής από 20% έως 40%
- Συνολικά καθαρή εξοικονόμηση καυσίμων 10% σε συνθήκες υπό έρμα και 5% σε συνθήκες πλήρους φορτίου.

Τα στοιχεία σχετικά με τις ακριβείς ροές εγχύσεως αέρα που χρησιμοποιήθηκαν δεν γνωστοποιήθηκαν λόγο του γεγονότος οτι η μέθοδος της αέριας λίπανσης βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη και υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών που θέλουν να προωθήσουν εμπορικά αυτή τη τεχνολογία.

Στο πείραμα που διεξήγαγε ο Shuji Mizokami τα χαρακτηριστικά του πλοίου Yamatai που χρησιμοποιήθηκε ήταν τα παρακάτω.

Length over all	162 m
Width	38 m
Depth	9.0 m
Draft	4.5 m / 6.37 m
Design speed	13.25 kt
Main engine	3,218 kW x 2
Propeller	CPP

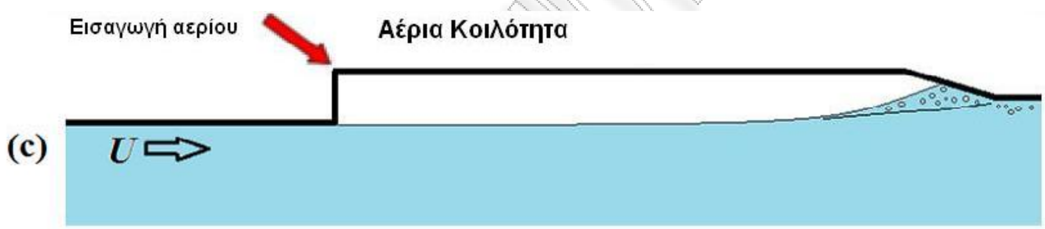
Πίνακας 18. - Χαρακτηριστικά πλοίου Yamatai. [6]

Το αποτέλεσμα των πειραμάτων του ήταν καθαρή εξοικονόμηση ενέργειας από 8% έως 12%. Παρόλα αυτά κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αέριας λίπανσης δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά συμπεριλαμβανομένου τις αιτίες και τα αποτελέσματα των αλλαγών στην πυκνότητα του υγρού και στις επιδράσεις από τις αναταράξεις των αεροφυσαλίδων μέσα στο στρώμα αέρα που δημιουργείται.

Συνοψίζοντας βλέπουμε ότι η ύπαρξη μιας διαχωριστικής γραμμής βοηθά το στρώμα αέρα να σχηματιστεί αρχικά. Στην μέθοδο ALDR η επίδραση των διαταραχών είναι ελάχιστη στην παρουσία μιας διαχωριστικής γραμμής. Ωστόσο δεν είναι γνωστό αν ισχυρότερες διαταραχές θα οδηγούσαν σε διάσπαση του στρώματος αέρα και πώς αυτό το στρώμα αέρα θα συμπεριφερόταν στην ταραγμένη θάλασσα. Ενώ ο Elbing έδειξε ότι η μείωση της οπισθέλκουσας κατά 80% εξακολουθεί να υπάρχει για όλο το μήκος του μοντέλου και δεν υπάρχουν ενδείξεις για το όριο του μήκους του αέριου στρώματος , δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα ότι ένα στρώμα αέρα θα μπορεί να συνεχιστεί επ΄αόριστων χωρίς επιπλέων έγχυση αερίου.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε και την χρήση τεχνολογίας Φτερωτού Σωλήνα Επαγωγής Αέρα (Winged Air Induction Pipe) που σε συνδυασμό με την τεχνολογία BDR υποσχόταν βελτίωση υπηρεσιακής ταχύτητας και εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτή την μέθοδο υιοθέτησε η MAERSK στο πλοίο της Olivia Maersk αλλά δυστυχώς τα αποτελέσματα ήταν απογοητευτικά μιας και η αύξηση υπηρεσιακής ταχύτητας πάνω από τους 20 κόμβους δεν επιτεύχθηκε και η κατανάλωση ενέργειας ήταν πολύ μεγαλύτερη.

2.3 ΜΕΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ (PARTIAL CAVITY DRAG REDUCTION, PCDR)

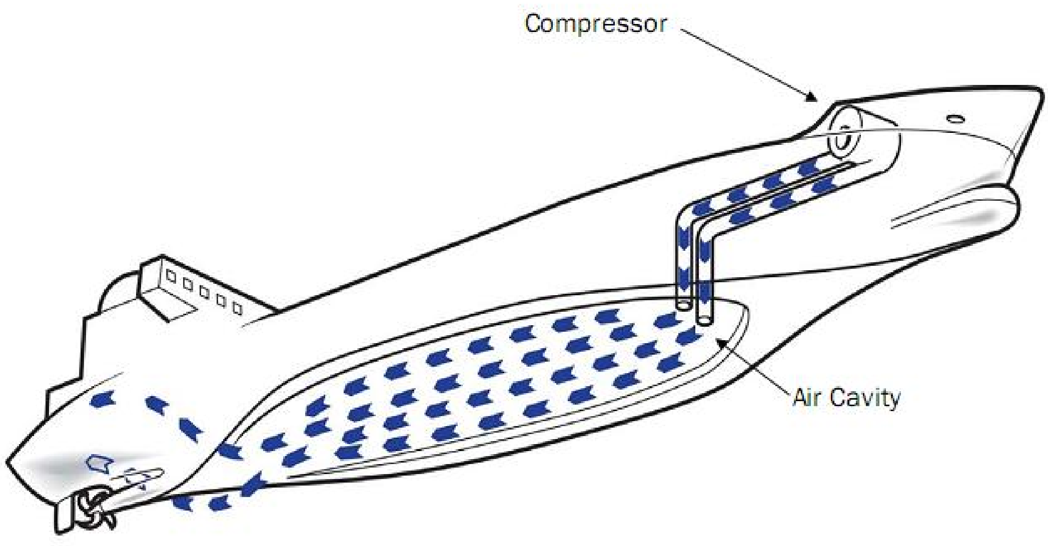


Εικόνα 5:- Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας φυσαλίδων με την τεχνική PCDR [6]

Στην μέθοδο Μείωσης Αντίστασης Μερικής Κοιλότητας (PCDR) το αέριο δημιουργεί ένα στρώμα αέριας λίπανσης μεταξύ του υγρού και του κύτους του πλοίου κατά τον τρόπο που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Η μείωση της αντίστασης τριβής επιτυγχάνεται με την πλήρωση μιάς κοιλότητας -στο κύτος του πλοίου- με αέρα. Η κοιλότητα αυτή είναι παχύτερη από το πάχος του στρώματος ορίου του κύτους και για να εφαρμοστεί η μέθοδος PCDR θα πρέπει στο κατώτατο σημείο του κύτους να υπάρχουν εγκοπές οι οποίες θα γεμίσουν με αέριο που συνήθως είναι απλός αέρας, και στο τέλος της κοιλότητας αυτής θα πρέπει να υπάρχει μια περάτωση ή αλλιώς βήμα (Back Facing Step) με ήπια κλίση προς τα κάτω , ώστε να διαμορφώνει την κοιλότητα με τέτοιο τρόπο που θα παγιδεύει το αέριο δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο μια μερικώς αεριζόμενη κοιλότητα. Κατά την κίνηση του πλοίου ένα μέρος του αέρα χάνεται και για αυτό το λόγο το άεριο θα πρέπει να εγχύεται συνεχώς ώστε να αναπληρώνει την απολεσθείσα ποσότητα αερίου. Βέβαια με το κατάλληλο σχεδιασμό η απώλεια αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

Ο σχεδιασμός των κοιλοτήτων για την εφαρμογή της μεθόδου (PCDR) μελετήθηκε από τους Lay και Makiharju το 2010 **[6]** και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πολλαπλές κοιλότητες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αύξηση της ταχύτητας με πολύ χαμηλή απώλεια αερίου. Με την μεθόδο αυτή το αέριο χωρίζει το κύτος από το νερό σε τέτοιο βαθμό που η τριβή – για το σημείο που εφαρμόζεται η μέθοδος RCDR- να μειώνεται έως και 95%.

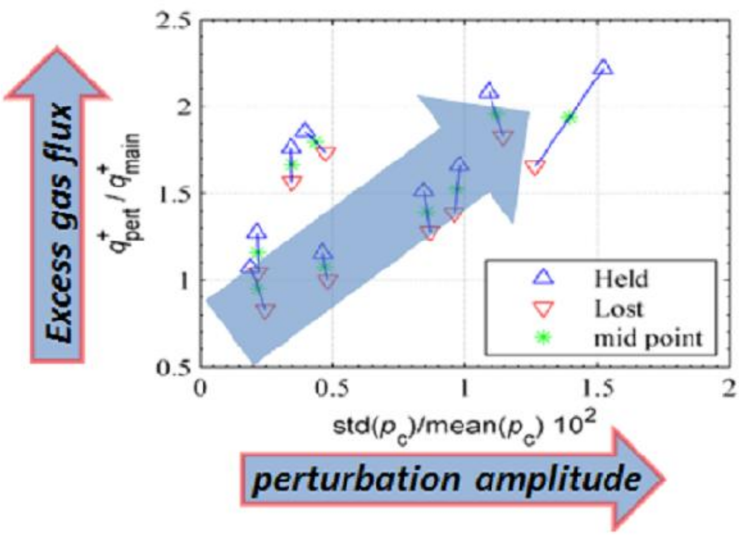
Δεν είναι πρώτη φορά που μελετάται η μέθοδος PCDR , αφού η πρώτη αναφορά αυτής της μεθόδου αέριας λίπανσης έγινε τον 19^{o} αιώνα από τους Froude και Laval καθώς και από αρκετούς επιστήμονες της πρώην ΕΣΣΔ, πράγμα που οδήγησε να αναπτυχθούν πλοία που χρησιμοποιούσαν αυτή την τεχνολογία (Butuzov 1967, Amromin & Mizine 2003). Τα πλοία αυτά καλούνται και πλοία κοιλοτήτων αέρα ή αλλιώς Air Cavity Ships. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μια σχεδιαστική άποψη για το πώς είναι ένα πλοίο τεχνολογίας Air Cavity.



Εικόνα 6. – Σχεδιαστική απεικόνιση πλοίου τεχνολογίας Air Cavity

Την τελευταία δεκαετία έχει υπάρξει ανανεωμένο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της αέριας λίπανσης και όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο αποτελεί μέθοδο αποδεκτή και συστηνόμενη από το EEDI για τα νεόχτιστα πλοία κυρίως. Τα πειράματα που έχουν διαξαχθεί ως τώρα περιλαμβάνουν κανονικής κλίμακας πλοία που κινούνται σε ήρεμα νερά όπως λίμνες και ποτάμια. Για να μελετηθεί η μέθοδος PCDR σε πλοία που κινούνται σε ωκεανούς που τα νερά είναι πιο ορμητικά αλλά υπάρχουν και πιο έντονης κλίμακας κύματα, χρησιμοποιήθηκαν πλοία μικρής κλίμακας σε εργαστηριακό περιβάλλον με μεθόδους εξομοίωσης της κίνησης σε αυτά τα νερά και χρησιμοποιώντας την σταθερά του Reynolds (Re) βασισμένη στην προς τα κάτω απόσταση του εγχυτήρα αερίου από όπου προέκυψε ότι η σταθερά (Re) για τα περισσότερα πλοία ήταν O (10^9). **[6] , [7]**

Η επίδραση των κυμάτων προσομοιώθηκε στα πειράματα του Makiharju **[6] , [7]** (2010) με την βοήθεια ενός τεχνητού πτερυγίου, με το οποίο δημιουργήθηκαν τεχνητά κύματα με πίεση που αυξομειώθηκε μεταξύ -15% και +15%, και ταχύτητα μεταξύ -5% και +5%. Αυτές οι αυξομειώσεις οδήγησαν σε γρήγορες αλλαγές στο μήκος και την πίεση κοιλοτήτων αυξάνοντας τις απαιτήσεις ροής του αερίου, αλλά σε όλες τις δοκιμές η άερια κοιλότητα μπορούσε να διατηρηθεί. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Διάγραμμα 4. – Διατήρηση αερίου σε διάφορες συνθήκες πλέυσης [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

3.1 PROJECT ENERGY – SAVING AIR – LUBRICATED SHIPS (PELS)

Το ολλανδικό ερευνητικό έργο PELS **[8]** που όπως δηλώνει και ο τίτλος του, ασχολείται με την εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από πλοία που χρησιμοποιούν την άερια λίπανση, ανακοίνωσε οτι σε γενικές γραμμές η εξοικονόμηση ενέργειας είναι εφικτή σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων των κυμάτων και των ελιγμών.

Οι τεχνικές που μελέτησε αφορούσαν

- Τα πλοία Air Cavity
- Μείωση αντίστασης με μικροφυσαλίδες
- Αέριο στρώμα που δημιουργείται απο έγχυση αέρα σε αδιάβροχο επικαλυπτόμενο πλοίο

Τα αποτελέσματα των ερευνών κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η επίδραση της αέριας λίπανσης δεν περιορίζεται απο την αποδοτικότητα του πλοίου
- Άλλες πτυχές που πρέπει να διερευνυθούν είναι η σταθερότητα του αέρα κατα την διάρκεια της αέριας λίπανσης όταν πλέουν σε κύματα και όταν κάνουν ελιγμούς.
- Η ασφάλεια του σκάφους , η απόδοση και η αξιοπλοϊα του επιρεάζονται απο την αέρια λίπανση και την μορφή του κύτους που απαιτούνται για την αποτελεσματική αέρια λίπανση.

Για την συμμόρφωση με όλες τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου και τον προσδιορισμό της επίδρασης της μείωσης της τριβής στις επιδόσεις του πλοίου, οι δοκιμές έγιναν ώς εξής:

- Δοκιμές αξιοπλοϊας στην πλώρη και την πρύμνη
- Δοκιμές ελιγμών τόσο σε κλειστές περιοχές (λίμνες και εργαστηριακό περιβάλλον) όσο και σε ανοιχτές θαλλάσιες περιοχές.
- Δοκιμές αντίστασης και προώθησης στην υπο πίεση δεξαμενή ρυμούλκησης, με μια σωστά κλιμακούμενα μειωμένη συμπίεση του αέρα

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το σημαντικό ζήτημα της διαφοράς κλίμακας, στις δοκιμές κλίμακας , χρησιμοποιήθηκαν 2 μοντέλα με διαφορετικές αναλογίες κλίμακας εκ των οποίων το ένα απο αυτά τα μοντέλα, χωρίστηκε σε 10 τμήματα ώστε να μπορέσει να επιτρέψει τον προσδιορισμό της διανομής των υδροδυναμικών δυνάμεων κατα μήκος του πλοίου. Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που έγιναν σε αυτά τα 2 μοντέλα κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Σε ήρεμα νερά επιτεύχθηκε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από 3% - 10%
- Σε αύξηση του ύψους των κυμάτων ένα μεγάλο μέρος του παραπάνω πλεονεκτήματος χάνεται . Χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το σύστημα προκαλεί αύξηση στην προστιθέμενη αντίσταση ή με άλλο τρόπο αμφισβήτηση της αξιοπλοίας σε κανονικές ταχύτητες λειτουργίας .
- Η εφαρμογή της μείωσης της αντίστασης τριβής επιβάλλει ορισμένες αλλαγές στο σχεδιασμό του πλοίου, ειδικά το κάτω μέρος της γάστρας . Όταν χρησιμοποιούνται μικροφυσαλίδες για την μείωση της οπισθέλκουσας, η αντίσταση του πλοίου λόγο της περιστροφής ή της ταλάντωσης μειώνεται . Αυτό χειροτερεύει την απόδοση του πλοίου κατά την διάρκεια των ελιγμών του. Για αυτό τον λόγο, πρόσθετα μέτρα πρέπει να ληφθούν για τη διατήρηση των επιθυμητών χαρακτηριστικών χειρισμού, όπως για παράδειγμα πλευρικά πτερύγια που πρέπει να εφαρμόζονται στην πρύμνη του πλοίου για τη βελτίωση της ελεγξιμότητας του. Στην περίπτωση όμως που στο πλοίο γίνεται χρήση των αεροθαλάμων τότε τα τοιχώματα των

θαλάμων παράγουν επαρκή πολλαπλή ροή η οποία βοηθάει στο να αποκτήσει το πλοίο την απαιτούμενη ευελιξία .

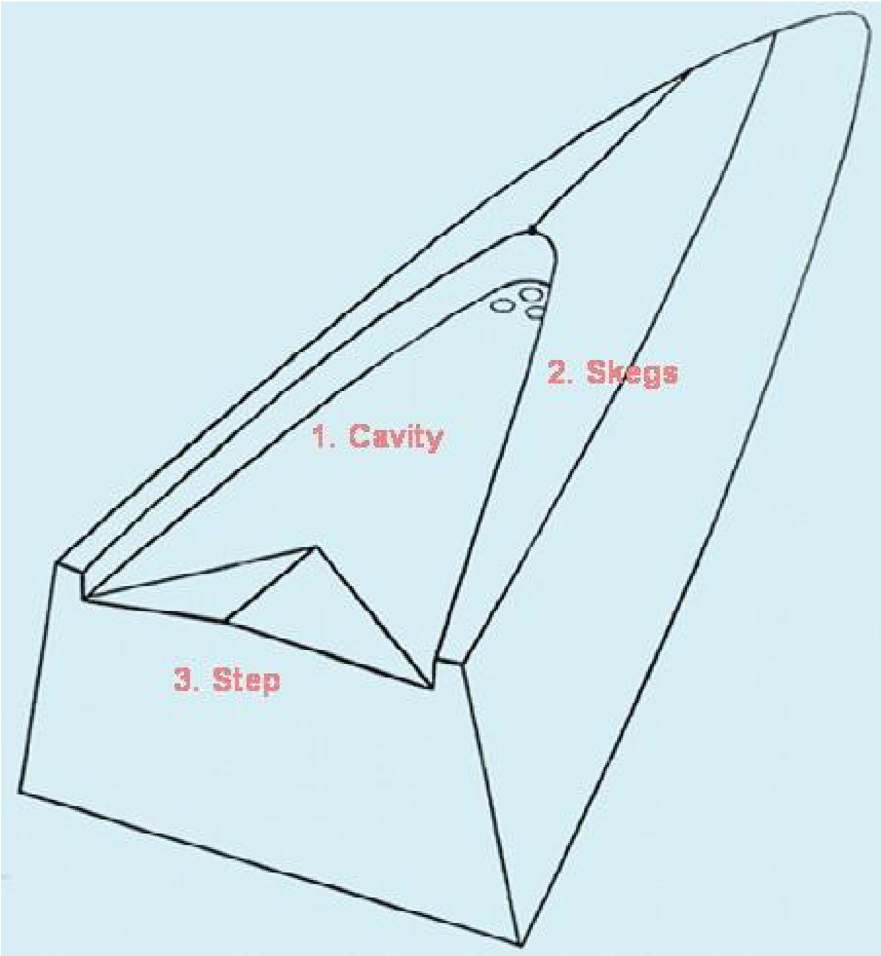
- Σε γενικές γραμμές δεν παρατηρήθηκαν σοβαρές επιπτώσεις κλίμακας που θα μπορούσαν να αμφισβητήσουν την εφαρμογή της αέριας λίπανσης.

3.2 ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΠΛΟΙΩΝ AIR CAVITY

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η τεχνολογία αέριας λίπανσης με κοιλότητες (Air Cavity) δεν είναι νέα τεχνολογία αλλά προϋπήρχε εδώ και αρκετά χρόνια. Εδώ και λίγο καιρό που έχει αρχίσει να επανέρχεται στο προσκήνιο πιο δυναμικά όλο και περισσότερες εταιρείες και οργανισμοί θέλουν να την αξιοποιήσουν. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα στοιχεία τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά σχετικά με την αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας εμπορικά. Μία από τις εταιρείες που έχει προχωρήσει αρκετά στον τομέα αυτό και έχει και τις πρώτες παραγγελίες για πλοία τεχνολογίας Air Cavity είναι η DK Group η οποία είναι και η μοναδική που ταυτόχρονα με την εμπορική της κίνηση για πλοία Air Cavity απελευθερώνει και πληροφορίες σχετικά με την τεχνολογία αυτή.

Πέρα από τα πειράματα και τις δοκιμές που έχουν γίνει ως τώρα σε εργαστηριακό περιβάλλον και σε πλοία μικρής κλίμακας, έρχεται η στιγμή που μια εταιρεία εξειδικεύεται σε μια τεχνολογία και παίρνει το ρίσκο να την προωθήσει επιτέλους εμπορικά. Σύμφωνα λοιπόν με τα όσα υποστηρίζει η εταιρεία DK Group μέσα από τις μελέτες της και τα πειράματα προκύπτουν τα ακόλουθα.

Για να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά η μέθοδος της αέριας λίπανσης με μερική κοιλότητα (Air cavity) θα πρέπει να επιλέγεται μια μεγάλη περιοχή του κύτους του πλοίου η οποία θα μπορεί να καλυφθεί με αέρα, έχοντας την χαμηλότερη απώλεια ενέργειας. Η δομή ενός γρήγορου Air Cavity Ship αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά και παρουσιάζεται με το παρακάτω σχέδιο.

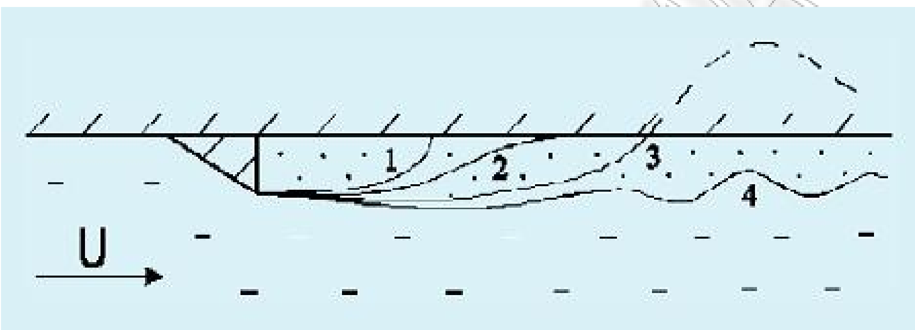


Εικόνα 7. – Σχηματική απεικόνιση Air Cavity ship

1. Οπίσθιο «βήμα» που δημιουργεί την επιφάνεια της κοιλότητας (cavity)
2. Τα πλευρικά τοιχώματα τα οποία προστατεύουν την κοιλότητα (skegs)
3. Ειδικό τμήμα που παρέχει ομαλό κλείσιμο της κοιλότητας στην γάστρα. (step)

3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΡΟΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι φυσικές ιδιότητες της ροής στην κοιλότητα που αποσκοπούν στη μείωση της οπισθέλκουσας μπορούν να παρουσιαστούν με ένα απλό παράδειγμα της ροής σε εργαστηριακό περιβάλλον, που δημιουργείται πίσω από μία σφήνα που είναι στερεωμένη σε ένα οριζόντιο τοίχο όπως στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 8. – Ροή υγρού πίσω από σφήνα σε εργαστηριακό περιβάλλον

Στο σχήμα παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- Στην περιοχή 1 της κοιλότητας, κατά την εισαγωγή του αερίου δημιουργείται ένα παλλόμενο κύμα νερού που εισέρχεται στην ουρά της κοιλότητας. Η ροή αυτή είναι σύνηθες με την φυσική σπηλαίωση και έχει θετικό αριθμό σπηλαίωσης
- Στην περιοχή 2 απεικονίζεται η κατάσταση ροής όταν δεν υπάρχει εκ νέου εισερχόμενο αέριο και η ουρά της κοιλότητας αποδίδει ομαλά. Σε αυτή την περίπτωση η κοιλότητα διατήρησης της ροής φυσικού αερίου καθώς και η σπηλαίωση θεωρητικά ισούται με μηδέν. Η πίεση μέσα στην κοιλότητα υπερβαίνει την πίεση που υπάρχει στην κανονική ροή δημιουργώντας έτσι σπηλαίωση με αρνητικό βαθμό.

- Στην περιοχή 3 παρουσιάζεται η ιδιαιτερότητα ότι θεωρητικά η κοιλότητα διαπερνά το κύτος στο πρυμναίο άκρο του όπως φαίνεται με την διακεκομμένη γραμμή. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται ισχυρές δονήσεις σε όλη την κοιλότητα.
- Στην περιοχή 4 υπάρχει η δημιουργία μιας ανοιχτής κοιλότητας η οποία μπορεί να προκύψει κάτω από κάποιες συνθήκες αλλά η ισχύς που απαιτείται για την έγχυση αέρα είναι υπερβολικά υψηλή για να κάνουν ελκυστικό το καθεστώς αυτό για μείωση της οπισθέλκουσας.

Έτσι η κατάσταση ροής που παράγει η κοιλότητα 2 είναι η πιο πολλά υποσχόμενη. Όπως προκύπτει από υπολογισμούς που επαληθεύτηκαν σε πειράματα, το μήκος της κοιλότητας ισούται με την ταχύτητα της ροής στο τετράγωνο. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κοιλοτήτων και μια σειρά από αριθμούς σπηλαίωσης που αντιστοιχούν σε μια πιο ευνοϊκή κατάσταση, καλούνται περιοριστικοί παράγοντες και σύμφωνα με αυτούς τα επιτυχημένα Air Cavity Ships είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε αυτό το καθεστώς.

3.2.2 ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ AIR CAVITY

Τα τελευταία χρόνια έχουν χτιστεί πολλά πλοία διαφόρων τύπων όπως για παράδειγμα το Linda ταχύτητας 30 κόμβων και εκτόπισμα 24.6 τόνων το οποίο χρησιμοποιείται για μεταφορά επιβατών σε εσωτερικές θαλάσσιες διαδρομές. Το πλοίο Serna με εκτόπισμα 100 τόνων και μέγιστης ταχύτητας 30 κόμβων το οποίο μπορεί να μεταφέρει οχήματα έως 45 τόνους και να τα εκφορτώσει σε μεταφορική ράμπα. Το πιο πρόσφατο πλοίο τεχνολογίας Air Cavity είναι το ποντοπόρο περιπολικό σκάφος Mercury με εκτόπισμα 100 τόνων και μέγιστη ταχύτητα τους 55 κόμβους.

Τα παραπάνω πλοία έχουν χτιστεί στην Ρωσία όμως παρά την βαθιά γνώση των ρωσικών οργανισμών και την μεγάλη εμπειρία τους στην τεχνολογία Air Cavity, δυσκολεύονται να διεισδύσουν στην αγορές παγκοσμίως. Η τεχνολογία Air Cavity αναπτύχθηκε στα πλαίσια των στρατιωτικών πειραμάτων για ενίσχυση των αμυντικών μηχανισμών της χώρας αλλά και από το ενδιαφέρον των χωρών μελών του ΝΑΤΟ αλλά λόγω πολιτικών αντιπαραθέσεων δεν είναι εφικτή καμία συνεργασία. Η έλλειψη τόσο των απαραίτητων κεφαλαίων όσο και η περιορισμένη εμπειρία των κέντρων μάρκετινγκ αλλά και των κέντρων έρευνας και ανάπτυξης (Research & Development) μειώνουν ακόμα περισσότερο τις πιθανότητες να καταφέρει η Ρωσική τεχνολογία Air Cavity να προωθηθεί στις αγορές.

Ωστόσο οι πιο ολοκληρωμένες προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι τώρα είναι από την Ολλανδία και συγκεκριμένα από την εταιρεία DK – Group η οποία σε συνεργασία με κορυφαίους θαλάσσιους οργανισμούς όπως το ερευνητικό κέντρο MARIN και το σχεδιαστικό γραφείο Nevesbu, η εν λόγω εταιρεία έχει αναλάβει μια εκτενή μελέτη της ενδεχόμενης εφαρμογής της τεχνολογίας Air Cavity τόσο σε ταχύπλοα σκάφη όσο και σε εμπορικά ή φορτηγά. Το ερευνητικό πρόγραμμα περιλαμβάνει εργαστηριακές δοκιμές στο κύτος των πλοίων και τα αποτελέσματα έως τώρα είναι αρκετά ενθαρρυντικά και δείχνουν ότι το μέλλον των πλοίων τεχνολογίας Air Cavity προδιαγράφεται αρκετά δυναμικό. Πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τις δοκιμές τέτοιου τύπου πλοίου παρατηρήθηκε πως σε κάποια χρονική στιγμή ο παγιδευμένος αέρας που βρίσκεται στο αεροθάλαμο του κύτους, μπορεί να ξεφύγει – ειδικά όταν υπάρχουν έντονα κύματα λόγω καιρικών φαινομένων – και να οδηγήσει σε απώλεια απόδοσης της προπέλας. Βέβαια αυτό αντιμετωπίζεται με ανακλαστήρες που τοποθετούνται στο κύτος του πλοίου και αποτρέπουν τέτοια φαινόμενα.

Για την βελτίωση της αποδοτικότητας των πλοίων τεχνολογίας Air Cavity έχουν αναπτυχθεί δύο (2) τεχνικές για τα συστήματα πρόωσης όταν ο αέρας είναι παρών στην ροή του νερού.

Το πρώτο σύστημα αναπτύχθηκε από την DK- Group με την ονομασία Ventilated Wing Jet (αεριζόμενο πτερύγιο) . Το σύστημα αυτό με την χρήση ενός ρότορα που βρίσκεται τοποθετημένος μέσα στο πτερύγιο σε ειδικά προστατευμένο σημείο λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες και βρίσκεται μισοβυθισμένο στο νερό λειτουργώντας σαν προπέλα. Με αυτό τον τρόπο στις χαμηλές ταχύτητες μπορεί να αυξηθεί η ροή του αερίου και να παραχθεί η απαιτούμενη ώθηση. Το εν λόγω σύστημα πρόωσης παράγει συνεχώς αέρα με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται μείωση της απόδοσης του όταν ο αέρας παρασύρεται από την εισροή νερού.

Το δεύτερο σύστημα αναπτύχθηκε από το ινστιτούτο Krylov και ονομάζεται Vedilated Water jet (Αεριζόμενο Υυδροπτέρυγο). Με την χρήση αυτού του συστήματος οι αέριες κοιλότητες σχηματίζονται στις πλευρές αναρρόφησης των πτερυγίων που συνδέονται με την ατμόσφαιρα. Η ώθηση παράγεται ως επί το πλείστον από την πίεση που ασκείται στις πλευρές του υδροπτερύγου και ως εκ τούτου το υδροπτέρυγο δεν είναι ευαίσθητο των φυσαλίδων αέρα μέσα στη ροή υγρού.

Αρκετές άλλες εταιρείες αναπτύσσουν αέριες πλατφόρμες και προσεγγίζουν το θέμα της αέριας λίπανσης με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα η εταιρεία Harley Shipbuilding στην Αμερική και η εταιρεία SES Europe στη Νορβηγία, προωθούν το σύστημα Air Lifted Vessel (ALV) , το οποίο όμως χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρά πλοία και όχι σε εμπορικά που μας απασχολεί στην παρούσα εργασία και για αυτό δεν θα παρατεθούν αρκετά στοιχεία. Θα αναφέρουμε μόνο ότι από συγκριτικές δοκιμές που έχουν γίνει μεταξύ της μεθόδου ACS και ALV παρατηρήθηκε ότι αν και η μείωσης της τριβής ήταν της τάξης του 30% ταυτόχρονα υπήρχε και μείωση της δύναμης πρόωσης κατά 20%. Η κατανάλωση συνεπώς καυσίμου ήταν αρκετά μεγαλύτερη και το σύστημα ACS αποδείχτηκε πολύ καλύτερο σε αντίθεση με το σύστημα ALV .

Σε γενικές γραμμές πάντως το σύστημα αέριας λίπανσης ACS έχει προσελκύσει αρκετά το ενδιαφέρον τόσο των κυβερνητικών υπηρεσιών όσο και των ιδιωτικών εταιρειών και έχει οδηγήσει από την πλευρά των κυβερνητικών υπηρεσιών να ζητάνε προτάσεις για τον σχεδιασμό πλοίων με στόχο την μείωση της οπισθέλκουσας δύναμης και από τις ιδιωτικές εταιρείες να εντάσσονται σε προγράμματα έρευνας και καινοτομίας ώστε να καταθέτουν προτάσεις με την ύπαρξη μοντέλων για πιο γρήγορα και αξιόπιστα συμπεράσματα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Λόγω του γεγονότος ότι η τεχνολογία Air Cavity έχει γίνει αντικείμενο μελέτης για αρκετές εταιρείες στο χώρο της ναυτιλίας και δεδομένου του ανταγωνισμού που επικρατεί στην αγορά, μέχρι στιγμής δεν έχουν δημοσιοποιηθεί συγκεκριμένες οικονομικές μελέτες ώστε να παρουσιάζεται με ακρίβεια η σχέση μεταξύ κόστους και ωφέλειας από την εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity.

Ωστόσο υπάρχουν τεχνικές οικονομικής ανάλυσης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή συμπερασμάτων και την δημοσιοποίηση συγκεκριμένων οικονομικών μεγεθών. Πριν την παρουσίαση και ανάλυση αυτών των τεχνικών οικονομικής ανάλυσης πρέπει να ειπωθεί ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity που σύμφωνα με τα ως τώρα δεδομένα, συνεπάγεται μείωση των εκπομπών CO_2 άρα και μείωση της υπηρεσιακής ταχύτητας, μπορεί να οδηγήσει σε 2 πιθανά σενάρια. **[10]**

Κατά το πρώτο σενάριο θεωρείται ότι η μείωση της υπηρεσιακής ταχύτητας δεν θα οδηγήσει σε αύξηση του στόλου ώστε να καλυφθεί το κενό που θα υπάρξει στις παρεχόμενες υπηρεσίες, ενώ το δεύτερο σενάριο – το οποίο είναι και πιο κοντά στην πραγματικότητα της ναυτιλίας – θεωρεί ότι θα υπάρξει αύξηση του παγκόσμιου στόλου ώστε να υπάρξουν πλοία που θα καλύψουν το κενό των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πάντως και τα δύο σενάρια θα έχουν αντίκτυπό στην παγκόσμια ναυτιλία είτε θετικό είτε αρνητικό.

Ερχόμενοι τώρα στις τεχνικές οικονομικής ανάλυσης θα πρέπει πρωτίστως να λάβουμε υπόψη κάποιες υποθέσεις όπως οι ακόλουθες : α) Το κόστος των καυσίμων, β) Το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του οριακού κόστους, γ) Η ηλικία του στόλου, δ) Το κόστος ευκαιρίας της χωρητικότητας των πλοίων / ώρα, και ε) Η αλλαγή του κόστους υπηρεσιών.

Έπειτα θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις μειωμένες εκπομπές CO_2 που θα προέρχονται από την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών και επιχειρησιακών μέτρων, και ακολούθως να υπολογίσουμε την σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας των επιμέρους μέτρων. Εξ ορισμού η σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας είναι το πηλίκο του κόστους και του αποτελέσματος το οποίο αναφέρεται επίσης και ως οριακό κόστος μείωσης των εκπομπών ή Marginal Abatement Cost (MAC). **[10]**

Γενικά η επένδυση σε τεχνολογίες μείωσης εκπομπών CO_2 απαιτεί επένδυση χρημάτων τόσο για την συντήρηση όσο και για την κάλυψη των λειτουργικών εξόδων. Για την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας απαιτείται χρόνος αλλά και χώρος του πλοίου ο οποίος χρησιμοποιείται για την μεταφορά των φορτίων. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει το κόστος ευκαιρίας μιας και ο χρόνος και ο χώρος θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την δημιουργία εσόδων λόγω απώλειας της υπηρεσίας. Επιπλέον λόγο της εξοικονόμησης καυσίμων υπάρχει όφελος ή αλλιώς αρνητικό κόστος καυσίμων. Αυτά τα κόστη υπολογίζονται σε ετήσια βάση και η σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας είναι το πηλίκο του συνολικού ετήσιου κόστους προς τη συνολική ποσότητα των μειωμένων εκπομπών CO_2 του έτους. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται για την ετήσια προεξόφληση του κόστους κεφαλαίου αντιπροσωπεύει το κόστος κεφαλαίου της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η χρήση των ετήσιων δαπανών παράγει ισοδύναμα αποτελέσματα με τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας των μελλοντικών δαπανών και ωφελειών.

Βάση των παραπάνω στοιχείων το κόστος για την εισαγωγή νέας τεχνολογίας μπορεί να αποδοθεί από την ακόλουθη συνάρτηση **[10]**:

$$\Delta C_j = K_j + S_j - E_j + \sum O_j$$

Όπου : **ΔC_j** = Μεταβολή του ετήσιου κόστους της τεχνολογίας j

K_j = Κόστος κεφαλαίου τεχνολογίας j προεξοφλημένο με το αντίστοιχο επιτόκιο των υπολειπόμενων ετών ζωής της τεχνολογίας ή του πλοίου. Όποιο είναι μικρότερο.

Sj = Λειτουργικά έξοδα σχετιζόμενα με την χρήση της τεχνολογίας j

Ej = Εξοικονόμηση εξόδων για καύσιμα από την τεχνολογία j η οποία αποτελεί προϊόν της τιμής των καυσίμων και της εξοικονόμησης καυσίμων όπως παρουσιάζεται από την ακόλουθη συνάρτηση

$$E_j = \alpha_j \times F \times P$$

Όπου **aj** = Ποσοστό μείωσης καυσίμων τεχνολογίας j

F = Κατανάλωση καυσίμων πριν την εισαγωγή τεχνολογίας j

P = Τιμή καυσίμου

Η σχέση κόστους – αποδοτικότητας μιας υπάρχουσας τεχνολογίας μπορεί να αποδοθεί με την ακόλουθη συνάρτηση MAC

$$MAC = \frac{\Delta C_j}{\alpha_j \times CF \times F} = \frac{K_j + S_j - E_j + \sum O_j}{\alpha_j \times CF \times F}$$

Όπου **CF** είναι ο συντελεστής εκπομπών CO_2 . Τα υπόλοιπα στοιχεία είναι τα ίδια όπως περιγράφηκαν παραπάνω.

Η συνάρτηση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον οικονομικό υπολογισμό επιχειρησιακών μέτρων. Η διαφορά των επιχειρησιακών μέτρων με τα τεχνολογικά μέτρα είναι ότι τα επιχειρησιακά μέτρα μερικές φορές δεν απαιτούν κόστος κεφαλαίου. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις επιχειρησιακών μέτρων όπως για παράδειγμα η μείωση της υπηρεσιακής ταχύτητας που οδηγεί σε κόστος κεφαλαίου μιας και μπορεί να χρειαστούν επιπλέον πλοία που με την σειρά του αυτό οδηγεί σε κόστος για την διαχείριση των ταξιδιών και την παρακολούθηση του συστήματος.

4.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (PAYBACK PERIOD)

Η πιο απλή μέθοδος για την εκτίμηση μιας επένδυσης είναι η μέθοδος υπολογισμού της περιόδου αποπληρωμής η οποία στην ουσία είναι η επένδυση χωρισμένη σε περιόδους ανάλογα με τις χρηματοροές που προκύπτουν κάθε χρόνο. Ανάλογα με τον αριθμό των εκτιμώμενων επενδύσεων που πρόκειται να γίνουν και τα οποία πρέπει να είναι μεταξύ τους αμοιβαίως αποκλειόμενα, επιλέγεται το επενδυτικό σχέδιο με την μικρότερη περίοδο αποπληρωμής. Η μέθοδος αυτή αν και χρησιμοποιείται σαν υποδειγματική μέθοδος για την εκτίμηση επενδύσεων παρουσιάζει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που είναι τα ακόλουθα: Α) Δεν λαμβάνει υπόψη της την διαχρονική αξία του χρήματος αφού δεν χρησιμοποιεί κάποιο επιτόκιο προεξόφλησης. Β) Δεν δίνει πληροφορίες για το συνολικό κέρδος κατά την διάρκεια της ζωής του επενδυτικού σχεδίου, και Γ) Δεν μπορεί να εφαρμοστεί καθολικά δεδομένου ότι δεν μπορεί να δώσει μοναδικές τιμές για επενδύσεις μεταβλητών χρηματοροών.

Παρόλο όμως των μειονεκτημάτων που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή, είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιείται σε επενδύσεις που αφορούν την βελτίωση της αποδοτικότητας που μπορεί να θεωρηθεί ότι μια τέτοια επένδυση έχει σταθερό χρόνο εφαρμογής χωρίς να δημιουργεί περαιτέρω κόστη.

4.2 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (NET PRESENT VALUE)

Μια πιο σωστή μέθοδος αξιολόγησης μιας επένδυσης μπορεί να γίνει με την χρήσης της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) . Η μέθοδος αυτή λειτουργεί ως δείκτης της αξίας μιας επένδυσης αφού μπορεί και υπολογίζει την παρούσα αξία μιας μελλοντικής επένδυσης χρησιμοποιώντας προεξοφλητικό επιτόκιο. Λαμβάνει δηλαδή υπόψη την διαχρονική αξία του χρήματος. Άρα πιο απλά η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μελλοντικής αξίας μιας επένδυσης και του αρχικού κόστους που απαιτείται. Αν η διαφορά αυτή είναι θετική δηλαδή ισχύει η σχέση NPV > 0 τότε η επένδυση είναι αποδεκτή αφού η επένδυση δημιουργεί αξία, αν η NPV είναι αρνητική δηλαδή NPV < 0 τότε η επένδυση δεν είναι αποδεκτή γιατί δεν δημιουργεί αξία, και αν η NPV είναι μηδέν (0) δηλαδή NPV = 0 τότε είναι αδιάφορο αν θα γίνει αποδεκτή ή όχι η επένδυση γιατί δεν δημιουργεί αξία ούτε την μειώνει. Η απόφαση για το αν θα γίνει η επένδυση μπορεί να βασιστεί σε άλλα κριτήρια όπως στρατηγική θέση της εταιρείας στην αγορά κτλ. Η συνάρτηση υπολογισμού της NPV είναι η ακόλουθη **[11]** :

$$NPV = Ro + \sum_{t=1}^{T} \frac{Rt}{(1+i)^t}$$

Όπου $\mathbf{R_0}$ = Αρχικό κόστος επένδυσης στο σημείο 0

T = Διάρκεια ζωής της επένδυσης

Rt = Καθαρές χρηματοροές (χρηματοροές εισροής μείον έξοδα) στη χρονική στιγμή t

I = Επιτόκιο

Κατά τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας θα πρέπει να υπολογίζεται η διάρκεια ζωής της επένδυσης και να προσδιορίζεται το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μπορεί να βασίζεται στο μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίου μιας επιχείρησης ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το ρίσκο της επένδυσης που πρόκειται να αναλάβει ή όχι μια επιχείρηση. Το Μέσο Κόστος Κεφαλαίου (Weighted Average Cost of Capital) που συντομογραφικά παρουσιάζεται ως WACC, ορίζεται ως η ελάχιστη απόδοση που αναμένεται να καταβάλλει η επιχείρηση κατά μέσο όρο στους μετόχους της για την χρηματοδότηση των περιουσιακών στοιχείων της, διατηρώντας την κεφαλαιακή της διάρθρωση όσο το δυνατόν πιο σταθερή γίνεται διαχρονικά. Το Μέσο Κόστος Κεφαλαίου υπολογίζεται με την παρακάτω συνάρτηση:

$$WACC = \frac{E}{V} \times \mathrm{Re} + \frac{D}{V} \times Rd \times (1 - Tc)$$

Όπου **Re** = Κόστος ιδίων κεφαλαίων

Rd= Κόστος Δανεισμού

E = Αξία ιδίων κεφαλαίων εταιρείας στην αγορά

D = Αξία ξένων κεφαλαίων εταιρείας στην αγορά

V = E + D

E/V = Ποσοστό χρηματοδότησης ιδίων κεφαλαίων

D/V = Ποσοστό χρηματοδότησης ξένων κεφαλαίων

Tc = Φορολογικός συντελεστής εταιρείας

4.3 ΒΑΘΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (INTERNAL RATE OF RETURN)

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού για την αξιολόγηση των επενδύσεων είναι με την μέθοδο του συντελεστή Εσωτερικής Απόδοσης (IRR) που κυρίως είναι ένας δείκτης της απόδοσης της επένδυσης και όχι του υπολογισμού της αξίας της. Εξ ορισμού ο δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο μηδενίζεται η ΚΠΑ, δηλαδή προσδιορίζει το νεκρό σημείο της επένδυσης **[11].** Σύμφωνα με τον κανόνα του IRR μια επένδυση γίνεται αποδεκτή όταν ο IRR είναι μεγαλύτερος από το κόστος κεφαλαίου ενώ στην αντίθετη περίπτωση η επένδυση απορρίπτεται. Συγκριτικά όμως με την μέθοδο της ΚΠΑ, η μέθοδος του δείκτη IRR παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα.

Α) Δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με τα συνολικά κέρδη κατά την διάρκεια της ζωής της επένδυσης.

Β) Δεν παρουσιάζει μοναδική λύση όταν οι ταμειακές ροές είναι αρνητικές σε ένα μελλοντικό χρόνο

Γ) Κατά τον υπολογισμό του δείκτη IRR μπορούν να γίνονται υποθέσεις για την διάρκεια ζωής της επένδυσης αλλά όχι για το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο είναι το αποτέλεσμα του υπολογισμού και όχι το στοιχείο εισόδου.

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (COST BENEFIT ANALYSIS)

Τέλος μπορεί να αναφερθεί και μία ακόμα μέθοδος οικονομικής ανάλυσης, η οποία προσφέρει την ίδια αριθμητική υπολογισμού όπως και η μέθοδος της ΚΠΑ και ονομάζεται ανάλυση κόστους – αποτελεσματικότητας. Με την μέθοδο αυτή δεν προσδιορίζεται οι αποδόσεις ή η αξία των επενδύσεων αλλά οι δαπάνες που συνδέονται με την επίτευξη ορισμένων στόχων. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την μέθοδο αυτή είναι η παρακάτω:

$$ce = \frac{CapEx + OpEx + OC - FuelSav}{FuelSav \times (EF / P_{fuel})} = c \times \left(\frac{CapEx + OpEx + OC}{FuelSav} - 1 \right)$$

Όπου : **C.E** = Κόστος – αποτελεσματικότητα

CapEx = Ετήσιο κόστος κεφαλαίου

OpEx = Ετήσιο κόστος διαχείρισης

OC = Κόστος ευκαιρίας σε συνάρτηση με τον χαμένο χρόνο

FuelSav = Ετήσιο όφελος από εξοικονόμηση καυσίμων

EF = Συντελεστής καύσης καυσίμου

P_{fuel} = Τιμή καυσίμου

C = Σταθερά που προκύπτει από την διαίρεση της τιμής του καυσίμου με τον συντελεστή καύσης.

4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Συγκρίνοντας τις 3 μεθόδους οικονομικής ανάλυσης που προαναφέρθηκαν, διακρίνουμε ότι η μέθοδος Περιόδου Αποπληρωμής είναι η πιο απλή μιας και δεν αξιολογείται η διάρκεια ζωής της επένδυσης και το προεξοφλητικό επιτόκιο θεωρείται μηδενικό. Δηλαδή το κόστος κεφαλαίου είναι μηδέν.

Με την μέθοδο του δείκτη εσωτερικής απόδοσης (IRR) η ύπαρξη κεφαλαίου είναι απαραίτητη ώστε να μπορεί να γίνει προσαρμογή του κινδύνου που αναλαμβάνει η επιχείρηση για την επένδυση της.

Η μέθοδος της ΚΠΑ παρουσιάζεται ως η πιο ακριβής προσέγγιση για την αξιολόγηση των επενδύσεων καθώς παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα αναμενόμενα συνολικά κέρδη και απαιτεί το κόστος κεφαλαίου ως στοιχείου εισόδου για την υπόθεση της ζωής της επένδυσης. Συγκριτικά και οι τρείς μέθοδοι με τα πλεονεκτήματα τους και τα μειονεκτήματα τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	Ευκολία στη χρήση	Δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος κεφαλαίου. Δεν μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με την απόδοση και το κέρδος. Δεν ισχύει παγκοσμίως	Κόστος κεφαλαίου. Διαχειριστικά κόστη Τιμές καυσίμων Εξοικονόμηση καυσίμων
IRR	Πληροφορίες σχετικά με την απόδοση επένδυσης	Δεν μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με κέρδη	Όλα τα παραπάνω και διάρκεια ζωής της επένδυσης
NPV	Πληροφορίες των συνολικών κερδών μιας επένδυσης		Όλα τα παραπάνω και το προεξοφλητικό επιτόκιο

Πίνακας 19- Σύγκριση των μεθόδων οικονομικής ανάλυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο - ΦΡΑΓΜΟΙ ΣΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Γενικά τα εμπόδια στην υλοποίηση τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας από τα πλοία, μπορούν να χωριστούν σε περιορισμούς της τεχνολογίας και της μη – τεχνολογίας που είναι θεσμικά και οικονομικά. Τα μη-τεχνολογικά εμπόδια που εμποδίζουν την υιοθέτηση των τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων που μπορούν να οδηγήσουν σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσαν ενδεχομένως να επιλυθούν μέσω οικονομικών και/ή κανονιστικών πολιτικών, τουλάχιστον θεωρητικά.

Κατά την εξέταση των εμποδίων στη χρήση ή εισαγωγή αξίζει να σημειωθεί ότι σχεδόν όλες οι τρέχουσες προσεγγίσεις που προτείνονται για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου συζητήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και αρχές του 1980 για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης τιμής του πετρελαίου που είχε παρατηρηθεί τότε. Υπήρχαν πολλοί λόγοι για τους οποίους αυτές οι προσεγγίσεις που προτάθηκαν ήταν πλήρως αξιοποιήσιμες ή όχι. Τα ίδια εμπόδια υπάρχουν και σήμερα. Θέματα όπως οι τεχνικές ανησυχίες σχετικά με την αξιοπιστία της προσέγγισης στο θαλάσσιο περιβάλλον, ζητήματα αγοράς και οικονομικών ήταν μερικά από τα κοινά εμπόδια. Πολλές από τις προτεινόμενες προσεγγίσεις υλοποιήθηκαν (όπως για παράδειγμα ο καθαρισμός του κύτους, η στίλβωση της προπέλας, δρομολόγηση σύμφωνα με τον καιρό, εφαρμογή αυτόματου πιλότου κτλ). Επομένως η εξέταση της τρέχουσας διείσδυσης της προτεινόμενης προσέγγισης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν εξετάζεται η συνολική επίπτωση της προσέγγισης στην ναυτιλιακή βιομηχανία. Για παράδειγμα έστω ότι η στίλβωση της προπέλας βελτιώνει την απόδοση της πρόωσης κατά 5% σε σχέση με μια προπέλα που δεν έχει στιλβωθεί, και ήδη αρκετοί διαχειριστές σκαφών στιλβώνουν τις προπέλες των σκαφών τους σε τακτική βάση. Έτσι, είναι μάλλον απίθανο η στίλβωση της προπέλας να προσδώσει στον κλάδο εξοικονόμηση καυσίμου κατά 5% επειδή ήδη ένα σημαντικό μέρος του στόλου έχει ήδη εφαρμόσει αυτή την προσέγγιση.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι τα εμπόδια που παρατηρούνται μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες τρείς (3) κατηγορίες.

1. Τεχνολογικοί: Οι ανησυχίες σχετικά με την δυναμική βελτίωσης της ενεργειακής αποτελεσματικότητας στο θαλάσσιο περιβάλλον και τα υποτιθέμενα οφέλη που δημιουργούνται ή και οι υποτιθέμενες αρνητικές προσεγγίσεις όπως για παράδειγμα αν η τεχνολογική προσέγγιση απαιτεί την εγκατάσταση εξοπλισμού που θα μπορούσε να επηρεάσει την κανονική λειτουργία του πλοίου.
2. Θεσμικοί: Ρυθμιστικοί ή και εμπορικοί διακανονισμοί που χρησιμεύουν για να εμποδιστεί η εισαγωγή ή επέκταση της αποτελεσματικότητας της ενεργειακής απόδοσης.
3. Οικονομικοί: Μερικές προσεγγίσεις είναι μόνο οικονομικά βιώσιμες (δηλαδή παρέχουν θετική παρούσα αξία) όταν οι τιμές του πετρελαίου έχουν φθάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο και αναμένεται να παραμείνουν σε αυτό το επίπεδο για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να μπορέσουν να παρέχουν επαρκή οικονομική απόδοση της επένδυσης που γίνεται για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Ποιο συγκεκριμένα:

1. Τεχνολογικοί Περιορισμοί: Οι τεχνολογικοί περιορισμοί μπορεί να είναι πραγματικοί ή αντιληπτοί. Για παράδειγμα, ευρεία διάδοση μιας αναφοράς για αποτυχία μιας εφαρμογής μπορεί να καθυστερήσει την μελλοντική εφαρμογή. Επίσης ο τύπος πλοίου μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα να εγκατασταθούν συγκεκριμένες τεχνολογικές βελτιώσεις όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες που απαιτούν μεγάλο σωρό για εγκατάσταση δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα φορτηγά πλοία ή στα πλοία εμπορευματοκιβωτίων επειδή αυτού του είδους πλοία απαιτούν να έχουν μεγάλες καταπακτές ή αφαιρούμενα καλύμματα καταπακτών για πρόσβαση στους χώρους των φορτίων. Επίσης ένα ακόμα θέμα προς εξέταση είναι ότι ορισμένες προσεγγίσεις είναι αμοιβαία αποκλειστικές ή εφαρμόζονται μόνο σε ορισμένους τύπους πλοίων.

2. Θεσμικοί περιορισμοί: Ένα από τα μεγαλύτερα θεσμικά εμπόδια στην υλοποίηση των έργων εξοικονόμησης καυσίμων όπου απαιτείται επένδυση κεφαλαίου, όπως για παράδειγμα η εφαρμογή ενός συστήματος ανάκτησης θερμότητας, είναι ο διαχωρισμός της ευθύνης ή το « κίνητρο διάσπασης » μεταξύ του πλοιοκτήτη και του ναυλωτή σχετικά με το κόστος καυσίμων. Τα πλοία συνήθως ναυλώνονται με έναν από τους παρακάτω τέσσερις τρόπους.

- Spot ή ναύλωση ταξιδιού: Ο πλοιοκτήτης συμφωνεί να μεταφερθεί ένα συγκεκριμένο φορτίο με ένα συγκεκριμένο πλοίο από το ένα λιμάνι Α στο λιμάνι Β. Σε αυτή την συμφωνία ο πλοιοκτήτης είναι υπεύθυνος για όλα τα κόστη του πλοίου

- Χρονοναύλωση (Time Charter) : Ο πλοιοκτήτης παρέχει ένα συγκεκριμένο και πλήρως επανδρωμένο πλοίο στον ναυλωτή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα συνήθως από έξι (6) μήνες έως πέντε (5) χρόνια και ο πλοιοκτήτης πληρώνει τα κόστη του πλοίου ενώ ο ναυλωτής τα κόστη του ταξιδιού.

- Ναύλωση γυμνού σκάφους : Ο πλοιοκτήτης παρέχει ένα συγκεκριμένο πλοίο χωρίς πλήρωμα στον ναυλωτή , ο οποίος αναλαμβάνει τα έξοδα του πλοίου και του ταξιδιού και είναι υπεύθυνος για τα κόστη του πλοίου (εκτός από το κόστος κεφαλαίου).

- Συμβάσεις εργολαβικής μίσθωσης: Ο πλοιοκτήτης συμφωνεί να μετακινήσει μια συγκεκριμένη ποσότητα φορτίου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από ένα λιμάνι Α σε ένα λιμάνι Β χωρίς να προσδιορίζει το πλοίο. Ο πλοιοκτήτης αναλαμβάνει τα έξοδα του πλοίου και του ταξιδιού. Επειδή οι συμβάσεις εργολαβικής μίσθωσης μπορούν να καλύψουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ένα έως και περισσότερα έτη, ο συντελεστής του φορτίου ρυθμίζεται υψηλότερα έτσι ώστε να καλύψει το κόστος των καυσίμων.

Το κίνητρο διάσπασης αναφέρεται σε μια κατάσταση στην οποία τα εμπλεκόμενα μέρη που επωφελούνται από την ενεργειακή απόδοση δεν είναι αυτοί που θα πρέπει να πληρώσουν. Στον κλάδο της ναυτιλίας, αυτό συμβαίνει κυρίως όταν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ του εφοπλιστή ο οποίος ελέγχει τις δαπάνες κεφαλαίου και του διαχειριστή ο οποίος είναι υπεύθυνος για το κόστος καυσίμου. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων και ειδικά τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου είναι μισθωμένα με χρονοναύλωση ή με μίσθωση γυμνού πλοίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο ναυλωτής είναι που πληρώνει τα καύσιμα αλλά ο πλοιοκτήτης είναι υπεύθυνος για οποιαδήποτε επένδυση σε εξοπλισμό για την ενεργειακή απόδοση.

Θεωρητικά τα πλοία που είναι ενεργειακά αποδοτικά θα μπορούσαν να έχουν και υψηλότερα ναύλα στην αγορά αλλά κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να γίνει λόγο της ποικιλομορφίας της αγοράς που « εγγυάται » βελτιωμένη κατανάλωση καυσίμου σε ένα σκάφος του οποίου η ταχύτητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιαιτερότητες των συνθηκών της θάλασσας. Ωστόσο η πλειοψηφία των ναυλωτών στηρίζει τις αποφάσεις τους για την ναύλωση ή όχι σε θεωρητικές οικονομικές και κατά συνέπεια λαμβάνουν υπόψη τους την κατανάλωση καυσίμου και την εγγυημένη ταχύτητα. Κάποιες οικονομικά βιώσιμες προσπάθειες εξοικονόμησης καυσίμων επηρεάζονται από άλλους παράγοντες όπως για παράδειγμα οι καιρικές συνθήκες. Ο πραγματικός υπολογισμός εξοικονόμησης καυσίμων είναι πολύ δύσκολο να γίνει και ως εκ τούτου ένας ναυλωτής είναι απίθανο να πληρώσει χωρίς εγγύηση εξοικονόμησης καυσίμων.

Τυπικά, οι πλοιοκτήτες θα απασχολούν τα πλοία τους σε συνδυασμό χρονοναύλωσης και ελεύθερης αγοράς, και σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν ευθύνη μόνο για το κόστος καυσίμων. Το τρέχων πρότυπο ναυλώσεων βασίζεται στο βιομηχανικό πρότυπο της εγγυημένης ταχύτητας και κατανάλωσης καυσίμων και για το λόγο αυτό αν κάποιο πλοίο είναι πιο αποδοτικό από το βιομηχανικό πρότυπο, ο πλοιοκτήτης δεν πρόκειται να λάβει κάποιο οικονομικό όφελος, και για τον λόγο αυτό μειώνεται και το κίνητρο του να προβεί σε επενδύσεις κεφαλαίου που αφορούν την εξοικονόμηση καυσίμου. Ωστόσο, πρόσφατα στον κλάδο η τάση είναι προς την κατεύθυνση της αναγνώρισης της αξίας στα ενεργειακά αποδοτικά πλοία.

3. Οικονομικοί περιορισμοί : Ένα άλλο ζήτημα είναι ότι οι πλοιοκτήτες όταν αγοράζουν ένα πλοίο δεν σκοπεύουν να το κρατήσουν για όλη την διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Αυτό μπορεί να περιορίσει το διάστημα κατά το οποίο ο πλοιοκτήτης είναι διατεθειμένος να περιλαμβάνει τα οφέλη εξοικονόμησης καυσίμου στην ανάλυση του κόστους της επένδυσης σε μια προσέγγιση εξοικονόμησης καυσίμων. Επίσης δεν υπάρχει εγγύηση για τους πλοιοκτήτες ότι στην αγορά των μεταχειρισμένων πλοίων ένα πλοίο που έχει καλύτερη από την αναμενόμενη απόδοση καυσίμου θα αποφέρει κέρδος στον πλοιοκτήτη που το πουλάει ή διαφορετικά ο αγοραστής δεν θα εκτιμήσει το όφελος από την μειωμένη κατανάλωση καυσίμου με τον ίδιο τρόπο που το έχει εκτιμήσει ο πωλητής. Αυτό μπορεί να έχει πρόσθετο αντίκτυπο στην αξιολόγηση των επενδύσεων των πλοιοκτητών, οι οποίοι θα οδηγηθούν να αξιολογήσουν την επένδυση τους με την μέθοδο της αποπληρωμής και όχι με μια πιο σταθερή και ποιο ακριβή μέθοδο όπως της καθαρής παρούσας αξίας.

Προκειμένου οι πλοιοκτήτες να προχωρήσουν σε επενδύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνουν έχουν ως γνώμονα τους το οικονομικό όφελος που θα έχουν και θα πρέπει να ξεπερνά το ποσοστό ρίσκου της επένδυσης. Πολλές προσεγγίσεις σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας έχουν απορριφθεί λόγω της χαμηλής αναμενόμενης απόδοσης της επένδυσης. Το όφελος που αντισταθμίζει το κόστος των καυσίμων είναι η μελλοντική μείωση του κόστους των καυσίμων, το οποίο συνεπάγεται εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμου αλλά και εξοικονόμηση χρημάτων. Οι τιμές των καυσίμων παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις και χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι τιμές του αργού πετρελαίου που τα τελευταία χρόνια έχουν κυμανθεί μεταξύ των 150$/βαρέλι ως υψηλό ετών και 40$/βαρέλι ως χαμηλό ετών. Συνεπώς το κόστος των καυσίμων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα αβεβαιότητας σε μια επένδυση για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, γεγονός που έχει παρατηρηθεί και στο παρελθόν σε θέματα που αφορούσαν τα συστήματα ανάκτησης της θερμότητας τα οποία θεωρούνται ότι δεν έχουν θετική παρούσα αξία.

Ένα άλλο εμπόδιο οικονομικής φύσης, σχετίζεται με τους κύκλους της ναυτιλιακής αγοράς οι οποίοι πάντα παρουσιάζουν σημεία ανάπτυξης και ύφεσης. Σε περιόδους οικονομικής ανάπτυξης όταν τα κέρδη είναι υψηλά, οι πλοιοκτήτες έχουν τα κεφάλαια για να κάνουν επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιστοποίησης της ενεργειακής αποδοτικότητας αλλά δεν είναι πρόθυμοι να αποσύρουν έστω ένα σκάφος από την αγορά για το ελάχιστο κανονικό χρονικό διάστημα που απαιτείται για την εφαρμογή της επένδυσης, χάνοντας έτσι τα κέρδη τους από τα υψηλά ναύλα της αγοράς. Στην αντίθετη περίπτωση όταν ο κύκλος της ναυτιλιακής αγοράς βρίσκεται στο στάδιο της οικονομικής ύφεσης, οι πλοιοκτήτες είναι διστακτικοί να προχωρήσουν σε επενδύσεις μιας και τα κέρδη από τα ναύλα είναι μειωμένα και δεν έχουν πρόσβαση στο κεφάλαιο που απαιτείται για την επένδυση.

Επιπλέον, όταν ένα σκάφος έχει σχεδιαστεί για μια συγκεκριμένη διαδρομή στην οποία θα λειτουργήσει για την μεγαλύτερη διάρκεια της ζωής του, τότε η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες τεχνολογίες είναι ευκολότερη. Ωστόσο, τα περισσότερα πλοία κινούνται σε πολλές διαφορετικές διαδρομές και κάτω από ποικίλες φυσικές συνθήκες, γεγονός που καθιστά δύσκολο το να υπολογιστεί το όφελος της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για ευέλικτα σκάφη που κινούνται κατά μήκος διαφορετικών εμπορικών γραμμών, συνεπάγεται η ανάγκη για σχεδιασμό και κατασκευή πλοίων τα οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι ενεργειακά βελτιωμένα για συγκεκριμένα ταξίδια. Σε κάθε κατηγορία πλοίων όπως για παράδειγμα στα Aframax και στα Suezmax τα πλοία έχουν αυξηθεί σε μέγεθος και μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες φορτίων χωρίς όμως να είναι πλήρες το φορτίο. Το μέγεθος του φορτίου προσδιορίζεται μεταξύ του αγοραστή και του πωλητή και το πλοίο επιλέγεται βάση της ικανότητας του να μεταφέρει πλήρες φορτίο αλλά όχι απαραίτητα το φορτίο να γεμίζει το πλοίο. Φορτώνοντας και γεμίζοντας ένα μεγάλο πλοίο ή χρησιμοποιώντας μικρότερα πλοία πλήρως φορτωμένα θα μπορούσε να είναι ένας τρόπος εξοικονόμησης καυσίμων και αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, ωστόσο η σημερινή αγορά εμπορίας προϊόντων δεν ενσωματώνει πλήρως την ενεργειακή αποδοτικότητα στις εμπορικές δραστηριότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο} – ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ AIR CAVITY

Σύμφωνα με το προαναφερόμενα σε σχέση με την εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity στα πλοία της εμπορικής ναυτιλίας ισχύουν συνοπτικά τα παρακάτω.

- Η τεχνολογία Air Cavity μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα νεότευκτα όσο και στα υπάρχοντα πλοία μέσω μετασκευής.
- Η εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity είναι ελκυστικότερη για δεξαμενόπλοια λόγω του σχήματος του πυθμένα και του μεγέθους τους
- Η τεχνολογία Air Cavity είναι διαθέσιμη στην αγορά με επιβάρυνση κόστους κατασκευής 2%-3% σε σχέση με το κόστος κατασκευής ενός συμβατικού πλοίου.
- Οι δυνατότητες της τεχνολογίας Air Cavity για εξοικονόμηση καυσίμων, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ομαλότητα της γάστρας, γεγονός που σημαίνει ότι επιβάλλεται η καλή συντήρηση της.
- Η τεχνολογίας Air Cavity οδηγεί σε μείωση της εκπομπής CO_2 και σε βελτίωση της εξοικονόμησης καυσίμων σε ποσοστό από 10% έως 15%

6.1 Επίδραση στη δαπάνη καυσίμου και κλιματική αλλαγή για το σύνολο των δεξαμενοπλοίων.

Συνεπώς, σε μια προσπάθεια αποτίμησης της τεχνολογίας Air Cavity ως προς την μείωση της εκπομπής CO_2 προτείνεται η επιλογή του στόλου των δεξαμενοπλοίων. Στον πίνακα 20 παρουσιάζεται η κατανομή του παγκόσμιου στόλου για όλους τους τύπους πλοίων και κατηγορίες μεγεθών, συμπεριλαμβανομένων των δεξαμενοπλοίων. Ο συνολικός αριθμός πλοίων ανέρχεται σε 45620 και με βάση το μέσο νεκρό βάρος ανά κατηγορία μεγέθους παρουσιάζει συνολικό νεκρό βάρος 1.12×10^{9} dwt **[12]** . Από το στόλο αυτό τα 2028 πλοία είναι δεξαμενόπλοια με συνολικό νεκρό βάρος 4×10^{6}. dwt περίπου, που αντιπροσωπεύει το 4.45% και 3.57% του παγκόσμιου στόλου αντίστοιχα.

Vessel type DWTx1000	Number of vessels
Small Vessels 0-5'	517
Coastal 5-15'	236
Handysize 15'-35'	1,774
Handymax 35'-60'	1,732
Panamax 60'-85'	1,383
Post-Panamax 85'-120'	98
Capesize >120'	722
Total Dry Bulk	**6,462**
Feeder 0-500 TEU	363
Feedermax 500-1000	757
Handysize 1000-2000	1,143
Sub-Panamax 2000-3000	689
Panamax 3000-4400	568
Post Panamax >4400	712
Total Container	**4,232**
Small tanker 0-10	115
Handysize 10-60	240
Panamax 60-80	177
Aframax 80-120	648
Suezmax 120-200	332
VLCC/ULCC >200	516
Total Crude oil	**2,028**
LNG 0-50	29
LNG >50	221
Total LNG	**250**
LPG 0-5	651
LPG 5-20	235
LPG 20-40	68
LPG >40	135
Total LPG	**1,089**

Vessel type DWTx1000	Number of vessels
Reefer 0-5	508
Reefer 5-10	358
Reefer >10	225
Total Reefer	**1,091**
Product, chemical 0-5'	3125
Product, chemical 5'-15'	1407
Product, chemical 15'-25'	430
Product, chemical 25'-40'	643
Product, chemical 40'-60	705
Product, chemical >60	238
Total Chemical	**6,548**
RO-RO excl. Pax 0-5000	932
RO-RO excl. Pax 5-15	674
RO-RO excl. Pax 15-25	342
RO-RO excl. Pax 25-40	51
Total RO-RO	**1,999**
General Cargo 0-5	9,009
General Cargo 5-15	3,014
General Cargo 15-35	816
Total General Cargo	**12,839**

SUBTOTAL: 36,538 vessels

Other categories

Vessels 0-400 GT	**6,281**
Passenger Vessels (>400GT)	**2,801**

TOTAL : 45,620 vessels

Πίνακας 20- Κατανομή παγκόσμιου στόλου [14]

Στους πίνακες 21 - 24 παρουσιάζονται τα βασικά και λειτουργικά τεχνικά στοιχεία του στόλου των δεξαμενοπλοίων ανά κατηγορία πλοίου.

Ship size (scantling)	dwt	Small 5,000	8,000	Handysize 10,000	15,000	20,000	25,000
Scantling draught	m	6.4	7.5	8.0	9.0	9.3	9.6
Length overall	m	100	116	124	141	155	170
Length between pp	m	94.5	110	117	133	147	161
Breadth	m	16.0	18.0	19.0	21.9	24.0	25.5
Design draught	m	6.0	7.1	7.5	8.4	8.6	8.9
Sea margin	%	15	15	15	15	15	15
Engine margin	%	10	10	10	10	10	10
Average design ship speed	**knots**	**13.5**	**14.0**	**14.5**	**15.0**	**15.5**	**15.5**
SMCR power	**kW**	**2,340**	**3,300**	**4,100**	**5,700**	**7,100**	**7,700**
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	6S26MC6	5S35MC7 6L35MC6 5S35ME-B9	6S35MC7 6L35MC6 5S35ME-B9	5S40ME-B9 7S35ME-B9 6S42MC7 8S35MC7	5S50MC6 5S50MC-C7/ME-B8 6S46MC-C7 7S40ME-B9	5S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 6S46MC-C7 7S40ME-B9
Average ship speed − 0.5 kn	knots	13. 0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.0
SMCR power	kW	2,000	2,830	3,530	4,900	6,200	6,800
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	5S26MC6	5L35MC6	5S35MC7 5L35MC6 5S35ME-B9	6S35ME-B9 5S40ME-B9 5S42MC7 7S35MC7	5S50MC6 5S46MC-C7 6S40ME-B9 6S42MC7	5S50MC-C7/ME-B8 5S50MC6 5S46MC-C8 6S40ME-B9
Average ship speed + 0.5 kn	knots	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.0
SMCR power	kW	2,760	3,840	4,750	6,600	8,200	8,800
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	5S35MC7 7S26MC6	6S35MC7 6L35MC6 5S35ME-B9	7S35MC7 8L35MC6 6S35ME-B9	6S40ME-B9 8S35ME-B9 7S42MC7 9S35MC7	6S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 7S46MC-C7 8S40ME-B9	6S50MC-C7/ME-B8 7S50MC6 7S46MC-C7 8S40ME-B9

Πίνακας 21- Τεχνικά στοιχεία Small & Handysize tankers [13]

Ship size (scantling)	dwt	Handymax 30,000	35,000	40,000	50,000	Panamax 60,000	70,000
Scantling draught	m	9.9	10.6	11.6	12.4	12.3	14.1
Length overall	m	176	176	183	183	228.6	228.6
Length between pp	m	168	168	174	174	219	219
Breadth	m	28.0	30.0	31.5	32.2	32.2	32.2
Design draught	m	9.0	9.6	10.0	11.3	11.0	12.6
Sea margin	%	15	15	15	15	15	15
Engine margin	%	10	10	10	10	10	10
Average design ship speed	**knots**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**
SMCR power	**kW**	**7,400**	**8,000**	**8,500**	**9,400**	**10,100**	**10,800**
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	5S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 6S46MC-C7 7S40ME-B9	6S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 6S46MC-C8 8S40ME-B9	6S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 5S50ME-B9 7S46MC-C7	6S50MC-C7/ME-B8 7S50MC6 6S50ME-B9	5S60MC-C7/ME-C7 5S60MC6 6S60MC-C7/ME-C7 6S50ME-B9	5S60MC-C7/ME-C7 6S60MC6 6S60MC-C7/ME-C7 7S50ME-B9
Average ship speed − 0.5 kn	knots	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
SMCR power	kW	6,000	7,000	7,500	8,200	9,000	9,600
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	5S50MC-C7/ME-B8 5S50MC6 5S46MC-C7 6S40ME-B9	5S50MC-C7/ME-B8 5S50MC6 6S46MC-C7 7S40ME-B9	5S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 6S46MC-C7 7S40ME-B8	5S50MC-C8/ME-B8 6S50MC6 5S50ME-B9	5S60MC-C7/ME-C7 5S60MC6 6S50ME-B9	5S60MC-C7/ME-C7 5S60MC6 6S50ME-B9
Average ship speed + 0.5 kn	knots	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
SMCR power	kW	8,500	9,100	9,700	10,600	11,300	12,100
Main engine options:	1. 2. 3. 4.	6S50MC-C7/ME-B8 6S50MC6 7S46MC-C7 8S40ME-B9	6S50MC-C7/ME-B8 7S50MC6 7S46MC-C7 8S40ME-B9	6S50MC-C8/ME-B8 7S50MC6 6S50ME-B9	7S50MC-C7/ME-B8 6S50ME-B9	5S60MC-C7/ME-C7 6S60MC6 6S60MC-C7/ME-C7 6S50ME-B9	6S60MC-C7/ME-C7 6S60MC6 7S50ME-B9

Πίνακας 22- Τεχνικά στοιχεία Handymax & Panamax tankers [13]

Ship size (scantling)	dwt	Aframax 85,000	Aframax 105,000	Suezmax 115,000	Suezmax 125,000	Suezmax 150,000	Suezmax 165,000
Scantling draught	m	12.1	14.7	15.0	14.6	16.1	17.0
Length overall	m	244	244	250	270	274	274
Length between pp	m	233	233	239	256	264	264
Breadth	m	42.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0
Design draught	m	11.0	13.4	13.5	13.5	14.8	15.6
Sea margin	%	15	15	15	15	15	15
Engine margin	%	10	10	10	10	10	10
Average design ship speed	**knots**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**	**15.0**
SMCR power	**kW**	**12,300**	**13,400**	**14,300**	**15,200**	**16,000**	**16,800**
Main engine options:	1.	6S60MC-C7/ME-C7	6S60MC-C7/ME-C7	6S60MC-C8/ME-C8	7S60MC-C7/ME-C7	5S70MC-C8/ME-C8	6S70MC-C7/ME-C7
	2.	6S60MC8	7S60MC8	7S60MC8	5S70MC-C7/ME-C7	6S70MC8	6S70MC8
	3.	5S70MC8	5S70MC8	5S70MC-C7/ME-C7	6S70MC8	8S60MC8	8S60MC-C7/ME-C7
	4.	5S65ME-C8	5S65ME-C8	5S65ME-C8	6S65ME-C8	6S65ME-C8	6S65ME-C8
Average ship speed − 0.5 kn	knots	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
SMCR power	kW	11,000	12,000	12,800	13,600	14,400	15,100
Main engine options:	1.	5S60MC-C7/ME-C7	6S60MC-C7/ME-C7	6S60MC-C7/ME-C7	6S60MC-C8/ME-C8	7S60MC-C7/ME-C7	7S60MC-C7/ME-C7
	2.	6S60MC8	6S60MC8	7S60MC8	7S60MC8	5S70MC-C7/ME-C7	5S70MC-C7/ME-C7
	3.		5S70MC8	5S70MC8	5S70MC8	6S70MC8	6S70MC8
	4.		5S65ME-C8	5S65ME-C8	5S65ME-C8	6S65ME-C8	6S65ME-C8
Average ship speed + 0.5 kn	knots	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
SMCR power	kW	13,800	15,000	16,000	16,900	17,900	18,700
Main engine options:	1.	5S70MC-C7	5S70MC-C7/ME-C7	6S70MC8	6S70MC8	6S70MC-C7/ME-C7	6S70MC-C8/ME-C8
	2.	6S60MC-C8/ME-C8	6S70MC8	5S70MC-C8/ME-C8	6S70MC-C7/ME-C7	7S70MC8	7S70MC8
	3.	7S60MC8	7S60MC-C7/ME-C7	7S60MC-C8/ME-C8	8S60MC-C7/ME-C7	8S60MC-C7/ME-C7	7S65ME-C8
	4.	5S65ME-C8	6S65ME-C8	6S65ME-C8	6S65ME-C8	7S65ME-C8	

Πίνακας 23- Τεχνικά στοιχεία Aframax & Suezmax tankers [13]

Ship size (scantling)	dwt	VLCC 260,000	VLCC 280,000	VLCC 300,000	VLCC 319,000	ULCC 360,000	ULCC 440,000	ULCC 560,000
Scantling draught	m	19.1	20.5	22.0	22.7	23.1	24.3	24.7
Length overall	m	333	333	333	333	341	380	460
Length between pp	m	320	320	320	319	327	362	440
Breadth	m	58.0	58.0	58.0	60.0	65.0	68.0	70.0
Design draught	m	17.7	19.0	20.4	21.0	21.4	22.5	22.8
Sea margin	%	15	15	15	15	15	15	15
Engine margin	%	10	10	10	10	10	10	10
Average design ship speed	**knots**	**15.5**	**15.5**	**15.5**	**15.5**	**16.0**	**16.0**	**16.0**
SMCR power	**kW**	**24,100**	**25,000**	**25,900**	**27,100**	**30,600**	**34,200**	**42,200**
Main engine options:	1.	7S80MC-C7/ME-C7	7S80MC-C7/ME-C7	7S80MC-C7/ME-C7	7S80MC-C7/ME-C7	8S80MC-C7/ME-C7	7S90MC-C7/ME-C7	8S90MC-C8/ME-C8
	2.	7S80MC6	7S80MC6	6S90MC-C7/ME-C7	6S90MC-C7/ME-C7	6S90MC-C8/ME-C8	10S80MC6	12S80MC6
	3.	6S80MC-C8/ME-C8	6S80MC-C8/ME-C8	6S80ME-C9	6S80ME-C9	9S80MC6	8S80ME-C9	
	4.	6S80ME-C9	6S80ME-C9			7S80ME-C9		
Average ship speed − 0.5 kn	knots	15.0	15.0	15.0	15.0	15.5	15.5	15.5
SMCR power	kW	21,800	22,600	23,500	24,600	27,800	31,100	36,700
Main engine options:	1.	6S80MC6	6S80MC-C7/ME-C7	6S80MC-C8/ME-C8	6S80MC-C8/ME-C8	6S90MC-C7/ME-C7	8S80MC-C7/ME-C7	7S90MC-C8/ME-C8
	2.	6S80MC-C7/ME-C7	7S80MC-C7/ME-C7	7S80MC6	7S80MC6	7S80MC-C8/ME-C8	6S90MC-C8/ME-C8	11S80MC6
	3.	7S80MC6	7S80MC6	6S80ME-C9	6S80ME-C9	8S80MC6	9S80MC6	9S80ME-C9
	4.					7S80ME-C9	7S80ME-C9	
Average ship speed + 0.5 kn	knots	16.0	16.0	16.0	16.0	16.5	16.5	16.5
SMCR power	kW	26,600	27,600	28,700	30,000	33,500	37,600	44,000
Main engine options:	1.	7S80MC-C7/ME-C7	6S90MC-C7/ME-C7	6S90MC-C7/ME-C7	8S80MC-C7/ME-C7	7S90MC-C7/ME-C7	8S90MC-C7/ME-C7	9S90MC-C7/ME-C7
	2.	6S90MC-C7/ME-C7	7S80MC-C8/ME-C8	7S80MC-C8/ME-C8	6S90MC-C8/ME-C8	10S80MC6	11S80MC6	
	3.	8S80MC6	8S80MC6	8S80MC6	9S80MC6	8S80MC-C8/ME-C8	9S80ME-C9	
	4.	6S80ME-C9	7S80ME-C9	7S80ME-C9	7S80ME-C9	8S80ME-C9		

Πίνακας 24 - Τεχνικά στοιχεία VLCC & ULCC tankers [13]

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων και συγκεκριμένα τη μέση τιμή ταχύτητας και ισχύος πρόωσης των δεξαμενοπλοίων ανά κατηγορία μεγέθους, καθώς επίσης και συντελεστή φορτίου μηχανής 80% κατά την διάρκεια της πλεύσης, το σύνολο του στόλου είναι αντιπροσωπευτικό ενός πλοίου με ισχύ μηχανών πρόωσης Pt (kW) και μέσης ταχύτητας V_A (knots) σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$P_T = \mathbf{(115 \times 2.820 \times 0.8) + (240 \times 6.500 \times 0.8) + (177 \times 10.450 \times 0.8) +}$$

$$\mathbf{(648 \times 12.850 \times 0.8) + (332 \times 15.575 \times 0.8) + (516 \times 30.000 \times 0.8) =}$$

$$\mathbf{= 26.17 \times 10^6\ kW}$$

V_A = [**(115 x 13.5) + (240 x 15.12) + (177 x 15) + (648 x 15) + (332 x 15)+(516 x 15.7)] / (115+240+177+648+332+516) = 15.11 Knots**

Η μέση ετήσια απόσταση έμφορτης πλεύσης D_A (n.m.) του αντιπροσωπευτικού δεξαμενοπλοίου δίδεται από την σχέση :

$$D_A = TW_T / W_T$$

Όπου : TW_T = Ετήσιο μεταφορικό έργο δεξαμενοπλοίων (ton-miles)

W_T = Ετήσια διακίνηση φορτίου δεξαμενοπλοίων (tons)

Σύμφωνα με τα στοιχεία από την ετήσια αναφορά της UNCTAD [ ], το TW_T είναι 12.440 $\times 10^9$ ton-miles και το W_T είναι 2.68 $\times 10^9$ tons. Άρα, η μέση ετήσια απόσταση έμφορτης πλεύσης του αντιπροσωπευτικού δεξαμενοπλοίου ισούται με:

$$D_A = 4642 \text{ n.m}$$

Συνεπώς, ο μέσος ετήσιος χρόνος έμφορτης πλεύσης T_A (hours) του αντιπροσωπευτικού δεξαμενοπλοίου ορίζεται :

$$T_A = D_A / V_A = 307.21 \text{ hours}$$

Υποθέτοντας ότι τα δεξαμενόπλοια διανύουν ίσες έμφορτες και άφορτες διαδρομές με ίδια ταχύτητα πλεύσης, η ετήσια κατανάλωση F_T (tons) του αντιπροσωπευτικού δεξαμενοπλοίου είναι :

$$F_T = SFC_A \times P_T \times (2 \times T_A) \times 10^{-6}$$

Όπου : SFC_A = Μέση ειδική κατανάλωση καυσίμου των μηχανών πρόωσης = 180g/kWh

P_T = Ισχύς μηχανών πρόωσης = 26.17 x 10^6 kW

T_A = Μέση διάρκεια ετήσιου χρόνου έμφορτης πλεύσης = 307.21 hours

Συνεπώς, F_T = 180 x 26.17 x 10^6 x (2 x 307.21) x 10^{-6} = 2.89 × 10^6 tons

Επίσης λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ναυτικές ντηζελομηχανές πρόωσης εκπέμπουν 3.08 τόνους CO_2 ανά τόνο καυσίμου μηχανών πρόωσης, τότε η ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα Et (tons) ισούται με :

$$E_T = F_T \times 3.08 = (2.89 \times 10^6) \times 3.08 = 8.90 \times 10^6 \text{ tons } CO_2$$

Εφόσον η εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από 10% έως 15%, υποθέτοντας ότι η μέση τιμή καυσίμου μηχανών πρόωσης είναι ίση προς 700 $/ton, τότε η αντίστοιχη μείωση της ετήσιας δαπάνης καυσίμου για το αντιπροσωπευτικό δεξαμενόπλοιο είναι:

$$\Delta F_{T-10\%} = 0.10 \times F_T \times 700 = 0.10 \times (2.89 \times 10^6) \times 700 = 202.30 \text{ εκατ. } \$$$

$$\Delta F_{T-15\%} = 0.15 \times F_T \times 700 = 0.15 \times (2.89 \times 10^6) \times 700 = 303.45 \text{ εκατ. } \$$$

Αντίστοιχα, η ετήσια μείωση εκπομπών CO_2 είναι :

$$\Delta E_{T-10\%} = 0.10 \times E_T \times 700 = 0.10 \times (8.90 \times 10^6) \times 700 = 623 \times 10^6 \text{ tons of } CO_2$$

$$\Delta E_{T-15\%} = 0.15 \times E_T \times 700 = 0.15 \times (8.90 \times 10^6) \times 700 = 934.5 \times 10^6 \text{ tons of } CO_2$$

6.2 Ανάλυση Κόστους-Οφέλους για δεξαμενόπλοιο μέσου μεγέθους

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση κόστους–οφέλους (Cost Benefit Analysis) της τεχνολογίας air cavity για ένα δεξαμενόπλοιο μέσου μεγέθους (dwt).

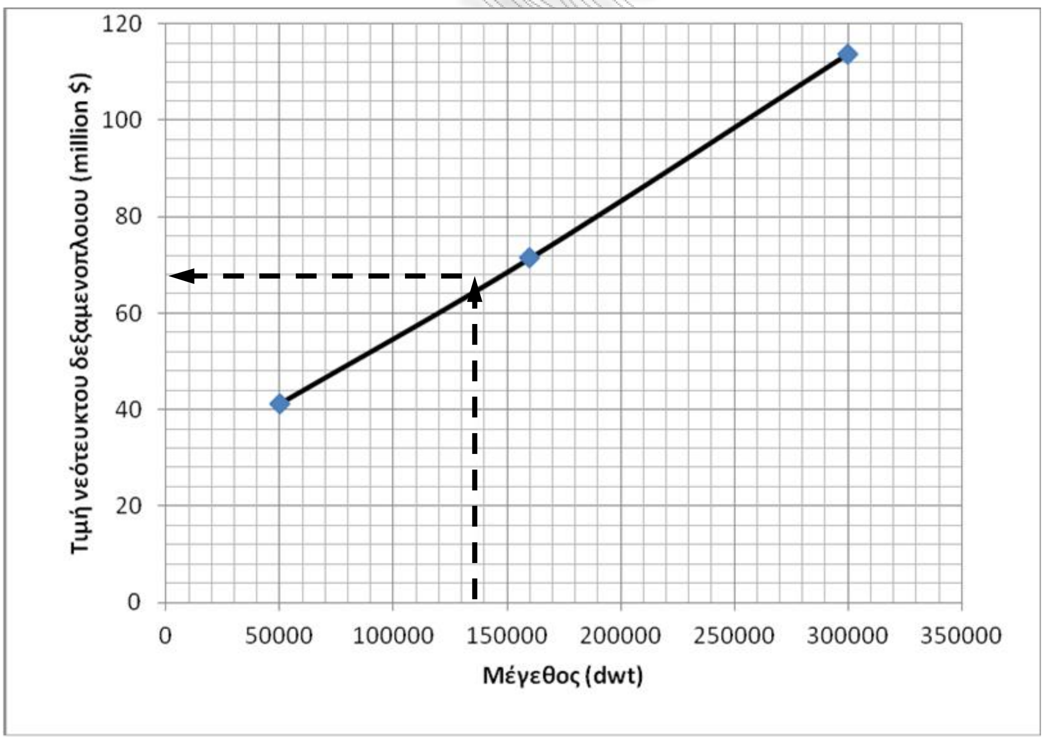
Από τα στοιχεία του πίνακα 20 και με την σχέση:

$$\frac{\sum_{n=1}^{K} (\text{ Αριθμός πλοίων ανα κατηγορία } \times \text{ Μέσο μέγεθος κατηγορίας })}{\text{Συνολικός αριθμός πλοίων}}$$

προκύπτει ότι το μέγεθος ενός μέσου δεξαμενοπλοίου είναι 145012 dwt. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές νεότευκτων πλοίων από το έτος 2003 έως 2010. Από τα στοιχεία του πίνακα και συγκεκριμένα όσα αναφέρονται σε δεξαμενόπλοια, υπολογίστηκε ότι η μέση αξία ενός νεότευκτου δεξαμενοπλοίου 145012 dwt ισούται με 71 $ εκατ. (Διάγραμμα 5).

Table 3.1. Representative newbuilding prices, 2003–2010 *(millions of dollars, average prices)*									
Type and size of vessel	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**Percentage change 2010/2009**
Oil tanker – Handy, 50 000 dwt	28	35	42	47	50	52	40	36	-10.0
Oil tanker – Suezmax, 160 000 dwt	47	60	73	76	85	94	70	66	-5.7
Oil tanker – VLCC, 300 000 dwt	67	91	119	125	136	153	116	103	-11.2
Chemical tanker – 12 000 dwt	12	16	18	21	33	34	33	28	-15.2
LPG carrier – 15 000 m³	28	36	45	49	51	52	46	41	-10.9
LNG carrier – 160 000 m³	153	173	205	217	237	222	226	208	-8.0
Dry bulk – Handysize, 30 000 dwt	16	19	21	22	33	38	29	25	-13.8
Dry bulk – Panamax, 75 000 dwt	23	32	35	36	47	54	39	35	-10.3
Dry bulk – Capesize, 170 000 dwt	38	55	62	62	84	97	69	58	-15.9
Container – geared, 500 TEUs	13	18	18	16	16	21	14	10	-28.6
Container – gearless, 6 500 TEUs	67	86	101	98	97	108	87	75	-13.8
Container – gearless, 12 000 TEUs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	154	164	114	107	-6.1

Πίνακας 25- Τιμές νεότευκτων πλοίων 2003 – 2010. [12]



Διάγραμμα 5. - Μέση τιμή νεότευκτων δεξαμενοπλοίων (2003-2010).

Σύμφωνα με τον πίνακα 23, η μέση ταχύτητα πλέυσης ενός **δεξαμενοπλοίου** αυτού του μεγέθους είναι 15 knots και η ισχύς πρόωσης (SMCR) ισούται με 16000 kW. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity αυξάνει το κόστος ενός νεότευκτου πλοίου κατά 2% - 3% σε σύγκριση με το αντίστοιχο συμβατικό. Ταυτόχρονα, το DK-Group εκτιμά ότι το κόστος του air cavity για ένα πλοίο μεγάλου μεγέθους επιβαρύνει την συνολική τιμή του νεότευκτου πλοίου μόνο κατά 1% **[15]**. Συνεπώς, για μέση προσαύξηση κόστους κατά 2%, το συνολικό κόστος του υπό εξέταση δεξαμενοπλοίου διαμορφώνεται στα 71.42 εκατ. $.

Υποθέτοντας μέση ειδική κατανάλωση καυσίμου των μηχανών πρόωσης ίση με 180g/kWh και συντελεστή φορτίου μηχανής πρόωσης ίσο με 80%, η μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου είναι:

$$F_T = 180 \text{ x } 0.8 \text{ x } 16 \times 10^3 \text{ x } (2 \text{ x } 307.21) \text{ x } 10^{-6} = 1415.6 \text{ tons}$$

Για μέση τιμή καυσίμου ίση με 700 $/ton, το κόστος της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου ισούται με $ 990.92 × 10^3

Λόγω του ότι η τεχνολογία Air Cavity υπόσχεται εξοικονόμηση καυσίμων 10% - 15%, η μέση εξοικονόμηση της τεχνολογίας ορίζεται στο 12.5%. Συνεπώς, η μέση εξοικονόμηση δαπανών καυσίμων στο υπό εξέταση δεξαμενόπλοιο είναι :

$$\Delta F_{T-12.5\%} = 0.125 \times F_T \times 700 = 0.125 \times 1415.6 \times 700 = \$\ 123.87 \times 10^3$$

Επιπρόσθετα, για εκπομπή 3.08 τόνων CO_2 ανά τόνο καυσίμου μηχανών πρόωσης, η μέση ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα E_T (tons) ισούται:

$$E_T = F_T \times 3.08 = 1415.6 \times 3.08 = 4360 \text{ tons}$$

Και με την εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity, η μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO_2 είναι:

$$\Delta E_{T-12.5\%} = 0.125 \times E_T \times 700 = 0.125 \times 4360 \times 700 = 381.5 \times 10^3 \text{ tons of } CO_2$$

Η οικονομική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της τεχνολογίας air cavity στο υπό εξέταση πλοίο αναλύεται μέσω της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) της επένδυσης, σύμφωνα με το τύπο:

$$\text{ΚΠΑ} = \left[\text{Ετήσια Μείωση Δαπάνης Καυσίμου} \times \frac{\left(1 - (1+i)^{-T}\right)}{i} \right] - \text{Αρχικό Κόστος Air Cavity}$$

όπου,

T = Διάρκεια ζωής του πλοίου

i = Επιτόκιο

και για ΚΠΑ > 0, η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα

Υποθέτοντας ότι η διάρκεια ζωής νεότευκτου δεξαμενοπλοίου είναι ίση με 25 έτη και για επιτόκιο ίσο με 5%, λαμβάνοντας υπόψη ότι το αρχικό κόστος επένδυσης του air cavity ισούται με 1.42 $ εκατομ. και η μέση ετήσια μείωση της δαπάνης καυσίμου είναι ίση με 0.124 $ εκατομ., η ΚΠΑ είναι:

ΚΠΑ $= -1.42 + [\,(0.124 / (1+0.05)^{1}) + (0.124 / (1+0.05)^{2}) ... + (0.124 / (1+0.05)^{25})\,]$

$= 325.82 \times 10^{3}\ \$$

Άρα για NPV = 325.82×10^{3} $ > 0, η επένδυση που αφορά στην εφαρμογή της τεχνολογίας air cavity στο υπό εξέταση μέσου μεγέθους δεξαμενόπλοιο κρίνεται συμφέρουσα.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα αρχικού κόστους, μέσης ετήσιας μείωσης δαπανών καυσίμου (δηλ. με 700 $/ton) και επιτοκίου, η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα για υπάρχοντα δεξαμενόπλοια ιδίου μεγέθους μέχρι την ηλικία των 7 ετών (δηλ. με υπόλοιπο χρήσιμης ζωής 18 ετών).

Μεταξύ των παραμέτρων που επηρρεάζουν την ΚΠΑ, η διαχρονική διακύμανση της τιμής του καυσίμου της ναυτιλίας κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Συνεπώς, η εφαρμογή του air cavity σε νεότευκτο δεξαμενόπλοιο ίδιο με το υπό εξέταση πλοίο κρίνεται οριακά συμφέρουσα (ΚΠΑ = 0) για τιμή καυσίμου f ($/ton) ίση με:

$$f = \frac{\left[\text{Αρχικό Κόστος Air Cavity} \times \dfrac{i}{\left(1 - (1+i)^{-T}\right)} \right]}{\text{Ετήσια Μείωση Ποσότητας Καυσίμου}}$$

όπου,

Αρχικό κόστος Air Cavity = 1.42 \$ εκατομ.

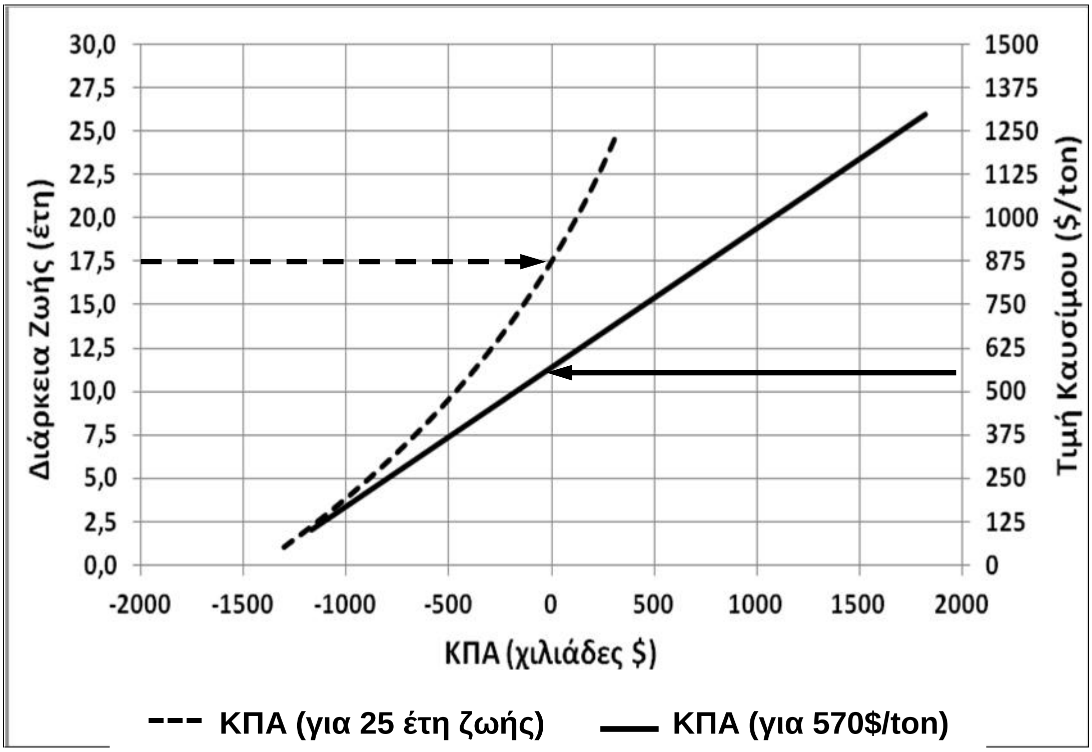
T = Διάρκεια ζωής = 25 έτη

i = επιτόκιο = 5%

Ετήσια μείωση ποσότητας καυσίμου = 1416.6 (tons) x 0.125 = 176.95 tons

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα, προκύπτει ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας air cavity σε νεότευκτο δεξαμενόπλοιο ίδιο με το υπό εξέταση πλοίο είναι συμφέρουσα για ελάχιστη τιμή καυσίμου ίση με 570 \$/ton.

Στο διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η διαμόρφωση της ΚΠΑ για διαφορετικές τιμές ναυτιλιακού καυσίμου και για διαφορετική διάρκεια ζωής της επένδυσης, καθώς και οι οριακές τιμές καυσίμου και ηλικίας που καθιστούν την επένδυση οριακά συμφέρουσα (ΚΠΑ = 0).



Διάγραμμα 6. - ΚΠΑ για διαφορετικές τιμές καυσίμου και διάρκεια της επένδυσης.

Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6 η ΚΠΑ είναι οριακά συμφέρουσα σε νεότευκτο πλοίο ανάλογα με το κριτήριο που θα χρησιμοποιηθεί για την επένδυση. Στηριζόμενοι στο κριτήριο ανάλογα με τα έτη ζωής του πλοίου και με την προϋπόθεση ότι το πλοίο θα παραμείνει ενεργό μέχρι το τέλος της ωφέλιμης ζωής του, που συνήθως είναι τα 25 έτη , παρατηρείται ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα για όσα πλοία έχουν υπολειπόμενο χρόνο ζωής 18 έτη. Στην περίπτωση που κριτήριο της επένδυσης τεθεί η εξέλιξη των τιμών των καυσίμων, σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα παρατηρείται ότι με τιμή καυσίμων χαμηλότερη από τα 570 $/ton συμφέρει η επένδυση. Αυτό βέβαια είναι σχετικό γιατί οι τιμές των καυσίμων είναι ευμετάβλητες και ήδη στην αγορά υπάρχουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως για παράδειγμα το υγραέριο που ήδη χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κάποια πλοία. Επίσης η εισαγωγή του EEDI στα πλοία θα επηρεάζει σημαντικά τόσο τις τιμές καυσίμων όσο και τις επενδύσεις που θα πρέπει να γίνουν για την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των πλοίων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το θαλάσσιο εμπόριο παραμένει ο πιο οικονομικός και φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος μεταφοράς φορτίων.
- Λόγω αναζήτησης χαμηλότερου κόστους μεταφοράς και υψηλότερης περιβαλλοντικής φιλικότητας διερευνάται η μείωση της εκπομπής CO_2 μέσω των κανονισμών ενεργειακής αποδοτικότητας όπως του EEDI και του SEEMP. Ο EEDI προτείνει κυρίως τεχνολογικές βελτιώσεις ενώ ο SEEMP κυρίως επιχειρησιακά μέτρα. Και οι δύο δείκτες μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους.
- Ο EEDI παρέχει το δικαίωμα εξαίρεσης σε πλοία υπό συγκεκριμένη σημαία με αποτέλεσμα να επιμηκύνεται ο χρόνος υπαγωγής τους κατά 1,5 χρόνο με την προϋπόθεση ότι ο χρόνος που μεσολαβεί για την παράδοση του πλοίου, χρησιμοποιείται για να γίνουν οι τροποποιήσεις σύμφωνα με την νομοθεσία του EEDI. Ποίες σημαίες όμως είναι αυτές δεν διευκρινίζεται όπως αδιευκρίνιστα παραμένουν τα κριτήρια επιλογής αυτών των σημαιών.
- Ο SEEMP θα εφαρμοστεί από 01/01/13 χωρίς να θέσει κάποιους συγκεκριμένους στόχους λόγω του ότι το τρέχων κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με τις εκπομπές ρύπων δεν καλύπτει τις απαιτήσεις του. Παρόλα αυτά η εφαρμογή του σκοπεύει στο να εφαρμοστούν για αρχή κάποια μέτρα μείωσης της εκπομπής ρύπων.
- Και οι δύο δείκτες προτείνουν την μέθοδο της αέριας λίπανσης ως μέτρο μείωσης της εκπομπής ρύπων και βελτιστοποίησης της απόδοσης των μηχανών. Η τεχνολογία της αέριας λίπανσης δεν είναι νέα αλλά επανήλθε στο προσκήνιο κυρίως λόγω της ανάγκης για μείωση των καυσαερίων εκπομπών σε συνδυασμό με την πάγια αναζήτηση για την εξοικονόμηση των δαπανών καυσίμου. Μέσω αυτής της τεχνολογίας προτείνονται 3 τρόποι εγχύσεως του αέρα στο κύτος του πλοίου με σκοπό να μειωθεί η αντίσταση τριβής. Η μέθοδος μείωσης αντίστασης φυσαλίδων, η μέθοδος μείωσης αντίστασης στρώματος αέρα, και η μέθοδος μείωσης αντίστασης μερικής κοιλότητας ή αλλιώς μέθοδος Air Cavity. Η τελευταία μέθοδος μετά από εργαστηριακές μελέτες και πειράματα αποδείχτηκε η καλύτερη και τα αποτελέσματα

κατά την εφαρμογή της σε πλοία παρέμειναν σταθερά, προσφέροντας μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε ποσοστό 10% - 15%. Η κύρια χρήση της προορίζεται για δεξαμενόπλοια λόγο του μεγέθους τους και του σχήματος που διαθέτουν.

- Στην αγορά ήδη προσφέρεται η τεχνολογία από την Δανέζικη εταιρεία DK – Group η οποία μάλιστα έχει και την πιστοποίηση του DNV. Το κόστος ενός πλοίου με την τεχνολογία Air Cavity είναι αυξημένο 2% - 3% σε σχέση με ένα συμβατικό πλοίο αλλά απόσβεση της επένδυσης μέσω της ωφέλειας που προκύπτει από το μειωμένο κόστος καυσίμων δικαιώνει την επιλογή αυτής της επένδυσης.
- Λόγω του ανταγωνισμού που υπάρχει για την προσφορά αυτής της τεχνολογίας, δεν υπάρχουν διαθέσιμα οικονομικά παραδείγματα και αναλύσεις μιας τέτοιας επένδυσης ώστε να αποδεικνύεται με αριθμούς αν συμφέρει ή όχι και κατά πόσο μια τέτοια επένδυση. Για αυτό το λόγο προτείνονται και αναλύονται κάποιοι τρόποι οικονομικής ανάλυσης που θεωρούνται αξιόπιστοι υπό κάποιες συνθήκες. Αυτές οι μέθοδοι είναι η περίοδος αποπληρωμής, η καθαρή παρούσα αξία και ο βαθμός εσωτερικής απόδοσης, με την μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας να εμφανίζεται η πιο αξιόπιστη και αποδεκτή.
- Η ως τώρα εφαρμογή της τεχνολογίας Air Cavity σε ελάχιστα πλοία έχει δείξει θετικά αποτελέσματα τόσο στην πράξη όσο και στους υπολογισμούς. Σκοπός είναι να υπάρξουν οι σωστές προϋποθέσεις και τα θεσμικά κανονιστικά πλαίσια ώστε να μπορέσουν να αυξηθούν οι επενδύσεις σε αυτή την τεχνολογία και να επιτευχθεί ο στόχος που έχει τεθεί και οποίος είναι η μείωση της εκπομπής ρύπων και η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των μηχανών.
- Με την ανάλυση κόστους – οφέλους για την τεχνολογία Air Cavity σε επίπεδο στόλου χρησιμοποιώντας το κριτήριο της ΚΠΑ προκύπτει ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα αφού η ΚΠΑ > 0 .
- Ένας καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει την ΚΠΑ είναι η διαχρονική μεταβολή της τιμής των καυσίμων και για να είναι συμφέρουσα η επένδυση θα πρέπει η τιμή αυτή να μηδενίζει την ΚΠΑ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

1. UNCTAD : Trade and development report 2011
2. Report assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping
3. MARPOL ANNEX VI, Regulations for the prevention of air pollution from ships, chapter 4, regulations on energy efficiency for ships
4. Resolution MEPC 203(62): Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships
5. TOSCA: Techno-economic Analysis of Low-GHG emission Marine vessels
6. Great Lakes Maritime Research Institute- Air Lubrication drag reduction on Great Lakes ships
7. 20th International Hiswa Symposium on Yacht Design and Yacht Construction – Decreasing frictional resistance by air lubrication.
8. Project Energy – saving air – Lubricated Ships (PELS)
9. Air cavity ships are ready for a wider market
10. Marginal Abatement Costs and Costs Effectiveness of Energy – Efficiency Measures (MEPC 62 INF 7)
11. Finance for Executives 3e – Managing for value creation – Hawawini, Viallet. South-Western Gengage Learning 3e
12. Review of Maritime Transport, UNCTAD 2008
13. Propulsion Trend in Bulk Carriers, MAN Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, August 2007
14. Ship Emissions Study, NTUA, May 2008
15. Fathom – The Guide

ΠΙΝΑΚΕΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΕΙΚΟΝΕΣ