

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



*Διερεύνηση μεθόδων μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
από πλοία με τη βοήθεια ηλεκτρικών διατάξεων.*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχάλης Στυλιανού

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και ο οποίος καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας μελέτης, παρά το βεβαρυμμένο πρόγραμμα του δεν παρέλειπε να επικοινωνεί μαζί μου και να με συμβουλεύει για ότι χρειαζόμουν.

Ακολούθως θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου Στέλιο Στυλιανού και Μαρία Στυλιανού, που με την αγάπη και την στήριξη τους κατάφερα να ανταπεξέρχομαι σε κάθε δυσκολία και να προσπερνώ κάθε εμπόδιο στην ζωή μου.

Περίληψη

Πάνω από το 90% του παγκόσμιου εμπορίου μεταφέρεται στους ωκεανούς του κόσμου από τα πλοία. Όπως όλα τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, τα πλοία παράγουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και άλλους ρύπους που συμβάλλουν σημαντικά στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή.

Η ναυτική βιομηχανία είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Περισσότερο από το 3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να αποδοθούν στα πλοία. Αυτό είναι ένα ποσό συγκρίσιμο με τις μεγάλες χώρες που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα - και η ναυτική βιομηχανία συνεχίζει να αναπτύσσεται ραγδαία.

Μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί, καθώς και ερευνητικά κέντρα προσπαθούν να βρουν λύση στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Αδιαμφισβήτητα η χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας είναι το μέλλον της ναυτιλίας και σίγουρα η χρήση ηλεκτρικών διατάξεων θα παίξει πρωτεύοντα ρόλο στην νέα γενιά πλοίων.

Το θαλάσσιο περιβάλλον είναι αρκετά φιλόξενο γι' αυτό και πολλές από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη στεριά δεν είναι εφαρμόσιμες στο πλοίο. Παρόλα αυτά, παρουσιάζονται πολλές μέθοδοι και γίνεται εκτίμηση του κόστους εγκατάστασης, του κόστους λειτουργίας καθώς και της εξοικονόμησης καυσίμου, όπου αυτό είναι εφικτό.

Εν κατακλείδι, στην παρούσα πτυχιακή θα γίνει αναφορά στις μεθόδους μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία με τη βοήθεια ηλεκτρικών διατάξεων. Πολλές από τις ηλεκτρικές διατάξεις έχουν ήδη εφαρμογή και άλλες είναι ακόμη σε ερευνητικό στάδιο με προοπτική την εγκατάστασή τους στα πλοία, μέσα στα επόμενα χρόνια.

Abstract

More than 90% of global trade is transferred into the oceans by ships. As every means of transport that uses fossil fuels, ships emit carbon dioxide and other types of pollutants that considerably contribute to climate change.

Maritime industry is responsible for an important part of the global issue of climate change. Over 3% of global carbon dioxide is emitted by ships. This percentage can be compared to great countries that emit carbon dioxide – while maritime industry continues to improve rapidly.

Non-profit organizations, as well as research centers, try to find a solution to the issue of air pollution due to ships. Undoubtedly, the use of alternative energy sources is the future of shipping, and the use of electrical systems will play a leading role in the new generation of ships too.

Marine environment is not easy to deal with. As a result, many of the applications that are used on the land cannot be used on a ship. However, many methods are being put forward and installation costs, operating costs and fuel savings are estimated, where possible.

In conclusion, this thesis is going to examine methods of reducing air pollution by ships, through the use of electrical systems. Many of these electrical systems have already been used, while others are still under research projecting to their installation on ships, in the following years.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 1ο:Ναυτικές μηχανές και ναυτιλιακά καύσιμα.....	9
Η πορεία του Θείου από το καύσιμο, στα καυσαέρια	9
Κεφάλαιο 2ο:Ισχύουσες απαιτήσεις και κανονισμοί.....	11
IMO (International Maritime Organization)	11
MARPOL (Maritime Pollution).....	12
Κεφάλαιο 3ο:Ενεργειακή διαχείριση μείωσης κατανάλωσης καυσίμου.....	14
Ομαδοποίηση μέτρων μείωσης.....	14
Υπολογισμός της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των μεμονωμένων μέτρων.....	16
Ανάλυση και εκτίμηση των καμπυλών κόστους οριακής μείωσης του CO ₂	18
Συνολική Αποτελεσματικότητα Κόστους ή Εκτιμήσεις MAC(Marginal Abatement Costs)	19
Προσδιορισμός των περιορισμών και των εμποδίων στην εφαρμογή.....	20
Τεχνολογικά εμπόδια	21
Θεσμικά εμπόδια.....	21
Οικονομικά εμπόδια	24
Κεφάλαιο 4ο:EEDI (Energy Efficiency Design Index).....	26
Ορισμός του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI).....	27
Attained EEDI.....	27
Τα στοιχεία που επηρεάζουν κυρίως το EEDI είναι (εξίσωση 3):	27
Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης-Energy Efficiency Design Index (EEDI _A).....	29
Ανάλυση και επεξήγηση του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης:.....	29
EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator)	32
Για καλύτερη κατανόηση στην εκτίμηση του EEOI, παρέχονται οι ακόλουθοι ορισμοί του EEOI:	34
Κεφάλαιο 5ο:Τεχνολογίες μείωσης των ρύπων.....	35
Τεχνολογία common rail.....	35

Σύστημα ηλεκτροκίνησης ντίζελ (Diesel electric drive)	36
Air Lubricator	39
Ανησυχίες για το σύστημα λίπανσης αέρα	40
Κυματική ενέργεια (wave energy).....	41
Υβριδικοί τρόποι λειτουργίας.....	41
Λειτουργία PTO.....	41
Λειτουργία PTI	41
Λειτουργία PTO/PTH	42
Υβριδική λειτουργία (Συνδυασμός PTO / PTI).....	42
Λειτουργία ηλεκτρικής διασύνδεσης (Electrical cross-connection).....	42
Μείωση της ζήτησης ισχύος στο πλοίο	42
Φωτισμός χαμηλής ενέργειας	42
Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC)	43
Απόδοση καυσίμου στο λέβητα.....	43
Κυψέλες καυσίμου-Υδρογόνο	44
Κεφάλαιο 6ο: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	46
Αιολική ενέργεια.....	49
Συμβατικά μαλακά πανιά.....	49
Σταθερά πανιά.....	50
Towing kite	52
Wind engines	55
Ηλιακή ενέργεια.....	59
Blue Star Delos	61
Κεφάλαιο 7ο:Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας	66
Συστήματα μπαταριών	67
Μπαταρίες λιθίου.....	67
Lithium iron phosphate, LiFePO4 (LFP).....	68
Nickel manganese cobalt oxide, LiNi _{1-x-y} MnxCo _y O ₂ (NCM or NMC).....	68
Nickel cobalt aluminum, NCA	69
Lithium cobalt oxide, LiCoO ₂ (LCO)	69
Lithium manganese oxide spinel, LiMn ₂ O ₄ (LMO).....	69
Μπαταρίες Lead-Acid (μόλυβδου-οξέος).....	69
Flow batteries (μπαταρίες ροής)	70
Supercapacitors (υπερπυκνωτές)	71

Σύγκριση υπερπυκνωτών και μπαταριών λιθίου	72
Σύνοψη.....	73
Ηλεκτρικά πλοία	75
Κεφάλαιο 8ο:Organic Rankine Cycle.....	79
Organic Rankine Cycle από την Enertime.....	81
Πλεονεκτήματα ORC.....	82
Μειονεκτήματα ORC	82
Κεφάλαιο 9ο: Cold ironing	83
Απαιτήσεις εξοπλισμού πλοίων και λιμανιών για την εφαρμογή της μεθόδου.....	84
ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012	85
Παροχή Ενέργειας.....	85
Βιβλιογραφία	87

Εισαγωγή

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στο οικοσύστημα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αερίων ρύπων προέρχεται από τον άνθρωπο κατά τις καθημερινές του δραστηριότητες. Οι τρεις κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης είναι η βιομηχανική δραστηριότητα, μεταφορές και κεντρικές θερμάνσεις.

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που κατά κύριο λόγο απασχολούν τις ανά τον κόσμο υπηρεσίες προστασίας του περιβάλλοντος είναι οι παρακάτω:

- το διοξείδιο του θείου
- το μονοξείδιο του άνθρακα
- οι υδρογονάνθρακες
- τα οξείδια του αζώτου
- το όζον
- ο καπνός
- τα αιωρούμενα σωματίδια

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σκοτώνει περίπου 7 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως κάθε χρόνο. Τα δεδομένα του ΠΟΥ δείχνουν ότι 9 στα 10 άτομα αναπνέουν αέρα που υπερβαίνει τα όρια των επιτρεπτών ρύπων, με τις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος να υποφέρουν από τις υψηλότερες εκθέσεις σε ρύπους. Ο ΠΟΥ υποστηρίζει χώρες για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Από την αιθαλομίχλη που κρέμεται από τις πόλεις μέχρι το κάπνισμα μέσα στο σπίτι, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μείζονα απειλή για την υγεία και το κλίμα. Οι συνδυασμένες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του περιβάλλοντος (εξωτερικού χώρου) και του νοικοκυριού προκαλούν περίπου επτά εκατομμύρια πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο, κυρίως ως αποτέλεσμα της αυξημένης θνησιμότητας από εγκεφαλικό επεισόδιο, καρδιακές παθήσεις, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, καρκίνο του πνεύμονα και οξείες αναπνευστικές λοιμώξεις.

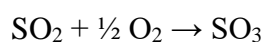
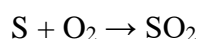
Κεφάλαιο 1ο: Ναυτικές μηχανές και ναυτιλιακά καύσιμα

Οι ναυτικοί κινητήρες Diesel είναι ο επικρατέστερος τύπος μηχανής στη ναυτιλία τόσο για την κίνηση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα σε μέγεθος, ποντοπόρα, φορτηγά πλοία, χρησιμοποιούν κυρίως για την κίνηση τους μηχανές Diesel χαμηλών και μεσαίων στροφών, ενώ κάποια επιβατηγά ή πολεμικά πλοία, στα οποία η αυξημένη ταχύτητα είναι επιθυμητή, είναι εξοπλισμένα με ατμοστροβίλους ή αεριοστροβίλους. Ο αριθμός των πλοίων αυτών είναι ιδιαίτερα μικρός, καθώς αυτού του τύπου οι μηχανές δεν είναι αποδοτικές, συγκρινόμενες με τις μηχανές Diesel. Παρ' όλα αυτά, είναι φανερό πως οι ναυτικοί κινητήρες Diesel δεν πρόκειται να αντικατασταθούν, τουλάχιστον άμεσα, γι' αυτό και καθίσταται αναγκαία η αντιμετώπιση των εκπομπών που παράγουν.

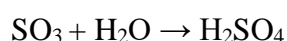
Η αρχή της μηχανής πετρελαίου ήταν το 1892 από τον Rudolf Diesel, ενώ δώδεκα χρόνια αργότερα κατασκευάστηκε και η πρώτη τετράχρονη diesel μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την πρόωση πλοίου. Αργότερα, το 1930 άρχισαν να κατασκευάζονται δίχρονοι μηχανές diesel, μεγαλύτερες και με πολύ καλύτερη απόδοση. Το 1950 μια σειρά καινοτομιών που εφαρμόστηκαν, επέτρεψε τη χρήση heavy fuel oil σε ναυτικούς κινητήρες (M/V "Princess of Vancouver"), καθώς χρησιμοποιήθηκαν λιπαντικά ιδιαίτερα αλκαλικά, ικανά να ουδετεροποιήσουν τα οξέα που παράγονται κατά την καύση καυσίμων με υψηλό αριθμό θείου (residual fuels). Σήμερα ένα μεγάλο ποσοστό του παγκοσμίου στόλου της εμπορικής Ναυτιλίας κινείται με heavy fuel oil.^[1]

Η πορεία του Θείου από το καύσιμο, στα καυσαέρια

Από την καύση του εκάστοτε καυσίμου, όλα τα άτομα του θείου (S) που συμμετέχουν στην καύση οξειδώνονται και σχηματίζουν τα οξείδια του θείου. Τα οξείδια αυτά αποτελούνται από SO₂ σε ποσοστό 95% και από SO₃ σε ποσοστό μόλις 5% και σχηματίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:

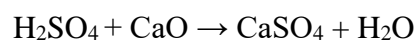
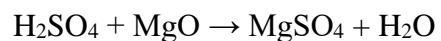


Το τριοξείδιο του θείου SO₃, αντιδρά στη συνέχεια με τους υδρατμούς και σχηματίζει θειικό οξύ το οποίο είναι υπεύθυνο και για προβλήματα διάβρωσης στο κινητήρα και το σύστημα εξάτμισης:



Η ποσότητα του θειικού οξέος που παράγεται εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία στην επιφάνεια του κυλίνδρου και τις σχετικές συγκεντρώσεις νερού. Το θειικό οξύ που σχηματίζεται είναι δυνατόν να περιοριστεί με την παρουσία στο σύστημα των καυσαερίων μονοξειδίου του μαγνησίου (MgO) ή μονοξειδίου του ασβεστίου (CaO)

τα οποία αντιδρούν με τα οξέα σχηματίζοντας τα αδρανή θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου:



Η ποσότητα SO_x που τελικά θα σχηματισθεί είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν. Γίνεται επομένως σαφές ότι όταν απαιτείται μείωση των εκπομπών των οξειδίων του θείου από τα καυσαέρια των κινητήρων αυτών, είναι απαραίτητη είτε η αλλαγή του καυσίμου και χρήση άλλου με μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο, είτε η χρήση τεχνικών που απομακρύνουν τα οξείδια του θείου από το σύστημα της εξάτμισης μετά τον σχηματισμό τους.^[1/2]

Κεφάλαιο 2ο:Ισχύουσες απαιτήσεις και κανονισμοί

IMO (International Maritime Organization)

Οι έντονες κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, ώθησαν πρόσφατα την ναυτιλία στην ενδεδειγμένη εξέταση των ανεπιθύμητων αερίων που εκπέμπουν τα πλοία. Με τη βοήθεια και τη συνεργασία των επιστημόνων, η ναυτιλιακή κοινότητα, αναζητεί τεχνικές λύσεις και θεσπίζει νομοθεσίες για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης της ναυτιλίας, είτε μέσω διεθνών οργανισμών International Maritime Organization(IMO), είτε άλλων φορέων, με κανονιστική αρμοδιότητα, π.χ. Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Europe Council) ή μεμονωμένα κράτη.

Η Συνθήκη αποδίδει την υποχρέωση για τη θέσπιση κανονισμών σχετικά με τη μείωση των ρύπων από τα πλοία, στο διεθνή οργανισμό IMO, όπως αναφέρεται σε αυτή συγκεκριμένα «επιδίωξη περιορισμού ή μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από καύσιμα αεροσκαφών και θαλάσσιων καυσίμων, που εργάζονται μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας και του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, αντίστοιχα». Το βάρος, λοιπόν, της μείωσης και της διαχείρισης των αερίων ρύπων στην ναυτιλία διευθετείται από τον διεθνή οργανισμό IMO.^[3]

Με τη βοήθεια και τη συνεργασία της επιστημονικής κοινότητας, ο International Maritime Organization (IMO), αναζητεί τεχνικές λύσεις και θεσπίζει νομοθεσίες για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης της Ναυτιλίας.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), (το αρχικό όνομα ήταν Inter - Governmental Maritime Consultative Organization, or IMCO, η μετονομασία έγινε το 1982 σε IMO), είναι ένας εξειδικευμένος οργανισμός στα πλαίσια του ΟΗΕ, με αντικείμενο τη θέσπιση μέτρων για τη βελτίωση της ασφάλειας στη διεθνή ναυτιλία και την αποφυγή της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα πλοία. Επιπλέον, είναι αρμόδιος για νομικά θέματα που αφορούν στην απόδοση ευθυνών και στην καταβολή αποζημιώσεων σε περιπτώσεις ναυτιλιακών ατυχημάτων, καθώς επίσης και για τη διευκόλυνση των διεθνών ναυτιλιακών δρώμενων.

Ο IMO συστάθηκε με τη διεθνή σύμβαση, που υιοθετήθηκε υπό την αιγίδα του ΟΗΕ στη Γενεύη το 1948, και αριθμεί σήμερα 173 Κράτη -Μέλη και 3 Συνδεδεμένα Μέλη. 64 Διακυβερνητικοί Οργανισμοί έχουν υπογράψει συμφωνίες συνεργασίας με το ΔΝΟ και 79 Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ) έχουν συμβουλευτικό καθεστώς. Η Γενική Συνέλευση του IMO συνέρχεται κάθε δύο χρόνια στην έδρα του οργανισμού στο Λονδίνο, ενώ το Συμβούλιο αποτελείται από 40 εκλεγμένα κράτη-μέλη, χωρισμένα σε τρεις κατηγορίες. Η κατηγορία Α' αποτελείται από τα 10 κράτη-μέλη με το μεγαλύτερο μέγεθος εμπορικού στόλου, η κατηγορία Β' από 10 κράτη-μέλη με μεγάλο όγκο μεταφερομένων φορτίων από τις διεθνείς εμπορικές ναυτιλιακές μεταφορές, ενώ η κατηγορία Γ' αποτελείται από τα υπόλοιπα 20 μέλη του Συμβουλίου και περιλαμβάνει χώρες που προσπαθούν να διεισδύσουν στο τομέα των διεθνών ναυτιλιακών μεταφορών.

Η χώρα μας, με τη σημαντικότερη παρουσία της στον τομέα της διεθνούς ναυτιλίας, εκλέγεται εδώ και δεκαετίες σταθερά ως μέλος του Συμβουλίου και μάλιστα στην

κατηγορία Α. Δύο από τις σημαντικότερες συμβάσεις, που έχουν υιοθετηθεί από τα κράτη-μέλη στα πλαίσια του ΙΜΟ, είναι η σύμβαση για την ασφάλεια της διεθνούς ναυτιλίας SOLAS (Safety Of Life At Sea) του 1974 (έναρξη εργασιών το 1960), που αναθεωρήθηκε και επεκτάθηκε το 1995, καθώς και η σύμβαση για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος από πλοία (MARPOL, Maritime Pollution), η οποία υιοθετήθηκε το 1973 και αναθεωρήθηκε 1978.^[4/5]

MARPOL (Maritime Pollution)

Το πρώτο μισό του 20ού αιώνα η ρύπανση των θαλασσών από πετρέλαιο άρχισε να θεωρείται σοβαρό πρόβλημα, με αποτέλεσμα πολλές χώρες να επιθυμούν να εισάγουν εθνικούς κανονισμούς ελέγχου των εκροών πετρελαίου, μέσα στα χωρικά τους ύδατα. Έτσι, το 1954 πραγματοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο διάσκεψη με αντικείμενο τη ρύπανση των θαλασσών από το πετρέλαιο, η οποία οδήγησε στην υιοθέτηση της Διεθνούς Συνθήκης για την πρόληψη της μόλυνσης της θάλασσας από το πετρέλαιο (OILPOL). Η Συνθήκη OILPOL τέθηκε σε ισχύ στις 26 Ιουλίου του 1958, χρονιά κατά την οποία όλες οι λειτουργίες της μεταφέρθηκαν στον ΙΜΟ.

Η Συνθήκη OILPOL, η οποία τροποποιήθηκε το 1962, 1969 και 1971, εξέτασε πρωτίστως τη ρύπανση ως αποτέλεσμα των στερεότυπων διαδικασιών βυτιοφόρων και της εκροής πετρελαιοειδών αποβλήτων από τους χώρους των μηχανημάτων.

Το 1969, ο ΙΜΟ προχώρησε σε μερικές ακόμα τροποποιήσεις της Συνθήκης OILPOL, προσθέτοντας κανονισμούς για τον περαιτέρω περιορισμό της εκροής πετρελαίου τόσο από τα πετρελαιοφόρα όσο και από τους χώρους μηχανημάτων των υπολοίπων σκαφών. Παράλληλα, όρισε την πραγματοποίηση μιας Διεθνούς Διάσκεψης (το 1973), για την κατάρτιση νέας διεθνούς συμφωνίας, με στόχο τον αυστηρότερο καθορισμό περιορισμών στα σκάφη, για την αποφυγή της μόλυνσης της θάλασσας, του εδάφους και του αέρα.

Το 1973 πραγματοποιήθηκε η προγραμματισμένη από τον ΙΜΟ Διεθνής Διάσκεψη, οι εργασίες της οποίας είχαν σαν αποτέλεσμα την υπογραφή της Διεθνούς Συνθήκης για την πρόληψη της ρύπανσης από τα σκάφη. Η Συνθήκη του 1973, δεν εστίασε μόνο στη ρύπανση του πετρελαίου, αλλά έθεσε στόχο να εξετάσει και να περιορίσει και άλλες μορφές ρύπανσης από τα σκάφη. Έτσι, σε άλλα παραρτήματα ορίστηκαν οι χημικές ουσίες, οι επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονταν σε συσκευασμένη μορφή, τα λήμματα και τα απορρίμματα. Τον Φεβρουάριο του 1978, μετά από μια διετία (1976-1977) κατά την οποία είχαν σημειωθεί πολλά ατυχήματα βυτιοφόρων, ο ΙΜΟ οργάνωσε μια διάσκεψη με αντικείμενο την ασφάλεια των βυτιοφόρων και την πρόληψη της ρύπανσης από τα σκάφη αυτά. Οι εργασίες της διάσκεψης αυτής οδήγησαν στην υιοθέτηση μέτρων τα οποία επηρέασαν, τόσο το σχεδιασμό όσο και τη λειτουργία των πετρελαιοφόρων. Τα μέτρα αυτά ενσωματώθηκαν, στο πρωτόκολλο του 1974, οπότε διαμορφώθηκε η Συνθήκη SOLAS του 1978 (Safety of Life at Sea - SOLAS του 1978) και η Συνθήκη MARPOL του 1978 (MARPOL του 1978).

Δεδομένου ότι η Συνθήκη του 1973 δεν είχε τεθεί ακόμα σε ισχύ, το πρωτόκολλο MARPOL του 1978 απορρόφησε τη γονική Συνθήκη. Ο συνδυασμός των μέτρων -η

Διεθνής Συνθήκη για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από τα σκάφη του 1973, τροποποιημένη από το πρωτόκολλο του 1978 (MARPOL 73/78)- τέθηκε τελικά σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 (για τα Παραρτήματα I και II).

Το παράρτημα V, που καλύπτει τα απορρίμματα, τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988, το Παράρτημα III, που καλύπτει τις επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται σε συσκευασμένη μορφή, τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 1992, ενώ το Παράρτημα IV, που καλύπτει τα λήμματα, τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003. Το Παράρτημα VI, που καλύπτει την ατμοσφαιρική ρύπανση, υιοθετήθηκε τον Σεπτέμβριο του 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Οι κανονισμοί σε αυτό το παράρτημα, θέτουν τα όρια εκπομπής οξειδίων θείου και οξειδίων αζώτου από τις εκπομπές των πλοίων. Η διαχείριση και η μείωση των οξειδίων του θείου, αναφέρεται στον κανονισμό 14 του παραρτήματος.

Τον Οκτώβριο του 2008, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στην 58η σύνοδό της ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL, σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές αναφέρονται στην σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SO_x) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου να μειώνεται αρχικά σε 3,50% (από 4,50%), από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σταδιακά σε 0,50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020. Από την 1η Ιουλίου 2010 τα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου SECAs (Sulphur Emissions Control Areas) μειώθηκαν στο 1,0%, (από το τρέχον 1,5%, όπως και έγινε) και στο 0,1%, από την 1η Ιανουαρίου 2015. Με τον όρο SECA, χαρακτηρίζονται οι θαλάσσιες περιοχές, στις οποίες τα διερχόμενα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή η χρήση τεχνικών που απομακρύνουν τα οξείδια του θείου από το σύστημα της εξάτμισης μετά τον σχηματισμό τους (scrubbers).

Αξίζει να σταθούμε στη μακροχρόνια στρατηγική του Διεθνούς Οργανισμού Ναυσιπλοΐας, η οποία στόχο έχει το 2050. Το όραμα του IMO είναι να καταφέρει να μειώσει στις μισές τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) του 2050 από τις αντίστοιχες του 2008. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, πιθανόν να χρειαστούν επιπλέον μέτρα και ακόμα πιο σκληροί κανονισμοί.

Κεφάλαιο 3ο:Ενεργειακή διαχείριση μείωσης κατανάλωσης καυσίμου

Πολλές μελέτες έχουν γίνει για την ενεργειακή διαχείριση στο πλοίο με κύριο στόχο τη μείωση της χρήσης του πετρελαίου και φυσικά την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων. Επιπλέον μέσω της ενεργειακής διαχείρισης αυτής προκύπτουν και οικονομικά οφέλη, αφού περιορίζεται η χρήση πετρελαίου, κάτι που είναι αρκετά θετικό για την ναυτιλιακές εταιρίες.

Ομαδοποίηση μέτρων μείωσης

Με τη θέσπιση μιας οριακής καμπύλης κόστους μείωσης, ορισμένα από τα μεμονωμένα μέτρα μείωσης που υπολογίζονται μπορούν να εξαιρούνται το ένα από τον άλλο υπό την έννοια ότι τα μέτρα αυτά δεν μπορούν / δεν θα εφαρμοστούν ταυτόχρονα. Έτσι, οι ατομικές επιλογές μείωσης κατανεμήθηκαν σε ομάδες, ενώ τα μέτρα που αποκλείονται μεταξύ τους κατανέμονται στον ίδιο όμιλο για να παρουσιάσουν τελικά την καμπύλη του οριακού κόστους των μειώσεων σε μια ομάδα δικαιωμάτων προαίρεσης.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιλογές μείωσης των εκπομπών είναι όταν αυτά τα μέτρα αποσκοπούν στη μείωση της απώλειας ενέργειας ενός πλοίου με τον ίδιο τρόπο και όπως είναι φυσικό δεν μπορεί να αναμένεται επιπλέον μείωση από το συνδυασμό αυτών των επιλογών. Ωστόσο, ένας συνδυασμός τέτοιων μέτρων μπορεί να έχει νόημα όταν οι επιλογές εφαρμόζονται σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Για παράδειγμα, μπορεί να επιτευχθεί επιπλέον εξοικονόμηση εκπομπών με την εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης το οποίο υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα ενός εφαρμοσμένου μέτρου, προκειμένου να αναληφθεί περαιτέρω δράση μεταξύ των τακτικών διαστημάτων συντήρησης ή της αναπροσαρμογής του μέτρου.

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο οι επιλογές μείωσης πρέπει να θεωρηθούν ότι αποκλείουν ο ένας τον άλλο είναι ότι ένας συνδυασμός αυτών των μέτρων δεν θα ήταν εφικτός λόγω πρακτικών λόγων. Για παράδειγμα, δύο τεχνικές επιλογές που απαιτούν μεγάλο χώρο στο κατάστρωμα ή δύο επιλογές, του οποίου ο συνδυασμός μπορεί να αποδειχθεί αντιπαραγωγικός ή μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ασφάλεια εξαιτίας απρόβλεπτων αλληλεπιδράσεων, πρέπει να χαρακτηριστεί ως αμοιβαία αποκλειστική. Ο συνδυασμός ενός μηχανισμού ρυμούλκησης(towing kite) και αιολικών μηχανών είναι ένα παράδειγμα δύο επιλογών που για πρακτικούς λόγους κατανέμονται στην ίδια ομάδα επιλογών.

Οι επιλογές αναπροσαρμογής που μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε νέες κατασκευές θεωρούνται ότι ισχύουν για τις νέες κατασκευές και κατά συνέπεια, όταν μπορούν να συνδυαστούν, κατανέμονται σε διαφορετικές ομάδες. Όταν μια επιλογή εκ των υστέρων εξοπλισμού και μια επιλογή μη αναβάθμισης αποκλείονται μεταξύ τους και, κατά συνέπεια, κατανέμονται στον ίδιο όμιλο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι

μόνο μια υποομάδα επιλογών, ή επιλογές εκ των υστέρων προσαρμογής, αφορούν σχετικά πλοία που ήδη υπάρχουν στην αγορά.

Η έκθεση προτείνει 29 ομάδες μέτρων, εκ των οποίων 21 ομάδες περιλαμβάνουν τεχνολογικά μέτρα και 8 λειτουργικές ομάδες. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα μέτρα μπορούν να εφαρμοστούν σε νέα πλοία ή να μετασκευαστούν, εκτός εάν αναφέρεται διαφορετικά.

Πίνακας 1: Ομάδες μέτρων μείωσης των ρίπων

Technological measures	
1	Lightweight construction <i>[New build only]</i>
2	Optimization hull dimensions a. Optimum hull dimensions <i>[New build only]</i> b. Aft waterline extension <i>[Retrofit only]</i>
3	Efficiency of scale (building larger ships) <i>[New build only]</i>
4	Hull coating a. Hull coating I b. Hull coating II (increased reduction of hull resistance than coating I)
5	Optimization hull openings a. Low-profile hull openings <i>[New build only]</i> b. Optimization water flow of hull openings (grids, scallop) <i>[Retrofit only]</i> c. Covering hull openings <i>[Retrofit only]</i>
6	Design speed reduction a. Smaller engine <i>[New build only]</i> b. Speed reduction and engine de-rating <i>[Retrofit only]</i>
7	Optimization propeller-hull interface a. Optimal propeller-hull interaction <i>[New build only]</i> b. Skeg shape/trailing edge <i>[New build only]</i> c. Interceptor trim plates <i>[Retrofit only]</i>
8	Air lubrication <i>[New build only]</i>
9	Propulsion upgrade I a. Propeller-rudder upgrade (change of rudder profile and propeller) <i>[Retrofit only]</i> b. Propeller upgrade (nozzle, tip winglets) <i>[Retrofit only]</i> c. Propeller boss cap fins <i>[Retrofit only]</i> d. Optimized propeller blade section <i>[Retrofit only]</i>
10	Propulsion upgrade II a. Counter-rotating propellers <i>[New build only]</i> b. Wing thrusters <i>[New build only]</i> c. Pulling thrusters <i>[New build only]</i>
11	Main engine adjustments a. Common rail <i>[Retrofit only]</i> b. Diesel electric drive <i>[New build only]</i> c. Diesel-electric drive and diesel-mechanical drive <i>[New build only]</i> d. Main engine tuning <i>[Retrofit only]</i>
12	Waste heat recovery <i>[Retrofit only]</i>
13	Wind Power a. Towing kite <i>[Retrofit only]</i>

	b. Wind engines <i>[Retrofit only]</i>
14	Hybrid auxiliary power generation <i>[New build only]</i>
15	Solar power <i>[Retrofit only]</i>
16	Reducing onboard power demand (hotel services) a. Low energy lighting <i>[Retrofit only]</i> b. Energy efficient HVAC <i>[Retrofit only]</i> c. Energy efficiency appliances <i>[Retrofit only]</i>
17	Speed control of pumps and fans <i>[Retrofit only]</i>
18	Scrubber <i>[Retrofit only]</i>
19	Fuel-efficient boilers <i>[Retrofit only]</i>
20	Low loss power distribution <i>[New build only]</i>
21	Alternative Fuels a. LNG <i>[Retrofit only]</i> b. Bio fuel <i>[Retrofit only]</i>
Operational measures	
22	Operational speed reduction a. Speed reduction b. Voyage optimization, including reduced port time c. Bulbous bow <i>[Retrofit only]</i>
23	Optimization of ballast and trim
24	Efficiency of scale a. Using larger existing ships b. Increasing cargo load factor
25	Weather routing
26	Autopilot upgrade / adjustment
27	Increasing energy awareness (hotel services)
28	Propeller maintenance a. Propeller polishing (at regular intervals) b. Propeller polishing when required (including monitoring)
29	Hull Cleaning

Υπολογισμός της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των μεμονωμένων μέτρων

Το δεύτερο βήμα ήταν ο υπολογισμός της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των μεμονωμένων μέτρων. Η σχέση κόστους / αποτελεσματικότητα είναι εξ ορισμού το πηλίκο του κόστους και του αποτελέσματος, που αναφέρεται επίσης ως οριακό κόστος μείωσης (MAC). Η τεχνολογία μείωσης των εκπομπών CO₂ απαιτεί συχνά επένδυση σε νέα τεχνολογία, η οποία ονομάζεται κόστος εγκατάστασης ή απόκτησης (K). Γενικά, η τεχνολογία απαιτεί συντήρηση και άλλα λειτουργικά κόστη, τα οποία καλούνται γενικά ως λειτουργικά έξοδα (S). Δεδομένου ότι η εγκατάσταση της τεχνολογίας μπορεί να απαιτήσει χρόνο και / ή χώρο φορτίου, μπορεί να υπάρξει κόστος ευκαιρίας (O) (ο χρόνος και ο χώρος που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εσόδων) λόγω απώλειας υπηρεσίας. Επιπλέον, υπάρχει εξοικονόμηση καυσίμου (E) που είναι αρνητικό κόστος ή όφελος. Όλα αυτά τα κόστη ακυρώθηκαν και η σχέση κόστους / αποτελεσματικότητας είναι το συνολικό ετήσιο

κόστος που διαιρείται με το CO₂ που μειώνεται ετησίως. Το προεξοφλητικό επιτόκιο που χρησιμοποιείται για να ακυρώσει το κεφαλαιουχικό κόστος αντανakλά το κόστος του κεφαλαίου της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η χρήση του ετήσιου κόστους αποδίδει ισοδύναμα αποτελέσματα με τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας των μελλοντικών εξόδων και οφελών.

Με βάση την παραπάνω περιγραφή, η συνάρτηση κόστους της εγκατάστασης μιας νέας τεχνολογίας που ονομάζεται j σε ένα πλοίο διαμορφώνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

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

Εξίσωση 1: Οριακό κόστος μείωσης (MAC)

Πίνακας 2: Επεξήγηση συμβόλων

K _j	Είναι το κόστος κεφαλαίου της τεχνολογίας j, προ εξοφλημένο από το επιτόκιο και καταγεγραμμένο κατά τη διάρκεια των ετών υπηρεσίας της τεχνολογίας ή της εναπομείνας διάρκειας ζωής του πλοίου, όποιο από τα δύο είναι μικρότερο. (\$ / έτος)
S _j	Είναι το κόστος υπηρεσιών ή λειτουργίας που σχετίζονται με τη χρήση της τεχνολογίας. (\$ / έτος)
E _j	Είναι η εξοικονόμηση δαπανών καυσίμων από την τεχνολογία αυτή, η οποία είναι προϊόν της τιμής του καυσίμου (P) και της εξοικονόμησης καυσίμου (a _j x F). (\$ / έτος)
Σ _{o_j}	Είναι το κόστος ευκαιρίας που σχετίζεται με το χαμένο χρόνο υπηρεσίας ή / και χώρο λόγω της εγκατάστασης της τεχνολογίας. (\$ / έτος)
a _j	Είναι ο ρυθμός μείωσης των καυσίμων της τεχνολογίας j
CF	Είναι ο συντελεστής εκπομπών άνθρακα και ορίζεται ως η μάζα του εκπεμπόμενου CO ₂ όταν καίγεται μια μονάδα μάζας καυσίμου. Στην έκθεση αυτή θεωρείται ότι 1 τόνος καυσίμου παράγει 3,13 τόνους CO ₂ . (τόνους)
F	Είναι η προεγκατάσταση ή η αρχική κατανάλωση καυσίμου για ένα πλοίο (τόνοι / πλοίο / έτος)
a _j	Είναι ο ρυθμός μείωσης των καυσίμων της τεχνολογίας j
P	Είναι η τιμή καυσίμου (\$ / τόνο)

Ανάλυση και εκτίμηση των καμπυλών κόστους οριακής μείωσης του CO₂

Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας ή MAC (Marginal Abatement Costs) των μέτρων εξοικονόμησης καυσίμου καθορίστηκε από το κόστος των μέτρων εξοικονόμησης καυσίμου, την δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου, του κόστους καυσίμου, του προεξοφλητικού επιτοκίου, του τύπου πλοίου, του μεγέθους και της ηλικίας του πλοίου.

Περιγράφεται η διαδικασία εκτίμησης της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της καμπύλης MAC (MACC) ως συνάρτηση του τύπου του πλοίου.

1. Για κάθε μέτρο, υπολογίστηκε αρχικά η σχέση κόστους / αποτελεσματικότητας κατά το έτος εισαγωγής, χρησιμοποιώντας τον τύπο που περιεγράφηκε προηγουμένως.

2. Οι εκτιμήσεις κόστους και η μείωση των εκπομπών, ανά είδος πλοίου, μέγεθος και ηλικία παρέχονται για τα έτη 2020 και 2030. Η διατήρηση των καυσίμων για κάθε πλοίο θεωρήθηκε αμετάβλητη το 2020 και το 2030, άλλαξε η τιμή καυσίμων και ο αριθμός των πλοίων ανά κατηγορία. Μετά τον υπολογισμό της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας κάθε μέτρου για κάθε κατηγορία πλοίων, τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε μια ομάδα συγκρίθηκαν και ταξινομήθηκαν. Για κάθε κατηγορία πλοίου επιλέχθηκε το μέτρο με την καλύτερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας για συμπερίληψη στη καμπύλες MACC (Marginal Abatement Costs Curves).

3. Σε ένα δεύτερο στάδιο, τα μέτρα κατατάσσονταν βάσει της σχέσης κόστους / αποτελεσματικότητας. Η μέθοδος με την καλύτερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας υποτίθεται ότι εφαρμόζεται πρώτα, ακολουθούμενη από τη δεύτερη καλύτερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και ούτω καθεξής.

Τα πλοία χωρίστηκαν σε 318 κατηγορίες ανάλογα με το τύπο πλοίου, μέγεθος και ηλικία. Υπήρξε μια υπόθεση ότι όλα τα πλοία, ανεξάρτητα από τα πόσα χρόνια της αναμενόμενης υπηρεσίας έχουν ακόμα μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή την επιλογή. Με άλλα λόγια, το 2020, τα πολύ παλιά πλοία θα αποσυρθούν και θα αντικατασταθούν από παλιά πλοία με κάποια υπολειπόμενη διάρκεια ζωής. Το 2020, τα μερίδια κάθε ηλικιακής ομάδας επίσης αλλάζουν. Για τις τρεις πρώτες ηλικιακές ομάδες ο αριθμός των πλοίων παρέμεινε αμετάβλητος. Ωστόσο, για τις τελευταίες τρεις ομάδες, περισσότερα νέα πλοία εισέρχονται στην αγορά από ό, τι τα πλοία που θα αποσυρθούν μέχρι το 2020. Ο ομαδικός συντελεστής βασίστηκε στις μελλοντικές προβλέψεις του IMO 2009 GHG.

Με βάση τις βασικές πληροφορίες, η εξοικονόμηση καυσίμων ανά μεμονωμένο πλοίο ήταν ο συνδυασμός δυνατοτήτων εξοικονόμησης καυσίμων με την ετήσια κατανάλωση καυσίμου. Η πηγή ετήσιων καταναλώσεων καυσίμων προέρχεται από την έκθεση του IMO 2009 για τα αέρια θερμοκηπίου. Η εκτιμώμενη εξοικονόμηση CO₂ ανά πλοίο ανά έτος μετατράπηκε σε εξοικονόμηση καυσίμων. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, ένας τόνος καυσίμου παράγει 3,13 τόνους CO₂. Η συνολική

εξοικονόμηση καυσίμων και εκπομπών CO₂ αυτού του τύπου δεξαμενόπλοιου υπολογίστηκε με βάση τον συνολικό αριθμό των πλοίων σε κάθε ηλικιακή κατηγορία. Η συνολική εξοικονόμηση καυσίμων ήταν η τιμή του καυσίμου κατά τους τόνους εξοικονόμησης καυσίμου.

Για κάθε μέτρο υπολογίστηκαν στη συνέχεια τέσσερις αριθμοί κόστους-αποτελεσματικότητας. Αυτές ήταν εκτιμήσεις για ένα υψηλό δυναμικό μείωσης και ένα χαμηλό δυναμικό μείωσης. Για κάθε δυναμικό μείωσης, υπήρξε μία εκτίμηση υψηλού κόστους και μία εκτίμηση χαμηλού κόστους. Το υψηλό δυναμικό μείωσης συνδέθηκε με τα υψηλά δεδομένα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και το χαμηλό δυναμικό μείωσης είχε σχέση με τα δεδομένα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Τα δεδομένα υψηλού κόστους συνδέονταν με το υψηλό κόστος της εφαρμογής μέτρων και τα χαμηλού κόστους στοιχεία συνδέονταν με το χαμηλό κόστος εφαρμογής των μέτρων. Η υψηλή εκτίμηση του δυναμικού χαμηλής μείωσης και η χαμηλή εκτίμηση του δυναμικού υψηλής μείωσης επιλέχθηκαν στη συνέχεια ως το κατώτερο όριο και υψηλότερο όριο της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας για τα μέτρα αυτής της μελέτης. Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας δύο μέτρων εντός της ίδιας ομάδας συγκρίνεται στη συνέχεια επειδή είναι αμοιβαία αποκλειστική. Τα πλοία που χρησιμοποιούν το ένα μέτρο δεν θα χρησιμοποιούν και άλλη ομάδα μέτρων την ίδια στιγμή. Υπήρχε η υπόθεση ότι οι πλοιοκτήτες θα επέλεγαν το πιο οικονομικό μέτρο.

Στη συνέχεια, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας του μέτρου συγκρίνεται με μια άλλη σε οποιαδήποτε από τις άλλες ομάδες μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Και πάλι η επιλογή που έχει τη χαμηλότερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας επιλέγεται από τον τύπο πλοίου, το μέγεθος και την ηλικία.

Συνολική Αποτελεσματικότητα Κόστους ή Εκτιμήσεις MAC(Marginal Abatement Costs)

Το μέγιστο δυναμικό μείωσης των εκτιθέμενων μέτρων υπολογίστηκε μεταξύ 450 και 700 Mt CO₂ το 2020 και μεταξύ 750 και 1020 Mt CO₂ το 2030. Πρόκειται για μείωση κατά 35% έως 45% , το 2020 και το 2030, υποθέτοντας ότι ο ρυθμός ανάπτυξης του τομέα είναι ο ίδιος με αυτό που προβλέφθηκε από την έκθεση του IMO για το 2009. Το μέγιστο δυναμικό μείωσης είναι μεγαλύτερο από την εκτίμηση που έγινε σε προηγούμενες μελέτες, καθώς τα πλοία χρησιμοποιούν τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και λειτουργικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σχεδόν ανεξάρτητα από την ηλικία τους.

Ένας λόγος που εξηγεί αυτό το γεγονός είναι ότι σε προηγούμενες μελέτες υπήρχαν αμοιβαία αποκλειστικά μέτρα μαζικής μείωσης αλλά συνάγεται το συμπέρασμα ότι αυτή η προσέγγιση είναι υπερβολικά συντηρητική, και συνεπώς συνίσταται ο συνδυασμός περισσότερων μέτρων να είναι εφικτός.

Οι αναλύσεις ευαισθησίας εκτελούνται με δύο διαφορετικές τιμές καυσίμων και προεξοφλητικά επιτόκια, δεδομένου ότι ο ρόλος τους είναι πολύ σημαντικός για τον

προσδιορισμό του οριακού κόστους ενός συγκεκριμένου μέτρου. Η χαμηλή εκτίμηση του προεξοφλητικού επιτοκίου είναι 4,0%, ενώ η υψηλή εκτίμηση είναι 18%, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο ετήσιο μη επαναλαμβανόμενο κόστος των μέτρων και κόστος λόγω απώλειας υπηρεσιών, κάτι που με τη σειρά του οδηγεί σε υψηλότερα οριακά κόστη μείωσης. Επειδή το ετήσιο επαναλαμβανόμενο κόστος δεν επηρεάζεται από το προεξοφλητικό επιτόκιο, η αποτελεσματικότητα κόστους των διαφόρων μέτρων επηρεάστηκε σε διαφορετικούς βαθμούς. Η αποτελεσματικότητα κόστους ποικίλλει επίσης ως συνάρτηση του μεγέθους του πλοίου, ενώ τα μικρότερα πλοία έχουν γενικά υψηλότερη MAC.

Η έκθεση του IMO παρουσιάζει γραφήματα με βάση τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και μείωσης των εκπομπών CO₂. Υπάρχουν επίσης χαμηλότερες, υψηλότερες και κεντρικές εκτιμήσεις χωρίς μείωση της ταχύτητας.

Προσδιορισμός των περιορισμών και των εμποδίων στην εφαρμογή

Τα εμπόδια για την εφαρμογή τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας από τα πλοία μπορούν να χωριστούν σε τεχνολογικούς περιορισμούς και σε μη τεχνολογικούς περιορισμούς, οι οποίοι είναι θεσμικοί και οικονομικοί. Οι μη τεχνολογικοί περιορισμοί που εμποδίζουν την υιοθέτηση τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσαν ενδεχομένως να επιλυθούν μέσω οικονομικής ή / και ρυθμιστικής πολιτικής, ενώ οι τεχνολογικοί περιορισμοί μπορούν να επιλυθούν μόνο μέσω τεχνολογικών καινοτομιών.

Λαμβάνοντας υπόψη τους φραγμούς σε αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν προταθεί σχεδόν όλες οι προτεινόμενες προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης επί του πλοίου και ότι κάποιος από αυτούς προσπάθησαν πίσω στα τέλη της δεκαετίας του '70 και στις αρχές της δεκαετίας του '80, απαντώντας στις αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου εκείνης της εποχής και για πολλούς λόγους, οι προτεινόμενες προσεγγίσεις δεν αξιοποιήθηκαν πλήρως. Πολλά από τα ίδια εμπόδια στην εφαρμογή υπάρχουν μέχρι σήμερα. Θέματα όπως οι τεχνικές ανησυχίες σχετικά με την αξιοπιστία της προσέγγισης στο θαλάσσιο περιβάλλον, τις δηλωμένες αξιώσεις παροχών, τα ζητήματα της αγοράς και τα οικονομικά ήταν μερικά από τα κοινά εμπόδια.

Τα εμπόδια μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες ως εξής:

- Τεχνολογικές ανησυχίες σχετικά με την ικανότητα προσέγγισης βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης να λειτουργήσει στο θαλάσσιο περιβάλλον και να παρέχει τα εκτιμώμενα οφέλη ή εάν η προσέγγιση απαιτεί την εγκατάσταση εξοπλισμού που θα παρεμπόδιζε την κανονική λειτουργία του πλοίου.
- Θεσμικές, κανονιστικές και εμπορικές ρυθμίσεις που παρεμποδίζουν την εισαγωγή και την εκτεταμένη χρήση της προσέγγισης βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

- Οικονομικά εμπόδια, δεδομένου ότι ορισμένες προσεγγίσεις είναι οικονομικά βιώσιμες (παρέχοντας θετική καθαρή παρούσα αξία) όταν οι τιμές του πετρελαίου φθάσουν σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο και αναμένεται να παραμείνουν πάνω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο αρκετά μακρύ ώστε να παρέχουν επαρκή οικονομική απόδοση στις επενδύσεις για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Τεχνολογικά εμπόδια

Τα τεχνολογικά εμπόδια μπορεί να είναι προφανή και άλλα όχι. Για παράδειγμα, η εκτεταμένη αναφορά μιας αποτυχίας μιας πρώιμης εγκατάστασης (δοκιμή ή όχι) μπορεί να καθυστερήσει τη μελλοντική εφαρμογή. Για παράδειγμα, ένας ρότορας Flettner, απαιτεί πολύ χώρο στο κατάστρωμα για εγκατάσταση. Ωστόσο, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και ξηρού φορτίου χύδην απαιτούν μεγάλα, αναιρούμενα καλύμματα καταπακτών για πρόσβαση στο φορτίο. Συνεπώς, ο χώρος του καταστρώματος δεν είναι διαθέσιμος για την εγκατάσταση ενός ρότορα. Η έκθεση αυτή αξιολόγησε τη δυνατότητα εφαρμογής όλων των μέτρων στα πλοία, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο πλοίου, το μέγεθος και την ηλικία

Θεσμικά εμπόδια

Ένας από τους μεγαλύτερους θεσμικούς φραγμούς στην υλοποίηση έργων εξοικονόμησης καυσίμων που απαιτούν κεφαλαιακές επενδύσεις είναι η κατανομημένη ευθύνη ή διαφορετικά κίνητρα μεταξύ του εφοπλιστή και του ναυλωτή για το κόστος των καυσίμων.

Το διαφορετικό κίνητρο αναφέρεται σε μια κατάσταση κατά την οποία οι άνθρωποι που επωφελούνται από την ενεργειακή απόδοση δεν είναι οι άνθρωποι που πληρώνουν γι' αυτό (Jaff et al, 1994). Στον ναυτιλιακό κλάδο συμβαίνει όταν συμβαίνει μια αποξένωση μεταξύ του πλοιοκτήτη, ο οποίος ελέγχει τις δαπάνες κεφαλαίου και την εξοικονόμηση ενέργειας, και τον φορέα εκμετάλλευσης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το κόστος των καυσίμων (CE Delft, 2009).

Αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο όταν τα πλοία έχουν ναυλωθεί με σύμβαση για περιορισμένο χρονικό διάστημα (χρονοναύλωση) ή όταν ναυλωθεί μόνο το σκάφος, αλλά όχι το πλήρωμα (charter) (Wijnolst et al, 1997). Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο ναυλωτής πληρώνει για καύσιμα, αλλά ο πλοιοκτήτης είναι υπεύθυνος για οποιαδήποτε επένδυση σε εξοπλισμό ενεργειακής απόδοσης και συντήρηση.

Τα πλοία που είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά θα μπορούσαν θεωρητικά να έχουν υψηλότερα ποσοστά ναύλωσης στην αγορά (AEA, 2008), στην πράξη αυτό είναι δύσκολο λόγω της ποικιλομορφίας της αγοράς ναύλωσης της δυσκολίας που εγγυάται βελτιωμένη κατανάλωση καυσίμου σε ένα σκάφος του οποίου η ταχύτητα επηρεάζεται έντονα από τις ιδιοτροπίες των θαλάσσιων συνθηκών. Ωστόσο, οι περισσότεροι από τους μεγάλους ναυλωτές βασίζονται τις αποφάσεις μίσθωσης σε

θεωρητικά οικονομικά ταξίδια και συνεπώς λαμβάνουν υπόψη την εγγύηση της κατανάλωσης καυσίμου / ταχύτητας στην απόφαση μίσθωσης.

Ορισμένες οικονομικά βιώσιμες προσπάθειες εξοικονόμησης καυσίμων είναι ειδικές για τη διαδρομή και επηρεάζονται από άλλους παράγοντες. Η πραγματική εξοικονόμηση καυσίμων είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί, επομένως ένας ναυλωτής είναι απίθανο να πληρώσει ένα ασφάλιστρο χωρίς μια εγγύηση εξοικονόμησης καυσίμων.

Οι εφοπλιστές θα χρησιμοποιούν κατά κανόνα τα πλοία τους σε ένα μείγμα spot και term charter. Ένας πλοιοκτήτης φέρει την πλήρη ευθύνη για το κόστος των καυσίμων σε spot ναύλωση. Το σημερινό σύστημα ναύλωσης έχει συνήθως τυπική ταχύτητα και κατανάλωση καυσίμου, επομένως, σε έναν όρο ναύλωσης, ο εφοπλιστής δεν μπορεί να λάβει πριμοδότηση για ένα πλοίο που είναι πιο αποδοτικό από άποψη καυσίμων σε σχέση με τα βιομηχανικά πρότυπα. Αυτό μειώνει το κίνητρο για έναν εφοπλιστή να πραγματοποιήσει μια επένδυση κεφαλαίου σε μια προσέγγιση εξοικονόμησης καυσίμων, καθώς τα οφέλη (εξοικονόμηση κόστους καυσίμου) δεν θα προκύψουν αναγκαστικά από τον εφοπλιστή. Πρόσφατα, όμως, η τάση στη βιομηχανία είναι να αναγνωριστεί η αξία των ενεργειακά αποδοτικών πλοίων.

Ένα άλλο ζήτημα είναι ότι οι εφοπλιστές συνήθως δεν αναμένουν να κατέχουν ένα πλοίο για όλη του τη ζωή. Αυτό μπορεί να περιορίσει τον χρόνο κατά τον οποίο ένας πλοιοκτήτης είναι πρόθυμος να συμπεριλάβει οφέλη εξοικονόμησης κόστους καυσίμων στην ανάλυση της επένδυσης σε μια προσέγγιση εξοικονόμησης καυσίμου. Δεν είναι εγγυημένο ότι οι εφοπλιστές μπορούν να λάβουν πριμοδότηση για πλοίο που πωλείται μεταχειρισμένο και έχει καλύτερη από την αναμενόμενη απόδοση καυσίμου (ή ότι ο αγοραστής θα δει το όφελος της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου με τον ίδιο τρόπο όπως ο πωλητής). Αυτό μπορεί να έχει τον πρόσθετο αντίκτυπο που προκαλεί στον εφοπλιστή να εκτιμήσει τις επενδύσεις σε εξοπλισμό εξοικονόμησης ενέργειας χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση της περιόδου αποπληρωμής αντί της ακριβέστερης προσέγγισης της καθαρής παρούσας αξίας (Brealey et al, 2005).

Στις γραμμές τακτικών γραμμών, τα συμβόλαια ελεύθερης κυκλοφορίας, οι γραμμές κρουαζιέρας και τα δρομολόγια RoPax, τα κόμιστρα περιλαμβάνουν μερικές φορές επιβαρύνσεις καυσίμων (CE Delft, 2009). Αυτά περνούν τουλάχιστον ένα μέρος του κόστους των καυσίμων στους καταναλωτές, μια άλλη μορφή διαφορετικού κινήτρου.

Ένα άλλο εμπόδιο που σχετίζεται με τη ναύλωση για εξοικονόμηση καυσίμων συμβαίνει όταν ένα σκάφος σε μια spot charter μετακινείται σε ένα λιμάνι εκφόρτωσης με μια γνωστή συμφόρηση ή άλλο πρόβλημα που θα καθυστερήσει την πρόσδεση του σκάφους όταν φτάσει στο λιμάνι. Σύμφωνα με το ισχύον σύστημα, ο εφοπλιστής είναι υπεύθυνος εάν το σκάφος φτάσει εκτός του παραθύρου εκφόρτωσης που ορίστηκε αρχικά (αν και ο ναυλωτής έχει ελάχιστη πραγματική προσφυγή κατά του εφοπλιστή). Εάν το σκάφος ταξιδέψει με κανονική ταχύτητα στο λιμάνι εκφόρτωσης και φθάνει στο καθορισμένο παράθυρο, αλλά το τερματικό δεν είναι έτοιμο να εκφορτώσει το φορτίο, ο χρόνος μετράει ως χρόνος και μετά την υπέρβαση της καθορισμένης επιτρεπόμενης διάρκειας, ο ναυλωτής οφείλει να καταβάλει στον

πλοιοκτῆτη ἓνα ποσοστὸ που καθορίζεται στο συμβόλαιο. Ἡ ευκαιρία να εξοικονομηθεῖ καύσιμο με πλεῦση σε χαμηλὴ ταχύτητα (slow steaming) και να φθάσει ὅταν ἡ θέση εἶναι ἑτοιμὴ για το πλοῖο χάνεται στο τρέχον σύστημα. Για την αντιμετώπιση αὐτοῦ του προβλήματος, ἡ INTERTANKO, ἡ ἔνωση εφοπλιστῶν ανεξάρτητων (δηλαδή μη πετρελαϊκῶν εταιρειῶν) δεξαμενόπλοιων και OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) ανέπτυξαν μια προσέγγιση που ονομάζεται εικονικὴ ἀφίξη που αποσκοπεῖ στην ἄρση του φραγμοῦ για επιβράδυνση των επιχειρήσεων ὑπὸ καθεστῶς spot charter. Οι πρώτες δοκιμές είχαν ὡς ἀποτέλεσμα σημαντικὲς εξοικονομήσεις, σε μία περίπτωση διαπιστώθηκε μείωση κατὰ 27% του κόστους των καυσίμων. Ἡ εικονικὴ ἀφίξη απαιτεῖ τὴ συμπερίληψη τῆς συγκεκριμένης συμφωνίας στο συμβαλλόμενο μέρος ναύλωσης και περιλαμβάνει ἀποζημίωση για τον πρόσθετο χρόνο που σχετίζεται με το slow steaming για τον εφοπλιστὴ και τα κοινὰ οφέλη μεταξύ του εφοπλιστῆ και του ναυλωτῆ για μειωμένη κατανάλωση καυσίμων. Παραμένει να δούμε αν αὐτὴ ἡ προσέγγιση θα ἐπιτύχει, ἀλλὰ δείχνει τὴν ἀνησυχία τῆς βιομηχανίας για τους θεσμικοὺς φραγμοὺς σε μία ἀπὸ τις πιο αποτελεσματικὲς προσεγγίσεις εξοικονόμησης καυσίμων (Intertanko, 2009).

Ἡ εφαρμογὴ τῆς λειτουργίας με βραδύτερη ταχύτητα ἐνὸς πλοίου εἶναι μια ἀνταλλαγὴ μεταξύ τῆς εξοικονόμησης κόστους καυσίμου και του κόστους των πρόσθετων πλοίων που ἀντικαθιστοῦν τὴ χαμένη χωρητικότητα του σκάφους με βραδύτερες ταχύτητες ναυσιπλοῖας.

Πρέπει να ληφθεῖ ὑπόψη ὅτι μια ἀναδυόμενη ἔλλειψη ναυτικῶν ἀποτελεῖ ἓνα ἄλλο δυνητικὸ ἐμπόδιο στη λειτουργία μειωμένης ταχύτητας. Αὐτὸ μπορεῖ να ὀδηγήσει τα πλοία σε πλήρη ταχύτητα για να μεγιστοποιήσουν τὴν ἀπόδοση και να ἐλαχιστοποιήσουν τον ἀριθμὸ του απαιτούμενου πληρώματος.

Υπάρχουν ἐπίσης ρυθμιστικὰ ἐμπόδια στην υιοθέτηση ὀρισμένων προσεγγίσεων εξοικονόμησης καυσίμων. Για παράδειγμα, σε λιμένες τῆς Καλιφόρνιας δὲν ἐπιτρέπεται να καθαρίζεται τὸ κύτος σε κρατικά ὕδατα ἐντὸς τριῶν μιλίων ἀπὸ τὴν ἀκτὴ, ἐάν το σκάφος διαθέτει ὀρισμένους τύπους επικαλύψεων κύτους που ἔχουν προσδιοριστεῖ ἀπὸ τὸ κράτος ὅτι εἶναι ἐπιβλαβὲς για το περιβάλλον. Αὐτὸ ὠθεῖ τὴν υπεράκτια λειτουργία που αὐξάνει σημαντικὰ τὸ κόστος.

Ὡστόσο, σε ἄλλες περιπτώσεις, οι κυβερνήσεις ἔχουν εἰσαγάγει κίνητρα για τὴ βελτίωση τῆς ενεργειακῆς ἀπόδοσης των πλοίων. Για παράδειγμα, μία εταιρεία συμμετείχε στην ἀποκατάσταση 40 ἐγχώριων πλοίων με μετατροπὴ τετράχρονους και δίχρονους κινητήρες με μηχανικοὺς ἐγχυτήρες, σε ηλεκτρονικὰ ἐλεγχόμενους κινητήρες με τὴν US EPA και τὴ Λιμενικὴ Ἀρχὴ τῆς Νέας Ὑόρκης και του Νιου Τζέρσεϋ να χρηματοδοτοῦν τα περισσότερα ἀπὸ αὐτὰ τα προγράμματα για το 100% περίπου του κόστους των νέων κινητήρων, ἐνῶ οι πλοιοκτῆτες κάλυπταν τὸ κόστος που συνδέεται με τὴν εγκατάσταση, με ἀποτέλεσμα τὸ 65% ἕως 75% του συνολικοῦ σχεδίου να χρηματοδοτεῖται. Οι ἐκτιμήσεις εἶναι ὅτι οι ἀνατροφοδοτήσεις αὐτὲς ἔχουν περιόδους ἀποπληρωμῆς ἀπὸ 15 ἕως 20 ἔτη στις περισσότερες περιπτώσεις, με τις ἀποδόσεις να προέρχονται κυρίως ἀπὸ εξοικονόμηση καυσίμων και δευτερευόντως ἀπὸ σχετικὰ μικρὲς βελτιώσεις κόστους συντήρησης, ἐνῶ

πραγματοποιήθηκαν αντισταθμίσεις σχετιζόμενες με τις εκπομπές στο Λιμάνι της Νέας Υόρκης / NJ.

Οικονομικά εμπόδια

Για να επενδύσουν σε προσεγγιστικές μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας, οι εφοπλιστές αναμένουν να λάβουν ένα οικονομικό όφελος που θα τους αποφέρει ένα ρυθμό αναπροσαρμογής κινδύνου για την επένδυση. Πολλές προσεγγίσεις εξοικονόμησης ενέργειας απορρίφθηκαν λόγω των χαμηλών αναμενόμενων αποδόσεων της επένδυσης. Το όφελος που αντισταθμίζει το κόστος της επένδυσης είναι το μελλοντικό μειωμένο κόστος καυσίμων. Το μελλοντικό μειωμένο κόστος καυσίμων συνεπάγεται εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμου (τόνους ή βαρέλια ημερησίως). Το κόστος των καυσίμων κυμαίνεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια, οι τιμές του αργού πετρελαίου κυμαίνονταν από σχεδόν 150 δολάρια ανά βαρέλι έως και 40 δολάρια το βαρέλι (ακόμα και αρνητικές τιμές στις αρχές του 2020). Τα υπολείμματα και τα καύσιμα ντίζελ έχουν παρόμοιες παραλλαγές. Επομένως, εισάγετε σημαντική αβεβαιότητα σε μια επένδυση βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Αυτό χρησίμευσε ως εμπόδιο στο παρελθόν, για παράδειγμα, τα συστήματα ανάκτησης αποβλήτων δεν θεωρήθηκαν ότι έχουν θετική καθαρή παρούσα αξία όταν εξετάζονται στα τέλη της δεκαετίας του 1970 / αρχές της δεκαετίας του 1980.

Ένας δεύτερος οικονομικός φραγμός μπορεί να καταγραφεί σε σχέση με τους κύκλους της ναυτιλιακής αγοράς και συγκεκριμένα με τους κύκλους αιχμής και κατώτατων ορίων. Όταν η αγορά βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα και τα κέρδη είναι υψηλά για τους πλοιοκτήτες, υπάρχει διαθέσιμο κεφάλαιο για επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο, οι εφοπλιστές, για να μην χάσουν τα υψηλά ναύλα, διστάζουν να απομακρύνουν ένα πλοίο που είναι σε υπηρεσία για περισσότερο από την ελάχιστη ρυθμιστική περίοδο και δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν επενδύσεις που θα οδηγήσουν το πλοίο να παραμείνει εκτός υπηρεσίας για επιπλέον χρόνο. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια του κατωφλίου, όταν τα κέρδη είναι χαμηλά, οι πλοιοκτήτες είναι πρόθυμοι να πραγματοποιήσουν επενδύσεις, ωστόσο ενδέχεται να μην έχουν πρόσβαση στα απαιτούμενα κεφάλαια.

Ένα άλλο ζήτημα που αποδίδεται στους κύκλους των ναυτιλιακών αγορών είναι ότι στην κορυφή υπάρχει μια τάση από τους εφοπλιστές να αυξάνουν την ταχύτητα του πλοίου αντί να μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων, επωφελούμενη έτσι από τους υψηλούς ναύλους και όχι από τη διατήρηση των καυσίμων.

Κάτι άλλο που δεν μπορεί να παραληφθεί είναι το γεγονός ότι οι μικροί εφοπλιστές ενδέχεται να μην έχουν πρόσβαση στη χρηματοδότηση για επενδύσεις σε τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές διαδρομές κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας τους και υπό διαφορετικές

φυσικές συνθήκες, γεγονός που δυσχεραίνει τη μεγιστοποίηση των οφελών από μια συγκεκριμένη εφαρμογή τεχνολογίας.

Τέλος, η επιλογή του πλοίου για ένα συγκεκριμένο ταξίδι βασίζεται στο ζήτημα του κατά πόσον το πλοίο διαθέτει αρκετή χωρητικότητα για να φορτώσει το απαιτούμενο φορτίο και όχι επιλέγοντας ένα πλοίο που μπορεί να φορτωθεί πλήρως με το απαιτούμενο φορτίο για να μην χρησιμοποιήσει μεγαλύτερο πλοίο από το απαιτούμενο, με κακά αποτελέσματα στην αποδοτικότητα των καυσίμων και των εκπομπών^[43].

Κεφάλαιο 4^ο: EEDI (Energy Efficiency Design Index)

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO) αναπτύσσει έναν κανονισμό για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία. Η Ναυτική Επιτροπή Προστασίας Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO, κατά την 59η σύνοδό της (13 έως 17, Ιουλίου 2009), πρότεινε την ανάπτυξη ενός δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI- Energy Efficiency Design Index) για νεότευκτα πλοία με σκοπό την τεχνική ανάπτυξη και καινοτομία σε όλους τους παραμέτρους που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου από τη φάση σχεδιασμού του. Οι συναντήσεις MEPC που ακολούθησαν οδήγησαν σε μια διατύπωση του ευρετηρίου που φαίνεται ικανοποιητικό για συμβατικά σκάφη μεγαλύτερα από 20.000 mt DWT, ενώ για μικρότερα και εξειδικευμένα σκάφη, η 60η συνεδρίαση της Επιτροπής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι περισσότερη έρευνα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη ενός κατάλληλου συστήματος ενεργειακής απόδοσης.^[27]

Ο δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI) παρέχει ένα νέο πρότυπο κατασκευής, διασφαλίζοντας ότι τα σχέδια πλοίων επιτυγχάνουν ένα ορισμένο επίπεδο απόδοσης και μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα. Το EEDI εισήχθη από τον IMO πριν από χρόνια και είναι καλά εδραιωμένο σήμερα στη ναυτιλιακή κοινότητα.

Για τα περισσότερα νεότευκτα πλοία, το EEDI είναι υποχρεωτικό, δηλαδή χρειάζονται πιστοποιητικό εγκεκριμένο από την τάξη στο EEDI. Εάν μια νέα κατασκευή απαιτεί EEDI ή όχι εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους όπως ο τύπος του πλοίου, η εγκατεστημένη ισχύς του κινητήρα και πολλά άλλα. Για νέες κατασκευές που απαιτούν EEDI, τα ναυπηγεία είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό του EEDI, ο οποίος στη συνέχεια επαληθεύεται από τους νηογνώμονες. Για το σκοπό αυτό, τα ναυπηγεία πρέπει να προετοιμάσουν έναν τεχνικό φάκελο που περιέχει τον υπολογισμό του EEDI.

Το EEDI παρέχει στους πλοιοκτήτες ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Τα πλοία με επιλεγμένο EEDI έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να κερδίσουν συμβόλαια ναύλωσης. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δηλώσει την πρόθεσή της να δημοσιεύσει την τεχνική αποτελεσματικότητα (EEDI ή EIV) για κάθε πλοίο που καλεί σε λιμένες της ΕΕ στον πρόσφατα εγερθέντα κανονισμό για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση (MRV-Monitoring Reporting and Verification) των εκπομπών από θαλάσσιες μεταφορές (συνήθως γνωστός ως κανονισμός MRV).

Ο υπολογισμός του EEDI ενός πλοίου είναι ένας περίπλοκος τρόπος. Πολλές περιπτώσεις πρέπει να εξεταστούν και να εφαρμοστούν ειδικοί παράγοντες σε σχέση με τις τεχνικές ιδιότητες του πλοίου. Επιπλέον, οι κανονισμοί για το EEDI ενημερώνονται τακτικά ως έγγραφα που περιέχουν τροποποιήσεις σε προηγούμενα δημοσιευμένα έγγραφα. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει εγχειρίδιο για τον τρόπο υπολογισμού του EEDI.^[27/28]

Ορισμός του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI)

Ο υπολογισμός του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI-Energy Efficiency Design Index) ενός πλοίου βασίζεται στα δεδομένα σχεδιασμού του πλοίου και αντιπροσωπεύει τις εκπομπές CO₂ του συγκεκριμένου πλοίου σε ένα μοναδικό σημείο σχεδίασης και όχι για την πλήρη λειτουργία του και άλλα προφίλ φόρτωσης.

Οι μονάδες EEDI εκφράζονται σε γραμμάρια CO₂ ανά τόνο μεταφορικού βάρους ανά ναυτικό μίλι (gCO₂ / t · nm).

Η επιτροπή έχει ορίσει δύο δείκτες EEDI για κάθε πλοίο, και οι δύο βασίζονται στον ίδιο τύπο υπολογισμού που τροποποιήθηκε ελαφρώς για κάθε δείκτη. Αυτές είναι, η επιτευχθείσα ενεργειακή απόδοση δείκτη σχεδιασμού απόδοσης -Energy Efficiency Design Index (EEDI_A) και η απαιτούμενη ή βασική ενεργειακή απόδοση δείκτη σχεδιασμού- Energy Efficiency Design Index (EEDI_{BL})

Attained EEDI

Το Attained EEDI είναι η πραγματική τιμή του EEDI για ένα πλοίο και αντιπροσωπεύει την ποσότητα του CO₂ που παράγει το πλοίο ανα τόνο-μίλι μεταφορικών εργασιών. Με απλά λόγια, αντιπροσωπεύεται από την εξίσωση (2):

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{transport work}}$$

Εξίσωση 2: Energy Efficiency Design Index

Υποστηρίζεται ότι το EEDI αντιπροσωπεύει την αναλογία του «κόστους για την κοινωνία» ενός πλοίου από την άποψη των εκπομπών CO₂, διαιρούμενο με το «όφελος για την κοινωνία» που αντιπροσωπεύεται από τη μεταφορική εργασία του πλοίου όπως φαίνεται στην εξίσωση (1). Η παραπάνω έννοια μεταφράστηκε στη συνέχεια σε μια πιο έντονη μέθοδο υπολογισμού όπως αντιπροσωπεύεται από τον τύπο EEDI στην εξίσωση (3) για να ληφθεί υπόψη η ποικιλομορφία των τύπων πλοίων, τα μεγέθη των πλοίων, εναλλακτικές τεχνολογίες πρόωσης, εναλλακτικά καύσιμα και μελλοντικές ανανεώσιμες τεχνολογίες.

Τα στοιχεία που επηρεάζουν κυρίως το EEDI είναι (εξίσωση 3):

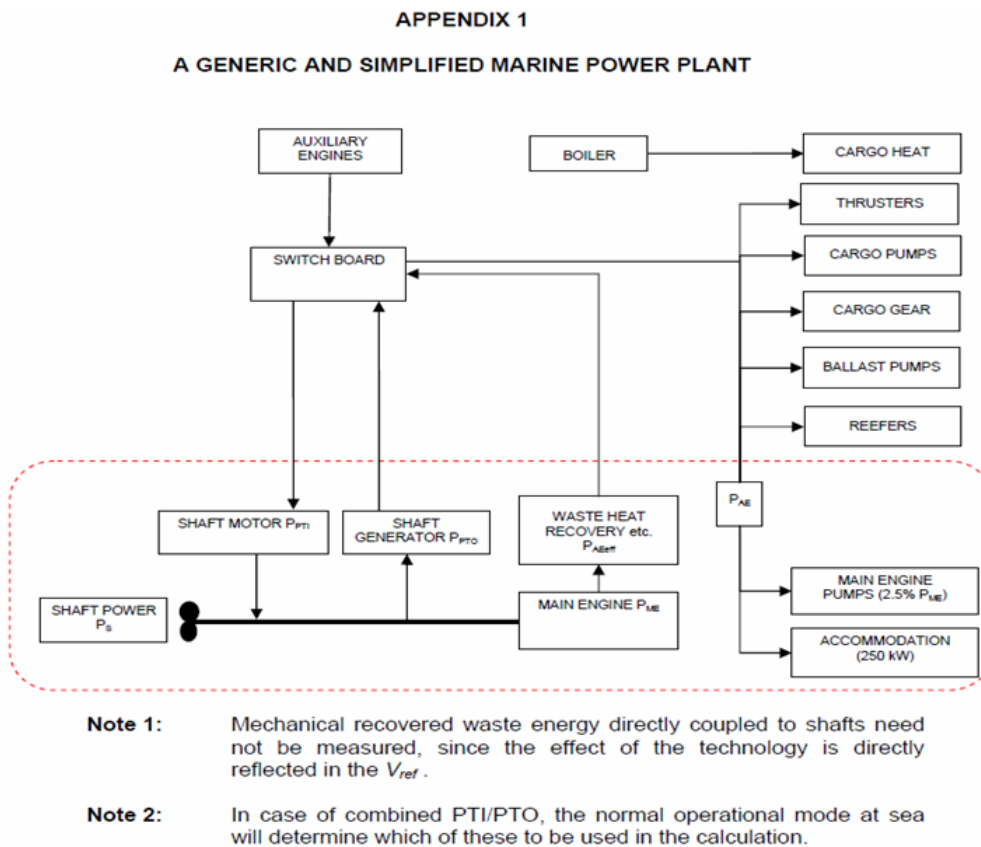
- Ο κύριος κινητήρας και η ενέργεια που απαιτείται για την πρόωση. Αυτό αντιπροσωπεύεται από τον πρώτο όρο του τύπου.
- Απαιτήσεις βοηθητικής ισχύος του πλοίου. Αυτό αντιπροσωπεύεται από το δεύτερο όρο στο τύπο.
- Τυχόν καινοτόμες συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους, όπως ηλεκτρική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας ή ηλιακή ενέργεια. Αυτά εκπροσωπούνται από τον τρίτο όρο στον τύπο.

- Καινοτόμες τεχνολογίες που παρέχουν μηχανική ισχύ για την προώθηση του πλοίου, όπως η αιολική ενέργεια (πανιά, χαρταετοί κ.λπ.). Αυτή είναι το τελευταίο κομμάτι στο τύπο.
- Στον παρονομαστή του τύπου, αντιπροσωπεύονται η χωρητικότητα του πλοίου και η ταχύτητα του πλοίου που μαζί δίνουν την αξία της μεταφοράς.

Γενικός κανόνας:

- Όλες οι ενεργειακές χρήσεις που σχετίζονται με το φορτίο είναι εκτός του πεδίου των υπολογισμών EEDI (δεν περιλαμβάνονται στον τύπο).
- Οι βοηθητικοί λέβητες εξαιρούνται επίσης από τον τύπο, υποθέτοντας ότι υπό κανονικές θαλάσσιες συνθήκες, οι λέβητες δεν θα λειτουργούν.

Επομένως, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για αντλίες φορτίου, εξοπλισμό χειρισμού φορτίου, προωθητές πλοίων κ.λπ. δεν εμπίπτει στο πεδίο των υπολογισμών EEDI.



Εικόνα 1: Δείχνει το εύρος των συστημάτων πλοίων που αντιπροσωπεύονται στην παρακάτω εξίσωση. Τα στοιχεία που περιέχονται στο κόκκινο κουτί διακεκομμένης γραμμής περιλαμβάνονται στον τύπο EEDI, ενώ όλα εκτός του κουτιού εξαιρούνται.

Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης-Energy Efficiency Design Index (EEDI_A)

Ο επιτευχθείς νέος δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης πλοίου (EEDI_A) υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

Εξίσωση 3: Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}\right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPPI} P_{PPI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)}\right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}\right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

Ανάλυση και επεξήγηση του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης:

Πίνακας 3: Ανάλυση EEDIA

Εκπομπές κύριων μηχανών	$\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}\right)$
Εκπομπές βοηθητικών μηχανών	$(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*)$:
Γεννήτριες άξονα/ Εκπομπές κινητήρων	$\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPPI} P_{PPI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)}\right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$:

P (Κύρια ισχύς ή βοηθητική ισχύς): Είναι η ισχύς των κύριων ή βοηθητικών κινητήρων, μετρούμενη σε κιλοβάτ (kW). Τα ME(Main Engine) και AE(Auxiliary Engine) αναφέρονται στους κύριους και βοηθητικούς κινητήρες, αντίστοιχα. Το άθροισμα στο (i) αφορά όλους τους κύριους κινητήρες με τον αριθμό κινητήρων (nME).

P_{ME} (i) (Ισχύς της κύριας μηχανής i): Προσδιορίζεται ως το 75% της ονομαστικής ισχύος (MCR) για κάθε κύριο κινητήρα (i) αφού αφαιρέθηκε οποιαδήποτε ροή ισχύος στις εγκατεστημένες γεννήτριες άξονα. Η δύναμη της κύριας μηχανής(i) που προβλέπεται για την προώθηση δίνεται από τον τύπο:

SFC (Ειδική κατανάλωση καυσίμου): Η ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC) αφορά κινητήρες και αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα καυσίμου (καύσιμο που χρησιμοποιείται) σε g / kWh. Η τιμή για το SFC καθορίζεται από τα αποτελέσματα που καταγράφονται στο τεχνικό αρχείο NO_x του κινητήρα. Προσδιορίζεται ως μέρος της πιστοποίησης NO_x του κινητήρα. Το SFC για τον κύριο κινητήρα λαμβάνεται

γενικά με φορτίο 75% και για τους βοηθητικούς κινητήρες γενικά λαμβάνεται με φορτίο 50%.

C_F (Carbon Factor): Αυτός ο παράγοντας καθορίζει την ποσότητα CO₂ που παράγεται ανά μονάδα μάζας καυσίμου που χρησιμοποιείται. Στον παρακάτω πίνακα παρέχει την τυπική τιμή για καύσιμα πλοίων. Ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή πιστοποίησης NO_x (πρέπει να ληφθεί από το τεχνικό αρχείο NO_x) πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της τιμής του συντελεστή C_F.

Πίνακας 4: Τυπικές τιμές C_F για ναυτιλιακά καύσιμα [Resolution MEPC.245(66)]

Type of fuel	Reference	Carbon content	C _F (t-CO ₂ /t-Fuel)
1 Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	0.8744	3.206
2 Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.8594	3.151
3 Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.8493	3.114
4 Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.8182	3.000
	Butane	0.8264	3.030
5 Liquefied Natural Gas (LNG)		0.7500	2.750
6 Methanol		0.3750	1.375
7 Ethanol		0.5217	1.913

Χωρητικότητα: Η χωρητικότητα του πλοίου είναι το νεκρό βάρος ή ολική χωρητικότητα με βάση το σχέδιο γραμμών, φορτίου για το καλοκαίρι. Ο υπολογισμός του νεκρού βάρους βασίζεται στο άφορτο βάρος του πλοίου και στο εκτόπισμα σχεδιάσεις, φορτίου για το καλοκαίρι. Για τα εμπορευματοκιβώτια, η χωρητικότητα θεωρείται ως το 70% της χωρητικότητας στο σχέδιο γραμμής φορτίου για το καλοκαίρι.

Ισχύς (πρόωση - P_{ME}): Ο όρος "P" για ισχύ χρησιμοποιείται σε διαφορετικά μέρη στον τύπο για τον κύριο κινητήρα, βοηθητική ισχύς (ηλεκτρική), κινητήρας άξονα, γεννήτρια άξονα, συσκευές ανανεώσιμης ενέργειας κ.λπ. Ισχύς για πρόωση άξονα P_{ME}, γενικά υπολογίζεται στο MCR (Μέγιστη συνεχής ισχύς) του κύριου κινητήρα. Ανάλογα με τις διάφορες επιλογές της γραμμής πρόωσης (γεννήτρια άξονα, κινητήρας άξονα, περιορισμένη ισχύς κ.λπ.) χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι για το σκοπό αυτό.

Ισχύς (βοηθητική - P_{AE}): Για βοηθητική ισχύ (ηλεκτρική), ισχύει επίσης διαφορετική σύνθεση για τον υπολογισμό της βοηθητικής ισχύος. Το P_{AE} περιλαμβάνει γενικά την ισχύ που καταναλώνεται από τις κύριες αντλίες κινητήρα, συστήματα πλοήγησης και εξοπλισμό καθώς και καταλύματα, αλλά αποκλείει άλλη ισχύ που δεν χρησιμοποιείται, για προωστικά μηχανήματα / συστήματα, π.χ. προωθητές, αντλίες φορτίου, γρανάζια φορτίου, αντλίες έρματος, συντήρηση φορτίου, π.χ. ανεμιστήρες των κοραλλιογενών τροχών και των φορτίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το P_{AE} δεν συνδέεται με την πραγματική εγκατεστημένη ισχύ των βοηθητικών κινητήρων του πλοίου.

Ταχύτητα αναφοράς (Vref): Η ταχύτητα αναφοράς Vref είναι η ταχύτητα του πλοίου όπως μετρήθηκε και επαληθεύτηκε κατά τη διάρκεια δοκιμών στη θάλασσα και διορθώθηκε στις ακόλουθες συνθήκες:

- Λειτουργία σε βάθη νερό
- Ήρεμος καιρός χωρίς αέρα και κύματα
- Συνθήκη φόρτωσης που αντιστοιχεί στην Χωρητικότητα
- Συνολική ισχύς άξονα στην αντίστοιχη τιμή του P_{ME}

Συντελεστής καιρού fw: Το fw είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που δείχνει τη μείωση της ταχύτητας σε αντιπροσωπευτικές συνθήκες θάλασσας όπως ύψους κύματος, συχνότητας κύματος και ταχύτητας ανέμου, και λαμβάνεται ως 1,0 για τον υπολογισμό του επιτευχθέντος EEDI. Καταβάλλονται προσπάθειες για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο μπορεί να εκτιμηθεί αυτός ο παράγοντας για διάφορα πλοία, αλλά η μέχρι τώρα προσπάθεια δεν οδήγησε σε καμία συμφωνημένη λύση.

Συντελεστές διόρθωσης σχετιζόμενοι με το σχεδιασμό πλοίου που επηρεάζουν την ισχύ πρόωσης fj: Υπάρχει ένας κεντρικός υπολογισμός συντελεστών διόρθωσης που χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση πλοίων του ίδιου τύπου και μεγέθους, εάν οι βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού τους είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα, ένα δεξαμενόπλοιο με κλάση πάγου (ice class) σε σχέση με το ίδιο δεξαμενόπλοιο χωρίς κλάση πάγου (ice class) θα έχει έναν παράγοντα διόρθωσης για την κάλυψη των διαφορών σχεδιασμού τους. Ο σχετικός σχεδιασμός συντελεστή διόρθωσης fj για τα ακόλουθα πλοία καθορίζεται για τη διαδικασία υπολογισμού, τον τύπο και τις τιμές. Με τον ναυτικό όρο Κλάση πλοίου (class, ship-class) χαρακτηρίζεται αφενός η ταξινόμηση πλοίου από τον Νηογνώμονα ή άλλο επίσημο ασφαλιστικό φορέα που παρακολουθεί το πλοίο και αφετέρου η κατηγοριοποίηση ναυπηγηθέντων ή ναυπηγουμένων αδελφών πλοίων, δηλαδή πλοίων με ίδια ναυπηγικά σχέδια ή ίδιες καινοτομίες είτε ναυπηγικές είτε εξοπλισμού. Για τα ακόλουθα πλοία είναι 1,0:

- Πλοία κλάσης πάγου (ice class)
- Βυτιοφόρα μεταφοράς με πλεονασμό πρόωσης (80.000 ~ 160.000 DWT)
- Ro-Ro πλοία, όλων των τύπων
- Γενικά φορτηγά πλοία

Συντελεστής σχεδιασμού που επηρεάζει τη χωρητικότητα πλοίου fi: Πρόκειται για ένα σύνολο παραγόντων διόρθωσης που χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση πλοίων του ίδιου τύπου και μεγέθους εάν η χωρητικότητα φορτίου τους επηρεάζεται από το σχεδιασμό ή τον τύπο φορτίου. Για παράδειγμα, ένα δεξαμενόπλοιο με κλάσης πάγου (ice class) έναντι του ίδιου δεξαμενόπλοιου χωρίς κλάση πάγου (ice class) θα έχει μικρότερη χωρητικότητα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Άλλα παραδείγματα είναι όταν ένας ιδιοκτήτης αποφασίζει να ενισχύσει εθελοντικά τη δομή του πλοίου με τη χρήση παχύτερων ελασμάτων ή όταν ένα πλοίο ταξινομείται

σύμφωνα με τους Κοινούς Δομικούς Κανόνες. Οι συντελεστές διόρθωσης που σχετίζονται με την ικανότητα είναι σχετικοί τύποι για κάθε παράγοντα παρακάτω:

- Παράγοντας χωρητικότητας κλάσης πάγου (ice class) f_i : Αυτός είναι ο παράγοντας που χρησιμοποιείται για πλοία κλάσης πάγου (ice class).
- Voluntary Structural Enhancement f_{VSE} : Για πλοίο με εθελοντική δομική ενίσχυση, ο συντελεστής f_{VSE} πρέπει να υπολογιστεί σύμφωνα με τη διατύπωση που παρέχεται στις οδηγίες του IMO.
- Κοινοί διαρθρωτικοί κανόνες f_{CSR} : Για χύδην μεταφορείς και πετρελαιοφόρα που κατασκευάζονται σύμφωνα με τους κοινούς διαρθρωτικούς κανόνες και έχουν CSR (continuous synopsis record), ο συντελεστής f_{CSR} πρέπει να υπολογιστεί σύμφωνα με τη διατύπωση που παρέχεται στις οδηγίες του IMO.

Συντελεστής διόρθωσης κυβικής χωρητικότητας f_c : Αυτό αναφέρεται σε διορθωτικούς παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση των τύπων φορτίου. Εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, η τιμή του συντελεστή f_c είναι 1,0.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το EEDI υπολογίζεται για την κατάσταση λειτουργίας ενός πλοίου. Αυτή η μεμονωμένη κατάσταση λειτουργίας αναφέρεται ως «Συνθήκη EEDI». Για τον υπολογισμό του EEDI, όλες οι μετρήσεις και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν πρέπει να διορθωθούν στις παραπάνω συνθήκες.

EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator)

Το EEOI είναι ένα στοιχείο του κανονιστικού πλαισίου του IMO που προορίζεται να λειτουργήσει ως «δείκτης ενεργειακής απόδοσης» κατά τη φάση λειτουργίας του πλοίου και χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO παρέχουν τη μεθοδολογία και τη βάση για την ανάπτυξη και τους υπολογισμούς του EEOI. Σε αυτήν την ενότητα, παρέχονται αποσπάσματα αυτών των Κατευθυντήριων Οδηγιών για την περαιτέρω κατανόηση του σκοπού και της μεθόδου υπολογισμού του EEOI.

Ο σκοπός του EEOI, σύμφωνα με τις οδηγίες του IMO, είναι να καθιερώσει μια συνεπή προσέγγιση για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου για κάθε ταξίδι ή για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το EEOI αναμένεται να βοηθήσει τους πλοιοκτήτες και τους χειριστές πλοίων στην αξιολόγηση της επιχειρησιακής απόδοσης του στόλου τους. Ελπίζεται ότι θα επιτρέψει την παρακολούθηση μεμονωμένων πλοίων κατά την λειτουργία τους και, ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα τυχόν αλλαγών που έγιναν στο πλοίο ή κατά την λειτουργία του. Στην πραγματικότητα, το EEOI υποστηρίζεται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρακολούθησης του SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan). Ουσιαστικά οι κανονισμοί καθιστούν υποχρεωτικό τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) για καινούργια πλοία και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP) για όλα τα πλοία. Αυτοί οι οικονομικοί και

περιβαλλοντικοί περιορισμοί, συνεπώς, αποτελούν βασικοί παράγοντες για την υιοθέτηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας.

Το ΕΕΟΙ, παρόμοιο με το ΕΕΔΙ, αντιπροσωπεύει την ποσότητα εκπομπών CO₂ από ένα πλοίο ανά μονάδα υπηρεσίας μεταφοράς φορτίου-μιλίων (με μονάδα gCO₂ / tn*mile). Ωστόσο, σε αντίθεση με τον ΕΕΔΙ που ορίζεται για ένα σημείο λειτουργίας του πλοίου, το ΕΕΟΙ αντιπροσωπεύει την πραγματική εκπομπή CO₂ από την καύση όλων των τύπων καυσίμων σε ένα πλοίο κατά τη διάρκεια κάθε ταξιδιού, η οποία υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη συνολική κατανάλωση καυσίμου για κάθε τύπο καυσίμου με τον αντίστοιχο συντελεστή άνθρακα κάθε καυσίμου. Οι εκτελούμενες μεταφορές υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας την πραγματική μάζα φορτίου (τόνοι, αριθμός TEU / αυτοκίνητα ή αριθμός επιβατών) και την αντίστοιχη πραγματική απόσταση σε ναυτικά μίλια που διανύονται από το πλοίο.

Σε αυτό το στάδιο, ο IMO έχει αναπτύξει το ΕΕΟΙ για να ενθαρρύνει τους πλοιοκτήτες και τους χειριστές πλοίων να το χρησιμοποιούν σε εθελοντική βάση και να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με το αποτέλεσμα και τις εμπειρίες κατά την εφαρμογή του.

Οι κατευθυντήριες γραμμές ΕΕΟΙ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καθιέρωση μιας συνεπούς προσέγγισης για την εθελοντική χρήση ενός ΕΕΟΙ, η οποία θα βοηθήσει τους πλοιοκτήτες, τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων και τα ενδιαφερόμενα μέρη στην αξιολόγηση της απόδοσης του στόλου τους σε σχέση με τις εκπομπές CO₂. Δεδομένου ότι η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται από ένα πλοίο σχετίζεται άμεσα με την πραγματική κατανάλωση καυσίμου, το ΕΕΟΙ μπορεί επίσης να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση ενός πλοίου σε σχέση με την λειτουργική απόδοση καυσίμου.

Ο στόχος των κατευθυντήριων γραμμών του IMO είναι να παρέχει στους χρήστες βοήθεια στη διαδικασία δημιουργίας ενός μηχανισμού για την επίτευξη του περιορισμού ή της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Οι κατευθυντήριες γραμμές ΕΕΟΙ αποσκοπούν να παρέχουν ένα αντικειμενικό παράδειγμα μεθόδου βασισμένη στην απόδοση προσέγγιση για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας της λειτουργίας του πλοίου.

Οι κατευθυντήριες γραμμές ΕΕΟΙ είναι προτεινόμενης φύσης και παρουσιάζουν πιθανή χρήση ενός λειτουργικού δείκτη. Ωστόσο, οι εφοπλιστές, οι πλοιοκτήτες και τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να εφαρμόσουν είτε τις οδηγίες του IMO ή μια ισοδύναμη μέθοδο στα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης και να εξετάσουν την υιοθέτηση των αρχών αυτών κατά την ανάπτυξη σχεδίων παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης του στόλου τους.

Για καλύτερη κατανόηση στην εκτίμηση του ΕΕΟΙ, παρέχονται οι ακόλουθοι ορισμοί του ΕΕΟΙ:

Κατανάλωση καυσίμου: Η κατανάλωση καυσίμου ορίζεται ως όλα τα καύσιμα που καταναλώνονται στη θάλασσα και στο λιμάνι ή για ένα ταξίδι ή εν λόγω περίοδος (π.χ. μια ημέρα), από κύριους, βοηθητικούς κινητήρες, λέβητες και αποτεφρωτήρες.

Απόσταση πλεύσης: Η απόσταση πλεύσης σημαίνει την πραγματική απόσταση που διανύθηκε σε ναυτικά μίλια (deck log-book data) για το συγκεκριμένο ταξίδι ή περίοδο.

Τύποι πλοίων και φορτίων: Οι οδηγίες ΕΕΟΙ ισχύουν για όλα τα πλοία που εκτελούν μεταφορές. Οι τύποι φορτίου είναι γενικοί αλλά δεν περιορίζονται σε: όλα τα αέρια, τα υγρά και τα στερεά φορτία χύδην, γενικά φορτία, εμπορευματοκιβώτια, κατεψυγμένα και διατηρημένα με απλή ψύξη προϊόντα, ξυλεία και δασικά προϊόντα, φορτία που μεταφέρονται σε φορτηγά οχήματα, αυτοκίνητα και φορτηγά οχήματα σε Ro-Ro πορθμεία και επιβάτες (για επιβάτες και επιβατηγά πλοία Ro-Ro).^[27/28]

Κεφάλαιο 5ο: Τεχνολογίες μείωσης των ρύπων

Τεχνολογία common rail

Είναι ένα σύστημα που είναι κοινό για κάθε κύλινδρο ή μονάδα του κινητήρα. Οι κινητήρες της πρώιμης εποχής είχαν ένα σύστημα καυσίμου, όπου κάθε μονάδα είχε τη δική της αντλία και η πίεση λαδιού τροφοδοτείτο μέσω των αντλιών.

Ωστόσο, στο σύστημα common rail όλοι οι κύλινδροι ή οι μονάδες συνδέονται σε μία παροχή και η πίεση καυσίμου συσσωρεύεται στην ίδια παροχή από την οποία ελέγχεται. Ένας παρόμοιος τύπος common rail υπάρχει επίσης για το σύστημα λαδιού στο άνοιγμα των βαλβίδων εξάτμισης.

Μιλώντας για το σύστημα ψεκασμού καυσίμου, το σύστημα common rail κυκλοφόρησε ακόμη και πριν από τις αντλίες, αλλά επίσης δεν ήταν επιτυχές λόγω λίγων μειονεκτημάτων. Ωστόσο, λόγω της τελευταίας εξέλιξης της τεχνολογίας και των ηλεκτρονικών, το σύστημα common rail έχει αποκτήσει δημοτικότητα.

Οι κινητήρες common rail είναι επίσης γνωστοί ως κινητήρες χωρίς καπνό, καθώς η πίεση καυσίμου που απαιτείται για την καύση είναι ίδια για όλα τα φορτία ή τις στροφές του κινητήρα.

- Το σύστημα common rail χρησιμοποιείται στο ακόλουθο σύστημα:
- Για θερμαινόμενο μαζούτ σε πίεση 1000 bar.
- Για το μοτέρ του λαδιού για το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εξάτμισης σε πίεση 200 bar.
- Στο λάδι ελέγχου για το άνοιγμα και το κλείσιμο του μπλοκ βαλβίδας σε πίεση 200 bar.
- Στον πεπιεσμένο αέρα για την εκκίνηση του κύριου κινητήρα.

Το σύστημα common rail αποτελείται από αντλία υψηλής πίεσης η οποία μπορεί να κινείται με εκκεντροφόρο άξονα ή ηλεκτροκίνητο άξονα ή και τα δύο μαζί. Η απαίτηση πίεσης θα είναι διαφορετική για διαφορετικό σύστημα. Για το μαζούτ η πίεση είναι τόσο υψηλή όσο 1000 bar, για μοτέρ και λάδι ελέγχου η πίεση είναι περίπου 200 bar. Οι αντλίες υψηλής πίεσης κινούνται με εκκεντροφόρο άξονα με τρεις εκκεντροφόρους λοβούς.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος common rail είναι:

- 1) Ίδια πίεση ψεκασμού για τον κινητήρα σε όλα τα φορτία ή τις στροφές του, η οποία δεν είναι δυνατή στις αντλίες, καθώς η τελευταία εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητήρα.
- 2) Ο χρονισμός έγχυσης μπορεί να ποικίλλει κατά τη λειτουργία του κινητήρα, ενώ στο συμβατικό σύστημα ο κινητήρας πρέπει να σταματήσει και να ρυθμιστεί ξανά.

3) Ο σχεδιασμός του συστήματος common rail είναι απλός καθώς δεν υπάρχουν μεμονωμένες αντλίες καυσίμου.

4) Το common rail δίνει λειτουργία χωρίς καπνό, ενώ στο συμβατικό σύστημα η λειτουργία χωρίς καπνό πραγματοποιείται μόνο σε υψηλές στροφές.

5) Απαιτείται μειωμένη συντήρηση λόγω του λιγότερου αριθμού αντλιών και της καλύτερης καύσης που προκύπτει με το σύστημα αυτό.

6) Με αυτό το σύστημα μπορεί να γίνει έλεγχος του μεταβλητού ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής που δεν υπάρχει στο παραδοσιακό σύστημα.

Υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής σε όλους τους τύπους πλοίων που χρησιμοποιούν ντίζελομηχανές και είναι διαθέσιμη στην αγορά. Δυναμικό μειώσεως 0,1 - 0,5%. (Buhaug et al, 2009) και σύντομο χρόνο αποπληρωμής με κόστος γύρω στα 2750 \$ - 247120 \$.

Σύστημα ηλεκτροκίνησης ντίζελ (Diesel electric drive)

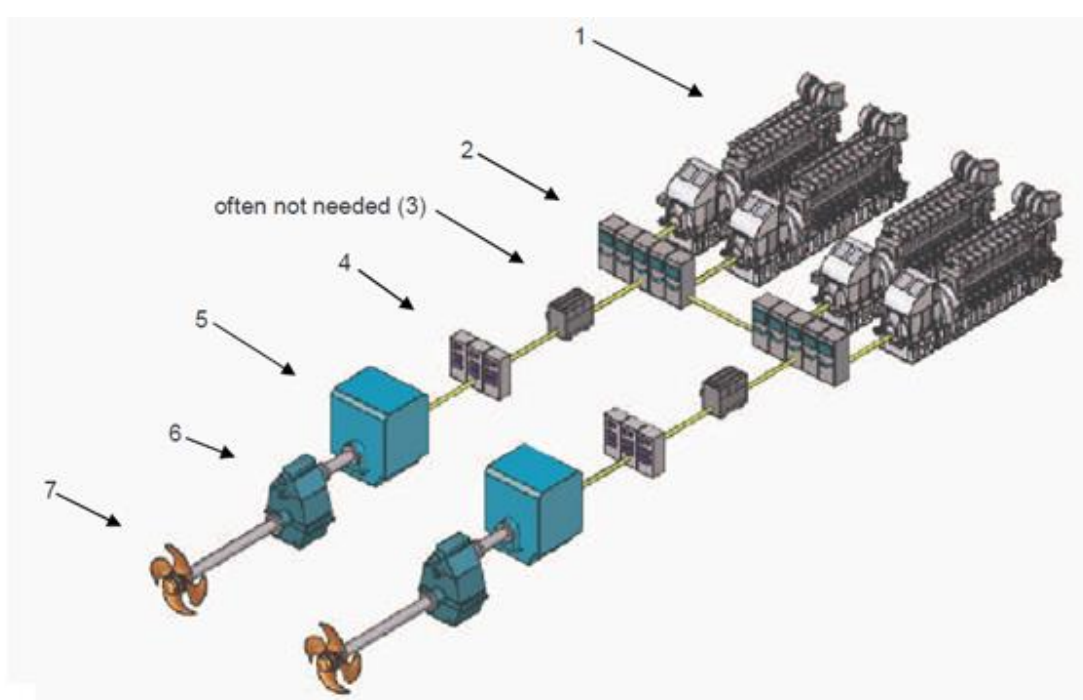
Η μείωση απόδοσης καυσίμου σε χαμηλή ταχύτητα μπορεί επίσης να μειωθεί με τη χρήση ενός συστήματος ηλεκτροκίνησης ντίζελ αντί για ένα σύστημα μηχανικής προωστήριας εγκατάστασης ντίζελ (ή συνδυασμός και των δύο). Λόγω διαφορετικών τύπων, σκοπών και λειτουργικών προφίλ των πετρελαιοκίνητων πλοίων ο σχεδιασμός μιας μονάδας πρόωσης ντίζελ-ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει πολύ και πρέπει να αξιολογείται κατά περίπτωση.

Γενικά, τα πλεονεκτήματα της κίνησης ντίζελ-ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίου λόγω της δυνατότητας βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας των κινητήρων/γεννητριών σε όλα τα φορτία. Οι γεννήτριες μπορούν να λειτουργούν με υψηλά φορτία με υψηλή απόδοση κινητήρα. Αυτό ισχύει ειδικά για σκάφη που έχουν μεγάλη διακύμανση στη ζήτηση ισχύος, για παράδειγμα ένα υπεράκτιο σκάφος εφοδιασμού.
- Καλύτερη υδροδυναμική απόδοση της έλικας. Αυτό συμβάλλει σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και λιγότερες εκπομπές καυσαερίου.
- Υψηλή αξιοπιστία, λόγω πολλαπλών πλεονασμάτων κινητήρα. Ακόμα κι αν ένας κινητήρας/ genset δυσλειτουργεί, θα υπάρχει επαρκής ισχύς για την ασφαλή λειτουργία του σκάφους.
- Μειωμένο κόστος κύκλου ζωής, που προκύπτει από χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Βελτιωμένη ικανότητα ευελιξίας και παραμονής στο σταθμό, με την ανάπτυξη ειδικών προωστήριων μέσων όπως προωθητές ή thrusters. Ακριβής έλεγχος των

ηλεκτροκινητήρων που ελέγχονται από μετατροπείς συχνότητας καθιστούν δυνατή τον έλεγχο της ακριβούς τοποθεσίας.

- Αυξήθηκε το ωφέλιμο φορτίο, καθώς οι μονάδες κίνησης ντίζελ-ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνουν λιγότερο χώρο σε σύγκριση με ένα μηχανικό ντίζελ κινητήρα. Ειδικά τα μηχανοστάσια μπορούν να σχεδιαστούν μικρότερα.
- Περισσότερη ευελιξία στη θέση του κινητήρα ντίζελ / genset και των προωστηρίων μέσον. Στα προωστήρια μέσα παρέχεται ηλεκτρική ισχύ μέσω καλωδίων. Δεν χρειάζεται να είναι δίπλα στους ντίζελοκινητήρες / γεννήτριες.
- Αποτελεσματική απόδοση και υψηλές ροπές κινητήρα, καθώς το ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να παρέχει μέγιστη ροπή ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες, γεγονός που δίνει πλεονεκτήματα, για παράδειγμα, σε συνθήκες που επικρατεί πάγος.



Εικόνα 2 Σύστημα ηλεκτροκίνησης ντίζελ[53]

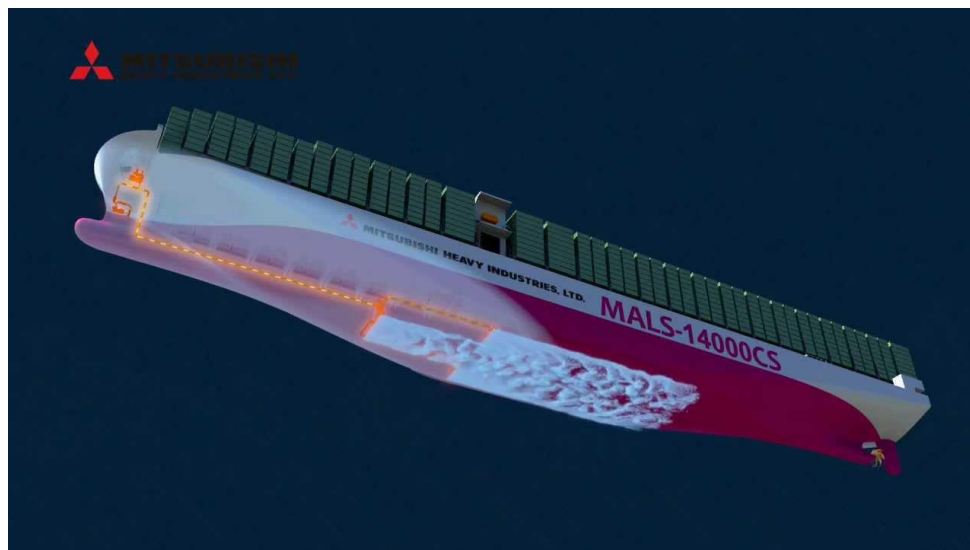
1. Κύρια μηχανή.
2. Κύριοι πίνακες διανομής.
3. Μετασχηματιστές τροφοδοσίας (προαιρετικά): Εξαρτάται από τον τύπο του μετατροπέα.
4. Μετατροπείς συχνότητας / μονάδες μεταβλητής ταχύτητας.
5. Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης.
6. Κιβώτια ταχυτήτων (προαιρετικά): Εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα.
7. Έλικες

Επίσης, οι πρόσφατες εξελίξεις στα εργοστάσια ηλεκτροκίνησης Diesel δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά συστήματα, όπου ο κινητήρας Diesel μπορεί να λειτουργήσει με μεταβλητή ταχύτητα, δίνει τεράστιο δυναμικό εξοικονόμησης καυσίμου. Το σύστημα χρησιμοποιεί gensets που λειτουργούν σε λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας, όπου μπορούν να ρυθμιστούν οι στροφές του κινητήρα για ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου ανάλογα με το φορτίο του συστήματος. Το ηλεκτρικό σύστημα βασίζεται σε μια κοινή διανομή DC, πρόωση ελεγχόμενης συχνότητας και υποδιανομές AC. Ο Η διανομή DC επιτρέπει μια αποσυνδεδεμένη λειτουργία των gensets και των καταναλωτών. Επιτρέπει επίσης την αποθήκευση ενέργειας, π.χ. σε μπαταρίες. Οι πηγές αποθήκευσης ενέργειας μειώνουν τα παροδικά φορτία στους κινητήρες ντίζελ και μειώνουν τον χρόνο απόκρισης του συστήματος πρόωσης. Επίσης, η πρόωση χωρίς εκπομπές μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν λειτουργούν μόνο οι μπαταρίες. Επιπλέον, οι πηγές αποθήκευσης ενέργειας θα έχουν θετική επίδραση στη συντήρηση του κινητήρα. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας τέτοιας μονάδας πρόωσης είναι έως και 30% μικρότερο σε σύγκριση με μία κλασική Diesel-electric μονάδα πρόωσης που περιεγράφηκε προηγουμένως.^[53]

Διατίθεται στην αγορά και είναι εφαρμόσιμο σε RoRo, Ferry, Cruise. Δυναμικό μείωσης μικρότερο από 20% ^[Wärtsilä, 2008], ανάλογα με το προφίλ λειτουργίας. Η ηλεκτρική πρόωση εισάγει πρόσθετες απώλειες μετάδοσης που μπορούν να αντισταθμίσουν τα κέρδη. Η μεγαλύτερη ευελιξία με την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο χώρος κάτω από το κατάστρωμα μπορεί να μεταφράζεται σε εξοικονόμηση ενέργειας ^[Buhaug et al, 2009]. Χρόνος αποπληρωμής εγκατάστασης μέτριος ^[Wärtsilä, 2008].

Air Lubricator

Όταν εμφανίστηκε η Mitsubishi με το σύστημα λίπανσης αέρα, ήταν μόνο μία από τις πολλές τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας για τα πλοία. Το Mitsubishi Air Lubrication System (MALS) ήταν το πρώτο σύστημα του είδους που υποσχέθηκε εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση εκπομπών από πλοία που χρησιμοποιούν την καινοτόμο τεχνολογία Air Lubrication.



Εικόνα 11: Air Lubricator [<https://www.mhi.com/index.html>]

Ωστόσο, η ναυτιλιακή βιομηχανία συνειδητοποίησε σύντομα τις δυνατότητες της τεχνολογίας και σύντομα, μεγάλοι παίκτες όπως ο όμιλος εταιρειών NYK και ο όμιλος Damen Shipyards παρουσίασαν τη δική τους έρευνα και πειράματα.

Σύμφωνα με την DNV, το Air Bubble Lubrication System είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που θα βοηθήσουν τα πλοία να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους και να μειώσουν τις απώλειες ενέργειας.

Το σύστημα λίπανσης αέρα είναι μια μέθοδος για τη μείωση της αντίστασης μεταξύ του κύτους του πλοίου και του θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας φυσαλίδες αέρα. Η κατανομή φυσαλίδων αέρα σε όλη την επιφάνεια της γάστρας μειώνει την αντίσταση του πλοίου, εξοικονομώντας ενέργεια. Με το σωστό σχεδιασμό του σκάφους, το σύστημα λίπανσης αέρα αναμένεται να επιτύχει μείωση έως και 10-15% των εκπομπών CO₂, μαζί με σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου.

Το σύστημα λίπανσης αέρα λειτουργεί με την απλή αρχή της παγίδευσης ενός στρώματος φυσαλίδων αέρα κάτω από την γάστρα του πλοίου. Ένας ανεμιστήρας αέρα ή ένα ειδικό σύστημα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία φυσαλίδων αέρα για να τις περνά συνεχώς κάτω από την επιφάνεια του πλοίου. Οι έξοδοι φυσαλίδων αέρα δημιουργούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες στο κάτω μέρος του κύτους, συμμετρικά και στις δύο πλευρές της κεντρικής γραμμής του πλοίου.

Ο αέρας διοχετεύεται με σταθερό ρυθμό για να σχηματίσει ένα στρώμα φυσαλίδων, το οποίο μειώνει την αντίσταση μεταξύ του πλοίου και του θαλασσινού νερού. Το σύστημα συνεχούς αναπλήρωσης των χαμένων φυσαλίδων αέρα διασφαλίζει ότι

διατηρείται ένα ομοιόμορφο στρώμα φυσαλίδων αέρα κάτω από το πλοίο και παράγεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ανησυχίες για το σύστημα λίπανσης αέρα

Αν και είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, το σύστημα λίπανσης αέρα έχει μερικές ανησυχίες σχετικά με την εφαρμογή και την απόδοσή του στα πλοία. Μερικά από τα κύρια είναι:

Το σύστημα λίπανσης αέρα (ALS) μέχρι τώρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για συγκεκριμένους τύπους πλοίων με επίπεδο πυθμένα. Πλοία γάστρας V, όπως ορισμένα πολεμικά πλοία ή σκάφη αναψυχής ενδέχεται να μην είναι σε θέση να αποκομίσουν τα οφέλη του συστήματος λίπανσης αέρα.

Η παγίδευση του στρώματος των φυσαλίδων κάτω από το κύτος του πλοίου είναι μια δύσκολη εργασία. Αν και η λύση, όπως προεξέχουσες ράγες στα άκρα του κύτους μπορεί να βοηθήσει στην παγίδευση της κουβέρτας των φυσαλίδων, το φαινόμενο απορρόφησης της προπέλας στις φυσαλίδες είναι δύσκολο να αγηφιστή. Μια άλλη λύση είναι να σχεδιαστεί η πρύμνη ή το κύτος του πλοίου με τέτοιο τρόπο ώστε να παγιδεύει τις φυσαλίδες αέρα κάτω από το κύτος. Ωστόσο, με αυτό θα αύξανε σημαντικά το κόστος κατασκευής του πλοίου.

Επίσης οι κοιλότητες αέρα που κατασκευάζονται για την παγίδευση των φυσαλίδων αέρα θα επηρεάσουν το χειρισμό και τη σταθερότητα του πλοίου στη θάλασσα. Εάν είναι αλήθεια, αυτό μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στο πλοίο και στο πλήρωμα, ιδίως σε δύσκολες θάλασσες.

Οι φυσαλίδες αέρα που αφήνουν την επιφάνεια του κύτους ρέουν προς την έλικα του πλοίου. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την απόδοση, τον θόρυβο και τους κραδασμούς της έλικα. Αν και σύμφωνα με τα πειράματα που διεξήγαγε η Mitsubishi, υπήρχαν αμελητέες επιδράσεις των φυσαλίδων αέρα στην έλικα, οι δύσκολες θάλασσες και οι αλλαγές στην πυκνότητα υγρών μπορούν να παράγουν δυσμενή αποτελέσματα.

Για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, είναι σημαντικό οι φυσαλίδες αέρα να έχουν ομοιόμορφο μέγεθος και να κατανέμονται ομοιόμορφα κάτω από την επιφάνεια του κύτους. Επιπλέον, μια αλλαγή στη διάμετρο της φυσαλίδας αέρα θα επηρέαζε δραστηρικά την κατανομή της φυσαλίδας αέρα κάτω από το κύτος. Είναι επομένως απαραίτητη μια ρύθμιση για να διασφαλιστεί ότι οι φυσαλίδες έχουν την ίδια διάμετρο (εάν είναι δυνατόν) και κατανέμονται καλά κάτω από το κύτος του πλοίου.

Όσον αφορά τη MALS, η εταιρεία ισχυρίζεται ότι, σε συνδιασμό με ένα πλοίο υψηλής απόδοσης, ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που διαθέτει το σύστημα λίπανσης αέρα μπορεί να προσφέρει μείωση εκπομπών CO₂ έως και 35% σε σύγκριση με τα συμβατικά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Πρόσφατα ευρήματα υποστήριξαν επίσης τον ισχυρισμό ότι σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών άνθρακα είναι δυνατή μέσω του συστήματος λίπανσης αέρα όταν συνδυάζεται με άλλες πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες πράσινων πλοίων.

Το σύστημα λίπανσης αέρα είναι πλέον μια τεχνολογία που έχει αποδειχθεί καλά ότι παρέχει οφέλη όπως μειωμένες εκπομπές άνθρακα και σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου. Με την αυξανόμενη πίεση για να καταστήσουν τα πλοία πιο πράσινα, οι ναυτιλιακές εταιρείες εφαρμόζουν τώρα πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που θα τους βοηθήσουν να μειώσουν τις εκπομπές άνθρακα και να βελτιώσουν την αναποτελεσματικότητα των πλοίων. Σύμφωνα με αναφορές, εταιρείες όπως AIDA Cruise μαζί με λίγες άλλες ναυτιλιακές εταιρείες έχουν ήδη επιβεβαιώσει ότι σχεδιάζουν να εφαρμόσουν Air Lubrication Systems στα πλοία τους.^[26]

Κυματική ενέργεια (wave energy)

Τα τρέχοντα σχέδια κυματο-παραγωγής ενέργειας υποδηλώνουν ότι μια εντελώς νέα σχεδίαση θα πρέπει να είναι άμεσα εφαρμόσιμη στις ανάγκες της ναυτιλίας. Ο μικρός αριθμός προγραμματιστών σε αυτόν τον τομέα προσπαθούν να μάθουν από τη βιολογία και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν τα δελφίνια και τα πελαγίσια ψάρια την μυϊκή ενέργεια στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο φιλόδοξος μεταφορέας αυτοκινήτου E / S Orcelle από τον Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL) προτείνει τη χρήση μιας σειράς με 12 υποβρύχια πτερύγια (fins), μοντελοποιημένα στις κινήσεις της ουράς των δελφινιών Irrawaddy, για να αξιοποιήσει και να μετατρέψει την κυματική ενέργεια στον ωκεανό σε πρόωση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία.

Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχει ακόμη κάποια εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας, γι' αυτό και δεν θα γίνει περεταίρω ανάπτυξη στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Υβριδικοί τρόποι λειτουργίας

Λειτουργία PTO

Ο κύριος κινητήρας δεν παρέχει μόνο την πρόωση του πλοίου, παρέχει επίσης την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τους καταναλωτές του πλοίου. Ουσιαστικά, το σύστημα επιτρέπει υψηλή φόρτιση του κύριου κινητήρα, με χαμηλή ειδική κατανάλωση και επομένως με ελάχιστες εκπομπές. Αυτό παρατείνει συχνά την περίοδο συντήρησης των ηλεκτρογεννητριών καθώς μπορούν να απενεργοποιηθούν όταν δεν χρειάζονται.

Λειτουργία PTI

Η λειτουργία ενίσχυσης PTI επιλέγεται κυρίως για μέγιστη ταχύτητα. Μαζί με τον κύριο κινητήρα το ηλεκτρικό μηχάνημα λειτουργεί ως βοηθητικός κινητήρας, ο οποίος παρέχει υποστήριξη στον άξονα που ενώνεται με την έλικα. Οι γεννήτριες παρέχουν την ηλεκτρική ισχύ, τόσο για την πρόωση όσο και για τους καταναλωτές

του σκάφους. Η λειτουργία ενίσχυσης PTI αυξάνει κυρίως την ευελιξία του συστήματος πρόωσης για φορτία αιχμής.

Λειτουργία PTO/PTH

Για ορισμένους τύπους σκαφών, όπως για τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς χημικών, συνιστάται ένα εναλλακτικό σύστημα πρόωσης για λειτουργία έκτακτης ανάγκης. Στην περίπτωση που ο κύριος κινητήρας δεν λειτουργεί ο ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιείται ως κύριος κινητήρας, ο οποίος παρέχει τη δύναμη για την έλικα. Οι γεννήτριες τροφοδοτούν επίσης την ισχύ πρόωσης και την ηλεκτρική ενέργεια για τους καταναλωτές του σκάφους.

Υβριδική λειτουργία (Συνδυασμός PTO / PTI)

Ο ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιείται επίσης ως εναλλακτικός κινητήρας πρόωσης (PTO / PTI). Αυτό ανοίγει το δρόμο για ευέλικτη χρήση του κύριου κινητήρα και των γεννητριών. Σε λειτουργία PTI η έλικα κινείται με μεταβλητή ταχύτητα με μετατροπέα συχνότητας. Σε λειτουργία PTO ο μετατροπέας παρέχει σταθερή τάση και συχνότητα το δίκτυο. Ο κύριος κινητήρας και η γεννήτρια άξονα μπορεί να λειτουργήσει σε εύρος από 70% έως 100% rpm. Στην πράξη μεγιστοποιεί τόσο την απόδοση της προπέλας όσο και την απόδοση του κινητήρα και επίσης βοηθά στη μείωση των εκπομπών καυσαερίων.

Λειτουργία ηλεκτρικής διασύνδεσης (Electrical cross-connection)

Σε περίπτωση εφαρμογής διπλής έλικας υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας και των δύο ελίκων με τη δύναμη ενός κύριου κινητήρα που περιστρέφει τον έναν άξονα (PTO) και χρησιμοποιεί τον άλλο άξονα ως "take-in-device (PTI)". Αυτή η λειτουργία εξασφαλίζει υψηλή φόρτωση του κεντρικού δικτύου του κινητήρα καθώς και επιπλέον ευελιξία στο πλήρες σύστημα πρόωσης.

Μείωση της ζήτησης ισχύος στο πλοίο

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι μείωσης της ζήτησης ισχύος. Τρεις από αυτές τις επιλογές εξετάζονται εδώ, δηλαδή φωτισμός χαμηλής ενέργειας, η χρήση ενεργειακά αποδοτικής θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) και η χρήση αντλιών και ανεμιστήρων με μεταβλητή ταχύτητα, ανάλογα με την πραγματική ανάγκη.

Φωτισμός χαμηλής ενέργειας

Η χρήση φωτισμού χαμηλής ενέργειας, όπως λαμπτήρες αλογόνου, λαμπτήρες φθορισμού και LED σε συνδυασμό με ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου με αυτόματη

απενεργοποίηση κ.λπ. αναπτύσσεται συνεχώς καθώς η εστίαση στην ενέργεια και το περιβάλλον έχει αυξηθεί. Η νέα τεχνολογία έχει εφαρμοστεί μόνο σε περιορισμένο βαθμό στη ναυτιλιακή βιομηχανία και ο τυπικός κανονικός σχεδιασμός δεν περιλαμβάνει φωτισμό χαμηλής ενέργειας. Η εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικού συστήματος φωτισμού θα μειώσει επιπλέον τις ώρες συντήρησης και το κόστος λειτουργίας.^[55]

Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτός μπορούν να εγκατασταθούν σε όλους τους τύπους πλοίων ανεξάρτητα από την ηλικία τους, όπου τα επιβατηγά πλοία έχουν το υψηλότερο δυναμικό μείωσης. Ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι η εγκατάσταση φωτισμού LED στο Celebrity Solstice, Celebrity Cruise Lines.^[MEPC 68 / INF.16]

Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται για φωτισμό σε ένα κανονικό εμπορικό πλοίο μπορεί να εκτιμηθεί ότι είναι 0,25% έως 5% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται και πιστεύεται ότι είναι υψηλότερη για τα κρουαζιερόπλοια και τα επιβατηγά πλοία (> 10%). Δεδομένου ότι τα περισσότερα ενεργειακά αποδοτικά συστήματα φωτισμού έχουν ίση ή μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα κανονικά συστήματα φωτισμού, το πρόσθετο λειτουργικό κόστος ορίζεται στο μηδέν. Το πρόσθετο κόστος, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις φωτισμού σε κανονικά πλοία, είναι στα 100.000 \$ (USD) και 200.000 έως 1.000.000 \$ (USD) σε επιβατηγά και κρουαζιερόπλοια. Το δυναμικό μείωσης εκπομπών εκτιμάται από τη συνολική βοηθητική κατανάλωση κινητήρα σε κανονικά εμπορικά πλοία και κυμαίνεται από 0,25% έως 5%.^[55]

Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC)

Το σύστημα HVAC σε ένα πλοίο ελέγχει το πλήρες κλίμα του πλοίου. Είναι απαραίτητη η ενδελεχής αξιολόγηση των απαιτήσεων του πλοίου πριν την εφαρμογή κάποιου συστήματος HVAC. Ο περιορισμένος χώρος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, ο τύπος φορτίου και ο τύπος του σκάφους σαφώς επηρεάζουν τον σχεδιασμό του συστήματος HVAC. Δυνατότητα εφαρμογής σε όλους τους τύπους πλοίων και διαθέσιμο στην αγορά. Μειονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι το δυναμικό μείωσης και το κόστος εγκατάστασης, δεν είναι γνωστά.

Απόδοση καυσίμου στο λέβητα

Οι θαλάσσιοι λέβητες που χρησιμοποιούνται σήμερα στα πλοία προορίζονται κυρίως για βοηθητικούς σκοπούς σε σκάφη που λειτουργούν με κινητήρες ντίζελ ή ηλεκτρική πρόωση ντίζελ. Σε περίπτωση πλοίων που χρησιμοποιούν ατμοστρόβιλους (κυρίως βρίσκονται σε πλοία υψηλής ταχύτητας που χρησιμοποιούνται από ναυτικούς), οι λέβητες αποτελούν μέρος του κύριου συστήματος πρόωσης.

Για να το εξετάσει από την πλευρά του σχεδιαστή πλοίου, θα πρέπει να μπορεί να επιλέξει το σωστό είδος λέβητα για ένα συγκεκριμένο πλοίο ανάλογα με την απαίτηση για το συγκεκριμένο έργο.

Η κύρια λειτουργία του λέβητα είναι η παραγωγή ατμού σε σωστή πίεση και θερμοκρασία και με την καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Βέλτιστη ενεργειακή απόδοση σημαίνει βέλτιστη μεταφορά ενέργειας καυσίμου στο νερό μέσω διαφόρων σωληνώσεων του λέβητα και θερμαντικών επιφανειών. Οι βοηθητικοί λέβητες σε πετρελαιοκίνητα πλοία χρησιμοποιούνται για την παροχή ατμού και ζεστού νερού, για μη προωθητικές χρήσεις όπως θέρμανση καυσίμου, μαγειρεία, θέρμανση χώρου καμπίνας και στους αμοστρόβιλους σε πετρελαιοφόρα πλοία που εκφορτώνουν αργό πετρέλαιο στο λιμάνι.

Επομένως, η βέλτιστη απόδοση του λέβητα μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα πλοία που χρησιμοποιούν λέβητες. Έχει καλύτερη εφαρμογή στα δεξαμενόπλοια, δεδομένου ότι οι εκπομπές των λεβήτων φέρουν το μεγαλύτερο βάρος για αυτούς τους τύπους πλοίων.

Κυψέλες καυσίμου-Υδρογόνο

Το υδρογόνο στα μέσα του 2000 θεωρείτο ως το καύσιμο του μέλλοντος και εξακολουθεί να θεωρείται ότι θα προσφέρει μια μακροπρόθεσμη λύση. Η καύση του υδρογόνου ως καύσιμο στους κλασσικούς κινητήρες ντίζελ είναι δυνατή μόνο στα χαμηλά επίπεδα ανάμειξης χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικούς κινδύνους βλάβης του κινητήρα. Το δυναμικό του υδρογόνου έγκειται στη χρήση του σε μια κυψέλη καυσίμου. Η τεχνολογία ανάπτυξης υδρογόνου κυψελών καυσίμου έχει σημειώσει σημαντικές προόδους και προσέλυσε υψηλό επίπεδο ενδιαφέροντος, ειδικά από υπεράκτια σκάφη εφοδιασμού, επιβατηγά και κρουαζιερόπλοια. Το 2008, το έργο Zemships (Zero Emissions Ships) ανέπτυξε το Alsterwasser, επιβατηγό πλοίο για εσωτερικές πλωτές οδούς και πολλά άλλα μικρά επιβατηγά και ποταμόπλοια έχουν ακολουθήσει. Το Zemships, που αργότερα ονομάστηκε FCS Alsterwasser, ήταν το πρώτο πλοίο που τροφοδοτείται από κυψέλες καυσίμου. Τροφοδοτήθηκε από δύο μονάδες κυψελών καυσίμου υδρογόνου ισχύος 48 kW το καθένα. Το πλοίο λειτούργησε στο Αμβούργο μέχρι τα τέλη του 2013 όταν η πρόκληση της οικονομικής λειτουργίας της υποδομής φόρτισης υδρογόνου το έθεσε εκτός υπηρεσίας. Το 2012, ως μέρος του έργου FellowSHIP, μια ισχύς καυσίμου 330 kW δοκιμάστηκε επιτυχώς στο υπεράκτιο σκάφος εφοδιασμού, Viking Lady και λειτούργησε για περισσότερες από 7000 ώρες. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα κυψέλης καυσίμου για χρήση σε εμπορικό πλοίο, με εκτιμώμενη ηλεκτρική απόδοση να είναι 44,5% (λαμβάνοντας υπόψη την εσωτερική κατανάλωση) και όχι NOx, SOx. Όταν ενεργοποιήθηκε η ανάκτηση θερμότητας, η συνολική απόδοση καυσίμου αυξήθηκε στο 55% ,με περιθώρια βελτίωσης. Το 2012, ο Germanischer Lloyd παρουσίασε σχεδιαστικές ιδέες για μηδενικές εκπομπές, για το Scandlines πλοίο των 1500 επιβατών και το σκάφος τροφοδοσίας εμπορευματοκιβωτίων 1.000 TEU με ταχύτητα εξυπηρέτησης 15 κόμβων, χρησιμοποιώντας υδρογόνο ως καύσιμο για παραγωγή

ενέργειας με συνδυασμό κυψέλης καυσίμου και συστήματος μπαταρίας. Ωστόσο, η βιωσιμότητα της παραγωγής υδρογόνου είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, με σχεδόν όλες τις τρέχουσες εμπορικές παραγωγές να προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Δυνατότητα για ανανεώσιμη ενέργεια στην παραγωγή υδρογόνου θα προέλθει από την ηλεκτρόλυση του θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη ξηρά ή γεννήτριες σε αιολικά σκάφη.

Η λειτουργική ικανότητα των μονάδων κυψελών καυσίμου έχει δοκιμαστεί επιτυχώς υπό θαλάσσιες συνθήκες (e4ships 2016). Οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν πιο αποτελεσματικά από τα συγκρίσιμα συστήματα γεννητριών ντίζελ, ειδικότερα στο εύρος μερικού φορτίου και μέσω της δυνατότητας συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ισχύος. Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και θορύβου στα λιμάνια μπορούν να μειωθούν. Σε πολλές περιπτώσεις, οι κυψέλες καυσίμου δεν λειτουργούν με υδρογόνο αλλά με άλλα καύσιμα, όπως αιθανόλη, φυσικό αέριο ή καύσιμο ντίζελ. Αυτά προσφέρουν τα πλεονεκτήματα της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας, της χαμηλότερης τιμής και της ευκολότερης αποθήκευσης. Μετατρέπονται σε υδρογόνο με τη βοήθεια εσωτερικών ή εξωτερικών αναμορφωτών.

Η χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου για την πρόωση του πλοίου, αντίθετα, βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο σχεδιασμό ή δοκιμαστική φάση - με εφαρμογές σε μικρότερα πλοία ή σκάφη αναψυχής. Η κυψέλη καυσίμου χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας (PEMFC) και η κυψέλη στερεού οξειδίου (SOFC) θεωρούνται ως οι πιο υποσχόμενοι τύποι κυψελών καυσίμου για ναυτικές εφαρμογές. [EMSA 2017]

Ωστόσο, μέχρι στιγμής, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κυψέλες καυσίμου σε μεγάλα εμπορικά πλοία. Επιπλέον, σε σύγκριση με τον αποδοτικό, αργό κινητήρα ντίζελ, ο οποίος λειτουργεί με βαρύ μαζούτ, ο κινητήρας και το καύσιμο εξακολουθούν να είναι πολύ ακριβό. Επίσης, πρέπει να αναπτυχθούν διεθνή τεχνικά πρότυπα προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αέρια καύσιμα (όπως το υδρογόνο). [Würsig / Marquardt 2016]

Τα υποβρύχια είναι μια εξειδικευμένη εφαρμογή κυψελών καυσίμου. Για παράδειγμα, οι ηλεκτρολύτες έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και καιρό στα υποβρύχια για την παραγωγή οξυγόνου. Υποβρύχια που λειτουργούν με κυψέλες καυσίμου έχουν αναπτυχθεί στις ΗΠΑ και τη Γερμανία. Τα υποβρύχια που αναπτύχθηκαν στη Γερμανία χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου PEM. Όσον αφορά τις υποβρύχιες εφαρμογές, τα στοιχεία καυσίμου χαρακτηρίζονται από χαμηλές εκπομπές θορύβου, χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και λειτουργία ανεξάρτητη από τον αέρα. Ωστόσο, η «αγορά» υποβρυχίων είναι πολύ μικρή, και ακόμη και στο μέλλον δεν θα αναπτυχθεί πάρα πολύ.^[56]

Κεφάλαιο 6ο: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Επί του παρόντος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξετάζονται για τον παγκόσμιο στόλο σε όλα τα είδη και σε διάφορα μεγέθη πλοίων, συμπεριλαμβανομένων: διεθνών και εγχώριων μεταφορών, ατόμων και υπηρεσιών, αλιεία, τουρισμός κ.α. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλοία όλων των μεγεθών για παροχή πρωτογενούς, υβριδικής και / ή βοηθητικής πρόωσης, καθώς και επί του πλοίου για χρήση ενέργειας από την ακτή. Αυτές οι λύσεις καθαρής ενέργειας ενσωματώνονται μέσω μετασκευών στον υπάρχοντα στόλο ή είναι ενσωματωμένος από την ναυπήγηση και το σχεδιασμό, με τις περισσότερες εφαρμογές να αναπτύσσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μέρος της ολοκληρωμένης δέσμης μέτρων-αποτελεσματικότητας.

Η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη ναυτιλία παρεμποδίστηκε από την υπερβολική προμήθεια ορυκτών καυσίμων στα πλοία τα τελευταία χρόνια και τη σχετικά συντηρητική επενδυτική αγορά. Δεδομένα και πληροφορίες για το πραγματικό μέχρι στιγμής κόστος ανάπτυξης των διαφόρων λύσεων ανανεώσιμης ενέργειας υιοθετούνται στον τομέα της ναυτιλίας αλλά είναι πολύ σπάνια. Αυτό όμως που είναι σαφές είναι ότι δεν υπήρξε ακόμη επαρκής επίδειξη εμπορικά βιώσιμων λύσεων για τον τομέα, έτσι ώστε να αυξήσει την ανάπτυξη και, ως εκ τούτου, να μειώσει το κόστος. Η ταχύτητα απορρόφησης λύσεων τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη ναυτιλία τελικά καθορίζεται από τις δυνάμεις της αγοράς σε ένα αυστηρότερο ρυθμιστικό καθεστώς.

Οι κυριότερες υποψήφιες λύσεις για θαλάσσια χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εγγύς μέλλον είναι: αιολική, ηλιακή, βιοκαύσιμα / αέριο και κυματική ισχύς. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί και αλλαγές στην δρομολόγηση, για μεγιστοποίηση της έκθεσης στις πρωτογενείς πηγές ενέργειας (σε αυτήν την περίπτωση, ήλιος, άνεμος και κύματα). Αυτό είναι απαραίτητο για αποτελεσματική απόδοση και νέες λειτουργικές διαδικασίες και συστήματα που θα πρέπει να αποκτηθούν. Υπάρχουν ποικίλες απόψεις σχετικά με το πόσο μεγάλο ρόλο θα διαδραματίσει η ανανεώσιμη ενέργεια. Έχει προκύψει μια σειρά καινοτόμων τεχνολογικών σχεδίων, πολλά από αυτά εκμεταλλεύονται ώριμες τεχνολογίες, με τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων, ανάλογα με το τύπο πλοίου, διαδρομή και ταχύτητα. Αυτά τα σχέδια στοχεύουν επίσης στη μείωση καταναλώσεις στα ορυκτά καύσιμα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εισαγωγής λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη ναυτιλία: ως μετασκευές για τον υπάρχοντα στόλο ή ενσωματώνοντάς τα στην κατασκευή. Πολλές νέες σχεδιαστικές ιδέες για πλοία όλων των κλιμάκων περιλαμβάνουν επιλογές ανανεώσιμης ενέργειας για βοηθητική χρήση ενέργειας ενώ ένας μικρότερος αριθμός στοχεύει σε ανανεώσιμη ενέργεια 100% ή μηδενικές εκπομπές (π.χ. B9, Ecoliner, Greenheart, Orcelle). Οι περισσότερες εφαρμογές προβλέπουν ανανεώσιμη ενέργεια ως μέρος ενός ολοκληρωμένου πακέτου μέτρων

αποτελεσματικότητας. Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει επίσης πιθανή εφαρμογή σε υποδομές στην ακτή, κυρίως για εναλλακτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να είναι πρωτογενή πρόωση (π.χ. Greenheart, B9, OCIUS), βοηθητική πρόωση (π.χ. UT Wind Challenger, E Ship 1, SkySails) ή βοηθητική υποκατάσταση ισχύος (π.χ. Auriga Leader). Κατά την εξέταση της ενεργειακής απόδοσης της ναυτιλιακής βιομηχανίας ως σύνολο, είναι σημαντικό να ακολουθηθεί μια ολιστική προσέγγιση που υπολογίζει το «Ενεργειακό αποτύπωμα» κάθε τεχνολογίας από την αρχή μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής ενός πλοίου. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλές εφαρμογές με ηλεκτρικά πλοία και πλοία υδρογόνου με κινητήρα με κυψέλες καυσίμου. Η «ανανεώσιμη ενέργεια», πρέπει να θεωρηθεί η κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, όταν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές όπως υδροηλεκτρική ενέργεια, αιολική ή ηλιακή, τότε αυτά μπορούν να θεωρηθούν εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας, όχι όμως, όταν η ενέργεια στις κυψέλες καυσίμου προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές. Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται μια σύνοψη από διαφορετικές εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διαφορετικές κατηγορίες πλοίων.

Πίνακας 5: Εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διαφορετικές κατηγορίες πλοίων.

Renewable energy type		Retrofit (RF) / New Build (NB)	Vessel category, application and potential			
			< 400 tonnes e.g., recreation, artisanal/small fishery, tourism, passenger, break, landing craft, barges, research, coastal patrol and security	400 – <10 000 tonnes e.g., large landing craft, small-medium fishery, domestic Ro-Ro, break bulk, bulk, container, tanker, tramp	10 000 – <50 000 tonnes e.g., Ro-Ro, deep sea fishery, bulk, container, tanker, car carrier, cruise liner	>50 000 tonnes e.g., Very Large Crude Carrier (VLCC), Panamax, Aframax, large container ships
Wind	Soft sails	RF	●●●	●●●	●●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Fixed wings	RF	●●	●●	●●	●
		NB	●●	●●●	●●●	●●
	Rotors	RF	●●	●●	●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Kites	RF/NB	●●	●●	●●	●
Turbines	RF/NB	●	●	●	●	
Solar photovoltaics	Main propulsion	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●	N/A	N/A	N/A
	Auxiliary propulsion	RF	●●	N/A	●	N/A
		NB	●●	N/A	●	N/A
Andillary power	RF/NB	●●	N/A	●	N/A	
Biofuels	1 st Generation	RF	●●	●●	●●	●
		NB	●●	●●	●●	●
	2 nd Generation	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	3 rd Generation	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
Wave	Main propulsion	NB	●	N/A	●	N/A
	Auxiliary propulsion	NB	●	N/A	●	N/A

Keys:	
Current Application	Potential Application
In commercial use	High potential (Scores well on all three metrics: economic, environmental and social)
Proven	Medium potential (Scores on two of the three metrics)
Proof-of-concept	Limited (Scores on only one of the three metrics)
Design	Not available
Concept	
Uncertain	

Αιολική ενέργεια

Ο άνεμος, μια ανεξάντλητη αλλά κάπως απρόβλεπτη μορφή φυσικής ενέργειας, έχει τραβήξει την προσοχή των σχεδιαστών πλοίων και πάλι ως πιθανή βοηθητική πηγή ενέργειας. Η προώθηση με αιολική ενέργεια επιτρέπεται βάσει των υφιστάμενων διεθνών κανονισμών, συμπεριλαμβανομένου του SOLAS.

Πριν από την έλευση της ατμομηχανής, τα πανιά μονοπωλούσαν στην ανοικτή θάλασσα, προωθούσαν σχετικά μικρά πλοία με πολύ πλήρωμα. Σήμερα, μετά από τόσα χρόνια, ο άνεμος αποτελεί ακόμη μια εναλλακτική πηγή ενέργειας. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι οι μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου και η δυσκολία αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού πρόωσης όταν ταξιδεύει μέσα ή κοντά στον άνεμο. Οι τρέχουσες εξελίξεις στην ναυτιλία περιλαμβάνουν την υιοθέτηση πολλών διαφορετικών τύπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο όλους τους τύπους και μεγέθη πλοίων, τόσο ως κύρια όσο και ως βοηθητική πρόωση. Η αιολική ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε μαλακό πανί, σταθερό πανί, ρότορα και αετός ρυμούλκησης.

Ένας μεγάλος αριθμός έργων αιολικής πρόωσης βρίσκεται σε εξέλιξη και κυκλοφορεί ολοένα και περισσότερο στην αγορά, ο οποίος έχει εκτιμηθεί από την ΕΕ ότι θα υπάρξουν έως και 10.700 εγκαταστάσεις μέχρι το 2030 σε φορτηγά, δεξαμενόπλοια και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, δήλωσε ο Gavin Allwright, Γενικός Γραμματέας της IWSA διεύθυνση στο φόρουμ της Διεθνούς Wind Propulsion for Shipping.

Συμβατικά μαλακά πανιά

Τα συμβατικά μαλακά πανιά που συνδέονται με ιστούς προσφέρουν μια αποδεδειγμένη ώριμη τεχνολογία ικανή να εκμεταλλευτεί άμεσα την προωστική δύναμη του ανέμου. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στη βιομηχανία σούπερ γιοτ και σκαφών αναψυχής μπορούν τώρα να ενσωματωθούν στη βιομηχανική χρήση. Τα πανιά μπορούν να αναπτυχθούν ως κύρια ή βοηθητική πρόωση και μπορεί είτε να τοποθετηθούν στην υπάρχουσα κατασκευή ή ενσωματωμένα σε νέα κατασκευή. Οι σημερινοί ηγέτες της αγοράς περιλαμβανομένων του φορτηγού πλοίου Greenheart (75 dwt), το φορτηγό B9 Shipping(3000 dwt) και το Dykstra Ecoliner(7000 dwt) της Fair Transport (Εικόνα 2). Τα δύο τελευταία σχέδια διαθέτουν εκδόσεις των συστημάτων Dyna-Rig που λειτουργούν αυτόματα από τη γέφυρα, επιτρέποντας την αξιοποίηση του ανέμου πιο εύκολα, διατηρώντας τον αριθμό πληρώματος συγκρίσιμο με τα πλοία που κινούνται με ορυκτά καύσιμα και επιτρέποντας εύκολη πρόσβαση σε καταπακτές για φόρτωση και εκφόρτωση φορτίων. Ο μεταφορέας Greenheart's θα αναπτύξει έναν πιο συμβατικό συνδυασμό jib και mainsail. Η καινοτόμος ιταλική ναυτιλιακή εταιρεία, Seagate, έχει κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το πτυσσόμενο πτερύγιο δέλτα για μετασκευή σε υπάρχοντα πλοία, συμπεριλαμβανομένων των Ro-Ro και πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Υπάρχουν επίσης διάφορες διαμορφώσεις rig που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε

μικρής κλίμακα φορτηγά και καταμαράν για τοπική χρήση, ειδικά σε νησιωτικές κοινότητες ή ως βοηθητική δύναμη σε ένα ευρύ φάσμα υπαρχόντων μικρής κλίμακας, συμβατικά μηχανοκίνητα σκάφη.



Εικόνα 3: Greenheart, B9 Shipping, Dykstra Ecoliner, Seagate

Οι προβλέψεις B9 Shipping^[35] και Fair Transport BV Ecoliner^[36] προβλέπουν επιπλέον κόστος κατασκευής και συντήρησης μεταξύ 10-15% του συνολικού κόστους, σε αντάλλαγμα για προβλεπόμενη εξοικονόμηση 60% στα καύσιμα, σημαντικές μειώσεις όσων αφορά την φθορά του κύριου κινητήρα και έλικας και έμμεση μείωση του κόστους από την μείωση των εκπομπών ρύπων. Η Seagate έχει υπολογίσει την εξοικονόμηση καυσίμου 9-19% με περίοδο αποπληρωμής 3-4 ετών για πτυσσόμενα πανιά πτέρυγας δέλτα^[37] (delta wing collapsible sails).

Σταθερά πανιά

Τα σταθερά πανιά είναι ουσιαστικά άκαμπτα «φτερά» σε περιστρεφόμενο ιστό. Τρέχουσες προτάσεις συμπεριλαμβάνουν την χρήση τους σε μεγάλα πλοία (π.χ. UT Wind Challenger και EffShip³³ το οποίο περιλαμβάνει τη χρήση άκαμπτων πανιών που καταλήγουν σε τηλεσκοπικούς ιστούς για έντονες καιρικές συνθήκες ή όταν βρίσκεται στο λιμάνι). Έχουν προταθεί διάφορες μορφές σταθερών πανιών από τα ιαπωνικά πειράματα στη δεκαετία του 1980. Αυτά περιλαμβάνουν το Walker Wingsail, τοποθετημένο στο Ashington των 6 500 dwt, το 1986. Τότε δεν απέδειξαν ουσιαστική εξοικονόμηση και υπάρχουν ορισμένα τεχνολογικά εμπόδια που απομένουν να ξεπεραστούν με τη συνεχή εξέλιξη. Μια βρετανική εταιρεία, Oceanfoil, έχει επανεξετάσει το πανιά και πρόσφερε ένα νέο αναθεωρημένο και βελτιωμένο σχεδιασμό. Νέα εμπορικά σχέδια εμπνευσμένα από τον τομέα των αγωνιστικών σκαφών αναπτύσσονται από το Propelwind^[34]. Η αυστραλιανή εταιρεία, OCIUS Ltd, χρησιμοποιεί σταθερά πανιά σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελ, με επιτυχία στην ισχύ, σε οχηματαγωγιά.

Το OCIUS έχει κατοχυρώσει πρόσφατα μια μοναδική μορφή σταθερού πανιού ικανό να διπλώνει προς τα κάτω για διαφορετικές συνθήκες ανέμου. Προβλέπει ότι η

τεχνολογία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μεγέθη των σύγχρονων σκαφών^[32].

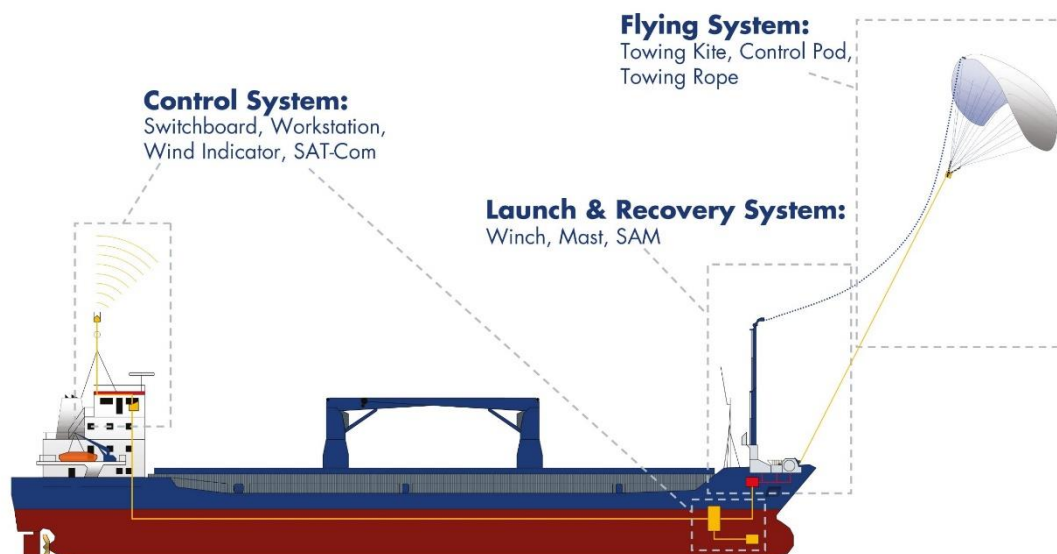


Εικόνα 4: UT Wind Challenger, Oceanfoil

Για την τεχνολογία σταθερών πανιών, η OCIUS Technology Ltd. ανέφερε 5-100% εξοικονόμηση καυσίμου ανάλογα με την εφαρμογή^[38]. Η εταιρεία ισχυρίζεται ότι από μετασκευή με "μηχανοκίνητο πανί", χωρίς να αλλάξει το πρωτεύον σύστημα προώθησης ενός σύγχρονου δεξαμενόπλοιου ή φορτηγού, οι χειριστές πλοίων μπορούν να περιμένουν εξοικονόμηση καυσίμου 20-25% σε διαδρομές διασταύρωσης ισημερινού και 30-40% σε διαδρομές στο ίδιο ημισφαίριο- που αντιπροσωπεύουν μια εκτιμώμενη απόδοση επένδυσης μεταξύ ενός και δύο ετών. Το Oceanfoil έχει υπολογίσει εξοικονόμηση καυσίμου 20% και εκτιμώμενη περίοδος απόσβεσης 15-18 μηνών με την νέα σχεδίαση πανιών^[39]. Το Πανεπιστήμιο του Τόκιο το οποίο προέβλεπε για το UT Wind Challenger^[40], το κόστος των καυσίμων θα μπορούσε να μειωθεί κατά πολύ ως το ένα τρίτο. Το EffSail, που αναπτύχθηκε από το έργο EffShip, έχει μοντελοποιηθεί για να δείξει ότι, υπό ορισμένες συνθήκες, θα μπορούσε να επιτευχθεί εξοικονόμηση στη χρήση καυσίμου έως και 40% με μικρότερους χρόνους απόδοσης από τους χαρταετούς και τους ρότορες με βάση απλουστευμένες οικονομικές παραδοχές^[41].

Towing kite

Μια νέα τεχνολογία για τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι ο «αετός» ρυμούλκησης, ο οποίος συνδέεται με την πλώρη του πλοίου με ένα καλώδιο και μπορεί να ρυθμιστεί σε κατάλληλο υψόμετρο ώστε να βελτιστοποιήσει τη χρήση των ισχυρών ανέμων στη θάλασσα.



Εικόνα 5: Towing kite system [<https://skysails-marine.com/technology.html>]

Τα «εναέρια πανιά» δεν καταλαμβάνουν χώρο στο κατάστρωμα, απαιτούν ελάχιστη μετατροπή, μπορούν να τοποθετούνται κάτω από τις γέφυρες κι να μαζεύονται όταν δεν χρησιμοποιούνται και μπορούν να προστεθούν σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Μπορούν να αφαιρούνται για συντήρηση και ακόμα να χρησιμοποιούνται σε δεύτερο πλοίο. Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει σε ναυπηγείο όπως επίσης και σε κάθε λιμάνι με επαρκή εξοπλισμό σε γερανούς. Το πλοίο μπορεί να παραμένει στο νερό κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, η οποία απαιτεί μία με δύο εβδομάδες.

Το εν λόγω σύστημα παράγει σημαντικά υψηλότερη ενέργεια πρόωσης ανά τετραγωνικό μέτρο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αιολικά συστήματα πρόωσης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των τεχνικών δυνατοτήτων που προκύπτουν από το χωροταξικό διαχωρισμό του πλοίου και του «εναέριου πανιού» που το ρυμουλκεί. Οι παραπάνω παράγοντες ελαττώνουν το αρχικό κεφάλαιο και το λειτουργικό κόστος του εξοπλισμού των πανιών ενώ αυξάνουν τη ενεργειακή απόδοση. Επίσης συγκριτικά με ένα συμβατικό πανί και ένα κατάρτι, ένας αετός ρυμούλκησης στην πλώρη ενός πλοίου ελαχιστοποιεί την κλίση του πλοίου που προκαλείται από τους ισχυρούς ανέμους. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο υποβοηθητικά και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τα συστήματα πρόωσης και παραγωγής ενέργειας σε μεγάλου μεγέθους πλοία.

Η ανύψωση αλλά και η αναδίπλωση του χαρταετού ρυμούλκησης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός τηλεσκοπικού ιστού. Αυτό βοηθάει στη γρήγορη και αποτελεσματική

ανάπτυξη του αετού στο κατάλληλο ύψος και στην κατάλληλη θέση ως προς τον άνεμο, ώστε να επιτευχθεί γρήγορα η καλύτερη δυνατή ταχύτητα για το πλοίο. Η όλη διαδικασία ανάπτυξης και στη συνέχεια αναδίπλωσης του αετού κρατά 15-20'. Ο αετός ανυψώνεται και λειτουργεί σωστά μόνο όταν ο άνεμος έχει την απαραίτητη ένταση αλλιώς δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά και να δώσει στο πλοίο την απαιτούμενη πρόωση. Το πανί είναι συνθετικό, άρα ανθεκτικό σε αέρα και βροχή.

Η εγκατάσταση ενός «αετού» ρυμούλκησης για τα υπάρχοντα πλοία δεν θεωρείται δύσκολη ή δαπανηρή απαιτεί όμως πολύπλοκα συστήματα εκτόξευσης, ανάκτησης και ελέγχου. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει πολύ εύκολα από τη γέφυρα μέσω ενός πίνακα ελέγχου. Η διαδικασία της εκτόξευσης και της ανάκτησης είναι ημιαυτόματη και απαιτούνται μόνο λίγες ενέργειες από το πλήρωμα στο κατάστρωμα της πλώρης.

Η χρήση «αετών» στα πλοία, που μπορεί να προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 10-35% ανά πλοίο ανάλογα με το δρομολόγιο και τις συνθήκες του ανέμου. Η επιφάνεια του αετού καθορίζει την ισχύ που μπορεί να προσφέρει. Μια επιφάνεια χαρταετού ίση με 160 m² αντιστοιχεί σε 600 kW, ενώ μια επιφάνεια ίση με 5.000 m² αντιστοιχεί σε 19.200 kW. Το ελάχιστο μήκος πλοίου στο οποίο μπορεί να εγκατασταθεί ένας χαρταετός είναι 30 m. Το κόστος επένδυσης εξαρτάται από την επιφάνεια, ενώ το λειτουργικό κόστος ανέρχεται στο 5-15% του κόστους επένδυσης. Οι δυνητικοί χρήστες είναι τα δεξαμενόπλοια (αργό πετρέλαιο, προϊόντα, χημικά, LPG, LNG, κ.α) και φορτηγά πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην. Το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί και εκ των υστέρων.

Ένας μικρός αριθμός καινοτόμων εταιριών υποστηρίζει αυτήν την τεχνολογία για πάνω από μια δεκαετία. Το 2008 το MS Beluga Skysails ήταν το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων το οποίο μερικώς κινείται από ένα πανί τύπου αετού ρυμούλκησης, επιφάνειας 160 τ.μ.. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία «SKAYSAILS» με την χρήση των αετών μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 50% τις καλές ημέρες, με ετήσια μείωση καυσίμου από 10% έως 15% ενώ χάρη σε «δυναμικές μανούβρες», ο αετός θα παράγει 5 με 25 φορές περισσότερη ισχύ.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινήθηκε και η ελληνική εταιρία Anbros Maritime. Η Cargill μια απ' τις μεγαλύτερες εταιρείες στον κόσμο στην παραγωγή και προμήθεια τροφίμων, υπέγραψε συμφωνία με την Ελληνική Ναυτιλιακή εταιρεία Anbros Maritime S.A., για να εγκαταστήσει τον μεγαλύτερο «αετό» στον κόσμο στο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου «Αγία Μαρίνα». Το «Αγία Μαρίνα» τυπικά μεταφέρει φορτία γεωργικών και βιομηχανικών πρώτων υλών. Το 170 m μεταφορικό πλοίο κατασκευάστηκε το 1994, και μπορεί να μεταφέρει περίπου 28.500 τόνους ξηρού φορτίου, το 2012 ήταν το μεγαλύτερο πλοίο που χρησιμοποίησε την συγκεκριμένη τεχνολογία αιολικής ενέργειας, που δημιουργείται από την SkySails. Ο 320 τ.μ. αετός, έχει τοποθετηθεί στο πλοίο «Αγία Μαρίνα». Ο αετός ρυμούλκησης της SkySails συνδέεται με το πλοίο με σχοινί και πετάει σε ορθόγωνο σχηματισμό σε ύψος μεταξύ 100 και 420 μέτρων.



Εικόνα 6: Towing kite [<https://skysails-marine.com/technology.html>]

Μέχρι σήμερα, είναι διαθέσιμοι «αετοί» που έχουν έκταση μέχρι 640 m^2 για φορτηγά πλοία, αλιευτικές μηχανότρατες και σκάφη αναψυχής. Παρόλα αυτά Έχουν σχεδιαστεί αετοί επιφανείας μέχρι 5.000 m^2 . Για τον υπολογισμό της απόδοσης κόστους και της μέγιστης δυναμικότητας μείωσης του αετού ρυμούλκησης, έγινε παραδοχή ότι το 2030 θα είναι διαθέσιμοι στην αγορά αετοί μέχρι 5.000 m^2 .

Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ενδεχόμενη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου ενός αετού, διότι το δυναμικό δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του αετού, αλλά και από τη διαδρομή ενός πλοίου και τις αντίστοιχες καιρικές συνθήκες. Στον ακόλουθο πίνακα, δίνονται οι ισοδύναμες ισχύεις του κινητήρα που χρησιμοποιήσαμε για τα διαφορετικά μεγέθη αετού. Οι αριθμοί αυτοί διατηρούνται υπό κανονικές συνθήκες. (Οι τυπικές συνθήκες ορίζονται ως εξής: το σκάφος ταξιδεύει με ταχύτητα 10 κόμβων σε πραγματική πορεία ανέμου 130° , η ταχύτητα ανέμου είναι στους 25 κόμβους, τα κύματα έχουν ύψος έως 60 εκατοστά και ο αετός χειρίζεται χειροκίνητα). Για την χαμηλότερη (υψηλότερη) δεσμευμένη εκτίμηση υποθέτουμε ότι ο αετός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το 1/3 (2/3) των ημερών στη θάλασσα.

Τα δεδομένα κόστους που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Η τιμή αγοράς ποικίλλει ανάλογα με το σύστημα αετού που χρησιμοποιείται. Τα έξοδα εγκατάστασης και λειτουργίας θεωρούνται ως ένα ορισμένο μερίδιο της τιμής αγοράς. Σημειώστε ότι τα δεδομένα κόστους είναι τέτοια ώστε να συμπεριλαμβάνονται πιθανές επανεπενδύσεις κατά τη διάρκεια ζωής ενός σκάφους, δηλαδή 30 χρόνια.

Πίνακας 6: Εκτιμώμενο Κόστος Towing Kite

Επιφάνεια Αετού(Kite area) (m²)	320	640	1280	2500	5000
Τιμή Αγοράς (Σε χιλιάδες US\$)	480	920	1,755	2,590	3,430
Κόστος Εφαρμογής (% από την τιμή αγοράς)	7.5%	7.5%	7.5%	7,5%	7,5%
Ετήσια Λειτουργικά Κόστη (% από την τιμή αγοράς)	5-7%	7-9%	9-11%	11-13%	13-15%

Wind engines

Η πιο ώριμη τεχνολογία πρόωσης ανέμου που διατίθεται σήμερα για εμπορική ναυτιλία είναι το Flettner ή rotor sail, ένας ψηλός, περιστρεφόμενος κύλινδρος που εκμεταλλεύεται το λεγόμενο φαινόμενο Magnus παρουσία πλευρικού ανέμου για να παράγει επιπλέον ώθηση προς τα εμπρός.

Η GreenWave εκτιμά ότι οι τύποι πλοίων άνω των 10.000 dwt που θα μπορούσε να εφαρμοστεί άμεσα η τεχνολογία wind engines, είναι τα πετρελαιοφόρα, τα χημικά δεξαμενόπλοια, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς άλλων προϊόντων και τα πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην. Για τα φορτηγά πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην, προτιμάται ένα σύστημα τεσσάρων ροτόρων (δύο εμπρός και δύο πρυμναίων), καθώς οι ρότορες πρέπει να μην επηρεάζουν στις εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Ένα σύστημα τριών ροτόρων με κεντρική διαμόρφωση μπορεί να εφαρμοστεί σε δεξαμενόπλοια όπου εμπλέκονται εργασίες με γερανούς. Επομένως, υποθέτουμε ότι ένα σύστημα τεσσάρων ροτόρων εφαρμόζεται σε φορτηγά και ένα σύστημα τριών ροτόρων σε δεξαμενόπλοια. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα μόνο για Supramax με 55.000 dwt, μόνο για χάριν συγκρίσεις λαμβάνουμε υπόψη μόνο τα πετρελαιοφόρα και τις φορτηγίδες με περισσότερους από 60.000 dwt ως δυνητικούς χρήστες των ροτόρων (Greenwave, 2009).

Όσο αφορά τη τεχνική ωριμότητα της εγκατάστασης. Η GreenWave πραγματοποίησε δοκιμές μοντέλου κλίμακας. Η Enercon έκτισε ένα φορτηγό πλοίο (E-ship 1) εξοπλισμένο με τέσσερις ρότορες που παραδόθηκε το καλοκαίρι του 2010 (Greenwave 2009).

Για ένα βυτιοφόρο Supramax με 55.000 dwt εξοπλισμένο με ένα σύστημα τεσσάρων ροτόρων (ύψος ρότορα 20 m και διάμετρος 2,3 m) που είναι 246 ημέρες στη θάλασσα

ετησίως, η Greenwave εκτιμά ότι η μέση εξοικονόμηση καυσίμου είναι 1.023 τόνοι ετησίως.

Η Greenwave εκτιμά ότι το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης τεσσάρων ροτόρων κυμαίνεται από 0,8 εκατομμύρια δολάρια (ΗΠΑ) έως 1 εκατομμύριο δολάρια (Greenwave, 2009). Υποθέσαμε ότι το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης είναι γραμμικό και τα λειτουργικά έξοδα δεν είναι γνωστά.

Τόσο η wind engines όσο και ο αετός ρυμούλκησης (towing kite) είναι νέες τεχνολογίες και ενδέχεται να υποστούν μείωση του κόστους εγκατάστασης όταν η τεχνολογία εφαρμόζεται ευρέως στα πλοία.



Εικόνα 7: Alcyone, E-Ship 1

Το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου μειώνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος του πλοίου: Έχει ήδη επιτευχθεί εξοικονόμηση 60% για μικρά πλοία ενώ γίνονται εξοικονομήσεις έως και 19% σε πολύ μεγάλους μεταφορείς αργού πετρελαίου (VLCC). Η μελέτη Ulysses έχει επικεντρωθεί σε ultra-slow steaming σενάρια για να αποδείξει ότι η ενεργειακή αποτελεσματικότητα του παγκόσμιου στόλου μπορεί να αυξηθεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η μείωση των εκπομπών κατά 80% έως το 2050 βάσει των αρχικών σεναρίων του 1990, με πλοία του μέλλοντος που ταξιδεύουν με ταχύτητες τόσο αργές όσο πέντε κόμβους. Σε ένα τέτοιο σενάριο, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσαν να διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο.

Στα τέλη Ιουνίου 2018, το Fehn Pollux (εικόνα 7) των 4,250 τόνων έφυγε από το λιμάνι της Leer της Γερμανίας, για την πρώτη θαλάσσια δοκιμή του πρόσφατα εγκατεστημένου ρότορα ECO FLETTNER. Ήταν το αποκορύφωμα ενός μακροπρόθεσμου κοινού έργου στο οποίο συμμετείχαν διάφοροι εταίροι από τη ναυτική βιομηχανία όπως το Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών Emden / Leer και DNV GL. Το έργο MariGreen υποστηρίζεται από το πρόγραμμα Interreg της ΕΕ για τη γερμανο-ολλανδική παραμεθόρια περιοχή και συντονίζεται από τη MARIKO, με την ολλανδική βιομηχανική ένωση FME ως συνεργάτη.



Εικόνα 8: Το MPV Fehn Pollux στις αρχές του καλοκαιριού 2018^[53] (marigreen.eu/Berentzen/Ulferts)

Το ECO FLETTNER που αναπτύχθηκε για το Fehn Pollux αντιπροσωπεύει έναν πλήρη επανασχεδιασμό της έννοιας Flettner, η οποία αρχικά εφευρέθηκε πριν από έναν αιώνα. Ρότορας δεκαοκτώ μέτρα ύψος και 3 μέτρα σε διάμετρο, περιστρέφεται γύρω από ένα στάσιμο ιστό με ρουλεμάν σε δύο κρίσιμα ύψη. Έχει πολλά καινοτόμα χαρακτηριστικά σχεδιασμού, όπως ελαφριά υλικά, ρουλεμάν υψηλής απόδοσης και δυνατότητα περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.

«Δεν θέλαμε να πάρουμε καμία πιθανότητα», λέει ο Ralf Oltmanns του MariGreen, ο οποίος ηγείται του έργου ECO FLETTNER «Πριν από την εγκατάσταση του ρότορα επί του σκάφους Fehn Pollux, πραγματοποιήσαμε πολύ διεξοδικές δοκιμές στην τεχνολογία του ρότορα χρησιμοποιώντας και τα δύο μοντέλα κλίμακας σε σήραγγες ανέμου και το πλοίο με κλίμακα 1: 1 στον αέρα. Θέλαμε να είμαστε σίγουροι ότι το σύστημα ήταν απολύτως έτοιμο για πραγματικές συνθήκες. Η DNV GL ενέκρινε τη δομή και τα συστήματα του πλοίου στο βαθμό που είναι σχετικό με την εγκατάσταση του ρότορα. Χάρη στην προσεκτική προετοιμασία και τον προγραμματισμό, η οικοδόμηση της βάσης και η τοποθέτηση της μονάδας στο πρόστεγο μέρος του πλοίου καθώς και η εγκατάσταση του απαιτούμενου εξοπλισμού καλωδίωσης και ελέγχου δεν χρειάστηκαν περισσότερες από 20 ημέρες.

Το έργο Fehn Pollux rotor sail είναι τόσο τεστ φυσικής κατάστασης όσο και επιστημονικό πείραμα. Ένα πλήθος αισθητήρων εγκαταστάθηκαν επί του σκάφους που τώρα συλλέγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων για να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. «Εκτός από τα δεδομένα ανέμου και πλοήγησης, συλλέγουμε πληροφορίες σχετικά με τη μετάδοση και τη ροή λαδιού και

τη θερμοκρασία του λαδιού, τους κραδασμούς του ρότορα, τη συσσώρευση πάγου στο ρότορα, τις ταχύτητες περιστροφής κ.λπ.», περιγράφει ο Oltmanns.

Μετά από έξι ολόκληρους μήνες λειτουργίας, ήταν διαθέσιμα αρκετά επιχειρησιακά δεδομένα για να εξαχθούν ορισμένα βασικά συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα του ρότορα. Όλα τα δεδομένα απόδοσης υπερβαίνουν τις προβλέψεις που έγιναν από το Πανεπιστήμιο Emden / Leer με βάση τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς της σήραγγας με μεγάλο περιθώριο: Στα 4-5 Beaufort, ο ρότορας είναι 20% πιο αποτελεσματικός από ό, τι υπολογίστηκε ενώ στα 7,5-8 Beaufort, η αποδοτικότητά του είναι έως και 40% καλύτερη από την προβλεπόμενη. Για να πραγματοποιήσει αυτές τις συγκρίσεις, το πλήρωμα έλαβε μετρήσεις με τον ρότορα ενεργοποιημένο και απενεργοποιημένο σε πανομοιότυπες συνθήκες θάλασσας και ανέμου.

Το Πανεπιστήμιο Emden / Leer έχει αναπτύξει έναν απλοποιημένο τύπο για τον υπολογισμό των οικονομικών οφελών του ECO FLETTNER: σε μεσαίες συνθήκες ανέμου η μονάδα παράγει 2 kW ισχύς πρόωσης ανά τετραγωνικό μέτρο προβλεπόμενης περιοχής ($H \times D$) κατά μέσο όρο ανά ημέρα, βασισμένο στην ισχύ του κύριου κινητήρα. Το μέσο δυναμικό απόδοσης του ECO FLETTNER στο Fehn Pollux, βάση του κύριου κινητήρα όπως καθορίζεται από το πανεπιστήμιο, είναι 100-150 kW. Η εξοικονόμηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή λειτουργίας του πλοίου.

Αναμένεται εξοικονόμηση περίπου 10-20%, ανάλογα με την ταχύτητα του πλοίου και την απόδοση του κύριου κινητήρα. Ο ρότορας του πλοίου έχει προβλεπόμενη έκταση 54 τετραγωνικών μέτρων. Πολλαπλασιαζόμενο με 2 kW, το πλοίο εξοικονομεί ετήσιο μέσο όρο 108 kW στη θάλασσα πέρα από την κύρια απόδοση του κινητήρα του, που ισοδυναμεί σε 15% εξοικονόμηση ενέργειας και εκπομπών. Αυτό ισχύει για μεσαίες συνθήκες ανέμου. Σε καλές συνθήκες ανέμου, όπως στις εμπορικές διαδρομές ανέμου, ο ρότορας παράγει 2,5 kW ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας και σε πολύ καλές συνθήκες ανέμου η απόδοση υπερβαίνει τα 3 kW.

Με βάση αυτήν την απλή φόρμουλα, οι πλοιοκτήτες μπορούν εύκολα να υπολογίσουν το καλύτερο μέγεθος και τον αριθμό των πανιών ρότορα που θα πρέπει να εγκαταστήσουν για να επιτύχουν ένα συγκεκριμένο ποσό εξοικονόμησης ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετός χώρος επί του σκάφους. Σε περιοχές με χαμηλό άνεμο συνιστάται μεγαλύτερο μέγεθος ρότορα και το αντίστροφο. Φυσικά, πρέπει να εξεταστεί και η επένδυση κεφαλαίου.

Οι ρότορες μπορούν να τοποθετηθούν εκ νέου σε υπάρχοντα πλοία και έχουν γίνει αποδεκτά από τον IMO για τον υπολογισμό του EEDI. Δεν απαιτούν επιπλέον προσωπικό επί του σκάφους. Η εγκατάσταση του πλέγματος του ρότορα στο πρόστεγο έχει θετική επίδραση στην ευελιξία του σκάφους και την ισχύ του πλέγματος των ροτόρων. «Πολλά πλοία του παγκόσμιου εμπορικού στόλου θα μπορούσαν να επωφεληθούν από ένα ή περισσότερους στροφείς χωρίς να περιορίσουν τη χρήση άλλων τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών, υπό την

προϋπόθεση ότι το πλέγμα του ρότορα είναι αρκετά εκτεθειμένο στα στοιχεία της φύσης.

Οι ανεξάρτητες από την κατηγορία συμβουλευτικές υπηρεσίες της DNV GL μπορούν να πραγματοποιήσουν αναλύσεις και προσομοιώσεις για να προβλέψουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων τύπων ροτόρων για συγκεκριμένα πλοία, εμπορικές διαδρομές και λειτουργικά προφίλ και να βοηθήσουν τους χειριστές να προσδιορίσουν τη σκοπιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης^[53].

Ηλιακή ενέργεια

Φωτοβολταϊκά πάνελ

Γενικά, φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη που έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλες οι εξελίξεις σε αυτήν την ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία είναι διαθέσιμες για χρήση στην ναυτιλία. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν μόνο σε πλοία που διαθέτουν αρκετό χώρο στο κατάστρωμα (δεξαμενόπλοια, οχήματα μεταφοράς οχημάτων και πλοία RoRo). Η ηλιακή ενέργεια στα πλοία είναι μία εναλλακτική πηγή ενέργειας η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι ηλιακοί συλλέκτες εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα του πλοίου μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε ηλεκτρικό κινητήρα πρόωσης ή στα βοηθητικά εξαρτήματα του πλοίου. Ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμων μέχρι 3.5% για δεξαμενόπλοια, μέχρι 2.5% για πλοία μεταφοράς οχημάτων και μέχρι 1% για οχηματαγωγά. Το κόστος επένδυσης είναι γνωστό μόνο από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε ιαπωνικό μεταφορέα αυτοκινήτων, αντικαθιστώντας έτσι τα 40 kW των βοηθητικών κινητήρων με ηλιακά στοιχεία, το δυναμικό μείωσης των φωτοβολταϊκών κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 3,75%. Το κύριο μειονέκτημα, ωστόσο, είναι η πολύ μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια που απαιτείται ανά kW παραγόμενης ισχύος.

Για έναν μεταφορέα αυτοκινήτων που εγκατέστησε 40kW φωτοβολταϊκών, το κόστος επένδυσης είναι γνωστό ότι είναι 1,67 εκατομμύρια δολάρια (ΗΠΑ). Λόγω της έλλειψης περαιτέρω δεδομένων κόστους, έγινε μια απλουστευμένη υπόθεση ότι εάν ένα πλοίο χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια, εγκαθιστά τα ηλιακά κύτταρα στο ίδιο κόστος [1.330.000 USD (2007)]. Το κόστος της ηλιακής ενέργειας μπορεί να μειωθεί στο μέλλον όταν η τεχνολογία είναι ώριμη και εφαρμόζεται σε μεγάλες κλίμακες πλοίων.

Η διεθνής εταιρεία Eco Marine Power (EMP), με έδρα τη Φουκουόκα της Ιαπωνίας, αναπτύσσει καινοτόμες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογίες ανακύκλωσης καυσίμων και εκπομπών για ναυτιλιακές και υπεράκτιες εφαρμογές. Σύμφωνα με την EMP, το πρωτοποριακό σύστημα πλοίων ηλιακής ενέργειας, το Aquarius MRE, είναι ένα προηγμένο ολοκληρωμένο σύστημα άκαμπτων πανιών, θαλάσσιων φωτοβολταϊκών, μονάδων αποθήκευσης ενέργειας και υπολογιστές πλοίων που θα επιτρέψουν στα πλοία να αξιοποιήσουν την ανανεώσιμη ενέργεια αξιοποιώντας δύναμη που παρέχεται από τον άνεμο και τον ήλιο. Η χρήση αυτών των εναλλακτικών πηγών ισχύος και πρόωσης θα μειώσει την κατανάλωση καυσίμου, θα μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση και θα μειώσει τις εκπομπές CO₂". Αν όλα πάνε καλά, αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε επίσης να επεκταθεί στους τομείς των κρουαζιερόπλοιων και των μεταφορέων ορυκτών.

Τα άκαμπτα, ακόμη και τα λεπτά και εύκαμπτα πανιά ηλιακών πάνελ χρησιμοποιούν όλη την ηλιακή και αιολική ενέργεια που είναι άμεσα διαθέσιμα στην ανοικτή θάλασσα και μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ενός μεγάλου φορτηγού πλοίου κατά 10% (περίπου 4 τόνους καυσίμου την ημέρα). Το 10% μπορεί να μην φαίνεται να είναι μια τεράστια μείωση, αλλά εάν υπολογίσετε τις εκατοντάδες χιλιάδες πλοία που ταξιδεύουν σε όλο τον κόσμο ετησίως, αυτό θα ισοδυναμούσε με μείωση 250 εκατομμυρίων τόνων καυσίμου ετησίως.

Ωστόσο, το κόστος για τα ηλιακά πάνελ για ένα πλοίο είναι περίπου \$ 200 - \$ 500.000 και οι εταιρείες δεν θα δουν απόδοση της επένδυσής τους για τουλάχιστον πέντε έως οκτώ χρόνια, οπότε, δυστυχώς, οι πλοιοκτήτες δεν επενδύουν στην ευκαιρία αυτή - κανείς δεν τους πίεζε να ελέγχουν τις εκπομπές καυσαερίων τους μέχρι πολύ πρόσφατα.

Η Κίνα έχει ήδη δρομολογήσει ένα ηλεκτρικό φορτηγό 2000mt και η EMP αναφέρει ότι οι πλοιοκτήτες αρχίζουν να έρχονται σε επαφή μαζί τους για να δουν πώς μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων - ενδεχομένως κάτι που συμβαίνει με τους νέους κανόνες που επέβαλε ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO), οι οποίοι τέθηκαν σε ισχύ στις αρχές του 2020. Ενώ η πλήρης οικολογική ναυτιλία εξακολουθεί να απέχει ακόμα δεκαετίες, τα καλά νέα είναι ότι καταβάλλονται προσπάθειες και ότι οι άνθρωποι πλησιάζουν.

Το κόστος για τα ηλιακά πάνελ στα πλοία μπορεί να είναι μεγάλο, αλλά το κόστος για το περιβάλλον είναι ακόμα μεγαλύτερο, καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι η έκτη μεγαλύτερη πηγή ρύπανσης αερίων θερμοκηπίου στον κόσμο. Επομένως, μένει να δούμε αν υπάρχει φθηνότερη επιλογή ηλιακής ενέργειας ή εάν οι ηλιακοί συλλέκτες στα πλοία καθίστανται υποχρεωτικοί ή αν οι εφοπλιστές αρχίζουν να σκάβουν στις τσέπες τους (και τη συνείδησή τους) για να βοηθήσουν το περιβάλλον.^[24]

Blue Star Delos



Εικόνα 9: Blue Star Delos ^[44]

Πίνακας 7: Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου

Blue Star Delos - vessel particulars (Flag: Greece)			
Built	2011	Main Engines	4× MAN B&W 18 V 32/40
Length	145 m	Main Engines Total Power	32,000 kW
Breadth	22 m	2 Shaft Alternators (Main)	1254 kW (each)
Gross Tonnage (GRT)	18,498 tonnes	3 Diesel Alternators (Aux)	1320 kW (each)
Deadweight (DWT)	2775 tonnes	Passengers	2400
Draft	5.70 m	Vehicles	430
Service Speed	26 knots	Lanemeters	600
IMO Number	9565039	Classification	Bureau Veritas

Το 2014 το Ε/Γ- Ο/Γ Blue Star Delos, έγινε το πρώτο πλοίο αυτού του τύπου που έχει εγκατασταθεί ένα θαλάσσιο σύστημα ηλιακής ενέργειας. Αυτό το σύστημα εγκαταστάθηκε ως μέρος μιας ευρύτερης μελέτης για αξιολόγηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε εμπορικά πλοία. Παράδειγμα μικρότερων σκαφών εξοπλισμένα με ηλιακούς συλλέκτες είναι το MS Tûranor PlanetSolar. Το Delos είναι ένα μεγάλο εμπορικό πλοίο και έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει 2400 επιβάτες και 430 οχήματα (Blue Star Fleet) και συνήθως αναχωρεί καθημερινά από το λιμάνι του Πειραιά, στις 07:25 και επιστρέφει στις 23:25. Το πλοίο είναι ζωτικής σημασίας γιατί συνδέει πολλά νησιά στο Αιγαίο Πέλαγος και συχνά λειτουργεί σε δύσκολες συνθήκες με εμφανείς ταχύτητες ανέμου άνω των 50 κόμβων. Το πλοίο ενσωματώνει επίσης πολλά καινοτόμα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν εξαιρετικά αποδοτικούς εναλλάκτες άξονα (shaft alternator) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Holthof 2012).

Το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας (PV System) στο Delos έχει χαρακτηριστεί ως θαλάσσιο σύστημα ηλιακής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ

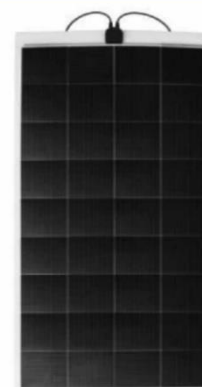
θαλάσσης είναι σχεδιασμένα για να αντέχουν στην έκθεση σε αλμυρό νερό όπως και όλες τις εξωτερικές καλωδιώσεις.

Το σύστημα υπολογιστών καταγραφής δεδομένων και οι μπαταρίες είναι Nirron Kaiji Kyokai (ClassNK), εγκρίθηκε και πιστοποιήθηκε για χρήση σε πλοία. Επιπλέον, ο συνολικός σχεδιασμός του συστήματος έχει γίνει αποδεκτός από την ClassNK για χρήση σε σκάφη.

Η θαλάσσια διάταξη ηλιακής ενέργειας ή η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από 16 λεπτά φωτοβολταϊκά πάνελ κατασκευασμένα με χρήση πολυκρυσταλλικών στοιχείων. Τα πολυκρυσταλλικά κελιά και ένα κουτί διακλάδωσης είναι κολλημένα σε ένα εύκαμπτο και ελαφρύ υλικό στήριξης που έχει πάχος 2 mm. Υπάρχει χώρος περιγράμματος σε κάθε πίνακα και ως εκ τούτου, η περιοχή που καλύπτεται από φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι 0,90m² ενώ συνολική επιφάνεια κάθε πίνακα είναι 1,03m². Κάθε πάνελ συνδέεται σε ένα δίσκο αλουμινίου και τοποθετείται ελαφρώς πάνω από το κατάστρωμα. Τα πάνελ συνδέονται με συστοιχία τεσσάρων σειρών, με δύο σειρές συνδεδεμένες παράλληλα με έναν ελεγκτή φορτίου.

Πίνακας 8: 145 W PV panel specifications, and image of 145 W PV panel [Solbian Energie Alternative Srl. 2016]

Component	Details		
Solar Panel Array Total: 2.32 kWp	16 × 145 Wp Marine Grade PV Panels	P _{Max} (+/-5%)	145 Wp
Energy storage	12 × VRLA 12 V Batteries. Configured as a 24 V Battery Pack. Total: 5.4 kWh	Panel dimensions	1515 × 680 mm
Computer system	MAS with combined CPU/AGU, ILS unit, data hubs & associated communication devices	PV cell area	0.90 m ²
Charge controllers	2 × 60 A MPPT Charge Controllers	Panel thickness	2 mm
Other equipment	1 × GPS antennae & receiver. Circuit breakers, relays, switches, etc.	Panel weight	2 kg
		V _{OC}	22 V
		V _{PM}	18 V
		I _{SC}	8.7 A
		I _{PM}	8.1 A
		Panel efficiency	15%




Η μέση παραγωγή ενέργειας υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 13.5kWh. Η φόρτιση των μπαταριών ξεκινούσε καθημερινά περίπου στις 07:30 και ολοκληρωνόταν πλήρως πριν από τις 12:00. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που μετρήθηκε κοντά στη συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων ήταν 1120W / m² και η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε στην επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών ήταν 50,1 ° C. Το φωτοβολταϊκό σύστημα φάνηκε να λειτουργεί χωρίς σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση όταν οι θερμοκρασίες επιφανείας των πλαισίων βρίσκονταν κοντά σε αυτό το επίπεδο.

Ο λόγος απόδοσης υπολογίστηκε 0,82, που ισοδυναμεί με απώλειες συστήματος 18%, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι απώλειες ισχύος στο σύστημα ήταν πολύ μικρότερες από τις εκτιμώμενες. Εντούτοις, τυπικά η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος βασίζεται σε δεδομένα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας μακρύτερης περιόδου με τους 12 μήνες ως το συνιστάμενο χρονικό πλαίσιο. Επιπλέον, η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος επηρεάζεται από τις εποχές

και τις καιρικές συνθήκες και κατά τη διάρκεια των δύο δοκιμών οι συνθήκες ήταν σχεδόν ιδανικές.

Δώδεκα μπαταρίες lead acid (VRLA)(Valve Regulated Lead Acid) ρυθμιζόμενες με βαλβίδες, εγκαταστάθηκαν σε χώρο εξοπλισμού ακριβώς κάτω από την συστοιχία των ηλιακών πάνελ. Αυτές συνδέθηκαν σε διαμόρφωση δύο επί έξι για να σχηματίσουν μια μπαταρία 24V, 5.4kWh. Οι μπαταρίες προστατεύονται από υπερβολική εκφόρτωση μέσω ελεγχόμενου ρελέ, ο οποίος τις αποσυνδέει από το φορτίο αν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτή η τάση ρυθμίστηκε στα 23,4V. Οι μπαταρίες αποθηκεύουν ενέργεια από την ηλιακή συστοιχία και σταθεροποιούν επίσης την τάση εξόδου στο φορτίο.


Πίνακας 9: FC-38-12 specifications and picture of one FC-38-12 battery on Delos.

Voltage	12 V	
Capacity (20 Hr)	38 Ah	
Dimensions	172(h) × 165(w) × 197(d) mm	
Weight	15.5 kg	
Self-discharge (at 25°C)	Less than 0.1% per day	

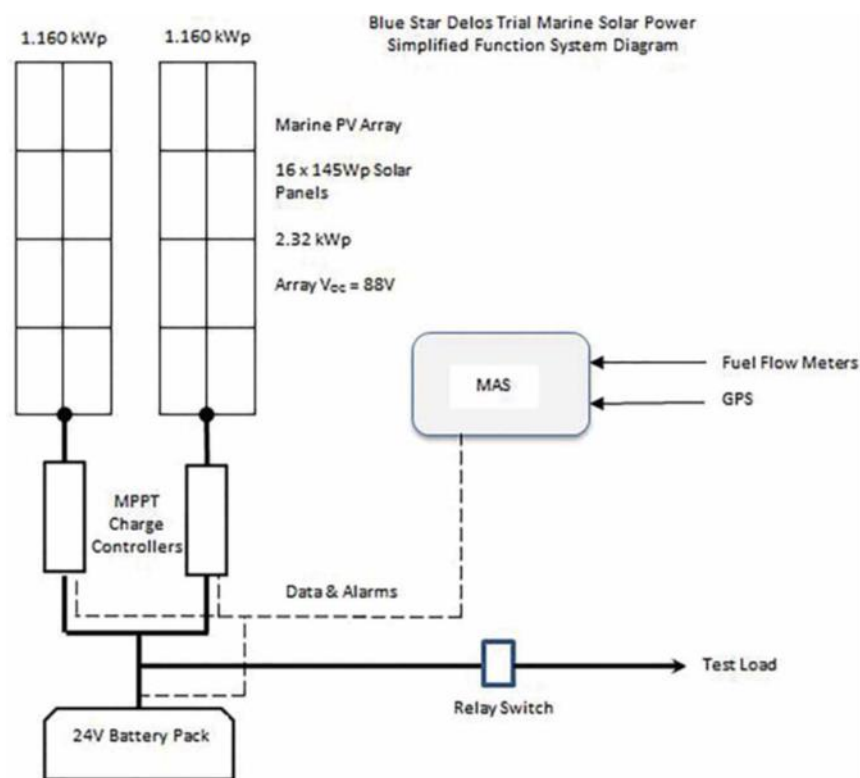
Επιπλέον χρησιμοποιούνται δύο ελεγκτές φορτίου ανίχνευσης μέγιστου σημείου ισχύος (maximum power point tracking- MPPT) για να προσαρμόζουν την τάση της συστοιχίας φωτοβολταϊκών στην τάση της μπαταρίας και να ρυθμίζουν τη φόρτιση. Οι ελεγκτές φορτίου βελτιστοποιούν επίσης δυναμικά την τάση εισόδου των φωτοβολταϊκών για να μεγιστοποιήσουν την ισχύ εξόδου. Κάθε ελεγκτής συνδέεται με μια ομάδα οκτώ φωτοβολταϊκών πλαισίων που με τη σειρά τους διαμορφώνονται σε δύο σειριακά συνδεδεμένες σειρές τεσσάρων πάνελ η καθεμία.

Ως μέρος μίας μεγαλύτερης έρευνας για την αξιολόγηση της χρήσης της ανανεώσιμης ενέργειας στα πλοία, εγκαταστάθηκε σύστημα αυτοματισμού και καταγραφής δεδομένων (MAS) επί του σκάφους Delos τον Οκτώβριο του 2014. Το MAS αποτελείται από μια συνδυασμένη κεντρική μονάδα επεξεργαστή (CPU) / προηγμένη μονάδα γραφικών (AGU), σύνδεσμος εισόδου / εξόδου μονάδα συστήματος (ILS) και οθόνη αφής LCD που βρίσκεται στο θάλαμο ελέγχου κινητήρα (ECR) και στις συσκευές εγκατεστημένες στο AHU Room. Το MAS συνδέεται με τα κύρια στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος έτσι ώστε τα βασικά δεδομένα απόδοσης μπορούν να καταγραφούν και επίσης λαμβάνει δεδομένα από μια μονάδα GPS και μετρητές ροής καυσίμου.

Πίνακας 10: MAS specifications and picture of MAS display in Delos ECR.

Main unit	KEI 3240 CPU\AGU	
Communications	Ethernet, RS-232c, ILS, USB	
Power consumption	25 W	
Display	LCD Touch-screen	
Operating range (°C)	+5 to 50	

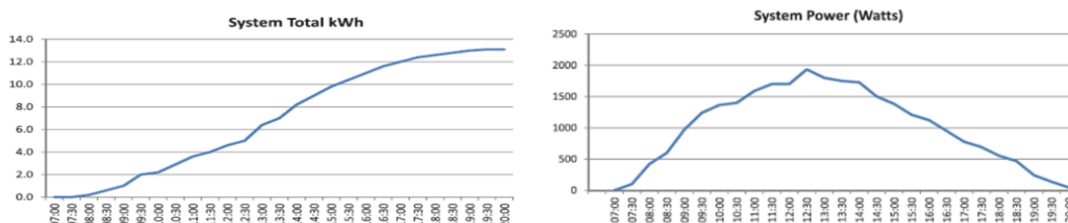
Οι ελεγκτές χρησιμοποιούνται για να ταιριάξουν την τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με την τάση μπαταρίας και ρυθμίζουν την φόρτιση. Οι ελεγκτές φόρτισης βελτιστοποιούν επίσης δυναμικά την τάση εισόδου του PV για να μεγιστοποιήσει την ισχύ εξόδου και έχει αρκετούς τρόπους λειτουργίας. Κάθε ελεγκτής συνδέεται με μια ομάδα οκτώ φωτοβολταϊκών πάνελ τα οποία με τη σειρά τους διαμορφώνονται σε δύο σειριακά συνδεδεμένες σειρές τεσσάρων πάνελ το καθένα. Δεδομένα από αυτές τις μονάδες αποστέλλονται μέσω συσκευών διασύνδεσης στο MAS και κάθε ελεγκτής φόρτισης διατηρεί έως και 128 ημέρες δεδομένα απόδοσης.



Εικόνα 10: Απλοποιημένο διάγραμμα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στο Blue Star Delos

Οι δοκιμές στο Blue Star Delos έδειξαν ότι ένας θαλάσσιος ηλιακός συλλέκτης χαμηλής τάσης συστήματος ισχύος με χρήση λεπτών πάνελ PV, τεχνολογία και ενέργεια αποθήκευσης, θα μπορούσε να παρέχει μια συνεχή σταθερή παροχή ισχύος σε φορτίο DC. Η έξοδος ισχύος του συστήματος συναντήθηκε ή υπερέβη τις

προσδοκίες σχεδιασμού και όσο αφορά την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ δεν φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από τη συσσώρευση βρωμιάς και αλατιού. Ωστόσο, η ανάλυση των δεδομένων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πρέπει να ληφθεί υπόψη, το ίδιο και η δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης ισχύος με ρύθμιση του συστήματος. Επιπλέον οι επιπτώσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος στα ηλιακά πάνελ και τα πλαίσια αλουμινίου απαιτούν περαιτέρω μελέτη, συμπεριλαμβανομένης του καθορισμού της συχνότητας της συστοιχίας των ηλιακών πάνελ που πρέπει να πλένονται και να συντηρούνται.



Διάγραμμα 1: Μέση ισχύ εξόδου φωτοβολταϊκού συστήματος κατά τη διάρκεια δοκιμών & ημερήσια συνολική ηλεκτρική παραγωγή (μέσος όρος) κατά τη διάρκεια δοκιμών.

Τέλος, η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων μαζί με φορτία DC χαμηλής τάσης είναι ένα θέμα που απαιτεί περαιτέρω έρευνα. DC LED φώτα, για παράδειγμα, συνήθως καταναλώνουν το 1/5 της ισχύος για να παραδώσουν το αντίστοιχο επίπεδο φωτισμού από τα φώτα AC υψηλότερης τάσης.

Επομένως, θα πρέπει να είναι δυνατή η σημαντική μείωση του φορτίου στις γεννήτριες των πλοίων χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό θαλάσσιας ηλιακής ενέργειας και τεχνολογίες φωτισμού LED^[44].

Κεφάλαιο 7ο:Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Η τεχνολογία των ηλεκτρικών πλοίων παρουσιάζει σήμερα πολλά αποδεδειγμένα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των πλεονεκτημάτων όσον αφορά την ταχύτητα, την ευελιξία, τη χρήση του χώρου εντός του πλοίου και την ανοχή σε σφάλματα ^[1/15]. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές διαμορφώσεις προσφέρουν αυξημένη αποδοτικότητα της συνολικής χρήσης ενέργειας του πλοίου, μειώνουν το κόστος και παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα εξυπηρέτησης για τους ναυτικούς, με μειωμένες απαιτήσεις επάνδρωσης ^[15]. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα αφορούν εφαρμογές που κυμαίνονται από συμβατικά πλοία που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές βοηθητικές μονάδες στήριξης, σε πλοία με πλήρη ηλεκτρική πρόωση ή ακόμα και σχέδια ηλεκτρικών πλοίων. Εντούτοις, σε κάθε περίπτωση, είναι υποχρεωτική η χρήση συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που πληροί ορισμένες βασικές απαιτήσεις.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας του πλοίου θα πρέπει να παρουσιάζει διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί και να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Προσδιορίζονται δύο κύριες κατηγορίες εφαρμογών:

- Zonal Energy Storage (ZES)
- Pulse Power Energy Storage (PPES)

Οι τυπικές απαιτήσεις στις εφαρμογές ZES είναι για ισχύ από 1 έως 8 MW που παρέχεται σε χρόνο από 0,5 έως 300 δευτερόλεπτα, η οποία απαιτεί αποθήκευση ενέργειας από 0,5 έως 2400 MJ. Η βασική απαίτηση εφαρμογής ZES είναι να αποθηκεύει πολύ αποτελεσματικά την ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους. Η απόρριψη της ενέργειας δεν λαμβάνει χώρα σε τακτική βάση και για τις περισσότερες εφαρμογές απελευθερώνεται σε μια περίοδο που μετράτε σε πολλά δευτερόλεπτα ^[1]. Όταν ένα πλοίο είναι σε κατάσταση λειτουργίας που επιτρέπει τη λειτουργία σε έναν κύριο βασικό κινητήρα ZES τέτοιου τύπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει τις υπηρεσίες του πλοίου και την πρόωση σε περίπτωση απώλειας του μοναδικού κύριου κινητήρα. Με τον κατάλληλο σχεδιασμό, ένα σύστημα ZES θα μπορούσε να υποστηρίξει όλες τις ζωτικές υπηρεσίες στο πλοίο και ένα περιορισμένο βαθμό προωστικής δύναμης έως ότου καταστεί διαθέσιμος ένας εναλλακτικός κινητήρας. Έτσι αποφεύγετε να παραμείνει το πλοίο χωρίς πρόωση, αποφεύγετε η λειτουργία περιττών πρωτευόντων κινητήρων και μεγιστοποιείται η οικονομία καυσίμου.

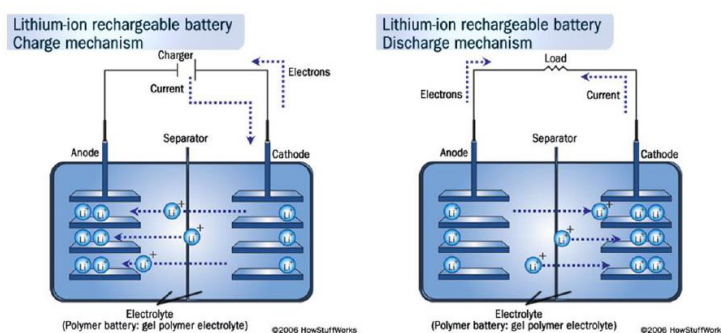
Οι απαιτήσεις στα συστήματα PPES είναι πολύ διαφορετικές και απαιτούν ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που μπορεί να αποφορτίσει την ενέργειά του σε λιγότερο από λίγα δευτερόλεπτα, μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί σε πολύ συχνή βάση και εξακολουθεί να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Στον Πίνακα παρουσιάζονται μερικές από τις τυπικές παραμέτρους αποθήκευσης ενέργειας PPES.

	<i>Discharge time in seconds</i>	<i>Discharge energy in MJ</i>	<i>Stored Energy in MJ</i>	<i>Repeat time in seconds</i>
Rating 1	0.5	2	4	60
Rating 2	2.5	6	12	60
Rating 3	2.5	17.5	35	60
Rating 4	2.5	35	70	60

Συστήματα μπαταριών

Μπαταρίες λιθίου

Η ενεργειακή απόδοση σε αυτό το τύπο μπαταριών είναι γύρο στο 90-100%. Καθώς επίσης προσφέρουν υψηλή πυκνότητα φόρτισης 100 - 150 Wh / kg ^[3] και ακόμη υψηλότερες πυκνότητες ενέργειας σε συστήματα νανοςύνθετων ηλεκτροδίων.



Εικόνα 12: Βασικές αρχές μπαταρίας ιόντων λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν πάρει το 50% της μικρής φορητής αγοράς τα τελευταία χρόνια, ωστόσο υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις για τη δημιουργία μπαταριών ιόντων λιθίου μεγάλης κλίμακας. Η αυτοκινητοβιομηχανία οδηγεί μεγάλο μέρος της εξέλιξης της τεχνολογίας μπαταριών λιθίου, για παράδειγμα με το σύστημα μπαταριών Tesla roadster που χρησιμοποιεί μπαταρίες λιθίου. Το σύστημα Tesla αποτελείται από 6800 μικρά κύτταρα ιόντων λιθίου και έχει ονομαστική ισχύ περίπου 200 kW ^[5].

Το υψηλό κόστος των μπαταριών λιθίου αποτελεί τον κυριότερο πρόβλημα για τα συστήματα αυτά και γι' αυτό πολλές εταιρίες προσπαθούν να βρουν τρόπους για να μειώσουν το κόστος κατασκευής τους. Τον σημαντικότερο ρόλο στην εξέλιξη των μπαταριών λιθίου έχει η αυτοκινητοβιομηχανία, γιατί βάση των προ αναφερομένων μπορούμε να πούμε ότι η εξέλιξη των μπαταριών και της αυτοκινητοβιομηχανίας

είναι αλληλένδετη. Όσον αφορά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο των μπαταριών λιθίου, είναι περιορισμένο δεδομένου ότι ανακυκλώνονται.

Οι μπαταρίες λιθίου προσφέρουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μπορούν να αποδειχθούν ιδανικές για εφαρμογές ZES ^[1]. Ωστόσο, απαιτούν ακριβή έλεγχο για τη φόρτιση και την εκφόρτιση λόγω ορισμένων εγγενών περιορισμών, ώστε να χρησιμοποιηθούν ειδικά σχεδιασμένοι φορτιστές προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες τους. Επιπλέον, για ορισμένους τύπους μπαταριών ιόντων λιθίου, αν ένα αντικείμενο καταστρέψει το περίβλημα της μπαταρίας, θα υπάρξει μια εξώθερμη αντίδραση με συνακόλουθες υψηλές θερμοκρασίες και φλόγες. Η τεχνολογία λιθίου-σιδήρου-φωσφόρου σχεδιάστηκε ειδικά για να είναι η μπαταρία ανθεκτική στη ζημία, η οποία τώρα χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση μπαταριών μόλυβδου-οξέος (lead acid) σε διάφορες εφαρμογές που σχετίζονται με τη μεταφορά ^[1].

Lithium iron phosphate, LiFePO₄ (LFP)

Το LFP διαφέρει σημαντικά από τις περισσότερες άλλες χημικές καθόδους όσον αφορά τη δομή του, δηλαδή έχει phosphorous-olivine παρά ένα στρώμα μεταλλικού οξειδίου όπως στην περίπτωση του NMC. Ένα κυρίαρχο όφελος του είναι η έλλειψη πηγής οξυγόνου στην κάθοδο, θέτοντας έτσι δυνητικά μειωμένο μέγεθος κινδύνου. Αυτά τα κύτταρα είναι επιπρόσθετα πιο ανθεκτικά στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η ειδική ενέργεια του LiFePO₄ είναι σχετικά χαμηλή και το ηλεκτροχημικό δυναμικό (τάση) είναι χαμηλότερο, μειώνοντας την “δύναμη” του κελιού. Οι δυνατότητες ισχύος ενός κυττάρου μπαταρίας που βασίζεται σε LiFePO₄ είναι εγγενώς χαμηλές, ωστόσο με μερικές τροποποιήσεις στο υλικό του LiFePO₄ με μικρές ποσότητες άλλων υλικών, έχουν μετατρέψει την LiFePO₄ σε μπαταρία υψηλής ισχύος.^[50]

Nickel manganese cobalt oxide, LiNi_{1-x-y}Mn_xCo_yO₂ (NCM or NMC)

Η NMC είναι μία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις καθόδου και είναι ο σημερινός ηγέτης της αγοράς σε πολλές εφαρμογές και αντικαθιστούν όλο και περισσότερο τα LCO και LMO. Η δύναμή του είναι ο συνδυασμός χαρακτηριστικών των συστατικών του νικελίου (με υψηλή ενέργεια), κοβαλτίου (με υψηλή ενέργεια) και το μαγγάνιο (εμπλουτισμένο στη δομή του για να το σταθεροποιήσει). Η σχετική σύνθεση και οι ποσότητες μπορούν να τροποποιηθούν για να παράγουν διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με την πυκνότητα ισχύος, την ενεργειακή πυκνότητα, το κόστος και την ασφάλεια, καθώς και προσαρμογή των κελιών σε ορισμένες εφαρμογές ή ομάδες εφαρμογών. Το NMC μπορεί επίσης να αναμιγνύεται μηχανικά με το LFP ή άλλα στην κάθοδο για να δημιουργήσει ακόμη μια άλλη προσαρμογή ιδιοτήτων. Τέλος, το NMC είναι επίσης θεωρητικά ικανό για το υψηλότερο ηλεκτροχημικό δυναμικό (τάση κυψέλης), ικανότητα που περιορίζεται κυρίως από τους ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται σήμερα.^[50]

Nickel cobalt aluminum, NCA

Το NCA είναι γενικά παρόμοιο με το NMC αλλά έχει μερικές μικρές αλλαγές που το καθιστούν καταλληλότερο για ορισμένες εφαρμογές. Η αγορά τείνει να παράγει μπαταρίες NCA με υψηλές αναλογίες νικελίου. Μια μπαταρία NCA μπορεί να έχει κάθοδο αποτελούμενη από 80% νικέλιο, 15% κοβάλτιο και 5% αλουμίνιο. Το αλουμίνιο παρέχει ονομαστικά κάποια σταθερότητα παρόμοια με τις μπαταρίες NMC υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο.^[50]

Lithium cobalt oxide, LiCoO₂ (LCO)

Το κύριο πλεονέκτημα του LiCoO₂ είναι η σχετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Ωστόσο, συνήθως εμφανίζει χαμηλότερες δυνατότητες ισχύος και μικρότερη διάρκεια ζωής κύκλου. Η αύξηση της σύνθετης αντίστασης με την πάροδο του χρόνου είναι επίσης σημαντικό πρόβλημα με κελιά που βασίζονται σε LiCoO₂. Το οξειδίο του κοβαλτίου λόγω της μειωμένης θερμικής σταθερότητας και της εξώθερμης απελευθέρωσης οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά. Οι κυψέλες τύπου LCO είναι πολύ συχνές στα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρονικά είδη, είναι ευρείας κατανάλωσης μπαταρίες όπου η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου τρία έτη και μερικές εκατοντάδες κύκλους φόρτισης.^[50]

Lithium manganese oxide spinel, LiMn₂O₄ (LMO)

Το LMO είναι μια κάπως μοναδική χημεία καθόδου, η οποία παρέχει σημαντικό όφελος όσον αφορά τις δυνατότητες ισχύος. Η LMO έχει επίσης επιπρόσθετα οφέλη ασφαλείας λόγω της υψηλής θερμικής σταθερότητας. Ωστόσο, έχει σημαντικά χαμηλότερη ενεργειακή ικανότητα σε σύγκριση με τις ενώσεις με βάση το κοβάλτιο και είναι γνωστό ότι έχει μικρότερο κύκλο ζωής, ειδικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Υπάρχουν δυνατότητες τροποποίησης προκειμένου να βελτιωθεί η διάρκεια ζωής των ενώσεων LMO με χρήση διαφορετικών υλικών.^[50]

Μπαταρίες Lead-Acid (μόλυβδου-οξέος)

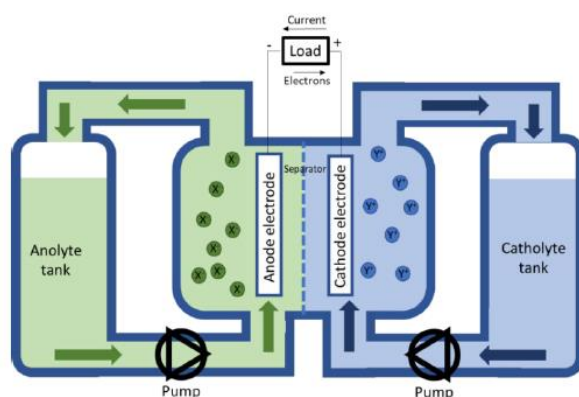
Οι μπαταρίες Lead-Acid είναι από τα πρώτα είδη μπαταριών και έχει γίνει αρκετή μελέτη σε αυτό το είδος ενεργειακού συστήματος. Η τυπική πυκνότητα ενέργειας και η ενεργειακή απόδοση τους όμως είναι χαμηλότερη από άλλες μπαταρίες και ποσοστό αυτό-απορρόφησης από 2 έως 5% ανά μήνα^[6]. Οι μπαταρίες μολυβδου-οξέος είναι χαμηλού κόστους σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών και μετά την χρήση τους πρέπει να ανακυκλωθούν.

Η χρήση αυτού του είδους μπαταριών στην ναυτιλία είναι αρκετά δύσκολη λόγω ορισμένων μειονεκτημάτων, όπως η ανάγκη για επαρκή εξαερισμό των επιβλαβών αερίων φόρτισης και εκκένωσης και η απελευθέρωση επικίνδυνων χημικών ουσιών

σε περίπτωση βλάβης, οι υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ισχύος και το υψηλό βάρος.^[50]

Flow batteries (μπαταρίες ροής)

Οι μπαταρίες ροής (flow batteries) αποθηκεύουν και απελευθερώνουν ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών. Οι μπαταρίες ροής, όπως και κάθε άλλη ηλεκτροχημική κυψέλη, παράγουν τάση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσω ενός ηλεκτρολύτη. Ενώ σε συμβατικές μπαταρίες όπως ιόντων λιθίου, τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από μέταλλο ή άνθρακα και ο ηλεκτρολύτης παραμένει σταθερός μεταξύ τους. Η μπαταρία ροής λειτουργεί με άντληση υγρού μεταφοράς φορτίου, του ηλεκτρολύτη, ο οποίος αποθηκεύεται σε δεξαμενές, μέσω του διαχωρισμένου ηλεκτροδίου για τη δημιουργία αυτής της τάσης και του ρεύματος. Ο ηλεκτρολύτης στην άνοδο ονομάζεται αναλύτης και ο ηλεκτρολύτης στην κάθοδο ονομάζεται καθολύτης.



Εικόνα 13: Βασικές αρχές μπαταρίας ροής

Τύποι μπαταρίας ροής είναι οι Vanadium Redox Battery, Bromide/polysulphide Battery, Zinc-Bromine Battery, Zinc/Cerium Battery, Lead Acid flow battery και Iron-Chromium battery. Το πλεονέκτημα είναι ότι η ενεργειακή ικανότητα της μπαταρίας περιορίζεται μόνο στο μέγεθος του ηλεκτρολύτη στις δεξαμενές, και μπορεί να είναι, θεωρητικά, άπειρες. Επιπλέον, η ικανότητα ισχύος αυξάνεται επίσης εύκολα προσθέτοντας περισσότερες στοίβες κυψελών καθώς η ενέργεια και η ισχύς της μπαταρίας είναι πλήρως διαμορφώσιμες. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής του συστήματος μπορεί να παραταθεί σημαντικά από τη σύγκριση, καθώς δεν υπόκειται στον ίδιο μηχανισμό αποικοδόμησης που το συναντάμε σε πιο παραδοσιακές μπαταρίες. Αν και τα συστήματα παρουσιάζουν κινδύνους για μηχανική βλάβη που δεν θα υποστούν οι παραδοσιακές μπαταρίες, αυτές οι επισκευές είναι πιο μικρές σε κλίμακα και πιθανώς εξοικειωμένοι με τους τεχνικούς σέρβις. Αυτά τα συστήματα έχουν χαμηλούς κινδύνους αναφλεξιμότητας. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα 20-60 Wh / L και ειδική ενέργεια

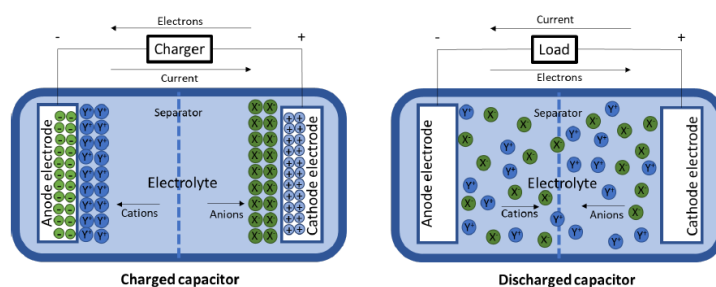
20-35 Wh / kg. Η υψηλή τιμή των ηλεκτρολυτών απορρίπτει επίσης την εφαρμογή σε πολλά πεδία. Ως εκ τούτου θεωρείται κατάλληλο για σταθερές εφαρμογές και όχι για ηλεκτρικά οχήματα ή σκάφη. Αν και το ίδιο το υγρό είναι πολύ όξινο και μπορεί να παράγει περισσότερες τοξικές ουσίες, τέτοιοι κίνδυνοι έκθεσης είναι πιο συχνές σε ολόκληρη τη βιομηχανία και είναι καλύτερα κατανοητές, από ορισμένους, από τους κινδύνους που δημιουργούν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτές οι συνθήκες κινδύνου προκαλούνται συνήθως από δυσμενή κατάσταση επιβάρυνσης (SOC) ή θερμοκρασίες (θερμικές) συνθήκες και έτσι μπορεί να αποφευχθεί όταν χρησιμοποιείται υπό ονομαστική λειτουργία.

Η μπαταρία Vanadium Redox παρουσιάζει ορισμένα οφέλη σε σχέση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών ροής. Βασικά, ο ηλεκτρολύτης είναι χημικά πανομοιότυπος τόσο στη θετική όσο και στην αρνητική πλευρά του συστήματος. Δεν υπάρχει ζήτημα σε θέμα ασφάλειας όσον αφορά διασταυρούμενη μόλυνση των συστημάτων και η αντίδραση είναι μόνο ελαφρά εξώθερμη. Επιπλέον, αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την επίλυση σημαντικών ζητημάτων ισορροπίας μεταξύ των δεξαμενών άντληση ηλεκτρολύτη από τη μία δεξαμενή στην άλλη. Τέλος, επειδή η ενέργεια αποθηκεύεται μέσω ιόντων βαναδίου υπάρχει σε διαφορετικές καταστάσεις οξειδωσης, δεν υπάρχει ηλεκτρολυτική επικάλυψη ή εναπόθεση υλικού ή ιόντων. Έτσι, υπάρχει σημαντικά μειωμένος κίνδυνος βραχυκυκλώματος ή υποβάθμισης από απώλεια δραστικού υλικού. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι η εύκολη αύξηση της ενέργειας και της ισχύος καθώς και ο χαμηλός κίνδυνος ανάφλεξης και τα μειονεκτήματα των μπαταριών ροής είναι τα τοξικά τους υγρά και η πολύ χαμηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα.

Λόγο των τεράστιων χώρου που χρειάζεται μια τέτοια εγκατάσταση και λόγω του ότι η μεμβράνη κυττάρων ροής είναι απίθανο να αντέξει τις δυνάμεις που θα υπάρξουν στο πλοίο, η εγκατάσταση αυτή καθίσταται αδύνατη στο πλοίο.^[50]

Supercapacitors (υπερπυκνωτές)

Οι υπερπυκνωτές μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια στο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ ενός ζεύγους φορτισμένων πλακών. Οι υπερπυκνωτές, supercapacitors, ultracapacitors ή double-layer capacitors (DLCs) όπως είναι επίσης γνωστοί, περιέχουν σημαντικά αυξημένη επιφάνεια ηλεκτροδίου σε σύγκριση με τους συμβατικούς πυκνωτές, καθώς και υγρό ηλεκτρολύτη και πολυμερική μεμβράνη.



Εικόνα 14: Βασική λειτουργία υπερπυκνωτή^[50]

Οι υπερπυκνωτές είναι ικανοί να έχουν πολύ γρήγορους χρόνους φόρτισης και εκφόρτωσης και είναι σε θέση να περάσουν πολλούς κύκλους χωρίς υποβάθμιση. Επίσης, έχουν πολύ καλή αποδοτικότητα τις τάξεις του 85-98%, καθιστώντας τους μια ελκυστική πηγή ενέργειας για πολλές εφαρμογές όπως, η Honda για παράδειγμα έχει αναπτύξει έναν υπερπυκνωτή υψηλής απόδοσης για να χρησιμεύσει ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας στην κυψέλη καυσίμου υδρογόνου FCX ^[12].

Οι υπερπυκνωτές έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής αλλά έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από τα υλικά και τις ενώσεις που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή και τη λειτουργία τους. Παρ' όλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των αυτοκινητοβιομηχανιών, για παράδειγμα μέσω συστημάτων ανατροφοδότησης, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε οφέλη από τις εκπομπές.

Οι υπερπυκνωτές φαίνεται να υπερέχουν, σε σχέση με άλλες εφαρμογές, στην ναυτιλία^[1]. Ο έλεγχος της φόρτισης και εκφόρτωσης των υπερπυκνωτών εφαρμόζεται εύκολα καθώς υπάρχει μια καλά καθορισμένη τάση φόρτισης και οι υπερπυκνωτές μπορούν να εκφορτιστούν σε μηδενική τάση χωρίς να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις. Η δυνατότητα πλήρους εκφόρτωσης ενός συνόλου υπερπυκνωτών καθιστά πολύ εύκολη και ασφαλή την αντικατάσταση μιας ελαττωματικής μονάδας. Οι υπερπυκνωτές είναι ιδανικοί για εφαρμογές PPES καθώς η ζωή τους ξεπερνάει το 1 εκατομμύριο κύκλους συμπεριλαμβανομένης της βαθιάς εκκένωσης και είναι εξίσου βιώσιμες για εφαρμογές ZES, όταν απαιτείται μόνο ένας σύντομος χρόνος αποθήκευσης, ο οποίος μετράτε σε δευτερόλεπτα. Μια εφαρμογή ZES είναι ιδανική για υπερπυκνωτές στο να στηρίξει ορισμένα τμήματα του πλοίου που λειτουργούν με AC και DC για μερικά δευτερόλεπτα ενώ ένα σφάλμα διορθώνετε στον κύριο αγωγό ηλεκτροπαραγωγής. Ένα ZES θα μπορούσε επίσης να αντικαταστήσει ένα σημαντικό αριθμό κατανεμημένων μονάδων UPS (Uninterruptible Power Supply), οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για την υποστήριξη κρίσιμων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ, και εξακολουθούν να επιβιώνουν σε zonal βάση.

Σύγκριση υπερπυκνωτών και μπαταριών λιθίου

Οι μπαταρίες ως υπερπυκνωτές είναι ηλεκτρικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Η μπαταρία χρησιμοποιείται ευρύτερα λόγω της ικανότητάς της να αποθηκεύει περισσότερη ενέργεια για δεδομένο βάρος και όγκο: έχει καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα. Το supercapacitor από την άλλη πλευρά μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί πολύ γρήγορα (ή αργά εάν δεν χρειάζεστε ισχύ): έχει πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος.

Αλλά οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο συστημάτων δεν σταματούν εκεί. Η εξέλιξη αυτών των χαρακτηριστικών με τις τεχνολογικές βελτιώσεις και τις φθίνουσες τιμές σημαίνει ότι οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών των μπαταριών και των supercapacitor. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν υπερπυκνωτές με οργανικό

ηλεκτρολύτη, με υδατικό ηλεκτρολύτη, με ιοντικό υγρό, hybrid supercapacitors, pseudo-supercapacitors κ.α.

Για να απλοποιήσουμε τα πράγματα, ακολουθεί ένας πίνακας που συγκρίνει τη σημερινή βασική μπαταρία: Μπαταρία ιόντων λιθίου που προσφέρει πολύ καλή ενεργειακή πυκνότητα και supercapacitors που χρησιμοποιούνται συνήθως σήμερα.

Πίνακας 12: Σύγκριση υπερπυκνωτών και μπαταριών λιθίου

Feature	Li-ion Battery	Supercapacitor
Gravimetric energy (Wh/kg)	100 - 265	4 - 10
Volumetric energy (Wh/L)	220 - 400	4 - 14
Power density (W/kg)	1,500	3,000 - 40,000
Voltage of a cell (V)	3.6	2.7 - 3
ESR (mΩ)	500	40 - 300
Efficiency (%)	75 - 90	98
Cyclability (nb recharges)	500 - 1,000	500,000 - 20,000,000
Life	5 - 10 years	10 - 15 years
Self-discharge (% per month)	2	40 - 50 (descending)
Charge temperature	0 to 45°C	-40 to 65°C
Discharge temperature	-20 to 60°C	-40 to 65°C
Deep discharge pb	yes	no
Overload pb	yes	no
Risk of thermal runaway	yes	no
Risk of explosion	yes	no (1)
Charging 1 cell	complex	easy
Charging cells in series	complex	complex
Voltage on discharge	stable	decreasing (2)
Cost per kWh	200 - 1,000 €	10,000 €

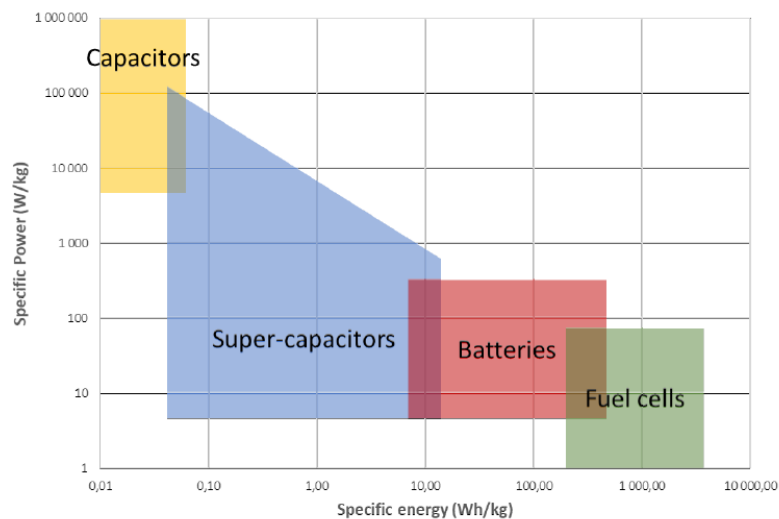
(1) Με συμβατό σύστημα φόρτισης και θερμοκρασία έκθεσης στο εύρος λειτουργίας (συνήα από -40 έως 65 ° C), δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης ή πυρκαγιάς ενός supercapacitor, σε αντίθεση με την μπαταρία ιόντων λιθίου.

(2) Σε φόρτιση σταθερής τάσης, η τάση ενός υπερκατασκευαστή αυξάνεται προοδευτικά, αλλά η φόρτιση είναι πιο αποτελεσματική στο σταθερό ρεύμα και η τάση αυξάνεται στη συνέχεια ευθεία. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, η τάση ενός υπερκαταναλωτή μειώνεται συνεχώς. Για να εκμεταλλευτούμε στην καλύτερη περίπτωση την ενέργεια ενός supercapacitor, χρησιμοποιούμε έναν μετατροπέα τάσης για να αποκτήσουμε μια σταθερή τάση.

Σύνοψη

Οι υπερπυκνωτές και οι μπαταρίες λιθίου φαίνεται να είναι σήμερα οι πιο ελκυστικές επιλογές για τα PPES και ZES στις ναυτικές εφαρμογές αντίστοιχα. Οι υπερπυκνωτές έχουν πολύ μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ασφάλεια ενώ για τις μπαταρίες λιθίου πρέπει να ακολουθούνται ειδικά μέτρα ασφαλείας όσον αφορά τη φόρτιση καθώς και την αποθήκευσή τους, καθώς υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης και εκπομπών φλόγας όταν έχουν υποστεί βλάβη. Ωστόσο, και τα δύο συστήματα

φαίνεται να υπερέχουν σε σχέση με την παλαιότερη τεχνολογία μπαταριών Lead-Acid. Στο διάγραμμα 3 γίνεται σύγκριση μεταξύ των πυκνωτών, υπερπυκνωτών, μπαταριών και κυψελών καυσίμου.



Διάγραμμα 2: Σύγκριση μεταξύ των πυκνωτών, υπερπυκνωτών, μπαταριών και κυψελών καυσίμου^[62]

Ηλεκτρικά πλοία

Ar Vag Tredan

Το πρώτο ηλεκτρικό σκάφος στον κόσμο που τροφοδοτείται 100% από υπερπυκνωτές ναυπηγήθηκε το Σεπτέμβριο του 2013. Το ηλεκτρικό πλοίο που θα ταξιδεύει μεταξύ Lorient και Pen-Mané (Locmiquélic) ονομάζεται κατάλληλα: Ar Vag Tredan που σημαίνει "ηλεκτρικό σκάφος" στο Breton, την τοπική ιστορική γλώσσα.



Εικόνα 15: Ar Vag Tredan

Χτισμένο από το ναυπηγείο STX στο Lanester, με αποκλειστικά ηλεκτρική πρόωση φορτίζει σε κάθε στάση, σε μόλις 4 λεπτά. Μια χωρητικότητα που παρέχεται από την ταχύτητα φόρτισης των υπερπυκνωτών που υπερβαίνει κατά πολύ την παραδοσιακή μπαταρία. Αυτό είναι σίγουρα μια σημαντική ανακάλυψη για το σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων "μηδενικών εκπομπών".

Το Ar Vag Tredan είναι ένα ηλεκτρικό καταμαράν χωρίς μπαταρίες που έχει διαστάσεις 22,1 μέτρα από 7,2 μέτρα και μπορεί να φιλοξενήσει 113 άτομα, συμπεριλαμβανομένων 3 ατόμων με αναπηρία και 10 ποδηλάτων. Διαθέτει δύο προωστήριες εγκαταστάσεις και είναι ικανός να επιτύχει μέγιστη ταχύτητα 10 κόμβων.

Το Ar Vag Tredan κόστισε 3,2 εκατομμύρια ευρώ, 1 εκατομμύριο περισσότερα από ένα συμβατικό σκάφος. Αυτό το πρόσθετο κόστος πρέπει να αποσβένεται κατά την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του σκάφους για 30 χρόνια. Αλλά αν οι τιμές του πετρελαίου αυξηθούν σημαντικά, το Ar Vag Tredan θα αποδειχθεί ακόμη πιο επικερδές.

Εάν η επιτυχία είναι εκεί, ολόκληρος ο στόλος της συσσωμάτωσης του Lorient θα μπορούσε να αντικατασταθεί από σκάφη με υπερπυκνωτές. Οι υπερπυκνωτές που κατασκευάζονται από τον όμιλο Bolloré, αποτελούνται από λεπτές πλάκες αλουμινίου επικαλυμμένες με μικροπορώδη ενεργό άνθρακα και τυλίγονται σε κυλίνδρους σε σχήμα μεγάλων μπαταριών. Το σκάφος είναι εξοπλισμένο με 128

υπερπυκνωτές υψηλής χωρητικότητας (μονάδες) συνολικού βάρους 6 τόνων που κατανέμονται στις δύο γάστρες του καταμαράν. Αυτό θα μπορεί να εκτελεί 28 ημερήσιες μετ' επιστροφής διαδρομές με ρυθμό 28 πλήρων επαναφορτίσεων ανά ημέρα, το σκάφος θα φορτίζεται περίπου 7.000 φορές το χρόνο. Αυτό το ποσοστό φόρτισης θα ήταν αδύνατο να διατηρηθεί για τις μπαταρίες, επειδή οι μπαταρίες ιόντων λιθίου και οι μπαταρίες Ni-MH υποστηρίζουν μόνο 500 έως 1.000 κύκλους επαναφόρτισης κατά μέσο όρο.

Από την άλλη πλευρά, αυτός ο υψηλός ρυθμός επαναφόρτισης υποστηρίζεται εύκολα από τους υπερπυκνωτές batScap που σχεδιάστηκαν από την εταιρεία Blue Solutions, θυγατρική του ομίλου Bolloré. Οι υπερπυκνωτές batScap χρησιμοποιούν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε εσωτερικά και κατασκευάζονται σε ένα εργοστάσιο που άνοιξε τον Ιανουάριο του 2008 στο Ergue-Gaberic της Γαλλίας. Αυτοί οι υπερπυκνωτές δεν έχουν κανένα κίνδυνο έκρηξης και έτσι είναι ασφαλέστεροι από τις μπαταρίες, και υποστηρίζουν αρκετά εκατομμύρια κύκλους φόρτισης / εκφόρτωσης.

Αυτή η νέα γενιά υπερπυκνωτών σκάφους εξαλείφει τις εκπομπές CO₂, SO_x και NO_x. Ο θόρυβος και οι κραδασμοί στην καμπίνα και στο περιβάλλον μειώνονται σημαντικά. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στη σχεδίαση, επιτρέποντας τη μείωση των θερμικών φορτίων στους χώρους των επιβατών και του τιμονιού. Φυσικός αερισμός χρησιμοποιήθηκε σε όλο το πλοίο με πολλές καταπακτές στην οροφή. Η θέρμανση παρέχεται από αντλία θερμότητας και 25 m² ηλιακών συλλεκτών βοηθούν στη βελτίωση της ηλεκτρικής εμβέλειας του πλοίου-λεωφορείου κατά τη διάρκεια της πλοήγησης.^[25]

Ένα ακόμη παράδειγμα της χρήσης μπαταριών είναι το πρώτο αυτόνομο και ηλεκτρικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Το πλοίο θα ξεκινήσει αρχικά με επανδρωμένη λειτουργία, αλλά θα μετατραπεί γρήγορα σε πλήρως αυτόνομη λειτουργία έως το 2022.

Yara Birkeland

Τον Μάιο του 2017, η YARA και η Kongsberg ανακοίνωσαν μια συνεργασία για την κατασκευή του πρώτου αυτόνομου και ηλεκτρικού πλοίου κοντέινερ στον κόσμο. Το πλοίο, που ονομάζεται Yara Birkeland, θα μεταφέρει 40.000 container ετησίως, που μέχρι σήμερα μεταφέρονται με φορτηγά, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές NO_x και CO₂.

Το Yara Birkeland έχει ναυπηγηθεί στην Ρουμανία τον Φεβρουάριο του 2020 και αναμένεται να φτάσει στο νορβηγικό ναυπηγείο τον Μάιο όπου θα εξοπλιστεί με διάφορα συστήματα ελέγχου και πλοήγησης και θα υποβληθεί σε δοκιμές πριν από την παράδοση στην Yara. Δυστυχώς, λόγω της πανδημίας Covid-19 και των παγκόσμιων αλλαγών, η Yara αποφάσισε να σταματήσει προσωρινά την περαιτέρω ανάπτυξη του σκάφους.



Εικόνα 16: Yara Birkeland

Το αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων θα είναι μια σημαντική καινοτομία στις θαλάσσιες τεχνολογίες. Θα έχει συνολικό μήκος 80m, πλάτος 15m, βάθος 10,8m και πλήρες βύθισμα 6.3m. Το νεκρό βάρος του σκάφους μηδενικών εκπομπών θα είναι περίπου 3.200 τόνους. Η μπαταρία του σκάφους θα λειτουργήσει ως μόνιμο έρμα, εξαλείφοντας την ανάγκη για εγκατάσταση ειδικών δεξαμενών έρματος. Το πλοίο μηδενικών εκπομπών θα είναι εξοπλισμένο με ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης που τροφοδοτείται από μια μπαταρία χωρητικότητας έως 9MWh. Το σύστημα πρόωσης θα είναι ενσωματωμένο με δύο έλικες και δύο thrusters και θα παρέχει ταχύτητα υπηρεσίας 6-7 knots και μέγιστη ταχύτητα 13 knots.

Οι μπαταρίες θα χωριστούν σε τέσσερα ξεχωριστά δωμάτια μπαταριών, με ένα μόνο ικανό να παρέχει τη δύναμη να επιστρέψει στο λιμάνι σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Η παροχή ενέργειας από την ξηρά θα είναι δυνατή σε τουλάχιστον μία από τις θύρες και, παρόλο που θα υπάρχει αυτόματη σύνδεση, η εταιρεία δεν έχει επιλέξει ασύρματη φόρτιση, όπως έχουν κάνει ορισμένα άλλα πρόσφατα έργα. Προς το παρόν, η ασύρματη φόρτιση δεν είναι ικανή να παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας.^[29/30]

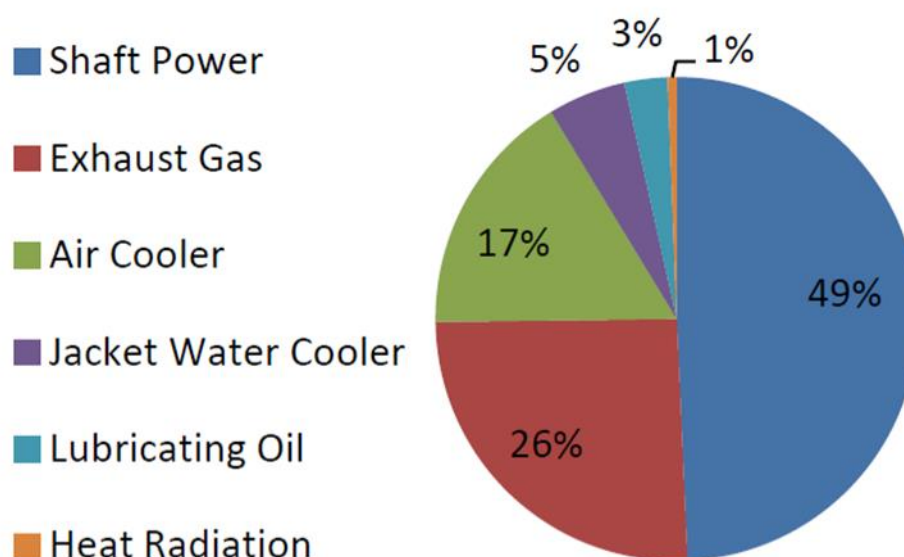
Asahi Tanker

Επίσης, η ιαπωνική Asahi Tanker ανακοίνωσε τα σχέδιά της για τη ναυπήγηση των δύο πρώτων ηλεκτρικών bunker tankers μηδενικών εκπομπών. Οι νέες κατασκευές σχεδιάζονται να παραδοθούν διαδοχικά από τον Μάρτιο του 2022 έως τον Μάρτιο του 2023 και θα εισέλθουν στον κόλπο του Τόκιο ως πλοία εφοδιασμού καυσίμων πλοίων. Τα σκάφη βασίζονται στον σχεδιασμό «e5», που περιλαμβάνει πέντε βασικά στοιχεία: ηλεκτροδότηση, περιβάλλον, οικονομία, αποδοτικότητα και εξέλιξη. Ο σχεδιασμός δόθηκε από την e5 Laboratories Inc., μια εταιρεία που ιδρύθηκε από την Asahi Tanker, την Exeno Yamamizu Corporation, την Mitsui O.S.K. Lines (MOL) και Mitsubishi Corporation. Συγκεκριμένα, τα δεξαμενόπλοια θα τροφοδοτούνται από μπαταρίες ιόντων λιθίου υψηλής χωρητικότητας που επιτρέπουν στα πλοία να

επιτυγχάνουν μηδενικές εκπομπές. Επιπλέον, θα υιοθετήσουν διάφορα ψηφιακά εργαλεία, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού αυτοματισμού και του Internet of Things (IoT), με στόχο τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας και τη μείωση του φόρτου εργασίας του πληρώματος. Τα πλοία θα έχουν μήκος 62 μέτρα, πλάτος 10,3 μέτρα και χωρητικότητα δεξαμενής φορτίου 1.300 κυβικά μέτρα.^[42]

Κεφάλαιο 8ο: Organic Rankine Cycle

Το Σχ. 1 δείχνει την κατανομή ενέργειας κατά την καύση σε έναν τυπικό κινητήρα πλοίου^[47]. Κατά προσέγγιση το 51% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμικής ενέργειας μεταφέρεται στο καυσαέριο (~ 26%). Αρκετοί λέβητες ανάκτησης θερμότητας (WHR) για την παραγωγή ατμού εκμεταλλεύονται την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων. Αυτός ο ατμός μπορεί να συνδυαστεί με ατμοστρόβιλο για τη δημιουργία κύκλου Rankine (SRC-Steam Rankine Cycle) και να παράγουν ηλεκτρισμό^[48]. Αυτά τα συστήματα μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με μια απόδοση (~ 20%). Οι πηγές χαμηλότερης θερμοκρασίας, όπως το νερό από τον κινητήρα (80 ° C - 95 ° C) δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να λειτουργήσει ένα SRC αποτελεσματικά.



Εικόνα 17: Κατανομή ενέργειας κατά την καύση σε έναν τυπικό κινητήρα πλοίου^[47]

Για τις χαμηλές θερμοκρασίες που προαναφέρθηκαν ένας Organic Rankine Cycle (ORC) μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερες αποδόσεις σε σχέση με ένα SRC. Το ORC λειτουργεί με παρόμοια αρχή με το SRC, αλλά χρησιμοποιεί ένα οργανικό υγρό στη θέση του νερού. Πολλά οργανικά υγρά έχουν σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες κορεσμού από τον ατμό για δεδομένη πίεση. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα ORC να επιτυγχάνει μεγαλύτερες αναλογίες πίεσης στρόβιλου με πηγές θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας. Η αύξηση του λόγου πίεσης του στρόβιλου βελτιώνει άμεσα την απόδοση του κύκλου. Το 2015, η Calnetix Technologies σε συνεργασία με τη Mitsubishi Heavy Industries ανέπτυξε το Hydrocurrent 125EJW TM^[49]. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να λειτουργεί με το R245fa ως υγρό λειτουργίας και παράγει μέγιστη ισχύ 125 kW με θερμοκρασίες της πηγής θερμότητας 85 ° C-95 ° C και θερμοκρασίες

νερού ψύξης $\leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Στον πίνακα 13 φαίνονται οι τυπικές τιμές λειτουργίας στο σημείο σχεδίασης του Hydrocurrent 125EJW.

Πίνακας 11: Τυπικές τιμές λειτουργίας στο σημείο σχεδίασης

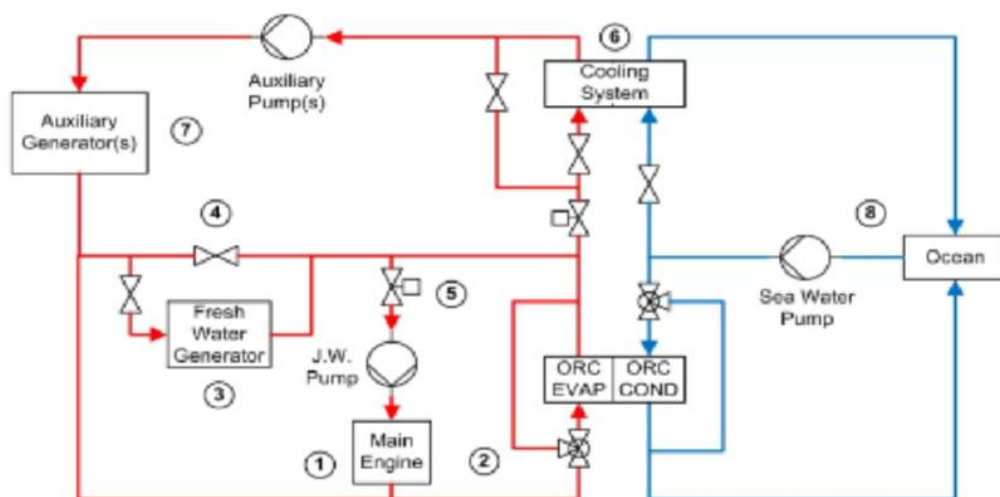
Item	Value
Mass Flow (kg/s)	8.5
Turbine Inlet Temperature ($^\circ\text{C}$)	79.1
Turbine Inlet Pressure (BarA)	6.7
Turbine Isentropic Efficiency (t-t)	89%
Power Electronics Power Output (kW)	125.3
Net Power (kW)	119.8
Thermal Energy from Heat Source (kW)	1942.9

Τα κύρια εξαρτήματα είναι ένας στρόβιλος υψηλής γωνιακής ταχύτητας, γεννήτρια υψηλής συχνότητας και φυγοκεντρική αντλία. Το Arnold Maersk επιλέχθηκε για εγκατάσταση του συστήματος. Ο κύριος κινητήρας του είναι ο 12RTA96C της Wartsila. Ο 12 κυλίνδρων κινητήρας του, έχει μέγιστη ονομαστική ισχύ εξόδου $\sim 72 \text{ MW}$ και εκτείνεται σε ύψος 3 καταστρωμάτων. Η ισχύς που παράγεται από το Hydrocurrent 125EJW αναμένεται να βελτιώσει το EEDI του πλοίου κατά περίπου 0,2%. Στο Πίνακα 14 παρουσιάζονται μετρήσεις κατά την λειτουργία του ORC.

Πίνακας 12: Μετρήσεις κατά την λειτουργία του ORC

Item	Value
Jacket Water Flow Rate (m^3/h)	264
Jacket Water Temperature ($^\circ\text{C}$)	83.8
Sea Water Flow Rate (m^3/h)	240
Sea Water Temperature ($^\circ\text{C}$)	29

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζεται μια απλοποιημένη εγκατάσταση ORC, στην οποία φαίνονται τα κυκλώματα ψύξης και θέρμανσης.



Διάγραμμα 3: Απλοποιημένη εγκατάσταση ORC^[51].

Επεξήγηση των σημείων:

- (1): Το νερό που βγαίνει μετά την ψύξη των χιτωνίων του κινητήρα στους 84 °C.
- (2): ORC evaporator. Εδώ δίνει την θερμική του ενέργεια για να εξατμιστεί το εργαζόμενο μέσο.
- (3): Fresh water generator.
- (4): Βαλβίδα, ελέγχει το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται.
- (5) και (6): το νερό ανακατευθύνεται εδώ είτε στην κύρια μηχανή (5) είτε σε ένα βοηθητικό σύστημα ψύξης.
- (7): Ηλεκτρογεννήτρια.
- (8): Ωκεανός.

Όπως προαναφέρθηκε η εφαρμογή εγκαταστάθηκε στο πλοίο Arnold Maersk και λειτουργεί για περίπου 3 χρόνια. Η θερμική ενέργεια που το σύστημα εκμεταλλεύεται ήταν διαθέσιμη μόνο όταν η μηχανή λειτουργούσε. Συνεπώς στα τμήματα με τις περισσότερες στάσεις σε λιμάνια έχουν την μικρότερη παραγωγή kWh. Ο μέσος όρος παραγωγής σε αυτό το σημείο ήταν 115 kW. Η παραγωγή αυτή είναι μικρότερη από την μέγιστη δυνατή παραγωγή του συστήματος, το οποίο εξηγείται επειδή οι μηχανικοί του πλοίου αποφάσισαν να μειώσουν την ροή του συστήματος ψύξης. Αυτό σημαίνει ότι το ORC ήταν πιο αποδοτικό στο να κρυώνει τα χιτώνια του κινητήρα από το υπάρχον βοηθητικό σύστημα ψύξης. Συνεπώς παρά την μικρότερη μέση παραγωγή ενέργειας, το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε μικρότερη ροή νερού για την ψύξη βελτιώθηκε η καθαρή παραγωγή ενέργειας καθώς η αντλία κυρίως χρησιμοποιήθηκε λιγότερο και συνεπώς κατανάλωσε λιγότερη ενέργεια. Χρησιμοποιεί ως θερμική και ψυκτική πηγή αντίστοιχα το θερμό νερό που ψύχει τα χιτώνια του κινητήρα και το θαλασσινό νερό στο οποίο πλέει το πλοίο. Συνεπώς σε αντίθεση με τα χερσαία ORC συστήματα, τα οποία λειτουργούν αδιάκοπα καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου τα ναυτικά ORC είναι αποδοτικά μόνο σε μεγάλα ταξίδια χωρίς πολλές στάσεις.

Organic Rankine Cycle από την Enertime

Το σύστημα της γαλλικής εταιρίας Enertime υπόσχεται μεγάλη ευελιξία στην εκμετάλλευση θερμικών πηγών χαμηλής αξίας. Το σύστημα ORC, το οποίο είναι σχεδιασμένο για πλοία, εκμεταλλεύεται μία θερμική πηγή που ειδάλως θα παρέμενε αναξιοποίητη και προβλέπει την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 10%.

Το σύστημα που έχει αναπτυχθεί από την Enertime μπορεί να παράγει μεταξύ 500kW και 1MW ηλεκτρικής ενέργειας αναλόγως της παροχής θερμικής ενέργειας. Το σύστημα αξιοποιεί έναν ειδικά σχεδιασμένο αξονικό στρόβιλο, σχεδιασμένο συγκεκριμένα για χρήση σε ναυτικές εφαρμογές.

Οι απαιτήσεις του συστήματος ORC σε θερμότητα κυμαίνονται από 100kW έως 2,5MW. Το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται απευθείας ως ψυκτικό μέσο στο ψυγείο. Διαφορετικές διαμορφώσεις του συστήματος είναι δυνατές ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών.

Πλεονεκτήματα ORC

- Μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Αυτόματη συνεχής λειτουργία.
- Χαμηλός θόρυβος.
- Μεγάλο διαθέσιμο εύρος εφαρμογών.
- Απλή διαδικασία start-stop.
- Δυνατότητα για διαφορετικές θερμικές πηγές (είτε ανανεώσιμες πηγές, είτε χαμένη ενέργεια, είτε συμβατικά καύσιμα)
- Οι θερμικές πηγές μπορούν να έχουν μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (ακόμα και κάτω από 100°C).
- Εύκολη σύνδεση σε προϋπάρχω σύστημα.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης του κύκλου.

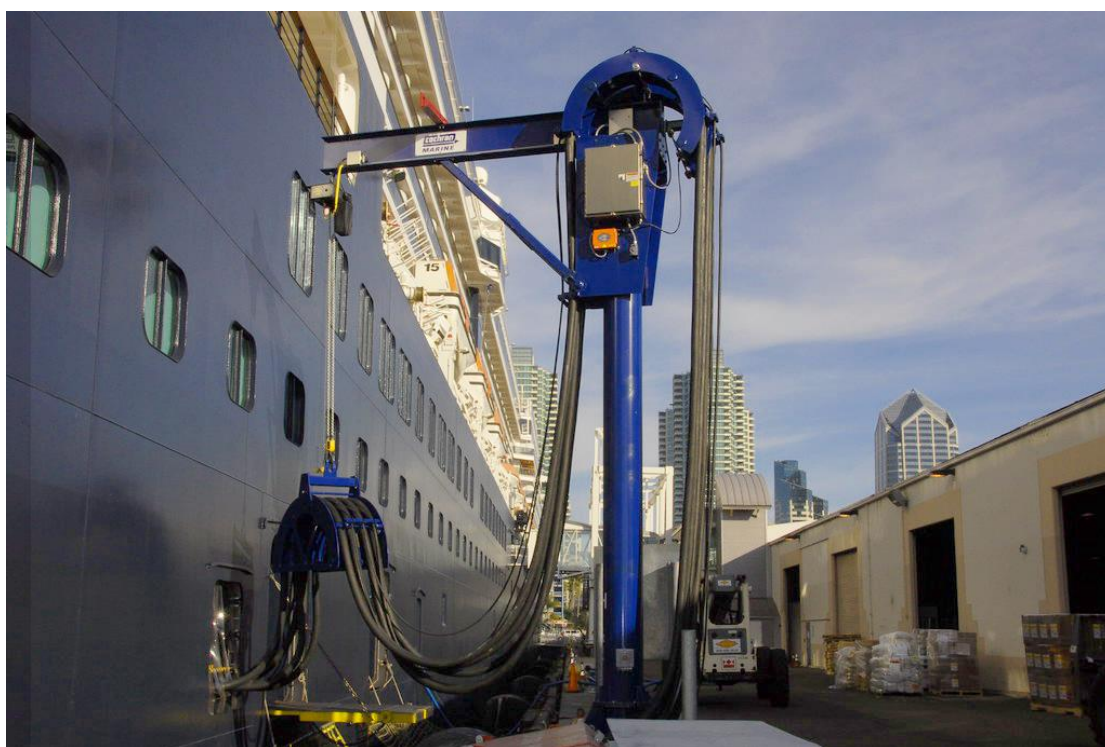
Μειονεκτήματα ORC

- Κόστος εργαζόμενου μέσου και τα θερμοκρασιακά όρια που αυτό επιβάλλει.
- Λόγω της χαμηλής ποσότητας θερμικής ενέργειας στις εφαρμογές υπάρχει μείωση του βαθμού απόδοσης.
- Μικρός ισεντροπικός βαθμός απόδοσης για στροβίλους ενός σταδίου.
- Μεγαλύτερες απαιτήσεις σε χώρο και κόστος κατασκευής για στροβίλους πιο πολλών σταδίων.
- Μεγάλος απαιτούμενος χώρος κατασκευής.
- Σχετικά μεγάλο κόστος κατασκευής.

Κεφάλαιο 9ο: Cold ironing

Συγκεκριμένα ο όρος Cold Ironing αναφέρεται στην διασύνδεση ελλιμενισμένων πλοίων με την ξηρά για την τροφοδότηση των ενεργειακών τους αναγκών. Στοχεύει στη χρήση του ηλεκτρισμού ως εναλλακτικού τρόπου ενέργειας στη ναυτιλία για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στόχος είναι η απεξάρτηση από την αναγκαιότητα παροχής ενέργειας από τις Diesel μηχανές του πλοίου. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η απαλλαγή από το σύνολο των εκπεμπόμενων ρύπων από τις ηλεκτρογεννήτριες των πλοίων, αλλά και η δυνατότητα διασποράς των ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων σε μια πιο διευρυμένη γεωγραφικά περιοχή, περιορίζοντας δραστικά το πρόβλημα στα λιμάνια. Η ρύπανση που προκαλούν τα πλοία δεν είναι μόνο γενικά περιβαλλοντική, αλλά επιβαρύνει και σημαντικά την ανθρώπινη υγεία τόσο των ναυτεργατών όσο και των κατοίκων των γύρω περιοχών.

Αυτό φυσικά προϋποθέτει ότι το τοπικό δίκτυο είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή τουλάχιστον τροφοδοτούμενο από μονάδα παραγωγής που βρίσκεται σε τέτοια απόσταση ώστε να μην συμβάλει στην επιβάρυνση της κατάστασης στο λιμάνι.



Εικόνα 18: Cold-Ironing στο λιμάνι^[52]

Η πρώτη πιλοτική υποδομή ηλεκτροδότησης πλοίων από την ξηρά στην Ανατολική Μεσόγειο εγκαινιάστηκε την Πέμπτη 20 Δεκεμβρίου 2018 στο λιμάνι της Κυλλήνης, στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος Elemed, το οποίο υλοποιεί μελέτες για

την εγκατάσταση υποδομών ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων σε τρεις χώρες (Ελλάδα, Κύπρος, Σλοβενία) και τέσσερα λιμάνια κατά μήκος του νοτιοανατολικού θαλάσσιου διαδρόμου (Κόπερ, Κυλλήνη, Πειραιάς, Λεμεσός).

Σημειώνεται ότι στόχος του προγράμματος Elamed είναι μέχρι το 2025 στα βασικά ευρωπαϊκά λιμάνια να έχουν εγκατασταθεί σταθμοί ηλεκτροδότησης για όλων των τύπων πλοίων, ενώ ήδη έχουν ξεκινήσει οι μελέτες για το λιμάνι του Πειραιά.

Ο τίτλος COLD-IRONING είναι στην ουσία ταυτόσημος με τους επίσης γνωστούς για την μέθοδο όρους, Alternative Maritime Power (AMP) και Shore-to-Ship power supply. Αναφέρεται στην ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων από το δίκτυο της στεριάς η οποία δίνει έτσι την δυνατότητα στα πλοία να απενεργοποιήσουν τους κινητήρες και τις γεννήτριες τους για όσο διαρκεί η παραμονή τους στο λιμάνι.

Η παροχή ενέργειας από την ξηρά γίνεται για την κάλυψη των εξής αναγκών ηλεκτροδότησης του πλοίου κατά την παραμονή του στο λιμάνι:

- Φορτοεκφόρτωση
- Ανεφοδιασμός
- Φωτισμός
- Κλιματισμός
- Θέρμανση
- Λοιπά ηλεκτρονικά συστήματα του πλοίου

Χωρίς την χρήση της μεθόδου, οι παραπάνω λειτουργίες απαιτούν την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων βαρέων καυσίμων προκαλώντας σημαντική αέρια ρύπανση.

Ένα λιμάνι με τεχνολογία cold ironing λοιπόν, εκτός από το κλασσικό δίκτυο ηλεκτροδότησης της περιοχής, μπορεί να τροφοδοτείται μερικώς ή και εξ ολοκλήρου από λιγότερο ρυπογόνους μονάδες παραγωγής όπως:

- Χερσαίοι Αιολικοί σταθμοί
- Υδροταμιευτήρες για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας
- Μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα
- Μονάδες παραγωγής ενέργειας από φυσικό αέριο

Απαιτήσεις εξοπλισμού πλοίων και λιμανιών για την εφαρμογή της μεθόδου

Για την λειτουργία της μεθόδου υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν τόσο τα λιμάνια και τα τοπικά δίκτυα ηλεκτροδότησης, όσο και τα ίδια τα πλοία. Στην περίπτωση των πλοίων και των λιμανιών είναι κυρίως ζήτημα

εξοπλισμού ενώ σε αυτήν του δικτύου ηλεκτροδότησης μεγάλη σημασία έχουν τα μεγέθη τάσης και συχνότητας τα οποία επηρεάζουν άμεσα την συμβατότητα. Μετά από πολλά χρόνια απουσίας, το 2012 θεσπίστηκε επίσημη τυποποίηση ISO και για την ψυχρή τροφοδότηση (cold ironing).

ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012

Θεσπισμένο από τον International Organization for Standardization (ISO), την International Electrotechnical Commission (IEC) και το Institute of Electrical and Electronics Engineers, περιγράφει τα συστήματα υψηλής τάσης σύνδεσης με την ξηρά (HVSC) για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία από την ξηρά. Η τυποποίηση αυτή είναι εφαρμόσιμη στον σχεδιασμό, στην εγκατάσταση και στον έλεγχο των HVSC συστημάτων:

- Συστήματα διανομής υψηλής τάσης (HV) στην ξηρά
- Εξοπλισμός διασύνδεσης ξηράς και πλοίου
- Μετασχηματιστές / Αντιδραστήρες
- Ημιαγωγοί / περιστρεφόμενοι μετατροπείς
- Συστήματα διανομής στο πλοίο
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, συμπλέξεως και διαχείρισης ενέργειας

Δεν ισχύει για τη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια δεξαμενισμού, λοιπών επισκευών συντήρησης και σε περιόδους εκτός λειτουργίας του πλοίου.

Παροχή Ενέργειας

Η παροχή ενέργειας για το cold ironing συνδέεται συνήθως με το βασικό τοπικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό παρέχει έναν βαθμό απομόνωσης από τον κύριο διανομέα του τερματικού σταθμού. Οι λόγοι για αυτό είναι:

- Η μείωση των επιπτώσεων στον τερματικό σταθμό μιας αποτυχίας της μεθόδου.
- Η δυνατότητα μιας ξεχωριστά μετρούμενης υπηρεσίας εάν αυτή απαιτείται.

Η εισερχόμενη τάση του ηλεκτρικού ρεύματος από το βασικό δίκτυο θα πρέπει να είναι σε ένα επίπεδο διανομής (από 10 kV έως 40 kV) ή στο επίπεδο μετάδοσης (60 kV και άνω).

Τα περισσότερα πλοία διαθέτουν συστήματα διανομής 440 V. Τα σύγχρονα μεγάλα ποντοπόρα φέρουν ως τάσης διανομής τα 6.6 kV. Μοιραία, όλα τα πλοία θα πρέπει να λειτουργούν ουσιαστικά με κάποια από τις δύο αυτές τάσεις σε συχνότητα 60 Hz.

Μια διανομή τάσεως της τάξης των 440 V, δυστυχώς, δεν είναι ιδανική για την παροχή ενέργειας από την ξηρά λόγω της μεγάλης απαίτησης σε ένταση ρεύματος.

Για την μείωση προβλημάτων όπως η πτώση της τάσης, η παροχή στην αποβάθρα θα πρέπει να έχει υψηλότερη τάση, όπως 6.6 kV, και έναν μετασχηματιστή που να την κατεβάζει, τοποθετημένο στην άκρη της αποβάθρας ή στο πλοίο με σκοπό να παρέχει τα απαιτούμενα 440 V.

Για τα επιβατηγά, η υψηλή τάση είναι 11.0 kV, όταν η χαμηλή είναι 6.6 kV. Λόγω αυτής της διακύμανσης των ενεργειακών απαιτήσεων, χρειάζονται μετασχηματιστές για την παροχή της κατάλληλης τάσης για κάθε τύπο πλοίου.

Ο συνολικός παγκόσμιος στόλος συναλλαγών ανέρχεται σε 116.857 εμπορικά πλοία (δεδομένα 2018). Κάθε πλοίο περνά περίπου 100 ημέρες στο λιμάνι σε ένα χρόνο.

Για κάθε 1 kWh (3,6 MJ) ηλεκτρικής ενέργειας, καταναλώνονται περίπου 200 g καυσίμου. Κάθε 1 kg καυσίμου παράγει 3,1 kg διοξειδίου του άνθρακα. Εκτιμάται ότι τα παγκόσμια πλοία χρησιμοποιούν 411.223.484 τόνους καυσίμου ετησίως.

Η διασύνδεση πλοίου-ξηράς καταργεί την ανάγκη καύσης ορυκτών καυσίμων στα πλοία ενώ είναι ελλιμενισμένα. Σύμφωνα με αυτήν την έννοια, όπως δημοσιεύεται, τα πλοία που επισκέπτονται λιμάνια συνδέονται με τοπικό δίκτυο ή άλλες πηγές ενέργειας, οι οποίες έχουν ήδη ρυθμιστεί από τους τοπικούς κανόνες ρύπανσης. Αυτό φέρνει άμεση ανακούφιση όσο αφορά τη ρύπανση από τις εκπομπές πλοίων και επιτρέπει να ακολουθηθεί ένα πιο ολιστικό πρόγραμμα συντήρησης από τους χειριστές πλοίων, οι οποίοι είναι συνήθως δύσκολο να διατηρήσουν προγραμματισμένα προγράμματα συντήρησης λόγω εμπορικών πιέσεων λειτουργίας. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι η μείωση της παραγωγής θερμότητας από πλοία, η μείωση των εκπομπών καυσαερίου, η μείωση του κινδύνου ατυχημάτων από μηχανήματα που βασίζονται σε καύσιμα, η μείωση των διαταραχών στο οικοσύστημα κ.α.

Για την εκτίμηση του κόστους εγκατάστασης της υποδομής στην ξηρά θα χρησιμοποιηθεί αντίστοιχη η μελέτη της ENVIRON που έχει γίνει για το λιμάνι του Long Beach. Έτσι λοιπόν θα εκληφθεί μέσο κόστος \$2,000,000 για κάθε τερματικό σταθμό. Όσον αφορά το κόστος συντήρησης εκτιμάται ότι ανέρχεται στο 3% του κόστους επένδυσης.^[31]

Βιβλιογραφία

1. E A Lewis, K L Flint, Use of energy storage systems in naval combatants, The Institute of Marine Engineering, Science & Technology, 2009.
2. European Parliament, Policy Department, Economic and Scientific Policy, Study, Outlook of Energy Storage Technologies (IP/A/ITRE/FWC/2006-087/Lot 4/C1/SC2), 2007.
3. (<http://www.itpower.co.uk/investire/>)
4. Industrial Technology Research Institute (ITRI), Enhanced Lithium Battery Using Nanostructured Electrode Materials, 2004. <http://www.ntrc.itri.org.tw/research/pdf-2004/06-1.pdf>
5. Berdichevsky, G., Kelty, K., Straubel, J. B., and Toomre, E., The Tesla Roadster Battery System, Tesla Motors, 2006. http://www.teslamotors.com/display_data/TeslaRoadsterBatterySystem.pdf
6. Lailier, P., Lead Acid Systems, INVESTIRE – Network, 2003. <http://www.itpower.co.uk/investire/>
7. Holzman, D., The Vanadium Advantage: Flow batteries put wind energy in the bank, Environmental Health Perspectives, 115 (7), July 2007. <http://www.ehponline.org/members/2007/115-7/EHP115pa358PDF.pdf>
8. Energy Storage – A Nontechnical Guide, 2006
9. Department for Trade and Industry (DTI), Electrical energy storage systems – a mission to the USA, December 2006.
10. Willer, B., Supercapacitors report, Deliverable_5_ST_081002_ISET, INVESTIRE – Network, 2003. <http://www.itpower.co.uk/investire/>
11. Laboratory of Electromagnetic and Electronic Systems (LEES), MIT Carbon Nanotube Enhanced Ultracapacitors, 2007. http://lees.mit.edu/lees/projects/cnt_ultracap_project.htm
12. Honda website, More powerful drive assistance, more efficient energy recovery during braking. <http://world.honda.com/FuelCell/FCX/ultracapacitor/>
13. Ruddell, A., Storage Technology Report ST6: Flywheels, INVESTIRE – Network, 2003. <http://www.itpower.co.uk/investire/>
14. Electricity Storage Association (ESA), http://www.electricitystorage.org/tech/technologies_technologies.htm
15. M. Triantafyllou, G. Karniadakis, Franz Hover, J. Kirtley and Steve Leeb, The All-Electric Ship, Massachusetts Institute of Technology, Department of mechanical engineering, center of ocean engineering, http://oe.mit.edu/index.php?option=com_content&task=view&id=111&Itemid=122
16. <https://www.naftikachronika.gr/2020/04/01/ta-prota-bunker-tankers-midenikon-ekpompon/>
17. Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Ε.Βούσουρας
18. Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. Κωνσταντίνος Δ.Ρακόπουλος, εκδόσεις Φούντα.
19. Transport and Sustainability, Emerald Book Chapter: Chapter 4 An International Dimension: Shipping, Kevin Cullinane, 2012

20. <http://www.mfa.gr/exoteriki-politiki/i-ellada-stous-diethneis-organismous/imo.html>
21. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), Maritime air emissions and MARPOL Annex VI, June 2007
22. <https://docplayer.gr/53303132-Eisagogi-i-istoria-tis-synthikis-marpol-73-78-i-synthiki-toy-1973-i-diaskepsi-toy-1978-ta-parartimata-oi-tropopoiiseis.html>
23. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Ναυτιλία με Σκοπό τη Συμμόρφωση με τους Διεθνείς Κανονισμούς Ρύπων, Ραπτοτάσιου Σπυρίδων, Μεταπτυχιακή Εργασία.
24. <https://www.thomasnet.com/insights/solar-powered-shipping-to-save-250-million-tons-of-fuel-per-year/>
25. <https://www.supercaptech.com/supercapacitor-electric-boat-ar-vag-tredan-operates-in-france>
26. <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e481/e481053.pdf>
27. <https://www.omicsonline.org/open-access/calculation-and-assessing-the-ee-di-index-in-the-field-of-ship-energyefficiency-for-mv-jules-garnier-2155-9910-1000212.php?aid=82190>
28. <https://www.dnvgl.com/services/energy-efficiency-design-index-calculator-140598>
29. <https://www.rivieramm.com/opinion/breathing-life-into-iyara-birkelandi-54833>
30. <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>
31. Διπλωματική Εργασία «Διερεύνηση Μεθόδων Ενεργειακής Αναβάθμισης στο Λιμάνι του Ηρακλείου», Ποντικός Συμείων
32. <https://irena.org/publications/2015/Feb/Renewable-Energy-Options-for-Shipping>
33. http://www.effship.com/PublicPresentations/Final_Seminar_2013-03-21/06_EffShip-Wind_propulsion-Bjorn_Allenstrom_SSPA.pdf
34. <http://www.propelwind.com>
35. <http://www.b9energy.com/B9Shipping/FlagshipsoftheFuture/TheIrresistibleBusinessCase/tabid/5071/language/en-US/Default.aspx>
36. <http://www.marin.nl>; <http://www.fairtransport.com>
37. <http://seagatesail.com/application-studies/commercial-applications/roro/>
38. <http://www.solarsailor.com/solar-sails/>
39. <http://oceanfoil.com/technology/>
40. <http://www.marinepropulsors.com/proceedings/2013/11B.3.pdf>
41. http://www.effship.com/PublicPresentations/Final_Seminar_2013-03-21/09_EffShip-Handout.pdf
42. <https://www.asahi-tanker.com/en/>
43. [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
44. Analysis of marine solar power trials on Blue Star Delos, Gregory Mark Atkinson, Eco Marine Power, Fukuoka, Japan
45. G. Hon and H. Wang, “The International Council on Clean Transportation,” July 2011. [Online]. Available:

- http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTpolicyupdate15_EE_DI_final.pdf.
46. Y. Ozaki, J. Larkin, K. Tikka and K. Michel, “An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containerships, and LNG Carriers,” in Sustainability in the Maritime Industry: A Collection of Relevant Papers, Society of Naval Architects and Marine Engineers Arctic Section, 2010.
 47. D. Singh and E. Pedersen, “A Review of Waste Heat Recovery Technologies for Maritime Applications,” Energy Conversion and Management, vol. 111, pp. 315-328, 2016.
 48. Y. Ichiki, S. Keiichi and T. Kanaboshi, “Development of Super Waste-Heat Recovery System for Marine Diesel Engines,” Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, vol. 48, no. 1, pp. 17-21, 2011.
 49. E. L. Yuksek and P. Mirmobin, “Waste Heat Utilization of Main Propulsion Engine Jacket Water in Marine Application,” in ASME ORC 2015, Brussels, 2015.
 50. EMSA MARITIME BATTERY STUDY, Electrical Energy Storage for Ships
EMSA European Maritime Safety Agency
 51. Field operation of a 125kW ORC with ship engine jacket water.
Christopher Sellers
 52. <https://safety4sea.com/tallink-grupp-conducts-its-first-cold-ironing-at-stockholm-port/>
 53. Diesel-electric Propulsion Plants. MAN
 54. <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/ECO-FLETTNER-rotor-sail-stands-the-test.html>
 55. <https://glomeep.imo.org/technology/energy-efficient-lighting-system/>
 56. Shell Hydrogen Study
 57. Hybrid Propulsion
Flexibility and maximum efficiency optimally combined