



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

**Μελέτη Εφαρμογών Υβριδικής Πρόωσης με τη Χρήση Αξονικών
Γεννητριών στις καταστάσεις ΡΤΙ/ΡΤΟ/Boost**



Διπλωματική εργασία

Ιωάννης Ευστάθιος Αναστασίου

nm13072

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Προυσαλίδης Ιωάννης – Κλαδάς Αντώνιος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές της διπλωματικής εργασίας κ. Ιωάννη Προυσαλίδη και κ. Αντώνιο Κλαδά για την ευκαιρία που μου προσέφεραν να ασχοληθώ με την συγκεκριμένη θεματολογία μέσα από την καθοδήγησή τους αλλά και το προϋπάρχον υλικό που μοιράστηκαν μαζί μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και να το συνδυάσω με θεματολογίες που με ενδιαφέρουν από μικρό παιδί κυνηγώντας ένα όνειρο που κάποτε έμοιαζε απλησίαστο.

Αθήνα 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η ηλεκτρική πρόωση αποτελεί ένα κλάδο ο οποίος έχει αρχίσει να κάνει τα πρώτα του δειλά βήματα στη ναυτική βιομηχανία τις τελευταίες δεκαετίες. Ο λόγος για τον οποίο δεν είχε βασικό ρόλο στην πρόωση των πλοίων ήταν η πολύ υψηλή απαίτηση ισχύος για την κίνηση ενός πλοίου πολλών χιλιάδων τόνων. Την αντικατέστησαν οι δίχρονοι (και όχι μόνο) κινητήρες οι οποίοι είχαν την δυνατότητα όχι μόνο να προσφέρουν την τεράστια αυτή ισχύ αλλά και να το πράττουν με την χρήση βαρέως καυσίμου, το οποίο ελάχιστα είναι οι εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω της κακής του ποιότητας. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια έχει μπει σε μεγάλο βαθμό ο περιβαλλοντικός παράγοντας στη ναυτιλία με αποτέλεσμα την καθιέρωση νόμων και κανονισμών για τον περιορισμό των ρύπων και συγκεκριμένα των διοξειδίων του θείου, του νατρίου και του άνθρακα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαφυγή σε εναλλακτικές πηγές πρόωσης είτε με την χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως φυσικό αέριο, βιοντήζελ κλπ είτε με τον εξηλεκτρισμό πλοίων μικρότερου συνήθως μεγέθους λόγω της μέχρι τώρα ανεπάρκειας των μπαταριών, οι οποίες μέχρι πρότινος δεν είχαν την δυνατότητα αποθήκευσης της ποσότητας της ενέργειας που απαιτείται σε ένα πλοίο, κάτι που τις καθιστούσε ασύμφωρες όσον αφορά το κόστος αλλά το βάρος στην κατασκευή του πλοίου. Αυτό έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια καθώς η πρόοδος των μπαταριών έχει σημειώσει τα τελευταία 15 χρόνια μεγαλύτερη ανάπτυξη από αυτή που παρουσίασε στη πάροδο αρκετών δεκαετιών τον περασμένο αιώνα. Η πρόοδος αυτή είναι στα πλαίσια χωρητικότητας αλλά και κύκλων ζωής και βάρους κάτι που έχει οδηγήσει άλλες βιομηχανίες να προβούν στον εξηλεκτρισμό των προϊόντων τους όπως είναι και η αυτοκινητοβιομηχανία.

Βαδίζουμε σε μια εποχή, που ο εξηλεκτρισμός αποτελεί μονόδρομο καθώς είναι και ο μόνος τρόπος προς το παρόν, με τον οποίον μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάτι το οποίο θα αποτελέσει βασικό στόχο της ανθρωπότητας τα επόμενα χρόνια για την ύπαρξη μιας πράσινης κοινωνίας εναρμονισμένης με τη φύση χωρίς να τη βλάπτει στο βαθμό που κάνει μέχρι σήμερα.

Περίληψη

Πρωταρχικός στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη και η αξιολόγηση συστημάτων ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλία. Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από ήδη υπάρχουσες εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης ενώ χρησιμοποιούνται και στοιχεία από τεχνολογίες οι οποίες δεν έχουν ακόμα εφαρμογή στην ναυτική βιομηχανία αλλά με τα πλεονεκτήματα που παρέχουν θα αποτελέσουν κομβικό ρόλο στον πλήρη εξηλεκτρισμό των πλοίων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια ιστορικά στοιχεία ηλεκτροπρόωσης ενώ γίνεται μια εισαγωγή στον τρόπο με τον οποίο αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με την επισκόπηση εφαρμοζόμενων τεχνικών στις αξονικές γεννήτριες πλοίου αλλά και την αναφορά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της ηλεκτροπρόωσης εξετάζοντας την σφαιρικά από την μεριά του μηχανικού αλλά και του πλοιοκτήτη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται συγκεκριμένες εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε ποντοπόρα πλοία. Παρουσιάζεται το υβριδικό σύστημα στις δύο του μορφές (σειριακό, παράλληλο) καθώς και το πλήρως εξηλεκτρισμένο σύστημα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Ηλιακή, Αιολική, Μπλε Ενέργεια) και στα ποσά ενέργειας που είναι ικανές να μας παρέχουν. Τέλος γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε πλοία που λόγω του είδους του φορτίου που μεταφέρουν απαιτούν ειδική μεταχείριση.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέσα ηλεκτροπρόωσης. Συγκεκριμένα αναφέρονται τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες λιθίου, οι μπαταρίες ροής βαναδίου και οι υπερπυκνωτές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διάφορα στοιχεία ηλεκτροπρόωσης όπως είναι οι μετατροπείς, ο αντιστροφέας, η γεννήτρια/κινητήρας αλλά και ειδικές εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση στρεφόμενου πυκνωτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ορίζεται ο δείκτης EEDI (Energy Efficiency Design Index) ενεργειακής απόδοσης. Αναφέρεται ο επιτευχθείς δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Attained EEDI_A) καθώς και ο απαιτούμενος δείκτης σχεδιασμού (Required EEDI). Για όλα τα παραπάνω περιγράφεται η μεθοδολογία υπολογισμού για κάθε είδος πλοίου αλλά και οι τιμές στις οποίες είναι θεμιτό να κινούνται.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη συνδυασμένη πρόωση για ένα υπάρχον πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Στη συνέχεια περιγράφονται πέντε διαφορετικά σενάρια με τα οποία είναι πολύ πιθανό να έρθει αντιμέτωπος ένας καπετάνιος και παρουσιάζεται ο βέλτιστος τρόπος λειτουργίας του πλοίου στις καταστάσεις αυτές με την χρήση της αξονικής γεννήτριας αλλά και με την ύπαρξη μπαταριών (τα παραπάνω γίνονται με τον υπολογισμό του δείκτη EEDI).

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα από την παρούσα διπλωματική εργασία και οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

Abstract

The main objective of this paper is to study and evaluate electric propulsion systems in shipping. For the preparation of the work, data from existing electric propulsion applications, and data from technologies not yet applied to the marine industry were used, but with the advantages they provide, will have a key role in the full electrification of ships in the future.

In the first chapter there are presented some historical data of electric propulsion in general. Also is presented an introduction to the way electric propulsion can be applied with the overview of applied techniques with shaft motors in ships as well as the report of advantages and disadvantages of it by examining the spherical aspects of the engineer and ship-owner.

The second chapter mentions specific electric propulsion applications in sea-going vessels. It presents the hybrid system in its two forms (serial, parallel) as well as the fully electrified system. Then reference is made to renewable energy sources (Solar, Wind, Blue Energy) and to the amounts of energy that are able to provide us. Finally, reference is made to specific electric applications on ships which, due to the type of cargo they carry, require special treatment.

The third chapter presents the electric propulsion means. Specifically, energy storage technologies are listed, such as lithium batteries, vanadium-flow batteries and supercapacitors. In addition the various electric propulsion elements such as converters, inverter, generator / motor, and special applications requiring the use of a rotating capacitor are presented.

The fourth chapter defines the Energy Efficiency Design Index (EEDI). The Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI_A) and the Required EEDI are reported. For all of the above, the calculation methodology for each type of ship is described, but also the values at which may vary.

In the fifth chapter reference is made to combined propulsion for an existing container ship. Five different scenarios are described with which a captain is most likely to be confronted and finally the optimal mode of operation of the ship is presented in these situations with the use of the axial generator and the presence of batteries (the above are done by calculating the EEDI index).

The sixth and final chapter outline the conclusions of this dissertation and the proposals for further study.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	1
Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6

ΜΕΡΟΣ Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Σκοπός.....	9
1.3 Ιστορικά.....	10
1.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης.....	10
1.5 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης.....	11
1.5.1 Επισκόπηση εφαρμοζόμενων τεχνικών στις αξονικές γεννήτριες πλοίου.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε ποντοπόρα πλοία.....	18
2.1.1 Υβριδικό σύστημα.....	18
2.1.1.1 Σειριακό Υβριδικό Σύστημα.....	18
2.1.1.2 Παράλληλο υβριδικό σύστημα.....	19
2.1.1.3 Σειριακό/Παράλληλο υβριδικό σύστημα.....	19
2.1.2 Πλήρως εξηλεκτρισμένο σύστημα.....	19
2.1.2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	20
2.2 Ειδικές εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης.....	21
2.2.1 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε πλοία μεταφοράς LNG.....	21

2.2.2 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε παγοθραυστικά.....	25
2.2.3 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε επιβατηγά πλοία.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Μέσα ηλεκτροπρόωσης.....	29
3.1.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.....	29
3.1.1.1 Μπαταρίες Λιθίου.....	30
3.1.1.2 Μπαταρίες Ροής Βαναδίου.....	32
3.1.1.3 Υπερπυκνωτές.....	33
3.2 Στοιχεία Ηλεκτροπρόωσης.....	34
3.2.1 Μετατροπέας.....	34
3.2.2 Αντιστροφέας.....	36
3.2.3 Γεννήτρια/Κινητήρας.....	37
3.2.4 Έξτρα.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Energy Efficiency Design Index (EEDI).....	46
4.1.1 Εισαγωγή.....	46
4.1.2 Ορισμός του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI).....	46
4.1.3 Επιτευχθείς Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης.....	46
4.1.4 Βασικός Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (Baseline Energy Efficiency Design Index – EEDI _{BL}).....	51
4.1.4.2 Απαιτούμενος Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Required EEDI).....	51
4.2 Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Λειτουργίας (Energy Efficiency Operation Index - EEOI).....	59
4.2.1 Εισαγωγή.....	59
4.2.2 Ορισμός του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης κατά την Λειτουργία (EEOI).....	59

4.2.2.1 ΕΕΟΙ Μονού ταξιδιού.....	60
4.2.2.2 Μέσος ΕΕΟΙ.....	60
4.2.2.3 Μέσος όρος του δείκτη ΕΕΟΙ.....	60
4.3 ΕΕΔΙ στην Ντιζελοηλεκτρική Πρόωση.....	61
4.3.1 Εισαγωγή.....	61
4.3.2 Απλοποιημένο Ηλεκτρικό Σύστημα Ντίζελ.....	62
4.3.3 Πρόταση CMTI για τον υπολογισμό του ΕΕΔΙ στα ντίζελ-ηλεκτροκίνητα πλοία.....	64
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</u>	
5.1 Συνδυασμένη πρόωση.....	66
5.1.1 Σενάριο 1 ^ο	69
5.1.2 Σενάριο 2 ^ο	72
5.1.3 Σενάριο 3 ^ο	74
5.1.4 Σενάριο 4 ^ο	75
5.1.5 Σενάριο 5 ^ο	77
5.2 Συμπεράσματα.....	79
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</u>	
6.1 Συμπεράσματα.....	80
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	82
ΜΕΡΟΣ Β	
Βιβλιογραφία.....	84

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ύπαρξη ηλεκτροπρόωσης στη ναυτική βιομηχανία με τη χρήση κύριας μηχανής σε συνδυασμό με αυτή των αξονικών γεννητριών είτε ως μέσα μετατροπής της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική (PTO) είτε ως μέσα μετατροπής της ηλεκτρικής σε μηχανική (PTI).

Ως ηλεκτροπρόωση ονομάζεται το είδος της πρόωσης το οποίο προκύπτει από την ύπαρξη ηλεκτροκινητήρων συνδεδεμένους στο κύριο ελικοφόρο άξονα είτε με σχέση 1/1 είτε με την ύπαρξη (σπανιότερα) μειωτήρα. Για να θεωρείται εξ ολοκλήρου ηλεκτροπρόωση δεν υφίσταται η ύπαρξη από άλλου είδους μηχανές όπως 2-Χ/4-Χ ντίζελ, αεριοστρόβιλοι ή ατμοστρόβιλοι εκτός αν αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ρεύματος για την λειτουργία αξονικής γεννήτριας. Οι εφαρμογές εξ ολοκλήρου ηλεκτρικών πλοίων είναι πολύ σπάνιες και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερα πλοία στα οποία η απαίτηση ισχύος δεν είναι πολύ μεγάλη. Αυτό συμβαίνει λόγω της αδυναμίας μέχρι στιγμής της χωρητικότητας των μπαταριών να αποθηκεύσουν επαρκή μεγέθη ισχύος με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ μεγάλα βάρη μπαταριών για τον πλήρη εξηλεκτρισμό του πλοίου.

Στην παρούσα διπλωματική θα αναφερθούμε στην υβριδική μορφή πλοίων τα οποία διαθέτουν κύρια μηχανή ντίζελ αλλά και αξονικές γεννήτριες με σκοπό την βελτιστοποίηση της λειτουργίας αυτού βασισμένη στην ελαστικότητα της χρήσης της αξονικής γεννήτριας πάντα προς όφελος της λειτουργικότητας του πλοίου με βάση την πρόωση αυτού.

1.2 Σκοπός

Συγκεκριμένα σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση της βέλτιστης χρήσης της αξονικής γεννήτριας με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και την λειτουργία της μηχανής στη βέλτιστη της κατάσταση στην οποία μας δίνει την μεγαλύτερη ισχύ για συγκεκριμένες στροφές (MCR). Επιπλέον η εισαγωγή στο χώρο της ηλεκτροπρόωσης αποτελεί βασικό έναυσμα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής μιας και αποτελεί ένα χώρο που κατά τη γνώμη πολλών θα αποτελέσει βασικό παράγοντα τα επόμενα χρόνια στη ναυτιλία. Επί προσθέτως σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η εισαγωγή στην τεχνολογία των μπαταριών, ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες για την ύπαρξη στο μέλλον του πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου, με την παρουσίαση διαφόρων τύπων μπαταριών όπως λιθίου ή βαναδίου με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την κάθε περίπτωση σε σχέση με το συνολικό βάρος, την χωρητικότητα των μπαταριών αλλά και τα έξοδα συντήρησης και επίβλεψης.

1.3 Ιστορικά

Η ηλεκτρική πρόωση άρχισε να εφαρμόζεται περίπου 6 δεκαετίες πριν. Στα πρώτα χρόνια που εμφανίστηκε, τα συστήματα ήταν τύπου ΣΡ (συνεχούς ρεύματος). Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 αρχίζει να χρησιμοποιείται το εναλλασσόμενο ρεύμα, αλλά τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες ΣΡ. Τα τελευταία όμως χρόνια, η ευρεία ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων ΕΡ (ηλεκτρονικά ισχύος), που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της πρόωσης τόσο από πλευράς ευελιξίας όσο και οικονομίας καυσίμου, έδωσε τη δυνατότητα ευρύτερης διάδοσης της ηλεκτρικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία. Παράλληλα όμως με τις νέες δυνατότητες που παρουσιάζονται χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος, τίθενται υψηλές απαιτήσεις ως προς τον έλεγχο, τη παραγωγή, τη διανομή και την ποιότητα ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα των πλοίων.

1.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης

A) Πλεονεκτήματα

- Ακριβής έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και του πλοίου, όπως και της θέσης
- Υψηλή δυνατότητα ελιγμών
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών
- Οικονομία καυσίμου, εφόσον είναι εφικτή η φόρτιση των μηχανών κοντά στο βέλτιστο σημείο
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Εξοικονόμηση χώρου, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους
- Ευκολία αυτοματισμού
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και επομένως αυξημένη ασφάλεια
- Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων, εφόσον η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, ενώ οι εκπομπές ΝΟx αισθητά χαμηλότερες
- Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος

B) Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό

κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να μειώνεται εύκολα

- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Για παράδειγμα, σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel - έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης-εντοπίζονται στην έλικα και τον μειωτήρα- είναι περίπου 4% όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%, που οφείλονται στις γεννήτριες, στους μετασχηματιστές, στους μετατροπείς συχνότητας και στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή
- Προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της εγκατάστασης διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος
- Υψηλό βάρος μπαταριών για την πλήρη κάλυψη μεγάλης ισχύος πλοίων (ελάττωση φορτίου)
- Επιπλέον φόρτιση της κύριας μηχανής - Όταν μία αξονική γεννήτρια συνδέεται στον ελικοφόρο άξονα μίας μηχανής, τότε αυξάνεται το φορτίο της και κατ' επέκταση αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου και η κατανάλωση σε λιπαντικό έλαιο, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της κύριας προωστήριας μηχανής

1.5 Εφαρμογές Ηλεκτροπρόωσης

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων.
- Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες, μη αναστρέψιμες μηχανές.
- Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ειδικά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των υποβρυχίων. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν

υποψήφιο σύστημα για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς και των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία -προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από περιορισμούς χώρου αλλά και απαιτήσεις του προωστήριου συστήματος), προϋποθέτουν περαιτέρω ανάπτυξη των υποσυστημάτων της ηλεκτροπρόωσης.

Εικόνα 1



Ένας επιπλέον λόγος για την ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης τα επόμενα χρόνια επρόκειτο να είναι η ταυτόχρονη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των οποίων η εκμετάλλευση προϋποθέτει την μετατροπή οποιασδήποτε

μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Με αποτέλεσμα μέσω της ηλεκτροπρόωσης να γίνεται πιο εφικτή και άμεση η εκμετάλλευση των τεράστιων ποσών ενέργειας που μπορεί να μας παρέχει η φύση. Ήδη από το 2020 μηδενίζονται ουσιαστικά οι εκπομπές SOx & NOx μέσω του "tier III" και η ναυτιλία θα κινηθεί σε πιο πράσινες λύσεις πρόωσης ούτως η άλλως με την ηλεκτροπρόωση να αποτελεί μια εκ των βασικών.

- Γεννήτριες

Οι τυποποιημένες τιμές ισχύος της κύριας γεννήτριας κυμαίνονται από 100 KW έως 2 MW υπό τάση 440 V, 60 Hz εναλλασσόμενου ρεύματος η 380 V, 50 Hz εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία παίρνει κίνηση από πετρελαιομηχανή, ατμοστρόβιλο, αεριοστρόβιλο η από τον άξονα της κύριας μηχανής. Καθώς προκύπτουν ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις εγκαταστάσεων ως προς την ηλεκτρική ισχύ (π.χ. ειδικές περιπτώσεις ακτοπλοϊκών πλοίων και κρουαζιερόπλοια) είναι απαραίτητο να παράγεται υψηλή τάση (HV). Τυπικές τιμές των τάσεων αυτών είναι 6.6 KV, 60 Hz, καθώς επίσης και τάσεις των 3.3 KV και 11 KV.

- Αξονική γεννήτρια

Κάθε γεννήτρια που λαμβάνει μηχανική ισχύ από το αξονικό σύστημα του πλοίου. Η χρήση των αξονικών γεννητριών σε συνδυασμό με δίχρονες κύριες μηχανές ντήζελ κατά τη δεκαετία του ογδόντα, αποτέλεσε την πιο συνηθισμένη πρακτική για την παραγωγή ενέργειας στα πλοία καθώς την περίοδο εκείνη οι περισσότερες γεννήτριες ντήζελ ήταν αδύνατο να λειτουργήσουν με βαρύ πετρέλαιο ενώ ακόμα και εκείνες που έκαιγαν βαρύ πετρέλαιο ήταν οικονομικά ασύμφωρες.

Για τις μηχανές που χρησιμοποιούνται ως αξονικές γεννήτριες διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

α) Σύγχρονες γεννήτριες οι οποίες οδηγούνται από ένα μηχανικό, υδραυλικό ή ηλεκτρικό σύστημα κίνησης και είναι διατεταγμένες έτσι ώστε να λειτουργούν με μια σταθερή συχνότητα.

β) Ασύγχρονες γεννήτριες οι οποίες λειτουργούν με μεταβλητή συχνότητα διέγερσης στο κύκλωμα του δρομέα. Οι διαμορφώσεις με τις γεννήτριες αυτού του τύπου βρίσκονται προς το παρόν σε πειραματικό στάδιο.

γ) Γεννήτριες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες χρησιμοποιούν μετατροπείς για να συνδεθούν με το σύστημα ισχύος.

1.5.1 Επισκόπηση εφαρμοζόμενων τεχνικών στις αξονικές γεννήτριες πλοίου

Κατηγοριοποίηση αξονικών γεννητριών:

1. Σύστημα ανάληψης ισχύος σταθερών στροφών

Οι γεννήτριες με σύστημα ανάληψης ισχύος σταθερών στροφών (PTO/GCR, Power Take Off/**Gear Constant Ratio**) είναι οι απλούστερου τύπου αξονικές γεννήτριες καθώς δεν περιλαμβάνουν κανενός είδους σύστημα ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής των και των συχνοτήτων που παράγουν.

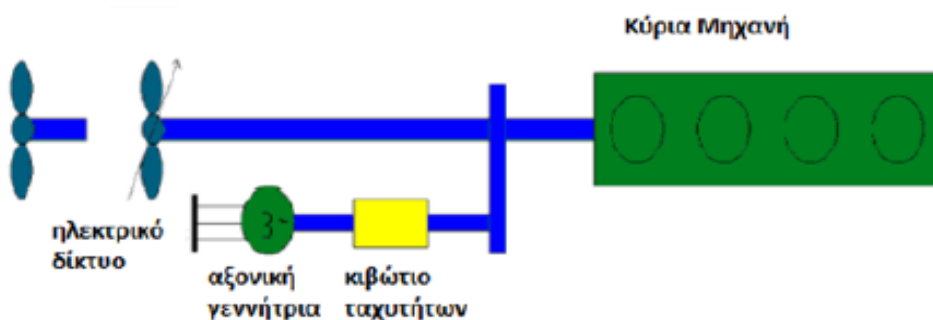
Συνήθως οι γεννήτριες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλώ, καθώς τότε αν το πλοίο διαθέτει έλικα μεταβλητού βήματος είναι δυνατόν η κύρια μηχανή του να δουλεύει σε σταθερές στροφές. Παρά το γεγονός ότι η έλικα μεταβλητού βήματος είναι γενικά μία δαπανηρή λύση πρόωσης, επιλέγεται καθώς εξασφαλίζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η λειτουργία της μηχανής στο βέλτιστο σημείο καθώς και καλύτερους και γρηγορότερους ελιγμούς του πλοίου.

Επιπλέον, οι γεννήτριες αυτού του τύπου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ρεύματος μεταβλητής συχνότητας (π.χ. 50-60 Hz). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι το φορτίο της κύριας μηχανής μπορεί να μεταβάλλεται από 83% έως 100% της μέγιστης τιμής (**MCR, Maximum Continuous Rating**). Αυτό βέβαια σημαίνει ότι οι καταναλωτές που είναι ευαίσθητοι σε μεταβαλλόμενες τιμές συχνότητας πρέπει να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια είτε μέσω ενός **μετατροπέα συχνότητας**, είτε μέσω γεννητριών ντήζελ με αυτού του είδους τις περιπτώσεις όμως, να είναι αρκετά σπάνιες. Οι γεννήτριες τύπου PTO/GCR είναι αδύνατο να λειτουργήσουν παράλληλα με γεννήτριες ντήζελ εξ' αιτίας της μεταβαλλόμενης περιστροφικής ταχύτητας του ελικοφόρου άξονα, και συνεπώς και της ηλεκτρικής συχνότητας ακόμα και στις περιπτώσεις χρήσης έλικας μεταβλητού βήματος.

Όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλώ, τότε μπορεί να τεθεί σε λειτουργία η αξονική γεννήτρια PTO/GCR και να παράγει στο πλοίο την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια με τις γεννήτριες ντήζελ εκτός λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια όμως των ελιγμών του σκάφους, όπου οι στροφές της κύριας μηχανής αυξομειώνονται, οι γεννήτριες PTO/GCR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την **τροφοδότηση των πρωραίων βοηθητικών προωστήρων (bow-thrusters), οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν με μεταβαλλόμενη συχνότητα**, ενώ οι γεννήτριες ντήζελ θα εξυπηρετούν τις υπόλοιπες ανάγκες του σκάφους.

2. Σύστημα ανάληψης ισχύος με μηχανικό έλεγχο συχνότητας

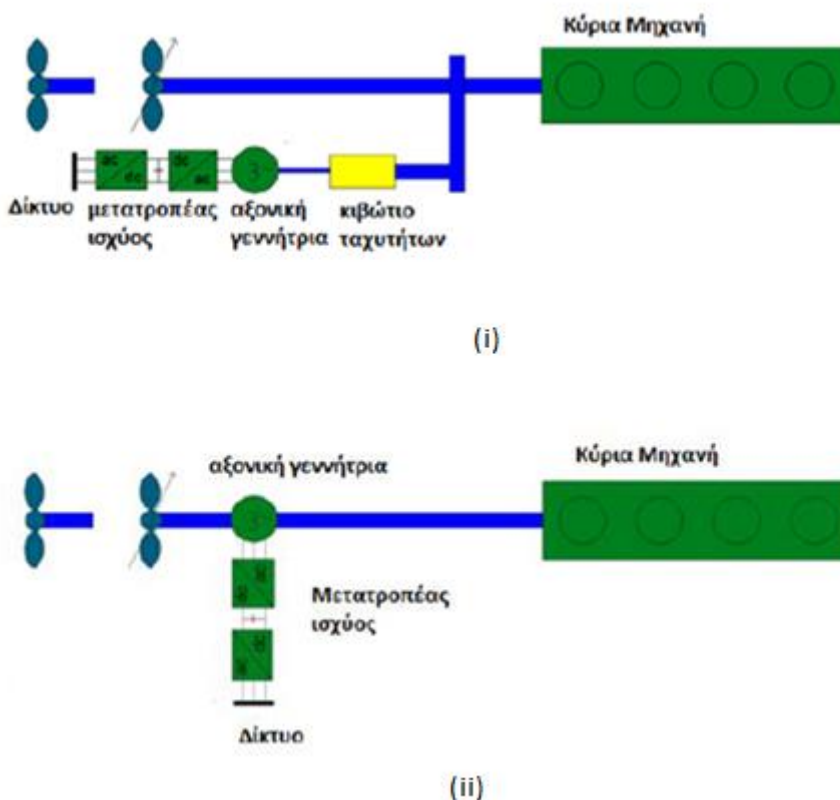
Οι αξονικές γεννήτριες με σύστημα ανάληψης ισχύος με μηχανικό έλεγχο συχνότητας (PTO/RCF, Power Take Off/Renk Constant Frequency) **έχουν την ίδια διάταξη με τις παραπάνω με την προσθήκη ενός κιβωτίου ταχυτήτων**, συνήθως πλανητικού τύπου (RCF). Το κιβώτιο ταχυτήτων χρησιμοποιείται για να σταθεροποιεί όσο το δυνατόν την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της αξονικής γεννήτριας, σε κάθε ενδεχόμενη μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του ελικοφόρου άξονα της κύριας μηχανής. **Το εύρος των ταχυτήτων του κιβωτίου ταχυτήτων είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε να λειτουργεί μεταξύ του 100% και 70% της κύριας μηχανής για ορισμένο MCR.** Ένα σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου εξασφαλίζει ότι η συχνότητα του ρεύματος που παράγεται από την αξονική γεννήτρια είναι ίδια με αυτή που παράγουν οι γεννήτριες ντήζελ επιτρέποντας έτσι στην γεννήτρια να λειτουργεί **είτε μόνη της είτε παράλληλα με τις γεννήτριες ντήζελ**, μέσω βέβαια του κιβωτίου ταχυτήτων. Επιπλέον, οι γεννήτριες αυτές συνδέονται με τον ελικοφόρο άξονα μέσω **πολύδισκου συμπλέκτη**, ο οποίος επιτρέπει τη σύμπλεξη ή την αποσύμπλεξη των γεννητριών με τον ελικοφόρο άξονα.



Εικόνα 2: Διάταξη αξονικής γεννήτριας με σύστημα ανάληψης ισχύος σταθερών στροφών/ Διάταξη αξονικής γεννήτριας με σύστημα ανάληψης ισχύος με μηχανικό έλεγχο συχνότητας με συμβατική προπέλα ή προπέλα ελεγχόμενου βήματος

3. Σύστημα ανάληψης ισχύος με ηλεκτρικό έλεγχο συχνότητας

Η διάταξη των αξονικών γεννητριών με σύστημα ανάληψης ισχύος με ηλεκτρικό έλεγχο (PTO/CFE, Power Take Out/ Constant Frequency Electrical) αποτελείται από ένα κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια και ένα σύστημα ηλεκτρικού ελέγχου όπως φαίνεται στην εικόνα 3(i) ή εναλλακτικά από μια γεννήτρια χαμηλών στροφών με σύστημα ηλεκτρικού ελέγχου όπως φαίνεται στην εικόνα 3(ii). Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει ένα κιβώτιο ταχυτήτων με σταθερό λόγο και το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή της μεταβαλλόμενης συχνότητας σε σταθερή. Το σύστημα ελέγχου γενικά αποτελείται από έναν ανορθωτή και έναν αντιστροφέα, οι οποίοι πέρα από τη διατήρηση της συχνότητας και της τάσης του ζυγού σταθερές αναλαμβάνουν να ρυθμίσουν και την ενεργό ισχύ που θα προσφερθεί στο δίκτυο. Παρόλα αυτά είναι πιθανόν να αποφευχθεί η χρήση του κιβωτίου ταχυτήτων, εάν επιλεγεί μια γεννήτρια με μεγάλο αριθμό πόλων. Σε αυτή τη τοπολογία συνηθίζεται να χρησιμοποιείται σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη λόγω της ικανότητας τοποθέτησης υψηλού αριθμού μονίμων μαγνητών στο δρομέα.



Εικόνα 3: (i) Διάταξη αξονικής γεννήτριας με σύστημα ανάληψης ισχύος με ηλεκτρικό έλεγχο (ii) Διάταξη αξονικής γεννήτριας με σύστημα ανάληψης ισχύος με ηλεκτρικό έλεγχο χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων

	Alternative types and layouts of shaft generator	Design	Sealing	Total efficiency (%)
PTO/GCR	1	BW I/GCR	On engine (vertical generator)	92
	2	BW II/GCR	On tanktop	92
	3	BW III/GCR	On engine	92
	4	BW IV/GCR	On tanktop	92
PTO/RCF	5a 5b	BW I/RCF	On engine (vertical generator)	88-91
	6a 6b	BW II/RCF	On tanktop (vertical generator)	88-91
	7a 7b	BW III/RCF	On engine	88-91
	8a 8b	BW IV/RCF	On tanktop	88-91
PTO/CFE	9a 9b	BW I/CFE	On engine (vertical generator)	81-85
	10a 10b	BW II/CFE	On tanktop	81-85
	11a 11b	BW III/CFE	On engine	81-85
	12a 12b	BW IV/CFE	On tanktop	81-85
	13a 13b	DMG/CFE	On engine	84-88
	14a 14b	SMG/CFE	On tanktop	84-88

Types of PTO

Εικόνα 4: Διάταξη αξονικών γεννητριών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε ποντοπόρα πλοία

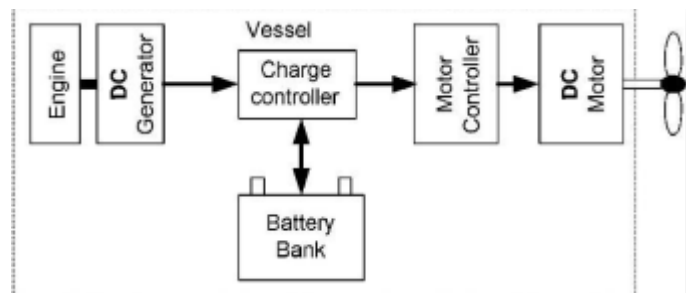
Η ηλεκτροπρόωση όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έχει αρχίσει να κάνει τα πρώτα της βήματα και σε πλοία που εκτελούν μεγάλα ταξίδια. Παρόλα αυτά ο πλήρης εξηλεκτρισμός ενός τέτοιου πλοίου δεν είναι πάντα εφικτός καθώς είναι ασύμφορος. Γεγονός που οφείλεται κυρίως στο κόστος και το βάρος των μπαταριών για την παραγωγή ισχύος της τάξεως των δεκάδων MW για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για τον λόγο αυτό οι εφαρμογές που έχουν ξεκινήσει να λαμβάνουν χώρα στη ναυτιλία απευθύνονται κυρίως σε πλοία υβριδικής μορφής τα οποία για την πρόωση τους χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό πετρελαιοκίνησης και ηλεκτροπρόωσης. Συγκεκριμένα τα περισσότερα από αυτά τα πλοία έχουν κύρια μηχανή αλλά συνδυάζουν και την ηλεκτροπρόωση με την ύπαρξη της αξονικής γεννήτριας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προσφέρεται στον καπετάνιο η ευελιξία της χρήσης και των δύο μέσων πρόωσης.

2.1.1 Υβριδικό σύστημα

Για να επιτευχθεί το υβριδικό σύστημα χρειάζεται η παράλληλη ύπαρξη μιας κύριας μηχανής αλλά και μιας αξονικής γεννήτριας όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο ηλεκτροκινητήρας στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως γεννήτρια είτε ως κινητήρας και αυτός είναι ο κύριος λόγος που εξασφαλίζει ευελιξία στον χειρισμό ενός οποιουδήποτε πλοίου.

2.1.1.1 Σειριακό Υβριδικό Σύστημα

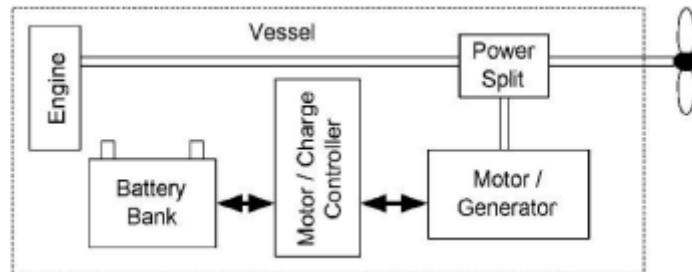
Εικόνα 5



Στο σειριακό υβριδικό σύστημα ο ηλεκτροκινητήρας είναι ο μόνος τρόπος παροχής ισχύος στην έλικα. Ο κινητήρας λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια είτε από τη μπαταρία είτε από μια γεννήτρια που λειτουργεί μέσω μιας μηχανής εσωτερικής καύσης. Αυτό επιτρέπει σε ένα σκάφος να συνεχίσει να λειτουργεί και μετά την αποφόρτιση των μπαταριών.

2.1.1.2 Παράλληλο υβριδικό σύστημα

Εικόνα 6



Σε ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα τόσο η μηχανή εσωτερικής καύσης όσο και ο ηλεκτροκινητήρας είναι σε θέση να παρέχουν ισχύ στην έλικα. Η αξονική γεννήτρια μπορεί είτε να κινεί την έλικα είτε να χρησιμοποιείται ως γεννήτρια για την φόρτιση μπαταριών.

2.1.1.3 Σειριακό/Παράλληλο υβριδικό σύστημα

Ο τρίτος τύπος υβριδικού συστήματος είναι ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω. Παρόλα αυτά συνδυάζοντας τα δύο συστήματα λαμβάνουμε ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δυο.

2.1.2 Πλήρως εξηλεκτρισμένο σύστημα

Η ιδέα πίσω από το πλήρως εξηλεκτρισμένο σύστημα είναι απλή. Το σύστημα αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που τροφοδοτείται από μπαταρίες τοποθετημένες στο πλοίο. Για την φόρτιση της μπαταρίας αυτής απαιτείται είτε η σύνδεση στην ξηρά με τροφοδοσία από το δίκτυο είτε από ανανεώσιμη πηγή ενέργειας επί του σκάφους όπως για παράδειγμα τα ηλιακά πάνελ ή ανεμογεννήτριες.

Η ύπαρξη ενός πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου εξαρτάται από την ικανότητα μιας μπαταρίας για την κάλυψη των απαιτήσεων ενέργειας και ισχύος που τίθενται από την εμβέλεια και τον κύκλο λειτουργίας του σκάφους καθώς και την ικανότητα του σκάφους να προσαρμόζει το μέγεθος και το βάρος των μπαταριών. Σύμφωνα με τα παραπάνω ιδανικά για την υιοθέτηση ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης είναι τα σκάφη τα οποία δεν αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες χωρίς να απαιτούν μεγάλη ισχύ και χωρίς να πραγματοποιούν μακρινά ταξίδια. Παρόλα αυτά η εξέλιξη των τελευταίων ετών στις μπαταρίες που θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο ανοίγει τον δρόμο για την ύπαρξη και τέτοιων πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων χωρίς μεγάλη διαφορά στο βάρος.

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κάνει ακόμα πιο ελκυστική την ιδέα του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου.

2.1.2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Με τον όρο "ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" (ΑΠΕ) αναφερόμαστε σε ήπιες μορφές εκμετάλλευσης ενέργειας που προέρχεται από φυσικές διαδικασίες, όπως ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος, γεωθερμία, κυκλοφορία του νερού κ.ά.

Σε αντίθεση με παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, η εκμετάλλευση των οποίων απαιτεί ενεργητική παρέμβαση (εξόρυξη, άντληση, καύση), ρυπαίνει το περιβάλλον και αποδεσμεύει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, οι ΑΠΕ είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς βασίζονται στην εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.

- **Ηλιακή ενέργεια:**

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει πρόσφατα να κερδίζει έδαφος και στη χώρα μας με την πολιτική προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το Ελληνικό Κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Στη θάλασσα έχει προοπτική η χρήση της για την παροχή ισχύος σε μικρές πλωτές μονάδες πχ αφαλάτωσης ή ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας σε άλλες θαλάσσιες δραστηριότητες πχ πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου, λειτουργίες πλοίων, κ.ά. Όσον αφορά στη ναυτιλία, ήδη έχει ξεκινήσει πολιτική εγκατάστασης φωτοβολταϊκών τόξων σε διαθέσιμους χώρους καταστρωμάτων και υπερκατασκευών πλοίων παρόλα αυτά επειδή το ηλιακό πάνελ είναι σχετικά ευαίσθητο, για τις εργασίες που πραγματοποιούνται στο κατάστρωμα ενός πλοίου, και το βάρος του δεν είναι αμελητέο καθώς χρειάζεται μεγάλος αριθμός ηλιακών πάνελ και σε σχετικά ψηλό μέρος κάτι το οποίο ανεβάζει και το κέντρο βάρους της όλης κατασκευής.

- **Αιολική ενέργεια:**

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για ηλεκτροπαραγωγή με την εγκατάσταση αιολικών "πάρκων", ενώ προωθείται η χρήση της στη θάλασσα αφού σε σχέση με τη στεριά:

- υπάρχουν λιγότεροι περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί διότι υπάρχει πολύς ανοιχτός χώρος και οι περιορισμοί στους θορύβους είναι μικρότεροι.
- η διαθέσιμη αιολική ενέργεια στη θάλασσα είναι ποιοτικά καλύτερη και αυξάνει μέχρι και 20%.
- ο άνεμος είναι πιο σταθερός καθώς δεν υπάρχουν τόσο έντονα φαινόμενα αυξομειώσεων με συνέπεια η παραγόμενη ενέργεια να αυξάνει σε σημαντικό ποσοστό.

Ενέργεια και Ισχύς του ανέμου

Είναι γνωστό ότι η ισχύς ορίζεται ως ο ρυθμός χρήσης ή μετατροπής της ενέργειας και άρα εκφράζεται ως ενέργεια ανά μονάδα χρόνου ($1\text{Watt}=1\text{Joule/sec}$).

Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$E_{\text{κιν}}=(1/2)*m*V^2 \quad (\text{N*m} = \text{kg*m}^2/\text{s}^2)$$

Όμως, η ισχύς ορίζεται ως ενέργεια ανά δευτερόλεπτο, άρα

$$P=(1/2)*\rho*A*V^3$$

Παρατηρούμε από την παραπάνω σχέση ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της επιφάνειας μέσω της οποίας διέρχεται ο άνεμος και ανάλογη του κύβου της ταχύτητας.

Να σημειωθεί ότι αυτή είναι η ισχύς που μεταφέρει ο άνεμος και σε καμία περίπτωση δεν είναι η ισχύς που δεσμεύει ή παράγει η ανεμογεννήτρια. Αυτό συμβαίνει λόγω σημαντικών απωλειών που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία δέσμευσης ενέργειας.

- **Μπλε ενέργεια**

Η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική ενέργεια (ή γαλάζια ενέργεια) και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι διαχωρισμένα από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής.

Η ενέργεια είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της εντροπίας από την διαφορά αλατότητας μεταξύ του νερού του ποταμού με το θαλασσινό νερό. Η πρόκληση είναι η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας, καθώς από την ανάμειξη που πραγματοποιείται αυξάνεται ελάχιστα τοπικά η θερμοκρασία του νερού. Σε ένα σύστημα που περιέχει νερό του ποταμού και θαλασσινό νερό η μέγιστη πίεση που μπορεί θεωρητικά να δημιουργηθεί είναι της τάξης των 26bar. Προϋπόθεση για την επίτευξη της πίεσης είναι η διατήρηση σε σταθερή τιμή της έντασης της πίεσης του θαλασσινού νερού. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την ανάμειξη του γλυκού νερού με το θαλασσινό νερό μπορεί να γίνει αντιληπτή με την κατανόηση του φαινομένου της ώσμωσης, από όπου προκύπτει και το όνομα "ωσμωτική ενέργεια".

Οι μέθοδοι για την μετατροπή αυτής της ενέργειας σε ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας ημι-διαπερατές μεμβράνες είναι: η Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis, RED) και η Παρατεταμένης-πίεσης Ώσμωση (Pressure Retarded Osmosis, PRO).

2.2 Ειδικές εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης

2.2.1 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε πλοία μεταφοράς LNG

LNG Dual Fuel diesel electric propulsion systems LNG carriers

Η μηχανή διπλού καυσίμου είναι μια μηχανή που μπορεί να χρησιμοποιήσει για καύσιμο είτε πετρέλαιο είτε αέριο. Κατά την λειτουργία με αέριο η μηχανή λειτουργεί με βάση τον κύκλο Otto ενώ κατά τη λειτουργία με πετρέλαιο λειτουργεί με βάση τον κύκλο Diesel.

LNG shipping:

Από το ξεκίνημα του 21ου αιώνα η εμπορία του φυσικού αερίου έχει αυξηθεί εκθετικά καθώς όλο και περισσότερες χώρες το χρησιμοποιούν. Το φυσικό αέριο αποτελεί το «πράσινο» καύσιμο για τις μεταφορές και η ποντοπόρος ναυτιλία αποτελεί έναν κλάδο, ο οποίος από πολύ νωρίς, άρχισε να επενδύει σε πλοία που χρησιμοποιούν υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) για δύο βασικούς λόγους: την απεξάρτηση από άλλα δαπανηρά καύσιμα (π.χ πετρέλαιο) και την υιοθέτηση τεχνολογίας φιλικής προς το περιβάλλον (μείωση εκπομπών καυσαερίων, ανάγκη περιορισμού χρήσης βαρέως μαζούτ κλπ).

Η είσοδος των ηλεκτρογεννητριών διπλού καυσίμου (Dual Fuel Diesel Electric) στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας αυτών των πλοίων. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ατμοστρόβιλοι οι οποίοι αποδείχτηκαν με την πάροδο των χρόνων λιγότερο αποδοτικοί από τους κινητήρες διπλού καυσίμου για την καλύτερη αξιοποίηση του τηγμένου φυσικού αερίου από τις δεξαμενές φορτίου.

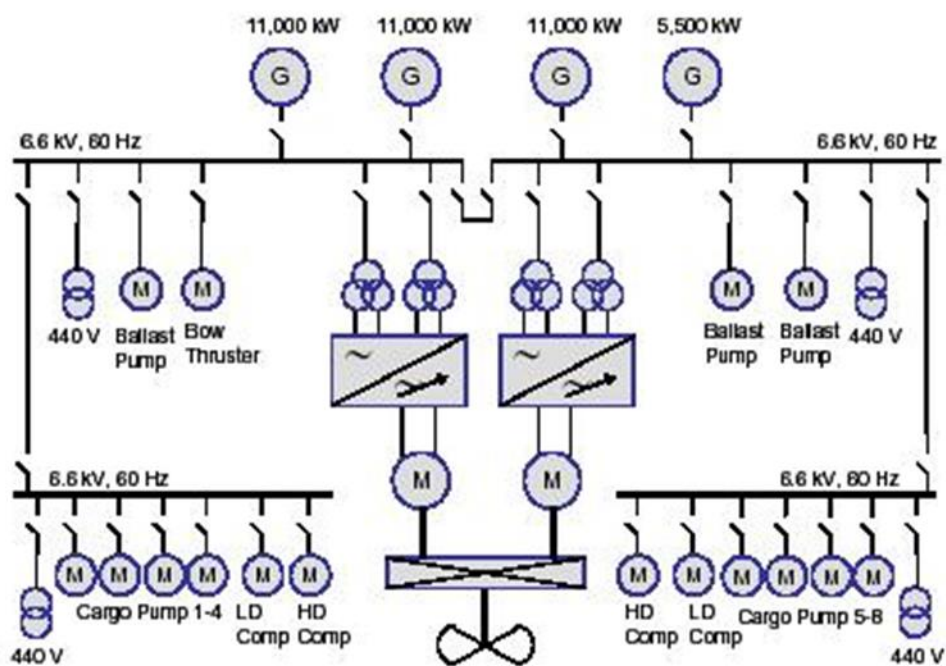
Πλεονεκτήματα:

- Βελτιωμένη θερμική απόδοση της μονάδας πρόωσης, τόσο στη θάλασσα όσο και στο λιμάνι
- Χαμηλότερη εγκατεστημένη ισχύς, καθώς η μονάδα παραγωγής ενέργειας εξυπηρετεί τόσο το φορτίο κίνησης όσο και το φορτίο λιμένα
- Αυξημένο πλεόνασμα με 4 κύριους κινητήρες και δύο σχεδόν αυτόνομες γραμμές μετάδοσης κίνησης (Σχήμα 1)
- Αυξημένη χωρητικότητα φορτίου στις ίδιες συνολικές διαστάσεις του σκάφους
- Το σύστημα ηλεκτροπρόωσης είναι πιο εύκολο να λειτουργήσει και πιο γρήγορο να ξεκινήσει και να σταματήσει

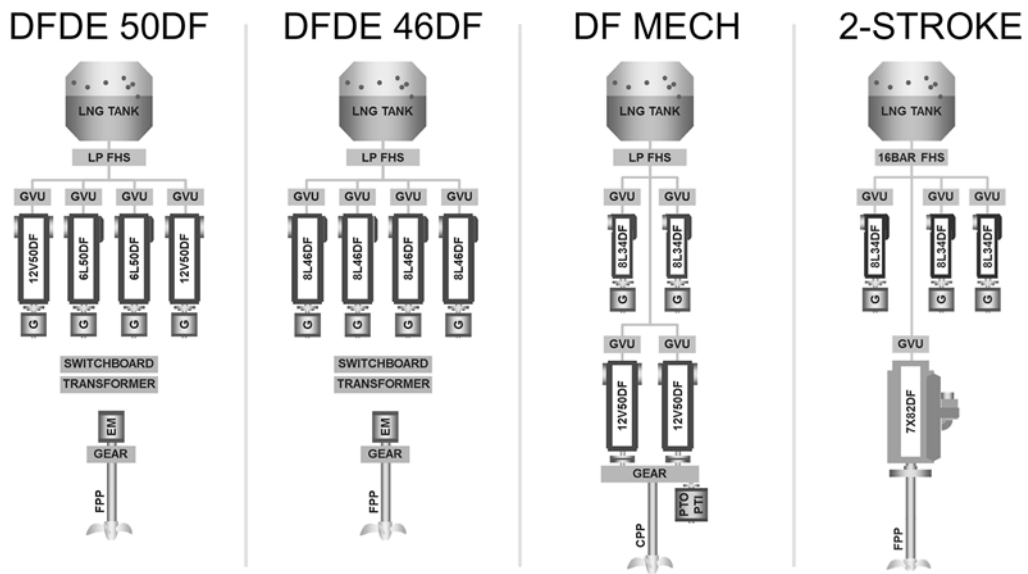
Μειονεκτήματα:

- Οι ατμοστρόβιλοι έχουν αποδειχθεί πολύ αξιόπιστοι με την πάροδο του χρόνου σε σχέση με τους κινητήρες ντίζελ
- Οι μονάδες ατμοστροβίλων χρειάζονται λιγότερη συντήρηση από τους πετρελαιοκινητήρες
- Οι κινητήρες ντίζελ έχουν υψηλότερη κατανάλωση λαδιού από τους ατμοστροβίλους
- Τα ηλεκτροκίνητα πλοία χρειάζονται πρόσθετο εξοπλισμό για τη διαχείριση του υπερβολικού αερίου που έχει βράσει
- Οι ατμοστρόβιλοι είναι πολύ ευέλικτοι όσον αφορά τους τύπους καυσίμων και τους λόγους ανάμιξης καυσίμου, ενώ οι πετρελαιοκινητήρες διπλού καυσίμου λειτουργούν είτε σε αέριο είτε σε λειτουργία ντίζελ

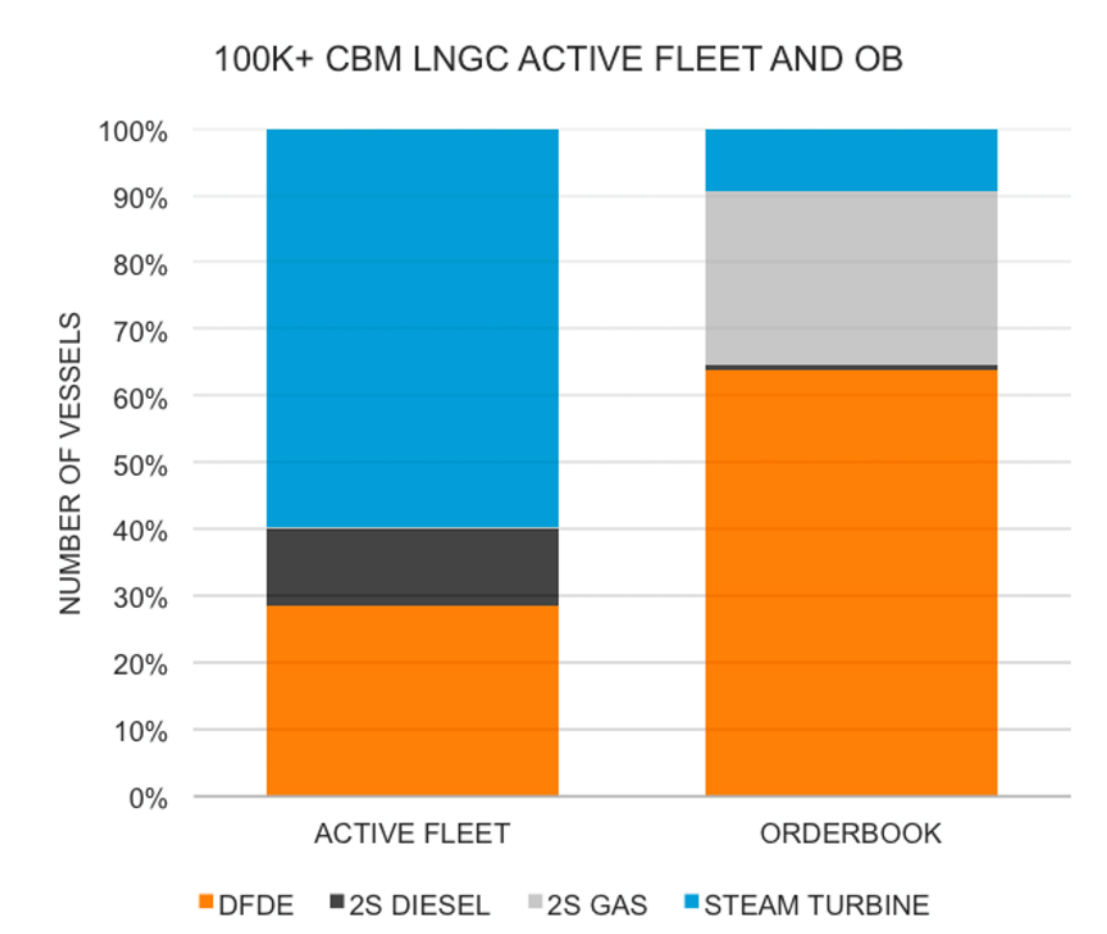
Σχήμα 1: Διάταξη πρόωσης πλοίου τύπου LNG



Σχήμα 2: Εναλλακτικές διατάξεις πρόωσης πλοίων τύπου LNG



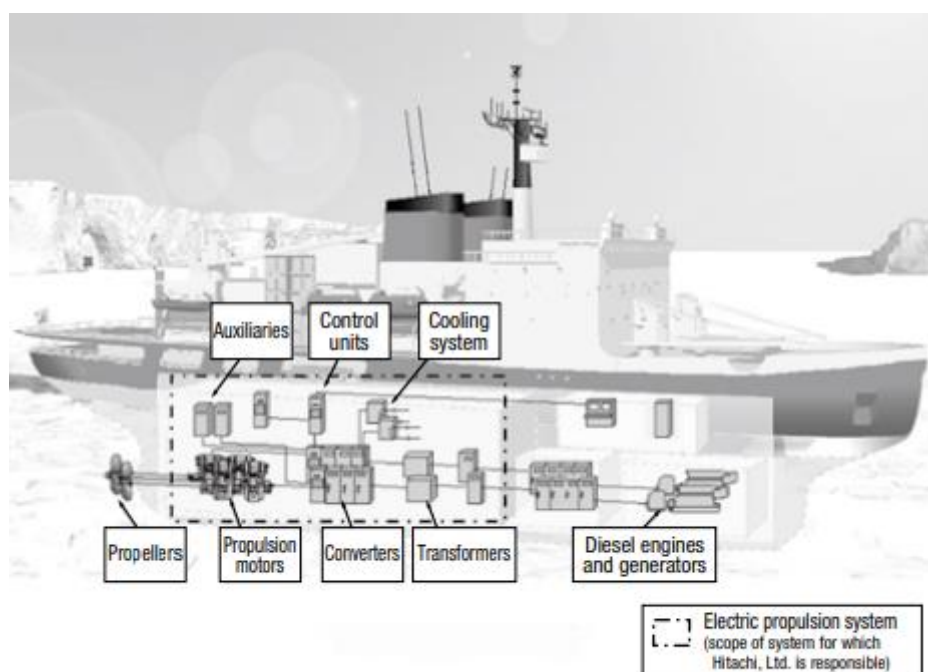
Εικόνα 7



2.2.2 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε παγοθραυστικά

Τα παγοθραυστικά είναι ένα είδος πλοίου το οποίο απαιτεί σύστημα πρόωσης ικανό για ταχεία επιτάχυνση και επιβράδυνση αλλά και να είναι ικανό να παρέχει υψηλή ροπή για να σπάσει κομμάτια πάγου που έρχονται σε επαφή με την έλικα. Για την ικανοποίηση των παραπάνω συνθηκών ενδείκνυται ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης και αυτό συμβαίνει διότι η ύπαρξη μίας κύριας μηχανής η οποία λειτουργεί βέλτιστα σε συγκεκριμένες στροφές με συγκεκριμένη παροχή ισχύος στην έλικα δεν αποτελεί ιδανική λύση λόγω τις ποικιλίας των συνθηκών με τις οποίες έρχεται αντιμέτωπο ένα παγοθραυστικό πλοίο.

Εικόνα 8



Παραπάνω η διάταξη πρόωσης ενός παγοθραυστικού πλοίου του οποίου η λειτουργία ξεκίνησε το 2008 (πλοίο: Shirase).

Εικόνα 9

Specification	New Shirase	Old Shirase
Conventional displacement (standard displacement)	18,500 t (12,500 t)	17,230 t (11,600 t)
Propulsion method (maximum output)	Electric propulsion (30,000 PS)	Electric propulsion (30,000 PS)
No. of shafts	2	3
Electric motor	Induction motor	DC motor
No. of electric motors	5,516 kW × 4 (2 motors × 2 shafts)	3,680 kW × 6 (2 motors × 3 shafts)
Converter control method	Diode converter + IGBT inverter with PWM control	AC-R-DC
Power supply type	Integrated power supply	Split power supply
Bus bar voltage	6.6 kV	715 V
No. of generators	7,400 kW × 4 (also 2 × 1,200-kW auxiliary generators)	4,050 kW × 6 (also 4 × 900-kW main generators)

PS: metric horsepower
AC: alternating current

PWM: pulse width modulation
R: rectifier DC: direct current

IGBT: insulated gate bipolar transistor

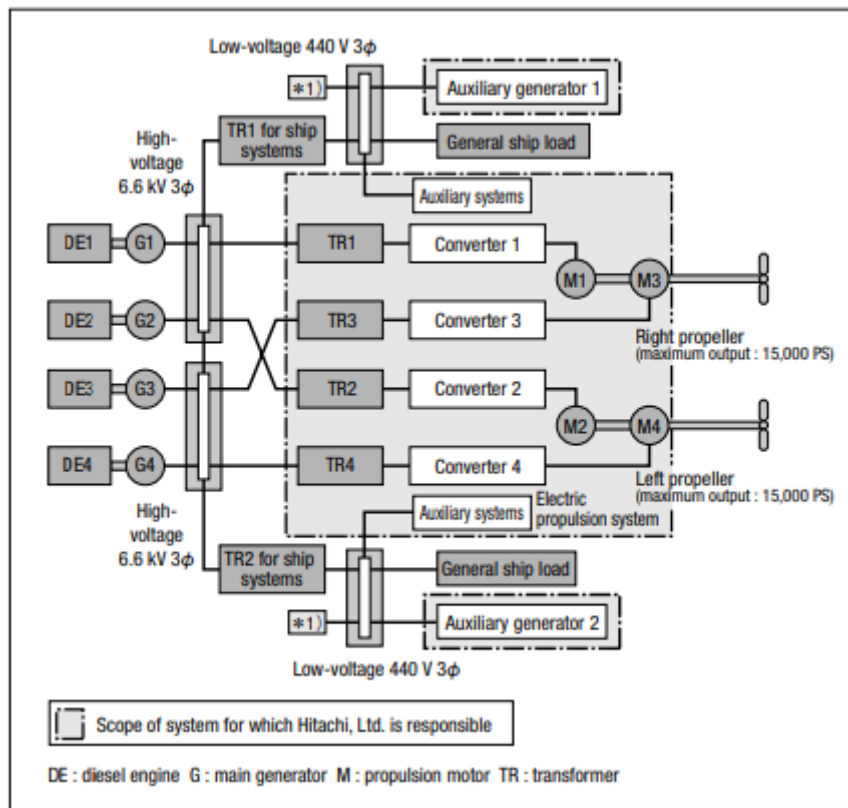
Το σύστημα αποτελείται από τους ηλεκτροκινητήρες πρόωσης που κινούν τις προπέλες, τους μετατροπείς που ελέγχουν τους κινητήρες πρόωσης, το σύστημα ψύξης, τον βοηθητικό εξοπλισμό συμπεριλαμβανομένων των αντλιών και των ανεμιστήρων, καθώς και μια μονάδα ελέγχου που ενσωματώνει τις διάφορες μονάδες εξοπλισμού.

Το νέο Shirase διαθέτει ενσωματωμένη τροφοδοσία ισχύος (integrated power supply) που τροφοδοτεί ολόκληρο το φορτίο από τις γεννήτριες. Ωστόσο για να αποτραπούν τυχόν δυσμενείς επιπτώσεις στο γενικό φορτίο αν οι γεννήτριες ήταν εκτός λειτουργίας, η ολοκληρωμένη παροχή ισχύος περιορίζει την έξοδο ισχύος της αξονικής γεννήτριας για την αποφυγή κάποιας υπερφόρτωσης ή κάποιας αλλαγής στο φορτίο που θα κάνει τη γεννήτρια να σταματήσει.

Οι μετατροπείς αποτελούνται από αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης του κινητήρα, ανορθωτές που τροφοδοτούν τους αντιστροφείς με συνεχές ρεύμα και μία μονάδα ελέγχου.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια επισκόπηση του συστήματος πρόωσης του παγοθραυστικού πλοίου Shirase.

Εικόνα 10

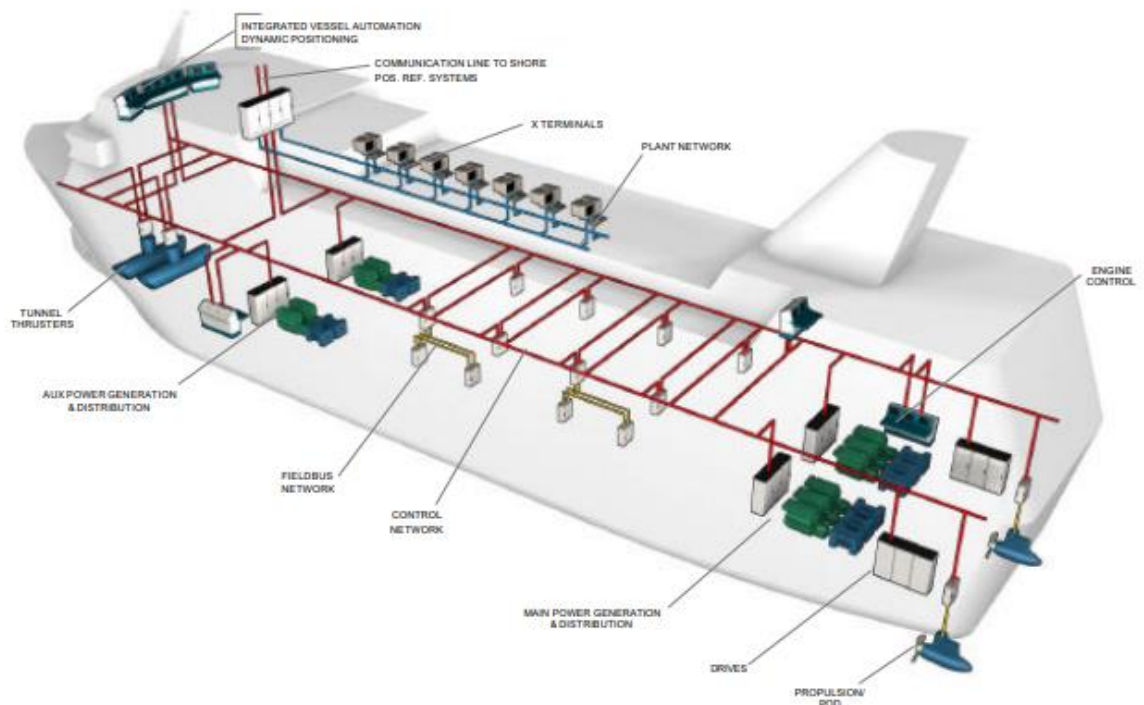


2.2.3 Εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης σε επιβατηγά πλοία

Τα επιβατηγά πλοία, τα κρουαζιερόπλοια και τα οχηματαγωγά έχουν υψηλές απαιτήσεις για εν πλω άνεση όσο αναφορά τον θόρυβο και τις δονήσεις. Επιπλέον, η αξιοπιστία είναι πολύ κρίσιμη για την ασφάλεια των επιβατών και του σκάφους. Κατά συνέπεια, η ηλεκτρική πρόωση αξιολογήθηκε νωρίς για να είναι κερδοφόρα και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο αριθμός των κρουαζιερόπλοιων με ηλεκτρική πρόωση είναι μεγάλος και αυξάνεται. Καθώς η ηλεκτροπρόωση φαίνεται να εμφανίζει σημαντικές βελτιώσεις στην ικανότητα ελιγμών, στο κόστος καυσίμων με αύξηση της απόδοσης προωστικής ισχύος έως και 10% οι νέες κατασκευές ηλεκτροκίνητων αυξάνονται. Η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος που τα τελευταία χρόνια είναι πιο εμφανής από ποτέ έχει οδηγήσει στην εξαγωγή κανονισμών για την ελαχιστοποίηση της εκπομπής ρύπων, των διαρροών αλλά και των ζημιών σε ύφαλους και κοραλλιογενείς περιοχές. Ως εκ τούτου, το σκάφος πρέπει να διατηρήσει τη θέση του μόνο από προωθητές που ελέγχονται από ένα σύστημα DP (Dynamic positioning). Αυτό θα αυξήσει την ανάγκη για ηλεκτρική πρόωση και υποκίνηση στην αγορά της κρουαζιέρας ακόμη περισσότερο. Οι ίδιοι περιορισμοί και φορολογικές κυρώσεις για τις εκπομπές αερίων (CO_x, NO_x και SO_x) οδήγησαν σε αρκετές πρόσφατες νέες κατασκευές φερμιπότ για τα φιόρντ και τη στενή διασταύρωση που έχουν εξοπλιστεί με ηλεκτρική πρόωση. Με τα συχνά

χρονοδιαγράμματα διέλευσης αλλά και την ανάγκη αράγματος των πλοίων στις αποβάθρες, η βελτιωμένη ικανότητα ελιγμών με ηλεκτροκίνητη πρόωση έχει μειώσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Η ισχύς πρόωσης ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους, από μερικά MW για μικρά πορθμεία μέχρι 30-40 MW για μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Το φορτίο για τις επιπλέον απαιτήσεις ενός κρουαζιερόπλοιου (καμπίνες, θέρμανση, χώροι διασκέδασης, θέρμανση/ψύξη κλπ) μπορεί να είναι σημαντικό μέρος του συνολικού φορτίου της εγκατάστασης, για ένα μεγάλο κρουαζιερόπλοιο το φορτίο αυτό προσεγγίζει τα 15 MW.

Εικόνα 11

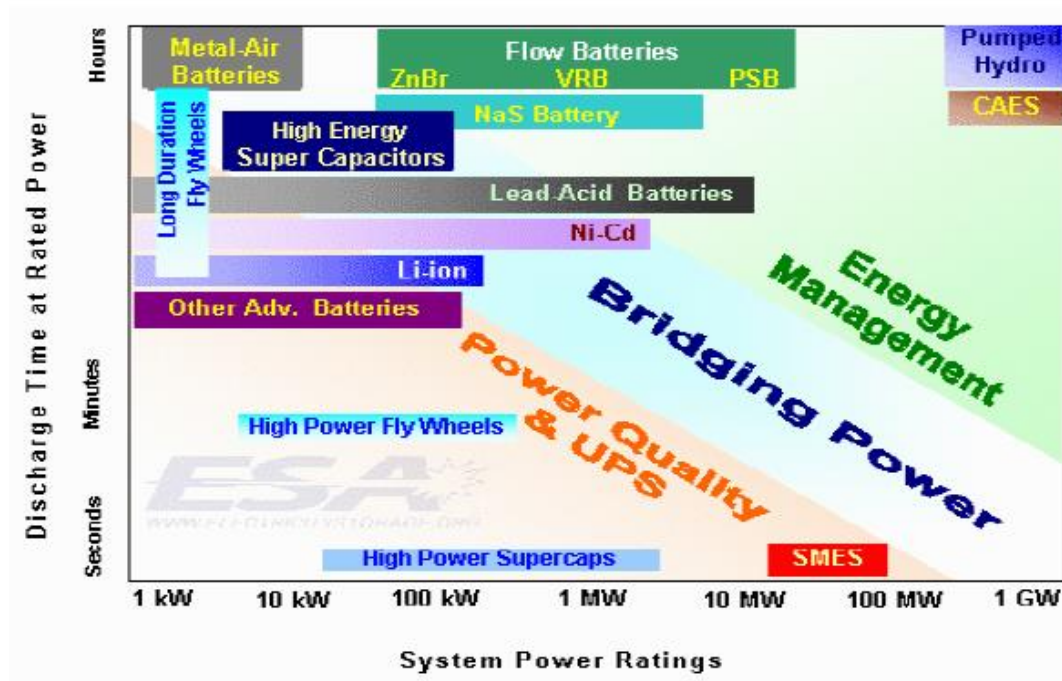


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

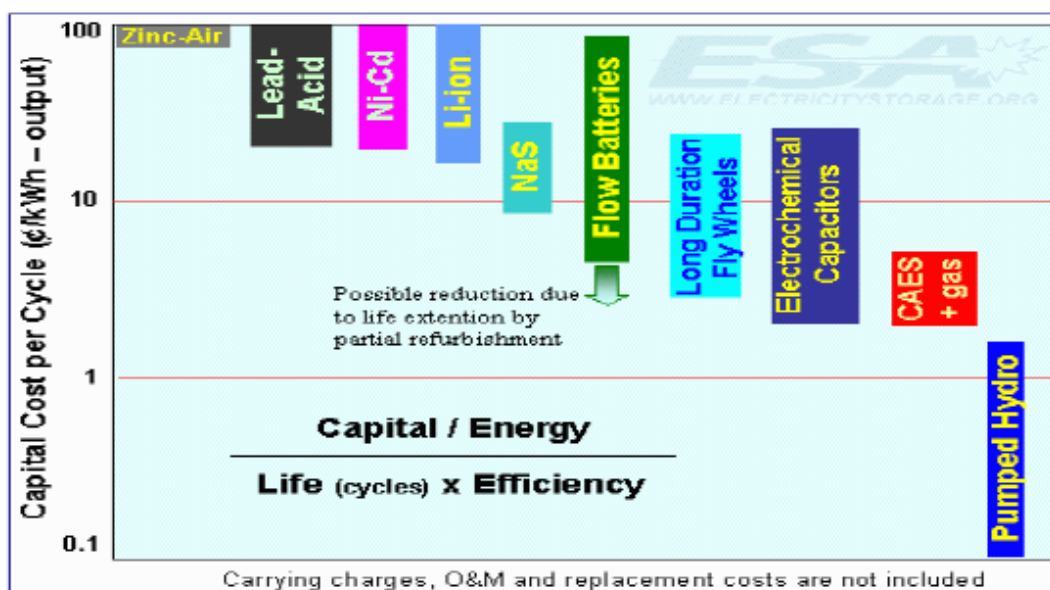
3.1 Μέσα ηλεκτροπρώσης

3.1.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

Εικόνα 12



Εικόνα 13



Η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα σύστημα ισχύος δεν μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρικά, αλλά πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε πρωτογενή μορφή ενέργειας και στη συνέχεια να αποθηκευτεί ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροχημικά, κινητικά ή σαν δυναμική ενέργεια. Οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας (ESS) είναι ένα όργανο μεγάλου ενδιαφέροντος, καθώς μπορεί να διαδραματίσει ζωτικής σημασίας ρόλο στη βελτίωση της ευελιξίας και της αποτελεσματικότητας των ενεργειακών συστημάτων και στη διαθεσιμότητα διαφορετικών πηγών ενέργειας. Η προοπτική χρήσης των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας σε όλα τα επίπεδα του δικτύου διανομής της ενέργειας, έχει κινητοποιήσει πολλούς τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας και περιλαμβάνει έναν αριθμό μεθόδων, υλικών και συστημάτων προκειμένου να καταστήσουν πιο αποτελεσματική, οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική την διαδικασία της διανομής και αποθήκευσης ενέργειας.

Για την αποθήκευση ποσοστού της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική χρειάζεται ένας ανορθωτής για την μετατροπή της AC τάσης σε DC. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας και ισχύος από όλες τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Ο κύκλος ζωής τους είναι μεγαλύτερος από άλλες μπαταρίες και φτάνει τους 3000 κύκλους στο 80% του DoD (Depth of Discharge). Επίσης μεγάλο πλεονέκτημα είναι η υψηλή απόδοση αποθήκευσης (>90%) και η χαμηλή αυτοεκφόρτιση σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών. Αυτό βελτιώνει τη συνολική απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος κίνησης καθώς η απώλεια στην μπαταρία και στον DC/DC μετασχηματιστή που συνδέουν την μπαταρία και του DC-bus πρέπει να αντισταθμίζεται χρησιμοποιώντας την κύρια μηχανή σε ένα σημείο λειτουργίας με υψηλότερη απόδοση. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι είναι μια λιγότερο ώριμη τεχνολογία που δεν έχει ακόμη αποδειχθεί η ασφάλεια και η αξιοπιστία αυτής. Για την βελτίωση της ασφάλειας και την προστασία της μπαταρίας από υπερφόρτιση και υπερβολική εκφόρτιση, η μπαταρία πρέπει να είναι εξοπλισμένη με μπαταρία συστήματος διαχείρισης (BMS, battery management system), το οποίο παρακολουθεί κάθε τάση της επιμέρους κυψέλης ξεχωριστά και διακόπτει τη φόρτιση όταν μια τάση κάποιου κελιού αυξάνεται πάνω από πχ 4.3 Volt και την εκφόρτιση όταν υπάρχει τάση σε κάποια κυψέλη κάτω από πχ 2.5 Volt. Η λειτουργία της μπαταρίας σταματάει επίσης όταν η θερμοκρασία υπερβεί μια τιμή. Η τιμή των μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να πέσει στα 175-285 \$/kWh.

3.1.1.1 Μπαταρίες Λιθίου

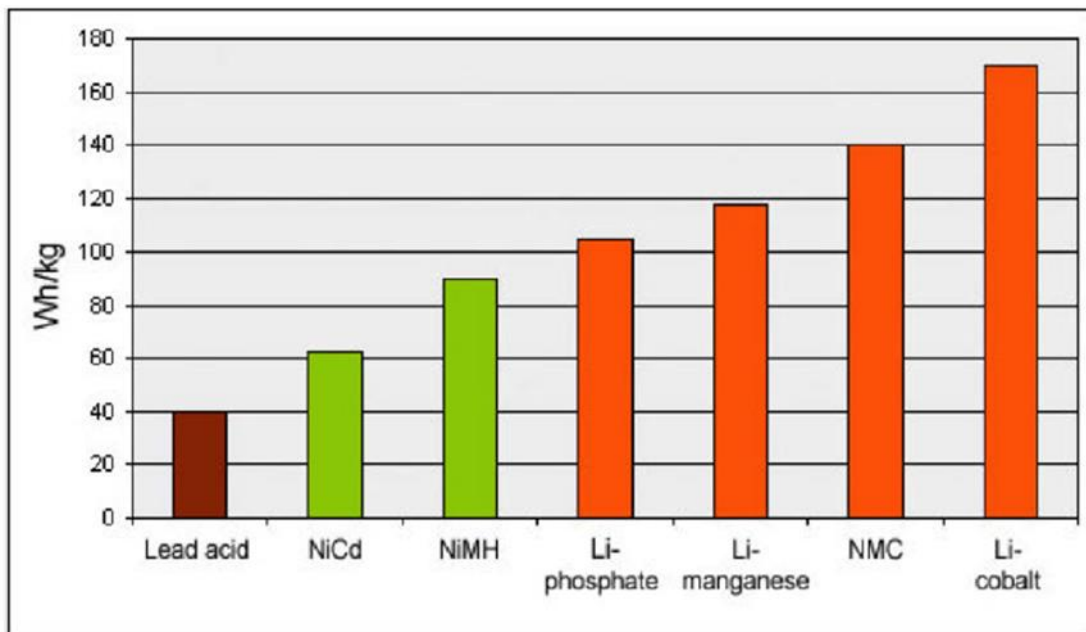
Υπάρχουν 3 παραδείγματα μπαταριών ιόντων λιθίου:

- Το πρώτο παράδειγμα είναι μια μπαταρία ιόντων λιθίου υψηλής ενέργειας/μέσης ισχύος με βάση την μπαταρία Kokam 3.7V/100Ah. Η μπαταρία μπορεί να παραδίδει 700W/kg σε επίπεδο κυψελών.
- Το δεύτερο παράδειγμα είναι μια μπαταρία μέτριας ενέργειας/υψηλής ισχύος με βάση την μπαταρία Kokam 3.7V/7.2Ah. Η μπαταρία αυτή μπορεί να

δώσει 2600W/kg και να επιτύχει πυκνότητα ενέργειας της τάξης των 110Wh/kg σε κυτταρικό επίπεδο (cell lvl).

- Το τρίτο παράδειγμα είναι η Altairnano μπαταρία. Μια πολλά υποσχόμενη μπαταρία που είναι ικανή να κρατήσει 15 χρόνια καθώς οι κύκλοι ζωής της ξεπερνούν τις 15.000. Η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος είναι μέτρια (70Wh/kg), αλλά αναμένεται να φτάσει 4000W/kg.

Εικόνα 14

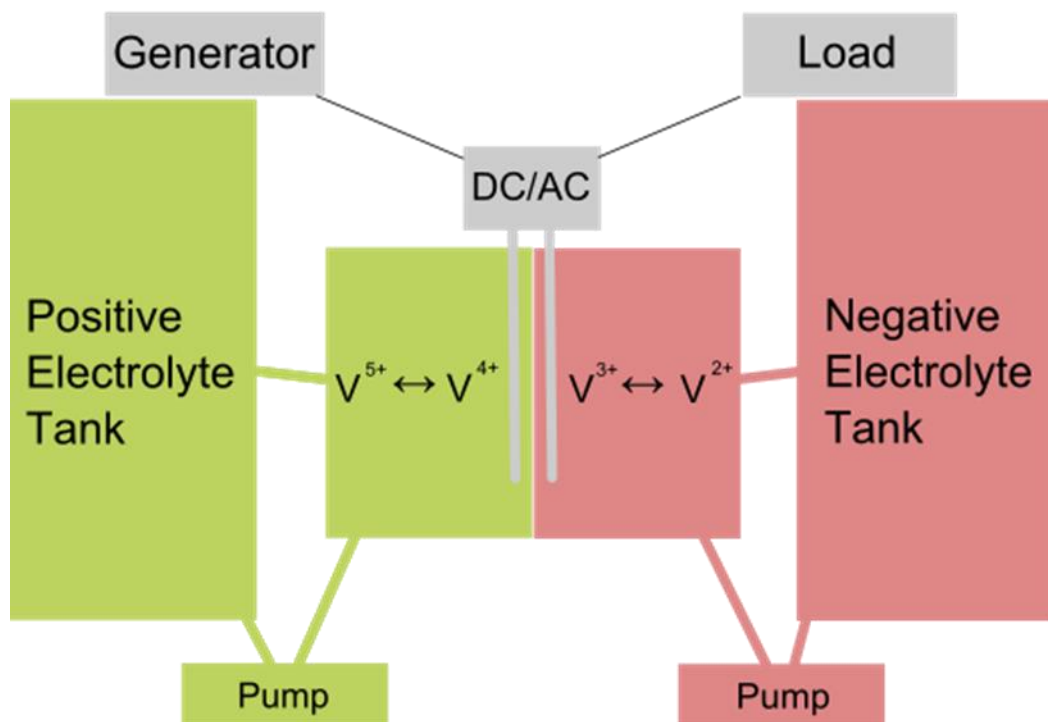


Πίνακας 1

	Energy (MWh)	Power (MW)	Volume (m ³)	Weight (tons)	Cycle life @ 80 % DOD
AGM Pb-Ac	1	2	40.4	73.9	400
HE NiMH	1	3	14.8	23.1	2000
HP NiMH	1	29	21.1	38.5	2000
Zebra	1	2.2	13.0	18.3	1500
HE-MP Li-ion	1	4.4	5.9	9.4	3000
HP-ME Li-ion	1	23.6	9.6	13.6	3000
Altairnano	1	57	23.6	21.4	20,000

3.1.1.2 Μπαταρίες Ροής Βαναδίου

Εικόνα 15



Οι μπαταρίες ροής βαναδίου είναι μη εύφλεκτες, συμπαγείς, επαναχρησιμοποιούνται για ημι-άπειρους κύκλους, αποφορτίζουν το 100% της αποθηκευμένης ενέργειας και δεν υποβαθμίζονται για περισσότερα από 20 χρόνια. Οι περισσότερες μπαταρίες χρησιμοποιούν δύο χημικές ουσίες που αλλάζουν σθένος (φόρτιση ή οξειδοαναγωγική κατάσταση) σε απόκριση της ροής ηλεκτρονίων που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Οι μπαταρίες ροής Βαναδίου χρησιμοποιούν τις καταστάσεις πολλαπλού σθένους μόνο του Βαναδίου για να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν τις φορτίσεις.

Το Βανάδιο μπορεί να υπάρξει ως διάφορα ιόντα διαφορετικών φορτίων στο διάλυμα (V: 2+,3+,4+,5+) καθένα από τα οποία έχει διαφορετικούς αριθμούς ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα. Λιγότερα ηλεκτρόνια δίνουν υψηλότερη θετική φόρτιση. Η ενέργεια αποθηκεύεται παρέχοντας ηλεκτρόνια που παράγουν V (2+,3+) και η ενέργεια απελευθερώνεται χάνοντας ηλεκτρόνια για να σχηματίσουν V (4+,5+).

Οι μπαταρίες ροής αποτελούνται από δύο δεξαμενές υγρού. Όταν αντλούνται σε έναν αντιδραστήρα, τα δύο διαλύματα ρέουν γειτονικά το ένα μετά το άλλο μετά από μια μεμβράνη και παράγουν ένα φορτίο μετακινώντας τα ηλεκτρόνια εμπρός και πίσω κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης. Αυτός ο τύπος μπαταρίας μπορεί να προσφέρει απεριόριστη ενεργειακή χωρητικότητα απλά με την χρήση μεγαλύτερων δεξαμενών αποθήκευσης ηλεκτρολυτών. Μπορεί να παραμείνει

πλήρως αποφορτισμένο για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να έχει καμία αρνητική επίπτωση η μπαταρία, καθιστώντας την συντήρηση πιο απλή από άλλες μπαταρίες. Αυτές οι μπαταρίες λόγω του μεγέθους τους είναι κατάλληλες για βιομηχανικές εφαρμογές όπως και στη ναυτιλία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν λόγω των προαναφερθεισών ιδιοτήτων τους.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα Μπαταρίας Ροής Βαναδίου:

- Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά διαλύματα Βαναδίου
- Η διασταυρούμενη ανάμιξη των ηλεκτρολυτών στην μεμβράνη δεν οδηγεί σε μόλυνση των ηλεκτρολυτών, επομένως τα διαλύματα έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής
- Τα έξοδα αντικατάστασης είναι χαμηλά
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (>100.000 κύκλοι)
- Γρήγορος χρόνος απόκρισης ακόμη και όταν οι αντλίες είναι εκτός λειτουργίας
- Η χωρητικότητα αυξάνεται απλά προσθέτοντας περισσότερο διάλυμα
- Το κόστος ανά kWh μειώνεται όσο αυξάνεται η χωρητικότητα

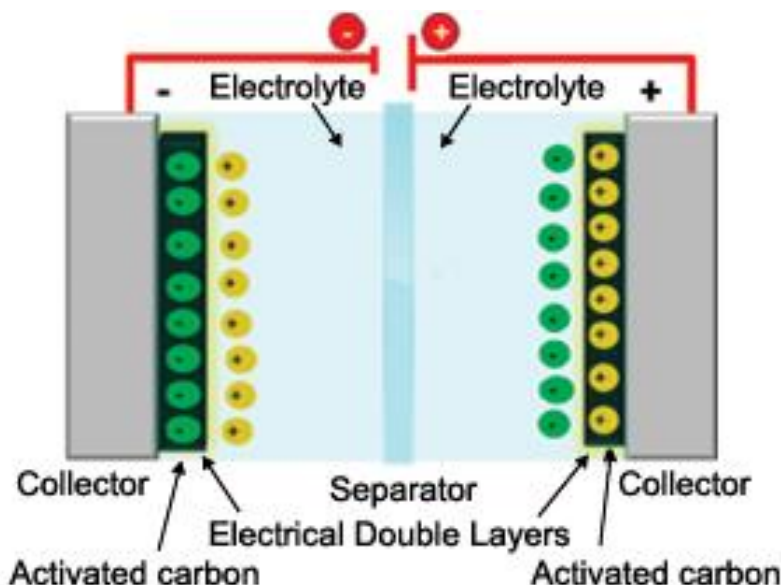
3.1.1.3 Υπερπυκνωτές

Οι ηλεκτροχημικοί διπλής επίστρωσης πυκνωτές (EDLC), γνωστοί επίσης και ως υπερπυκνωτές (UC ή SC), αποθηκεύουν ενέργεια μέσω ενός ηλεκτροστατικού πεδίου. Η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μεταφορά φορτίου μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Υπέρ πυκνωτής αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή και έναν ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από σωματίδια ενεργού άνθρακα υψηλής συγκέντρωσης, που σχηματίζουν μία διαχωριστική επιφάνεια υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, που συμπεριφέρεται σαν πολυμέσα ηλεκτρόδιο. Τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται με μία μεμβράνη, η οποία όμως επιτρέπει τη μεταφορά μόνο φορτισμένων ιόντων, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ηλεκτρική μόνωση. Το συνολικό ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας είναι συνάρτηση της επιφάνειας των ηλεκτροδίων, το πλήθος των ιόντων και του ύψους της τάσης ρήξης του ηλεκτρολύτη.

Χάρη στην τεχνολογία αυτή, οι συσκευές αυτές παρουσιάζουν σχετικά μικρές πυκνότητες ενέργειας (10 Wh/kg), αλλά υψηλές πυκνότητες ισχύος (kW/kg), χρόνο εκφόρτισης που κυμαίνεται από δέκατα του δευτερολέπτου έως λεπτά, υψηλή αποδοτικότητα που αγγίζει το 95%, υψηλότερη αντοχή σε ρεύματα φόρτισης εκφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρές θερμικές απώλειες. Σε συνδυασμό με την μεγάλη διάρκεια ζωής, οι συσκευές αυτές παρουσιάζουν και μικρή αλλοίωση με το χρόνο, γεγονός που καθιστά τους υπέρ πυκνωτές μία φιλική προς το περιβάλλον, υψηλής ασφάλειας και με απλές διαδικασίες φόρτισης εκφόρτισης συσκευή. Από την άλλη πλευρά όμως, τα βασικά μειονεκτήματα είναι ότι παρουσιάζουν σημαντική αυτό-αποφόρτιση, χαμηλά μέγιστα τάσης (καθώς απαιτείται η σύνδεσή τους σε σειρά προκειμένου να επιτύχουμε υψηλότερες τάσεις στην έξοδό τους), ταχεία

πτώση τάσης και κίνδυνος δημιουργίας σπινθήρα σε περίπτωση σφάλματος. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι συσκευές αυτές είναι κατάλληλες για την κάλυψη αιχμών ισχύος, αποθήκευση ενέργειας και περιορισμό της διακύμανσης της τάσης. Κατά συνέπεια, οι υπερπυκνωτές είναι μία εξαιρετικά συμφέρουσα επιλογή για αποθήκες ενέργειας τόσο σε δίκτυα ναυτικών εφαρμογών όσο και σε άλλες εφαρμογές ισχύος.

Εικόνα 16



3.2 Στοιχεία Ηλεκτροπρόωσης

3.2.1 Μετατροπέας

Δυνατότητα σύνδεσης και μετατροπή DC/DC

Τα παραδείγματα έχουν αποδείξει ότι η απαιτούμενη μεταφορά ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας, των κινητήρων πρόωσης και του δικτύου διανομής του πλοίου κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες KW έως και δεκάδες MW. Αρχικά πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ του απαιτούμενου φορτίου για την πρόωση του πλοίου και του απαιτούμενου φορτίου για τις υπόλοιπες απαιτήσεις του πλοίου (ενδιαίτηση, λειτουργικά φορτία, φωτισμοί κλπ). Για να τροφοδοτηθεί το φορτίο για τις υπόλοιπες ανάγκες του πλοίου πρέπει να εγκατασταθεί ένας αντιστροφέας που τροφοδοτεί το δίκτυο διανομής. Η τάση του δικτύου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ ενός τριφασικού χαμηλής τάσης δικτύου που λειτουργεί στα 400V, ενός τριφασικού μέσης τάσης δικτύου που λειτουργεί στα 10 KV. Όπως αναφέρθηκε, με τον αντιστροφέα του κινητήρα πρόωσης απαιτείται τάση συνεχούς ρεύματος που κυμαίνεται από 4.7 KV έως και 10 KV.

- Παράδειγμα μιας μπαταρίας υψηλής ενέργειας (3.7 V/100 Ah Li-ion).

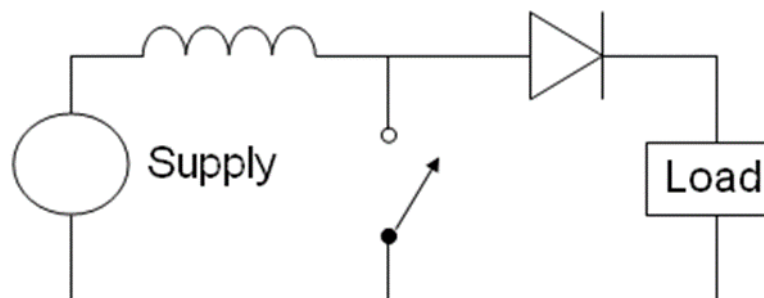
Όπως αναφέρθηκε πριν, αυτές οι μπαταρίες θα εκφορτιστούν μόνο στο 80% DOD, έτσι μια μπαταρία αναφοράς με ένα χρησιμοποιήσιμο ενεργειακό περιεχόμενο της 1 MWh απαιτεί περίπου 3400 κελιά. Ανάλογα με τις απαιτούμενες Dc-bus του κινητήρα, οι μπαταρίες αυτές μπορούν να τοποθετηθούν είτε παράλληλα είτε σε σειρά έτσι ώστε η τάση του κινητήρα να είναι η απαιτούμενη. Ο προτιμώμενος DC/DC μετατροπέας είναι ένας αμφίδρομος boostconverter που συνδέει την μπαταρία και τον DC-bus του κινητήρα. Για την μείωση της τρέχουσας διακύμανσης από την μπαταρία και τη μείωση του ρεύματος που διέρχεται από τους διακόπτες του μετατροπέα προτιμάται ένας παρεμβαλόμενος μετατροπέας DC/DC που αποτελείται από πολλούς μετατροπείς ώθησης παράλληλα με έναν κύκλο μετατόπισης φάσης. Αυτό προϋποθέτει ότι το μέγιστο δυναμικό της μπαταρίας δεν είναι ποτέ υψηλότερο από το δυναμικό του DC-bus.

Αν η μπαταρία επρόκειτο να παρέχει σε έναν DC-bus ενός κινητήρα 4.7 kV, τα κελιά πρέπει να είναι οργανωμένα σε τουλάχιστον 3 παράλληλες χορδές, κάθε μια αποτελούμενη από 1130 σε σειρά συνδεδεμένα κελιά. Η τάση της μπαταρίας κυμαίνεται μεταξύ των 3.4 kV σε κατάσταση πλήρους εκφόρτισης και 4.7 kV κατά τη φόρτιση, ενώ το ρεύμα εκφόρτισης μπορεί να ανέλθει στα 1300 A.

Για ένα DC-bus που απαιτεί 10 kV, δύο παράλληλες σειρές από 1700 συνδεδεμένα σε σειρά κελιά που το καθένα εκπέμπει περίπου 430 A. Αυτή η μπαταρία θα λειτουργεί μεταξύ 5.1 kV και 7.1 kV, μια τάση που μπορεί εύκολα να ενισχυθεί στα 10 kV.

Τα συστήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρίες συχνά συσσωρεύουν κελιά σε σειρά για να επιτύχουν ψηλότερη τάση. Παρόλα αυτά δεν είναι πάντα εφικτή η σύνδεση αυτή λόγω έλλειψης χώρου. Οι boostconverters μπορούν να αυξήσουν το δυναμικό μειώνοντας τον αριθμό των κελιών.

Εικόνα 17



Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται για την οδήγηση ηλεκτρικών κινητήρων πρόωσης είναι:

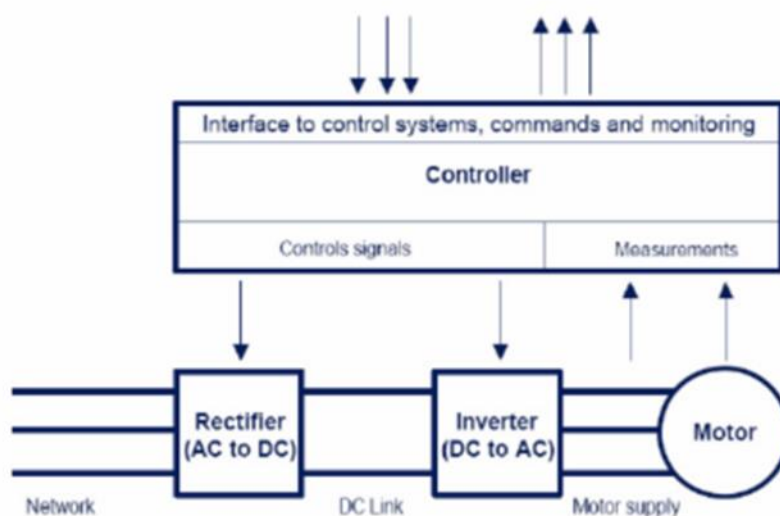
- 1) Μετατροπείς Σ.Π./Σ.Π. ή ελεγχόμενοι ανορθωτές Ε.Π./Σ.Π. για οδήγηση

κινητήρων Σ.Ρ.

2) Μετατροπείς Σ.Ρ./Ε.Ρ. για την οδήγηση ασύγχρονων και σύγχρονων κινητήρων.

3) Κυκλομετατροπείς (Ε.Ρ./Ε.Ρ.) (cycloconverters ή cyclo) για οδήγηση κυρίως σύγχρονων κινητήρων.

Εικόνα 18



3.2.2 Αντιστροφέας

Η εφαρμογή μπαταριών προϋποθέτει παρουσία DC-bus. Πιθανότατα αυτές οι μπαταρίες θα συνδεθούν με το DC-bus μέσω ενός μετατροπέα buck-boost επιτρέποντας την φορτο/εκφόρτιση των μπαταριών σε ελεγχόμενο βαθμό. Ένα DC-bus δεν χρειάζεται σε κυκλικούς ή σύγχρονους μετατροπείς καθώς οι κυκλικοί μετατροπείς (cycloconverters) μετατρέπουν άμεσα μια σταθερή εναλλασσόμενη τάση σε χαμηλότερη μεταβλητή εναλλασσόμενη τάση, ενώ ένας συγχρονιστής χρησιμοποιεί μια πηγή ρεύματος.

Έτσι, η χρήση των μπαταριών περιορίζεται σε μετατροπείς πηγής τάσης (VSI) αλλά αυτό δεν μας θέτει προβλήματα. Σήμερα τα πολυεπίπεδα VSI είναι διαθέσιμα μέχρι 20 MW και περισσότερο. Σταδιακά θα γίνει η κυρίαρχη τεχνολογία αντιστροφέα λόγω της υψηλής απόδοσης, του υψηλού συντελεστή ισχύος, της ασυναγώνιστης δυναμικής απόκρισης και της σχετικά μικρής αρμονικής παραμόρφωσης. Τα VSI μπορούν να συνδυαστούν και με επαγωγικούς κινητήρες και με σύγχρονους μονίμων μαγνητών.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα πολυεπίπεδων VSI (voltage source inverters) αποτελούν της ABB το ACS6000 series και της Convertteam το MV7000 series.

ACS6000:

Χρησιμοποιεί διόδους 12 η 24 παλμών ανορθωτή ή μονάδα ενεργού ανορθωτή με βάση το IGCT (ARU-Active Rectifier Unit) ώστε να τροφοδοτεί τον δίαυλο (bus) DC. Ο αντιστροφέας είναι διαθέσιμος σε ονομαστική ισχύ έως 23.2 MW για επαγωγικούς κινητήρες και 25.8 MW για σύγχρονους. Και στις 2 περιπτώσεις ο αντιστροφέας ψύχεται με νερό και μπορεί να τροφοδοτήσει τον κινητήρα με τάσεις γραμμής έως 3.3 kV και ρεύματα γραμμής μέχρι 4950 A. Αυτή η τάση γραμμής έχει ως αποτέλεσμα μια ελάχιστη τάση διαύλου DC-bus των 5.4 kV και μπορεί να μειωθεί σε 4.7 kV αν το PWM με χώρο διαμόρφωσης φορέα SVM (space vector modulation) χρησιμοποιείται για την έλεγχο των IGBT (insulated-gate bipolar transistor (IGBT)) του αντιστροφέα.

MV7000:

Μπορεί αν τροφοδοτήσει τον κινητήρα με τάσεις γραμμής 3.3 η 6.6 kV και ρεύματα γραμμής από 66- έως 3600 A. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εξόδου μεταξύ 3 και 33.6 MW. Η παροχή του DC-bus εκτελείται από ανορθωτή διόδου 12/24 παλμών που τροφοδοτείται από 1 η 2 μετασχηματιστές με 2 δευτερεύουσες περιελίξεις για την ελαχιστοποίηση της αρμονικής παραμόρφωσης του δικτύου διανομής στο πλοίο. 12 IGBT είναι επαρκή για παραγωγή 8.4 MW με γραμμή 3.3 kV και έναν τριών επιπέδων ουδέτερων σημείων σύσφιξης PWM (Pulse width modulation) αντιστροφέα.

3.2.3 Γεννήτρια/Κινητήρας

Μέχρι το 1940 περίπου, σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις πλοίου ήταν συνεχούς ρεύματος με τάση 110 ή 220 V (ή 24 V σε μερικές περιπτώσεις). Σήμερα, οι εγκαταστάσεις είναι εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Ρ.) και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.). Η συχνότητα και η τάση στα πιο διαδεδομένα συστήματα Ε.Ρ. είναι:

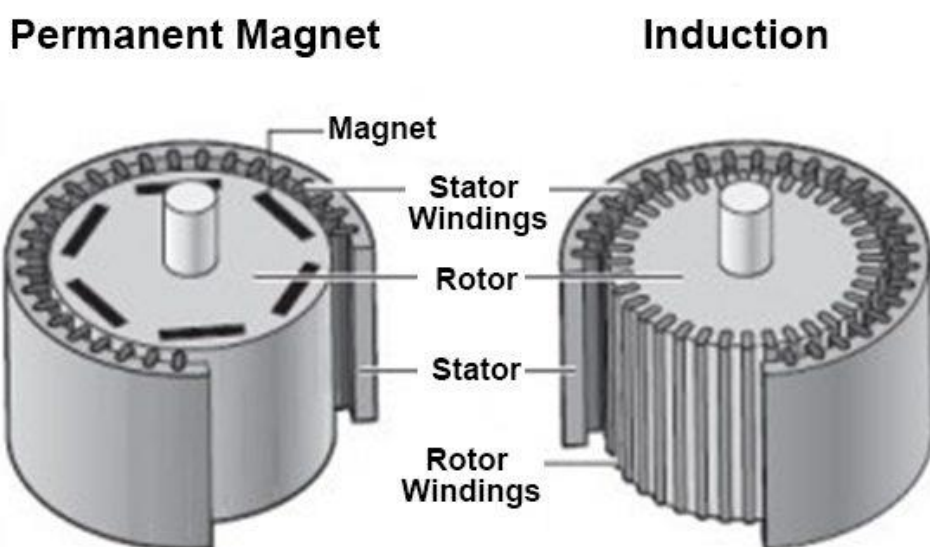
- 60 Hz / 440 V ή 50 Hz / 380 V για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση,
- 60 Hz / 110 V ή 50 Hz / 220 V για φωτισμό,
- 60Hz / 6.6 kV ή 11kV σε νεότερες εφαρμογές.

Τα δίκτυα Σ.Ρ. έχουν δύο ή τρεις αγωγούς (με το μεσαίο μονωμένο). Τα δίκτυα μονοφασικού Ε.Ρ. έχουν δύο αγωγούς. Τα δίκτυα τριφασικού Ε.Ρ. έχουν τρεις ή και τέσσερις αγωγούς (με τον ουδέτερο γειωμένο). Οι εγκαταστάσεις Ε.Ρ. έχουν μικρότερο βάρος και κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις Σ.Ρ. Επιπλέον, η συντήρησή τους είναι ευκολότερη. Όμως, το Ε.Ρ. είναι πιο επικίνδυνο από το Σ.Ρ. από πλευράς ηλεκτροπληξίας. Αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι Σ.Ρ. ακόμη και 220V δεν προκαλεί πάντοτε θανατηφόρο ηλεκτροπληξία, το Ε.Ρ. αρχίζει να είναι επικίνδυνο από τα 60 V και άνω.

Σημειώνεται ότι οι ηλεκτρικές μηχανές και συσκευές πρέπει να είναι ικανές να λειτουργούν ακόμη και με κλίση 150° προς τα δεξιά ή αριστερά, με διατοιχισμό 22,5°, με διαμήκη κλίση 5° και προνευτασμού 7,5°. Πρέπει επίσης να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά σε τελική θερμοκρασία έως 85 °C όταν βρίσκονται εκτός μηχανοστασίου ή 90-95°C όταν βρίσκονται στο μηχανοστάσιο. Η τελική θερμοκρασία καθορίζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη θέρμανση του μηχανήματος κατά τη λειτουργία του. Ας σημειωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή επηρεάζει τόσο την απόδοση του μηχανήματος όσο και τη διάρκεια ζωής του. Για παράδειγμα, μια επαφή ή ένας αυτόματος διακόπτης μπορεί να μη λειτουργήσει εάν υπερθερμανθεί. Όταν η θερμοκρασία αυξάνει, η τάση μιας γεννήτριας πέφτει, ενώ η ταχύτητα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αυξάνει. Είναι απαραίτητος λοιπόν ο αερισμός των μηχανών, που όταν δεν είναι επαρκής για τη διατήρηση των θερμοκρασιών σε χαμηλά επίπεδα, συμπληρώνεται με κατάλληλο σύστημα ψύξης. Η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης, όπως ειπώθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, έχει ως σκοπό την τροφοδότηση τόσο των ηλεκτρικών κινητήρων προώσεως, όσο και των υπόλοιπων ηλεκτρικών φορτίων του πλοίου. Οι αξονικές γεννήτριες μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο συνεχούς ρεύματος ή να τροφοδοτούν αυτόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης.

Ενίοτε, σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημιά στην κύρια μηχανή) μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα, δηλαδή ως ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης (τροφοδοτούμενες από τις άλλες ηλεκτρογεννήτριες) περιορισμένης ισχύος και να οδηγήσουν το σκάφος σε ασφαλή προορισμό.

Εικόνα 19



- Πλεονεκτήματα της χρήσης μόνιμων μαγνητών στην κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών

Οι πρώτες εφαρμογές μηχανών μόνιμου μαγνήτη μπορούν να χρονολογηθούν από τα μέσα του 19ου αιώνα. Όμως, η χρήση χαμηλής ποιότητας μαγνητικών υλικών αλλά και η ύπαρξη τεχνολογιών ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης τις κατέστησε μη εμπορικά βιώσιμες και αποθάρρυνε την ανάπτυξη και χρήση τους για πολλά χρόνια.

Η ανάπτυξη μόνιμων μαγνητών υψηλής ενέργειας αλλά και η ραγδαία πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος και ελέγχου, κατέστησε τις μηχανές μόνιμου μαγνήτη ως μια ελκυστικότερη εναλλακτική από τις μηχανές με ηλεκτρομαγνητική διέγερση και σε πολλές εφαρμογές τις αντικατέστησε εξ ολοκλήρου.

Η χρήση μόνιμων μαγνητών στην κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Υψηλότερη ροπή και ισχύ εξόδου ανά όγκο.
- Καλύτερη δυναμική συμπεριφορά (υψηλότερη πυκνότητα μαγνητικής ροής στο διάκενο).
- Μείωση των απωλειών και αυξημένη απόδοση, καθώς δεν υπάρχουν απώλειες διεγέρσεως.
- Απλοποίηση της κατασκευής και ευκολότερη συντήρηση.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής.
- Μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων.

Σύγκριση σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη με άλλους τύπους μηχανών:

Στις μέρες μας, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, ευνοεί την αντικατάσταση σε πολλές εφαρμογές των κλασικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος και των ασύγχρονων επαγωγικών κινητήρων με μηχανές νέας τεχνολογίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, του νέου αυτού τύπου μηχανών, είναι και η σύγχρονη μηχανή μόνιμου μαγνήτη. Η ευκολία στον έλεγχο, η απουσία ψηκτρών και των προβλημάτων που αυτές δημιουργούν, ο μεγάλος βαθμός απόδοσης, καθώς και η υψηλή πυκνότητα ισχύος, την έχουν καταστήσει μια ελκυστική εναλλακτική για μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Σύγκριση κινητήρα BLDC (Brushless DC) με άλλα είδη κινητήρων

Πίνακας 2

	Κινητήρας BLDC	Κινητήρας Σ.Ρ	Επαγωγικός Κινητήρας
Μέθοδος Μετάβασης	Διακόπτες στερεάς κατάστασης	Μηχανικές επαφές μεταξύ ψηκτρών και δρομέα	Δεν απαιτείται μετάβαση
Μέθοδος αναγνώρισης της θέσης του στάτη	Αισθητήρες Hall	Καθορίζεται από την επαφή των ψηκτρών	Απαιτείται ειδικό κύκλωμα εκκίνησης
Συντήρηση	Χαμηλή η καθόλου συντήρηση	Περιοδική συντήρηση λόγω των ψηκτρών	Χαμηλή συντήρηση
Χαρακτηριστική Ταχύτητας/ροπής	Σταθερή-Λειτουργία σε όλες τις ταχύτητες με ονομαστικά φορτία	Απώλεια ροπής σε υψηλές στροφές λόγω απωλειών στις ψήκτρες	Μη γραμμική-Χαμηλή ροπή σε χαμηλές στροφές
Ρεύμα εκκίνησης	Ονομαστικό-Δεν απαιτείται ξεχωριστό κύκλωμα εκκίνησης	Πολύ μεγάλο-απαιτείται εξωτερικό κύκλωμα εκκίνησης	Περίπου 7 φορές του ονομαστικού. Συνήθως χρησιμοποιείται εκκινήτης αστέρα-τριγώνου
Απόδοση	Υψηλή-Δεν υπάρχουν απώλειες ψηκτρών.	Μέτρια-Απώλειες στις ψήκτρες (πτώση τάσης)	Χαμηλή-Υψηλές ωμικές απώλειες

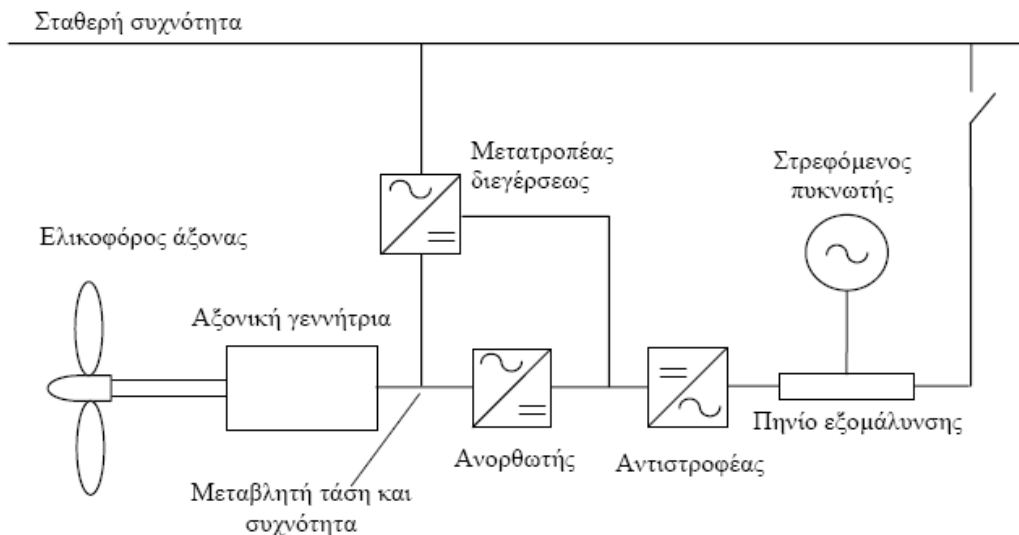
Πίνακας 3

Ισχύς εξόδου ανά όγκο	Υψηλή-Λόγω των μόνιμων μαγνητών	Μέτρια-Απώλειες στα τυλίγματα στάτη και δρομέα, μεγαλύτερο μέγεθος	Μέτρια/χαμηλή-Τα τυλίγματα διεγέρσεως αυξάνουν την θερμοκρασία στο διάκενο μειώνοντας την απόδοση
Αδράνεια δρομέα	Χαμηλή λόγω των μόνιμων μαγνητών του δρομέα. Αυξημένη δυναμική απόκριση	Υψηλή-Περιορισμένα δυναμικά χαρακτηριστικά	Υψηλή-Περιορισμένα δυναμικά χαρακτηριστικά
Εύρος ταχύτητων	Υψηλό- Δεν υπάρχουν περιορισμοί λόγω ψηκτρών	Χαμηλό-Μηχανικοί περιορισμοί από ψηκτρες	Χαμηλό-Εξαρτάται από τη συχνότητα τροφοδοσίας.
Ηλεκτρικός Θόρυβος	Χαμηλός	Υψηλός-Λόγω σπινθηρισμών στις επαφές των ψηκτρών	Χαμηλός
Κόστος Κατασκευής	Υψηλό-Το κόστος των μόνιμων μαγνητών είναι υψηλό	Χαμηλό	Χαμηλό
Απαιτήσεις Ελέγχου	Απαιτείται πάντα ελεγκτής για τον έλεγχο της αλληλουχίας μετάβασης	Απαιτείται ελεγκτής μόνο για λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας	Απαιτείται ελεγκτής μόνο για λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας
Ολίσθηση	Δεν παρατηρείται ολίσθηση	Δεν παρατηρείται ολίσθηση	Η ολίσθηση αυξάνεται με το φορτίο του κινητήρα
Κόστος Συστήματος	Υψηλό-Λόγω απαίτησης εξωτερικού ελεγκτή	Χαμηλό	Χαμηλό

3.2.4 Έξτρα

- Στρεφόμενος πυκνωτής

Εικόνα 20



Στην περίπτωση που ο αντιστροφέας υλοποιείται με θυρίστορ (μετατροπέας δύο τεταρτημορίων/Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (p-n-p-n), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν συνδυασμός δύο τρανζίστορ. Όταν στην πύλη (Gate) του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός έναυσης, ανεξάρτητα αν είναι θετικά πολωμένο, τότε δεν υπάρχει ροή ρεύματος μέσω του θυρίστορ), είναι απαραίτητος ο στρεφόμενος πυκνωτής για την παραγωγή της ζητούμενης αέργου ισχύος. Εκτός της αντιστάθμισης, ο σύγχρονος κινητήρας, σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος, λειτουργεί ως γεννήτρια τροφοδοτώντας το σφάλμα. Συγκεκριμένα, το ρεύμα σφάλματος είναι περίπου ίσο με το ρεύμα του στρεφόμενου πυκνωτή, οπότε το ρεύμα από τη πλευρά γεννήτριας-μετατροπέα παρουσιάζει πολύ μικρή μεταβολή. Η αξονική γεννήτρια δηλαδή, μαζί με τον μετατροπέα, μπορεί να θεωρηθεί πηγή σταθερού ac ρεύματος. Κατ' αυτό τον τρόπο προστατεύονται τα ηλεκτρονικά της εγκατάστασης, ενώ υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης-εκκαθάρισης του σφάλματος.

Ο ανορθωτής που συνδέεται στους ακροδέκτες της γεννήτριας ενδέχεται να είναι ελεγχόμενος (PWM), διατηρώντας σταθερή την τάση του πυκνωτή στο ζυγό dc. Μάλιστα, ο αντιστροφέας μπορεί να υλοποιηθεί με IGBTs (μετατροπέας 4 τεταρτημορίων), ελέγχοντας τη διακίνηση αέργου ισχύος, άρα και την τάση στον ζυγό ac. Χάρη σ' αυτή τη δυνατότητα, δεν είναι πλέον απαραίτητη η εγκατάσταση στρεφόμενου πυκνωτή στο ζυγό ac για την αντιστάθμιση αέργου ισχύος. Επιπλέον, με τον έλεγχο ενεργού ισχύος στην έξοδό του διατηρείται σταθερή η συχνότητα. Τέλος, η χρήση της τεχνικής PWM, σε συνδυασμό με το φίλτρο στην έξοδο του inverter, επιτυγχάνει μείωση της αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εξόδου.

- Μετασχηματιστές , Στρεφόμενοι μετατροπείς – ανορθωτές
 - 1) Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για να ανυψώνεται ή να υποβιβάζεται η τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος.
 - 2) Οι στρεφόμενοι μετατροπείς μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και αντίστροφα το συνεχές σε εναλλασσόμενο.
 - 3) Οι ανορθωτές χρησιμοποιούνται για να μετατρέπεται το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές.

Η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή είναι η εξής: Εάν δυο ανεξάρτητα πηνία περιβάλλουν ένα κοινό σιδηροπυρήνα και διαμέσου του ενός από τα πηνία διέλθει εναλλασσόμενο ρεύμα, θα δημιουργηθεί εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μαγνητικές αυτές γραμμές θα περιβάλλουν και τα δυο πηνία. Έτσι στο τύλιγμα του πηνίου, που συνδέεται με την πηγή, αναπτύσσεται Η.Ε.Δ. από αυτεπαγωγή. Το τύλιγμα αυτού του πηνίου καλείται πρωτεύον. Η Η.Ε.Δ. του πρώτου πηνίου αντισταθμίζει σχεδόν την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του πρωτεύοντος πηνίου (τυλίγματος) και επέρχεται ηλεκτρική ισορροπία. Στο τύλιγμα του άλλου πηνίου, που καλείται δευτερεύον, αναπτύσσεται εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή. Εάν τώρα στα άκρα του δευτερεύοντος τυλίγματος συνδεθεί μια κατανάλωση τότε θα κυκλοφορήσει ρεύμα. Ο λόγος των τάσεων των δυο πηνίων (πρωτεύοντος και δευτερεύοντος) είναι ανάλογος του αριθμού των σπειρών των περιελίξεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Υπάρχουν μετασχηματιστές μονοφασικοί και τριφασικοί.

- Ανορθωτές

Οι ανορθωτές είναι συσκευές, που μετατρέπουν, όπως και οι στρεφόμενοι μετατροπείς, το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Οι ανορθωτές, επειδή δεν έχουν κινούμενα μέρη, καλούνται στατοί μετατροπείς, τείνουν δε να αντικαταστήσουν τους στρεφόμενους μετατροπείς ιδίως στην παραγωγή συνεχούς ρεύματος υψηλών τάσεων.

Διακρίνουμε τρία είδη ανόρθωσης:

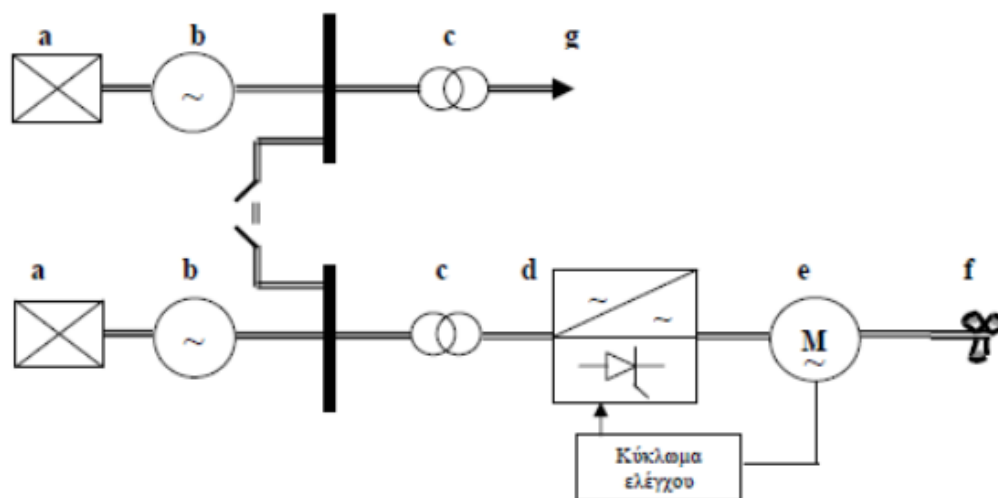
- α) Τους ανορθωτές υδραργύρου
- β) Τους ξηρούς ανορθωτές (δι' ημιαγωγών)
- γ) Τους ανορθωτές πυρακτωμένης καθόδου

- Ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος είναι πολύ σημαντικοί επειδή μπορούν να άγουν και να μην άγουν κατά ελεγχόμενο τρόπο, σύμφωνα δηλαδή με τις εντολές ελέγχου που παράγονται από το κύκλωμα ελέγχου τους. Κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά όπως και τα αντίστοιχα στοιχεία χαμηλής ισχύος. Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετά είδη διακοπών ισχύος που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την

ισχύ αγωγής τους, τον τρόπο ελέγχου τους, τη διακοπτική συχνότητα λειτουργίας τους και την τεχνολογία κατασκευής τους. Το πρώτο που αναπτύχθηκε ήταν το θυρίστορ. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η τεχνολογία των ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος είναι μια συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία με αποτέλεσμα νέες τεχνολογίες ημιαγωγικών στοιχείων να εμφανίζονται στην αγορά για εφαρμογή σε μετατροπείς υψηλής ισχύος αντικαθιστώντας το δύσκολα ελεγχόμενο θυρίστορ. Βέβαια να σημειωθεί ότι με τα σημερινά δεδομένα το θυρίστορ αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο των ηλεκτρονικών μετατροπών πολύ μεγάλης ισχύος. Έτσι, πέρα από το θυρίστορ, γενικά χρησιμοποιούνται, MOSFET ισχύος (Power MOSFET), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), GTO θυρίστορ (Gate Turn – Off thyristor), MCT (MOSFET Controlled Thyristor), IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor). Στους μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιούνται κυκλώματα προστασίας των ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος (snubbers). Τα snubbers τοποθετούνται παράλληλα στα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος και τα προστατεύουν από υπερτάσεις, υπερρεύματα και υπερθέρμανση. Μπορεί να είναι παθητικά (π.χ. κλάδος RC), ή ενεργά. Δεν αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της βασικής τοπολογίας ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος, αλλά είναι μία προσθήκη, συχνά απαραίτητη, για την καταστολή των ηλεκτρικών καταπονήσεων, που υφίστανται τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος του μετατροπέα. Σκοπός της χρήσης τους είναι η προστασία των στοιχείων και η αύξηση της αξιοπιστίας της όλης διάταξης. Η προσθήκη των κυκλωμάτων αυτών δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα, όπως αύξηση κόστους, επιπλέον απώλειες, περιορισμούς στη λειτουργία της διάταξης κ.ά. Υπάρχουν τρία είδη κυκλωμάτων προστασίας ενός ημιαγωγικού στοιχείου ισχύος, ανάλογα με το φαινόμενο που καταστέλλουν. Έτσι έχουμε, κυκλώματα προστασίας κατά την έναυση, κυκλώματα προστασίας κατά τη σβέση και κυκλώματα μείωσης της καταπόνησης από υπερτάσεις. Στις εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης λόγω των υψηλών επιπέδων ισχύος που λειτουργούν οι μετατροπείς τα snubbers είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του μετατροπέα. Οι διακόπτες ισχύος χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία για τη σύνθεση περίπλοκων διατάξεων που καλούνται μετατροπείς (converters) και που έχουν σκοπό τη μετατροπή Σ.Ρ. σε Σ.Ρ. διαφορετικού επιπέδου τάσης, Σ.Ρ. σε Ε.Ρ. και το αντίστροφο, και τη μετατροπή συχνότητας. Σε εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης οι δυνατότητες αυτές αξιοποιούνται στο έπακρο, καθώς οι απαιτήσεις κίνησης προϋποθέτουν μετατροπή των τάσεων αλλά και των συχνοτήτων.

Εικόνα 21



- a. Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος)
- b. Σύγχρονη γεννήτρια
- c. Μετασχηματιστής ισχύος
- d. Μετατροπέας συχνότητας
- e. Προωστήριος κινητήρας
- f. Έλικα
- g. Λοιπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δείκτες Ενεργειακής Απόδοσης για Πλοία

4.1 Energy Efficiency Design Index (EEDI)

4.1.1 Εισαγωγή

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αναπτύσσει επί του παρόντος κανονιστική ρύθμιση για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στη ναυτιλία. Για την επίτευξη του παραπάνω, η ναυτική επιτροπή προστασίας περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee - MEPC) του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού, κατά την 59^η σύνοδο (13-17 Ιουλίου 2009) πρότεινε την ανάπτυξη ενός δείκτη σχεδίασης της ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Design Index - EEDI) για τα νέα πλοία, προκειμένου να εισαγάγουν τεχνική ανάπτυξη και καινοτομία σε όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου από τη φάση σχεδιασμού του. Οι συναντήσεις της ναυτικής επιτροπής προστασίας περιβάλλοντος που ακολούθησαν είχαν ως αποτέλεσμα τη διατύπωση του δείκτη που φαίνεται ικανοποιητικός για συμβατικά πλοία μεγαλύτερα από 20.000 mt DWT, ενώ για μικρότερα σκάφη η 60^η συνεδρίαση της επιτροπής κατέληξε στο συμπέρασμα της ανάγκης ύπαρξης περαιτέρω έρευνας ώστε να παραχθεί ένας κατάλληλος δείκτης.

4.1.2 Ορισμός του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI)

Ο υπολογισμός του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) ενός πλοίου βασίζεται απλώς με τα δεδομένα σχεδιασμού του πλοίου και αντιπροσωπεύει τις εκπομπές CO₂ του συγκεκριμένου πλοίου σε ένα μόνο σημείο σχεδιασμού και όχι για την πλήρη λειτουργία του και άλλα προφίλ φόρτωσης.

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

Η επιτροπή έχει ορίσει δύο δείκτες EEDI για ένα πλοίο, και οι δύο βασίζονται στην ίδια φόρμουλα υπολογισμού ελαφρώς τροποποιημένη για κάθε δείκτη. Αυτοί είναι ο επιτευχθείς Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI_A) και ο απαιτούμενος ή Βασικός Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI_{BL}).

4.1.3 Επιτευχθείς Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης

Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI_A)

Ο υπολογισμός του παραπάνω δείκτη επιτυγχάνεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

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

Όπου:

P (Main Propulsion or Auxiliary Power)

P είναι η ισχύς της κύριας η των βοηθητικών μηχανών, μετρούμενη σε kW.

P_{ME} – Ισχύς κύριας μηχανής

P_{AE} – Ισχύς Βοηθητικών μηχανών

Το άθροισμα στο (i) είναι για όλες τις κύριες μηχανές με αριθμό μηχανών (n).

$$P_{ME(i)} = 0.75(MCR_{ME(i)} - P_{PTO(i)})$$

Ο δείκτης 0.75 χρησιμοποιείται για να ορίσει την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης για το πλοίο έτσι ώστε να πετύχει τη ταχύτητα υπηρεσίας. Το υπόλοιπο 25% του MCR δικαιολογείται συνυπολογίζοντας ένα 15% επιπλέον λόγω κακοκαιρίας και άλλο ένα 10% λόγω απωλειών μετάδοσης και του συστήματος γενικότερα.

$MCR_{ME(i)}$ = Maximum Continuous Rating της μηχανής (i)

$P_{PTO(i)}$ = είναι το 75% της ισχύος της κάθε εγκατεστημένης αξονικής γεννήτριας διαιρεμένης με την αντίστοιχη αποδοτικότητα αυτής της αξονικής γεννήτριας.

$P_{PTI(i)}$ = είναι το 75% της ονομαστικής ισχύος που καταναλώνεται από κάθε αξονικό μοτέρ διαιρούμενο με την μέση σταθμική αποδοτικότητα της γεννήτριας. Εάν υπάρχει συνδυασμένο PTI/PTO ο τρόπος λειτουργίας εν πλω θα είναι αυτός που θα καθορίζει ποιο από τα δύο θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό.

* Εάν μέρος του ονομαστικού μέγιστου φορτίου θαλάσσης παρέχεται και από αξονικές γεννήτριες, τα SFC_{ME} και CF_{ME} μπορούν, για το μέρος αυτό της ισχύος, να χρησιμοποιηθούν αντί για SFC_{AE} και CF_{AE} .

**Στην περίπτωση που η ισχύς του PTI, $P_{PTI(i)} > 0$, η μέση σταθμισμένη τιμή των SFC_{ME} , CF_{ME} και SFC_{AE} , CF_{AE} να χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της P_{eff} .

- Για εμπορικά πλοία με συνολική ισχύ κύριας (κύριων) μηχανής μεγαλύτερη η ίση των 10000 kW το P_{AE} ορίζεται ως:

$$P_{AE(MCR_{ME} > 10000kW)} = \left(0.025 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} \right) + 250$$

- Για εμπορικά πλοία με συνολική ισχύ κύριων μηχανών μικρότερη των 10000 kW το P_{AE} ορίζεται ως:

$$P_{AE(MCR_{ME} < 10000kW)} = 0.05 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)}$$

$P_{eff(i)}$ – είναι το 75% της μείωσης της ισχύος της κύριας μηχανής (kW) λόγω της καινοτόμου τεχνολογίας για την καλύτερη ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Η μηχανικώς ανακτώμενη απολεσθείσα ενέργεια (waste energy) η οποία είναι απευθείας συνδεδεμένη στον προωστήριο άξονα δεν χρειάζεται να προσμετρηθεί, αφού το αποτέλεσμα αυτής της τεχνολογίας ανακλάται άμεσα στην ταχύτητα V_{ref} .

$P_{AEeff(i)}$ – είναι η μείωση της ισχύος (kW) των βοηθητικών μηχανών λόγω και πάλι της καινοτόμου τεχνολογίας για την καλύτερη ενεργειακή απόδοση του πλοίου μετρούμενη σε $P_{ME(i)}$.

C_F – Δείκτης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα CO₂, είναι συντελεστής μετατροπής μεταξύ καυσίμου που καταναλώνεται και εκπεμπόμενου CO₂ βάσει του άνθρακα του ειδικού τύπου καυσίμου. Και οι δύο μετρούνται στην ίδια μονάδα μάζας (πχ γραμμάρια). Οι υποσημειώσεις ME(i) και AE(i) αναφέρονται σε κύριες και βοηθητικές μηχανές αντίστοιχα. Η τιμή του συντελεστή παρέχεται από τον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με τον τύπο καυσίμου.

Πίνακας 4

	Type of Fuel	Reference	Carbon Mass Content	C_F (gCO ₂ /gF)
1.	Diesel / Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	87.5%	3.206000
2.	Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	86.0%	3.151040
3.	Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	85.0%	3.114400
4a.	Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	81.9%	3.000000
4b.	Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Butane	82.7%	3.030000
5.	Liquefied Natural Gas (LNG)	--	75.0%	2.750000

SFC (Specific Fuel Consumption) – Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Το SFC είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα (επίσης συντομογραφία SFOC), μετρούμενη σε g/kWh. Οι υποσημειώσεις ME(i) και AE(i) αναφέρονται σε κύριους και βοηθητικούς κινητήρες αντίστοιχα. Η τιμή του SFC που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του EEDI_A πρέπει να είναι αυτή που έχει καταγραφεί στο πιστοποιητικό Διεθνούς Πρόληψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του κινητήρα

(EIAPP) στο 75% του MCR ή της ροπής του κινητήρα για κινητήρες πιστοποιημένους για τον E2 η E3 κύκλους λειτουργίας του NOx Τεχνικού Κώδικα 2008 και στο 50% του MCR η της ροπής για το D2 η C1 κύκλους λειτουργίας. Για σκάφη στα οποία ο P_{AE} υπολογίζεται με τους προτεινόμενους τύπους και η τιμή είναι σημαντικά διαφορετική από τη συνολική ισχύ που χρησιμοποιείται κανονική πορεία στη θάλασσα, η τιμή του SFC_{AE} των βοηθητικών γεννητριών είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος μεταξύ των SFC_{AE} (i) της των αντίστοιχων κινητήρων i, όπου το SFC_{AE} (i) είναι η καταγραφείσα τιμή στον Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης της Ρύπανσης της Ατμόσφαιρας από τον Κινητήρα (EIAPP) στο 75% του φορτίου του κινητήρα της γεννήτριας της τιμής MCR ή της ροπής. Σε περίπτωση κινητήρων που δεν έχουν εκδοθεί πιστοποιητικό EIAPP, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι η ονομαστική τους ισχύ είναι κάτω των 130kW, η SFC που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό είναι αυτή που καθορίζεται από τον κατασκευαστή και τις αρχές.

Capacity – Χωρητικότητα

Η χωρητικότητα ορίζεται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου. Για τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου, τα δεξαμενόπλοια, τα πλοία μεταφοράς αερίου, τα Ro-Ro και τα γενικού φορτίου το DWT χρησιμοποιείται ως "Capacity".

Για επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία, ο δείκτης "gross tonnage (GRT) χρησιμοποιείται ως "Capacity".

Για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων η παράμετρος της χωρητικότητας ισοδυναμεί με το 70% του DWT.

V_{ref} – Ταχύτητα Αναφοράς, είναι η ταχύτητα του πλοίου που μετρείται σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (κόμβοι), στην κατάσταση πλήρους φόρτωσης σε βαθύ νερό και θεωρώντας τον καιρό ομαλό χωρίς ανέμους και κύματα.

Μη διαστασιολογούμενοι δείκτες της σχέσης υπολογισμού του EEDI:

Οι εναπομείναντες δείκτες είναι:

f_j – αδιάστατος διορθωτικός συντελεστής για τον υπολογισμό των στοιχείων ειδικού σχεδιασμού του πλοίου (IMO MEPC.1/Circ.681 Annex Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy Efficiency Design Index for New Ships, p.5)

Πίνακας 5

Ship type	f_{i0}	$f_{i,max}$ depending on the ice class			
		IA Super	IA	IB	IC
General cargo ship	$\frac{0.0377 \cdot L_{pp}^{2.625}}{capacity}$	$2.18L_{pp}^{-0.11}$	$1.77L_{pp}^{-0.08}$	$1.51L_{pp}^{-0.06}$	$1.28L_{pp}^{-0.04}$
Containership	$\frac{0.1033 \cdot L_{pp}^{2.329}}{capacity}$	$2.10L_{pp}^{-0.11}$	$1.71L_{pp}^{-0.08}$	$1.47L_{pp}^{-0.06}$	$1.27L_{pp}^{-0.04}$
Gas carrier	$\frac{0.0474 \cdot L_{pp}^{2.590}}{capacity}$	1.25	$2.10L_{pp}^{-0.12}$	$1.60L_{pp}^{-0.08}$	$1.25L_{pp}^{-0.04}$

f_w – αδιάστατος συντελεστής που υποδεικνύει τη μείωση της ταχύτητας σε αντιπροσωπευτικές θαλάσσιες συνθήκες ύψους κύματος, συχνότητας κυμάτων και ταχύτητας ανέμου (IMO MEPC.1/Circ.681 Annex Interim Guidelines On The Method Of Calculation Of The Energy Efficiency Design Index For New Ships, p.6). Για τον υπολογισμό απαιτείται προσομοίωση αλλά στην περίπτωση που η προσομοίωση δεν διεξαχθεί τότε η τιμή f_w λαμβάνεται από τον πίνακα/καμπύλη f_w ο οποίος πρέπει να περιέχεται στις οδηγίες.

$f_{eff(i)}$ – συντελεστής διαθεσιμότητας κάθε καινοτόμου τεχνολογίας ενεργειακής απόδοσης

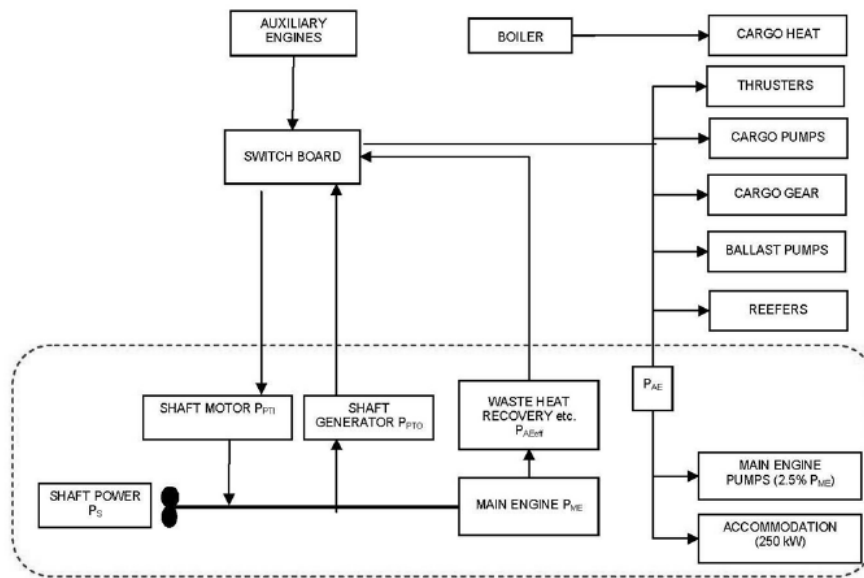
f_i – συντελεστής διόρθωσης χωρίς διάσταση για τον υπολογισμό των στοιχείων ειδικού σχεδιασμού (IMO MEPC.1/Circ.681 Annex Interim Guidelines On The Method Of Calculation Of The Energy Efficiency Design Index For New Ships, p.6-7)

Πίνακας 6

Τύπος πλοίου	f_{i0}	$f_{i,min}$ Εξαρτώμενο από την ice class			
		IC	IB	IA	IA Super
Δεξαμενόπλοιο	$\frac{0.00115Lpp^{3.36}}{Capacity}$	$1.31Lpp^{-0.05}$	$1.54Lpp^{-0.07}$	$1.80Lpp^{-0.09}$	$2.10Lpp^{-0.11}$
Bulk Carrier	$\frac{0.000665Lpp^{3.44}}{Capacity}$	$1.31Lpp^{-0.05}$	$1.54Lpp^{-0.07}$	$1.80Lpp^{-0.09}$	$2.10Lpp^{-0.11}$
Πλοίο γενικού φορτίου	$\frac{0.000676Lpp^{3.44}}{Capacity}$	1.0	1.08	1.12	1.25
Πλοίο Container	$\frac{0.1137Lpp^{2.29}}{Capacity}$	1.0	$1.25Lpp^{-0.04}$	$1.60Lpp^{-0.08}$	$2.10Lpp^{-0.12}$
Υγραεριοφόρο	$\frac{0.1749Lpp^{2.33}}{Capacity}$	$1.25Lpp^{-0.04}$	$1.60Lpp^{-0.08}$	$2.10Lpp^{-0.12}$	1.0

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τον συντελεστή διόρθωσης χωρητικότητας για πλοία Ice-Class.

Εικόνα 22



4.1.4 Βασικός Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (Baseline Energy Efficiency Design Index - EEDI_{BL})

Η ανάγκη για μια τιμή εκπομπών βάσης, προκειμένου να συγκριθεί το κατά πόσον ένα πλοίο είναι σχεδιασμένο αποτέλεσμα σε σύγκριση με μια μέση τιμή βάσης, επιχειρήθηκε από το MEPC του IMO με την εισαγωγή ενός δείκτη που ονομάζεται Δείκτης Βασικής Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδιασμού (EEDI_{BL}). Με βάση τον τύπο του επιτυγχανόμενου δείκτη (EEDIA), το MEPC του IMO πρόβλεψε σε υποθέσεις σε ορισμένους από τους παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό του EEDIA, με την παραγωγή ενός τροποποιημένου τύπου που ονομάζεται "μέση τιμή δείκτη". Εφαρμόζοντας τον τύπο υπολογισμού σε ένα ευρύ φάσμα με πλοία σε λειτουργία του ίδιου τύπου, είχε ως αποτέλεσμα ένα διάγραμμα X-Y των εκπομπών ($gCO_2/t \cdot nm$) σε σήματα χωρητικότητας (DWT), για κάθε κατηγορία πλοίου. Οι τιμές του γραφήματος χρησιμοποιούνται ως βάση για τον υπολογισμό μιας γραμμής εκθετικής παλινδρόμησης η οποία εκφράζει την τιμή της βασικής αξίας.

4.1.4.2 Απαιτούμενος Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Required EEDI)

Ο κανονισμός 21 του κεφαλαίου 4 του παραρτήματος VI της MARPOL αναφέρεται στον Απαιτούμενο Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης ο οποίος υπολογίζεται για κάθε κατηγορία πλοίων συναρτήσει του DWT του εκάστοτε πλοίου αλλά και κάποιων συντελεστών. Εάν η τιμή του Επιτυγχανόμενου Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας είναι μικρότερη από την τιμή του Απαιτούμενου Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης τότε το πλοίο πληρεί τις προϋποθέσεις

του παραρτήματος VI. Σύμφωνα με τον κανονισμό 21 του κεφαλαίου 4 της παραρτήματος VI της MARPOL αναφέρεται η απαίτηση επαναυπολογισμού του Απαιτούμενου Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης. Συγκεκριμένα πρέπει να υπολογίζεται:

- Για κάθε νέο πλοίο
- Για κάθε νέο πλοίο το οποίο έχει υποστεί μείζονα μετατροπή
- Για κάθε νέο πλοίο η υπάρχον το οποίο έχει υποστεί μια μείζονα μετατροπή η οποία είναι τόσο εκτεταμένη έτσι ώστε το πλοίο να θεωρείται ως ένα νεοκατασκευασθέν πλοίο

Ο Απαιτούμενος Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} = (1-X/100) * \text{τιμή αναφοράς}$$

Όπου X είναι ο συντελεστής μείωσης (reduction factor) που δίδεται από τον παρακάτω πίνακα για τον Σχεδιαστικό Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης συγκρινόμενος με την τιμή αναφοράς.

Πίνακας 7

Τύπος πλοίου	Μέγεθος	Φάση 0 1 Ιαν 2013 - 31 Δεκ 2014	Φάση 1 1 Ιαν 2015 - 31 Δεκ 2019	Φάση 2 1 Ιαν 2020 - 31 Δεκ 2024	Φάση 3 1 Ιαν 2025 και μετά
Φορτηγό (bulk carrier)	20,000 dwt και άνω	0	10	20	30
	10,000 - 20,000 dwt	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Υγραεριοφόρο	10,000 dwt και άνω	0	10	20	30
	2,000 - 10,000 dwt	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Δεξαμενόπλοιο	20,000 dwt και άνω	0	10	20	30
	4,000 - 10,000 dwt	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	15,000 dwt και άνω	0	10	20	30
	10,000 - 15,000 dwt	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Πλοία γενικού φορτίου	15,000 dwt και άνω	0	10	15	30
	3,000 - 15,000 dwt	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Πλοία Ψύγεια	5,000 dwt και άνω	0	10	15	30
	3,000 - 5,000 dwt	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carriers	20,000 dwt και άνω	0	10	20	30
	4,000 - 20,000 dwt	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Οι συντελεστές μείωσης πρέπει να παρεμβάλλονται γραμμικά μεταξύ των δύο τιμών σύμφωνα με το μέγεθος του πλοίου.

Ο μαθηματικός υπολογισμός της τιμής αναφοράς για κάθε κατηγορία πλοίου δίνεται στην παρακάτω ισότητα.

$$\text{BaselineValue} - a * \text{Capacity}^c$$

Ο υπολογισμός της παραπάνω ισότητας υπολογίζεται στον παρακάτω πίνακα για 6 διαφορετικά είδη πλοίων.

Πίνακας 8

	a	b	c
Bulk carrier	961.79	To DWT του πλοίου	0.447
Υγραεριοφόρο	1120.00	To DWT του πλοίου	0.456
Δεξαμενόπλοιο	1218.80	To DWT του πλοίου	0.488
Πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	174.22	To DWT του πλοίου	0.201
Πλοίο γενικού φορτίου	107.48	To DWT του πλοίου	0.216
Πλοίο ψυγείο	227.01	To DWT του πλοίου	0.244
Combination carrier	1219.00	To DWT του πλοίου	0.488

Οι παραδοχές σχετικά με τον τύπο του EEDIA για τον υπολογισμό του μέσου δείκτη είναι:

- Ο συντελεστής εκπομπών άνθρακα (CF) είναι σταθερός για όλους του κινητήρες και ίσος με $CF = 3.13 \text{ gCO}_2/\text{gF}$
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου για όλους τους τύπους πλοίων είναι σταθερή. Για τους κύριους κινητήρες – $SFCME = 190 \text{ g/kWh}$ και για τους βοηθητικούς κινητήρες $SFCAE = 210 \text{ g/kWh}$
- $P_{ME(i)} = 0.75MCR_{ME(i)}$
- Κανένα από τα πλοία δεν χρησιμοποιεί καινοτόμα ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία $P_{eff} = 0$ ή απώλειες συστήματος ανάκτησης θερμότητας $P_{WHR} = 0$
- Κανένα από τα πλοία δεν χρησιμοποιεί ντιζελο-ηλεκτρική πρόωση από βοηθητικούς κινητήρες $P_{PTI} = 0$
- Όλοι οι συντελεστές διόρθωσης θεωρούνται 1, $f_j=f_i=f_w=1$
- Η P_{AE} υπολογίζεται μόνο από τους τύπους εκτίμησης που ορίζονται στον υπολογισμό του EEDIA

$$P_{AE(MCR_{ME} > 10000kW)} = \left(0.025 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} \right) + 250$$

$$P_{AE(MCR_{ME} < 10000kW)} = 0.05 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)}$$

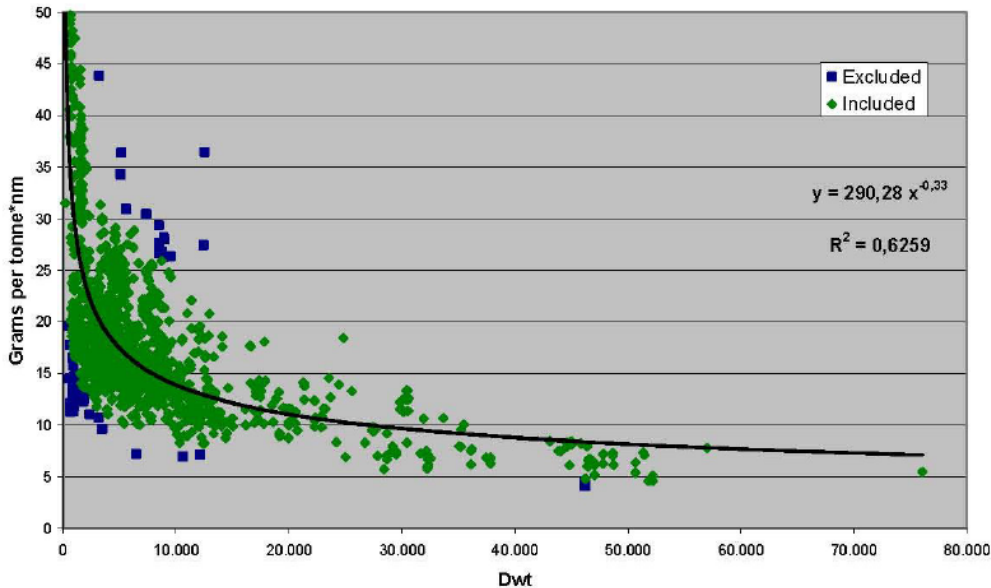
Η σχέση υπολογισμού της μέσης τιμής δείκτη υπολογίζεται ως εξής:

$$Average Index Value = 3.13 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{nME} (0.75 \cdot MCR_{ME(i)}) + 210 \cdot P_{AE}}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της μέσης τιμής δείκτη σε κάθε πλοίο ίδιας κατηγορίας σε ένα ευρύ φάσμα χωρητικοτήτων λαμβάνουμε τις τιμές που παριστάνονται στο παρακάτω γράφημα.

Διάγραμμα 1

General Cargo Ships
($\geq 400gt$, built 1998 - 2007)



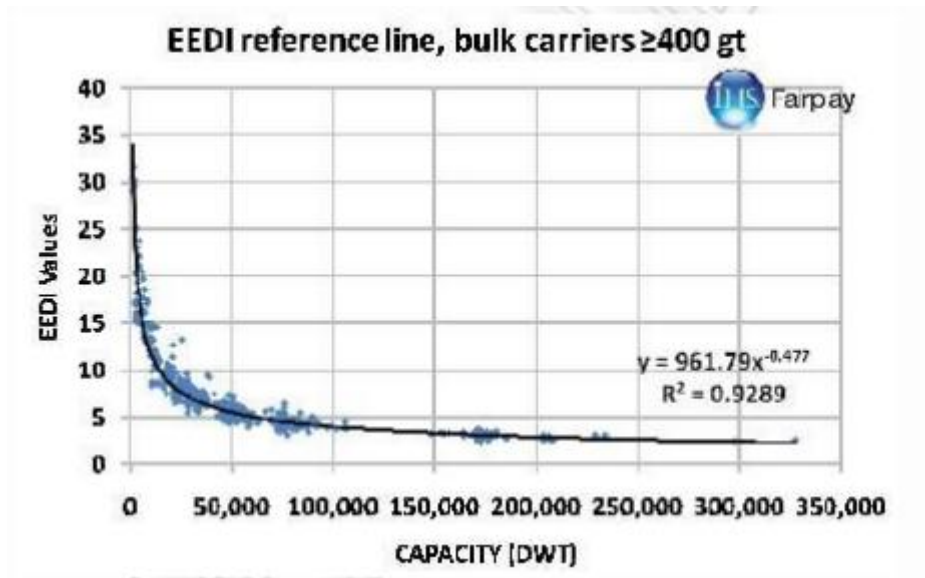
Μπορεί να υπολογιστεί και πάλι ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης (EEDIBL) για κάθε κατηγορία τροποποιώντας (αυξάνοντας) τους αριθμούς των πλοίων ή/και επαναπροσδιορίζοντας την περίοδο μέσα στην οποία τα πλοία του παραδείγματος κατασκευάστηκαν αποκλείοντας έτσι τα παλαιότερα πλοία με την αντικατάστασή τους με νεότερα. Επιπλέον, στον υπολογισμό τόσο του EEDIA όσο και του EEDIBL για ένα συγκεκριμένο σκάφος και συγκρίνοντας τους δύο δείκτες, μπορεί να είναι μια

σύγκριση του πόσο αποτελεσματικό είναι το συγκεκριμένο σκάφος σε σχέση με άλλα σκάφη της ίδιας κατηγορίας.

Παραδείγματα:

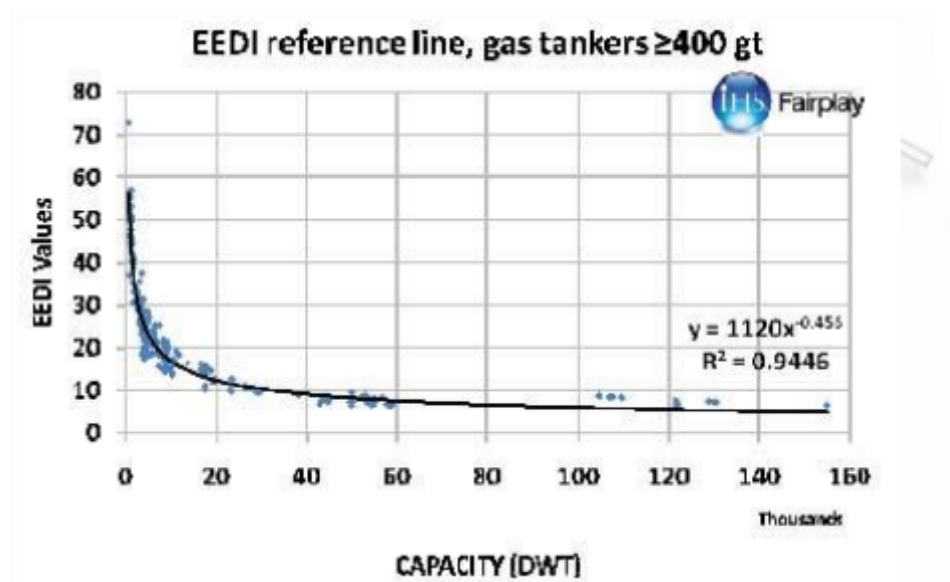
Διάγραμμα 2

Πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδη

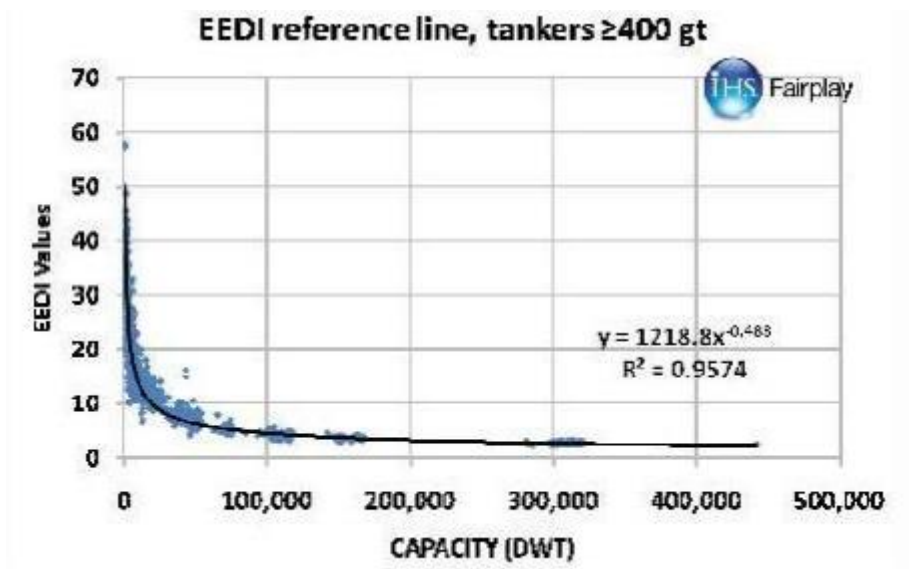


Διάγραμμα 3

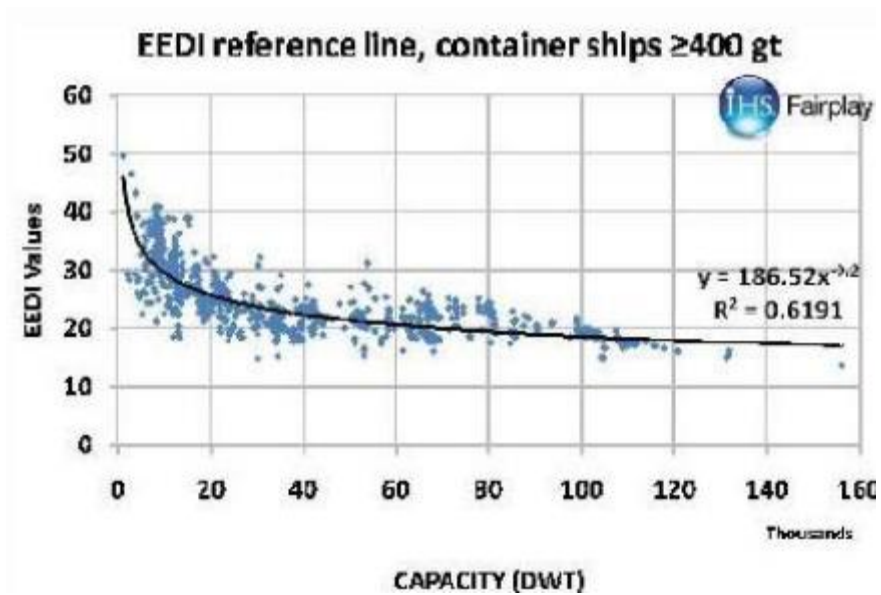
Υγραεριοφόρα



Διάγραμμα 4
Δεξαμενόπλοια

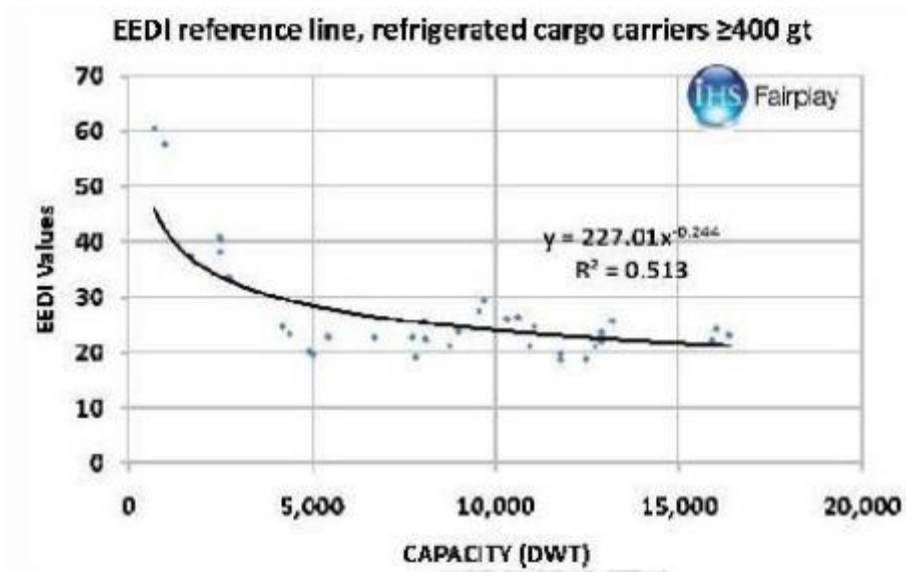


Διάγραμμα 5
Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων



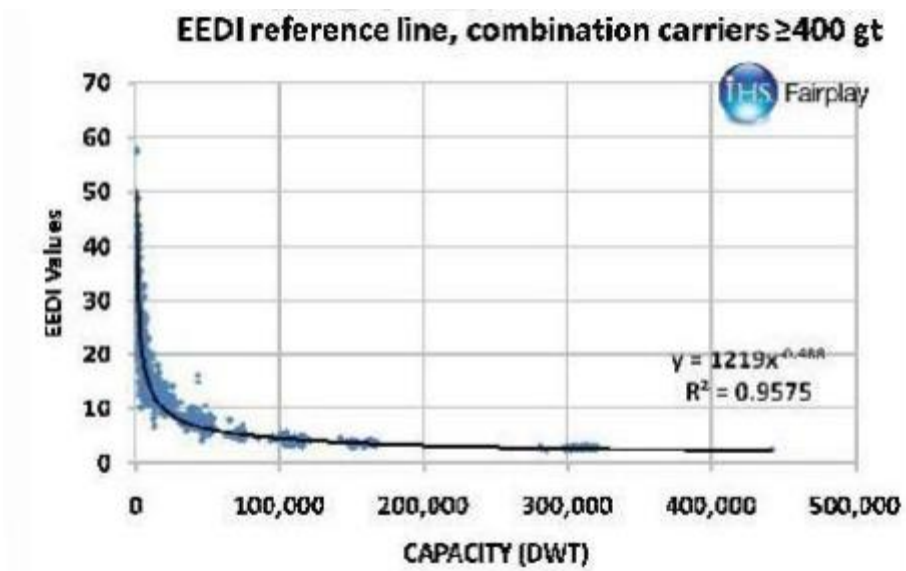
Διάγραμμα 6

Πλοία ψυγεία



Διάγραμμα 7

Πλοία συνδυασμένων μεταφορών



4.2 Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Λειτουργίας (Energy Efficiency Operation Index - EEOI)

4.2.1 Εισαγωγή

Η δημιουργία ενός Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) είναι μια δράση προς την κατεύθυνση της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών από τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ωστόσο ο δείκτης αυτός δεν έχει σχεδιαστεί για να υπολογίζει με ακρίβεια τις εκπομπές (Greenhouse Gas) GHG ενός πλοίου κατά την λειτουργία του. Οι πραγματικές εκπομπές που παράγει ένα σκάφος μπορεί να είναι διαφορετικές από αυτές που υποδεικνύει ο δείκτης EEDI. Αυτό το γεγονός, προέτρεψε την Ναυτική Επιτροπή Προστασίας Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στον εντοπισμό και την ανάπτυξη ενός μηχανισμού που απαιτείται για την επίτευξη της μείωσης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου (GHG) από τη διεθνή ναυτιλία και με τον τρόπο αυτό να δοθεί προτεραιότητα στη δημιουργία και καθιέρωση μιας βασικής γραμμής για την μείωση των αερίων αυτών.

4.2.2 Ορισμός του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης κατά την Λειτουργία (EEOI)

Στην πιο απλή του μορφή ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης λειτουργίας εκφραζόμενη ως Δείκτης Απόδοσης Μεταφοράς Διοξειδίου του Άνθρακα ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του CO₂ ανά μονάδα μεταφορικού έργου:

$$EEOI = \frac{mCO_2}{transport\ work}$$

Όπου το μεταφορικό έργο η μεταφερόμενη ποσότητα (transport work) εκφράζεται ως ακολούθως:

1. Για πλοία χύδην ξηρού φορτίου, δεξαμενόπλοια, Υγραεριοφόρα, οχηματαγωγά και πλοία γενικού φορτίου, πρέπει να χρησιμοποιούνται οι μετρικοί τόνοι του φορτίου που μεταφέρεται.
2. Για πλοία που ασχολούνται αποκλειστικά με την μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων που μεταφέρονται (TEU) ή οι μετρικοί τόνοι την συνολικής ποσότητας του φορτίου και εμπορευματοκιβωτίων πρέπει να χρησιμοποιούνται.
3. Για πλοία που μεταφέρουν συνδυασμό εμπορευματοκιβωτίων και άλλων φορτίων τότε πρέπει να υπολογίζεται 10 τόνοι για κάθε γεμάτο εμπορευματοκιβώτιο και 2 τόνοι για κάθε άδειο αντίστοιχα.

4. Για επιβατηγά πλοία περιλαμβανομένων και των επιβατηγών-οχηματαγωγών θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο αριθμός των επιβατών ή η ολική χωρητικότητα του πλοίου.

4.2.2.1 EEOI Μονού ταξιδιού

Η σχέση για τον υπολογισμό του παραπάνω δείκτη για μια χρονική περίοδο για συγκεκριμένο ταξίδι ορίζεται ως:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \cdot C_{Fj}}{m_{cargo} \cdot D}$$

Όπου:

FC_j – είναι η μάζα του αναλωμένου καυσίμου τύπου j στο ταξίδι

C_{Fj} – είναι ο συντελεστής μετατροπής μάζας καυσίμου προς CO_2 για το καύσιμο j

m_{cargo} – είναι το φορτίο που μεταφέρεται (τόνοι) (ή ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων για κοντέινερ ή επιβάτες ή GT για επιβατηγό)

D – είναι η απόσταση σε ναυτικά μίλια που αντιστοιχεί στο φορτίο που μεταφέρεται

4.2.2.2 Μέσος EEOI

Η παραπάνω σχέση εκφράζει τον δείκτη για ένα συγκεκριμένο ταξίδι. Ένας μέσος δείκτης λειτουργίας με βάση την προηγούμενη φόρμουλα μπορεί να έχει περισσότερο ενδιαφέρον. Λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από ταξίδια n όπου $i=(1,n)$ ο δείκτης μέσης ενεργειακής απόδοσης θα είναι:

$$Average EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_j \cdot C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo,i} \cdot D_i)}$$

4.2.2.3 Μέσος όρος του δείκτη EEOI

Ο μέσος όρος του δείκτη EEOI μπορεί να είναι ακόμη πιο χρήσιμος για να συγκριθεί με δείκτες λειτουργίας πλοίων, όταν επιλέγεται κατάλληλος χρόνος. Για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα έτος πιο κοντά στο τέλος ενός ταξιδιού για την περίοδο αυτή, η

έναν συγκεκριμένο αριθμό δρομολογίων, οι οποίες συμφωνούνται ως στατιστικά σημαντικές για την αρχική περίοδο του μέσου όρου. Ο ΕΕΟΙ υπολογίζεται από την παραπάνω εξίσωση.

4.3 ΕΕΔΙ στην Ντιζελοηλεκτρική Πρόωση

4.3.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια της συνάντησης της Ναυτικής Επιτροπής Προστασίας Περιβάλλοντος (ΜΕΡC) 60 συζητήθηκε το πλαίσιο σχετικά με το ΕΕΔΙ και τα πλοία με ντιζελ-ηλεκτροπρόωση εξαιρέθηκαν από τον δείκτη. Ο λόγος αυτού του αποκλεισμού είναι ότι ο τύπος ΕΕΔΙ βασίζεται στην εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης, η οποία δεν μπορεί να προσδιοριστεί με απλό τρόπο για τα συστήματα ηλεκτροκίνησης ντιζελ. Τα σετ γεννήτριας έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ισχύ σε πολλές εφαρμογές με μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των κύριων κινητήρων του πλοίου. Έτσι, η ισχύς αυτών των γεννητριών δεν μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την κύρια μηχανή ισχύος στον υπολογισμό του ΕΕΔΙ. Το ΜΕΡC 59 έχει συμφωνήσει για την επιλογή ενός περιορισμένου αριθμού τύπων πλοίων για τους οποίους θα αναπτυχθεί περαιτέρω το πλαίσιο ΕΕΔΙ. Εντούτοις, στο πλαίσιο αυτής της επιλογής ορισμένα πλοία όπως τα δεξαμενόπλοια, Ro-Ro και μεταφορείς εμπορευματοκιβωτίων μπορούν να είναι εφοδιασμένα με ηλεκτροκίνητα συστήματα πρόωσης ντιζελ. Εάν αυτά τα πλοία πρέπει να περιληφθούν στο πλαίσιο, πρέπει να εξευρεθεί λύση για τον προσδιορισμό της ισοδύναμου εγκατεστημένης ισχύος. Σε αυτή την ενότητα θα συζητηθεί μια πρόταση σχετικά με τον τρόπο που υπολογίζεται το ΕΕΔΙ για τα πλοία αυτά.

Τα συστήματα της ντιζελοηλεκτρική πρόωσης εφαρμόζονται σε σκάφη διαφόρων τύπων και οι πιο συχνές εφαρμογές αυτών των συστημάτων είναι σε πλοία με ειδικά λειτουργικά προφίλ (όπως για παράδειγμα μεγάλα επιβατηγά πλοία). Τα πλοία αυτά χαρακτηρίζονται από την πολύ υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος για τις κύριες λειτουργίες τους, που ποικίλουν με το χρόνο. Τα επιβατηγά πλοία δεν έχουν ακόμα συμπεριληφθεί στο πλαίσιο του ΕΕΔΙ. Μια πρόσφατη τάση είναι να εφαρμόζονται ντιζελ-ηλεκτρικές εφαρμογές σε φορτηγά πλοία η τάνκερ.

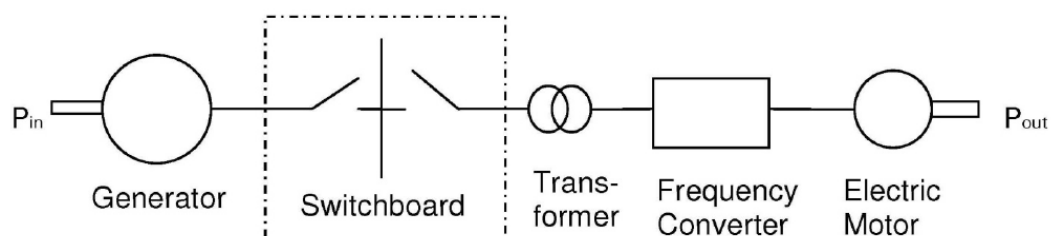
Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η εφαρμογή του ισχύοντος τύπου ΕΕΔΙ σε περιορισμένη ομάδα κατηγοριών πλοίων (φορτηγά πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην, δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και Ro-Ro), τη μελέτη της CMTI (Centrum Maritieme Technologie en Innovatieve) 16 περιγράφει μια μέθοδο για τον τρόπο απόκτησης μιας τιμής ΕΕΔΙ για τα ντιζελ-ηλεκτροκίνητα πλοία σε αυτές τις κατηγορίες. Τα δύο αρχικά σημεία για την ανάπτυξη αυτής της μεθόδου είναι:

- Δεν πρέπει να αλλάξει ο τύπος ΕΕΔΙ.
- Θα πρέπει να είναι εφικτή η σύγκριση με συμβατικά προωθημένα πλοία.

4.3.2 Απλοποιημένο Ηλεκτρικό Σύστημα Ντίζελ

Για να εξηγηθεί η προτεινόμενη μέθοδος CMTI, γίνεται μια σύντομη περιγραφή του συστήματος ηλεκτροπρόωσης.

Εικόνα 23



Εκτός από τους κύριους κινητήρες, ένα απλοποιημένο ντιζελοηλεκτρικό σύστημα, εξαιρούμενων των κύριων κινητήρων, αποτελείται από τα στοιχεία που περιγράφονται παραπάνω. Οι κύριοι κινητήρες (πχ κινητήρες ντίζελ ή ατμοστρόβιλοι) τροφοδοτούν ενέργεια στην αξονική γεννήτρια. Ο ηλεκτρικός κινητήρας, ο οποίος θα μπορούσε να είναι κινητήρας πρόωσης, φορτώνεται με ισχύ από το συνδεδεμένο φορτίο. Η απώλεια ισχύος στα στοιχεία μεταξύ του άξονα του πετρελαιοκινητήρα και του άξονα του ηλεκτροκινητήρα αποτελείται από μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες ως αποτέλεσμα της θερμότητας και της αύξησης της θερμοκρασίας στο εξοπλισμό και στον περιβάλλοντα χώρο. Η ηλεκτρική απόδοση του συστήματος θα είναι:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}}$$

Η ηλεκτρική απόδοση κάθε στοιχείου μπορεί να υπολογιστεί και οι τυπικές τιμές σε πλήρη ονομαστική ισχύ παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 9

Component	η
Generator	0.95 - 0.97
Switchboard	0.999
Transformer	0.99 - 0.995
Frequency Converter	0.98 - 0.99
Electric Motor	0.95 - 0.97

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η απόδοση ενός ηλεκτρικού συστήματος ντίζελ, από τον άξονα του ντιζελοκινητήρα στο άξονα του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης είναι μεταξύ του 0.875 και του 0.926 σε πλήρες φορτίο. Η διακύμανση της απόδοσης εξαρτάται από τη φόρτωση του συστήματος.

Τα πρόσθετα εξαρτήματα μεταξύ του κύριου κινητήρα και του άξονα της προπέλας σε ένα σύστημα ντίζελ-ηλεκτροπρόωσης συμβάλλουν σε συνολικές απώλειες τις τάξης του 10%. Σύμφωνα με τη μελέτη, η πιθανότητα εξοικονόμησης καυσίμων ίσως δεν είναι εφικτή λόγω αυτών των απωλειών ισχύος. Επίσης προτείνεται να διερευνηθεί:

A) πως η υδροδυναμική απόδοση μιας έλικας σταθερού βήματος (FPP) συγκρίνεται με αυτή μιας έλικας μεταβλητού βήματος (CPP)

B) η απόδοση του καυσίμου του κύριου μηχανισμού πρόωσης όταν είναι εγκατεστημένος σε ένα ντιζελοηλεκτρικό σύστημα με σταθερή ταχύτητα και υψηλό φορτίο σε σύγκριση με την απόδοση του καυσίμου ενός μηχανικού συστήματος πρόωσης με μεταβαλλόμενο φορτίο.

Αυτές οι διαφορές μπορεί να είναι σημαντικές, ειδικά σε χαμηλό φορτίο (πχ κατά τη διάρκεια ελιγμών).

4.3.3 Πρόταση CMTI για τον υπολογισμό του EEDI στα ντίζελ-ηλεκτροκίνητα πλοία

Ο υπολογισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPI} P_{PI(i)} - \sum_{i=1}^{nff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{nff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{reg} \cdot f_w}$$

Η θεμελιώδης προσέγγιση αυτής της μεθόδου είναι ο υπολογισμός του 75% της ισοδύναμης εγκατεστημένης ισχύος, όπως αφαιρείται από την ισχύ στον άξονα της έλικας, προκειμένου να επιτευχθεί η ταχύτητα υπηρεσίας σε κατάσταση μέγιστου φορτίου. Η ισοδύναμη εγκατεστημένη ισχύς είναι μέρος της πραγματικής εγκατεστημένης ισχύος και υπολογίζεται όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

$P_{elecmax}$ = Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπρόωσης

P_{elec} = 75% της $P_{elecmax}$

F_{elec} = Απώλειες της ισχύος του ντιζελοκινητήρα στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} = \frac{1}{f_{elec}}$$

F_{elec} το θέτουμε από έρευνα κάπου μεταξύ του 1.10 και του 1.20

Τώρα η ισοδύναμη εγκατεστημένη ισχύς της κύριας μηχανής υπολογίζεται από την σχέση:

$$P_{ME(i)} = f_{elec} \cdot P_{elec}$$

$MCR_{ME(i)}$ = Η θεωρητική μέγιστη συνεχής εκτίμηση για κύριες μηχανές = $P_{ME(i)}/0.75$

Η βοηθητική ισχύς υπολογίζεται από τις δύο παρακάτω σχέσεις ανάλογα με την θεωρητική τιμή MCR_{ME} που έχει εγκατασταθεί στο πλοίο.

$$P_{AE(MCR_{ME} > 10000kW)} = \left(0.025 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} \right) + 250$$

$$P_{AE(MCR_{ME} < 10000kW)} = 0.05 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)}$$

Για την επαλήθευση της προτεινόμενης νέας μεθόδου, η μελέτη πραγματοποιεί υπολογισμούς για έναν αριθμό ντίζελ-ηλεκτροκίνητων πλοίων. Ένας αριθμός ντίζελ-ηλεκτροκίνητων τάνκερ έχει συγκριθεί με τάνκερ ίδιου μεγέθους εξοπλισμένα με μηχανικούς προωστήριους μηχανισμούς. Και οι δύο ομάδες πλοίων ήταν μέρος του ίδιου στόλου ενός πλοιοκτήτη. Η ακριβής τιμή του f_{elec} δεν ήταν διαθέσιμη και για αυτό το λόγο πάρθηκε μια μέση τιμή από τη βιβλιογραφία ίση με 1.15.

Η μελέτη καταλήγει στο να σχολιάσει τα αποτελέσματα και πιο συγκεκριμένα ότι με την εξάλειψη του συντελεστή ηλεκτρικής απόδοσης, οι τιμές του EEDI για μεμονωμένα πλοία και των δύο γκρουπ είναι πολύ κοντά. Επίσης δηλώνει ότι τα ντίζελ-ηλεκτροκίνητα πλοία είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα πλοία με μηχανικά μέσα πρόωσης ενώ ο βαθμός μείωσης της αποτελεσματικότητας ευθυγραμμίζεται άμεσα με τον παράγοντα f_{elec} . Στην περίπτωση αυτή τα ντίζελ-ηλεκτροκίνητα πλοία είναι περίπου 15% λιγότερο αποδοτικά από τα αντίστοιχα πλοία με μηχανικούς προωστήριους μηχανισμούς. Ωστόσο αυτό υποδηλώνει την ανάπτυξη μιας διαδικασίας επαλήθευσης του συντελεστή ηλεκτρικής απόδοσης.

Τι συμβαίνει όμως όταν δεν έχουμε εξολοκλήρου ντίζελ-ηλεκτροπρόωση η μηχανική πρόωση αλλά έναν συνδυασμό αυτών των δύο για την καλύτερη και πιο αποδοτική λειτουργία του πλοίου; Υπάρχει πιθανότητα βελτίωσης της αξιοπιστίας αλλά και της απόδοσης των μέσων πρόωσης του πλοίου;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Συνδυασμένη πρόωση

Θα μελετήσουμε την γραμμή που ακολουθεί ένα πλοίο τύπου Containership, που ανήκει στην κατηγορία των liner δηλαδή τακτικών γραμμών. Στην κατηγορία αυτή μιλάμε για πλοία τα οποία ακολουθούν μια αλληλουχία προκαθορισμένων δρομολογίων και όχι διαφορετικών ταξιδιών σύμφωνα με τις προτιμήσεις του πλοιοκτήτη είτε αντίστοιχα του ναυλωτή. Επομένως, είναι αντιληπτό ότι γνωρίζουμε τις στάσεις που θα κάνει το πλοίο και σε γενικές γραμμές την πορεία που θα ακολουθήσει. Σημαντικός παράγοντας και για την μελέτη μας αποτελεί ότι η εκάστοτε πλοιοκτήτρια εταιρία επειδή ακολουθεί ένα δρομολόγιο τακτικών γραμμών έχει γνώση και αντίληψη των αναγκών που θα προκύψουν όπως επίσης και τις δυνατότητες που διαθέτει κάθε λιμάνι προσέγγισης όπως και λιμάνια που βρίσκονται κοντά στο πλοίο κατά την διάρκεια του ταξιδιού του και ίσως χρειαστεί να τα προσεγγίσει το πλοίο για τυχόν προβλήματα.

Θα ασχοληθούμε με μια γραμμή που ξεκινά από την Μεσόγειο Θάλασσα και συγκεκριμένα από την Ιταλία και φτάνει μέχρι την Νέα Ορλεάνη των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτή η γραμμή ονομάζεται TA6 Westbound και εκτελείται από την Maersk Line με πλοία διαφόρων μεγεθών εξαιτίας της εποχικότητας.

Ένα από τα πλοία που εκτελεί αυτή την στιγμή το ταξίδι αυτό είναι το MAERSK LAMANAI του οποίου τα στοιχεία είναι τα εξής:

IMO number	9527051
MMSI	477182800
Name of the ship	MAERSK LAMANAI
Former names	MAERS (2017, Hong Kong) MAERSK LONSTRUCTOR (2017, Hong Kong)
Vessel type	Container ship
Operating status	Active
Flag	Hong Kong
Gross tonnage	89505 tons
Deadweight	99865 tons
Lenght	299 m
Breadth	45 m
Year of build	2013
Builder	DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING - GEOJE, SOUTH KOREA
Class society	AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
Home port	HONG KONG

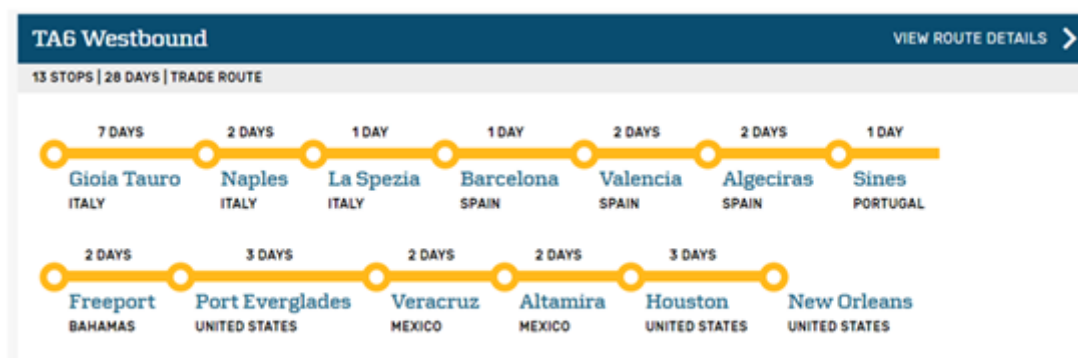
Το συγκεκριμένο πλοίο ταξιδεύει με μέγιστη ταχύτητα τους 20 κόμβους και ταχύτητα υπηρεσίας τους 18,8 κόμβους. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των επιχειρησιακών αναγκών του αλλά επίσης εξαιτίας τη κρίσης και της ακριβής τιμής των καύσιμων, που έχουν αναγκάσει όλες τις εταιρίες να μειώσουν σε μεγάλο βαθμό τις επιχειρησιακές ταχύτητες των πλοίων τους.

Στοιχεία μηχανής:

- 1 άξονας
- Engine Design: MAN B&W
- Engine Type: 9 S90ME-CS
- 47.479 kW ισχύς της κύριας μηχανής.

Η προκαθορισμένη διαδρομή του πλοίου και η διάρκεια του κάθε ταξιδιού είναι οι εξής:

Εικόνα 24

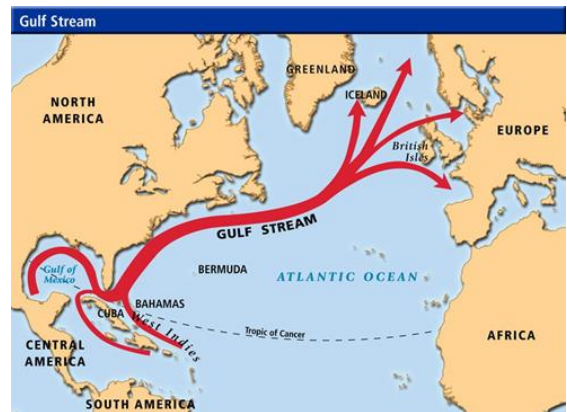


Επομένως, εμείς αρχικά θέλουμε να ασχοληθούμε με την διαδρομή από το Sines της Πορτογαλίας έως το Freeport στις Μπαχάμες. Εν συνέχεια, θα μελετήσουμε το ταξίδι από το Port Everglades στην Veracruz του Μεξικού. Ο λόγος που διαλέγουμε αυτά τα δύο legs είναι αφενός διότι το πρώτο αποτελεί πέρασμα από τον Ατλαντικό Ωκεανό και αφετέρου το άλλο αποτελεί διαδρομή που περνά από ένα σημείο το οποίο έχει έντονα καιρικά φαινόμενα τον κόλπο του Μεξικού. Αυτό οφείλεται στο ότι από εκεί ξεκινάει ο διεθνής αερο-χείμαρος που ακούει στο όνομα gulfstream.

Εικόνα 25



Εικόνα 26



Το ταξίδι σύμφωνα με το πρόγραμμα διαρκεί 1 μέρα. Ο πλοίαρχος και το operation department της εταιρίας δεν μπορούν να ξεπεράσουν το προκαθορισμένο χρόνο διάρκειας του ταξιδιού. Ο μόνος λόγος είναι η ύπαρξη τυφώνα είτε κάποιου εφάμιλλου καιρικού γεγονότος έτσι ώστε να δικαιολογηθεί η καθυστέρηση (weather act, god's act). Εντούτοις, η λύση για οποιαδήποτε άλλο καιρικό φαινόμενο είναι η αυξομείωση της ταχύτητας. Θα πάρουμε μερικά σενάρια που θα φανούν οι περιπτώσεις αυτές.

- Χρήση του δείκτη EEDI για την πραγματοποίηση των υπολογισμών

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει χρήση του δείκτη ενεργειακής αποδοτικότητας με σκοπό την σύγκριση διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η προσέγγιση θα γίνει μέσω της χρήσης των δεικτών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Δηλαδή μέσω ενός συνδυασμού του δείκτη EEDI (Energy Efficiency Design Index) και EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator). Συγκεκριμένα θα ληφθούν ως δεδομένα η ύπαρξη διαφορετικών καιρικών καταστάσεων με αποτέλεσμα να αναφερόμαστε στο Operation κομμάτι άρα και στον δείκτη EEOI για τις συνθήκες με τις οποίες έρχεται αντιμέτωπο το πλοίο μας εν πλω, ενώ δεδομένες θα ληφθούν και οι διαφορετικές διατάξεις για την πρόωση του πλοίου με την ύπαρξη η όχι αξονικής γεννήτριας αλλά και μπαταριών κάτι το οποίο αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο κατασκευάστηκε το πλοίο εξαρχής για την λειτουργία του, άρα και στον δείκτη EEDI. Επομένως θα γίνει μια συγκεκριμένη προσέγγιση του δείκτη έτσι ώστε να συμπεριληφθούν ταυτόχρονα διαφορετικές συνθήκες στην λειτουργία του πλοίου αλλά και στην κατασκευή του, έτσι ώστε να δημιουργηθούν διαφορετικά σενάρια και να εξεταστεί η βέλτιστη λειτουργία με σκοπό την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

5.1.1 Σενάριο 1ο

Εάν υποθέσουμε ότι βγαίνοντας στον Ατλαντικό Ωκεανό το πλοίο αντιμετωπίσει ισχυρούς ανέμους οι οποίοι είναι μετωπικοί (αυτό συμβαίνει συνήθως στα Υπερατλαντικά ταξίδια από ανατολικά προς δυτικά), αλλά ο κυματισμός δεν είναι τόσο ισχυρός και επομένως το βασικό πρόβλημα αποτελεί ο αέρας που χτυπάει στα έξαλα και στην υπερκατασκευή του πλοίου. Σε αυτή την περίπτωση ο πλοίαρχος για να καταφέρει να είναι στον προορισμό του εγκαίρως αυτό που πρέπει να κάνει είναι να αυξήσει την ισχύ/στροφές της μηχανής του πλοίου έτσι ώστε σε συνάρτηση με την δύναμη του ανέμου ο άξονας να προσφέρει την ταχύτητα σε κόμβους που έχει υπολογιστεί για να εκτελεσθεί το ταξίδι σε 1 ημέρα. Το απώτερο αποτέλεσμα είναι η μεγαλύτερη κατανάλωση. Αυτό θα συμβεί αν στην περίπτωση που το πλοίο αυτό δεν διαθέτει γεμάτες μπαταρίες (σε περίπτωση ΡΤΙ/ΡΤΟ συστήματος) και θα αναγκαστεί ο καπετάνιος να λειτουργήσει τη μηχανή σε ισχύ μεγαλύτερη αυτή της βέλτιστης με αποτέλεσμα τις μεγάλες καταπονήσεις της μηχανολογικής εγκατάστασης αλλά και την αύξηση της κατανάλωσης.

Η άλλη λύση είναι να διατηρήσει την ισχύ της κύριας μηχανής σταθερή στη βέλτιστη και την περίσσεια αυτής της ενέργειας να την δεχτεί από το ΡΤΙ/ΡΤΟ σύστημα στην περίπτωση φυσικά που οι μπαταρίες είναι γεμάτες. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη λειτουργία της μηχανής στη βέλτιστη κατάσταση με τις λιγότερες καταναλώσεις και μηχανικές καταπονήσεις με ταυτόχρονη αύξηση της συνολικής ισχύος στον άξονα της έλικας ώστε να μπορεί το πλοίο να φτάσει στον χρόνο που επιθυμούμε στο προορισμό του.

- Λαμβάνοντας την περίπτωση στην οποία δεν είναι δυνατή η χρήση του ΡΤΙ/ΡΤΟ συστήματος:

Αν υποθέσουμε ότι το πλοίο λόγω της επίρειας των ανέμων κινείται με 17,3 κόμβους αντί για 18,8 που είναι η ταχύτητα υπηρεσίας η αντίσταση του πλοίου λαμβάνεται ως εξής:

$$P_p = R_t \cdot V_i$$

Για τα οποία γνωρίζουμε την ταχύτητα αλλά μπορούμε να βρούμε και την ισχύ στην έλικα από τη σχέση:

$$P_E = P_S \cdot n_s \cdot n_R \left(\frac{1-t}{1-w} \right) \cdot n_p = P_S \cdot (PC)$$

Όπου:

$n_s = 0.97$ (απώλειες εδράνων)

$n_R = 1$ (για μονέλικα πλοία)

$$\eta_p = 0.5 \text{ (0.35} \rightarrow \text{0.75)}$$

$$t=0.3$$

$$w=0.45$$

Επομένως καταλήγουμε σε μια σχέση της μορφής:

$$P_e = P_s * (PC)$$

Όπου μετά από υπολογισμούς προκύπτει $PC=0.62$

Άρα και η ισχύς στην έλικα είναι $P_e=0.62*47479=29436.98 \text{ kW}$.

Για την εύρεση λοιπόν της τελικής αντίστασης με την ύπαρξη των ανέμων χρησιμοποιείται η παραπάνω σχέση για την ταχύτητα των 17,2 κόμβων.

$$\text{Δηλαδή: } P_e = R_t' * V \rightarrow R_t' = 29436.98 / 17.3 = 1701.559 \text{ kW/kn}$$

Χρησιμοποιώντας τώρα τον τύπο για την εύρεση του δείκτη EEDI:

$$EEDI = ((P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$$

Όπου:

$$P_{me} = 0.75 * MCR = 0.75 * 47479 = 35609.25 \text{ kW}$$

$$C_{fme} = 3.1144 \text{ (HFO)}$$

$$SC_{Fme} = 165 \text{ g/kWh}$$

$$P_{ae} = (0.025 * MCR) + 250 = 0.025 * 47479 + 250 = 1436.975 \text{ kW}$$

$$C_{fae} = 3.206 \text{ (Diesel/Gas Oil)}$$

$$SC_{Fae} = 187.84 \text{ g/kWh}$$

$$Capacity = 70\% DWT = 69905.5 \text{ tons}$$

$$V = 17.3 \text{ knots}$$

Για τα παραπάνω στοιχεία ο δείκτης **EEDI=15.8464 gCO₂/(tons*nm)**

Αν όμως θέλουμε να διατηρήσουμε την ίδια ταχύτητα υπηρεσίας, δηλαδή

$$V = 18.8 \text{ knots}$$

Αλλάζει και η ισχύς της κύριας μηχανής.

$$\text{Δηλαδή: } P_e' = R_t' * V = 1701.559 * 18.8 = 31989.31 \text{ kW}$$

$$\text{Οπότε } MCR' = P_e' / (PC) = 51595.66 \text{ kW} \text{ Άρα } P_{me}' = 0.75 * MCR' = 38696.745 \text{ kW}$$

Άρα ο νέος δείκτης **EEDI= 15.8365 gCO₂/(tons*nm)**

- Τι γίνεται τώρα στην περίπτωση που έχουμε την δυνατότητα χρήσης του ΡΤΙ/ΡΤΟ συστήματος;

Στην περίπτωση αυτή ο άξονας της έλικας θα λάβει την επιπλέον ισχύ από την χρήση της αξονικής γεννήτριας ως κινητήρα.

Εδώ υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

Η πρώτη είναι να λαμβάνει το ρεύμα από τις νηζελογεννήτριες ενώ η άλλη να είναι το λαμβάνει από μπαταρίες.

Ξεκινώντας από την πρώτη είναι προφανές ότι θα αυξηθεί το φορτίο στις νηζελογεννήτριες. Συγκεκριμένα:

Η μηχανή εξακολουθεί να δουλεύει στο αρχικό MCR της και γίνεται χρήση του ίδιου τύπου με πριν για τον δείκτη EEDI.

$$EEDI = ((P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae}) + (P_{pti} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$$

Στην προκειμένη περίπτωση αυτά που αλλάζουν είναι:

$$P_{me} = 0.75 * MCR = 35609.25 \text{ kW}$$

$$P_{pti} = 0.75 * (\text{Ισχύς Γεννήτριας}) / (\beta. \alpha. \text{ γεννήτριας})$$

Για την παραπάνω εφαρμογή θεωρούμε αξονική γεννήτρια ονομαστικής ισχύος 4^{ωv} MW. Με βαθμό απόδοσης 0,92.

$$\text{Επομένως } P_{pti} = 0.75 * 4000 / 0.92 = 3260.869 \text{ kW}$$

$$\text{Και } P_{ae} = (0.025 * (MCR + P_{pti} / 0.75)) + 250 = 1545.671 \text{ kW}$$

Άρα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση για τον δείκτη **EEDI=16.1261 gCO₂/(tons*nm)**

Παρατηρείται η αύξηση του δείκτη κάτι το οποίο δεν είναι θεμιτό.

Τι γίνεται όμως όταν η ενέργεια στην αξονική γεννήτρια προμηθεύεται από μπαταρίες;

Στην περίπτωση αυτή η σχέση του δείκτη γίνεται ως εξής:

$$EEDI = ((P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$$

$$\mathbf{EEDI=14.6319 \text{ gCO}_2/(\text{tons} * \text{nm})}$$

Παρατηρείται η σημαντική μείωση του δείκτη με την χρήση μπαταριών η οποία οφείλεται στην δυνατότητα ευελιξίας που προσφέρουν οι μπαταρίες σε τέτοιου είδους καταστάσεις.

5.1.2 Σενάριο 2ο

Υποθέτουμε πως το πλοίο εκτός από αέρα βρίσκεται αντιμέτωπο και με άλλα σφοδρά καιρικά φαινόμενα όπως καταιγίδα (thunderstorm) και υψηλό κυματισμό. Εδώ είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι δεν σημαίνει πως ο κυματισμός συνάδει με την δύναμη του αέρα διότι, υποκινείται από υπόγεια ρεύματα. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν, ο πλοίαρχος εάν θεωρήσει ότι το πέρασμα μέσα από την καταιγίδα είναι ασφαλές για το πλοίο, το φορτίο και το πλήρωμα και το επιχειρήσει, τότε οφείλει να μειώσει την ταχύτητα του πλοίου έτσι ώστε να μειωθεί το σουέλ του πλοίου κυρίως για λόγους καταπόνησης του φορτίου. Επίσης, με την μείωση της ταχύτητας διαφυλάσσεται και η γάστρα του πλοίου από τις καταπονήσεις που δέχεται από τα κύματα. Για να μπορέσει να διατηρήσει το χρονοδιάγραμμα του όμως, βγαίνοντας από την καταιγίδα οφείλει να αυξήσει ταχύτητα και το συγκεκριμένο πλοίο έχει τη δυνατότητα να φτάσει τους 20 κόμβους και έτσι ο πλοίαρχος έχει την δυνατότητα από 17 κόμβους περίπου που θα έκανε το πέρασμα του Ατλαντικού να αυξήσει αρκετά την ταχύτητα ώστε να αναπληρώσει τον χαμένο χρόνο.

Εδώ παρατηρούμε 2 ενδεχόμενα:

1ο Έχουμε άδειες μπαταρίες στο ξεκίνημα του ταξιδιού, επομένως όταν ο καπετάνιος αποφασίσει να ρίξει ταχύτητα δεν θα ρίξει την ισχύ της μηχανής με σκοπό να συνεχίσει αυτή να δουλεύει στη βέλτιστη κατάσταση για την όσο δυνατόν οικονομικότερη διεξαγωγή του ταξιδιού. Δεδομένων αυτών για να ρίξει ταχύτητα θα εκμεταλλευτεί την περίσσεια της ισχύος της κύριας μηχανής την οποία δεν χρειάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργώντας την αξονική γεννήτρια ως ηλεκτρογεννήτρια (PTO). Επομένως η μηχανή θα λειτουργεί στη βέλτιστη κατάσταση και όταν το πλοίο βγει από την καταιγίδα θα λειτουργήσει πλέον την αξονική γεννήτρια ως προωστήριο μηχανισμό (PTI) που σε συμβολή με την κύρια μηχανή θα παράγει την παραπάνω απαιτούμενη ισχύ για την αύξηση της ταχύτητας του πλοίου χωρίς να χρειαστεί καμία αλλαγή στη λειτουργία της κύριας μηχανής λειτουργώντας την στη βέλτιστη κατάσταση κατά την διέλευση από διαφορετικά καιρικά φαινόμενα.

2ο Έχουμε γεμάτες μπαταρίες οπότε δεν μπορούμε να αποθηκεύσουμε κάπου την ενέργεια της κύριας μηχανής και αναγκάζομαστε να κατεβάσουμε στροφές.

Μια σκέψη θα ήταν να διατηρηθεί η ταχύτητα της κύριας μηχανής και η περίσσεια της ισχύος να γίνει ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του πλοίου σταματώντας την λειτουργία σε μια από τις ηλεκτρογεννήτριες, άρα γλιτώνοντας καύσιμο.

Πάντα υπάρχει και η περίπτωση ο καπετάνιος να έχει προνοήσει γνωρίζοντας τις επικρατούσες καταστάσεις τις οποίες επρόκειτο να αντιμετωπίσει και να έχει χρησιμοποιήσει την αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες για την πρόωση του πλοίου πριν αυτό μπει στην καταιγίδα.

- Ας ξεκινήσουμε με την περίπτωση στην οποία ο καπετάνιος ρίχνει την ισχύ της μηχανής χωρίς την ύπαρξη αξονικής γεννήτριας.

Η ταχύτητα θεμιτή ταχύτητα που επιλέγει ο καπετάνιος είναι V=15.5 knots.

Είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της αντίστασης με την ύπαρξη της παραπάνω κακοκαιρίας. Για τον υπολογισμό αυτό θεωρούμε ότι το πλοίο πηγαίνει με τη μηχανή στο MCR με 16.5 κόμβους. Επομένως:

$P_e = 29436.98 \text{ kW}$ (Ίδιο με πριν με τη μηχανή να λειτουργεί στο MCR)

$R't = P_e / V = 29436.98 / 16.5 = 1784.059 \text{ kW/kn}$

Με την υπάρχουσα λοιπόν αντίσταση πρέπει να δούμε την απαίτηση ισχύος ώστε το πλοίο να κινείται με 15.5 κόμβους.

$P_e' = R't * V = 1784.059 * 15.5 = 27652.92 \text{ kW}$

Άρα $P_{me}' = 0.75 * P_e' / 0.62 = 44601.48 * 0.75 = 33451.44 \text{ kW}$

Επομένως γνωρίζοντας την απαίτηση ισχύος για την ύπαρξη της παραπάνω ταχύτητας υπολογίζουμε τον δείκτη EEDI.

$EEDI = ((P_{me}' * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$

EEDI=16.6633 gCO₂/(tons*nm)

- Έχοντας την παραπάνω τιμή δεδομένη γίνεται έλεγχος του δείκτη και με την ύπαρξη αξονικής γεννήτριας

Σύμφωνα με τα παραπάνω η απαίτηση της ισχύος στην έλικα ώστε η ταχύτητα του πλοίου να είναι 15.5 κόμβοι είναι $P_e' = 27652.92 \text{ kW}$ όμως με την μηχανή να λειτουργεί στο MCR η ισχύς που πηγαίνει στην έλικα είναι μεγαλύτερη και ίση με $P_e = 29436.98 \text{ kW}$ με αποτέλεσμα την διαφορά αυτών των δύο να αποθηκεύεται ως ηλεκτρική ενέργεια μέσω της αξονικής γεννήτριας (λειτουργία PTO).

Συγκεκριμένα:

$P_{pto} = P_e - P_e' = 1784.06 \text{ kW}$, η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται είναι $P_{el} = 1784.06 * 0.92 = 1641.33 \text{ kW}$ η οποία είναι μεγαλύτερη από την απαίτηση ισχύος των βοηθητικών μηχανημάτων που τροφοδοτούν οι Ντηζελογεννήτριες με αποτέλεσμα να μπορούμε στη διάρκεια της κακοκαιρίας να τις απενεργοποιήσουμε και επιπλέον το περίσσειμα της ισχύος να χρησιμοποιείται για την φόρτιση μπαταριών. Άρα ο νέος δείκτης EEDI θα είναι της μορφής:

$EEDI = (P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) / (V * Capacity)$

EEDI=16.2534 gCO₂/(tons*nm)

Παρατηρείται η μείωση του EEDI όπως αναμενόταν η οποία παρόλα αυτά δεν είναι τόσο σημαντική κάτι το οποίο οφείλεται στην σημαντική μείωση της ταχύτητας του

πλοίου. Παρόλα αυτά έχουμε και τη δυνατότητα φόρτισης μπαταριών με την περίσσεια της ισχύος της τάξης $P_{bat}=P_{pto}-P_{ae}=1641.33-1436.975=204.355 \text{ kW}$.

5.1.3 Σενάριο 3ο

Παρόμοια περίπτωση αποτελεί, η καταιγίδα να δημιουργείται σε ένα γεωγραφικό κομμάτι, το οποίο το πλοίο αλλάζοντας πορεία μπορεί να το αποφύγει. Αυτό αποκαλείται weather avoidance και σε άλλες αγορές όπως των ξηρών χύδην φορτίων πολλές φορές μπορεί να συμφωνηθεί το weather avoidance να αποτελέσει μια δικαιολογία για την καθυστέρηση του πλοίου. Στην περίπτωση των containerships επειδή, έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες σπανίως θα δικαιολογηθεί ένα weather avoidance. Στην περίπτωση λοιπόν, που ο πλοίαρχος εκτελέσει ένα weather avoidance είναι δεδομένο ότι η πορεία που θα ακολουθήσει θα είναι μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη επομένως, οφείλει να αυξήσει ταχύτητα για να τηρήσει το χρονοδιάγραμμα κάτι που προσδίδει μεγαλύτερη κατανάλωση.

Στην περίπτωση αυτή η ταχύτητα που προβλέπεται να πιάσει το πλοίο είναι

$V=20 \text{ knots}$

Η αντίσταση του πλοίου είναι ίδια με την αρχική καθώς δεν υπάρχει κακοκαιρία στο γεωγραφικό κομμάτι στο οποίο κινείται το πλοίο. $R_t=1565.7968 \text{ kW/kn}$

Η ισχύς στην έλικα για την επίτευξη της παραπάνω ταχύτητας υπολογίζεται ως εξής:

$$P_e=R_t \cdot V=31315.94 \text{ kW}$$

- Πρώτα θα γίνει ο υπολογισμός του δείκτη για την μη ύπαρξη αξονικής γεννήτριας

Για τα παραπάνω δεδομένα ο καπετάνιος θα πρέπει να αυξήσει την ισχύ της κύριας μηχανής. Συγκεκριμένα:

$$MCR'=P_e/0.62=50509.57 \text{ kW}$$

$$P_{me}=0.75 \cdot MCR'=37882.18 \text{ kW}$$

Άρα με την χρήση της σχέσης:

$$EEDI=((P_{me} \cdot C_{fme} \cdot SC_{Fme}) + (P_{ae} \cdot C_{fae} \cdot SC_{Fae})) / (V \cdot \text{Capacity})$$

$$EEDI=14.5426 \text{ gCO}_2/(\text{tons} \cdot \text{nm})$$

Φαινομενικά ο δείκτης είναι ικανοποιητικός αλλά δεν λαμβάνεται υπόψη ο διάνυση της μεγαλύτερης απόστασης για την αποφυγή κακοκαιρίας.

- Στη συνέχεια θα γίνει ο υπολογισμός του δείκτη για την ύπαρξη αξονικής γεννήτριας

Στην περίπτωση αυτή η μηχανή δουλεύει στο MCR και η περίσσεια της ισχύος λαμβάνεται από την αξονική γεννήτρια (λειτουργία PTI).

$$P_{extra}=P_e'-P_e=31315.94-29436.98=1878.96 \text{ kW}$$

Αρχικά θα υποθέσουμε την μη ύπαρξη μπαταριών με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται από τις Ντηζελογεννήτριες.

Για την παραπάνω εφαρμογή θεωρούμε και πάλι αξονική γεννήτρια ονομαστικής ισχύος 4^{ων} MW. Με βαθμό απόδοσης 0,92.

$$\text{Επομένως } P_{pti}=0.75*4000/0.92=3260.869 \text{ kW}$$

$$\text{Και } P_{ae}=(0.025*(MCR+P_{pti}/0.75))+250=1545.671 \text{ kW}$$

Άρα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση για τον δείκτη:
 $EEDI=((P_{me}*C_{fme}*SC_{fme})+(P_{ae}*C_{fae}*SC_{fae})+(P_{pti}*C_{fae}*SC_{fae}))/((V*Capacity)$

$$EEDI=15.1585 \text{ gCO}_2/(\text{tons*nm})$$

Στη συνέχεια θεωρούμε την ύπαρξη μπαταριών επομένως οι Ντηζελογεννήτριες δεν χρειάζεται να δουλέψουν σε κατάσταση υψηλότερου φορτίου.

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$EEDI=((P_{me}*C_{fme}*SC_{fme})+(P_{ae}*C_{fae}*SC_{fae}))/((V*Capacity)$$

$$EEDI=13.7072 \text{ gCO}_2/(\text{tons*nm})$$

Παρατηρείται σημαντική μείωση του δείκτη κάτι που μας αποδεικνύει και πάλι την ευελιξία που προσφέρουν οι μπαταρίες στο πλοίο για την διαχείριση της ποικιλότητας των φαινομένων με τα οποία έρχεται αντιμέτωπο ένα πλοίο στο ταξίδι του.

5.1.4 Σενάριο 4ο

Μια ακόμη περίπτωση είναι η δυνατότητα πρόβλεψης του καιρού και οι κατάλληλες κινήσεις ώστε να αποφευχθεί το πέρασμα μέσα από αυτή. Αναλυτικότερα, εάν ο πλοίαρχος γνωρίζει με την βοήθεια μετεωρολογικών μέσων ότι κατά την διάρκεια του ταξιδιού θα πετύχει σε κάποιο σημείο μία καταιγίδα, πολλές φορές μπορεί να λάβει την απόφαση να μειώσει ταχύτητα ώστε το πλοίο όταν μεταβεί στο σημείο της καταιγίδας, αυτή να έχει «περάσει». Αυτή είναι μια περίπτωση που πλέον με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την έγκυρη καιρική πρόγνωση, επωφελεί κατά μεγάλο βαθμό την αποφυγή καταπόνησης του πλοίου και του φορτίου αλλά μειώνει και τον κίνδυνο της εμφάνισης ναυτικών ατυχημάτων. Το αρνητικό στοιχείο όμως είναι και πάλι η κατανάλωση. Η μείωση, επιτάσσει και αύξηση της ταχύτητας έπειτα από το πέρας της καταιγίδας, έτσι ώστε να τηρηθεί το χρονοδιάγραμμα. Η περίπτωση αυτή κατατάσσεται στο πρώτο ενδεχόμενο της 2ης περίπτωσης κατά το οποίο η ταχύτητα της κύριας μηχανής θα μένει σταθερή και στη βέλτιστή της κατάσταση.

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε μείωση στην ταχύτητα τόσο ώστε

$$V=17.5 \text{ knots}$$

Η αντίσταση του πλοίου παραμένει η ίδια με προηγουμένως καθώς δεν υπάρχει κακοκαιρία. $R_t=1565.797 \text{ kW/kn}$

Η ισχύς στην έλικα για την επίτευξη της παραπάνω ταχύτητας υπολογίζεται ως εξής:

$$P_e=R_t \cdot V=27401.44 \text{ kW}$$

- Λαμβάνουμε πρώτα την περίπτωση στην οποία δεν έχουμε αξονική γεννήτρια

$$MCR'=P_e/PC=27401.44/0.62=44195.87 \text{ kW}$$

$$P_{me}=0.75 \cdot MCR'=33146.90 \text{ kW}$$

Για τον δείκτη EEDI χρησιμοποιείται η σχέση:

$$EEDI=((P_{me} \cdot C_{fme} \cdot SC_{Fme}) + (P_{ae} \cdot C_{fae} \cdot SC_{Fae})) / (V \cdot \text{Capacity})$$

$$EEDI=14.6310 \text{ gCO}_2/(\text{tons} \cdot \text{nm})$$

Παρατηρούμε τη μείωση του δείκτη κάτι το οποίο οφείλεται στην μείωση της ισχύος στην κύρια μηχανή άρα και στην μείωση της παραγωγής CO₂.

- Στη συνέχεια λαμβάνουμε την περίπτωση στην οποία έχουμε αξονική γεννήτρια (λειτουργία PTO)

Κρατώντας την μηχανή στο MCR χρησιμοποιούμε την περίσσεια της ισχύος για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα:

$$P_{me}=35609.25 \text{ kW}$$

Ενώ ως ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται το παρακάτω ποσό το οποίο υπολογίζεται από την διαφορά της απαιτούμενης ισχύος στην έλικα από τη ισχύ που μας παρέχει η μηχανή όταν αυτή δουλεύει στο MCR.

$P_{pto}=P_e-P_e'=29436.98-27401.44=2035.536 \text{ kW}$, η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται είναι $P_{el}=2035.536 \cdot 0.92=1872.69 \text{ kW}$ η οποία είναι μεγαλύτερη από την απαίτηση ισχύος των βοηθητικών μηχανημάτων που τροφοδοτούν οι Ντηζελογεννήτριες με αποτέλεσμα να μπορούμε στη διάρκεια αυτού του τρόπου λειτουργίας να τις απενεργοποιήσουμε και επιπλέον το περίσσειμα της ισχύος να χρησιμοποιείται για την φόρτιση μπαταριών.

Άρα ο νέος δείκτης EEDI θα είναι της μορφής:

$$EEDI=(P_{me} \cdot C_{fme} \cdot SC_{Fme}) / (V \cdot \text{Capacity})$$

$$EEDI=10.5772 \text{ gCO}_2/(\text{tons} \cdot \text{nm})$$

Παρατηρείται η σημαντική μείωση του δείκτη κάτι το οποίο οφείλεται στην απενεργοποίηση των Ντηζελογεννητριών.

Η επιπλέον ενέργεια για την φόρτιση μπαταριών είναι η εξής:

$$P_{bat}=1872.69-1436.975=435.718 \text{ kW.}$$

5.1.5 Σενάριο 5ο

Επιπρόσθετα, υπάρχει η περίπτωση ο πλοίαρχος να διαπιστώσει ότι η καταιγίδα δεν βρίσκεται στην πορεία του αλλά τείνει να βρεθεί. Εκεί μπορεί να θεωρήσει καλύτερο να αυξήσει ταχύτητα έτσι ώστε να την «προσπεράσει» πριν δηλαδή αυτή βρεθεί στην προκαθορισμένη πορεία. Σε αυτή την περίπτωση, είτε μειώνει την ταχύτητα του αισθητά όταν προσπεράσει το επικίνδυνο σημείο, είτε φτάνει στα φυσικά όρια του λιμανιού που έχει ως προορισμό και περιμένει στο αγκυροβόλιο μέχρι οι ναυλωτές να μπορέσουν να υποδεχτούν το πλοίο στην προβλήτα εκφόρτωσης. Πάλι λοιπόν βλέπουμε ότι τίθεται ζήτημα κατανάλωσης.

Στην περίπτωση αυτή οι μπαταρίες πρέπει να είναι γεμάτες κατά την εκκίνηση του πλοίου από το λιμάνι με σκοπό οι καταναλώσεις αυτές να μην αυξηθούν λειτουργώντας την μηχανή στη βέλτιστη κατάσταση και λαμβάνοντας την περίσσεια της ισχύος από το ΡΤΙ σύστημα.

Θεωρούμε λοιπόν ότι η καταιγίδα τείνει να βρεθεί στην πορεία του πλοίου και για τον λόγο αυτό ο καπετάνιος αποφασίζει να αυξήσει ταχύτητα ώστε να “προλάβει” την κακοκαιρία.

- Αρχικά θεωρούμε ότι δεν έχουμε αξονική γεννήτρια

Στην περίπτωση αυτή δίνεται εντολή να αυξηθεί η ισχύς της κύριας μηχανής ώστε το πλοίο να πιάσει την μέγιστη ταχύτητα, αυτή των 20 κόμβων.

Η αντίσταση του πλοίου παραμένει σταθερή και ίση με $R_t=1565.7968 \text{ kW/kn}$

Η απαίτηση ισχύος στην έλικα για την επίτευξη της ταχύτητας των 20 κόμβων υπολογίζεται όπως και παραπάνω $P_e=R_t \cdot V=31315.956 \text{ kW}$

Επομένως $MCR'=P_e/0.62=50509.61 \text{ kW}$

Και $P_{me}=0.75 \cdot MCR'=37882.205 \text{ kW}$

Για τον υπολογισμό λοιπόν του δείκτη χρησιμοποιείται η σχέση:

$$EEDI=((P_{me} \cdot C_{fme} \cdot SC_{Fme}) + (P_{ae} \cdot C_{fae} \cdot SC_{Fae})) / (V \cdot \text{Capacity})$$

$$EEDI=14.5426 \text{ gCO}_2/(\text{tons} \cdot \text{nm})$$

- Στη συνέχεια θεωρούμε την ύπαρξη της αξονικής γεννήτριας (λειτουργία ΡΤΙ)

Στην περίπτωση αυτή η κύρια μηχανή δουλεύει στο MCR και επομένως

$$P_{me}=35609.25 \text{ kW}$$

Η επιπλέον ισχύς που απαιτείται υπολογίζεται από τη διαφορά της ισχύος που απαιτείται για την επίτευξη της παραπάνω ταχύτητας με την ισχύ που προσδίδει η κύρια μηχανή στην έλικα λειτουργώντας στο MCR.

$$P_{extra} = P_{e'} - P_e = 31315.94 - 29436.98 = 1878.96 \text{ kW}$$

Αρχικά θα υποθέσουμε την μη ύπαρξη μπαταριών με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται από τις Ντηζελογεννήτριες.

Για την παραπάνω εφαρμογή θεωρούμε και πάλι αξονική γεννήτρια ονομαστικής ισχύος 4ων MW. Με βαθμό απόδοσης 0,92.

$$\text{Επομένως } P_{pti} = 0.75 * 4000 / 0.92 = 3260.869 \text{ kW}$$

$$\text{Και } P_{ae} = (0.025 * (MCR + P_{pti} / 0.75)) + 250 = 1545.671 \text{ kW}$$

Άρα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση για τον δείκτη:
$$EEDI = ((P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae}) + (P_{pti} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$$

$$EEDI = 15.1585 \text{ gCO}_2 / (\text{tons} * \text{nm})$$

Στη συνέχεια θεωρούμε την ύπαρξη μπαταριών επομένως οι Ντηζελογεννήτριες δεν χρειάζεται να δουλέψουν σε κατάσταση υψηλότερου φορτίου.

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$EEDI = ((P_{me} * C_{fme} * SC_{Fme}) + (P_{ae} * C_{fae} * SC_{Fae})) / (V * Capacity)$$

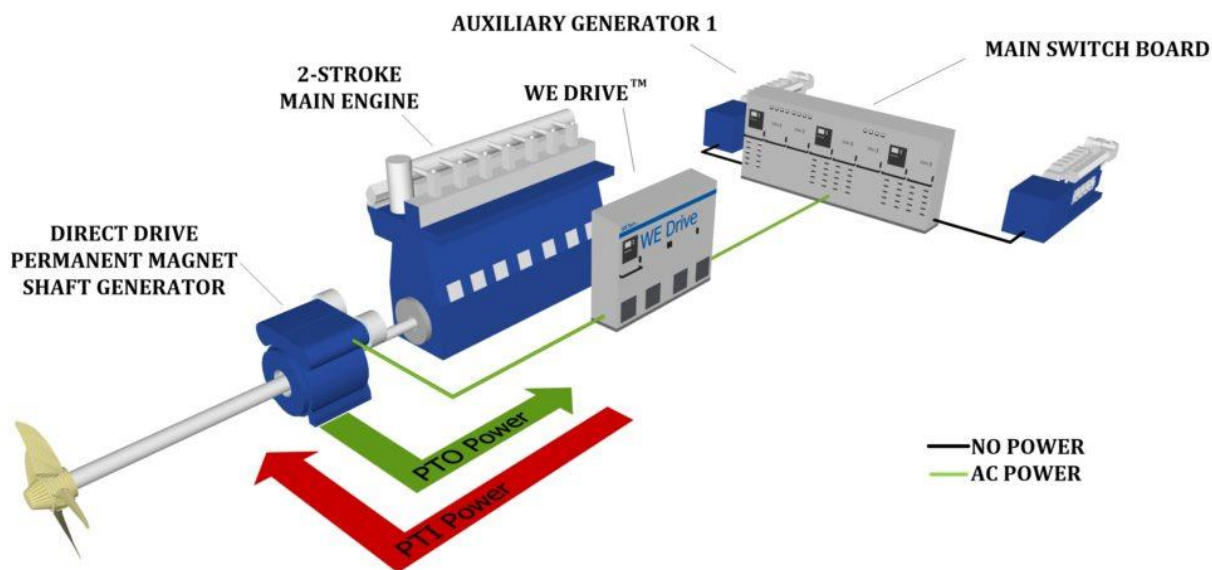
$$EEDI = 13.7072 \text{ gCO}_2 / (\text{tons} * \text{nm})$$

Παρατηρείται και πάλι η σημαντική μείωση του δείκτη κάτι που οφείλεται στην ύπαρξη των μπαταριών και στην ευελιξία που προσφέρουν στον καπετάνιο για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του πλοίου.

5.2 Συμπεράσματα

Ένα πλοίο πρέπει να διαθέτει τον κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό έτσι ώστε να είναι ικανό να αποφύγει κρίσιμες καταστάσεις και να ξεπερνά τις δυνατότητες τις οποίες χρησιμοποιούν ο πλοίαρχος και το operation για να σχεδιάσουν ένα ταξίδι του. Σε διαφορετική περίπτωση, το πλοίο μπορεί να επιφέρει ζημιές στον κάτοχό του. Το σύστημα PTO/PTO προσφέρει την απαιτούμενη ευελιξία σε ένα πλοίο αφήνοντας περισσότερες επιλογές στον καπετάνιο να λειτουργήσει το πλοίο οικονομικότερα πάντα υπό την προμελέτη προκαθορισμένων σεναρίων για την διευκόλυνση του. Επιπλέον για την περεταίρω βελτιστοποίηση της λειτουργίας του πλοίου η ύπαρξη των μπαταριών επωφελεί στην δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας όταν αυτή "περισεύει" (σε καταστάσεις δηλαδή που απαιτείται μείωση της ταχύτητας) και στην κατανάλωση της (αύξηση ταχύτητας) όταν είναι απαραίτητη για την αποφυγή μιας κατάστασης.

Εικόνα 27



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Συμπεράσματα

Η ηλεκτροπρόωση αποτελεί μία αρκετά δελεαστική επιλογή για τα πλοία που συνεχώς κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια μεταξύ των άλλων λόγω και της γενικά εντατικής εξέλιξης όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και κυρίως στον τομέα των διατάξεων ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος. Η έρευνα κατά την τρέχουσα περίοδο επικεντρώνεται στη μείωση του αρχικού κόστους επένδυσης αλλά και στην αύξηση των επιδόσεων του συνολικού συνδυασμού των διατάξεων που αξιοποιούνται από συστήματα ηλεκτροπρόωσης.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μία προσπάθεια προσδιορισμού των δυνατοτήτων που είναι ικανή να μας προσφέρει η ηλεκτροπρόωση στη ναυτιλία. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ευελιξία που μπορεί να μας προσφέρει ο συνδυασμός αξονικής γεννήτριας και μπαταριών μέσω της παρουσίας ποικίλων καταστάσεων που ένα πλοίο είναι πολύ πιθανό να έρθει αντιμέτωπο εν πλω.

Αποδείχθηκε ότι με την ύπαρξη αποκλειστικά της αξονικής γεννήτριας τα κέρδη στην κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλα παρόλα αυτά ο συνδυασμός τους με την ύπαρξη μπαταριών μπορεί να μεταφραστεί σε πολύ καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της ευελιξίας που παρέχει για τον βέλτιστο χειρισμό του πλοίου.

Ο EEDI αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο, ο οποίος εκφράζει την αναλογία μεταξύ του κόστους (δηλ. εκπομπή) και των μεταφερομένων αγαθών (δηλ. κέρδος), από τη λειτουργία ενός πλοίου. Ο EEDI καθιερώνει μια ελάχιστη απαίτηση ενεργειακής αποδοτικότητας για τα νέα πλοία, εξαρτώμενη από τον τύπο του πλοίου και το μέγεθος του. Τα νέα πλοία είναι εξαναγκασμένα να έχουν EEDI μικρότερο, κατά ένα ποσοστό μείωσης, από μια γραμμή αναφοράς, η οποία αντιπροσωπεύει την μέση αποδοτικότητα για πλοία χτισμένα μεταξύ 1999 και 2009. Η χρήση αυτού του δείκτη είχε κομβικό ρόλο στην παρούσα διπλωματική εργασία καθώς αποτέλεσε ένα τρόπο σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων αλλά και χρήσης των στοιχείων που συμβάλλουν στην υβριδική πρόωση του πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Συμπερασματικά, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο πραγματοποιείται συνδυαστική χρήση του δείκτη EEDI έτσι ώστε να συμπεριληφθούν αλλαγές στην υβριδική διάταξη αλλά και σε καιρικές συνθήκες βρισκόμενο το πλοίο στη θάλασσα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αιτία είναι η δημιουργία ορισμένων σεναρίων έτσι ώστε να συγκρίνουμε για τις διαφορετικές διατάξεις, τις περιπτώσεις στις οποίες ελαχιστοποιείται η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και να προβληθεί μέσω αυτού η ευελιξία που προσφέρουν στον καπετάνιο η ύπαρξη των μπαταριών για την μείωση των ρύπων.

Οι τιμές του δείκτη EEDI βρίσκονται σε ευθεία αναλογία με την εγκατεστημένη στο πλοίο ισχύ πρόωσης. Ως εκ τούτου και προκειμένου να επιτευχθεί συμμόρφωση ενός πλοίου με την σχετική απαίτηση του EEDI, ενδέχεται ορισμένοι πλοιοκτήτες να περιορίσουν την εγκατεστημένη ισχύ. Για τον περιορισμό παρόλα αυτά της εγκατεστημένης ισχύος, χρησιμοποιούνται μηχανές με έμβολα μικρότερης διαμέτρου και υψηλότερων στροφών με αποτέλεσμα οι κινητήρες αυτοί να έχουν υψηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου και να απαιτούν μικρότερη έλικα κάτι το οποίο δεν είναι τόσο αποδοτικό. Στην παρούσα διπλωματική η εγκατεστημένη ισχύς διατηρήθηκε σταθερή λειτουργώντας την μηχανή στη βέλτιστή της κατάσταση (MCR) και έγινε μια προσπάθεια να μειωθεί ο δείκτης μέσω της ύπαρξης διαφορετικών διατάξεων και της ευελιξίας που προσφέρουν αυτές.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται τεχνολογίες οι οποίες δεν έχουν αρχίσει ακόμα να εφαρμόζονται στη ναυτιλία. Μια από αυτές είναι οι μπαταρίες ροής βαναδίου οι οποίες προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες μπαταρίες συγκεκριμένα για την ναυτική βιομηχανία καθώς η χωρητικότητα τους προσδιορίζεται από το μέγεθος των δεξαμενών ηλεκτρολύτη που περιέχουν το οποίο σε ένα πλοίο είναι πολύ πιο εύκολο σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη βιομηχανία καθώς η ίδια του η κατασκευή είναι διαμορφωμένη με δεξαμενές είτε καυσίμων είτε λαδιών είτε έρματος και ούτω καθεξής. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν είναι τα μηδενικά έξοδα συντήρησης καθώς δεν υπάρχει μέταλλο το οποίο οξειδώνεται για την λειτουργία της μπαταρίας αλλά αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο δεξαμενών μέσω μίας μεμβράνης. Κάτι επιπλέον που αναφέρεται και δεν έχει ακόμα τεθεί σε εφαρμογή είναι η μπλε ενέργεια η αλλιώς ωσμωτική ενέργεια. Αυτού του είδους η ενέργεια είναι ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο καθώς εξασφαλίζει στην ανθρωπότητα ελάχιστα ποσά ενέργειας από αυτά που θα μπορούσε να της προσφέρει. Συγκεκριμένα είναι ικανή να εξασφαλίσει το 80% της ενέργειας του πλανήτη αν γίνει σωστή εκμετάλλευσή της και αυτό οφείλεται στην τεχνολογία την ημιπερατής μεμβράνης η οποία ακόμα κάνει τα πρώτα της βήματα. Η μόνη απαίτηση για την ύπαρξη αυτής της ενέργειας είναι δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης όπως το θαλασσινό με το γλυκό νερό και αυτός είναι ο λόγος που συναντάται σε εκβολές ποταμών.

Σε γενικότερα πλαίσια προτάσεις για περαιτέρω έρευνα αφορούν στα παρακάτω:

- Περαιτέρω βελτίωση των μπαταριών με σκοπό την δυνατότητα πλήρους εξηλεκτρισμού του πλοίου και της ικανότητας να μπορούν να παρέχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος που απαιτεί ένα πλοίο για την πρόωση του
- Εκκίνηση χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εν πλω εκμεταλλεόμενοι το πλεόνασμα ενέργειας που μας παρέχει η φύση καθώς όταν το πλοίο βρίσκεται σε ταξίδι υπάρχουν έντονα φαινόμενα όπως για παράδειγμα ο άνεμος
- Ύπαρξη συστημάτων εύρεσης βέλτιστων διαδρομών με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης άρα και της απαίτησης συνολικής ισχύος μέσω του συνδυασμού της μελέτης των καιρικών φαινομένων και των χαρακτηριστικών του πλοίου

Βιβλιογραφία

- MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, "Shaft Generators for the MC and ME Engines".

(http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of5478/Shaft_generators.pdf)

Διπλωματικές:

- Χρίστος Αθ. Φραγκόπουλος, Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης "Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις Πλοίου Τεύχος Α", εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2005.
- Ι. Ιωαννίδης, Χ. Φραγκόπουλος, Ι. Προυσαλίδης, "Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Συμπληρωματικά Βοηθήματα και Ασκήσεις"/ εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2010.
- Παλουμπής Χ. Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία, Μελέτη Μεταβατικών Καταστάσεων Λειτουργίας Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου, Αθήνα 2011.
- Βήχος Γ. Αναστάσιος, Διπλωματική Εργασία, Σχεδίαση και βελτιστοποίηση κινητήρα μονίμων μαγνητών για εφαρμογή ηλεκτροκίνησης, Αθήνα 2009.
- Πολυχρονόπουλος Α. Παύλος, Διπλωματική Εργασία, Σχεδιασμός και μελέτη μεταβατικής συμπεριφοράς αξονικής γεννήτριας πλοίου, Αθήνα 2011.
- Πιτταράς Άρης-Διονύσιος, Διπλωματική Εργασία, Σχεδιασμός και μελέτη ηλεκτρογεννήτριας συνδεδεμένης στο αξονικό σύστημα πλοίου, Αθήνα 2012.
- Χατζηνικολάου Ευστράτιος Ι., Διπλωματική Εργασία, Σχεδίαση συστήματος ελέγχου αξονικής γεννήτριας και ανάλυση λειτουργίας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου, Αθήνα 2013.
- Γουλάς Δ. Θεόδωρος, Διπλωματική Εργασία, Εξοικονόμηση ενέργειας σε σιδηροδρομικό δίκτυο συνεχούς ρεύματος με τη χρήση υπερπυκνωτών, Αθήνα 2017.
- Nikolaos C. Tsekouras, Dissertation, *Ship energy efficiency indices within the framework of IMO*, Athens 2011.
- Γκούμας Μαργαρίτης, Διπλωματική Εργασία, Ντιζελοηλεκτρική πρόωση στα σύγχρονα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, Νέα Μηχανιώνα 2014.

- Σπυρίδων Γαλίφος, Ευθύμιος Ρούβαλης, Διπλωματική Εργασία, *Γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη για εφαρμογή στην αιολική ηλεκτροπαραγωγή*, Πειραιάς.
- Κιαμούρης Ευάγγελος, Διπλωματική εργασία, *Ηλεκτρική πρόωση και χρήση της στη ναυτιλία*, Νέα Μηχανιώνα 2012.

Άρθρα:

- Jan Fredrik Hansen, Alf Kare Adnanes, Thor I. Fossen, *Mathematical Modelling of Diesel Electric Propulsion Systems for Marine Vessels*.
- Alf Kare Adnanes, ABB AS Marine, *Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion*, Oslo 2003.
- O. J. Simmonds, *Advanced hybrid systems and new integration challenges*, UK.
- Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova, *Design of Rotating Electrical Machines*, 2008.
- Athanasios G. Sarigiannidis, Efstratios Chatzinikolaou, Charalampos Patsios, Antonios G. Kladas, *Shaft Generator system design and ship operation improvement involving SFOC minimization, electric grid conditioning and auxiliary propulsion*, Athens 2016.
- Ζέρβος Αρθούρος, Κάραλης Γεώργιος, *Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας*, Αθήνα 2018.
- A. Sarigiannidis, A. Kladas, E Chatzinikolaou, C. Patsios, *High efficiency Shaft Generator drive system design for Ro-Ro trailer-passenger ship application*, Athens 2015.
- Maria Skyllas-Kazacos, *Stationary and Potential Marine Applications for the Vanadium Redox Flow Battery*, Sydney.
- Z. Gary Yang, *Status and Future Perspectives of Redox Flow Batteries*, Lausanne 2018.
- Ρασσιάς Διονύσιος, Διπλωματική Εργασία, *Energy efficiency design index & energy efficiency operational indicator*, Πειραιάς 2012.
- IACS Proc Req. 2013/Rev.1 2016, *Procedure for calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*.
- ANNEX 5, Resolution MEPC.245(66), *2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships*, 2014.
- Timothy J. McCoy, *Electric Ships: Past, Present, and Future*, *IEEE Electrification Magazine*, 2015.

- Roy Nilsen, Ingve Sorfonn, *Hybrid power Generation Systems, Wartsila Ship Power Technology*, Stord Norway.
- *Review of All-Electric and Hybrid-Electric Propulsion Technology for Small Vessels, Nova Scotia Boatbuilders Association*, 2015.
- Jun Hou, Jing Sun, Heath Hofmann, *Integrated Control of Power Generation, Electric Motor and Hybrid Energy Storage for All-Electric Ships*, Boston 2016.
- Sven De Breucker, Eefje Peeters, Johan Driesen, *Possible applications of Plug-in Hybrid Electric Ships*, 2009 IEEE.
- Jeremy Lagorse, Damien Paire, Abdellatif Miraoui, *Renewable Energy*, 2010.
- Xianyong Feng, Karen L. Butler-Purry, Takis Zourntos, Hung-Ming Chou, *Multi-Agent System-Based Real-time Load Management for NG IPS Ships in High/Medium Voltage Level*, 2011 IEEE.
- Alexandros Glykas, George Papaioannou, Stylianos Perissakis, *Application and cost benefit analysis of solar hybrid power installation on merchant marine vessels*, Athens 2010.
- Henry Jeffrey, Brigid Jay, Mark Winskel, *Accelerating the development of marine energy: Exploring the prospects, benefits and challenges*, 2012.
- Kim Trapani, Dean I. Millar, Helen C.M. Smith, *Novel offshore application of photovoltaics in comparison to conventional marine renewable energy technologies*, 2012.
- Ma Weiming, *Development of Vessel Integrated Power System*, China.
- Ianyong Feng, Takis Zourntos, Karen L. Butler-Purry, Salman Mashayekh, *Dynamic Load Management for NG IPS Ships*, 2010.
- Takeshi Katagi, Yoshimi Fujii, Eiichi Nishikawa, Takeshi Hashimoto, Kenji Ishida, Technical Paper, *Photovoltaic Generating System in Ships to Reduce Fossil Fuel Dependence*, Japan.
- Xianyong Feng, Takis Zourntos, Karen L. Butler-Purry, Salman Mashayekh, *Dynamic Load Management for NG IPS Ships*, 2010 IEEE.
- Xianyong Feng, Karen L. Butler-Purry, Takis Zourntos, Hung-Ming Chou, *Multi-Agent System-Based real-time Load Management for NG IPS in High/Medium Voltage Level*, 2011 IEEE.

- Ma Weiming, *Development of Vessel Intergrated Power System*, China.
- Takeshi Katagi, Yoshomi Fujii, Eiichi Nishikawa, Takeshi Hashimoto, Kenji Ishida, *Photovoltaic Generating System on Ships to Reduce Fossil Fuel Dependence*, Japan.
- Alexandros Glykas, George Papaioannou, Stylianos Perissakis, *Application and cost-benefit analysis of solar hybrid power installation on merchant marine vessels*, Athens 2010.
- Jeremy Lagorse, Damien Paire, Abdellatif Miraoui, *A multi-agent system for energy management of distributed power sources*, France 2009.
- Kim Trapani, Deain L. Millar, Helen C.M. Smith, *Novel offshore application of photovoltaics in comparison to conventional marine renewable energy technologies*, Canada 2012.
- Henry Jeffrey, Brighid Jay, Mark Winskel, *Accelerating the development of marine energy: Exploring the prospects, benefits and challenges*, Endinburgh 2012.
- Sven De Breucker, Eefje Peeters, Johan Driesen, *Possible applications of Plug-in Hybrid Electric Ships*, 2009.
- J. Dang, H. J. J. van den Boom, J. Th. Ligtelijn, *The Eageningen C- and D-Series Propellers*, Amsterdam 2013.
- Gerard Filliau, Alain Bondu, Laurent Mazodier, *Le navire tout électrique Evolutions et systemes de conduit*, France 2008.
- Sigurd Enge, Erlend Fjosna, Arni Sigurbjarnarson, *Regenerative Hybrid-Electric Propulsion*, Oslo 2013.
- Guomundur Gunnarson, Jon Bjorn Skulason, Arni Sigurbjarnarson, Sigurd Enge, *Regenerative electric/hybrid drive train for ships*, 2016.
- S. Trieste, S. Hmam, J. -C. Olivier, S. Bourguet, L. Loron, *Techno-economic optimization of a supercapacitor-based energy storage unit chain: Application on the first quick charge plug-in ferry*, France 2015.

Χρήσιμα Link:

- (<http://www.liquefiedgascarrier.com/duel-fuel-electrical-propulsion.html>)
- (<https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/back-to-the-future-steam-turbine-to-dfde-conversion-for-lng-carriers>)
- (http://www.trpa.org/wp-content/uploads/ABB-AS_2003.pdf)
- (<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2016/12/13/vanadium-flow-batteries-the-energy-storage-breakthrough-weve-needed/#c87b58d5bde8>)
- (https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2017/03/blog-post_9.html)