



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής

&

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών



Υπηρεσιών

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

ΤΙΤΛΟΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ

ELECTRIFICATION OF SHIPS

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

ΛΟΥΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ

ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΛΟΥΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ του ΜΙΧΑΗΛ, με αριθμό μητρώου 8066269 φοιτητής του Διιδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο δηλών



Ημερομηνία
21/06/2023

ΤΙΤΛΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ
ΛΟΥΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του
Διϋδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη
Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών
Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

Περίληψη

Η υιοθέτηση της ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία κερδίζει όλο και μεγαλύτερη προσοχή καθώς αποτελεί μέσο μείωσης των εκπομπών και βελτίωσης της αποδοτικότητας. Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει τις εφαρμογές της ηλεκτροπρόωσης στα πλοία, αναλύοντας τα οφέλη και τους περιορισμούς της. Παρέχεται μια επισκόπηση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης, συμπεριλαμβανομένων των αρχών, των εξαρτημάτων μέσω των οποίων επιτυγχάνεται και των τύπων της. Οι εφαρμογές της ηλεκτροπρόωσης στο κλάδο της ναυτιλίας είναι πολλές και αφορούν διάφορους τύπους πλοίων. Επισημαίνεται ότι τα οφέλη που προσφέρονται ειδικά για επιβατηγά πλοία, φορτηγά πλοία, ναυτικά πλοία και υπεράκτιες πλατφόρμες είναι αξιοσημείωτα. Από την άλλη κανείς δεν μπορεί να αρνηθεί και την ύπαρξη σημαντικών προκλήσεων και περιορισμών που σχετίζονται με την υιοθέτηση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης στα πλοία, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας μπαταριών, της υποδομής φόρτισης και της ανάγκης για νέα επιχειρηματικά μοντέλα. Με άλλα λόγια μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των κατά περίπτωση μελετών, κατέστη ικανή να συμβάλει ώστε να παρουσιαστεί μια λεπτομερής ανάλυση των ευκαιριών και των προκλήσεων που σχετίζονται με την τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Άλλωστε υποδηλώνεται ότι η τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης προσφέρει σημαντικά δυναμικά οφέλη για τη ναυτιλιακή βιομηχανία όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών. Ωστόσο, η επιτυχής υιοθέτηση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και την πλήρη αξιοποίηση των δυναμικών οφελών αυτής της τεχνολογίας.

Λέξεις Κλειδιά: ηλεκτροπρόωση πλοίων, ενέργεια, τεχνολογία, κινητήρας, εγκαταστάσεις, ναυτική βιομηχανία

Abstract

The use of electric propulsion processes in the marine industry is gaining increasing attention as a means of reducing emissions and improving efficiency. This paper examines the applications of electric propulsion technology in ships and analyzes its advantages and limitations. An overview of electric propulsion is provided, including its principles, the components by which it is achieved, and its types. The applications of electroflooding in the marine industry are numerous and involve various types of vessels. It is noted that the benefits are significant specifically for passenger ships, cargo ships, naval vessels and offshore platforms. On the other hand, it cannot be denied that the introduction of electric power technology on ships faces significant challenges and limitations, including battery technology, charging infrastructure, and the need for new business models. In other words, a comprehensive review of existing literature and case studies could help present a detailed analysis of the opportunities and challenges associated with power generation technology in the marine industry. Furthermore, it is found that power generation technology offers significant potential benefits to the marine industry in terms of reducing emissions, improving efficiency, and creating new business opportunities. However, the successful adoption of power generation technology will require concerted action by all stakeholders to overcome the challenges and fully realize the potential benefits of this technology.

Keywords: Ship electric propulsion, energy, technology, power plant, facilities, installations maritime industry

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	i
Πρόλογος	6
Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 1^ο Χρήσιμοι Ορισμοί και Πληροφορίες	10
1.1 Τι είναι η ηλεκτροπρόωση	10
1.2 Ιστορική Αναδρομή	12
1.3 Εφαρμογές Ηλεκτροπρόωσης	19
1.4 Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης	21
1.5 Τα μειονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης	22
Κεφάλαιο 2^ο Ανάλυση ενός Συστήματος Ηλεκτροπρόωσης	25
2.1 Τα βασικά εξαρτήματα του συστήματος	25
2.2 Πλήρως Εξηλεκτρισμένα Πλοία	32
2.3 Ανάλυση Κατηγοριών Χρήσης Ηλεκτροπρόωσης	35
Κεφάλαιο 3^ο Συστήματα POD και Αζιμουθιακοί Προωθητήρες	46
3.1 Γενικά	46
3.2 Χρήση Αζιμουθιακών προωθητήρων	48
3.3 Συστήματα POD	53
Κεφάλαιο 4^ο Θεσμικό πλαίσιο	55
Κεφάλαιο 5^ο Ανάλυση Παραδείγματος: Αυτόνομο ηλεκτρικό πλοίο Yara Birkeland.	61
5.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	62

5.2	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	64
5.3	Ηλεκτρικό Δίκτυο	67
5.4	Στοιχεία εγκατάστασης	69
5.5	Ρύθμιση στροφών	70
5.6	Προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης	71
Κεφάλαιο 6^ο Προτάσεις για μελλοντική βελτίωση της ηλεκτροπρόωσης των πλοίων στο μέλλον		74
Επίλογος		80
Βιβλιογραφία		82

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Το ποταμόπλοιο Vandal	14
Εικόνα 2 Απεικόνιση τυπικού συστήματος ηλεκτροπρόωσης	25
Εικόνα 3 Τυπική διάταξη εξαρτημάτων πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου	32
Εικόνα 4 Μονάδα ηλεκτροπρόωσης υποβρυχίων.....	42
Εικόνα 5 Αζιμουθιακοί προωθητήρες.....	47
Εικόνα 6 Σύστημα POD.....	48
Εικόνα 7 Το πλοίο Yara Birkeland	622

Πρόλογος

Η ηλεκτροπρόωση έχει γίνει μια ολοένα και πιο δημοφιλής τεχνολογία για τα πλοία λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων της έναντι των παραδοσιακών συστημάτων πρόωσης με ορυκτά καύσιμα. Η ηλεκτροπρόωση προσφέρει βελτιωμένη αποδοτικότητα καυσίμου, μειωμένες εκπομπές και χαμηλότερο κόστος συντήρησης, καθιστώντας την ελκυστική επιλογή για τους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων που επιθυμούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, βελτιώνοντας παράλληλα τα αποτελέσματά τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης στα πλοία, με έμφαση στα οφέλη, τις προκλήσεις και τις πιθανές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας. Παρέχεται με άλλα λόγια μια επισκόπηση των συστημάτων ηλεκτροπρόωσης, συμπεριλαμβανομένων των μειζόνων παρελκομένων μιας τυπικής εγκατάστασης και του τρόπου λειτουργίας τους, ενώ λαμβάνει χώρα και μια εξέταση περιπτώσεων πλοίων που έχουν εφαρμόσει με επιτυχία την ηλεκτροπρόωση.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο παρέχονται χρήσιμοι ορισμοί στο πλαίσιο κατανόησης της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης και των δυνατοτήτων που αναπτύσσει ένα πλοίο. Παρατίθενται επίσης ιστορικά στοιχεία που καταδεικνύουν την πορεία της από το παρελθόν έως σήμερα καθώς και τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, που μεταξύ άλλων αφορούν στην τεχνολογία των μπαταριών και στην υποδομή φόρτισης.

Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης ενώ πραγματοποιείται ξεχωριστή μνεία στα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία και στις δυνατότητες τους. Επιπρόσθετα, διερευνώνται οι δυνατότητες της ηλεκτροπρόωσης για διάφορους τύπους πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των επιβατηγών πλοίων, των φορτηγών πλοίων και των πολεμικών πλοίων.

Εν συνεχεία, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου που διέπει τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης πλοίων ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ένα

πλοίο στο οποίο υφίσταται εγκατεστημένο ένα τέτοιο σύστημα. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του, οι δυνατότητές του καθώς και οι περιορισμοί που απαιτείται να αντιμετωπιστούν για τη διατήρηση της βιωσιμότητάς του.

Τέλος, παρατίθενται συστάσεις για μελλοντική έρευνα, ανάπτυξη και συνεργασία στον τομέα της ηλεκτροπρόωσης, καθώς είναι μια τεχνολογία που δύναται αφενός να ενισχύσει την ευρύτερη ναυτιλιακή βιομηχανία και αφετέρου να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος και στην μείωση των ρύπων.

Εισαγωγή

Η ναυτιλιακή βιομηχανία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο, αλλά έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς αντιπροσωπεύει περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τα τελευταία χρόνια είναι περισσότερη επιτακτική από ποτέ η ανάγκη μείωσης των εκπομπών και βελτίωσης της βιωσιμότητας της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Ταυτόχρονα, η ναυτιλιακή βιομηχανία αντιμετωπίζει νέες προκλήσεις καθώς αυξάνεται η ζήτηση για πιο αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία. Η ηλεκτροπρόωση έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την παραδοσιακή πρόωση με ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης απόδοσης, των μειωμένων εκπομπών και του χαμηλότερου κόστους συντήρησης. Χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος για την κίνηση του πλοίου, αντικαθιστώντας τα παραδοσιακά συστήματα μηχανικής πρόωσης που βασίζονται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ως αποτέλεσμα, η ηλεκτροπρόωση έχει κερδίσει το ενδιαφέρον και την προσοχή από τις πλοιοκτήτριες εταιρείες και τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων που επιθυμούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και να βελτιώσουν τις οικονομικές τους επιδόσεις. Είναι καθοριστικής σημασίας λοιπόν η κατανόηση των δυνατοτήτων της ηλεκτροπρόωσης ώστε να καθιερωθεί ως μια βιώσιμη και αποδοτική τεχνολογία πρόωσης για τα πλοία. Φυσικά, παρά τα όποια πλεονεκτήματα, η ηλεκτροπρόωση δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις και ζητήματα που απαιτείται να αντιμετωπιστούν (Sriram, 2013).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ηλεκτροπρόωση δεν είναι επωφελής μόνο για τα μεγάλα εμπορικά πλοία, αλλά και για μικρότερα σκάφη, όπως τα φέρυ μποτς, τα ρυμουλκά και τα παράκτια σκάφη. Στην πραγματικότητα, αυτά τα μικρότερα πλοία μπορούν συχνά να γίνουν

κοινωνοί σημαντικότερων οφελών της ηλεκτροπρόωσης λόγω των μικρότερων διαδρομών που εκτελούν και της περιορισμένης χωρητικότητάς τους ως προς την αποθήκευση καυσίμων (Sriram, 2013).

Ένας τομέας όπου η ηλεκτροπρόωση έχει ήδη σημειώσει σημαντική ανάπτυξη είναι η βιομηχανία κρουαζιέρας. Τα κρουαζιερόπλοια είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για ηλεκτροπρόωση λόγω του μεγάλου μεγέθους τους και των συχνών στάσεων σε λιμάνια, οι οποίες παρέχουν ευκαιρίες για επαναφόρτιση των μπαταριών. Για παράδειγμα, η νορβηγική εταιρεία κρουαζιέρας Hurtigruten έχει ήδη μετατρέψει αρκετά από τα πλοία της σε πλοία με σύστημα ηλεκτροπρόωσης και σχεδιάζει να μετατρέψει ολόκληρο τον στόλο της μέχρι το 2026 (Flynn, 2019).

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ηλεκτροπρόωση δεν είναι μια λύση που ταιριάζει σε όλους και μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα παραδοσιακά μηχανικά συστήματα πρόωσης εξακολουθούν να αποτελούν την καλύτερη επιλογή. Για παράδειγμα, τα φορτηγά πλοία μεγάλων αποστάσεων που παραμένουν για παρατεταμένες περιόδους στη θάλασσα, μπορεί να εξακολουθούν να απαιτούν την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των ορυκτών καυσίμων για την τροφοδοσία των συστημάτων πρόωσής τους (Sriram, 2013).

Συμπερασματικά, η ηλεκτροπρόωση είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Η υψηλή απόδοση και η ευελιξία της, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την καθιστούν ελκυστική επιλογή για τους σχεδιαστές και τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, συμπεριλαμβανομένης της περιορισμένης εμβέλειας και της ανάγκης για μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, με συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, η ηλεκτροπρόωση έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει ακρογωνιαίο λίθο του μέλλοντος της ναυτιλίας.

Κεφάλαιο 1^ο Χρήσιμοι Ορισμοί και Πληροφορίες

1.1 Τι είναι η ηλεκτροπρόωση

Η ηλεκτροπρόωση είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος για την κίνηση ενός οχήματος, όπως ένα πλοίο, αντί των παραδοσιακών μηχανικών συστημάτων πρόωσης που βασίζονται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η τεχνολογία αυτή έχει κερδίσει την προσοχή τα τελευταία χρόνια ως μια πιο αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης (Sriram, 2013).

Η βασική αρχή πίσω από την ηλεκτροπρόωση είναι ότι ένας ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια για την κίνηση του οχήματος. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου ή ακόμη και γεννήτριες που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια (Goudreau, 2016).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων παραγωγής συνεχούς ρεύματος, των κινητήρων παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος και των γραμμικών κινητήρων. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι κινητήρων όσον αφορά στην πρόωση μικρών σκαφών, ενώ οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι πιο κατάλληλοι για μεγαλύτερα σκάφη λόγω της υψηλότερης ισχύος τους (Sriram, 2013). Οι γραμμικοί κινητήρες είναι ένας νεότερος τύπος συστήματος ηλεκτροπρόωσης που χρησιμοποιεί συνδυασμό μαγνητικών πεδίων για την παραγωγή κίνησης (Goudreau, 2016).

Συμφώνως λοιπόν της αρχής της ηλεκτροπρόωσης, λαμβάνει χώρα κίνηση των αξόνων των πλοίων μέσω ηλεκτρικών κινητήρων είτε με απευθείας σύνδεση είτε αφού παρεμβληθούν μεταξύ τους μειωτήρες. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτροπρόωσης δεν παρέχεται ενέργεια από

κατηγορίες άλλων κινητήρων όπως αυτή των αεριοστροβίλων, των ντίζελ αλλά και των ατμοστροβίλων για να κινηθεί το πλωτό μέσο. Αυτοί οι κινητήρες συμβάλουν στην κίνηση των ηλεκτρικών γεννητριών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την τροφοδοσία των ηλεκτροκινητήρων. Για την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης απαιτείται η ύπαρξη συστημάτων μέσω των οποίων είναι σε θέση κανείς να την ελέγχει και να την χειρίζεται, να την εκκινεί, να αυξομειώνει τις στροφές και να μεταβάλλει τη φορά που περιστρέφονται οι ηλεκτροκινητήρες.

Συνολικά, η ηλεκτροπρόωση είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών μηχανικών συστημάτων πρόωσης. Καθώς οι πρόοδοι στην τεχνολογία των μπαταριών συνεχίζουν να βελτιώνονται και να μειώνουν το κόστος, είναι πιθανό ότι η ηλεκτροπρόωση θα γίνεται όλο και πιο δημοφιλής σε ένα ευρύ φάσμα τύπων οχημάτων και εφαρμογών (Goudreau, 2016).

Με δεδομένο ότι οι έρευνες γύρω από τα ηλεκτροπροωστήρια συστήματα αναπτύσσονται ραγδαία, είναι σκόπιμη η επεξήγηση των κάτωθι βασικών όρων, οι οποίοι δύνανται να εντοπιστούν εντός των σύγχρονων βιομηχανικών κλάδων.

(α) Με τον όρο της πλήρους ηλεκτροπρόωσης αναφέρονται οι εγκαταστάσεις οι οποίες επιτρέπουν την καθολική κίνηση των πλοίων μέσω ηλεκτρικών κινητήρων. Επισημαίνεται ότι άλλες γεννήτριες χρησιμοποιούνται για την κάλυψη της απαίτησης κίνησης του πλοίου και άλλες για όλες τις υπόλοιπες απαιτήσεις που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για να υλοποιηθούν.

(β) Με τον όρο της ολοκληρωμένης πλήρους ηλεκτροπρόωσης αναφέρονται οι εγκαταστάσεις που τα ζεύγη που αποτελούνται από τις κινητήριες μηχανές και γεννήτριες, ως αναφέρθηκε ανωτέρω, παρέχουν τροφοδοσία αφενός στο σύνολο των ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούνται για την πρόωση του πλοίου και αφετέρου για να καλυφθούν οι λοιπές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια.

(γ) Με τον όρο των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων αναφέρονται εκείνα τα πλοία που ανήκουν στην κατηγορία της ολοκληρωμένης πλήρους ηλεκτροπρόωσης και παράλληλα η πλειοψηφία των λειτουργιών του καλύπτεται από ηλεκτρικά μηχανήματα και συστήματα.

(δ) Με τον όρο του ηλεκτρικού δικτύου της πρόωσης αναφέρεται ένα μέρος από το ηλεκτρικό δίκτυο των πλοίων το οποίο συμβάλει στην τροφοδοσία των ηλεκτρικών φορτίων για την κάλυψη της απαίτησης πρόωσης.

(ε) Με τον όρο του ηλεκτρικού δικτύου χρήσης αναφέρεται το λοιπό τμήμα του ηλεκτρικού δικτύου των πλοίων (στο οποίο δεν ανήκει το ηλεκτρικό δίκτυο πρόωσης) (Goudreau, 2016).

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η έναρξη εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων της ηλεκτροπρόωσης στα πλοία χρονολογείται από τα τέλη του 19ου αιώνα. Δεν άλλαξε η κύρια πηγή πρόωσης του πλοίου, η οποία παρέμεινε ο κινητήρας ντίζελ, ο αεριοστρόβιλος ή ο ατμοστρόβιλος. Ένα από τα πρώτα πλοία που χρησιμοποίησαν επιτυχώς τα οφέλη της ηλεκτροπρόωσης ήταν το USS Oregon, ένα πλοίο του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ, το οποίο κατελκύστηκε το 1896 και χρησιμοποίησε ηλεκτροπρόωση για την τροφοδοσία των βοηθητικών μηχανημάτων του (Goudreau, 2016).

Το USS Oregon ήταν εξοπλισμένο με ηλεκτροκίνητα βοηθητικά μηχανήματα, όπως αντλίες, βαρούλκα και ανελκυστήρες. Η χρήση ηλεκτροπρόωσης στο εν λόγω πλοίο αποτέλεσε σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης και κατέδειξε τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτρικών κινητήρων για την πρόωση πλοίων (Bhatia & Bhatia, 2009).

Η χρήση ηλεκτροπρόωσης από το USS Oregon αποτέλεσε σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα ατμοκίνητα βοηθητικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνταν σε προηγούμενα πλοία. Η ηλεκτροπρόωση ήταν πιο αθόρυβη, πιο αποδοτική και προσέφερε βελτιωμένη αξιοπιστία σε σύγκριση με τα ατμοκίνητα συστήματα (Bhatia & Bhatia, 2009).

Η επιτυχής χρήση ηλεκτροπρόωσης για τα βοηθητικά μηχανήματα του USS Oregon άνοιξε το δρόμο για την περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης για τα πλοία. Συνολικά, το USS Oregon αποτέλεσε βασικό παράγοντα στην ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης για τα πλοία, αποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα και τα οφέλη της ηλεκτροπρόωσης και ανοίγοντας το δρόμο για τη χρήση της σε άλλα πλοία.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η ηλεκτροπρόωση χρησιμοποιήθηκε κυρίως για μικρότερα πλοία, όπως φέρι μποτ και ρυμουλκά, λόγω της περιορισμένης εμβέλειας και ισχύος των πρώτων ηλεκτρικών κινητήρων. Για παράδειγμα, το SS Koondooloo, ένα επιβατηγό ηλεκτρικό ατμόπλοιο πλοίο που κατελκύστηκε το 1905 στο Σίδνεϊ της Αυστραλίας, ήταν ένα από τα πρώτα μεγάλα πλοία που χρησιμοποίησαν ηλεκτροπρόωση και θεωρήθηκε τεχνολογικό θαύμα εκείνη την εποχή (Bainbridge, 2014) (Bhatia & Bhatia, 2009). Το SS Koondooloo κινούνταν με δύο ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι κινούνταν από μια μεγάλη μπαταρία. Αυτό κατέστησε το πλοίο ένα από τα πρώτα παραδείγματα ηλεκτροπρόωσης στις θαλάσσιες μεταφορές (Bainbridge, 2014).

Το SS Koondooloo σχεδιάστηκε για να μεταφέρει επιβάτες σε μικρά ταξίδια στο λιμάνι του Σίδνεϊ. Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσής του ήταν αθόρυβο, αξιόπιστο και παρείχε ομαλή και άνετη διαδρομή για τους επιβάτες. Το πλοίο επαινέθηκε ευρέως για την καινοτόμο χρήση της ηλεκτροπρόωσης (Bainbridge, 2014). Παρά την επιτυχία του, το σύστημα ηλεκτροπρόωσης του SS Koondooloo δεν υιοθετήθηκε ευρέως σε άλλα πλοία. Αυτό οφειλόταν εν μέρει στην περιορισμένη εμβέλεια του πλοίου, η οποία περιοριζόταν από τη χωρητικότητα της μπαταρίας του (Bainbridge, 2014). Ωστόσο, η πρόοδος στην τεχνολογία των μπαταριών, των ηλεκτρονικών ισχύος και του σχεδιασμού των κινητήρων στα μέσα του 20ου αιώνα επέτρεψε τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης και σε μεγαλύτερα σκάφη (Sriram, 2013).

Όσον αφορά το πρώτο ντιζελοηλεκτρικό σκάφος (ποταμόπλοιο Vandal), αυτό αναπτύχθηκε δύο χρόνια πριν, το 1903. Μετά την ανάπτυξη του πρώτου μεγάλου

ηλεκτροκινητήρα και γεννήτριας το 1910, αναπτύχθηκε η ηλεκτροπρόωση για κίνηση των πλοίων τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες όσο και αλλού. Το πρώτο σκάφος του πολεμικού ναυτικού με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, ήταν το USS Jupiter, που κατελκύστηκε το 1912.



Εικόνα 1 Το ποταμόπλοιο Vandal

Και τα δύο συστήματα, μηχανική/συμβατική πρόωση και ηλεκτροπρόωση ανταγωνίζονταν το ένα το άλλο μέχρι το 1920, όταν οι Βρετανοί ανέπτυξαν ένα χαμηλού βάρους και υψηλής απόδοσης μηχανικό σύστημα κίνησης, το οποίο κυριάρχησε στην τεχνολογία πρόωσης πλοίων σε όλο τον κόσμο για τις δεκαετίες που ακολούθησαν. Παράλληλα, εκείνη την περίοδο οι ναυτιλιακές εταιρείες ανταγωνίζονταν η μια την άλλη ώστε να μειώσουν τον χρόνο που απαιτούταν για να πραγματοποιηθούν υπερατλαντικά ταξίδια. Στροβιλοηλεκτρικά συστήματα και διατάξεις ήταν αυτά που καλούνταν να καλύψουν το μέγεθος των απαιτήσεων που αφορούσαν το σύνολο των επιβατηγών πλοίων που έπλεαν στον ωκεανό.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες τροφοδοτούνταν από ατμογεννήτριες και ο καθορισμός της ταχύτητας περιστροφής τους εξαρτιόταν από αυτές. Συνηθέστερα, η τροφοδοσία κάθε μηχανής προώσεως γινόταν ξεχωριστά από το σύνολο των εγκατεστημένων γεννητριών. Ήταν δυνατό όμως δύο μηχανές να τροφοδοτηθούν μέσω μιας γεννήτριας όταν σε ένα ταξίδι για παράδειγμα δεν υπήρχε απαίτηση για αύξηση της ταχύτητας.

Ένα γαλλικό υπερωκεάνιο που κατελκύστηκε το 1932, το Normandie, ήταν το πρώτο μεγάλο υπερωκεάνιο που κινούνταν με ένα υπερτροφοδοτούμενο ηλεκτρικό σύστημα

πρόωσης. Το Normandie ήταν ένα από τα μεγαλύτερα και πολυτελέστερα πλοία της εποχής του.

Το πλοίο τροφοδοτούνταν από τέσσερις στροβιλογεννήτριες που παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση ηλεκτρικών κινητήρων συνδεδεμένων με τις προπέλες του πλοίου. Το σύστημα αυτό εξασφάλιζε ένα πιο αποδοτικό και αξιόπιστο σύστημα πρόωσης καθώς και πιο αθόρυβη και ομαλή λειτουργία. Το τουρμπο-ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του Normandie ήταν ένα σημαντικό τεχνολογικό επίτευγμα της εποχής και βοήθησε να ανοίξει ο δρόμος για τις μελλοντικές εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και άλλων οχημάτων.

Επισημαίνεται ότι το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ, λόγω της πρότερης επικράτησης του μηχανικού συστήματος πρόωσης, ξεκίνησε εκ νέου να αναπτύσσει τη χρήση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, εξαιτίας περιορισμού διαθεσιμότητας γραναζιών και κατ' επέκταση εμφάνιση ελλείψεων στη διαθεσιμότητα μηχανικών συστημάτων κίνησης (Goudreau, 2016).

Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτροπρόωση σε πλοία που κινούνταν στον πάγο ήταν το 1939, όταν το φινλανδικό παγοθραυστικό SISU χρησιμοποίησε ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης με συνεχές ρεύμα τύπου Ward Leonard. Έκτοτε, διάφοροι τύποι ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης χρησιμοποιήθηκαν για εκατοντάδες παγοθραυστικά και παγοδρομικά πλοία με ισχύ πρόωσης έως και 50 MW.

Μετά τον Πόλεμο, η τεχνολογία μηχανικής κίνησης συνέχισε να βελτιώνεται και παρέμεινε κυρίαρχη. Οι κινητήρες ντίζελ χρησιμοποιούνταν εκτενώς και η ηλεκτροπρόωση ολοένα και απομακρυνόταν από την εμπορική ναυτιλία. Μεταξύ των πολεμικών πλοίων, η τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης υιοθετήθηκε ευρέως μόνο στα υποβρύχια στα οποία επέτρεπε να κινούνται βυθισμένα για περιορισμένες χρονικές περιόδους με ισχύ μπαταρίας, χωρίς πρόσβαση στην ατμόσφαιρα για παροχή οξυγόνου και καύση καυσίμου ντίζελ.

Το σύστημα πετρελαιοηλεκτροπρόωσης άρχισε να γίνεται όλο και πιο δημοφιλές όταν ξεκίνησαν να αναπτύσσονται τεχνολογίες που αφορούσαν την εξέλιξη των ηλεκτρονικών ισχύος και των συστημάτων πλοήγησης και αποτελεσματικού ελέγχου των μεταβολών ταχύτητας που αφορούσαν τους ηλεκτρικούς κινητήρες, στα μέσα του 20ου αιώνα, καθώς το σύστημα αυτό προσέφερε τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης με την εκτεταμένη εμβέλεια και την αξιοπιστία των πετρελαιοκινητήρων. Αυτό ίσχυε ιδιαίτερα για τα υποβρύχια, όπου η αθόρυβη λειτουργία της ηλεκτροπρόωσης ήταν απαραίτητη (Bhatia & Bhatia, 2009). Ωστόσο, καθώς οι κινητήρες ντίζελ χρησιμοποιούνταν κατά κύριο λόγο για πρόωση των πλοίων, η ηλεκτροπρόωση άρχισε να χρησιμοποιείται πιο έντονα μετά τη δεκαετία του 1980.

Εντός αυτού του πλαισίου, η τροφοδοσία του προωστήριου συστήματος των πλωτών μέσω πλέον λαμβάνει χώρα μέσω ενός ισχυρού δικτύου χαρακτηριστικά του οποίου είναι η σταθερή τάση και συχνότητα. Την ίδια στιγμή οι στρόφες στις οποίες λειτουργούν οι ηλεκτρικοί κινητήρες πραγματοποιείται η στρόφη των χρησιμοποιούμενων ελίκων με σταθερό βήμα. Σημειώνεται ότι σε πλήθος παγοθραυστικών, ερευνητικών πλοίων αλλά και κρουαζιερόπλοια ξεκινά η χρήση του εν λόγω τύπου πρόωσης.

Παράλληλα, αρχίζουν να χρησιμοποιούνται έλικες με μεταβλητό βήμα. Αυτές έχουν συνδεθεί άρρικτα με τη μέθοδο πετρελαιοκίνητης πρόωσης όπου υφίσταται έλεγχος της ώσης με ένα σύστημα που μεταβάλλει το βήμα των εγκατεστημένων στο πλοίο ελίκων (Bhatia & Bhatia, 2009).

Μια ακόμα εξέλιξη στο πεδίο της ηλεκτροπρόωσης ήταν η τελειοποίηση και ο χαρακτηρισμός του ως εμπορικά βιώσιμη τεχνολογία για χρήση σε θαλάσσια σκάφη του αζιμουθιακού συστήματος πρόωσης τη δεκαετία του 1950. Το εν λόγω σύστημα αρχικά είχε σχεδιαστεί και αναπτυχθεί από τον Σουηδό μηχανικό Josef Ressel στις αρχές του 1900.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην ενοποίηση των συστημάτων κινητήρα και έλικας σε μια μονάδα η οποία εμβαπτίζεται εντός του νερού και εγκαθίσταται στην πρύμνη

του πλωτού μέσου. Μέσω μίας ή δύο ελίκων είναι δυνατή η πραγματοποίηση οριζόντιας στροφής του συστήματος ως προς την αζιμουθιακή διεύθυνση. Έτσι το πλοίο γίνεται περισσότερο ευέλικτο, λαμβάνει χώρα εκμηδενισμός του αξονικού συστήματος και παύει να υφίσταται πλέον απαίτηση ύπαρξης μηχανισμού πηδαλιούχησης.

Η πρώτη εμπορική χρήση του συστήματος αζιμουθιακής πρόωσης πιστώνεται στη φινλανδική ναυπηγική εταιρεία Wärtsilä, η οποία εισήγαγε την τεχνολογία τη δεκαετία του 1950. Το πρώτο πλοίο που εξοπλίστηκε με αζιμουθιακό προωθητήρα ήταν το φινλανδικό παγοθραυστικό Voima, το οποίο κατελκύστηκε το 1954. Το Voima ήταν εξοπλισμένο με δύο αζιμουθιακούς προωθητήρες, οι οποίοι προσέφεραν στο πλοίο εξαιρετική ευελιξία και διευκόλυναν την πλοήγηση σε παγωμένες συνθήκες (Bhatia & Bhatia, 2009).

Έκτοτε, το σύστημα πρόωσης αζιμουθιακής πρόωσης έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλές σε ένα ευρύ φάσμα σκαφών, από ρυμουλκά και σκάφη υποστήριξης υπεράκτιων δραστηριοτήτων έως κρουαζιερόπλοια και παγοθραυστικά. Σήμερα, η τεχνολογία έχει εξελιχθεί και βελτιωθεί, με εξελίξεις στα υλικά, τον σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου που οδηγούν σε ακόμη μεγαλύτερη αποδοτικότητα και απόδοση.

Με τις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κινητήρων ντίζελ, τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τα αμιγώς ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης (Goudreau, 2016). Για παράδειγμα, το πρώτο αμιγώς ηλεκτρικό επιβατηγό οχηματαγωγό πλοίο, το MS Ampere, κατελκύστηκε στη Νορβηγία το 2018. Αυτό το οχηματαγωγό τροφοδοτήθηκε από μπαταρίες ιόντων λιθίου και προσέφερε στους επιβάτες μεταφορά με μηδενικές εκπομπές ρύπων (Chong & Hsu, 2019). Αδιαμφισβήτητα η καθέλκυση του εν λόγω πλοίου αποτέλεσε ένα καινοτόμο βήμα για την ηλεκτροπρόωση στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Το MS Ampere πλοίο θεωρείται ένα από τα πιο προηγμένα ηλεκτρικά οχηματαγωγά πλοία στον κόσμο (Ampere, n.d.). Κατασκευάστηκε στο Sognefjord της Νορβηγίας, ένα από

τα μακρύτερα και βαθύτερα φιόρδ στον κόσμο (Ampere, n.d.). Τροφοδοτείται από ένα σύστημα μπαταριών και δύο ηλεκτροκινητήρες. Το υπόψη πλοίο μέσω του ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης που διαθέτει, αποτελεί ένα βιώσιμο, φιλικό προς το περιβάλλον, χωρίς εκπομπές ρύπων και αποτελεσματικό μέσο μεταφοράς επιβατών και φορτίου (Ampere, n.d.).

Το MS Ampere έχει επαινεθεί ευρέως για την καινοτόμο χρήση της ηλεκτροπρόωσης, η οποία αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στην ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης για πλοία. Η επιτυχία του προκάλεσε το ενδιαφέρον για ηλεκτροπρόωση για άλλα οχηματαγωγά και πλοία και κατέδειξε τη σκοπιμότητα και τα οφέλη της ηλεκτροπρόωσης για τις θαλάσσιες μεταφορές (Ampere, n.d.).

Η ανάπτυξη των μπαταριών ιόντων λιθίου στις δεκαετίες του 1990 και του 2000 διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην πρόοδο της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης. Αυτές οι μπαταρίες προσφέρουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με παλαιότερες τεχνολογίες μπαταριών, καθιστώντας τις ιδανικές για χρήση σε συστήματα ηλεκτροπρόωσης. Αυτό άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη νέων και καινοτόμων ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης για πλοία και άλλα οχήματα (Sriram, 2013).

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σημαντική αύξηση της χρήσης ηλεκτροπρόωσης στα πλοία, λόγω της προόδου της τεχνολογίας, της αυξημένης ανησυχίας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραδοσιακών συστημάτων πρόωσης και της διαθεσιμότητας οικονομικών κινήτρων για τη χρήση τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον (Goudreau, 2016). Ταυτόχρονα δεδομένου ότι είναι πλέον δυνατό να εξοικονομηθεί χώρος, συστήματα αζιμουθιακής πρόωσης συνδυάζονται και επωφελούνται από τις ιδιότητες της ηλεκτροπρόωσης με αποτέλεσμα να εγκαθίστανται και να εφαρμόζονται εκτεταμένα, αποκτώντας τον ρόλο των κύριων προωθητήρων, κατά κύριο λόγο όταν οι απαιτήσεις ισχύς είναι εύρους 6MW έως 7MW.

Συνολικά, η ηλεκτροπρόωση έχει μακρά και πλούσια ιστορία, με ρίζες που χρονολογούνται από τα τέλη του 19ου αιώνα. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αυξανόμενη ανησυχία για την καταστροφή του περιβάλλοντος, η ηλεκτροπρόωση γίνεται μια όλο και πιο δημοφιλής επιλογή για την κίνηση πλοίων και άλλων οχημάτων (Goudreau, 2016).

1.3 Εφαρμογές Ηλεκτροπρόωσης

Η ηλεκτροπρόωση έχει ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ορισμένες από τις βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

(α) **Επιβατηγά πλοία:** Η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιβατηγά πλοία, όπως πορθμεία και κρουαζιερόπλοια, για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε έναν πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο μεταφοράς για τους επιβάτες (Giuffrida, 2013).

(β) **Εμπορικά πλοία:** Η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φορτηγά πλοία, ιδίως σε αυτά που εκτελούν μεταφορές μικρών αποστάσεων, για να μειωθούν οι εκπομπές και το λειτουργικό κόστος. Η χρήση ηλεκτροπρόωσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πιο αθόρυβη λειτουργία, η οποία μπορεί να είναι επωφελής για τα πλοία που δραστηριοποιούνται σε ευαίσθητες περιοχές.

(γ) **Σκάφη των Ενόπλων Δυνάμεων και των Σωμάτων Ασφαλείας:** Η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκάφη, όπως τα υποβρύχια και τα περιπολικά, για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών θορύβου. Η χρήση ηλεκτροπρόωσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πιο αθόρυβες λειτουργίες, γεγονός που μπορεί να είναι επωφελές για τις στρατιωτικές επιχειρήσεις (Giuffrida, 2013).

(δ) **Υβριδικά συστήματα:** Η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με παραδοσιακά συστήματα πρόωσης που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για τη δημιουργία υβριδικών συστημάτων πρόωσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη

απόδοση και μειωμένες εκπομπές, ενώ παράλληλα παρέχει την ευελιξία να λειτουργεί ένα σύστημα με διαφορετικούς τύπους καυσίμων.

(ε) Υπεράκτιες πλατφόρμες: Η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπεράκτιες πλατφόρμες, όπως πετρελαιοπηγές και αιολικά πάρκα, για την παροχή ενέργειας για τις λειτουργίες της πλατφόρμας. Αυτό μπορεί να μειώσει την ανάγκη για παραδοσιακές γεννήτριες ορυκτών καυσίμων, οδηγώντας σε χαμηλότερες εκπομπές και λειτουργικές δαπάνες (Giuffrida, 2013).

Εκτός από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν παραπάνω, η ηλεκτροπρόωση έχει επίσης τη δυνατότητα να επιτρέψει νέους τύπους ναυτιλιακών εργασιών που δεν ήταν προηγουμένως δυνατοί. Για παράδειγμα, η ηλεκτροπρόωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτόνομα πλοία, τα οποία μπορούν να λειτουργούν με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές ναυτιλιακές λειτουργίες, ενώ παράλληλα μειώνεται ο κίνδυνος ατυχημάτων που προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη.

Επιπλέον, η χρήση ηλεκτροπρόωσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε βελτιωμένη ασφάλεια και αξιοπιστία των πλοίων. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι συνήθως απλούστερα και πιο αξιόπιστα από τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης με ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα λιγότερες βλάβες και λιγότερα προβλήματα συντήρησης. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ασφάλειας για τα μέλη του πληρώματος και τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας των πλοίων.

Η χρήση ηλεκτροπρόωσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Για παράδειγμα, η χρήση ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλία μικρών αποστάσεων μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων δικτύων εφοδιαστικής και αλυσίδων εφοδιασμού που είναι πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ανταγωνιστικότητα για τις ναυτιλιακές εταιρείες που υιοθετούν την τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης (Giuffrida, 2013).

Συνοπτικά, η ηλεκτροπρόωση έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τύπων πλοίων και λειτουργιών, οδηγώντας σε σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία να μειώσει τις εκπομπές, να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να δημιουργήσει ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς.

1.4 Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η ηλεκτροπρόωση έναντι των λοιπών συμβατικών μεθόδων πρόωσης είναι τα κάτωθι (Wang et al., 2020):

(α) Δεν εκπέμπονται επιβλαβείς ρύποι, όπως αέρια του θερμοκηπίου και αιωρούμενα σωματίδια, στον αέρα ή στο νερό. Αυτό καθιστά την ηλεκτροπρόωση μια ελκυστική επιλογή για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας (Wang et al., 2020).

(β) Είναι δυνατό να μεταβάλλεται η ταχύτητα της έλικας και του πλωτού μέσου συνολικά, συνεχώς και εντός πλήρους εύρους από το 0% έως το 100%.

(γ) Είναι δυνατό η διαθέσιμη στρεπτική ροπή να μπορεί να αξιοποιηθεί στο σύνολό της.

(δ) Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορεί να είναι πιο αποδοτικά από τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης, γεγονός που μπορεί να μειώσει τόσο την κατανάλωση καυσίμων όσο και τα λειτουργικά κόστη (Wang et al., 2020).

(ε) Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης θεωρούνται γενικά ασφαλέστερα από τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης, επειδή δεν ενέχουν κίνδυνο πυρκαγιάς και δεν εκπέμπουν τοξικές αναθυμιάσεις σε περίπτωση διαρροής (Wang et al., 2020).

(στ) Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι συνήθως πολύ πιο αθόρυβα από τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης, γεγονός που τα καθιστά καλύτερη επιλογή για πλοία που λειτουργούν σε περιοχές με αυστηρούς κανονισμούς θορύβου (Wang et al., 2020).

(ζ) Υφίσταται εξάλειψη της απαίτησης για ύπαρξη μεγάλης έκτασης χώρου μεταξύ των κινητήρων ντίζελ και του άξονα της έλικας αξόνων και του πηδαλίου, με παράλληλη μείωση σε σημαντικό βαθμό του συνολικού βάρους του μηχανολογικού εξοπλισμού και αύξηση της χωρητικότητας των δεξαμενών καθώς και του ωφέλιμου φορτίου του πλοίου

(η) Είναι δυνατή η παροχή υψηλού βαθμού αυτοματισμού, ελέγχου, εργονομίας καθώς είναι δυνατόν να διασυνδεθούν υφιστάμενα συστήματα των πλοίων με το νέο σύστημα πρόωσης.

(θ) Παρέχεται ευελιξία, ώστε η αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης να είναι τάχιστα και η αποτελεσματική βελτίωση του χειρισμού και η αύξηση της ασφάλειας του πλοίου να μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς πρόβλημα και με αμεσότητα, ώστε να προλαμβάνονται τυχόν ατυχήματα (Wang et al., 2020) .

(ι) Τα απαιτούμενα συστήματα είναι δυνατό να συνδεθούν με τη μέθοδο της παράλληλης διάταξης. Έτσι το εκάστοτε πλοίο γίνεται περισσότερο ασφαλές και αξιόπιστο.

(ια) Απλούστευση του συστήματος πρόωσης, που χρησιμοποιείται για την κίνηση του πλοίου (συχνές εναλλαγές μεταξύ εμπροσθοπορείας και οπισθοπορείας, επιτάχυνσης και επιβράδυνσης).

1.5 Τα μειονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης

Εκτός των ανωτέρω πλεονεκτημάτων είναι αναντίρρητη η ύπαρξη και ορισμένων μειονεκτημάτων ως κατωτέρω:

(α) Η εμβέλεια των ηλεκτρικών πλοίων περιορίζεται από τη χωρητικότητα των συστημάτων μπαταριών τους. Αυτό μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα για τα πλοία που πρέπει να διανύουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς πρόσβαση σε υποδομές φόρτισης (Wang et al., 2020).

(β) Παρατηρούνται περισσότερες απώλειες του συστήματος που μεταδίδει την κίνηση σε σχέση με τα συμβατικά μηχανικά συστήματα, κυρίως όταν οι μηχανές λειτουργούν

με σταθερή περιστροφική ταχύτητα, κατά τη διάρκεια του βέλτιστου σημείου λειτουργίας, για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

(γ) Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορεί να είναι πιο ακριβά στην αγορά και την εγκατάσταση από ό,τι οι παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης, γεγονός που μπορεί να καταστήσει τα ηλεκτρικά πλοία πιο ακριβά στην κατασκευή και τη λειτουργία τους (Wang et al., 2020).

(δ) Οι αρμονικές συχνότητες τάσεως και ρεύματος οι οποίες όταν αναπτύσσονται, δύνανται να αποτελέσουν αιτίας πρόκλησης ζητημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται. Ειδικότερα είναι πιθανή η πρόκληση:

1/ Φαινομένων κατά τα οποία αυξάνεται η άεργος ισχύ εντός του ηλεκτρικού δικτύου και πραγματοποιείται εμφάνιση προβλημάτων που σχετίζονται με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Κατά κύριο λόγο αυτό είναι εμφανές επί των συστημάτων ελέγχου και επί των κυκλωμάτων που αφορούν στην ηλεκτρονική ισχύ.

2/ Φαινομένων κατά τα οποία αυξάνονται τα επίπεδα που αφορούν στο ηλεκτρομαγνητικό αποτύπωμα των πλοίων. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιόδους γεωπολιτικών κρίσεων και πολεμικών αποστολών και δράσεων.

3/ Φαινομένων εμφάνισης ηλεκτρομαγνητικών ταλαντώσεων, καθώς διεγείρονται ιδιοσυχνότητες. Τέτοια φαινόμενα είναι αυτό του σιδηροσυντονισμού στους δρομείς που υπάρχουν στις γεννήτριες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία (Wang et al., 2020).

(ε) Για να υποστηριχθεί η ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών πλοίων, θα χρειαστούν σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές φόρτισης για την υποστήριξη της επαναφόρτισης των μπαταριών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (Wang et al., 2020).

(στ) Ειδικά για τα μεγάλα πλοία που απαιτούν μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα μπαταριών υφίστανται προκλήσεις τεχνικής φύσεως που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των

συστημάτων ηλεκτροπρόωσης με άλλα συστήματα πλοίου, όπως τα συστήματα πλοήγησης και επικοινωνίας (Wang et al., 2020).

(ζ) Το βάρος της συστοιχίας μπαταριών μπορεί να αυξηθεί γρήγορα για την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων και εμβελειας.

(η) Η εμβέλεια μπορεί να συμπληρωθεί με τη χρήση γεννήτριας, αλλά η ταχύτητα θα περιορίζεται από το μέγεθος του φορτιστή μπαταριών.

(θ) Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα σε ένα σκάφος είναι επιρρεπή σε βλάβες που προκαλούνται από τη διάβρωση.

(ι) Τα ανταλλακτικά δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, καθώς δεν πρόκειται για κοινά εξαρτήματα.

(ια) Το εξειδικευμένο προσωπικό για εργασία που αφορά στην προγραμματισμένη και απρογραμματίστη συντήρηση είναι δύσκολο να βρεθεί.

(ιβ) Η τεχνολογία των μπαταριών έχει πολύ δρόμο να διανύσει για να παρέχει την εμβέλεια μιας δεξαμενής καυσίμων.

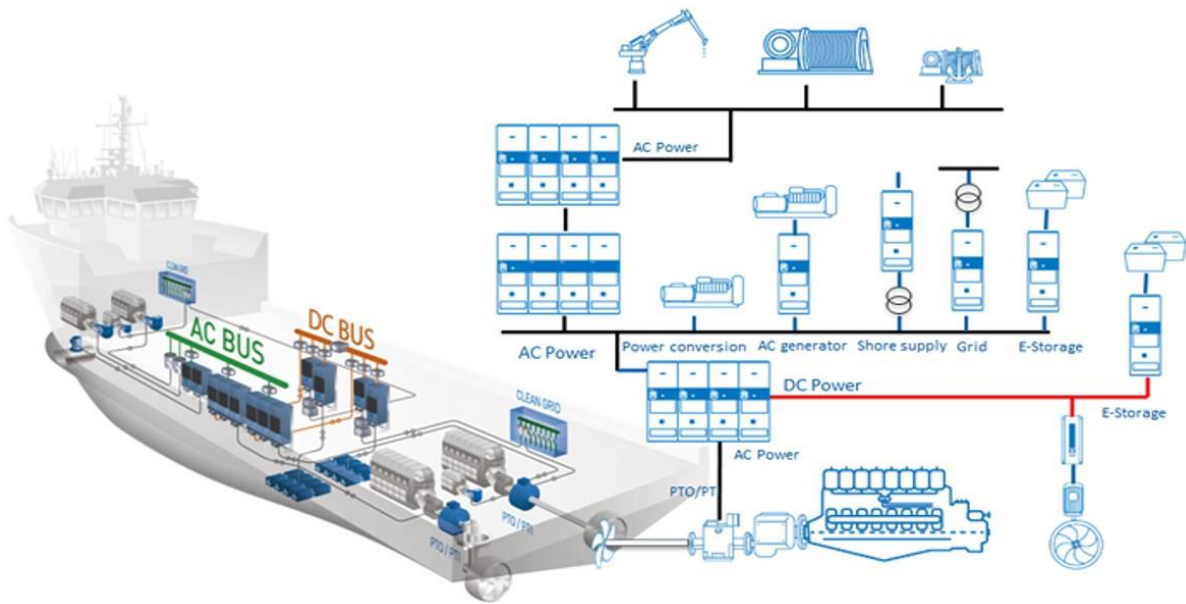
(ιγ) Δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί φόρτιση των μπαταριών με τον κινητήρα σε λειτουργία.

(ιδ) Η συνεχής εκφόρτιση είναι επιζήμια για τις μπαταρίες.

(ιε) Όταν παρουσιάζεται δυσλειτουργία, δεν είναι πάντα προφανής η αιτία ή το επηρεαζόμενο εξάρτημα.

Κεφάλαιο 2^ο Ανάλυση ενός Συστήματος Ηλεκτροπρόωσης

2.1 Τα βασικά εξαρτήματα του συστήματος



Εικόνα 2 Απεικόνιση τυπικού συστήματος ηλεκτροπρόωσης

Το σύστημα ηλεκτροπρόωσης ενός πλοίου αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω βασικά εξαρτήματα:

(α) Τους ηλεκτρικούς κινητήρες: Είναι τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος ηλεκτροπρόωσης και παρέχουν την κινητήρια δύναμη στο πλοίο. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι συνήθως πιο αποδοτικοί και αξιόπιστοι από τους παραδοσιακούς κινητήρες εσωτερικής καύσης και δεν παράγουν επιβλαβείς εκπομπές. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα πλοία περιλαμβάνουν συνήθως:

1/ Επαγωγικούς κινητήρες (ασύγχρονοι): Οι επαγωγικοί κινητήρες είναι ένας τύπος ηλεκτροκινητήρα που χρησιμοποιείται συνήθως στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης των πλοίων. Είναι γνωστοί για την αξιοπιστία, την αποδοτικότητα και τις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Οι επαγωγικοί κινητήρες λειτουργούν με βάση την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, όπου ένα μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός ρευματοφόρου αγωγού και ενός μαγνητικού πεδίου (Robinson, 2015).

Στους επαγωγικούς κινητήρες, ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από την αλληλεπίδραση μεταξύ του στάτη και του ρότορα. Ο στάτης είναι το σταθερό μέρος του κινητήρα, ο οποίος έχει τη μορφή κυλίνδρου όπου βρίσκονται οι περιελίξεις τριών πηνίων τροφοδοτούμενα με ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που περιστρέφεται. Ο ρότορας είναι το περιστρεφόμενο-κινητό μέρος του κινητήρα. Το μαγνητικό πεδίο που περιστρέφεται όπως προαναφέρθηκε προκαλεί τη δημιουργία στον ρότορα μιας τάσης, της ηλεκτρεγερτικής δύναμης. Επάγει με άλλα λόγια ρεύμα και η συνεπαγόμενη ανάπτυξη της δύναμης Lorentz προκαλεί την περιστροφή του ρότορα, η οποία κινεί το σύστημα πρόωσης του πλοίου. Ονομάζονται λοιπόν επαγωγικοί διότι η δημιουργία ρεύματος, τάσης και μαγνητικού πεδίου που παρουσιάζει ο ρότορας πραγματοποιείται εξαιτίας αυτών που εμφανίζει ο στάτης. Ονομάζονται επίσης και ασύγχρονοι καθώς το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που παρουσιάζει ο ρότορας, έχει λίγο μικρότερη ταχύτητα από εκείνο του στάτη.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των επαγωγικών κινητήρων είναι η υψηλή απόδοσή τους. Μπορούν να λειτουργούν με υψηλή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας και μπορούν να σχεδιαστούν για να λειτουργούν σε υψηλά επίπεδα ισχύος. Επιπλέον, οι επαγωγικοί κινητήρες είναι σχετικά απλοί στην κατασκευή και μπορούν να κατασκευαστούν με χαμηλό κόστος. Είναι επίσης στιβαροί και αξιόπιστοι, με μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης (Robinson,2015).

Οι επαγωγικοί κινητήρες είναι κατάλληλοι για συστήματα ηλεκτροπρόωσης επειδή δύναται να ελέγχονται εύκολα και με ακρίβεια. Ελέγχοντας το ρεύμα στις περιελίξεις του στάτη, η ταχύτητα και η ροπή του κινητήρα μπορούν να ρυθμιστούν με ακρίβεια, γεγονός που είναι κρίσιμο για τη λειτουργία του συστήματος πρόωσης ενός πλοίου.

Συνολικά, οι επαγωγικοί κινητήρες αποτελούν δημοφιλή επιλογή για τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης πλοίων λόγω της υψηλής απόδοσης, της αξιοπιστίας και της ευκολίας ελέγχου τους (Κυρτάτος, 2013).

2/ Τους κινητήρες μόνιμων μαγνητών (σύγχρονοι): Οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών είναι ένας τύπος ηλεκτροκινητήρα που χρησιμοποιείται επίσης σε συστήματα ηλεκτροπρόωσης πλοίων. Διαθέτουν και εκείνοι στάτη και ρότορα αλλά, σε αντίθεση με τους επαγωγικούς κινητήρες, οι οποίοι βασίζονται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή για τη δημιουργία ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών χρησιμοποιούν μόνιμους μαγνήτες για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου. Αυτοί οι μαγνήτες είναι κατασκευασμένοι από σπάνιες γαίες όπως το νεοδύμιο-σίδηρο-βόρειο (NdFeB) ή το σαμάριο-κοβάλτιο (SmCo), τα οποία έχουν υψηλή μαγνητική ισχύ και είναι ικανά να δημιουργούν ισχυρά μαγνητικά πεδία. Σημειώνεται ότι η αυξητική τάση κατασκευής κραμάτων από τα οποία προέρχονται οι μόνιμοι μαγνήτες, έχει οδηγήσει στην ολοένα αυξανόμενη χρήση τους και κατά συνέπεια και των σχετιζόμενων κινητήρων. Σύγχρονοι ονομάζονται εξαιτίας της απουσίας ολίσθησης.

Το κύριο πλεονέκτημα των κινητήρων μόνιμων μαγνητών είναι η υψηλή απόδοσή τους. Μπορούν να λειτουργούν με υψηλή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας και η απόδοση του κινητήρα επηρεάζεται λιγότερο από τις μεταβολές της ταχύτητας και του φορτίου σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες (Κυρτάτος, 2013).

Επίσης, επειδή το μαγνητικό πεδίο παράγεται από τους μόνιμους μαγνήτες, το μέγεθος και το βάρος του κινητήρα μπορούν να μειωθούν σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες της ίδιας ισχύος. Αυτό τους καθιστά κατάλληλους για εφαρμογές όπου ο χώρος και το βάρος είναι περιορισμένα, όπως στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης πλοίων. Επιπλέον εξαιτίας των σπάνιων γαιών είναι δυνατή η μείωση των αναγκών για ψύξη (Robinson, 2015).

Επιπρόσθετα, οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών έχουν καλό συντελεστή ισχύος, ο οποίος συμβάλλει στη μείωση των ηλεκτρικών απωλειών στο σύστημα και στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης. Συν τοις άλλοις, οι θερμικές απώλειες είναι σημαντικά μειωμένες αφού δεν απαιτείται να παρέχεται ρεύμα για την δημιουργία του μαγνητικού πεδίου

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα στους κινητήρες μόνιμων μαγνητών. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα είναι ότι είναι ακριβότεροι από τους επαγωγικούς κινητήρες. Το κόστος των μόνιμων μαγνητών και των εξειδικευμένων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλό. Επιπλέον, οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών είναι πιο ευαίσθητοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας σε σύγκριση με τους κινητήρες επαγωγής και η απόδοση του κινητήρα μπορεί να επηρεαστεί από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Φυσικά, δεν μπορεί να αγνοεί κανείς και την ύπαρξη πολιτικών παραμέτρων όσον αφορά την προμήθειά τους, δεδομένου ότι κατά πλειοψηφία ο έλεγχός τους πραγματοποιείται από την Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας.

Συμπερασματικά, οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών είναι ένας τύπος ηλεκτρικού κινητήρα που προσφέρει υψηλή πυκνότητα ισχύος και απόδοση σε σύγκριση με τους κινητήρες επαγωγής. Είναι κατάλληλοι για τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης πλοίων όπου ο χώρος και το βάρος είναι περιορισμένα, αλλά είναι επίσης πιο ακριβοί και ευαίσθητοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες.

3/ Τους γραμμικούς κινητήρες με αξονική ροή: Η διεύθυνση της μαγνητικής ροής των εν λόγω κινητήρων είναι ακτινική. Πλεονεκτούν έναντι των προαναφερθέντων κινητήρων λόγω του μεγέθους της πυκνότητας ισχύος και ροπής τους. Το πλήθος των φάσεων που μπορούν να λειτουργήσουν μπορεί να είναι 5 ή 10 ή 15, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται εξελιγμένα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία θα αναλυθούν κατωτέρω, σε αντίθεση με αυτό των επαγωγικών το οποίο είναι 3 (Κυρτάτος, 2013).

4/ Τους γραμμικούς πολυβάθμιους κινητήρες με αξονική ροή: Μέσω της παρουσίας μόνιμων μαγνητών με προσανατολισμό που συμβάλει στην παράλληλη διεύθυνση μεταξύ της μαγνητικής ροής και του άξονα που έχει μια μηχανή, κάτι που επιτυγχάνεται με τις περισσότερες από μια βαθμίδες.

5/ Τους πολυβάθμιους κινητήρες εγκάρσιας ροής: Μέσω μόνιμων μαγνητών επί του ρότορα, με προσανατολισμό ικανό διασφαλίζεται μαγνητική ροή εντός του διακένου, εγκαρσώς του άξονα του κινητήρα (10). Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται να συνδεθούν και να λειτουργήσουν τα δομικά στοιχεία. Προτιμώνται έναντι αυτών με αξονική ροή εξαιτίας της υψηλότερης απόδοσης (Fossen, 2011).

(β) Οι έλικες: Μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση που παράγεται από τον ηλεκτροκινητήρα σε ώθηση προς τα εμπρός, η οποία προωθεί το πλοίο μέσα στο νερό. Οι έλικες συνδέονται συνήθως με έναν άξονα που εκτείνεται από τον ηλεκτροκινητήρα στην πρύμνη του πλοίου. Το ποσό της μηχανικής ροπής είναι ανάλογο με το τετράγωνο της μηχανικής ταχύτητας, ομοίως με τις φυγοκεντρικές αντλίες και τους ανεμιστήρες.

Στα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης, η επιλογή της έλικας είναι σημαντική για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας και της απόδοσης του συστήματος. Ο σχεδιασμός της έλικας μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα της παραγόμενης ώσης, την απόδοση του συστήματος πρόωσης και τη συνολική κατανάλωση καυσίμου του πλοίου.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες για την επιλογή μιας έλικας για ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης είναι η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα. Η προπέλα πρέπει να είναι σχεδιασμένη ώστε να παράγει τη σωστή ποσότητα ώσης για να ταιριάζει με την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα. Εάν η προπέλα είναι πολύ μικρή, ο ηλεκτροκινητήρας θα υπερφορτωθεί, μειώνοντας την απόδοσή του και αυξάνοντας την κατανάλωση ισχύος του συστήματος. Εάν η προπέλα είναι πολύ μεγάλη, ο ηλεκτροκινητήρας δεν θα είναι σε θέση να παράγει αρκετή ισχύ για να την περιστρέψει, μειώνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος (Fossen, 2011).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ελίκων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης, συμπεριλαμβανομένων των ελίκων σταθερού βήματος και των ελίκων μεταβλητού βήματος.

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι η απλούστερη και οικονομικότερη επιλογή, αλλά είναι λιγότερο αποδοτικές από τους άλλους τύπους ελίκων. Με τη χρήση τους επιτυγχάνεται απορρόφηση της μέγιστης συνεχούς ισχύος, κατά τη διάρκεια συνθηκών που το φορτίο είναι πλήρες, έχει λάβει χώρα καθαρισμός της γάστρας και οι καιρικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από ηρεμία. Σε περίοδο επικράτησης δυσμενών συνθηκών και με σκοπό να επιτυγχάνεται η λειτουργία σε συνθήκες πλήρους ισχύος, το σύστημα που αποτελείται από την έλικα και τον κινητήρα υπερδιαστασιολογείται σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 10% και 20% (Κυρτάτος, 2013).

Οι έλικες μεταβλητού βήματος επιτρέπουν τη ρύθμιση της γωνίας βήματος των περυγίων, η οποία μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την απόδοση του συστήματος πρόωσης στον μέγιστο βαθμό. Έτσι βελτιστοποιείται η απόδοση του συστήματος κάτι που έχει αντίκτυπο στην πολυπλοκότητα λειτουργίας τους και στο υψηλό τους κόστος.

(γ) Οι μπαταρίες: Αυτές αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των ηλεκτροκινητήρων του πλοίου. Οι μπαταρίες είναι κρίσιμα εξαρτήματα των ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης και συνήθως σχεδιάζονται για να παρέχουν μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας για την κάλυψη των λειτουργικών αναγκών του πλοίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους. (Ng, 2018)

(δ) Γεννήτριες: Αυτές μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια από το σύστημα πρόωσης του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση των μπαταριών. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για τα πλοία που πλέουν σε μεγάλες αποστάσεις και πρέπει να φορτίζουν τις μπαταρίες τους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορεί να περιλαμβάνουν γεννήτριες ντίζελ, αεριοστρόβιλους και κυψέλες καυσίμου. (Fossen, 2011)

(ε) Ηλεκτρονικά ισχύος: Αφορούν το σύνολο των ηλεκτρονικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των μπαταριών, των γεννητριών και των ηλεκτροκινητήρων. Τα ηλεκτρονικά ισχύος διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης, καθώς διασφαλίζουν ότι το σύστημα λειτουργεί αποδοτικά και αποτελεσματικά. Τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης περιλαμβάνουν μετατροπείς τάσεων, ανορθωτές και αντιστροφείς (Wang, 2016) με σκοπό τη βέλτιστη ενεργειακή αξιοποίηση όταν παράγεται, όταν μεταφέρεται, όταν διανέμεται, όταν αποθηκεύεται και όταν καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια. Δύναται να πραγματοποιήσουν τα ακόλουθα:

- 1/ Να μεταβάλλουν τις τάσεις και τις εντάσεις συνεχών ρευμάτων
- 2/ Να μετατρέψουν το εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα
- 3/ Να μεταβάλλουν το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος
- 4/ Να μετατρέψουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα

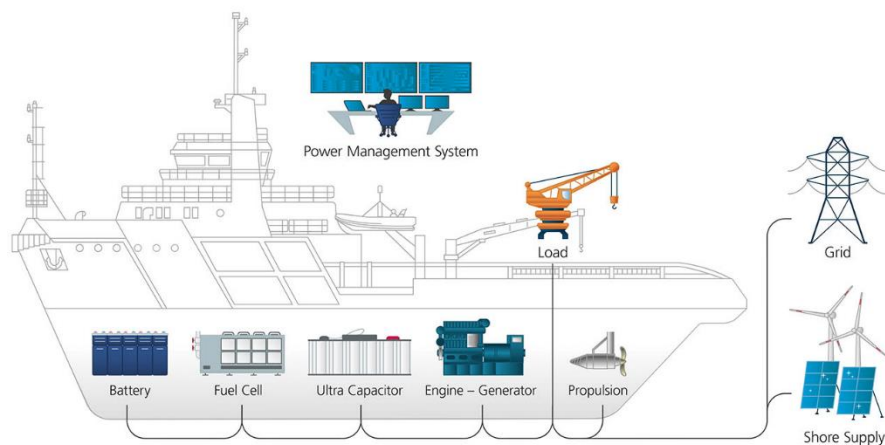
(στ) Συστήματα διαχείρισης ενέργειας: Αυτά χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ροής της ενέργειας εντός του συστήματος ηλεκτροπρόωσης του πλοίου. Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης των μπαταριών και άλλων πηγών ενέργειας του πλοίου, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση και μειώνοντας το κόστος. Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας χρησιμοποιούν συνήθως αλγόριθμους ελέγχου και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. (Zhou, 2020)

(ζ) Συστήματα ελέγχου πρόωσης: Αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων και του συστήματος πρόωσης του πλοίου. Τα συστήματα ελέγχου πρόωσης μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόδοσης του ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη

βελτιστοποίηση της ταχύτητας και της ευελιξίας του πλοίου. Τα συστήματα ελέγχου πρόωσης περιλαμβάνουν συνήθως ελεγκτές, αισθητήρες και ενεργοποιητές και μπορεί να χρησιμοποιούν προηγμένους αλγορίθμους ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. (Li, 2017)

Συνολικά, η σύνθεση των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης ενός πλοίου, εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τις επιχειρησιακές ανάγκες αυτού. Σε γενικές γραμμές, ο στόχος των συστημάτων ηλεκτροπρόωσης είναι να παρέχουν μια αξιόπιστη και αποτελεσματική πηγή πρόωσης που μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ναυτιλιακού κλάδου και βελτιώνει τη λειτουργική αποδοτικότητα (Κυρτάτος, 2013).

2.2 Πλήρως Εξηλεκτρισμένα Πλοία



Εικόνα 3 Τυπική διάταξη εξαρτημάτων πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου

Κατόπιν ανάλυσης των συστημάτων που συμβάλουν στην ηλεκτροπρόωση, θεωρείται δόκιμο να αναφερθεί και να αναλυθεί η έννοια των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων. Τα εξηλεκτρισμένα πλοία είναι πλοία που κινούνται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια, συνήθως με τη χρήση μπαταριών και ηλεκτροκινητήρων. Τόσο το φορτίο που σχετίζεται με την πρόωση όσο και τα λοιπά φορτία, αυτά δηλαδή που απαιτούνται για την κάλυψη των

αναγκών των πληρωμάτων, των αναγκών για φωτισμό, της υποστήριξης του δευτερεύοντος εξοπλισμού κλπ. (Χατζηαργυρίου, Φραγκόπουλος, 2006).

Με άλλα λόγια, για πλοία που κάνουν απλή χρήση συστήματος ηλεκτροπρόωσης λαμβάνει χώρα τροφοδοσία του προωστήριου κινητήρα μέσω δύο (2) ή περισσότερων γεννητριών και των λοιπών φορτίων μέσω διαφορετικού ζεύγους από γεννήτριες ή μέσω ενός ατμοστροβίλου. Αντιθέτως, η εξυπηρέτηση όλων των ηλεκτρικών φορτίων των εξηλεκτρισμένων πλοίων πραγματοποιείται μέσω ενός κοινού συστήματος, ενός ενιαίου Ενοποιημένου Συστήματος Ενέργειας. Αυτό είναι υπεύθυνο τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διαδικασία στην οποία συμμετέχουν οι κινητήρες ντίζελ τροφοδοτώντας το σύνολο των εγκατεστημένων γεννητριών όσο και τη διανομή της όπου εμπλέκεται ένα περίπλοκο σύστημα. Η ενέργεια λοιπόν διανέμεται στο σύνολο των προωστήριων συστημάτων κατά κύριο λόγο καθώς και των άλλων φορτίων. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει ρηξικέλευθες αλλαγές στη ναυτιλιακή βιομηχανία, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των πλοίων (Χατζηαργυρίου, Φραγκόπουλος, 2006).

Επί του παρόντος, η χρήση των αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Τα περισσότερα πλοία εξακολουθούν να βασίζονται σε παραδοσιακές μηχανές ντίζελ, οι οποίες παράγουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων. Έχουν κατασκευαστεί αρκετά πρωτότυπα, και ορισμένα αμιγώς ηλεκτρικά οχηματαγωγά πλοία λειτουργούν ήδη σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Τα πλεονεκτήματα χρήσης εξηλεκτρισμένων πλοίων επί της ουσίας αποτελούν μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η ηλεκτροπρόωση και αφορούν:

(α) Στις μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Σύμφωνα με μελέτη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, τα αμιγώς ηλεκτρικά πλοία θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 70%.

(β) Στην βελτιωμένη αποδοτικότητα: Τα αμιγώς ηλεκτρικά πλοία είναι πιο αποδοτικά από τα παραδοσιακά πετρελαιοκίνητα πλοία. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες ντίζελ και η χρήση της αναγεννητικής πέδησης μπορεί να δεσμεύσει ενέργεια που διαφορετικά θα χανόταν κατά την επιβράδυνση.

(γ) Στο χαμηλότερο λειτουργικό κόστος: Τα αμιγώς ηλεκτρικά πλοία προσφέρουν μακροπρόθεσμα χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως χαμηλότερο από εκείνο των ορυκτών καυσίμων και το κόστος συντήρησης των ηλεκτροκινητήρων και των εξαρτημάτων είναι επίσης χαμηλότερο από εκείνο των παραδοσιακών κινητήρων ντίζελ.

(δ) Στη δυνατότητα να εξοικονομηθεί χώρος ηλεκτρικού εξοπλισμού, κάτι που επιτρέπει την ευελιξία σχεδιασμού. Λόγω της τοποθέτησης του Ενοποιημένου Συστήματος Ενέργειας σε κατακόρυφο επίπεδο, εξοικονομείται χώρος αυξάνοντας το ωφέλιμο φορτίου του πλοίου. Τα φορτία ενοποιούνται, καθώς οι κινητήρες και οι γεννήτριες συγκεντρώνονται στο πρυμναίο τμήμα και δεν διασπείρονται σε όλους τους χώρους του πλοίου για την εξυπηρέτηση των διαφόρων φορτίων (21).

Από την άλλη οι προκλήσεις των αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων αφορούν:

(α) Στην τεχνολογία μπαταριών: Η κύρια πρόκληση των αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων είναι ο περιορισμός της τεχνολογίας των μπαταριών. Η τρέχουσα γενιά μπαταριών έχει περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα, γεγονός που περιορίζει την εμβέλεια των αμιγώς ηλεκτρικών πλοίων. Το βάρος των μπαταριών μειώνει επίσης την ικανότητα μεταφοράς φορτίου του πλοίου (Χατζηαργυρίου, Φραγκόπουλος, 2006).

(β) Στην υποδομή φόρτισης: Η υποδομή φόρτισης για τα αμιγώς ηλεκτρικά πλοία είναι επί του παρόντος περιορισμένη, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη λειτουργία των πλοίων αυτών σε μεγαλύτερες διαδρομές. Η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και συνεργασία μεταξύ ναυπηγείων, παρόχων ενέργειας και λιμενικών αρχών.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα Πλήρως Εξηλεκτρισμένα Πλοία, ιδίως στη ναυτιλιακή βιομηχανία, καθώς οι εταιρείες προσπαθούν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να συμμορφωθούν με αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Ορισμένες από τις μεγαλύτερες ναυτιλιακές εταιρείες του κόσμου έχουν ήδη αρχίσει να επενδύουν σε τέτοιου είδους πλωτά μέσα και είναι πιθανό να δούμε περισσότερα από αυτά τα πλοία στο μέλλον, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται.

Καταληκτικά αναφέρεται ότι μέσω των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν την ηλεκτροπρόωση και αναφέρθηκαν ανωτέρω καθώς και εισαγωγή νέων δυνατοτήτων μέσω της ενσωμάτωσης περισσότερων καινοτόμων τεχνολογιών. Βέβαια, πέραν αυτών μέσω των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων είναι δυνατή η ενσωμάτωση καινοτομιών και τεχνολογιών καθώς και ο εμπλουτισμός του πλάνου που αφορά στην ενεργειακή αποδοτικότητα, γεγονός που ευνοεί ιδιαίτερα τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των πλοίων (Χατζηαργυρίου, Φραγκόπουλος, 2006).

2.3 Ανάλυση Κατηγοριών Χρήσης Ηλεκτροπρόωσης

Η ηλεκτροπρόωση εφαρμόζεται ένα ευρύ φάσμα πλοίων και σκαφών, συμπεριλαμβανομένων κρουαζιερόπλοιων, οχηματαγωγών πλοίων, ερευνητικών σκαφών και ρυμουλκών. Σύμφωνα με έκθεση της Research and Markets, η αγορά ηλεκτροπρόωσης για πλοία αναμένεται να αυξηθεί με CAGR 9,1% μεταξύ 2020 και 2025, λόγω παραγόντων όπως η αυξημένη ζήτηση για συστήματα πρόωσης χαμηλών εκπομπών και εκάστοτε νομοθετικών

πλαισίων που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών όσον αφορά στην ναυτιλιακή βιομηχανία¹.

Εντός αυτού του πλαισίου, σημειώνεται ότι στο παρελθόν η εγκατάσταση συστημάτων ηλεκτροπρόωσης γινόταν μόνο σε εξειδικευμένες περιπτώσεις και περιστάσεις όπως η πρόωση παγοθραυστικών και ερευνητικών σκαφών. Επί του παρόντος, καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται και μειώνεται ο απαιτούμενος όγκος εντός του οποίου εγκαθίστανται οι απαιτούμενες διατάξεις, η χρήση συστημάτων ηλεκτροπρόωσης γίνεται σε πιο ευρεία βάση που περιλαμβάνει πλήθος κατηγοριών πλωτών μέσων (Radan,2011).

Σκάφη υψηλών απαιτήσεων έξης

Πρόκειται για το σύνολο των οχηματαγωγών, ρυμουλκών, ωκεανογραφικών και σκαφών που ποντίζουν καλώδια. Χαρακτηρίζονται ως πλοία υψηλών απαιτήσεων καθώς απαιτείται να μεταβάλουν τόσο την ταχύτητα όσο και τη φορά με την οποία περιστρέφεται η έλικα. Αυτό θα πρέπει να ικανοποιείται μέσω των χαρακτηριστικών του υποψήφιου προς εγκατάσταση συστήματος ηλεκτροπρόωσης.

Ιδιαίτερα, τα ερευνητικά σκάφη απαιτούν ευελιξία καθώς και την ικανότητα να λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς να ενοχλούν τη θαλάσσια ζωή. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι κατάλληλα για αυτές τις απαιτήσεις και πολλά ερευνητικά σκάφη εξοπλίζονται πλέον με αυτά. Για παράδειγμα, το ερευνητικό σκάφος RRS Sir David Attenborough, το οποίο διαχειρίζεται η Βρετανική Έρευνα Ανταρκτικής, είναι εξοπλισμένο με υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, το οποίο παρέχει βελτιωμένη απόδοση και ευελιξία (Yachting,2020).

Επιπρόσθετα, τα ρυμουλκά απαιτούν υψηλή ισχύ και ακριβή έλεγχο για ελιγμούς πλοίων σε λιμάνια και άλλους περιορισμένους χώρους. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορούν να παρέχουν αυτό το επίπεδο ελέγχου, καθώς και μειωμένες εκπομπές και επίπεδα θορύβου. Για

¹ Research and Markets, "Global Electric Propulsion for Ships Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2020-2025)", 2020

παράδειγμα, η Damen Shipyards έχει αναπτύξει μια σειρά ηλεκτρικών ρυμουλκών, γνωστή ως RSD-E Tug 2513, τα οποία παρέχουν βελτιωμένη απόδοση και ευελιξία σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πετρελαιοκίνητα ρυμουλκά (Shipyards,2020).

Σκάφη αυξημένων απαιτήσεων όσον αφορά στα βοηθητικά μηχανήματα και στην ισχύ τους

Πρόκειται για το σύνολο των πυροσβεστικών πλοίων, των μεγάλων δεξαμενόπλοιων και των πλοίων που έχουν τη δυνατότητα να φορτώνουν και να εκφορτώνουν με τη χρήση ιδίων μέσων. Ενδεικτικά αναφέρεται πλήθος δεξαμενόπλοιων, υπεύθυνων για τη μεταφορά πετρελαίου από κάποια εξέδρα εξορύξεων τα οποία δαπανούν περισσότερο χρόνο κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση παρά κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Επομένως, διαπιστώνεται ότι κατά τη διάρκεια φόρτωσης και εκφόρτωσης, το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν τα χρησιμοποιούμενα μηχανήματα ισοδυναμεί με εκείνο που απαιτείται για να κινείται ένα πλοίο (Shipyards,2020).

Ειδικότερα, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και τα υπεράκτια σκάφη υποστήριξης, τα οποία παρέχουν υπηρεσίες όπως η μεταφορά, ο εφοδιασμός και η συντήρηση σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορούν να παρέχουν βελτιωμένη απόδοση, μειωμένες εκπομπές και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας για τα σκάφη αυτά. Για παράδειγμα, το πλοίο εφοδιασμού πλατφορμών Viking Energy, το οποίο διαχειρίζεται η Eidesvik Offshore, είναι εξοπλισμένο με υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών (Eidesvik,2018).

Τέλος σημειώνεται ότι πλοία αυτής της κατηγορίας απαιτείται να επιτελούν τις λειτουργίες για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί ακόμα και όταν υφίστανται δυσμενείς καιρικές συνθήκες με κύματα ύψους ακόμη και επτά (7) μέτρων. Εντός λοιπόν αυτού του δυσχερούς περιβάλλοντος, απαιτείται οι ηλεκτρικές γεννήτριες να έχουν τέτοια ισχύ ώστε να

πραγματοποιείται χωρίς πρόβλημα η κίνηση των αντλιών και των μηχανημάτων που μεταφέρουν φορτία.

Σκάφη αυξημένων φορτίων ενδιαίτησης και έντονων διακυμάνσεων όσον αφορά στην ισχύ πρόωσης

Πρόκειται για το σύνολο των μεγάλων επιβατικών πλοίων, όπως τα κρουαζιερόπλοια τα οποία καλούνται να καλύψουν υψηλές απαιτήσεις που σχετίζονται με τις βέλτιστες δυνατές ανέσεις που επιζητεί το επιβατικό κοινό. Κάτι τέτοιο αυξάνει τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια που πολλές φορές η απαίτηση μπορεί να φτάσει και το 40% της συνολικής ισχύος που απαιτείται για την πρόωση του πλοίου. Επιπλέον, δεδομένου του γεγονότος ότι το σύνολο των σύγχρονων κρουαζιερόπλοιων μπορούν να αγγίζουν ως προς την μέγιστη ταχύτητα τους 22 κόμβους χωρίς όμως να δύναται να εκτελέσουν ταξίδι μεγάλων χρονικών διαστημάτων με την εν λόγω ταχύτητα αλλά με πολύ μικρότερη, αυξάνονται οι απαιτήσεις που θα πρέπει να καλυφθούν μέσω της ηλεκτροπρόωσης (Eidesvik,2018).

Πολλά νέα κρουαζιερόπλοια κατασκευάζονται με ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης ή μετασκευάζονται με αυτά. Για παράδειγμα, τα πλοία της κλάσης Quantum της Royal Caribbean είναι εξοπλισμένα με το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης Azipod της ABB, το οποίο παρέχει βελτιωμένη απόδοση, μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και μεγαλύτερη ευελιξία (ABB, 2018).

Επιπλέον, η ηλεκτροπρόωση γίνεται επίσης ολοένα και πιο δημοφιλής στα οχηματαγωγά πλοία, ιδίως σε αστικές περιοχές όπου οι χαμηλές εκπομπές και τα χαμηλά επίπεδα θορύβου είναι σημαντικά. Για παράδειγμα, το πλοίο Staten Island Ferry στη Νέα Υόρκη έχει εκσυγχρονιστεί με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών και το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος (Marine Log, 2020).

Συνεπώς, μέσω της ηλεκτροπρόωσης η οποία παρέχει ευέλικτες λύσεις ως προς την πρόωση, είναι δυνατή η κάλυψη των όποιων απαιτήσεων εφόσον προηγηθεί φυσικά ο κατάλληλος σχεδιασμός.

Σκάφη ταχύστροφων μηχανών (Αεριοστρόβιλοι και Diesel)

Χαρακτηριστικό αυτών των μηχανών είναι η ύπαρξη σταθερής φοράς ως προς την περιστροφή. Στις περισσότερες περιπτώσεις πραγματοποιείται εγκατάσταση τέτοιων διατάξεων όταν απαιτείται η ύπαρξη περισσότερων των δύο μηχανών για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος.

Εφόσον, αντί αυτών των μηχανών γίνει χρήση συστήματος που παρέχει ηλεκτροπρόωση, είναι δυνατό να απλοποιηθεί η διαδικασία με την οποία συνδέεται ο κινητήρας πρόωσης με το σύνολο των εγκατεστημένων ταχύστροφων μηχανών. Επισημαίνεται ότι υιοθετείται η ηλεκτρική μέθοδος συνδεσμολογίας αντί της μηχανικής και έτσι το σύστημα γίνεται περισσότερο ευέλικτο ως προς τις δυνατότητες ρύθμισης των επιθυμητών ταχυτήτων και της φοράς με την οποία περιστρέφεται η έλικα. (Marine Log, 2020).

Πλοία Πολεμικού Ναυτικού

Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης έχουν γίνει ολοένα και πιο δημοφιλή στα σύγχρονα πολεμικά πλοία λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα μηχανικής πρόωσης. Ορισμένα από τα βασικά πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης σε πολεμικά πλοία είναι τα κάτωθι:

Πλεονεκτήματα:

(α) Βελτιωμένη απόδοση: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης είναι γενικά πιο αποδοτικά από τα συμβατικά συστήματα, γεγονός που μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και το λειτουργικό κόστος.

(β) Μειωμένος θόρυβος: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης είναι συνήθως πιο αθόρυβα από τα μηχανικά συστήματα, γεγονός που μπορεί να κάνει ένα πολεμικό πλοίο λιγότερο ανιχνεύσιμο από τα εχθρικά σκάφη (Κορακιανίτης,2020).

(γ) Αυξημένη ικανότητα ελιγμών: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης παρέχουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης ενός πολεμικού πλοίου, κάτι που μπορεί να είναι κρίσιμο σε καταστάσεις μάχης.

(δ) Βελτιωμένη αξιοπιστία: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι λιγότερο επιρρεπή σε μηχανικές βλάβες από τα παραδοσιακά συστήματα, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την επιχειρησιακή ετοιμότητα ενός πολεμικού πλοίου.

(ε) Αυξημένη ευελιξία: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορούν να συνδυαστούν με διάφορες πηγές ενέργειας, όπως μπαταρίες ή γεννήτριες, οι οποίες μπορούν να επιτρέψουν σε ένα πολεμικό πλοίο να λειτουργεί σε ευρύτερο φάσμα περιβαλλόντων.

Προκλήσεις:

(α) Κόστος: Το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος ηλεκτροπρόωσης μπορεί να είναι υψηλότερο από αυτό ενός παραδοσιακού μηχανικού συστήματος.

(β) Απαιτήσεις βάρους και χώρου: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης μπορεί να είναι βαρύτερα και να απαιτούν περισσότερο χώρο από τα παραδοσιακά συστήματα, κάτι που μπορεί να αποτελεί περιορισμό σε ορισμένα πολεμικά πλοία (Κορακιανίτης,2020).

(γ) Περιορισμοί πηγής ισχύος: Η απόδοση ενός συστήματος ηλεκτροπρόωσης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και τη χωρητικότητα της πηγής ισχύος, η οποία μπορεί να αποτελεί περιορισμό σε ορισμένα λειτουργικά περιβάλλοντα.

(δ) Απαιτήσεις συντήρησης: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης μπορεί να είναι πολύπλοκα και απαιτούν εξειδικευμένες διαδικασίες συντήρησης και επισκευής.

Συνολικά, παρά τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης, τα οφέλη τους είναι σημαντικά και είναι πιθανό να συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις σύγχρονες πολεμικές ναυτικές επιχειρήσεις (Κορακιανίτης,2020).

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ηλεκτροκίνητων πολεμικών πλοίων που χρησιμοποιούνται από το πολεμικό ναυτικό διαφόρων χωρών σε όλο τον κόσμο. Ενδεικτικά παρατίθενται τα κάτωθι:

Αντιτορπιλικό κλάσης Zumwalt: Το αντιτορπιλικό κλάσης Zumwalt είναι ένα πολεμικό πλοίο του Πολεμικού Ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών που χρησιμοποιεί ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης. Το πλοίο τροφοδοτείται από έναν συνδυασμό αεριοστροβίλων, γεννητριών ντίζελ και ηλεκτροκινητήρων (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006).

Αντιτορπιλικό τύπου 45: Το αντιτορπιλικό τύπου 45 είναι ένα πολεμικό πλοίο του Βασιλικού Ναυτικού που χρησιμοποιεί ένα ενσωματωμένο σύστημα ηλεκτροπρόωσης. Το πλοίο τροφοδοτείται από έναν συνδυασμό αεριοστροβίλων, γεννητριών ντίζελ και ηλεκτροκινητήρων.

Φρεγάτα FREMM: Η φρεγάτα FREMM είναι μια κλάση πολεμικού πλοίου που χρησιμοποιείται από το γαλλικό και το ιταλικό ναυτικό και χρησιμοποιεί σύστημα ηλεκτροπρόωσης. Το πλοίο τροφοδοτείται από έναν συνδυασμό αεριοστροβίλων, γεννητριών ντίζελ και ηλεκτροκινητήρων.

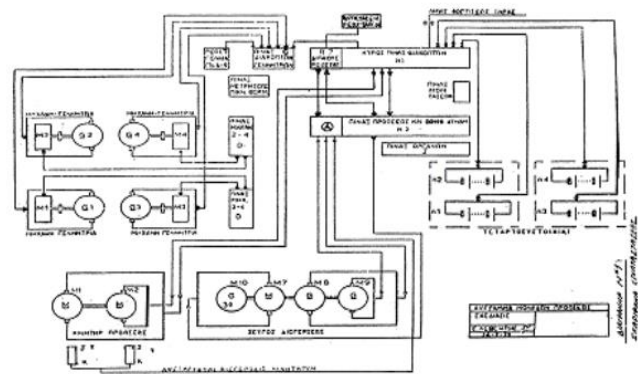
Κορβέτα κλάσης Visby: Η κορβέτα κλάσης Visby είναι μια κατηγορία πολεμικού πλοίου που χρησιμοποιείται από το σουηδικό Πολεμικό Ναυτικό που χρησιμοποιεί ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης. Το πλοίο τροφοδοτείται από έναν συνδυασμό αεριοστροβίλων, γεννητριών ντίζελ και ηλεκτροκινητήρων.

Future Submarine Program: Το Future Submarine Program είναι ένα έργο του Αυστραλιανού Ναυτικού για την κατασκευή ενός στόλου υποβρυχίων επόμενης γενιάς που θα

χρησιμοποιούν ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης. Τα υποβρύχια θα τροφοδοτούνται από μπαταρίες ιόντων λιθίου και ηλεκτρικούς κινητήρες. Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη αναπτύξει ή αποκτήσει κανένα ηλεκτρικό πολεμικό πλοίο, αλλά έχει εκδηλώσει ενδιαφέρον για τον εκσυγχρονισμό του ναυτικού της με τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης. Ωστόσο, η Ελλάδα εργάζεται για την εισαγωγή υβριδικών συστημάτων πρόωσης στα πλοία του ναυτικού της, τα οποία συνδυάζουν κινητήρες ντίζελ με ηλεκτροκινητήρες για αύξηση της απόδοσης και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006).

Υποβρύχια

Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης έχουν χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχια για πολλές δεκαετίες και έχουν γίνει το τυπικό σύστημα πρόωσης για τα περισσότερα σύγχρονα υποβρύχια λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους. Το σύστημα ηλεκτροπρόωσης είναι εγκατεστημένο στο πίσω τμήμα του υποβρυχίου. Η διάταξη μιας μονάδας πρόωσης ενός ηλεκτρικού-ντίζελ υποβρυχίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και αναλύεται κατωτέρω:



Εικόνα 4 Μονάδα ηλεκτροπρόωσης υποβρυχίων

Η μονάδα πρόωσης κατανέμεται σε δύο στεγανά διαμερίσματα. Η κύρια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στο πρώτο διαμέρισμα της μονάδας πρόωσης. Οδηγείται από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις μπαταρίες. Χρησιμοποιείται πάντα κινητήρας συνεχούς ρεύματος, καθώς παρατηρούνται περισσότερες απώλειες ισχύος στους κινητήρες AC

(DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006). Ένας σύνδεσμος χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του κύριου κινητήρα με τον άξονα που οδηγεί στο επόμενο διαμέρισμα.

Τα θερμομέτρα τοποθετούνται στο μπροστινό και το πίσω άκρο του EPM για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του μαζούτ και του λιπαντικού. Με βάση αυτές τις θερμοκρασίες, ο ρυθμός ροής των υγρών ψύξης λαδιού προσαρμόζεται συνεχώς για να επιτευχθεί η καθορισμένη τιμή.

Σε κανονικές συνθήκες πλεύσης και πολέμου, το υποβρύχιο λειτουργεί σε διαφορετικές ταχύτητες που υποστηρίζονται από τον κινητήρα. Για να αυξηθεί η αντοχή του υποβρυχίου, όταν προκύψει τέτοια ανάγκη, το υποβρύχιο πρέπει να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου. Σε ένα τέτοιο σενάριο, η προπέλα κινείται σε λιγότερες στροφές. Ο δεύτερος κινητήρας βρίσκεται στο δεύτερο διαμέρισμα της μονάδας πρόωσης, για να μπορεί να λειτουργήσει οποιοσδήποτε από τους δύο κινητήρες σε περίπτωση πλημμύρας σε ένα από τα διαμερίσματα (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006).

Σύστημα προώθησης αγωγών: Ορισμένα υποβρύχια διαθέτουν ένα πρόσθετο σύστημα προώθησης με αγωγούς για πρόσθετο πλεονασμό. Οι αγωγοί σε κάθε θύρα και στη δεξιά πλευρά, είναι ελεύθερα πλημμυρισμένες και εφοδιασμένες με έλικα αναρρόφησης που κινούνται από μεμονωμένους βοηθητικούς κινητήρες πρόωσης (θυρίδα και δεξιά). Η λειτουργία αυτών των ελικών αγωγών θα προκαλούσε αναρρόφηση νερού από την μπροστινή θυρίδα του δέκτη και ο πίδακας νερού εκτινάσσεται από την πίσω πλευρά της σήραγγας, με αποτέλεσμα την κίνηση του υποβρυχίου προς τα εμπρός. Η λειτουργία και των δύο αεραγωγών προπέλες ταυτόχρονα σε διαφορετικές ταχύτητες χρησιμοποιούνται επίσης για τους ελιγμούς του υποβρυχίου στην οριζόντια κατεύθυνση. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται όταν η αθόρυβη λειτουργία είναι πρωταρχική ανάγκη σε εμπόλεμες ζώνες, καθώς η ακουστική

υπογραφή του υποβρυχίου με την κύρια μονάδα πρόωσής του σε χρήση είναι σημαντικά υψηλότερη. Οι μπαταρίες τοποθετούνται σε σκαλοπάτια και η πρόσβαση στις θήκες των μπαταριών παρέχεται μέσω ενός τρόλεϊ που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το κατάστρωμα των μπαταριών. Ο χειριστής ανοίγει την πόρτα της μπαταρίας και ξαπλώνει οριζόντια στο τρόλεϊ ενώ σύρεται προς τη διαμήκη κατεύθυνση για να αποκτήσει πρόσβαση σε όλες τις μπαταρίες για τακτικούς ελέγχους και λόγους συντήρησης.

Τα πλεονεκτήματα χρήσης της ηλεκτροπρόωσης στα υποβρύχια είναι τα κάτωθι:

(α) Αθόρυβη λειτουργία: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι πολύ αθόρυβα, κάτι που είναι σημαντικό για τα υποβρύχια που βασίζονται στη δυνατότητα απόκρυψής τους για να αποφύγουν πιθανό εντοπισμό.

(β) Αποδοτικότητα: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης είναι πιο αποδοτικά από τους παραδοσιακούς κινητήρες ντίζελ, γεγονός που μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου και επιτρέπει μεγαλύτερη υποβρύχια αντοχή.

(γ) Καλύτερος έλεγχος: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης παρέχουν καλύτερο έλεγχο της ταχύτητας και της ικανότητας ελιγμών του υποβρυχίου, κάτι που είναι σημαντικό για την πλοήγηση σε περιορισμένους χώρους και την εκτέλεση ελιγμών αποφυγής.

(δ) Ευελιξία: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης μπορούν να τροφοδοτούνται από διάφορες πηγές, όπως μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου, γεγονός που παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία και μπορεί να μειώσει την ανάγκη να βγουν στην επιφάνεια για επαναφόρτιση ή ανεφοδιασμό (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006).

(ε) Βελτιωμένη άνεση του πληρώματος: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης παράγουν λιγότερη θερμότητα και κραδασμούς από τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης, τα

οποία μπορούν να βελτιώσουν την άνεση του πληρώματος και να μειώσουν τον κίνδυνο βλάβης του εξοπλισμού λόγω υψηλών θερμοκρασιών.

Τα μειονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης όσον αφορά στην εκμετάλλευση τους για την κίνηση των υποβρυχίων είναι τα κάτωθι:

(α) Περιορισμένη εμβέλεια: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης περιορίζονται από την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ή να παραχθεί στο σκάφος, γεγονός που μπορεί να περιορίσει την εμβέλεια του υποβρυχίου.

(β) Υψηλό αρχικό κόστος: Τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορεί να είναι πιο ακριβά στην εγκατάσταση και τη συντήρηση από τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης.

(γ) Χωρητικότητα μπαταρίας: Τα υποβρύχια που βασίζονται στην ισχύ της μπαταρίας για την πρόωση πρέπει να εξισορροπούν την ανάγκη για ταχύτητα και εμβέλεια με τη χωρητικότητα των μπαταριών τους, κάτι που μπορεί να είναι μια πρόκληση (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY,2006).

(δ) Συντήρηση: Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης μπορεί να είναι πολύπλοκα και απαιτούν εξειδικευμένες διαδικασίες συντήρησης και επισκευής.

Κεφάλαιο 3^ο Συστήματα POD και Αζιμουθιακοί Προωθητήρες

3.1 Γενικά

Πρόκειται για εναλλακτικές μεθόδους επί των συστημάτων πρόωσης των πλοίων. Επισημαίνεται ότι υπερτερούν σε αρκετά σημεία όπως στο γεγονός ότι με τη χρήση τους εξοικονομείται χώρος ενώ το εύρος των αναγκών συντηρησιμότητάς τους είναι σημαντικά μειωμένο.

Οι αζιμουθιακοί προωθητήρες και τα συστήματα POD σχετίζονται μεταξύ τους, δεδομένου ότι και τα δύο είναι τύποι συστημάτων πρόωσης που χρησιμοποιούνται σε θαλάσσιες εφαρμογές.

Ο αζιμουθιακός προωθητήρας είναι ένας τύπος συστήματος πρόωσης που αποτελείται από μια έλικα τοποθετημένη σε ένα λοβό που μπορεί να περιστραφεί κατά 360 μοίρες γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα. Αυτό επιτρέπει στο σκάφος να έχει καλύτερη ευελιξία, καθώς η κατεύθυνση της ώθησης μπορεί να αλλάξει χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η ίδια η κατεύθυνση του σκάφους².

Το σύστημα POD, από την άλλη πλευρά, είναι ένας τύπος συστήματος πρόωσης που χρησιμοποιεί έναν ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση μιας έλικας ή μιας φτερωτής που είναι τοποθετημένη σε μια κάψουλα κάτω από την ίσαλο γραμμή. Αυτό το σύστημα μπορεί να παρέχει βελτιωμένη ευελιξία, αυξημένη απόδοση, μειωμένο θόρυβο και κραδασμούς και ευκολότερη συντήρηση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης³.

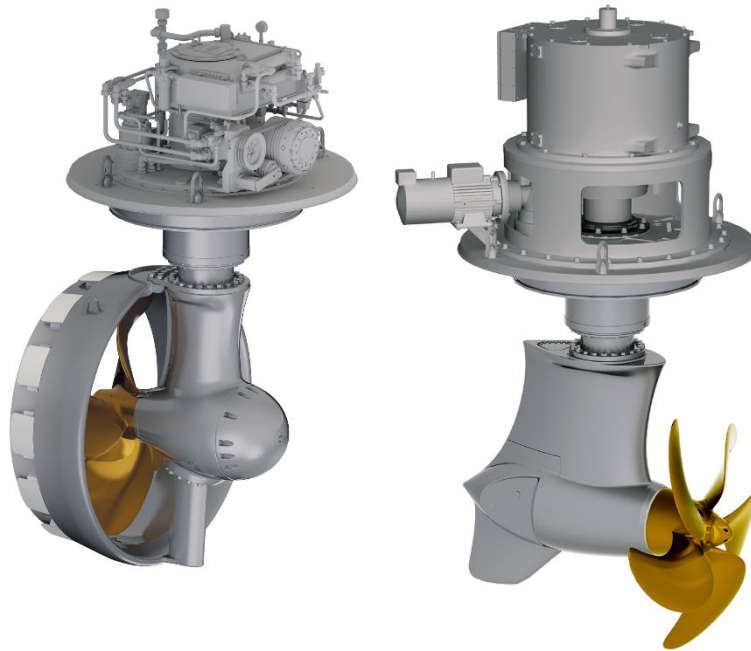
Τα συστήματα POD μπορούν μερικές φορές να χρησιμοποιούν αζιμουθιακούς προωθητήρες ως μηχανισμό για την οδήγηση και την αλλαγή της κατεύθυνσης του σκάφους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο προωθητήρας αζιμούθιου θα τοποθετείται εντός του περιβλήματος

² <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/azimuth-thruster/>

³ <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/azimuth-thrusters-and-pod-propulsion-systems/>

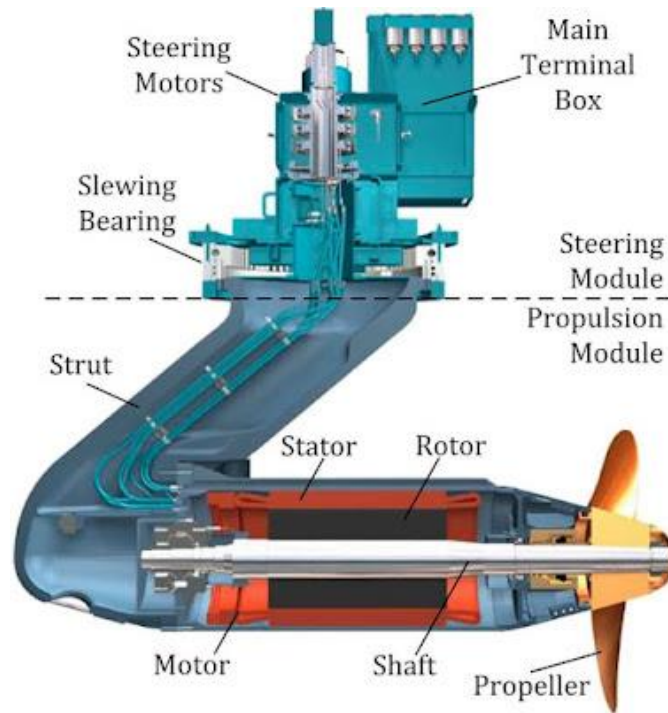
του σκάφους, επιτρέποντάς του να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα για αυξημένη ευελιξία.

Έτσι, ενώ οι προωθητήρες αζιμούθιου και τα συστήματα POD είναι διαφορετικοί τύποι συστημάτων πρόωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό μεταξύ τους για να παρέχουν ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία και αποτελεσματικότητα στα σκάφη⁴.



Εικόνα 5 Αζιμουθιακοί προωθητήρες

⁴ <https://www.powerandmotoryacht.com/engines/the-abcs-of-pod-propulsion>



Εικόνα 6 Σύστημα POD

3.2 Χρήση Αζιμουθιακών προωθητήρων

Οι αζιμουθιακοί προωθητήρες, είναι έλικες τοποθετημένοι σε ένα θάλαμο που παρέχει ώθηση και πηδαλιουχία με την οριζόντια περιστροφή της μονάδας. Παραδοσιακά, τα σκάφη διαθέτουν έλικες που παρέχουν ώθηση προς τα εμπρός και ένα πηδάλιο που κατευθύνει το σκάφος. Κάτι τέτοιο λειτουργεί εξαιρετικά σε μικρά πλοία ή στην ανοιχτή θάλασσα. Τα μεγάλα εμπορικά πλοία όμως, όπως τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και καυσίμων, χρειάζονται ρυμουλκά για να τα βοηθήσουν να πλοηγηθούν σε λιμάνια και στενούς υδάτινους δρόμους καθώς δεν έχουν την ευελιξία να στρίβουν γρήγορα και το μεγάλο τους μέγεθος καθιστά δύσκολη την οποιαδήποτε αλλαγή κατεύθυνσης. Όπως προαναφέρθηκε τα ρυμουλκά βοηθούν τα μεγάλα πλοία να πλοηγηθούν σε στενές πλωτές οδούς, με τη συμβολή αζιμουθιακών προωθητήρων που τους επιτρέπουν να κινούνται γρήγορα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και βοηθούν να διατηρούν τα μεγάλα πλοία στην πορεία τους ή να τα ωθούν πλευρικά ή προς τα πίσω σε ένα λιμάνι. Τα ρυμουλκά λειτουργούν σχεδόν ως ένα φορητό σύστημα προωθητήρων για τα μεγάλα πλοία (Damen,2020).

Ορισμένα σκάφη πρέπει να παραμείνουν στην ίδια θέση όσο εργάζονται. Όμως η διάταξη έλικας-πηδαλιού έχει σχεδιαστεί για κίνηση προς τα εμπρός και όχι για διατήρηση μιας συγκεκριμένης θέσης. Τα γεωτρύπανα, τα ερευνητικά σκάφη, τα σκάφη πόντισης καλωδίων και τα σκάφη εγκατάστασης ανεμογεννητριών (WTIV) είναι όλα σκάφη που πρέπει να παραμείνουν σε μια θέση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι αζιμουθιακοί προωθητήρες μπορούν να ελέγχονται από υπολογιστή για να διατηρούν ένα σκάφος στη θέση του χωρίς να απαιτείται παρέμβαση από το πλήρωμα. Αυτό επιτρέπει σε ένα WTIV να παραμείνει σε μια καθορισμένη θέση και να εγκαταστήσει μια ανεμογεννήτρια ή να επιθεωρήσει μια ήδη εγκατεστημένη για την ύπαρξη πιθανότητας βλάβης. Επίσης, τα σκάφη τοποθέτησης καλωδίων εκτελούν έναν συνδυασμό λειτουργιών, θάβοντας τα κάτω από το έδαφος ή τοποθετώντας τα πάνω από άλλα εμπόδια. Λόγω της αυξανόμενης περιβαλλοντικής ρύπανσης, τα καλώδια τα οποία τοποθετούνται στο υπέδαφος της γης πρέπει να ακολουθούν μια πολύ συγκεκριμένη διαδρομή. Αυτή η διαδρομή σχεδιάζεται και αποθηκεύεται σε ένα υπολογιστικό σύστημα που στη συνέχεια καθοδηγεί το σκάφος στην προκαθορισμένη διαδρομή, αποφεύγοντας θαλάσσια καταφύγια, υποβρύχιους κινδύνους και άλλα τεχνητά αντικείμενα, χρησιμοποιώντας αζιμουθιακούς προωθητήρες με σκοπό την πλοήγηση με απόλυτη ακρίβεια. Επομένως, χωρίς αυτό το σύστημα, θα ήταν πολύ πιο δύσκολη η πλοήγηση μόνο με ένα πηδάλιο και σταθερές προπέλες. (Robinson,2015).

Οι αζιμουθιακοί προωθητήρες εξαλείφουν τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την πρόωση και πηδαλιούχηση με τη βοήθεια των ξεχωριστών συστημάτων προπέλας και πηδαλιού, συνδυάζοντας αυτές τις δύο λειτουργίες σε μία μονάδα. Με την ενιαία μονάδα, τα πλοία έχουν πολύ μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τον τρόπο κίνησής τους και την ταχύτητα με την οποία γίνονται αυτές οι κινήσεις.

Οι αζιμουθιακοί προωθητήρες πραγματοποιούν ανεξάρτητες κινήσεις 360° κάτω από ένα σκάφος, παρέχοντας όπως προαναφέρθηκε τη δυνατότητα ταυτόχρονης πλοήγησης και

πρόωσης. Αυτό σημαίνει ότι οι προωθητήρες μπορούν να διατηρούν ένα σκάφος σε στάση ή να το κινούν κατά μήκος μιας προκαθορισμένης διαδρομής. Τροφοδοτούνται από κινητήρες ντίζελ ή ηλεκτροκινητήρες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές από εμπορικές έως ψυχαγωγικές.

Η Kongsberg είναι γνωστός προμηθευτής προωθητήρων και διαθέτει μονάδες για κάθε είδους ανάγκες. Σύμφωνα με την Thrustmaster, "διατίθενται αζιμουθιακοί προωθητήρες από 75HP έως 10.750 HP (55kW έως 8,0MW)". Μερικοί από τους τύπους αζιμουθιακών προωθητήρων είναι οι ακόλουθοι:

(α) Αζιμουθιακοί προωθητήρες με μόνιμο μαγνήτη: Αφορούν έναν νέου τύπου σχεδιασμό που κινείται πάνω σε ρουλεμάν και σε έναν κεντρικό άξονα που υποστηρίζεται από βραχίονες. Σύμφωνα με την Kongsberg, "Αυτοί οι βραχίονες και ο κεντρικός άξονας ανακτούν μέρος της ενέργειας στροβιλισμού που δημιουργείται από την έλικα, παρέχοντας πρόσθετη ώθηση". Είναι πιο αποδοτικοί από τους άλλους τύπους και είναι φιλικό προς το περιβάλλον, δεν έχουν εσωτερικό σύστημα ψύξης ενώ για τη λίπανσή τους χρησιμοποιείται έως και 50% λιγότερη ποσότητα ελαίου σε σχέση με τους άλλους προωθητήρες.

(β) Προωθητήρες που πραγματοποιούν περιστρεφόμενη κίνηση (Αναδιπλούμενοι): Έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται προς τα πάνω και να απομακρύνονται από τη θέση στην οποία βρίσκονται όταν λειτουργούν ενώ συχνά εισέρχονται σε μια κοιλότητα εντός του κύτους του πλοίου. Μπορούν να λειτουργούν ως αζιμουθιακοί προωθητήρες ή να ταλαντεύονται σε μια εσοχή στο κύτος και να χρησιμοποιούνται ως προωθητήρες σήραγγας. (T.J.McCoy,2015)

Ο εν λόγω τύπος προωθητήρων δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε πλοία παρά μόνο σε ορισμένα εξειδικευμένα πλοία ή θαλάσσια πλωτά μέσα, όπως ερευνητικά σκάφη ή υπεράκτιες πλατφόρμες, όπου η ακριβής τοποθέτηση και η ευελιξία είναι κρίσιμοι παράγοντες για την ορθή λειτουργία τους και τη μέγιστη χρησιμότητά τους.

Σε αυτές τις εξειδικευμένες εφαρμογές, οι υπόψη προωθητήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με άλλα συστήματα πρόωσης, όπως οι αζιμουθιακοί προωθητήρες, για να παρέχουν πρόσθετη ώθηση και έλεγχο σε απαιτητικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, οι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν ένα πλοίο ή μια πλατφόρμα σταθερή σε παραγμένη θάλασσα ή για να τοποθετήσουν με ακρίβεια ένα ερευνητικό σκάφος ή υποβρύχιο σε τέτοια θέση που να κατορθώσει να πραγματοποιήσει επιστημονική έρευνα και παρατηρήσεις (Sulligoi,2016).

(γ) Ανασυρόμενοι προωθητήρες: Λειτουργούν παρόμοια με τους αναδιπλούμενους προωθητήρες, με τη διαφορά ότι αναδιπλώνονται κατ' ευθείαν στο κύτος όταν δεν χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την αντίσταση. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε πλοία που απαιτούν μέγιστη ταχύτητα ή απόδοση, όπως εμπορικά φορτηγά πλοία ή κρουαζιερόπλοια.

(δ) Αζιμουθιακοί προωθητήρες με λοβό: Μοιάζουν λίγο διαφορετικοί από τους κανονικούς προωθητήρες, καθώς έχουν έναν επιμήκη λοβό μπροστά από την έλικα που περιέχει τον κινητήρα. Ολόκληρη η μονάδα του προωθητήρα περιστρέφεται κατά 360 μοίρες και δεδομένου ότι περιέχει τον κινητήρα και τον άξονα της προπέλας, μειώνει τον θόρυβο και τους κραδασμούς, λειτουργώντας ιδιαίτερα αποδοτικά για κρουαζιερόπλοια και σκάφη αναψυχής.

(ε) Αρκτικοί προωθητήρες: Είναι ένας τύπος συστήματος πρόωσης που έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε παγωμένα νερά, όπως οι περιοχές της Αρκτικής και της Ανταρκτικής. Αυτοί οι προωθητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως σε παγοθραυστικά, δεξαμενόπλοια και άλλα πλοία που πλέουν σε ακραίες συνθήκες όπως εκείνες που επικρατεί συσσώρευση πάγου η οποία μπορεί να αποτελέσει σημαντικό κίνδυνο για τα συστήματα πρόωσης (Sulligoi,2016).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των αρκτικών προωθητήρων είναι ο ανθεκτικός σχεδιασμός τους, ο οποίος περιλαμβάνει ενισχυμένες έλικες, χαλύβδινα περιβλήματα που

έχουν υποστεί σκλήρυνση και άλλα εξαρτήματα που μπορούν να αντέξουν τις καταπονήσεις που συνεπάγεται η λειτουργία σε παγωμένα νερά. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως θερμαντικά στοιχεία για την αποφυγή συσσώρευσης πάγου στα πτερύγια της έλικας.

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των αρκτικών προωθητήρων είναι η υψηλή ισχύς τους. Επειδή έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε δύσμενη περιβάλλοντα, οι αρκτικοί προωθητήρες διαθέτουν συνήθως ισχυρότερους κινητήρες και έλικες από τα τυπικά συστήματα πρόωσης. Αυτό τους επιτρέπει να παρέχουν την απαραίτητη ώθηση για τη διάσπαση του πάγου και τη διατήρηση της πρόωσης σε δύσκολες συνθήκες.

Εκτός από τη στιβαρότητα και την ισχύ τους, οι αρκτικοί προωθητήρες μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την αποδοτικότητά τους και μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, ορισμένοι αρκτικοί προωθητήρες χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες ή άλλα εναλλακτικά συστήματα πρόωσης για τη μείωση των εκπομπών και της ηχορύπανσης (Sulligoi,2016).

(στ) Προωθητικά συστήματα Azipull Carbon: Έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε σκάφη αναψυχής. Αυτοί οι προωθητήρες χρησιμοποιούν ανθρακονήματα στα τμήματα που φορτίζονται περισσότερο για να μειωθεί το βάρος τους. Έχουν χαμηλή αντίσταση, υψηλή απόδοση και δυνατότητα πραγματοποίησης πολλών ελιγμών.

Αναπτύχθηκαν από την Rolls-Royce, έναν κορυφαίο κατασκευαστή συστημάτων πρόωσης για τη ναυτιλία. Το σύστημα αποτελείται από έναν υδροδυναμικό θάλαμο από ανθρακονήματα που στεγάζει μια έλικα υψηλής απόδοσης και έναν ηλεκτροκινητήρα. Το pod είναι προσαρτημένο στο κύτος του σκάφους και μπορεί να περιστρέφεται κατά 360 μοίρες, παρέχοντας τόσο ώθηση όσο και έλεγχο της κατεύθυνσης.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος πρόωσης Azipull Carbon είναι η υψηλή του απόδοση. Ο λοβός από ανθρακονήματα είναι ελαφρύς και έχει υδροδυναμικό

σχήμα που μειώνει την αντίσταση, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών. Επιπλέον, ο ηλεκτροκινητήρας που χρησιμοποιείται στο σύστημα είναι αθόρυβος και απαιτεί λιγότερη συντήρηση από τους παραδοσιακούς κινητήρες ντίζελ (Sulligoi,2016).

Ένα άλλο πλεονέκτημα του συστήματος Azipull Carbon είναι η ευελιξία του. Επειδή η κάψουλα μπορεί να περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, παρέχει εξαιρετικό έλεγχο και σταθερότητα σε δύσκολα περιβάλλοντα, όπως στενές πλωτές οδούς ή πολυσύχναστα λιμάνια. Αυτό καθιστά το σύστημα κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα τύπων πλοίων και εφαρμογών, από επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία έως σκάφη υποστήριξης υπεράκτιων δραστηριοτήτων.

Εκτός από την αποτελεσματικότητα και την ευελιξία του, το σύστημα Azipull Carbon έχει επίσης σχεδιαστεί για να είναι εύκολο στην εγκατάσταση και τη συντήρηση. Ο ελαφρύς θάλαμος από ανθρακονήματα μπορεί να συνδεθεί εύκολα στο κύτος του σκάφους και ο αρθρωτός σχεδιασμός του συστήματος επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στα εξαρτήματα για συντήρηση και επισκευή.

Συνολικά, το σύστημα πρόωσης Azipull Carbon είναι μια υπερσύγχρονη λύση για την πρόωση σκαφών, προσφέροντας υψηλή απόδοση, ευελιξία και ευκολία συντήρησης. Αν και μπορεί να είναι πιο ακριβό από τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης, η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση στο κόστος καυσίμων και στη συντήρηση μπορεί να το καταστήσει μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για πολλούς φορείς εκμετάλλευσης πλοίων.

3.3 Συστήματα POD

Το σύστημα POD είναι ένας τύπος συστήματος πρόωσης για σκάφη που χρησιμοποιεί έναν ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση μιας έλικας ή μιας φτερωτής που είναι τοποθετημένη σε μια κάψουλα κάτω από την ίσαλο γραμμή. Το σύστημα αυτό είναι επίσης γνωστό ως "pod drive" ή "pod propulsion".

Τα συστήματα POD έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή τα τελευταία χρόνια λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους, όπως η βελτιωμένη ευελιξία, η αυξημένη απόδοση, ο μειωμένος θόρυβος και οι κραδασμοί και η ευκολότερη συντήρηση.

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα POD, ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτείται από μια συστοιχία μπαταριών, η οποία μπορεί να επαναφορτιστεί είτε από το ρεύμα ξηράς είτε από μια γεννήτρια επί του σκάφους. Ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει άμεση ροπή, η οποία επιτρέπει τη γρήγορη επιτάχυνση και τον καλύτερο έλεγχο του σκάφους. Επισημαίνεται ότι δεν παράγονται εκπομπές ρύπων, γεγονός που το καθιστά μια πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες ντίζελ.

Η συντήρηση των ηλεκτρικών συστημάτων POD είναι επίσης ευκολότερη σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες ντίζελ. Με λιγότερα κινούμενα μέρη και απλούστερη σχεδίαση, οι ηλεκτροκινητήρες των συστημάτων POD απαιτούν λιγότερη συντήρηση και είναι γενικά πιο αξιόπιστοι από τους κινητήρες ντίζελ. Αυτό μπορεί επίσης να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους κατά τη διάρκεια ζωής του σκάφους.

Συνοπτικά, τα συστήματα POD με ηλεκτρική πρόωση προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα πρόωσης, όπως καλύτερη ευελιξία, αυξημένη απόδοση, μειωμένος θόρυβος και κραδασμοί, ευκολότερη συντήρηση και μειωμένες εκπομπές. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται και η ζήτηση για πιο φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές αυξάνεται, είναι πιθανό ότι τα ηλεκτρικά συστήματα POD θα γίνουν ακόμη πιο δημοφιλή στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Κεφάλαιο 4^ο Θεσμικό πλαίσιο

Οι κανονισμοί που αφορούν στην ηλεκτροπρόωση περιλαμβάνονται στον κώδικα STCW 2010 ο οποίος ήρθε να αντικαταστήσει τον κώδικα STCW 1995, καθιστώντας το πλαίσιο των απαιτήσεων σαφώς πιο υψηλό⁵. Οι κωδικοί STCW αποτελούν ένα σύνολο διεθνών κανονισμών που καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις εκπαίδευσης, πιστοποίησης και τήρησης φυλακών για τους ναυτικούς στα πλοία. Οι κώδικες διατηρούνται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (ΙΜΟ) και ενημερώνονται τακτικά ώστε να αντικατοπτρίζουν τις νέες εξελίξεις στην τεχνολογία και τις βέλτιστες πρακτικές. Ο κώδικας STCW 2010 περιλαμβάνει ενημερωμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με την ηλεκτρονική πλοήγηση και άλλες τεχνολογικές εξελίξεις. Δίνει επίσης μεγαλύτερη έμφαση στην ανάγκη εκπαίδευσης των ναυτικών στη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας και να είναι σε θέση να ανταποκρίνονται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Συνοπτικά, ο κώδικας STCW 2010 περιλαμβάνει ενημερωμένες απαιτήσεις σχετικά με την ηλεκτρονική πλοήγηση και άλλες τεχνολογικές εξελίξεις,.

Ο κώδικας STCW 2010 περιλαμβάνει ένα διαχωρισμό των απαιτήσεων για τα πλοία όπου η ηλεκτροπρόωση δεν υπερβαίνει τα 3.000 kW και για τα πλοία όπου οι απαιτήσεις ηλεκτροπρόωσης υπερβαίνουν την τιμή αυτή. Ο διαχωρισμός αυτός εντοπίζεται στο τμήμα A-III/2 του κώδικα, το οποίο περιγράφει τις απαιτήσεις εκπαίδευσης και πιστοποίησης για τους ηλεκτροτεχνικούς αξιωματικούς (ΕΤΟ) σε πλοία με συστήματα ηλεκτροπρόωσης.

Σύμφωνα με τον κώδικα, οι ΕΤΟ σε πλοία με ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης κάτω των 3.000 kW πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις εκπαίδευσης που ορίζονται στο τμήμα A-III/6. Οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν την ολοκλήρωση ενός αναγνωρισμένου προγράμματος εκπαίδευσης και κατάρτισης, καθώς και πρακτική εμπειρία σε πλοία με

⁵[https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2011\)0555_/com_com\(2011\)0555_el.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0555_/com_com(2011)0555_el.pdf)

ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης. Επιπλέον, οι ΕΤΟ πρέπει να είναι κάτοχοι πιστοποιητικού επάρκειας που αναγνωρίζεται από το κράτος σημαίας του πλοίου.

Για πλοία με ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης άνω των 3.000 kW, οι ΕΤΟ πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις που ορίζονται στο τμήμα A-III/1. Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει πρόσθετες απαιτήσεις εκπαίδευσης και επάρκειας για τους ΕΤΟ, όπως γνώσεις συστημάτων υψηλής τάσης, διαχείρισης ισχύος και προηγμένων συστημάτων ελέγχου. Οι ΕΤΟ σε αυτά τα πλοία πρέπει επίσης να ολοκληρώσουν ένα εγκεκριμένο πρόγραμμα κατάρτισης και να κατέχουν πιστοποιητικό επάρκειας που αναγνωρίζεται από το κράτος σημαίας του πλοίου.

Ο διαχωρισμός των απαιτήσεων για πλοία με διαφορετικά επίπεδα ηλεκτροπρόωσης αντικατοπτρίζει τα διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας και κινδύνου που συνδέονται με τη λειτουργία αυτών των συστημάτων. Τα πλοία με μεγαλύτερα συστήματα ηλεκτροπρόωσης απαιτούν ΕΤΟ με πιο προηγμένη εκπαίδευση και εμπειρογνωμοσύνη για να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου. Ο κώδικας STCW το αναγνωρίζει αυτό και καθορίζει τις κατάλληλες απαιτήσεις εκπαίδευσης και πιστοποίησης για την κάλυψη των αναγκών των διαφόρων τύπων πλοίων.

Οι απαιτήσεις που σχετίζονται με συστήματα ηλεκτροπρόωσης <3,000 kW είναι οι εξής:

Λειτουργία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και συστημάτων ελέγχου

(α) Αποδεδειγμένη εμπειρία προσωπικού σε υπηρεσίες ελέγχου. Οι ΕΤΟ πρέπει να έχουν ολοκληρώσει πρόγραμμα εκπαίδευσης που τους παρέχει τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες για τη λειτουργία και συντήρηση ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης ισχύος μικρότερης των 3.000 kW. Το πρόγραμμα εκπαίδευσης πρέπει να είναι εγκεκριμένο από το κράτος σημαίας του πλοίου ή από αναγνωρισμένο οργανισμό.

(β) Αποδεδειγμένη εκπαίδευση προσωπικού σε περιβάλλοντα πλοίου με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού. Οι ΕΤΟ πρέπει να έχουν πρακτική εμπειρία σε πλοία με ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης κάτω των 3.000 kW. Η εμπειρία αυτή πρέπει να καλύπτει τόσο τη συνήθη συντήρηση και λειτουργία του συστήματος, όσο και την αντιμετώπιση προβλημάτων και την επίλυση προβλημάτων. Οι ΕΤΟ πρέπει να είναι κάτοχοι πιστοποιητικού επάρκειας που αναγνωρίζεται από το κράτος σημαίας του πλοίου. Το πιστοποιητικό αυτό επιβεβαιώνει ότι ο ΕΤΟ έχει εκπληρώσει τις απαιτήσεις εκπαίδευσης και εμπειρίας που ορίζονται στον κώδικα STCW και είναι ικανός να χειρίζεται και να συντηρεί ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης κάτω των 3.000 kW.

Λειτουργία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και συστημάτων ελέγχου

(α) Οι λειτουργίες των διατάξεων και συσκευών προγραμματίζονται επιτελούνται σύστοιχα με τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίες από τον κατασκευαστή.

(β) Το σύνολο των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων καθώς και των συστημάτων ελέγχου μπορούν περιγράφουν επακριβώς με τη χρήση διαγραμμάτων και εγχειριδίων οδηγιών.

Συντήρηση και αποκατάσταση ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

Εξέταση και εκτίμηση των αποδεικτικών στοιχείων που σχετίζονται με τα ακόλουθα:

(α) Αποδεδειγμένη εμπειρία προσωπικού σε υπηρεσίες ελέγχου και συντήρησης ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

(β) Αποδεδειγμένη εκπαίδευση προσωπικού στους τομείς της συντήρησης και αποκατάστασης ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε περιβάλλοντα πλοίου, με την χρήση του ενδεδειγμένου εξοπλισμού.

Συντήρηση και αποκατάσταση ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

(α) Ορθή επιλογή λειτουργίας παραμέτρων ασφαλούς λειτουργίας.

(β) Η επιλογή εργαλείων, διατάξεων μετρήσεων και εξοπλισμού ελέγχου είναι η ενδεδειγμένη προκειμένου να εξασφαλίζεται η βέλτιστη δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

(γ) Διαδικασίες συντήρησης και αποκατάστασης του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε περίπτωση αστοχίας αυτού, ακολουθούν πιστά τις οδηγίες του κατασκευαστή και τις πρακτικές καλής λειτουργίας.

(δ) Εφαρμογή των διαδικασιών ελέγχου ακολουθεί τις αρχές της καλής πρακτικής (good practice)⁶.

Οι απαιτήσεις που σχετίζονται με συστήματα ηλεκτροπρόωσης >3,000 kW είναι οι εξής:

Διαχείριση λειτουργίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και συστημάτων ελέγχου

Εξέταση και εκτίμηση των αποδεικτικών στοιχείων που σχετίζονται με τα ακόλουθα:

⁶[https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2011\)0555_/com_com\(2011\)0555_el.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0555_/com_com(2011)0555_el.pdf)

(α) Αποδεδειγμένη εμπειρία προσωπικού σε υπηρεσίες ελέγχου και συστημάτων υψηλής τάσης.

(β) Αποδεδειγμένη εκπαίδευση προσωπικού σε περιβάλλοντα πλοίου και χρήση κατάλληλου εξοπλισμού.

Κριτήρια για την αξιολόγηση Διαχείριση λειτουργίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και συστημάτων ελέγχου

(α) Οι λειτουργίες των διατάξεων και συσκευών προγραμματίζονται και επιτελούνται σύστοιχα με τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας από τον κατασκευαστή.

(β) Τα επίπεδα λειτουργίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων καθώς και των συστημάτων ελέγχου είναι εντός των ορίων που ορίζονται από τον κατασκευαστή, ενώ τα κυκλώματα υψηλής τάσης λειτουργούν εντός των πλαισίων ασφαλούς λειτουργίας όπως αυτά καθορίζονται από τον κατασκευαστή και τις αρχές καλής πρακτικής.

Μέθοδοι εξασφάλισης απαιτήσεων. Διαχείριση προβλημάτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ελέγχου για τις συνθήκες καλής λειτουργίας

Εξέταση και εκτίμηση των αποδεικτικών στοιχείων που σχετίζονται με τα ακόλουθα:

(α) Αποδεδειγμένη εμπειρία προσωπικού και συντήρησης ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού καθώς και στη διαχείριση αστοχιών που σχετίζονται με συστήματα υψηλής τάσης.

(β) Αποδεδειγμένη εκπαίδευση προσωπικού στους τομείς της συντήρησης και αποκατάστασης ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε περιβάλλοντα πλοίου, με τη χρήση του ενδεδειγμένου εξοπλισμού.

Διαχείριση προβλημάτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ελέγχου για τις συνθήκες καλής λειτουργίας ⁷

⁷[https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2011\)0555_/com_com\(2011\)0555_el.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0555_/com_com(2011)0555_el.pdf)

(α) Η επιλογή των διαδικασιών συντήρησης λαμβάνει χώρα σύστοιχα με τις τεχνικές και λειτουργικές επιταγές του εξοπλισμού.

(β) Οι ακολουθούμενες διαδικασίες και τεχνικές ελέγχου καθώς και οι διαδικασίες για την αντιμετώπιση τυχόν ανακύπτωντων αστοχιών είναι οι ενδεδειγμένες και λαμβάνουν υπόψη την ύπαρξη συστημάτων υψηλής τάσης.

Κεφάλαιο 5^ο Ανάλυση Παραδείγματος: Αυτόνομο ηλεκτρικό πλοίο Yara Birkeland.

Ο σχεδιασμός των πλοίων με ηλεκτροπρόωση επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση ηλεκτρικών κινητήρων, μπαταριών και ηλεκτρονικών ισχύος στο σύστημα πρόωσης του πλοίου. Ορισμένες βασικές εκτιμήσεις σχεδιασμού για τα πλοία με ηλεκτροπρόωση είναι οι κάτωθι:

(α) **Ισχύς και αποδοτικότητα:** Τα πλοία με ηλεκτροπρόωση απαιτούν επαρκή ποσότητα ενέργειας για να λειτουργήσουν, η οποία παρέχεται από μπαταρίες. Η χωρητικότητα και η αποδοτικότητα των μπαταριών είναι κρίσιμοι παράγοντες για τον καθορισμό της εμβέλειας και του κόστους λειτουργίας του πλοίου. Ο σχεδιασμός των ηλεκτροκινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος πρέπει επίσης να βελτιστοποιηθεί για υψηλή απόδοση, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας κατά τη λειτουργία.

(β) **Τοποθέτηση μπαταριών:** Η τοποθέτηση των μπαταριών αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο στο σχεδιασμό πλοίων με ηλεκτροπρόωση. Οι μπαταρίες πρέπει να τοποθετούνται σε σημείο που να είναι προσβάσιμο για συντήρηση και αντικατάσταση. Θα πρέπει επίσης να είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο κέντρο βάρους και τη σταθερότητα του πλοίου.

(γ) **Ενσωμάτωση του συστήματος πρόωσης:** Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης πρέπει να ενσωματώνονται προσεκτικά με τα άλλα συστήματα του πλοίου, όπως τα συστήματα πλοήγησης, ελέγχου και επικοινωνίας. Η ενσωμάτωση αυτή απαιτεί υψηλό βαθμό συντονισμού μεταξύ διαφορετικών ομάδων μηχανικών για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα πρόωσης λειτουργεί αποτελεσματικά και αποδοτικά.

(δ) **Ασφάλεια:** Τα πλοία με ηλεκτροπρόωση πρέπει να πληρούν αυστηρά πρότυπα ασφαλείας. Τα μέτρα ασφαλείας περιλαμβάνουν κατάλληλη γείωση, μόνωση και προστασία από πυρκαγιά και ηλεκτρικούς κινδύνους.

(ε) Αυτονομία: Πολλά πλοία με ηλεκτροπρόωση έχουν σχεδιαστεί για αυτόνομη λειτουργία. Αυτό απαιτεί την ενσωμάτωση προηγμένων αισθητήρων, συστημάτων ελέγχου και συστημάτων επικοινωνίας που επιτρέπουν στο πλοίο να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Συνολικά, ο σχεδιασμός των πλοίων με ηλεκτροπρόωση απαιτεί προσεκτική εξέταση πολλαπλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος και της αποδοτικότητας, της τοποθέτησης των μπαταριών, της ενσωμάτωσης του συστήματος πρόωσης, της ασφάλειας και της αυτονομίας. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να εξισορροπούνται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι το πλοίο λειτουργεί αποτελεσματικά και αποδοτικά, ενώ παράλληλα πληροί αυστηρά πρότυπα ασφαλείας και περιβαλλοντικά πρότυπα.

5.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Ένα παράδειγμα πλοίου με ηλεκτροπρόωση που ενσωματώνει αυτές τις σχεδιαστικές εκτιμήσεις είναι το Yara Birkeland. Πρόκειται για ένα αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που σχεδιάστηκε από τη νορβηγική εταιρεία λιπασμάτων Yara. Το πλοίο τροφοδοτείται από δύο ηλεκτροκινητήρες και διαθέτει μπαταρία χωρητικότητας 7,5 MWh⁸.



Εικόνα 7 Το πλοίο Yara Birkeland

⁸ <https://www.ot.gr/2022/01/05/naytilia/salparei-to-proto-aytonomo-ilektriko-containership/>

Όσον αφορά την ισχύ και την αποδοτικότητα, το Yara Birkeland έχει σχεδιαστεί για να μειώσει τις εκπομπές κατά 40% και το λειτουργικό κόστος κατά 90% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Οι ηλεκτροκινητήρες και τα ηλεκτρονικά ισχύος του είναι βελτιστοποιημένα για υψηλή απόδοση ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας κατά τη λειτουργία.

Η τοποθέτηση των μπαταριών στο Yara Birkeland έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις στο κέντρο βάρους και τη σταθερότητα του πλοίου και είναι διατεταγμένες για εύκολη συντήρηση και αντικατάσταση.

Το σύστημα πρόωσης του Yara Birkeland είναι ολοκληρωμένο με τα άλλα συστήματά του, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων πλοήγησης, ελέγχου και επικοινωνίας, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου. Το πλοίο είναι επίσης σχεδιασμένο για αυτόνομη λειτουργία, με προηγμένους αισθητήρες, συστήματα ελέγχου και συστήματα επικοινωνίας που του επιτρέπουν να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Συνολικά, το Yara Birkeland είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο τα πλοία με ηλεκτροπρόωση σχεδιάζονται ώστε να ενσωματώνουν πολλαπλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος και της αποδοτικότητας, της τοποθέτησης των μπαταριών, της ενσωμάτωσης του συστήματος πρόωσης, της ασφάλειας και της αυτονομίας, ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά και αποδοτικά, ενώ παράλληλα πληρούν αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας.

(α) Ναυπηγείο: Το Yara Birkeland ναυπηγήθηκε στο ναυπηγείο Vard Brattvaag στη Νορβηγία. Η κατασκευή του πλοίου ξεκίνησε στις αρχές του 2018, με το πλοίο να καθελκύεται τον Νοέμβριο του ίδιου έτους. (Πηγή: "Yara Birkeland: The World's First Fully Autonomous, Zero-Emission Container Ship". Offshore Energy).

(β) Συνεργασία: Το έργο Yara Birkeland ήταν μια συνεργασία μεταξύ πολλών εταιρειών, συμπεριλαμβανομένων των Yara, Kongsberg, Vard και SINTEF Ocean. Η Yara ήταν υπεύθυνη για τη συνολική ιδέα και την εμπορική αξιοποίηση του πλοίου, ενώ η Kongsberg παρείχε τα αυτόνομα και ηλεκτρικά συστήματα. Η Vard ήταν υπεύθυνη για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του πλοίου, ενώ η SINTEF Ocean παρείχε υποστήριξη στην έρευνα και την ανάπτυξη. (Πηγή: "Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy).

(γ) Χρονοδιάγραμμα: Το έργο Yara Birkeland ανακοινώθηκε για πρώτη φορά τον Μάιο του 2017, ενώ η κατασκευή του ξεκίνησε τον επόμενο χρόνο. Το πλοίο κατελκύστηκε τον Νοέμβριο του 2018 και υποβλήθηκε σε θαλάσσιες δοκιμές καθ' όλη τη διάρκεια του 2019 και στις αρχές του 2020. Το πλοίο επρόκειτο να τεθεί σε εμπορική λειτουργία στα τέλη του 2020, αλλά αυτό καθυστέρησε λόγω της πανδημίας COVID-19. Το πλοίο αναμένεται να τεθεί σε υπηρεσία το 2022. (Πηγή: "To Yara Birkeland: World's First Fully Electric Autonomous Container Ship". Electric & Hybrid Marine Technology International).

(δ) Κόστος: Το συνολικό κόστος του έργου Yara Birkeland δεν έχει δημοσιοποιηθεί. Ωστόσο, η Yara έχει δηλώσει ότι το κόστος του πλοίου είναι "ανταγωνιστικό με τα παραδοσιακά πλοία που κινούνται με καύσιμα" και ότι η επένδυση αποτελεί μέρος της μακροπρόθεσμης στρατηγικής βιωσιμότητας της εταιρείας⁹.

5.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου Yara Birkeland είναι τα ακόλουθα:

(α) Διαστάσεις: Το Yara Birkeland έχει μήκος 80 μέτρα και πλάτος 15 μέτρα.

⁹ Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

(β) Χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου: Το πλοίο έχει χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου 120 TEUs (Twenty-foot Equivalent Units) και συνολική χωρητικότητα φορτίου 2.500 μετρικών τόνων.

(γ) Χωρητικότητα μπαταρίας: Το πλοίο διαθέτει μια μπαταρία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση του ηλεκτρικού φορτίου: Το Yara Birkeland τροφοδοτείται από μια μπαταρία χωρητικότητας 7,5 MWh, η οποία παρέχει επαρκή ισχύ για το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του πλοίου.

(δ) Σύστημα διαχείρισης μπαταριών: Το σύστημα διαχείρισης μπαταριών είναι ένα κρίσιμο στοιχείο του συστήματος ηλεκτροπρόωσης. Είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης, της θερμοκρασίας και άλλων παραμέτρων της μπαταρίας και για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας.

(ε) Σύστημα φόρτισης: Η μπαταρία του πλοίου μπορεί να φορτιστεί με ρεύμα από την ξηρά ή με τη χρήση γεννητριών επί του πλοίου που λειτουργούν με βιοκαύσιμα. Το σύστημα φόρτισης έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ευέλικτο και να προσαρμόζεται σε διαφορετικά σενάρια φόρτισης. Η φόρτιση επιτυγχάνεται σε περίπου δύο ώρες χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ταχείας φόρτισης. Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα φόρτισης που του επιτρέπει να συνδεθεί με έναν σταθμό φόρτισης στην ξηρά χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης παρέμβασης¹⁰.

(στ) Ηλεκτρικοί κινητήρες: Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με δύο ηλεκτροκινητήρες. Οι εν λόγω δύο ηλεκτροκινητήρες του πλοίου είναι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί και αξιόπιστοι. Είναι υδρόψυκτοι και έχουν ισχύ 900 kW έκαστος.

¹⁰ Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

(ζ) Ενεργειακή απόδοση: Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης έχει σχεδιαστεί για να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό ενεργειακά. Το πλοίο χρησιμοποιεί αναγεννητική πέδηση για την ανάκτηση ενέργειας κατά την επιβράδυνση και οι ηλεκτροκινητήρες είναι βελτιστοποιημένοι για υψηλή απόδοση ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας κατά τη λειτουργία.

(η) Ηλεκτρονικά ισχύος: Τα ηλεκτρονικά ισχύος του πλοίου έχουν σχεδιαστεί για να μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος από τις μπαταρίες, σε ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος για τους ηλεκτροκινητήρες. Περιλαμβάνουν μετατροπείς και άλλα εξαρτήματα με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης¹¹.

(θ) Αυτονομία: Το Yara Birkeland έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί αυτόνομα, με προηγμένους αισθητήρες, συστήματα ελέγχου και συστήματα επικοινωνίας που του επιτρέπουν να πλοηγείται και να λειτουργεί με ασφάλεια χωρίς πλήρωμα.

(ι) Εφεδρεία: Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του πλοίου περιλαμβάνει πλεονάζοντα εξαρτήματα για να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, το πλοίο διαθέτει δύο ανεξάρτητα συστήματα μπαταριών και πλεονάζοντα ηλεκτρονικά ισχύος¹².

(ια) Συστήματα πλοήγησης και ελέγχου: Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με προηγμένα συστήματα πλοήγησης και ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων GPS, ραντάρ και κάμερας, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία του.

(ιβ) Εμβέλεια λειτουργίας: Το Yara Birkeland έχει εμβέλεια λειτουργίας έως και 65 ναυτικά μίλια (120 χλμ.) με μία μόνο φόρτιση. Το εύρος αυτό είναι κατάλληλο για την προβλεπόμενη χρήση του πλοίου ως πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μικρών

¹¹ Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

¹² Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

αποστάσεων που εκτελεί δρομολόγια μεταξύ του εργοστασίου λιπασμάτων της Yara στο Porsgrunn και των κοντινών λιμένων Brevik και Larvik στη Νορβηγία¹³.

(γ) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Το πλοίο έχει σχεδιαστεί για να μειώνει τις εκπομπές κατά 40% και το λειτουργικό κόστος κατά 90% (μείωση των εκπομπών CO₂ έως και 40.000 τόνους ετησίως και των εκπομπών NO_x και SO_x έως και 2.000 τόνους ετησίως) σε σύγκριση με τα παραδοσιακά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, καθιστώντας το μια φιλική προς το περιβάλλον επιλογή (Yara Birkeland,2016).

5.3 Ηλεκτρικό Δίκτυο

Κατωτέρω, παρατίθενται στοιχεία που αφορούν στο Ηλεκτρικό Δίκτυο του πλοίου Yara Birkeland.

(α) Τάση και συχνότητα: Το ηλεκτρικό δίκτυο της Yara Birkeland λειτουργεί στα 400V AC και 50Hz. Αυτή η τάση και η συχνότητα είναι τυπικές τιμές για τα περισσότερα εμπορικά πλοία και επιτρέπουν στο πλοίο να χρησιμοποιεί τον τυπικό ναυτικό ηλεκτρικό εξοπλισμό¹⁴.

(β) Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας: Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου χωρίζεται σε διάφορους πίνακες διανομής, οι οποίοι συνδέονται με τα διάφορα συστήματα και τον εξοπλισμό του πλοίου. Οι πίνακες έχουν σχεδιαστεί για να διανέμουν την ισχύ στα διάφορα φορτία του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτροκινητήρων, του συστήματος μπαταριών και των βοηθητικών συστημάτων. Το σύστημα διανομής ισχύος έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ευέλικτο, επιτρέποντας στο πλοίο να προσαρμόζεται στις διαφορετικές απαιτήσεις ισχύος και να δίνει προτεραιότητα στη χρήση ισχύος με βάση τις επιχειρησιακές απαιτήσεις.

¹³ Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο". Electric & Hybrid Marine Technology International

¹⁴ "Yara Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο, μηδενικών εκπομπών πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο". Maritime Executive

(γ) Σύστημα ελέγχου: Το ηλεκτρικό δίκτυο του Yara Birkeland ελέγχεται από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος, τον έλεγχο της διανομής ισχύος και τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας. Το σύστημα ελέγχου έχει σχεδιαστεί για να είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένο και χρησιμοποιεί προηγμένους αλγορίθμους για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας του πλοίου και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων¹⁵.

(δ) Σύστημα προστασίας: Το ηλεκτρικό δίκτυο προστατεύεται από διάφορα συστήματα ασφαλείας, όπως διακόπτες και ασφάλειες για την αποφυγή ζημιών στο σύστημα σε περίπτωση ηλεκτρικού/ηλεκτρολογικού σφάλματος. Το σύστημα προστασίας έχει σχεδιαστεί για να είναι εξαιρετικά αξιόπιστο και περιλαμβάνει χαρακτηριστικά πλεονασμού για να διασφαλίζει τη συνέχιση της λειτουργίας σε περίπτωση σφάλματος.

(ε) Σύστημα παρακολούθησης και διάγνωσης: Το ηλεκτρικό δίκτυο του Yara Birkeland περιλαμβάνει αισθητήρες και συστήματα παρακολούθησης για την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση και την απόδοση του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση τυχόν προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. Το σύστημα παρακολούθησης έχει σχεδιαστεί για να είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένο και χρησιμοποιεί προηγμένες αναλύσεις για τον εντοπισμό και τη διάγνωση προβλημάτων πριν αυτά γίνουν μη αντιμετωπίσιμα¹⁶.

(στ) Εφεδρεία: Το ηλεκτρικό δίκτυο του Yara Birkeland περιλαμβάνει πλεονάζοντα εξαρτήματα για να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, το πλοίο διαθέτει δύο ανεξάρτητα συστήματα μπαταριών και πλεονάζοντα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος. Τα χαρακτηριστικά πλεονασμού έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν ότι το πλοίο

¹⁵ Yara Birkeland - το πρώτο αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Yara

¹⁶ Yara Birkeland: Birkirkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί με ασφάλεια σε περίπτωση βλάβης ή αστοχίας σε ένα από τα εξαρτήματα του συστήματος¹⁷.

5.4 Στοιχεία εγκατάστασης

(α) Ηλεκτρικός εξοπλισμός: Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του Yara Birkeland αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα, όπως ηλεκτροκινητήρες, συστοιχίες μπαταριών, ηλεκτρονικά ισχύος και συστήματα ελέγχου. Το πλοίο είναι επίσης εξοπλισμένο με μια σειρά από αισθητήρες και εξοπλισμό επικοινωνίας για την αυτόνομη λειτουργία του (Kongsberg.)

(β) Εγκατάσταση μπαταριών: Οι μπαταρίες του Yara Birkeland στεγάζονται σε έναν ειδικά κατασκευασμένο χώρο μπαταριών που βρίσκεται κάτω από το κατάστρωμα. Ο χώρος αυτός είναι εξοπλισμένος με συστήματα ψύξης και καταστολής πυρκαγιάς για να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία¹⁸.(Kongsberg.)

(γ) Υποδομή φόρτισης: Το Yara Birkeland μπορεί να φορτιστεί χρησιμοποιώντας έναν σταθμό φόρτισης στην ξηρά που βρίσκεται στο λιμάνι. Ο σταθμός φόρτισης είναι εξοπλισμένος με ένα σύστημα φόρτισης υψηλής ισχύος ικανό να παρέχει έως και 6 MW ισχύος. Το αυτοματοποιημένο σύστημα φόρτισης του πλοίου επιτρέπει τη σύνδεσή του με το σταθμό φόρτισης και την έναρξη της φόρτισης χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης παρέμβασης¹⁹.

(δ) Σύστημα πρόωσης: Το σύστημα πρόωσης του Yara Birkeland αποτελείται από δύο ηλεκτροκινητήρες, καθένας από τους οποίους συνδέεται με μια έλικα ελεγχόμενου βήματος. Το σύστημα που είναι υπεύθυνο για του ελιγμούς περιλαμβάνει έναν προωθητήρα πλώρης και έναν προωθητήρα πρύμνης, οι οποίοι επίσης κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια. (Kongsberg.)

¹⁷ "Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Maritime Executive)

¹⁸ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

¹⁹ "Yara Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

(ε) **Αυτόνομα συστήματα:** Το Yara Birkeland είναι εξοπλισμένο με μια σειρά από αισθητήρες και εξοπλισμό επικοινωνίας που επιτρέπουν την αυτόνομη λειτουργία. Αυτά περιλαμβάνουν ραντάρ, lidar, GPS και κάμερες, καθώς και μια σειρά άλλων αισθητήρων για την παρακολούθηση της απόδοσης του πλοίου και του περιβάλλοντος. Το πλοίο είναι επίσης εξοπλισμένο με μια σειρά από συστήματα ελέγχου και λογισμικό για να επιτρέψει την αυτόνομη πλοήγηση και τον έλεγχο²⁰.

(στ) **Κόστος:** Το κόστος της εγκατάστασης της ηλεκτροπρόωσης και των αυτόνομων συστημάτων του Yara Birkeland είναι πιθανό να ήταν σημαντικό, ιδιαίτερα δεδομένης της πολυπλοκότητας και της πολυπλοκότητας των τεχνολογιών αυτών. Ωστόσο, η Yara έχει δηλώσει ότι το κόστος του σκάφους είναι "ανταγωνιστικό με τα παραδοσιακά σκάφη που κινούνται με καύσιμα" και ότι η επένδυση αποτελεί μέρος της μακροπρόθεσμης στρατηγικής βιωσιμότητας της εταιρείας.

5.5 *Ρύθμιση στροφών*

Το Yara Birkeland είναι ένα ηλεκτρικό πλοίο, που σημαίνει ότι δεν διαθέτει παραδοσιακή μηχανή εσωτερικής καύσης ή άξονα έλικας. Αντ' αυτού, το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του πλοίου αποτελείται από δύο μονάδες πρόωσης που βρίσκονται στην πρύμνη του πλοίου, η καθεμία με δύο ηλεκτροκίνητες έλικες.

Η ταχύτητα του Yara Birkeland ελέγχεται με τη ρύθμιση της ισχύος αυτών των ηλεκτρικών μονάδων πρόωσης. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του πλοίου ελέγχονται από το αυτόνομο σύστημα πλοήγησης του πλοίου, το οποίο λαμβάνει δεδομένα από μια σειρά αισθητήρων και εξοπλισμού επικοινωνίας, όπως ραντάρ, lidar, GPS και κάμερες²¹.

Το Yara Birkeland έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μέγιστη ταχύτητα 13 κόμβων ή περίπου 15 μίλια την ώρα. Ωστόσο, η ταχύτητα λειτουργίας του σκάφους θα εξαρτηθεί από

²⁰ "Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

²¹ "Yara Birkeland: Birkeland: Το πρώτο πλήρως αυτόνομο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με μηδενικές εκπομπές στον κόσμο". Offshore Energy

μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, της κατάστασης της θάλασσας, του φορτίου και άλλων επιχειρησιακών παραμέτρων²².

Εκτός από το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, το Yara Birkeland είναι επίσης εξοπλισμένο με μια σειρά άλλων προηγμένων τεχνολογιών, όπως αυτόνομη πλοήγηση, συστήματα αισθητήρων και εξοπλισμό επικοινωνίας. Τα συστήματα αυτά συνεργάζονται για να επιτρέπουν στο σκάφος να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του.

5.6 Προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης

Ενώ το Yara Birkeland είναι ένα καινοτόμο και πρωτοποριακό σκάφος, υπάρχουν διάφορα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί η επιτυχής λειτουργία του. Σε αυτά περιλαμβάνονται:

(α) Κανονιστική συμμόρφωση: Το Yara Birkeland είναι το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό, αυτόνομο φορτηγό πλοίο στον κόσμο και ως τέτοιο πρέπει να συμμορφώνεται με μια σειρά διεθνών κανονισμών και προτύπων. Αυτό περιλαμβάνει την ικανοποίηση των απαιτήσεων ασφάλειας και περιβαλλοντικών απαιτήσεων, καθώς και τη διασφάλιση ότι το αυτόνομο σύστημα πλοήγησης του πλοίου είναι πλήρως συμβατό με τους ισχύοντες νόμους και κανονισμούς²³.

(β) Κυβερνοασφάλεια: Ως αυτόνομο πλοίο, το Yara Birkeland βασίζεται σε εξελιγμένα συστήματα υπολογιστών και δίκτυα επικοινωνίας για να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά είναι επίσης ευάλωτα σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο, οι οποίες θα μπορούσαν δυνητικά να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια ή τις επιχειρησιακές επιδόσεις του σκάφους. Η εξασφάλιση ισχυρών μέτρων κυβερνοασφάλειας είναι επομένως ζωτικής σημασίας για την επιτυχή λειτουργία του Yara Birkeland.

²² <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

²³ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

(γ) Εκπαίδευση του πληρώματος: Το Yara Birkeland είναι ένα εξαιρετικά προηγμένο σκάφος και το αυτόνομο σύστημα πλοήγησης απαιτεί σημαντικό επίπεδο τεχνογνωσίας και εκπαίδευσης για την αποτελεσματική λειτουργία του. Η διασφάλιση ότι τα μέλη του πληρώματος είναι επαρκώς εκπαιδευμένα και εξειδικευμένα στη λειτουργία των συστημάτων του σκάφους είναι επομένως απαραίτητη για την ασφαλή και επιτυχή λειτουργία του²⁴.

(ε) Συντήρηση και επισκευή: Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του Yara Birkeland και άλλες προηγμένες τεχνολογίες απαιτούν εξειδικευμένες υπηρεσίες συντήρησης και επισκευής, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι ευρέως διαθέσιμες σε όλες τις τοποθεσίες. Η διασφάλιση της διαθεσιμότητας επαρκών υπηρεσιών συντήρησης και επισκευής είναι επομένως κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη επιχειρησιακή επιτυχία του σκάφους.

(στ) Αντίληψη του κοινού: Το Yara Birkeland αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στη ναυτιλιακή βιομηχανία, με τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη μεταφορά φορτίων και να μειώσει τις εκπομπές ρύπων. Ωστόσο, η επιτυχία του πλοίου θα εξαρτηθεί εν μέρει από την αντίληψη και την αποδοχή του κοινού. Η διασφάλιση της ευρείας επικοινωνίας και κατανόησης των πλεονεκτημάτων του πλοίου θα είναι σημαντική για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία του²⁵.

(ζ) Ολοκλήρωση της αλυσίδας εφοδιασμού: Η αυτόνομη λειτουργία του Yara Birkeland απαιτεί την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με τις υφιστάμενες διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένης της φόρτωσης και εκφόρτωσης φορτίου, των λιμενικών εργασιών και του εκτελωνισμού. Η διασφάλιση της πλήρους ενσωμάτωσης της αυτόνομης λειτουργίας του πλοίου με τις υφιστάμενες διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας θα είναι ζωτικής σημασίας για την επιχειρησιακή επιτυχία του.

²⁴ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

²⁵ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

(η) **Καιρικές συνθήκες:** Η λειτουργία του Yara Birkeland επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όπως ο άνεμος, τα κύματα και τα ρεύματα. Η διασφάλιση ότι το αυτόνομο σύστημα πλοήγησης του πλοίου είναι ικανό να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες θα είναι σημαντική για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά του.

(θ) **Τεχνολογία μπαταριών:** Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης του Yara Birkeland βασίζεται σε ένα μεγάλο πακέτο μπαταριών για την αποθήκευση και την παροχή ενέργειας. Καθώς η τεχνολογία των μπαταριών συνεχίζει να εξελίσσεται, ενδέχεται να είναι απαραίτητη η αναβάθμιση ή η αντικατάσταση του πακέτου μπαταριών του σκάφους για να διασφαλιστεί η συνεχής λειτουργική αποδοτικότητα και απόδοσή του²⁶.

(ι) **Εφεδρεία και αξιοπιστία:** Η αυτόνομη λειτουργία του Yara Birkeland απαιτεί υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας και πλεονασμού στα συστήματά του, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία του. Η διασφάλιση ότι τα συστήματα του σκάφους σχεδιάζονται και συντηρούνται σύμφωνα με τα υψηλότερα δυνατά πρότυπα αξιοπιστίας και πλεονασμού θα είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή λειτουργία του.

(ια) **Δημόσια πολιτική και κανονισμοί:** Καθώς το Yara Birkeland αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στη ναυτιλιακή βιομηχανία, ενδέχεται να χρειαστεί να αναπτυχθούν νέες δημόσιες πολιτικές και κανονισμοί για την υποστήριξη της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας του. Η διασφάλιση της έγκαιρης και αποτελεσματικής ανάπτυξης αυτών των πολιτικών και κανονισμών θα είναι σημαντική για την επιτυχία του πλοίου.

²⁶ <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

Κεφάλαιο 6° Προτάσεις για μελλοντική βελτίωση της ηλεκτροπρόωσης των πλοίων στο μέλλον

Το μέλλον της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία φαίνεται πολλά υποσχόμενο, καθώς υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για καθαρές και αποδοτικές πηγές ενέργειας στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Η βιομηχανία δέχεται πιέσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων και τη συμμόρφωση με τους ολοένα και αυστηρότερους κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές, και η ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων.

Μια από τις πιο ελπιδοφόρες εξελίξεις στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση ανεμογεννητριών και ηλιακών συλλεκτών σε πλοία έχει ήδη αποδειχθεί και η έρευνα συνεχίζεται για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας αυτών των τεχνολογιών²⁷. Μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εγκατασταθούν στο κατάστρωμα, στο κύτος ή στο αμπάρι του πλοίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων²⁸.

Ένας άλλος τομέας ανάπτυξης είναι η χρήση μπαταριών και κυψελών καυσίμου για την αποθήκευση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, μπορεί να βοηθήσει στην αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και να παρέχει μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας σε περιόδους χαμηλής παραγωγής. Αυτό μπορεί να συμβάλει στην

²⁷ <https://www.isalos.net/2021/12/i-aioliki-energeia-mellon-gia-tin-proosi-ton-containerships/>

²⁸ Adranes, A.K., (2003), Maritime electrical installations and diesel-electric propulsion, Textbook, ABB Marine ASS, Norway.

εξασφάλιση σταθερής και συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων.²⁹

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης μπαταριών ιόντων λιθίου με μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, τις καθιστούν πιο ελκυστικές για χρήση σε θαλάσσιες εφαρμογές.

Οι κυψέλες καυσίμου, οι οποίες χρησιμοποιούν υδρογόνο ή άλλα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναπτύσσονται επίσης για χρήση στα πλοία, προσφέροντας μια καθαρή και αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα. Οι κυψέλες καυσίμου, οι οποίες μετατρέπουν υδρογόνο ή άλλα καύσιμα σε ηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να παρέχουν μια καθαρή και αποτελεσματική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου, μειώνοντας τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμων³⁰.

Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για υβριδικά και ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης για πλοία, τα οποία μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων συνδυάζοντας παραδοσιακούς κινητήρες με ηλεκτροκινητήρες. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ήδη σε ορισμένα οχηματαγωγά και μικρότερα πλοία, ενώ υπάρχει δυνατότητα επέκτασής της για χρήση σε μεγαλύτερα πλοία³¹.

Εκτός από αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις, δίνεται ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας στα πλοία. Οι ψηφιακές τεχνολογίες, όπως τα προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, μπορούν να βοηθήσουν στον

²⁹ Χατζηλάου, Ι.Κ., Προυσαλίδης, Ι.Μ., Αντωνόπουλος, Γ., Γύπαρης, Ι.Κ., Π. Βαλλιανάτος, Π., (2006), Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, ΤΕΕ, Αθήνα

³⁰ Χατζηλάου, Ι.Κ., Προυσαλίδης, Ι.Μ., Αντωνόπουλος, Γ., Γύπαρης, Ι.Κ., Π. Βαλλιανάτος, Π., (2006), Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, ΤΕΕ, Αθήνα

³¹ Adranes, A.K., (2003), Maritime electrical installations and diesel-electric propulsion, Textbook, ABB Marine ASS, Norway.

εντοπισμό ευκαιριών για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων επί του πλοίου.

Προτάσεις για μελλοντική βελτίωση:

Έρευνα και ανάπτυξη: Η αύξηση των επενδύσεων στην έρευνα και την ανάπτυξη νέων, αποδοτικών και καθαρών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους είναι ζωτικής σημασίας για το μέλλον της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους συντελεστές των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η ανάπτυξη νέων, αποδοτικών και καθαρών τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας επί του σκάφους είναι απαραίτητη για τη μείωση των εκπομπών αυτών και την προώθηση της βιωσιμότητας στη βιομηχανία³².

Οι επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη νέων και καινοτόμων τεχνολογιών που είναι πιο αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά συστήματα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα. Για παράδειγμα, η έρευνα και ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων τύπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάπτυξη αποδοτικότερων και καθαρότερων μηχανών εσωτερικής καύσης ή κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα, όπως υδρογόνο ή βιοκαύσιμα³³.

Η αύξηση των επενδύσεων στην έρευνα και την ανάπτυξη μπορεί επίσης να οδηγήσει στην εμπορική αξιοποίηση αυτών των νέων τεχνολογιών, μειώνοντας το κόστος τους και καθιστώντας τις πιο προσιτές στη βιομηχανία. Επιπλέον, η έρευνα και ανάπτυξη μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση τεχνικών και μηχανολογικών προκλήσεων που σχετίζονται με

³² <https://www.naftikachronika.gr/2022/12/18/stochos-tis-fincantieri-ta-ploia-tou-mellontos/>

³³ DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY. (2006), Marine electric drive overview.

την ανάπτυξη και την εφαρμογή αυτών των νέων τεχνολογιών, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους³⁴.

Επιπλέον, οι επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη μπορούν να βοηθήσουν τη ναυτιλιακή βιομηχανία να παραμείνει ανταγωνιστική σε μια ταχέως μεταβαλλόμενη παγκόσμια αγορά, όπου οι βιώσιμες πρακτικές και τεχνολογίες εκτιμώνται όλο και περισσότερο από τους πελάτες, τους επενδυτές και τις ρυθμιστικές αρχές. Επενδύοντας στην έρευνα και την ανάπτυξη νέων, αποδοτικών και καθαρών τεχνολογιών, η ναυτιλιακή βιομηχανία μπορεί να τοποθετηθεί ως ηγέτης στις βιώσιμες μεταφορές, προωθώντας τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και ανάπτυξή της.

Κατάρτιση και εκπαίδευση: Η κατάρτιση και η εκπαίδευση των πληρωμάτων των πλοίων σχετικά με τη χρήση των νέων τεχνολογιών και των βέλτιστων πρακτικών για την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση της επιτυχούς ανάπτυξης και λειτουργίας των νέων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του πλοίου. η διεθνής συνεργασία είναι απαραίτητη για την επιτυχή ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους για την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία³⁵.

Διεθνής συνεργασία: Η διεθνής συνεργασία και ο συντονισμός για την ανάπτυξη και την εγκατάσταση νέων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας των τεχνολογιών αυτών για την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία. Με την προώθηση της ανάπτυξης και της εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών, οι χώρες και οι οργανισμοί μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία οικονομικών κλίμακας, στη μείωση του κόστους και στην

³⁴ International Renewable Energy Agency. (2019). Offshore Renewables: An Action Agenda for Deployment. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Offshore-Renewables-An-Action-Agenda-for-Deployment>

³⁵ International Maritime Organization (IMO). (2018). Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships. Retrieved from <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sustainable-shipping.aspx>

αύξηση της διαθεσιμότητας αυτών των τεχνολογιών για τη βιομηχανία. Η διεθνής συνεργασία μπορεί επίσης να συμβάλει στην αντιμετώπιση κοινών προκλήσεων, όπως οι κανονιστικές απαιτήσεις και η ανάπτυξη υποδομών, που μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Με τη συνεργασία, οι χώρες και οι οργανισμοί μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι προκλήσεις αυτές αντιμετωπίζονται με συντονισμένο και αποτελεσματικό τρόπο, μειώνοντας το κόστος και προωθώντας την ευρεία υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών³⁶.

Ρυθμιστική υποστήριξη: Η κανονιστική υποστήριξη για την ανάπτυξη νέων, αποδοτικών και καθαρών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους μπορεί να συμβάλει στην επιτάχυνση της υιοθέτησής τους και να εξασφαλίσει ισότιμους όρους ανταγωνισμού για τη βιομηχανία. Οι κανονισμοί μπορούν να δημιουργήσουν ισότιμους όρους ανταγωνισμού για τη βιομηχανία, να παρέχουν κίνητρα για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και να διασφαλίσουν ότι οι τεχνολογίες αυτές πληρούν τα πρότυπα ασφάλειας και περιβαλλοντικής προστασίας³⁷.

Οι κανονισμοί μπορούν επίσης να παρέχουν καθοδήγηση και απαιτήσεις για την ανάπτυξη και την εγκατάσταση νέων τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητάς τους. Για παράδειγμα, οι κανονισμοί μπορούν να απαιτούν τη χρήση πιστοποιημένων και δοκιμασμένων τεχνολογιών, να καθορίζουν πρότυπα επιδόσεων και να παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία νέων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους³⁸.

³⁶NCE Maritime CleanTech. (2020). Electrification of Ships. Retrieved from <https://www.ncemaritime.no/electrification-of-ships/>

³⁷ International Renewable Energy Agency. (2019). Offshore Renewables: An Action Agenda for Deployment. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Offshore-Renewables-An-Action-Agenda-for-Deployment>

³⁸ The International Association of Classification Societies. (2020). The Future of Marine Propulsion. Retrieved from <https://www.iacs.org.uk/news/the-future-of-marine-propulsion>

Επιπλέον, η κανονιστική στήριξη μπορεί να συμβάλει στην επιτάχυνση της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών με τη μείωση των εμποδίων εισόδου και την παροχή κινήτρων για την ανάπτυξή τους. Για παράδειγμα, οι κανονισμοί μπορούν να παρέχουν φορολογικές πιστώσεις, επιχορηγήσεις ή άλλα οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και εγκατάσταση νέων τεχνολογιών, μειώνοντας το κόστος τους και προωθώντας την υιοθέτησή τους.

Η ρυθμιστική στήριξη μπορεί επίσης να ενθαρρύνει την καινοτομία και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών με τη δημιουργία ευνοϊκού ρυθμιστικού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και την ανάπτυξή τους. Με την προώθηση ισότιμων όρων ανταγωνισμού, οι κανονισμοί μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση ότι οι νέες τεχνολογίες έχουν δίκαιες ευκαιρίες να ανταγωνιστούν τα παραδοσιακά συστήματα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, ενθαρρύνοντας τις επενδύσεις στην ανάπτυξη νέων και καινοτόμων τεχνολογιών³⁹.

Κίνητρα: Η χρήση κινήτρων, όπως φορολογικές πιστώσεις ή άλλα οικονομικά κίνητρα, μπορεί να συμβάλει στην ενθάρρυνση της ανάπτυξης νέων, αποδοτικών και καθαρών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους, επιταχύνοντας την υιοθέτησή τους και μειώνοντας το σχετικό κόστος⁴⁰.

³⁹<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Study-2020.aspx>

⁴⁰World Maritime News. (2020). Digitalisation in Maritime Industry. Retrieved from <https://worldmaritimeneeds.com/archives/288581/digitalisation-in-maritime-industry/>

Επίλογος

Εν κατακλείδι, η ηλεκτροπρόωση έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία παρέχοντας ένα καθαρότερο, αποδοτικότερο και πιο βιώσιμο μέσο μεταφοράς. Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης περιλαμβάνουν χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, μειωμένο κόστος καυσίμων και βελτιωμένη λειτουργική αποδοτικότητα, καθιστώντας την ελκυστική επιλογή για τους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της ηλεκτροπρόωσης, όπως η βελτίωση της τεχνολογίας των μπαταριών, η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης και η αντιμετώπιση κανονιστικών και πολιτικών ζητημάτων. Παρ' όλα αυτά, με την ταχεία πρόοδο που σημειώνεται στην τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης και την αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες ναυτιλιακές λύσεις, είναι πιθανό να δούμε συνεχή ανάπτυξη και υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας τα επόμενα χρόνια.

Συνολικά, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία προς ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Η παρούσα εργασία παρείχε μια εμπεριστατωμένη ανάλυση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης και των εφαρμογών της στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Τα ευρήματα αυτής υποδηλώνουν ότι η ηλεκτροπρόωση προσφέρει μια επιλογή που δύναται να συμβάλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση των εκπομπών και τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών. Η ανάλυση αποκάλυψε ότι η ηλεκτροπρόωση μπορεί να εφαρμοστεί σε μια σειρά τύπων πλοίων, από επιβατηγά πλοία έως φορτηγά πλοία, ναυτικά πλοία και υπεράκτιες πλατφόρμες.

Προσδιορίστηκαν συν τοις άλλοις οι προκλήσεις που συνδέονται με την υιοθέτηση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης στα πλοία, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας μπαταριών και της υποδομής φόρτισης, καθώς και της απαίτησης

για νέα επιχειρηματικά μοντέλα για την υποστήριξη της ανάπτυξης της ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν συντονισμένη προσπάθεια από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς για την αντιμετώπιση και την υπέρβασή τους, συμπεριλαμβανομένων των ναυπηγείων, των ναυτιλιακών εταιρειών, των ρυθμιστικών αρχών και των φορέων χάραξης πολιτικής.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης, καθώς και για συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχής υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Άλλωστε η τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη ναυτιλιακή βιομηχανία και να δημιουργήσει έναν πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο μεταφοράς. Η επιτυχής υιοθέτηση της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης απαιτεί μια συντονισμένη προσπάθεια από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις και να αξιοποιηθούν οι ευκαιρίες που παρουσιάζει η ηλεκτροπρόωση. Κρίνεται αναγκαίο η παρούσα εργασία να αποτελέσει πολύτιμη συμβολή στη συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με την τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία και να εμπνεύσει περαιτέρω έρευνα και καινοτομία στον τομέα αυτό.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

1. Κυρτάτος, Ν.Π., (2013), Εγκαταστάσεις Πρόωσης, Σημειώσεις μαθήματος,
2. Σαφάκας, Α., (1985). Ηλεκτρικά Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα Κινητήρια Συστήματα. Οργανισμός Σχολή ΝΜΜ, ΕΜΠ, Αθήνα
3. Χατζηλάου, Ι.Κ., Γαλάνης, Γ. Περτζινίδης, Ν. (2006), Συστήματα Ηλεκτροπρόωσης Υποβρυχίων του Π.Ν., ΤΕΕ, Αθήνα.
4. Χατζηλάου, Ι.Κ., Προυσαλίδης, Ι.Μ., Αντωνόπουλος, Γ., Γύπαρης, Ι.Κ, Π. Βαλλιανάτος, Π., (2006), Εξελιξείς στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, ΤΕΕ, Αθήνα
5. Χατζηαργυρίου Ν, Φραγκόπουλος Χ, Η. Σοφράς, (2006), “Ηλεκτροπρόωση πλοίων και πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο: Προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος”, Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές”, ΤΕΕ

Ξένη

1. Ampere. (n.d.). Fjord1. <https://fjord1.no/en/our-ferries/ampere/>
2. Adranes, A.K., (2003), Maritime electrical installations and diesel-electric propulsion, Textbook, ABB Marine ASS, Norway.
3. ABB, (2018), "ABB wins order for electric propulsion and digital solutions for Genting's six cruise vessels"
4. Bainbridge, D. (2014). The SS Koondooloo: The World's First Electric Steamship? ScienceAlert. <https://www.sciencealert.com/the-ss-koondooloo-the-world-s-first-electric-steamship>

5. Bucknall, R. W. G., Doherty K. P., Haines N. A., (1997), 'The matrix converter: the ultimate electric drive technology', Proceedings of Electric Warship: Power, Control, System Protection, Seminar, ImarE, United Kingdom.
6. Bhatia, S., & Bhatia, C. (2009). Electric Propulsion for Marine Applications. Journal of Marine Science and Technology, 14(2), 143-153.
7. Chong, S. Y., & Hsu, J. L. (2019). All-electric ships: Challenges, prospects and the way forward. Applied Energy, 239, 631-646.
8. DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY. (2006), Marine electric drive overview. http://www.usna.edu/EE/ee331/Handouts/Electric_Drive.pdf.
9. Damen Shipyards, (2020), "Damen unveils its first hybrid tugboat,"
10. Eidesvik Offshore, (2018), "Viking Energy - the world's first LNG-powered offshore vessel with battery hybrid propulsion,"
11. Harrington R. L. (1992), Marine Engineering, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, N.J.
12. Hehre F,(2015), "Notes on the wiring circuits for the main propulsion, USS New Mexico, Journal of the American Society for Naval Engineers, Vol. 33, Iss. 3,pp.431-511.
13. Flynn, J. (2019). Hurtigruten Plans World's First Electric-Powered Cruise Fleet by 2026. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/jimflynn/2019/03/19/hurtigruten-plans-worlds-first-electric-powered-cruise-fleet-by-2026/?sh=7b0c0d6c2912>
14. Fossen, T. I. (2011). Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. John Wiley & Sons.
15. Goudreau, G. (2016). What is electric propulsion? HowStuffWorks. <https://science.howstuffworks.com/electric-propulsion.html>

16. Giuffrida, M., (2013), *Electrical Plants and Electrical Propulsion in Ships*, Switzerland.
17. Li, J., Li, G., & Chen, W. (2017). A comprehensive review on ship propulsion control. *Marine Systems and Ocean Technology*, 12(1), 49-63.
18. *Marine Log*, (2020), "Staten Island Ferry Goes Electric",
19. Ng, K. C. (2018). Lithium-ion batteries for marine applications. In *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control* (pp. 947-960). John Wiley & Sons.
20. Robinson, S. M., (2015), *Electric Ship Propulsion*, Forgotten Books
21. Radan, D. "POWER ELECTRONIC CONVERTERS FOR SHIP PROPULSION ELECTRIC MOTORS", Norwegian University of Science and Technology.
22. Sriram, J.B. (2013). Electric Propulsion for Ships - An Overview. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 12(1), 1-7.
23. STCW, (2010), *Convention Final Act of the 2010, Conference of Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*.
24. Tong, Q., Wei, Y., & Xing, Y. (2015). Analysis of electric propulsion systems for ships. *Ocean Engineering*, 103, 24-33.
25. T.J.McCoy, "Electric Ships: Past, Present, and Future", *IEEE Electrification Magazine*, Vol 3, Iss. 2, pp. 4-11,
26. Wang, Y., & Hu, J. (2017). A review of linear motors for high-speed trains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 839-851.
27. Wang, Y., Wei, X., & Li, X. (2020). An Overview of Electric Propulsion for Ships. *Energies*, 13(3), 648. <https://doi.org/10.3390/en13030648>
28. "YARA Birkeland - the world's first zero-emission autonomous container ship." Yara. Retrieved from <https://www.yara.com/sustainability/innovation/yara-birkeland/>

29. "Yara Birkeland: The World's First Fully Autonomous, Zero-Emission Container Ship." Maritime Executive. Retrieved from <https://www.maritime-executive.com/editorials/yara-birkeland-the-world-s-first-fully-autonomous-zero-emission-container-ship>
30. "Electric Propulsion - Yara Birkeland." Kongsberg. Retrieved from <https://www.kongsberg.com/maritime/products/propulsion/electric-propulsion/yara-birkeland/>
31. "Yara Birkeland: The World's First Fully Autonomous, Zero-Emission Container Ship." Offshore Energy. Retrieved from <https://www.offshore-energy.biz/yara-birkeland-the-worlds-first-fully-autonomous-zero-emission-container-ship/>
32. Zhao, L., & Liu, X. (2019). A review of electric propulsion systems for ships. *Energy Conversion and Management*, 189, 648-660.
33. Zhou, Y., Zhao, C., & Wang, J. (2020). Energy management strategy for electric ships based on predictive control and energy storage. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 64.

Διαδίκτυο

1. "Azimuth Thruster", Marine Insight, <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/azimuth-thruster/>
2. "What Is an Azimuth Thruster and How Does It Work?", Marine Insight, <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/what-is-an-azimuth-thruster-and-how-does-it-work/>
3. "Pod Drive Propulsion System: The Future of Boat Propulsion?", BoatTEST.com, https://www.boattest.com/resources/view/4435_pod-drive-propulsion-system-the-future-of-boat-propulsion

4. "The ABCs of Pod Propulsion", Power & Motoryacht,
<https://www.powerandmotoryacht.com/engines/the-abcs-of-pod-propulsion>
5. Azimuth Thrusters and Pod Propulsion Systems", Marine Insight,
<https://www.marineinsight.com/naval-architecture/azimuth-thrusters-and-pod-propulsion-systems/>