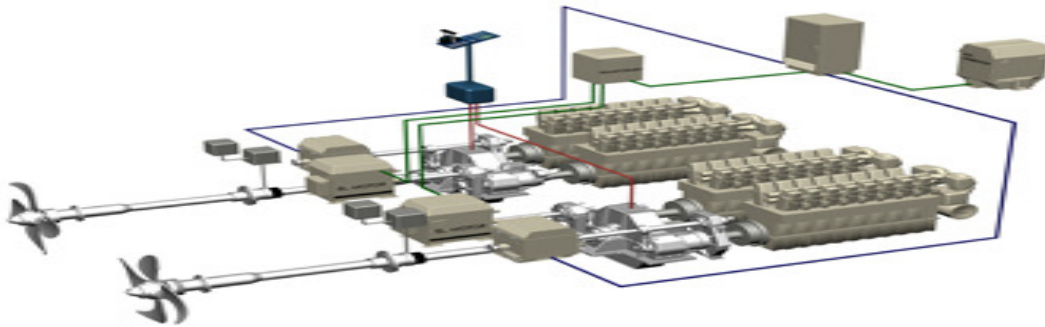


ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΘΕΜΑ : ΝΤΙΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ
ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ. (DFDE) DUAL
FUEL DIESEL ELECTRIC PROPULSION ON MODERN LNG
CARRIERS**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΚΟΥΜΛΑΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΑΑΝΤ ΦΑΝΤΙ Α΄ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Ν.

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2014

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΝΤΙΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ
ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ. (DFDE) DUAL
FUEL DIESEL ELECTRIC PROPULSION ON MODERN LNG
CARRIERS**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΚΟΥΜΛΑΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ

ΑΜ : 4558

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Η πρώτη μεταφορά φυσικού αερίου (LNG) δια θαλάσσης πραγματοποιήθηκε το 1959, μεταφέροντας το φορτίο από την Αμερική στο Ηνωμένο βασίλειο, σε ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές οι οποίες τηρούσαν τους απαραίτητους κανονισμούς, χρήζοντας έτσι το πλοίο κατάλληλο. Η επιτυχής ολοκλήρωση αυτής της μεταφοράς συνέβαλε ριζικά στην ένταξη των LNG στο χώρο της ναυτιλίας τα μετέπειτα χρόνια. Τη δεκαετία του 1990 τα LNG γνωρίζοντας μεγάλη ανάπτυξη, ένταξαν την ντιζελοηλεκτρική πρόωση στο στόλο τους η οποία σήμερα αποτελεί η κυρίως πρόωση τους. Η ηλεκτρική πρόωση σαν ιδέα δημιουργήθηκε περίπου 100 χρόνια πριν χωρίς όμως να εφαρμοστεί, χρειάστηκε περίπου 40 χρόνια μέχρι την πρώτη της εφαρμογή σε πλοίο. Το 1950 ήταν το καθοριστικό έτος από το οποίο ξεκίνησε να εντάσσεται στα πλοία στηριζόμενη σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η πορεία της ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης από τότε συνέχισε σταθερή πορεία. Αναπτύχτηκε σημαντικά τα τελευταία 20 χρόνια χάρις την υψηλή ενεργειακή απόδοση και τους μειωμένους ρύπους προς το περιβάλλον. Παρά τα μειονεκτήματα της ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, τα πλεονεκτήματα υπερίσχυσαν με αποτέλεσμα την εφαρμογή της σε πολλούς τύπους πλοίων-σκαφών εξίσου αποδοτικά.

Abstract

The first transport of natural gas (LNG) by sea took place in 1959, transferring the load from America to the UK, in specially designed tanks which complied with the necessary regulations, so the ship had the proper requirements for the trip. Successful completion of this transfer has contributed fundamentally to the integration of LNG ships for the subsequent years. In the 1990s the great knowing LNG development, integrate diesel-electric propulsion in their fleet which today is the main propulsion for them. The electric propulsion as an idea created about 100 years ago but not implemented, it took about 40 years until its first application in a ship. The 1950 was the pivotal year of which began to be integrated into ships based in DC motors. The course of the diesel-electric propulsion since continued a steady course. Been developed significantly over the last 20 years thanks to its high energy efficiency and reduced emissions to the environment. Despite the disadvantages of diesel-electric propulsion, advantages prevailed resulting application in many types of ships boats equally efficiently.

Πρόλογος

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται αρχικά η γνωριμία με τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, δηλαδή η ιστορία τους στο χώρο της ναυτιλίας ,το λόγο τον οποίο δημιουργήθηκαν και ο τρόπος με το οποίο επιτυγχάνουν την πρόωση τους. Παρόλο που είναι αξιοσημείωτα πλοία και η εξέλιξη τους σημαντική αυτό που τα κάνει ξεχωριστά είναι ο τρόπος πρόωσης τους. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η ηλεκτρική πρόωση, η όποια χρησιμοποιείται περισσότερο από τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου αλλά επίσης και από άλλες κατηγορίες πλοίων-σκαφών εξίσου αποδοτικά.

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η ιστορική ανάδρομη των πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου, εξέλιξη τους με το πέρασμα των χρόνων και ο τρόπος πρόωσης τους.

Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι τύποι πλοίων στους οποίους λαμβάνει χώρα η ηλεκτρική πρόωση, εάν ωφελεί και ποσό αποδοτικός είναι αυτός ο τρόπος για τον κάθε τύπο.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η ηλεκτρική πρόωση, η ιστορική εξέλιξη, ο τρόπος μεταφοράς κίνησης και λειτουργίας και τέλος τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του προαναφερόμενου τύπου προώσεως.

Κεφάλαιο 1

1 Η ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ LNG

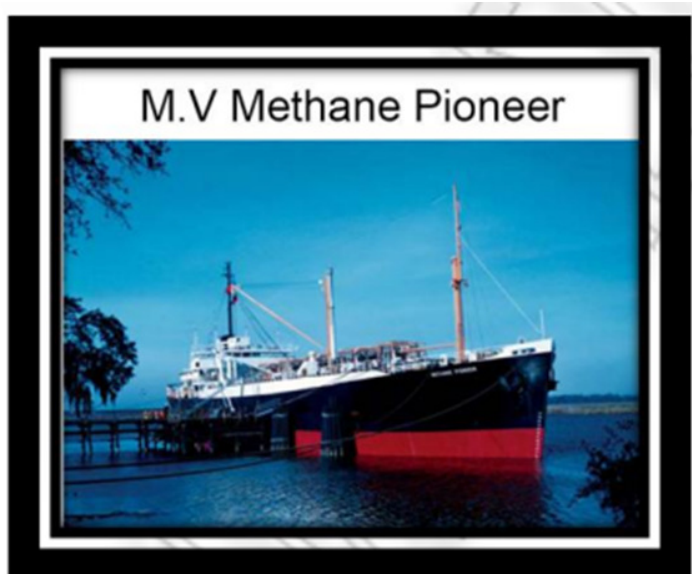
1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η θαλάσσια μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι μια πολύ εξειδικευμένη βιομηχανία μέσα στην αγορά των χύδην υγρών φορτίων. Αρχικά το υγροποιημένο αέριο προέρχεται από συγκεκριμένα πεδία εξόρυξης αερίων. Η επικίνδυνη φύση και οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του φορτίου απαιτούν ειδικές λιμενικές και άλλες εγκαταστάσεις, ενώ οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το φορτίο πρέπει να είναι κατασκευασμένες από κράματα μετάλλων που να αντέχουν στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Το φυσικό αέριο μεταφέρεται από το πεδίο εξόρυξης στον χώρο υγροποίησης και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές και μεταφέρεται με εξειδικευμένα πλοία σε απομονωμένες δεξαμενές φορτίου, οι οποίες διατηρούν το φυσικό αέριο σε υγρή μορφή κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Μετά την θαλάσσια μεταφορά του, το υγροποιημένο αέριο επαναεριοποιείται και μέσω αγωγών φτάνει στους χώρους κατανάλωσης.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG – ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΙ

Η πρώτη μεταφορά LNG δια θαλάσσης πραγματοποιήθηκε στις 25/01/1959 με το πλοίο Methane Pioneer (5 km³) το οποίο κατέπλευσε από την Λουιζιάνα (Lake Charles) με προορισμό το Ηνωμένο Βασίλειο. Ωστόσο, προγενέστερα δύο σημαντικά γεγονότα καταγράφονται στην ιστορία της θαλάσσιας μεταφοράς LNG:



- **1912:** το πρώτο εργοστάσιο LNG στην Δυτική Βιρτζίνια
- **1914:** ο Godfrey Cabot μεταφέρει με μια φορτηγίδα υγροποιημένο αέριο αποδεικνύοντας πως είναι εφικτή η θαλάσσια μεταφορά LNG

Μετά την πρώτη θαλάσσια μεταφορά LNG με το Methane Pioneer, ενδεικτικά αναφέρονται τα σημεία σταθμοί στην ιστορία της θαλάσσιας μεταφοράς LNG:

- **1964:** τα πλοία Methane Princess και Methane Progress (27,4 cm) ήταν τα πρώτα εμπορικά LNG πλοία εκτελώντας μεταφορές ανάμεσα σε Αλγερία και Ηνωμένο Βασίλειο
- **1969:** τα πρώτα πλοία μεμβράνης (gas transport membrane system vessels) ήταν το Polar Alaska και το Arctic Tokyo (71,5 cm) τα οποία μετέφεραν LNG από την Αλάσκα στο Τόκιο
- **1971:** αναπτύσσεται το σύστημα των σφαιρικών δεξαμενών (Kvaerner Moss)
- **1975:** το γαλλικής κατασκευής πλοίο Ben Franklin ξεπερνά τα 100 cm (120 cm)
- **1979:** σχηματίζεται η παγκόσμια ένωση των πλοιοκτητών gas carriers και των διαχειριστών τερματικών (International Gas Tanker & Terminal Operators – SIGTTO) για την προώθηση και την βελτίωση της αξιοπιστίας στην διαχείριση και λειτουργία των gas carriers και των τερματικών.
- **1993:** τα πρώτα πλοία που διαθέτουν πρισματικές IHI SPB (Self Supporting Prismatic IMO Type B) είναι το Polar Eangle και το Arctic Sun, εκτελώντας μεταφορικές υπηρεσίες από την Αλάσκα στο Τόκιο

1.3 ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG

1.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ

Τα πλοία LNG έχουν ειδικές απομονωμένες δεξαμενές και διατηρούν το φυσικό αέριο σε υγρή μορφή καθ' όλη την διάρκεια του ταξιδιού. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πλοίων ανάλογα με τις τεχνολογίες που έχουν εφαρμοσθεί στην κατασκευή τους. Σε γενικές γραμμές, οι οικονομική ζωή τους διαρκεί έως 40 χρόνια, με την προϋπόθεση ότι εκτελούνται οι απαραίτητες συντηρήσεις.

Τα LNG πλοία διακρίνονται στις κάτωθι βασικές κατηγορίες:

Ανεξαρτήτων δεξαμενών (independent tank systems):

- Σφαιρικές δεξαμενές (Kvaerner Moss/ Moss Rosenberg)
- Πρισματικές IHI SPB (Self Supporting Prismatic IMO Type B)



Μεμβράνης (Membrane systems):

- Gas Transport (GT No. 96) system

- Technigaz Mark III
- CS1

Οι διάφορες τεχνολογικές βελτιώσεις στην κατασκευή των LNG πλοίων οδήγησαν στην εφαρμογή των πρισματικών δεξαμενών μεμβράνης οι οποίες κατασκευάζονται από ατσάλι και συνιστούν μια ομοιόμορφη πίεση και λιγότερες απώλειες φορτίου ενώ λιγότεροι είναι και οι περιορισμοί στην ποσότητα του φορτίου που μεταφέρεται.

Οι σφαιρικές δεξαμενές είναι αυτο-υποστηριζόμενες και δεν είναι αναπόσπαστες με την καρίνα του πλοίου αλλά υποστηρίζονται από ειδική κυλινδρική κατασκευή. Η χρήση του αλουμινίου, ενός υλικού με μεγάλη ελαστικότητα καθώς και το σφαιρικό σχήμα των δεξαμενών συνιστούν μεγαλύτερη σταθερότητα και δεν υπάρχουν περιορισμοί στο φορτίο.

Σε γενικές γραμμές, τα πλοία με σφαιρικές δεξαμενές είναι πιο δαπανηρά στην κατασκευή και η ναυπήγηση τους απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο. Αναλυτικότερα, έχουν κόστος μεγαλύτερο κατά ποσοστό 20% - 30% εν συγκρίσει με τα μεμβρανοειδή. Ο χρόνος κατασκευής τους είναι συνυφασμένος με τις τεχνολογίες που εκάστοτε απαιτούνται από τους πλοιοκτήτες αλλά και από τις επικρατούσες συνθήκες στην αγορά. Συνήθως, η κατασκευή ενός κανονικού μεγέθους πλοίου LNG με πρισματικές μεμβρανοειδής δεξαμενές (145,000 cm) διαρκεί 24 – 26 μήνες και για εκείνα με σφαιρικές δεξαμενές 26 – 28 μήνες.

Μια επιπλέον διάκριση των LNG πλοίων είναι βάσει μεγέθους:

- Med-max χωρητικότητας 75,000 m³
- Conventional χωρητικότητας 135,000 – 160,000 m³
- Atlantic-max χωρητικότητας 175,000 m³
- Q-flex χωρητικότητας 210,000 m³
- Q-max χωρητικότητας 250,000 m³ και άνω

Αναμφισβήτητα, οι τάσεις τείνουν προς την ναυπήγηση πλοίων τύπου μεμβράνης των οποίων τα χαρακτηριστικά της δομής του κέλφους του σκάφους μοιάζουν με εκείνα των παραδοσιακών φορτηγών πλοίων μεταφοράς πετρελαίου. Επιπλέον, για τα προαναφερόμενα LNG πλοία, τα πλεονεκτήματα έναντι άλλων τύπων συνοψίζονται ως εξής:

- Μεγαλύτερη χωρητικότητα
- Δυνατότητα διέλευσης από το Κανάλι του Σουέζ
- Ταχύτερη ψύξη των δεξαμενών
- Χαμηλότερο κόστος εξαιτίας των έμφυτων χαρακτηριστικών του συστήματος
- Αυξημένη ανταγωνιστικότητα λόγω της μεγαλύτερης χωρητικότητας των ναυπηγείων για τα εν λόγω πλοία

Είναι γεγονός πως μέχρι και την τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η ναυπήγηση των LNG πλοίων κυριαρχούσε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α, ωστόσο, σήμερα τα Ασιατικά ναυπηγεία έχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 70% των παραγγελιών δίνεται σε ναυπηγεία της Νότιας Κορέας ενώ τα ναυπηγεία στην Κίνα συμμετέχουν με ποσοστό ναυπήγησης 25% του νεότευκτου στόλου.

1.4 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΣΤΟΛΟΣ LNG

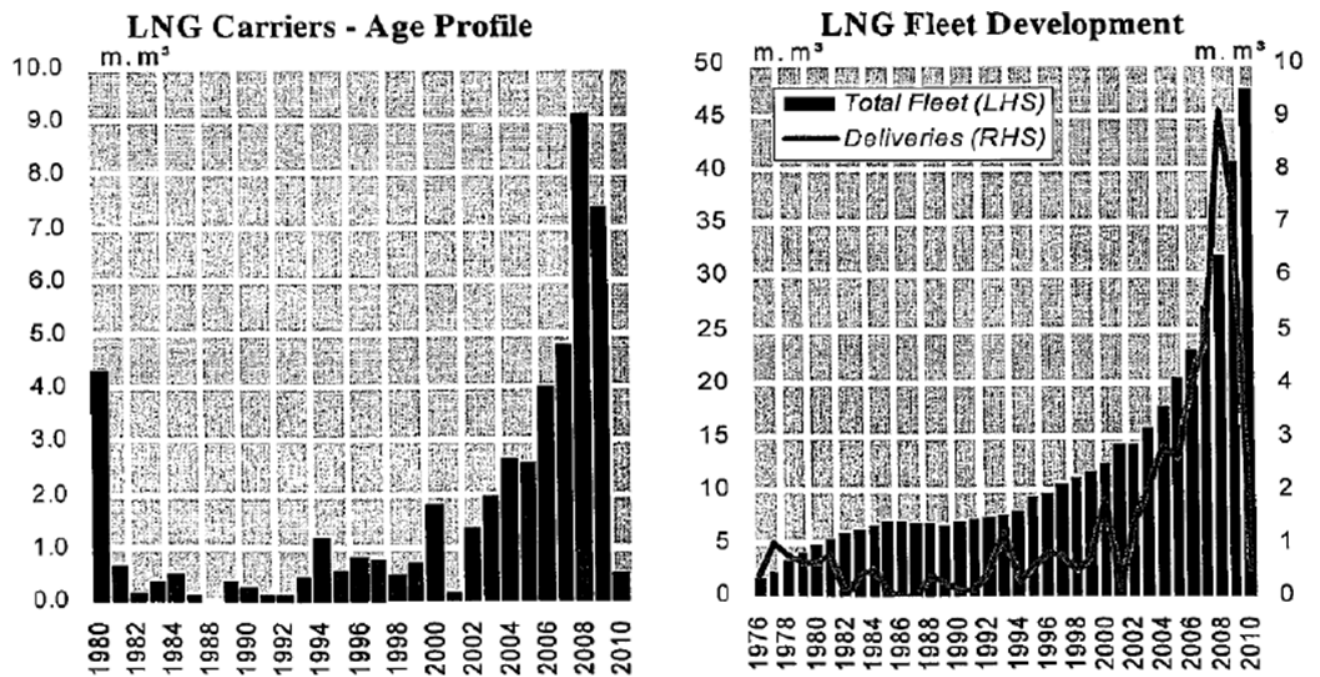
1.4.1 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΚΑΙ Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Συμβαδίζοντας με την ανοδική πορεία του κλάδου τα τελευταία χρόνια, είναι γεγονός πως ο στόλος των LNG πλοίων έχει αυξηθεί σημαντικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποσοστό αύξησης των πλοίων σε παγκόσμια κλίμακα ισοδυναμεί με ποσοστό 70% για την περίοδο 1999 έως 2005.

Οι εξελίξεις ήταν σημαντικές καθώς μόλις πριν λίγα χρόνια, το μέσο μέγεθος ενός LNG πλοίου ήταν μεταξύ 125,000 – 130,000 m³ ενώ στα σημερινά δεδομένα, ένα μέσο μέγεθος της εν λόγω κατηγορίας πλοίου είναι 150,000 m³. Βέβαια, σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι για πολύ μεγάλης χωρητικότητας πλοία (250,000 m³), υπάρχουν δυσκολίες ως προς την

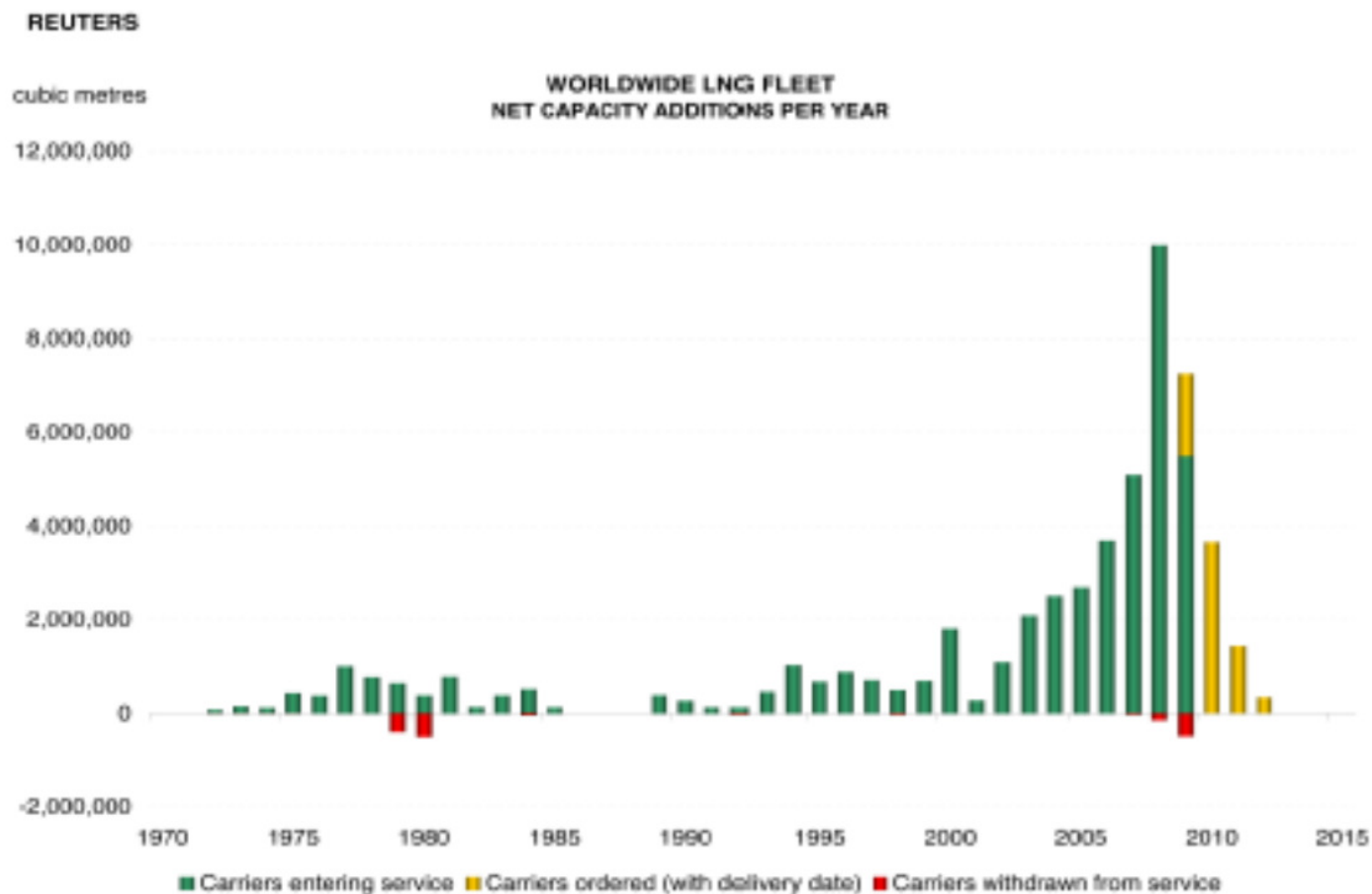
εξυπηρέτηση τους στα τερματικά στην Ευρώπη και έτσι επενδύσεις σε τέτοιας τάξης χωρητικότητας ενδεχομένως να υποθάλπει περιορισμούς στην δραστηριοποίηση σε συγκεκριμένες αγορές και σε θαλάσσιες διαδρομές αντιστοίχως.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ : Εξέλιξη του LNG στόλου



Μέχρι πρότιςτος, ο στόλος των LNG άνηκε σε εθνικούς μεταφορείς των εισαγωγικών και εξαγωγικών χωρών φυσικού αερίου. Όμως ολοένα και περισσότερες παραγωγικές χώρες σχηματίζουν στόλο ώστε να επωφεληθούν από την κερδοφορία στην LNG αγορά. Επισημαίνεται ότι το 10% του στόλου ανήκει σε νεοεισαχθέντες της αγοράς. Οι διεθνείς πετρελαϊκές εταιρείες όπως η BP έχουν τον δικό τους στόλο. Επιπλέον, ανεξάρτητες ναυτιλιακές εταιρείες έπρεπε να ξεπεράσουν τα εμπόδια εισόδου στον κλάδο καθώς η επένδυση σε εξειδικευμένα LNG πλοία είναι αρκετά δαπανηρή και προϋποθέτει αυστηρούς κανονισμούς ασφαλείας στην τεχνική διαχείριση τους.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ : Ο στόλος LNG σε παγκόσμιο επίπεδο



1.4.2 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ LNG ΠΛΟΙΩΝ

Αναμφισβήτητα, οι προϋποθέσεις και οι απαιτήσεις για την κατασκευή των LNG πλοίων είναι σαφώς υψηλότερες συγκριτικά με άλλους τύπους πλοίων. Η κατασκευή τους είναι περιορισμένη σε 15 ναυπηγεία ανά την υφήλιο και για αυτό το κόστος της επένδυσης σε LNG πλοία είναι πάρα πολύ υψηλό. Στην ναυπήγηση των LNG πλοίων, η Κορέα κυριαρχεί με τα δύο μεγάλα της ναυπηγεία (Daewoo και Samsung).

Σε γενικές γραμμές, οι τιμές των νεόκτιστων επηρεάζονται σημαντικά από την χωρητικότητα των ναυπηγείων αλλά και από το πόσο είναι διατεθειμένος ο πλοιοκτήτης να καταβάλει για την εν λόγω επένδυση

1.4.3 Η ΕΠΑΝΔΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Αναμφισβήτητα τα LNG πλοία είναι εξειδικευμένα πλοία που προϋποθέτουν την ύπαρξη έμπειρου και ικανού πληρώματος. Σε ένα LNG πλοίο, το σύνηθες πλήρωμα αποτελείται από 27 ναυτικούς:

- 5 αξιωματικούς γέφυρας (Deck Officers)
- 5 μηχανικούς (Engineer Officers)
- 17 ναύτες

Υπάρχει βέβαια και το υποστηρικτικό προσωπικό για την κάλυψη των ανωτέρω θέσεων σε περιπτώσεις ασθένειας, αδειών κτλ. Παράλληλα, ενίοτε είναι απαίτηση των ναυλωτών να υπάρχει πλεύσιμη εμπειρία σε LNG πλοίο για τον πλοίαρχο και τους υπαξιωματικούς τουλάχιστον 6 μήνες.

Η τεχνική πολυπλοκότητα των LNG πλοίων στρέφει το ενδιαφέρον στην ασφάλεια και στην αξιοπιστία και περαιτέρω στις διαδικασίες συντήρησης και αποκατάστασης των ζημιών. Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ικανού και άρτια εκπαιδευμένου πληρώματος όπως και η συνεχής εκπαίδευση του σε θέματα όπως:

- Ικανότητα διαχείρισης του φορτίου
- Πλήρης γνώση λειτουργίας των ηλεκτρονικών και μηχανικών μερών του πλοίου
- Διαχείριση συστημάτων επαναυδροποίησης του φυσικού αερίου πάνω στο πλοίο
- Συντήρηση των συστημάτων του πλοίου
- Καλή χρήση της αγγλικής γλώσσας ως τρόπο επικοινωνίας
- Συνεχής εκπαίδευση έτσι ώστε ο ναυτικός να συμβαδίζει με την εξέλιξη της τεχνολογίας

Επιπλέον, οι τεχνικές εκπαίδευσης του πληρώματος πρέπει να είναι προσανατολισμένες σε ζητήματα όπως:

- Τήρηση των κανονισμών του IMO, λοιπών Διεθνών Συνθηκών και αναγνωρισμένων κανόνων διεθνών οργανισμών:
- SIGTTO, Liquefied Gas Handling Principles on ships and terminals
- ICS, Tanker Safety Guide (Liquefied Gas)
- ICS/OCIMF, Ship to Ship Transfer Guide
- ICS, Guide to helicopters/Ship Operations
- Γνώση σχετική με τον σχεδιασμό ενός LNG πλοίου και τα συστήματα του
- Αντιμετώπιση κινδύνου και πυρκαγιών λαμβάνοντας υπόψη την επικινδυνότητα του μεταφερόμενου φορτίου

Κεφάλαιο 2

2 Εφαρμογές ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης

2.1 Επιβατηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια, οχηματαγωγά

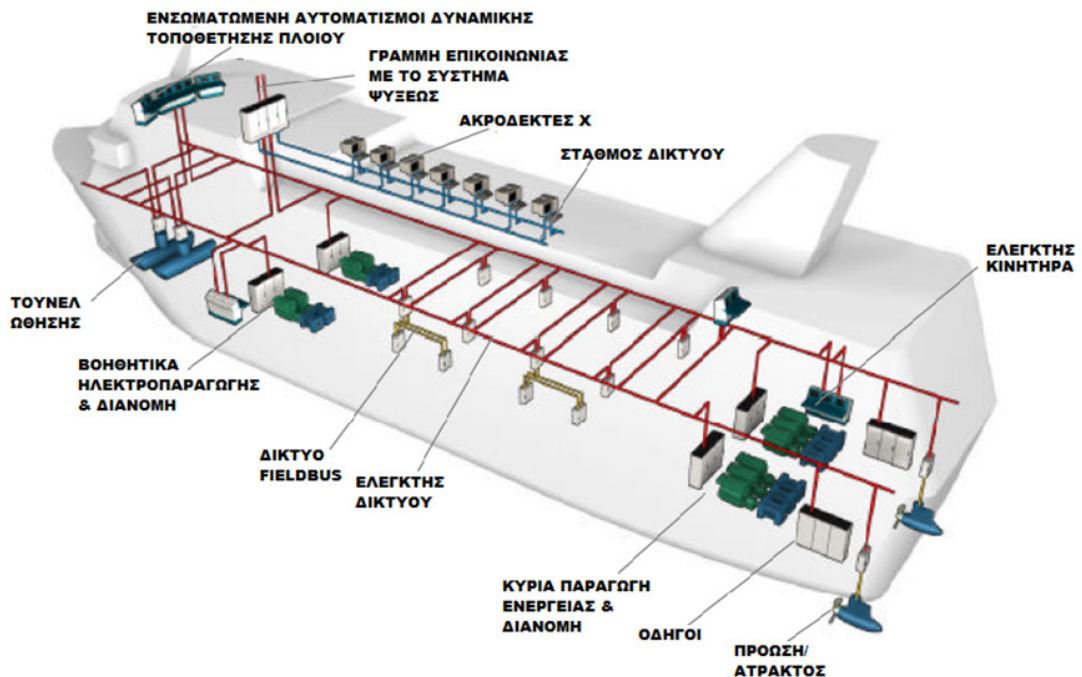
Επιβατικά πλοία, κρουαζιερόπλοια, οχηματαγωγά έχουν πολύ υψηλή απαίτηση για την επι του σκάφους άνεση σχετικά με το θόρυβο και τη δόνηση. Επιπλέον, η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα είναι πολύ κρίσιμες για την ασφάλεια των επιβατών και του σκάφους. Κατά συνέπεια, η ηλεκτρική πρόωση ήταν νωρίς για να αξιολογηθεί και να αποδειχτεί επωφελής έτσι ώστε να ληφθεί για χρήση. Η λίστα των κρουαζιερόπλοιων με ηλεκτρική προώθηση σήμερα είναι μεγάλη και συνεχίζει να αυξάνεται. Καθώς η πρόωση με άτρακτο φαίνεται να παρέχει σημαντικές βελτιώσεις στην ευκολία κινήσεων και κόστους των καυσίμων, με αύξηση της απόδοσης της πρόωσης έως και 10% , ένα μεγάλο και αυξανόμενο μερίδιο των κατασκευών, προσδιορίζονται με 'podded propulsion'.

Καθώς το ενδιαφέρον για το περιβάλλον αυξάνεται, οι απαιτήσεις των μειωμένων εκπομπών, διαρροές και οι ζημιές σε κοραλλιογενείς υφάλους από το αγκυροβόλιο των κρουαζιερόπλοιων αυξάνονται. Επομένως, το σκάφος πρέπει να διατηρήσει την κίνηση του αποκλειστικά από προωθητήρες "έλικας-πηδαλίου" συνεχούς ρεύματος ελεγχόμενη από τον πίνακα του συστήματος. Αυτό θα αυξήσει την ανάγκη για ηλεκτρική πρόωση και πρόωση με άτρακτο, στην αγορά των κρουαζιερόπλοιων ακόμη περισσότερο. Οι ίδιοι περιορισμοί και φορολογικές κυρώσεις για εκπομπές αερίων (CO_x, NO_x και SO_x) κατέληξαν ότι σε πολλές νέες κατασκευές των οχηματαγωγών για ποτάμια και στενά περάσματα θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης.

Με μια πρόσφατη ανάλυση χρονοδιαγραμμάτων και χρόνου δεσίματος σε αποβάθρα, η βελτιωμένη δυνατότητα κινήσεων της πρόωσης με άτρακτο έχει μειώσει σημαντικά τη κατανάλωση καυσίμου. Η προωστήρια ισχύς ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους, από μερικά MW για μικρότερα ferries έως 30-40 % MW για μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Το φορτίο

που χρησιμοποιείται για εκτός πρόωσης μηχανήματα (hotel load) μπορεί να είναι ένα σημαντικό μέρος της συνολικής ηλεκτρικής εγκατάστασης, για μεγάλο κρουαζιερόπλοιο συνήθως της τάξης των 10 έως 15 MW

Σχ. 2.1 Δείχνει μια σχηματική επισκόπηση των κύριων ηλεκτρικών και αυτοματοποιημένων εξαρτημάτων σε ένα τυπικό κρουαζιερόπλοιο ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης με άτρακτο.



2.2 Πετρέλαιο και Φυσικό Αέριο, εκμετάλλευση και εξερεύνηση: συγκροτήματα διάτρησης, πλοία παράγωγης και δεξαμενόπλοια.

Πριν από μερικά χρόνια εκτεταμένα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου ήταν προσβάσιμα σε ρηχά νερά και μπορούσαν να αξιοποιηθούν από σταθερό τρυπάνι και μονάδες

παραγωγής. Στη Βόρεια Θάλασσα, τον κόλπο του Μεξικού (Μαλαισία), και την Βραζιλία όπως και σε πολλές άλλες περιοχές, αυτοί οι νέοι πόροι που παρέμειναν, βρίσκονται σε μικρότερα και/ή λιγότερα διαθέσιμα μέρη στα βαθύτερα ύδατα. Αυτά τα πεδία απαιτούν νέες αποδοτικές μεθόδους για να επιτύχουν αποδεκτή οικονομία και κέρδος. Η βαθιά γεώτρηση σε νερά και οι πλωτές παραγωγικές μονάδες έχουν καταστεί πιθανά, με δυναμική τοποθέτηση ή με προωθητήρα (πηδάλιο) υποβοήθησης θέσης ελλιμενισμού.

Ο προωθητήρας (πηδάλιο) υποβοήθησης τοποθέτησης εφαρμόζεται στη Βόρεια Θάλασσα, στον Καναδά, και σε περιοχές με αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος. Στη Βραζιλία, τη Δυτική Αφρική, και στις σχεδιασμένες, USGOM (ΗΠΑ στον Κόλπο του Μεξικού) εγκαταστάσεις, πραγματοποιείται ελλιμενισμός χωρίς την βοήθεια προωθητήρα, για παραγωγή λαδιού, δυναμική τοποθέτηση και για διάτρηση βαθέων υδάτων. Οι προωθητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση σταθερού βήματος ενός ποντοπόρου πλοίου (DP operation) και συνήθως αποτελεί τη βασική πρόωση κατά τη μεταφορά καθώς και για ελιγμούς του σκάφους, είτε όλες/ ή επιλεγμένες μονάδες μόνο.

Χαρακτηριστικό των σκαφών αυτών είναι η μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς του προωθητήρα, συνήθως 20-50 MW. Μαζί με την παραγωγή, τη διάτρηση, βοηθητικά προγράμματα, και λειτουργία δίχως μηχανήματα πρόωσης, η εγκατεστημένη ισχύς είναι συνήθως 25-55 MW. Μια τυπική εγκατάσταση έχει μια κοινή μονάδα ηλεκτροπαραγωγής για όλα τα φορτία, παρέχοντάς ευελιξία στην εργασία με υψηλή ενεργειακή απόδοση και υψηλή διαθεσιμότητα.

Δεξαμενόπλοια μεταφοράς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πετρελαίου από παράκτιες εγκαταστάσεις (πλατφόρμες, σημαντήρες, πύργους ή FPSOs) για επεξεργασία ή τερματικό σταθμό αποθήκευσης στην ξηρά. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι εκφόρτωσης που χρησιμοποιούνται. Για τους περισσότερους τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς πρέπει να διατηρούν μια σταθερή θέση με υψηλή ακρίβεια που μπορεί να υπόκεινται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, τα περισσότερα από το δεξαμενόπλοια μεταφοράς είναι εξοπλισμένα με σύστημα σταθερής πορείας (DP system). Τα περισσότερα από τα πλοία έχουν εγκαταστήσει ηλεκτρική σήραγγα ή προωστήρες με αζιμούθιο, μερικοί επίσης έχουν ντίζελοηλεκτρικά συστήματα για την κύρια πρόωση.

Για πολλές εφαρμογές, υπάρχει υψηλός βαθμός πλεονασμού όσον αφορά τη προώθηση για τη μεταφορά και τη λειτουργία δίχως τα μηχανήματα προώσεως. Ως λύσεις έχουν κανονικά ένα εφεδρικό τροφοδοτικό παραγωγής και διανομής σύστημα, με χαμηλής πρόωσης μετατροπείς, και χαμηλής πρόωσης κινητήρα έναντι.

Η εισαγωγή της πρόωσης με άτρακτο μπορεί να επηρεάσει το σχεδιασμό των ντιζελοκίνητων ή ηλεκτροκίνητων δεξαμενόπλοιων μεταφοράς, δεδομένου ότι μπορεί να είναι μια πιο αποτελεσματική λύση για την απόκτηση χαμηλού βαθμού πρόωσης με μια μονάδα ατράκτου από ότι με δύο συμβατικά γραμμές άξονα.



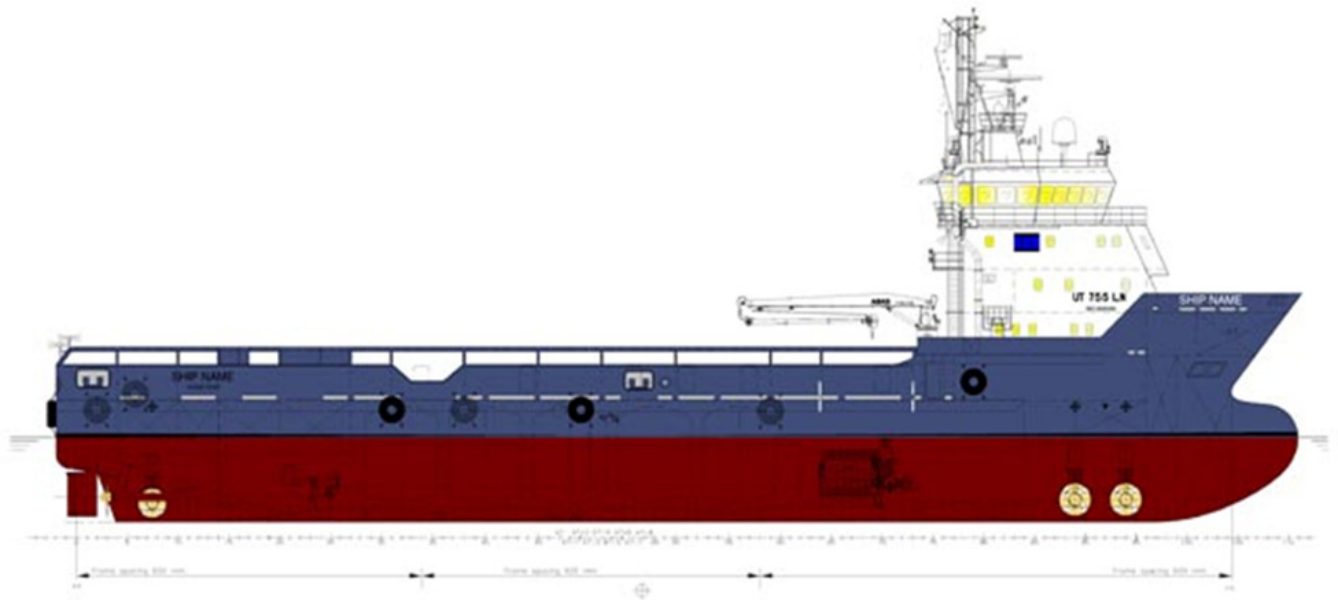
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα ηλεκτρικού συστήματος δόμησης για μια ημι-βυθιζόμενη μονάδα διάτρησης.

2.3 Σκάφη υποστήριξης εδάφους και υπεράκτια επισκευαστικά σκάφη

Για σκάφη με δυναμική θέση ως την κύρια κατάσταση λειτουργίας, όπως καταδυτικά σκάφη υποστήριξης, πλοία γερανοί, και επίστρωση σωληνώσεων-καλωδίων, η ηλεκτροκίνηση χρησιμοποιούνταν από νωρίς, αρχικά με σταθερή ταχύτητα έλικας και αργότερα με μεταβλητής ταχύτητας προωστήρες.

Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και περιβαλλοντικών εκπομπών από τη ντιζελοηλεκτροκίνηση σε σύγκριση με συμβατικά με τη μηχανική πρόωση είναι σημαντική για τα σκάφη με ένα διαφοροποιημένο επιχειρησιακό προφίλ. Εξοικονόμηση 30-40% της κατανάλωσης καυσίμων ετησίως έχει αναφερθεί από τους πλοιοκτήτες, και με το αυξημένο ενδιαφέρον για την λειτουργία κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της πετρελαϊκής βιομηχανίας, έχει δώσει μια μεγάλη αύξηση του αριθμού των σκαφών υποστήριξης του τομέα, πρώτη στη Βόρεια Θάλασσα, και αργότερα σε άλλες γεωγραφικές περιοχές.

Με την ραγδαία αυξανόμενη ανάγκη για το σύστημα υψηλής ταχύτητας επικοινωνίας και ένα παγκοσμίου οπτικών ινών καλωδιακό δίκτυο, έχει ιδρυθεί ένας μεγάλος στόλος καλωδιακών πλοίων με ηλεκτροκίνηση και δυναμική τοποθέτηση. Τα σκάφη αυτά θα τροποποιηθούν ως σκάφη δυναμικής θέσης, κατηγορίας 2 ή 3 (DnV, Lloyds και ABS), και τα περισσότερα θα έχουν ηλεκτροκίνηση με συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις των 8-30 MW, ανάλογα με το μέγεθος και την ικανότητα διάτρησης/ανύψωσης.



Εικ.2.3: Υπεράκτιο πλοίο ανεφοδιασμού με ηλεκτρική προώθηση.



Εικ. 2.4: Μερικά ανοικτής θάλασσας και επισκευαστικά σκάφη

2.4 Βυθοκόροι και την επισκευαστικά πλοία

Οι εγκαταστάσεις, ντιζελοηλεκτρική πρόωση και σύστημα διατήρησης θέσεως μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε σκάφη για εργασίες σε πιο ρηχά νερά, όπως π. χ. βυθοκόροι και επισκευαστικά πλοία, κλπ. Η ακριβή ευελιξία (ελιγμοί) με βελτιωμένη οικονομία καυσίμου, σε συνδυασμό με την ανάγκη να αλλάζουν χώρο εργασίας συχνά, είναι τα τυπικά κριτήρια απόδοσης στα οποία μπορεί να ωφελήσει η ηλεκτρική πρόωση σε αυτές τις εφαρμογές. Στα

πλοία με δυνατότητα επισκευής ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί καλύτερα σε συνδυασμό με τις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης πλοίων και την παράγωγη ισχύος πρόωσης και έτσι να επιτύχουν καλύτερη εφεδρεία και χρήση της εγκατεστημένης δυναμικής ισχύος.

2.5 Κότερα και σκάφη αναψυχής

Ένα μικρό και εξειδικευμένο σκάφος εφαρμογής ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα σκάφη αναψυχής (κότερα). Η άνεση και η περιβαλλοντική φιλικότητά αποτελούν βασικά κριτήρια σχεδιασμού των πλοίων αυτών, καθώς και το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης με υψηλές απαιτήσεις για χαμηλό επίπεδο κραδασμών και θορύβων, υψηλής απόδοσης είναι τώρα όλο και περισσότερο κοινά. Η εγκατεστημένη ισχύς προώσεως είναι συνήθως στο εύρος από 500kW έως 2000kW και για μεγαλύτερα πλοία ακόμη υψηλότερα.

2.6 Παγοθραυστικά και ποντοπόρα πλοία πάγου

Οι νέες δυναμικές απαιτήσεις για τους μετατροπείς συχνότητας σε εφαρμογή πρόωσης είναι χαμηλή, σε σύγκριση με πολλές άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Αλλά σε ποντοπόρα πλοία πάγου και παγοθραυστικά, οι μεταβολές του φορτίου μπορεί να είναι σημαντικές και ταχείες, και αυτό συνεπάγεται στο ότι το προωστικό σύστημα πρέπει να έχει υψηλή δυναμική απόδοση προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση των κατασκευαστικών στοιχείων και ανεπιθύμητη αυξομείωση. Η ηλεκτρική προώθηση έχει χρησιμοποιηθεί στην πλειονότητα των νέων πλοίων από την δεκαετία του 80. Η βασική διαμόρφωση μπορεί να είναι παρόμοια όσον αφορά την γενική διάταξη, με μια όμως γενιά εφεδρικού τροφοδοτικού και συστήματος διανομής, αν και κανονικά δεν θα υπάρξει οποιαδήποτε απαίτηση δυναμικής θέσης πλοίου για τα παγοθραυστικά. Η εκμετάλλευση του πετρελαίου στις αρκτικές περιοχές προκύπτει, υπάρχει επίσης μια αυξανόμενη ζήτηση για παγοθραυστικά και ποντοπόρα πλοία πάγου, υποστήριξης, συνοδεία, και δεξαμενόπλοια. Η εγκατεστημένη δύναμη πρόωσης μπορεί να είναι της τάξης των 5-55MW, ανάλογα με τη θραυστική ικανότητα του πάγου.



ΣΧ. 2.5: "M / S BOTNICA", παγοθραυστικό το οποίο χρησιμεύει ως ένα σκάφος εφοδιασμού σε θερινή περίοδο, που είναι εξοπλισμένα με Azipod (αζιμούθιο) πρόωσης.

2.7 Πολεμικά πλοία

Παρά το μεγάλο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της ηλεκτρικής πρόωσης σε πολεμικά πλοία, υπάρχουν πολύ λίγα συμβατικά πολεμικά πλοία με καθαρή ηλεκτρική προώθηση, διότι περισσότερο είναι να προβάλλονται. Στα υποβρύχια, ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης με κινητήρα πετρελαίου και μπαταρία αποθηκευμένη, κυψέλες καυσίμου. Η ηλεκτρική πρόωση για τα πολεμικά πλοία, εννοιολογικά, δεν έχει διαφορά πολύ από τα υπόλοιπα πλοία, αλλά οι λύσεις μπορεί να διαφέρουν αφού απαιτήσεις για διαθεσιμότητα και εφεδρεία είναι συνήθως αυστηρότερες. Επίσης, η ικανότητά του να αντέχει σε κραδασμούς και προσφέρει χαμηλό θόρυβο αποτελούν προαπαιτούμενα για την ηλεκτρική μονάδα όταν εφαρμόζεται σε ένα πολεμικό πλοίο.



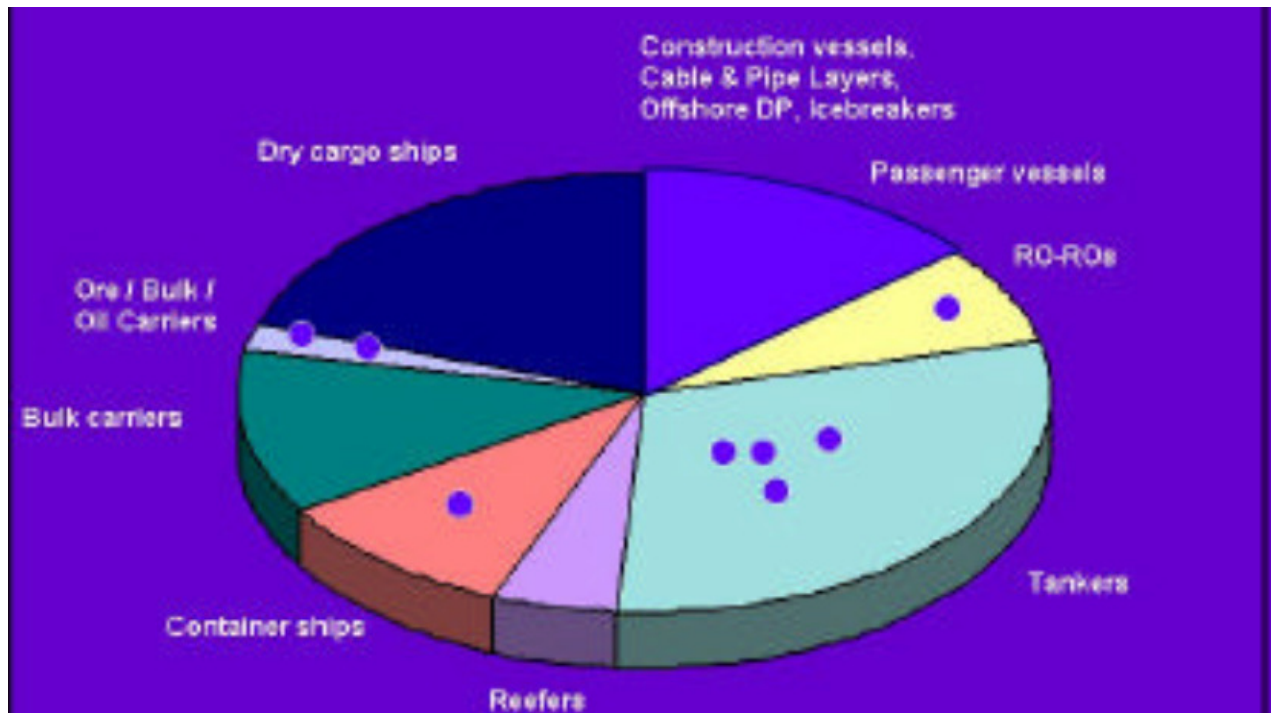
ΣΧ. 2.6 Δείχνει το K/V Svalbard, ένα σκάφος του λιμενικού σε λειτουργία από το 2002 για τη Ναυτικό της Νορβηγίας, που είναι εξοπλισμένο με διπλό σύστημα πρόωσης Azipod (αζιμούθιο), και εν μέρει εκπληρώνει στρατιωτικές υποχρεώσεις.

2.8 Ερευνητικά σκάφη

Γεωτεχνικά ερευνητικά πλοία, ωκεανογραφικά πλοία και σκάφη αλιευτικών ερευνών έχουν από κοινού πολύ αυστηρές υποβρύχιες απαιτήσεις για το θόρυβο, συνήθως αρκετά dB κάτω από τα φυσιολογικά επίπεδα για άλλες εφαρμογές. Αυτό παραδοσιακά έχει επιτευχθεί με τη χρήση της άμεσης προώθησης με κινητήρες συνεχούς ρεύματος, ειδικές εκτιμήσεις για το φιλτράρισμα, τη μείωση των κραδασμών και τη ροπή διακυμάνσεις. Με τη χρήση των σύγχρονων μετατροπέων συχνότητας και τεχνικές φιλτραρίσματος, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) κινητήρες έχουν καταστεί εφικτοί για τέτοιες υψηλές απαιτητικές εφαρμογές, και τώρα χρησιμοποιούνται και σε νέα σχέδια πλοίων.

2.9 Τάσεις και νέες εφαρμογές

Η ηλεκτρική προώθηση συνεχώς διερευνάται και αξιολογείται για νέες εφαρμογές. Πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου και πλοία μεταφοράς χημικών προϊόντων, οχηματαγωγά πλοία, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, αλιευτικά είναι τυπικά παραδείγματα του μεγάλου όγκου αγορών όπου ηλεκτρική προώθηση ακόμα δεν χρησιμοποιείται λόγω του κόστους των αυξημένων των επενδύσεων. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο μικρές αλλαγές στα κριτήρια λειτουργίας και σχεδιασμού, όπως αύξηση του κόστους καυσίμων ή εκπομπών, ρυθμιστικούς περιορισμούς και μείωση του κόστους εξοπλισμού, μπορεί να δώσει μια τεράστια αλλαγή στην εφαρμογή της τεχνολογίας, σε αρκετούς νέους τομείς.



ΣΧ. 2.7: Η παγκόσμια νέα αγορά κατασκευής των πλοίων. Η ηλεκτροκίνηση κυριαρχεί στους τομείς των κατασκευών, του καλωδίου και εφαρμογή σωλήνων, υπεράκτια, παγοθραυστικά και επιβατηγά πλοία. Σε άλλους τομείς, ηλεκτροκίνηση είναι μικρότερη σε χρήση αν και υπάρχει σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος για τις θεωρητικές μελέτες και τα σχέδια.

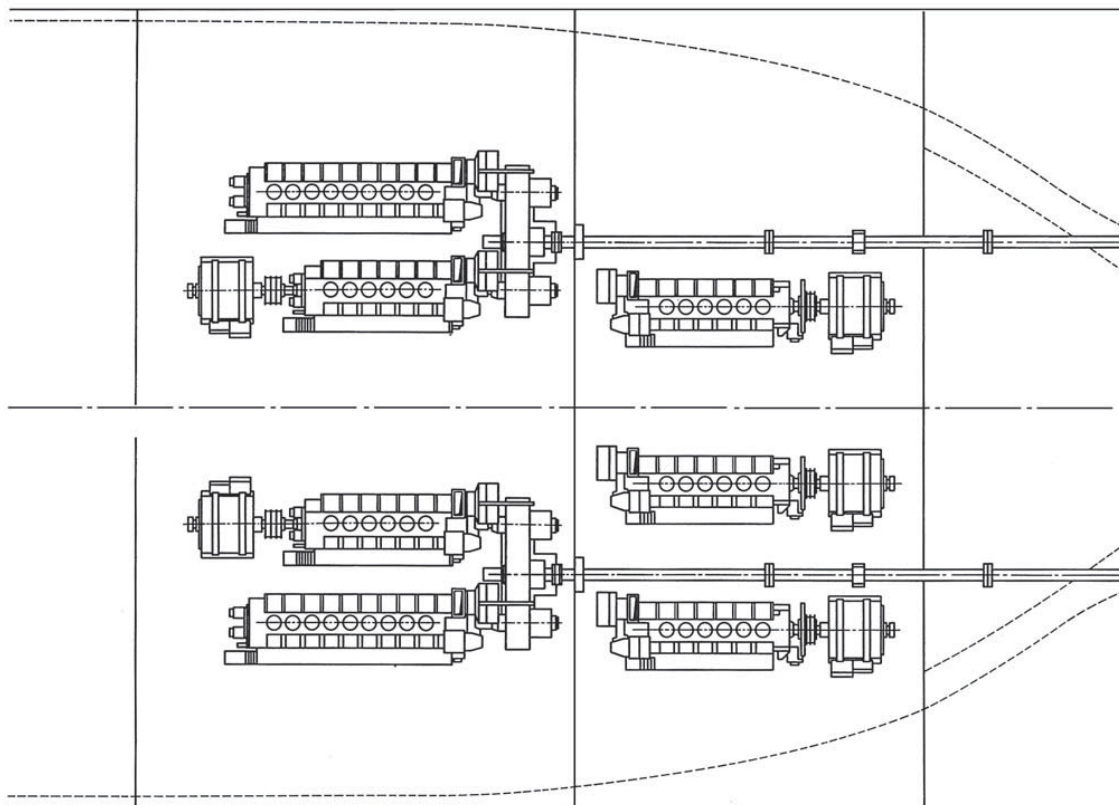
Κεφάλαιο 3

3 Ντιζελ-ηλεκτρική πρόωση

3.1 Ναυτικά συστήματα ντιζελ-ηλεκτρικής πρόωσης

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι παρούσες σε οποιοδήποτε σκάφος, από την τροφοδότηση του εξοπλισμού επικοινωνίας και ναυσιπλοΐας, του συναγερμού και του συστήματος παρακολούθησης, των αντλιών, των ανεμιστήρων, των βαρούλκων, μέχρι την εγκατάσταση υψηλής ισχύος για την ντιζελοηλεκτρική πρόωση. Η ντιζελοηλεκτρική πρόωση αποτελεί μία αναδύομενη περιοχή έρευνας για τους κλάδους της μηχανικής. Ναυπηγοί, μηχανολόγοι και ηλεκτρολόγοι μηχανικοί συνεργάζονται γύρω από κατασκευαστικά, λειτουργικά και οικονομικά ζητήματα. Η κοινή γλώσσα επικοινωνίας και η αμοιβαία κατανόηση μεταξύ των μηχανικών είναι απαραίτητα για την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού μιας εγκατάστασης ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης.

Η ντιζελοηλεκτρική πρόωση βασίζεται στη χρησιμοποίηση των πετρελαιοκινητήρων ως ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, την ισχύ των οποίων παραλαμβάνουν ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι κινούν τις έλικες του πλοίου. Οι συμβατικοί κινητήρες (πετρελαιοκινητήρες) εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης. Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση – εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.



Σ

χ. 3.1. Διάταξη «mother-daughter» για την πρόωση σκάφους με δύο έλικες. Διακρίνονται επίσης οι τρεις ανεξάρτητες ηλεκτρομηχανές, ενώ οι μικρότερες μηχανές κάθε ζεύγους (daughter) είναι συνδεδεμένες και με ηλεκτρογεννήτριες.

Η ηλεκτροπρόωση δεν αποτελεί καινούρια έννοια, η ιδέα δημιουργήθηκε περισσότερο από 100 έτη πριν. Επί μεγάλο διάστημα, τα συστήματα ήταν του τύπου Σ.Ρ./Σ.Ρ. (συνήθως συστήματα Ward – Leonard) δηλ. παραγωγή συνεχούς τάσης και κίνηση κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αρχίζει να χρησιμοποιείται στα πλοία στις αρχές της δεκαετίας του 1950, αλλά τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες Σ.Ρ., ελεγχόμενους από διατάξεις με θυρίστορς. Τα τελευταία 20 έτη η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος έφερε επανάσταση στον έλεγχο των ηλεκτρικών κινητήρων. Η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ., που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της πρόωσης από πλευράς τόσο ευελιξίας όσο και οικονομίας καυσίμου, έδωσε τη δυνατότητα για ευρύτερη διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία και έτσι στις μέρες μας εκατοντάδες πλοίων χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες ως μέσο πρόωσης. Το

2002 η εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης ήταν 6 – 7 GW, εκτός των εγκαταστάσεων σε εφαρμογές πολεμικών σκαφών υποβρυχίων και επιφάνειας.

Τη δεκαετία του '90, η ανάπτυξη των αζιμουθιακών προωστήρων, προσέφερε στα πλοία ευελιξία στις κινήσεις, ευκολία στις διελεύσεις από περιοχές υψηλής κινητικότητας και επικινδυνότητας και τη δυνατότητα δυναμικής τοποθέτησής τους (Dynamic Positioning – D.P.). Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κλπ. Γενικά, η ντιζελοηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση και στις προαναφερόμενες κατηγορίες εφαρμογών.

Σε πολλές από τις προηγούμενες εφαρμογές (π.χ., σε μεγάλα επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κλπ), είναι ενεργειακά και οικονομικά αποδοτική η συνολική αντιμετώπιση των αναγκών με ένα ολοκληρωμένο σύστημα, που θα παρέχει προωστήρια, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από τις ίδιες τις μηχανές (κινητήρες Diesel ή αεριοστρόβιλους που κινούν γεννήτριες και τα υψηλής θερμοκρασίας καυσαερίά τους προσφέρουν χρήσιμη θερμότητα). Έτσι, π.χ., για το δεξαμενόπλοιο που αναφέρθηκε παραπάνω, επιλέχθηκε ηλεκτρική πρόωση με ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος κυκλομετατροπέα (cycloconverter) και ενεργειακό σύστημα αποτελούμενο από τέσσερα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη συνολικής ισχύος 25100 kW και ένα ακόμη ισχύος 1200 kW. Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των υποβρυχίων. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν υποψήφιο σύστημα για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες, σε σχέση με τα εμπορικά πλοία, προδιαγραφές του πολεμικού ναυτικού διαφόρων χωρών, τόσο από άποψης περιορισμού χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστήριου συστήματος, προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης. Οι κύριες αιτίες της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος των πολεμικών ναυτικών για τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης είναι:

- 1) Η αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία και η τάση για την «ηλεκτροποίηση» των πλοίων με αποκορύφωση το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship – A.E.S.), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να στηρίζονται σε ηλεκτρομηχανική μετατροπή ενέργειας.
- 2) Η ανάγκη για περισσότερο «αθόρυβη» λειτουργία των πλοίων.
- 3) Η αναζήτηση συστημάτων πρόωσης με χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και μειωμένων απαιτήσεων προσωπικού.
- 4) Και κυρίως η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθούν πλήρως τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης. Τέτοιες τεχνολογίες είναι κυρίως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχό τους.

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήρων που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5 – 2.5 MW).

3.2

3.3 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροπρόωσης

Μία σειρά πειραματικών εφαρμογών ηλεκτρικής πρόωσης πραγματοποιήθηκαν στο τέλος του 19ου αιώνα σε Ρωσία και Γερμανία όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών. Η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης εφαρμόστηκε περί το 1920. Ήταν αποτέλεσμα του μεγάλου ανταγωνισμού για μείωση του χρόνου των υπερατλαντικών ταξιδιών, μεταξύ των ναυτιλιακών εταιριών επιβατηγών πλοίων. Η μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε από στρόβιλο – ηλεκτρικά συστήματα.

Το πλοίο S/S Normandie χρησιμοποιούσε ένα τέτοιο σύστημα, ήταν το πρώτο σκάφος που διέσχισε τον Ατλαντικό Ωκεανό (1935) κινούμενο με 30 και πλέον κόμβους. Στρόβιλοι ατμού τροφοδοτούσαν τους σύγχρονους ηλεκτρικούς κινητήρες ισχύος 29 MW σε καθέναν από τους τέσσερις άξονες μετάδοσης κίνησης. Η περιστροφική ταχύτητα δινόταν από την ηλεκτρική συχνότητα των γεννητριών. Σε κανονική λειτουργία οι γεννήτριες τροφοδοτούσαν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, υπήρχε όμως και η δυνατότητα τροφοδότησης δύο μηχανών από μία γεννήτρια για ταξίδι χαμηλότερης ταχύτητας.

S.S. Normandie during the 1930s



Εικόνα 3.2 S/S Normandie (1935).

Με την εισαγωγή των μηχανών Diesel στο μέσο του 20ου αιώνα, η τεχνολογία ατμοστροβίλων και η ηλεκτρική πρόωση εξαφανίστηκαν λίγο πολύ από την εμπορική ναυτιλία μέχρι τη δεκαετία του '80. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος και συγκεκριμένα των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων, έφεραν τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα πάλι στα πλοία. Αρχικά περί το 1970 μέσω των ανορθωτών (E.P./Σ.Ρ.) για τον έλεγχο μηχανών πρόωσης Σ.Ρ. και στη συνέχεια το 1980 με τη χρήση των μετατροπέων E.P./E.P. για τον έλεγχο μηχανών E.P., έχουμε τη δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης. Το προωστήριο σύστημα τροφοδοτείται πλέον από ένα ισχυρό δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας. Μέσω του ελέγχου των στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων στρέφονται οι έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propellers – FPP). Αυτές οι λύσεις αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε ειδικές κατηγορίες πλοίων όπως ερευνητικά και παγοθραυστικά πλοία αλλά και σε κρουαζιερόπλοια. Το “S/S Queen Elizabeth II”, μετατράπηκε σε ηλεκτροκίνητο περί το 1975, στη συνέχεια ακολούθησαν και άλλα πλοία όπως τα κρουαζιερόπλοια Fantasy και Princess, shuttle tankers κ.α.. Σημειωτέον, στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση η ώση συνήθως ελέγχεται μέσω ενός υδραυλικού συστήματος αλλαγής του βήματος των ελίκων. Οι έλικες αυτές είναι γνωστές ως έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers – CPP).

Το 1990 έκανε την εμφάνισή του το αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης (podded propulsion). Σε αυτό ο ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται μέσα σε μια λοβοειδή κατασκευή ποντισμένη στη θάλασσα. Η έλικα, που είναι απευθείας συνδεδεμένη με τον κινητήρα, είναι σταθερού βήματος και το όλο σύστημα έχει τη δυνατότητα περιστροφής κατά 360° προσφέροντας στο πλοίο ευκινησία και ευελιξία (maneuverability). Από την πρώτη εφαρμογή στο κρουαζιερόπλοιο “M/S Elation”, τα αποτελέσματα ήταν τόσο ενθαρρυντικά ώστε να καθιερωθεί η αζιμουθιακή πρόωση στα νέα κρουαζιερόπλοια.



Σχήμα 3.3 Κρουαζιερόπλοιο “M/S Elation” με azipod (κάτω δεξιά) με σημαντικό ελεύθερο χώρο.

3.4 Ορολογία ηλεκτρικής πρόωσης

Η έρευνα γύρω από την ηλεκτρική πρόωση αναπτύσσεται ραγδαία στις μέρες μας, μια σειρά από επιστημονικούς όρους εντοπίζει κανείς στη σχετική βιβλιογραφία.

1) Πλήρης ηλεκτροπρόωση (Full Electric Propulsion – F.E.P.).

Η εγκατάσταση πρόωσης κατά την οποία το πλοίο κινείται αποκλειστικά από ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα ζεύγη κινητηρίων μηχανών – γεννητριών που τροφοδοτούν τους κινητήρες πρόωσης υπάρχουν αποκλειστικά για το σκοπό αυτό καθώς δεν τροφοδοτούν άλλα φορτία. Η ηλεκτρική ισχύς για όλους τους άλλους καταναλωτές του πλοίου παράγεται από άλλες γεννήτριες.

2) Ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση (Integrated Full Electric Propulsion – I.F.E.P.).

Η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης στην οποία τα ίδια ζεύγη κινητηρίων μηχανών – γεννητριών, τροφοδοτούν τόσο τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης, όσο και τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου.

3) Πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship – A.E.S.).

Το πλοίο που διαθέτει ολοκληρωμένη πλήρη ηλεκτροπρόωση και που επιπλέον σε ευρεία έκταση επιτελεί τις λειτουργίες του μέσω ηλεκτρικών μηχανημάτων και συστημάτων.

4) Ηλεκτρικό δίκτυο πρόωσης (Propulsion Network).

Το τμήμα εκείνο (ανεξάρτητο ή ενσωματωμένο) του ηλεκτρικού δικτύου πλοίου που τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία που σχετίζονται με την πρόωση.

5) Ηλεκτρικό δίκτυο χρήσης (Ship Service System).

Το υπόλοιπο, πλην δικτύου πρόωσης, ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου.

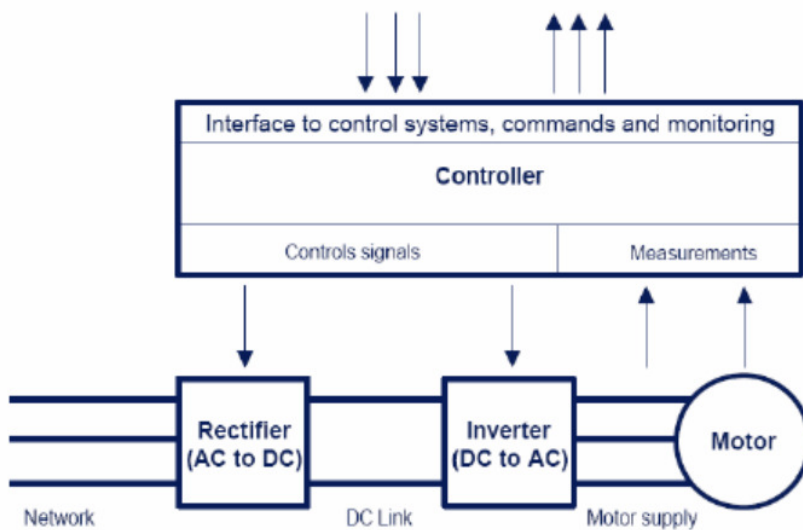
3.5 Ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος για οδήγηση ηλεκτρικών κινητήρων πρόωσης

Ο κυρίαρχος τύπος κύριας κίνησης για τις εγκαταστάσεις πρόωσης δυναμικής τοποθέτησης των πλοίων DP (dynamic positioning) είναι η ηλεκτρική κίνηση. Σχεδόν κάθε σύστημα DP που εγκαθίσταται στα σύγχρονα πλοία οδηγείται από μια ηλεκτρική μηχανή. Στην αρχή της εφαρμογής της τεχνολογίας δυναμικής τοποθέτησης, η οποία συνέπεσε με την εμφάνιση της τεχνολογίας των ανορθωτών με θυρίστωρες (SCR – Silicon Controlled Rectifiers), χρησιμοποιούνταν είτε μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος (E.P.) ελέγχοντας προωστήρες με έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers – CPP) με σταθερή ταχύτητα περιστροφής ή ελεγχόμενες από ανορθωτές (SCR) μηχανές συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) που με τη σειρά τους ελέγχουν προωστήρες με έλικες σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propellers – FPP) με μεταβλητή ταχύτητα περιστροφής. Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη των αντιστροφών

(inverters) χρησιμοποιούνται και μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνδυασμό με έλικες σταθερού βήματος οπότε και με μεταβλητή ταχύτητα περιστροφής για τον έλεγχο της ώσης.

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

- 1) Μετατροπείς Σ.Π./Σ.Π. ή ελεγχόμενοι ανορθώτες Ε.Π./Σ.Π. για οδήγηση κινητήρων Σ.Π.
- 2) Μετατροπείς Σ.Π./Ε.Π. για την οδήγηση ασύγχρονων και σύγχρονων κινητήρων.
- 3) Κυκλομετατροπείς (Ε.Π./Ε.Π.) (cycloconverters ή cyclo) για οδήγηση κυρίως σύγχρονων κινητήρων.

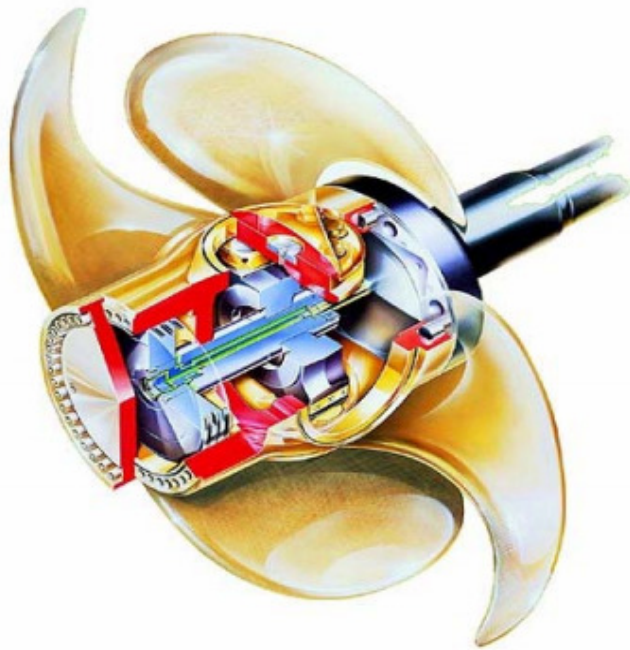


Σχήμα 3.4 Έλεγχος κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Π.).

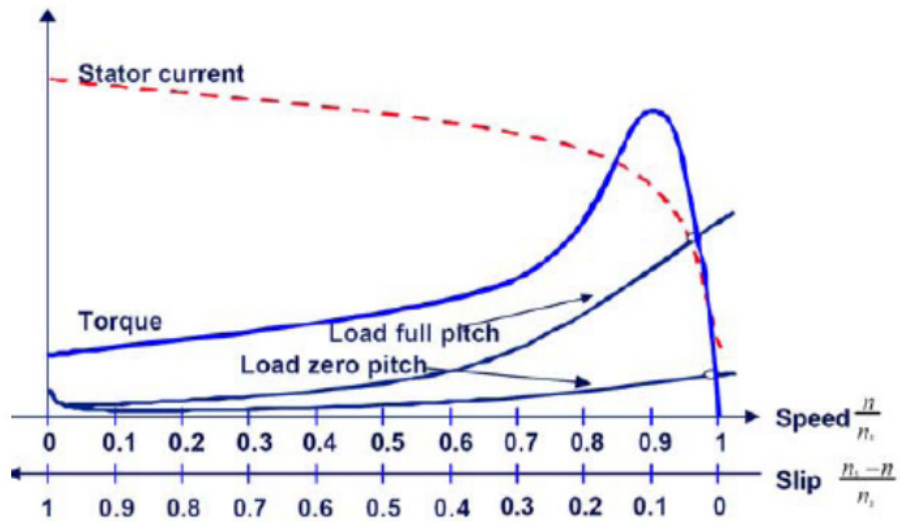
3.6 Συνδυασμός κινητήρα E.P. με έλικα μεταβλητού βήματος

Ο συνδυασμός κινητήρα E.P. με έλικα μεταβλητού βήματος (CPP) έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- 1) Γεννήτριες που τροφοδοτούν το δίκτυο σταθερής τάσης (4160 - 6000 VAC) και συχνότητας.
- 2) Οι έλικες στρέφονται από κινητήρες σταθερής ταχύτητας περιστροφής.
- 3) Πρόκειται για ένα σχετικά απλό ηλεκτρικό σύστημα.
- 4) Μέγιστη απόδοση μετατροπών για το σημείο ονομαστικής λειτουργίας.
- 5) Ο προωστήρας CPP είναι λιγότερο αποδοτικός από τον προωστήρα FPP για μερικές αλλαγές στο φορτίο της έλικας.
- 6) Το ηλεκτρικό κομμάτι ενός συστήματος E.P. – CPP αποτελεί μια απλή και αξιόπιστη λύση.
- 7) Οι έλικες σταθερού βήματος FPP είναι πολύ πιο απλές στην κατασκευή και τη χρήση τους από τις έλικες ελεγχόμενου βήματος CPP.
- 8) Σε απευθείας σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο ο ηλεκτρικός κινητήρας παρουσιάζει υψηλό ρεύμα εκκίνησης, 5 – 6 φορές πάνω από το ονομαστικό. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη, ώστε να επιλεγούν οι κατάλληλες γεννήτριες που θα εκκινήσουν ένα κινητήρα μεγάλης ισχύος. Η εκκίνηση με τρίγωνο και το πέρασμα σε αστέρα χρησιμοποιείται αλλά δεν είναι η καλύτερη λύση. Συσκευές ομαλής εκκίνησης χρησιμοποιούνται όπως αυτομετασχηματιστές για καλύτερα αποτελέσματα. Οι ομαλοί εκκινητές στερεάς κατάστασης (solid state soft starters) δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για υψηλές στάθμες ισχύος.



Σχήμα 3.5 Έλिका μεταβλητού βήματος της Schottel [4]

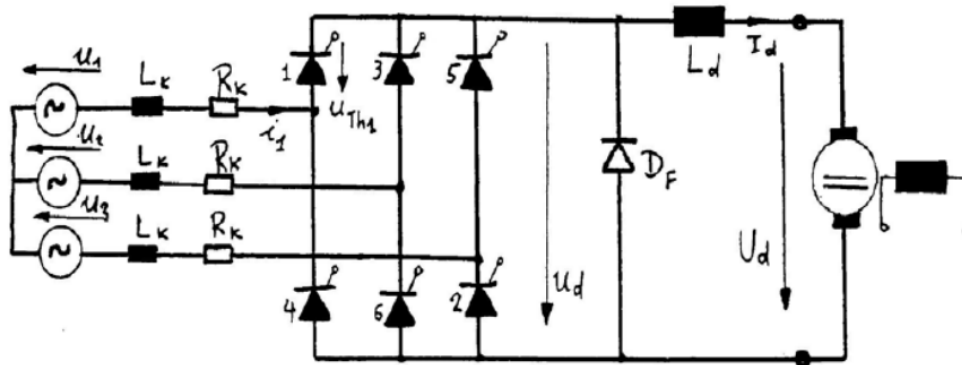


Σχήμα 3.6 Χαρακτηριστικές ασύγχρονου κινητήρα απευθείας συνδεδεμένου στο δίκτυο και φορτίου με έλικά μεταβλητού βήματος (CPP).

3.7 Συνδυασμός κινητήρα Σ.Ρ. με έλικα σταθερού βήματος

Ο συνδυασμός κινητήρα Σ.Ρ. με έλικα σταθερού βήματος (FPP) έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- 1) Εναλλασσόμενη τάση σταθερού πλάτους και συχνότητας παράγεται από τις ντιζελογεννήτριες.
- 2) Έλικες σταθερού βήματος (FPP) κινούνται από κινητήρες πρόωσης Σ.Ρ.. Αλλάζοντας τις στροφές και τη φορά περιστροφής της έλικας ελέγχεται το πλάτος και η διεύθυνση της ώσης.
- 3) Αυτό το είδος πρόωσης συνδυάζει, το αποδοτικό και αξιόπιστο δίκτυο Ε.Ρ. με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών Σ.Ρ. δηλαδή της υψηλής ροπής σε χαμηλές στροφές και της πολύ καλής δυνατότητας ελέγχου τους.
- 4) Ελεγχόμενοι ανορθωτές γέφυρας με θυρίστορς (Silicon Controlled Rectifier – SCR) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των κινητήρων Σ.Ρ.

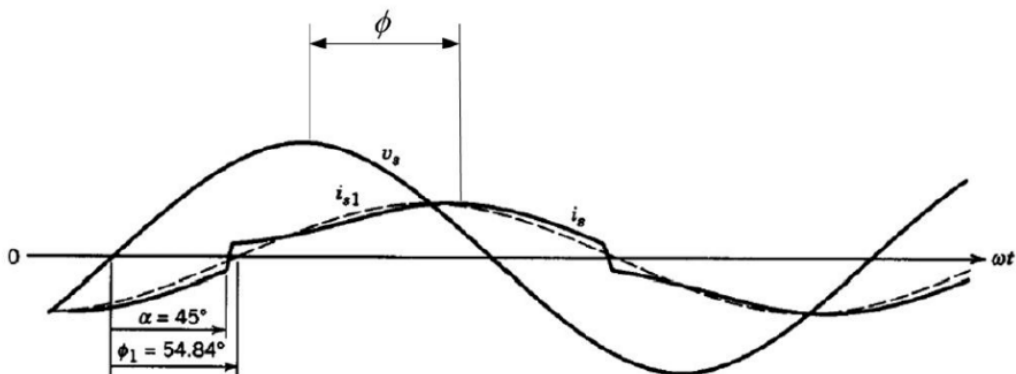


Σχήμα 3.7 Βασική δομή μετατροπέα 6 παλμών.

- 5) Οι στροφές της μηχανής πρόωσης εξαρτώνται από την τάση στο τύμπανο του κινητήρα.
- 6) Η τιμή της συνεχούς τάσης στην έξοδο της γέφυρας ελέγχεται καθυστερώντας την έναυση των θυρίστορς μέσω της γωνίας έναυσης α . Οι τιμές που μπορεί να πάρει η γωνία έναυσης είναι από 0° έως 180° οπότε και η τάση στο τύμπανο του κινητήρα πρόωσης παίρνει τιμές, $+1,35$ έως $-1,35 U_s$ (πολική τάση).

- 7) Η ροπή ελέγχεται ακριβώς και με χαμηλή κυμάτωση (εάν η επαγωγή L_d είναι μεγάλη, βέβαια αυτό επιδρά αρνητικά στην δυναμική απόκριση του συστήματος καθώς αυξάνεται η σταθερά χρόνου στο τύμπανο της μηχανής Σ.Ρ.).
- 8) Πρακτικά, η γωνία έναυσης α είναι μεγαλύτερη από 15° για να είναι δυνατός ο έλεγχος της μηχανής σε περίπτωση βύθισης της τάσης του δικτύου και μικρότερη από 150° θεωρώντας ένα περιθώριο φάσης για το φαινόμενο της μετάβασης (commutation) που εμφανίζεται στην τριφασική γέφυρα.
- 9) Σχετικά με τον συντελεστή ισχύος (Power Factor – PF). Το ρεύμα τυμπάνου λόγω της καθυστέρησης της έναυσης θα είναι μετατοπισμένο σε σχέση με την τάση του δικτύου, η διαφορά φάσης αυτή και ανάλογα με τη γωνία έναυσης α , αλλάζει τον συντελεστή ισχύος μεταξύ $0 - 0,96$. Θεωρητικά ο συντελεστής ισχύος υπολογίζεται από την εξίσωση παρακάτω. Στην πράξη, για την μικρότερη γωνία έναυσης των 15° η μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος είναι, σύμφωνα με την εξίσωση, $0,95$.

$$PF = \frac{3}{\pi} \cos \alpha \approx 0,955 \cos \alpha$$



Σχήμα 3.8 Απεικόνιση του συντελεστή ισχύος PF.

10) Σχετικά με τη απόδοση του συστήματος: Γεννήτριες E.P., 97 %, ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος, 98 %, κινητήρες πρόωσης Σ.Ρ. 94 %, μηχανικό σύστημα υποβιβασμού στροφών, 98 % (το οποίο δεν είναι πάντοτε απαραίτητο). Προκύπτει ένας συνολικός βαθμός απόδοσης 88%.

3.8 Μειονεκτήματα

- 1) Υπάρχουν όρια στην τάση, τα μέγιστα όρια είναι 600 VAC/750 VDC. Αυτό οδηγεί σε μεγάλες και ακριβές μηχανές και σε καλώδια μεγάλων διατομών.
- 2) Η χρήση ψηκτρών στους κινητήρες Σ.Ρ., η οποίες απαιτούν τακτική συντήρηση.
- 3) Το πρακτικό όριο ονομαστικής ισχύος για τους κινητήρες Σ.Ρ. είναι τα 2 – 3 MW.
- 4) Ο συντελεστής ισχύος ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 0,92 (για το πρακτικό κάτω όριο των 15° για την γωνία έναυσης) για 0 έως 100 % των στροφών του κινητήρα.
- 5) Ο χώρος στον οποίον θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρονικά ισχύος θα πρέπει να είναι καθαρός και να ψύχεται.
- 6) Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (Electromagnetic Interference – EMI) δρα ανεπιθύμητα στον υπόλοιπο ηλεκτρονικό εξοπλισμό του πλοίου.

3.9 Συνεργασία έλικας και κινητήρα πρόωσης

Στα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης συγκαταλέγεται και η ουσιαστική μείωση του αξονικού συστήματος των πλοίων,



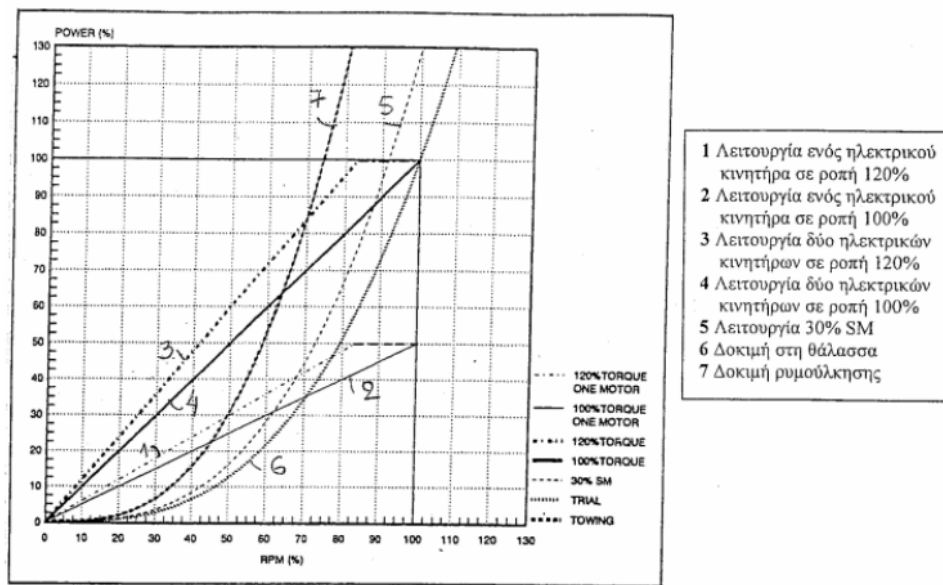
Σχήμα 3.9 Συγκριτική παρουσίαση αξονικών συστημάτων πλοίων.

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν το πλεονέκτημα συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο το διάστημα 0 – 100%. Επιπλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος. Όσον αφορά την έλικα ως μηχανικό φορτίο, ακολουθεί τον λεγόμενο «νόμο της έλικας» δηλ. η μηχανική ροπή ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας όπως περίπου και οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι ανεμιστήρες, αλλά μπορεί η χαρακτηριστική αυτή να είναι σταθερή (έλικα σταθερού βήματος) ή να μεταβάλλεται με αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων της (έλικα μεταβλητού βήματος).

3.10 Έλικα σταθερού βήματος

Καθώς η υπερτάχυνση δεν είναι δυνατή, η έλικα σχεδιάζεται έτσι ώστε να απορροφά τη μέγιστη συνεχή ισχύ (σημείο MCR) σε κατάσταση δοκιμών, δηλ. πλήρες φορτίο, καθαρή γάστρα και ήρεμο καιρό. Προκειμένου να είναι δυνατή η λειτουργία με πλήρη ισχύ σε δυσμενείς συνθήκες, το σύστημα πρόωσης συνήθως υπολογίζεται για τιμή κατά 10 – 20 % μεγαλύτερη της ονομαστικής, χωρίς αύξηση της ισχύος πέρα από τη μέγιστη συνεχή (MCR). Αυτό σημαίνει υπερδιαστασιολόγηση έλικας αξονικού συστήματος – μειωτήρα – κινητήρα – μετατροπέα κατά 10 – 20 %.

Το Σχ. 3.10 απεικονίζει τις καμπύλες απαιτούμενης ισχύος σε διάφορες καταστάσεις, καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικα.

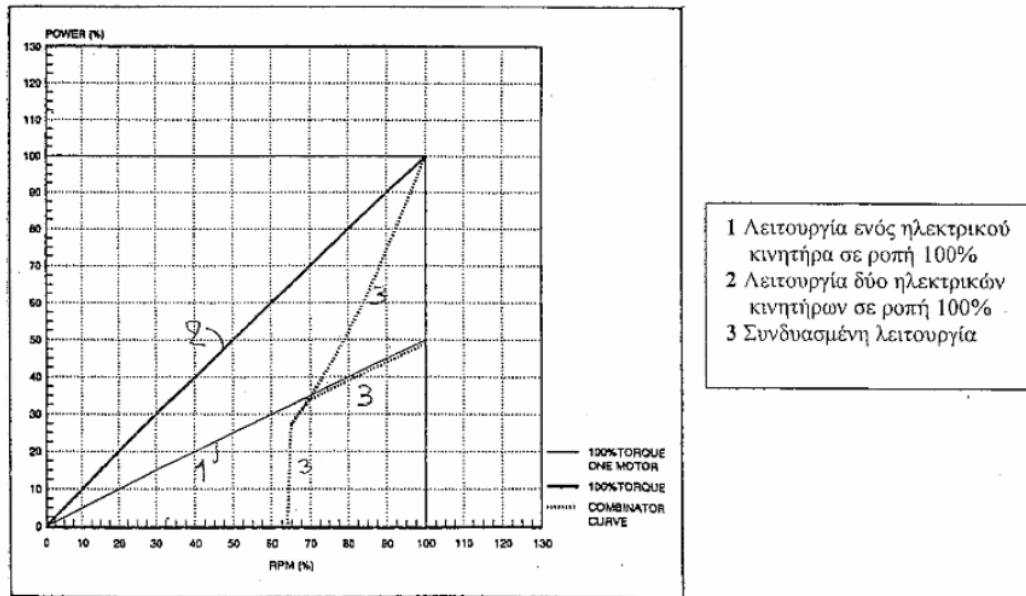


Σχήμα 3.10 Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικα σταθερού βήματος.

3.11 Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος

Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος – στροφών έλικας στο διάστημα 65 – 100% των στροφών, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λειτουργία και η καλύτερη δυνατή απόκριση κατά τους χειρισμούς. Όταν η έλικα είναι ρυθμιζόμενου βήματος δεν απαιτείται περιθώριο ροπής, διότι η μέγιστη ισχύς μπορεί σχεδόν πάντοτε να απορροφηθεί με ρύθμιση του βήματος.

Το Σχ. 3.11 απεικονίζει την καμπύλη της έλικας που προκύπτει με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος – στροφών, καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικα.



Σχήμα 3.11 Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικα ρυθμιζόμενου βήματος.

3.12 Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης

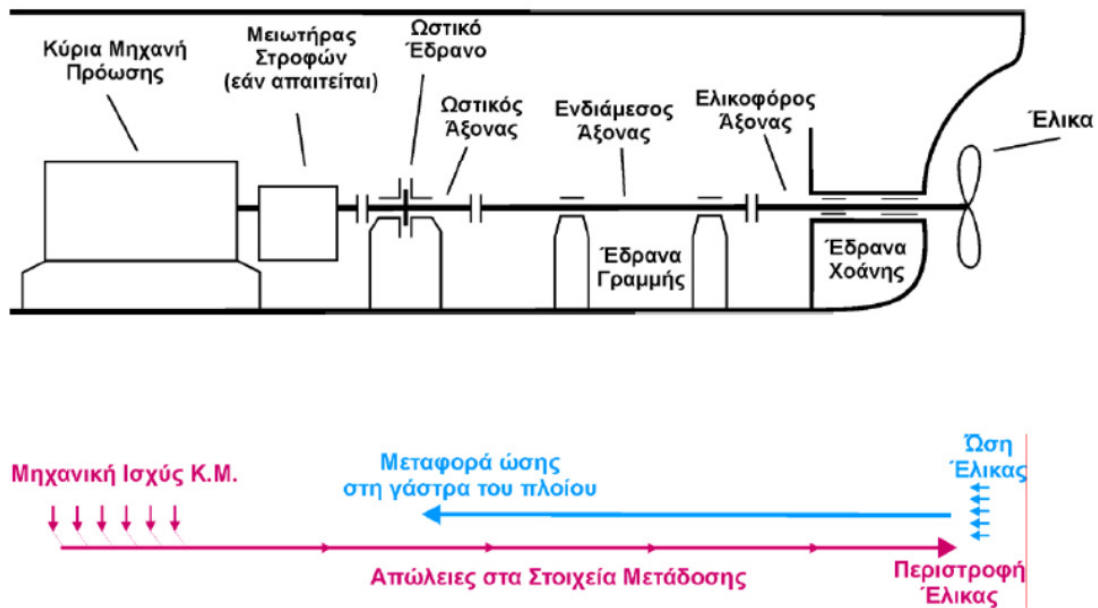
3.12.1 Κίνηση της έλικας με άξονα (shaft propulsion)

Σε αυτό το είδος πρόωσης οι έλικες ελέγχονται συνήθως από κινητήρες πρόωσης μεταβλητής ταχύτητας. Οι ηλεκτρικές μηχανές συνδέονται είτε άμεσα στον άξονα της έλικας, τρόπος απλός και στιβαρός, είτε μέσω μειωτήρων. Η χρήση μειωτήρων, οδηγεί στη χρήση μηχανών σχετικά υψηλών ονομαστικών στροφών, άρα και σε πιο συμπαγείς μηχανές. Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι περιλαμβάνουν αρκετά μηχανικά υποσυστήματα, οπότε και περισσότερες μηχανικές απώλειες.



Σχήμα 3.12 Σύστημα ηλεκτροπρόωσης της Converteam.

Η κίνηση της έλικας με άξονα (shaft propulsion) εφαρμόζεται σε ντιζελοηλεκτρικά συστήματα πρόωσης όπου η ισχύς τους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να προσφέρει ένα αζιμουθιακό σύστημα πρόωσης, μειώνονται όμως οι ελικτικές του ικανότητες και χρειάζονται βοηθητικά μέσα ελιγμών (π.χ. έλικες πλευρικής ώσης). Επίσης είναι απαραίτητη η χρήση πηδαλίων για κάθε έλικα. Συνήθως χρησιμοποιούνται έλικες σταθερού βήματος (FPP). Σε ορισμένες εφαρμογές παρόλο που οι στροφές τις έλικας είναι μεταβλητές χρησιμοποιούνται και έλικες μεταβλητού βήματος (CPP), συνδυασμός ο οποίος οδηγεί σε μεγαλύτερες αποδόσεις έλικας.



Σχήμα 3.13 Γενική περιγραφή αξονικού συστήματος μεταξύ κύριας μηχανής πρόωσης και έλικας.

3.13 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης

3.13.1 Πλεονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0 – 100 %.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μια να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.

- Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και, επομένως, αυξημένη ασφάλεια.
- Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων διότι:
 - 1) η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως,
 - 2) ιδιαίτερα οι εκπομπές NOx είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.
 - 3) σε εφαρμογές αμιγώς ηλεκτρικής πρόωσης με συσσωρευτές ή κυψέλες καυσίμου δεν υπάρχουν ρύποι ή είναι πολύ λιγότεροι (π.χ. σε εφαρμογές με κυψέλες καυσίμου με καύσιμο διαφορετικό του καθαρού υδρογόνου)
 - 4) Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενόπλοιων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

3.13.2 Μειονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης

Τα μειονεκτήματα της ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής :

- 1) Το υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να υπερκερνάται εύκολα.
- 2) Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε ένα συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel – έλικας ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4 %: 2 % στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα

μετάδοση προκαλεί απώλειες 7 – 8 %: 3 % στις γεννήτριες, 2 % στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 – 3 % στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

- 3) Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσης. Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο «ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος» που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις, πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος, ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλέκτρισης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

Συμπεράσματα

Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κ.ο.κ.). Η ηλεκτροπρόωση αποτελεί μία αρκετά δελεαστική επιλογή για τα πλοία και τα μικρότερα σκάφη που συνεχώς κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια μεταξύ των άλλων λόγω και της γενικά εντατικής εξέλιξης όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και κυρίως στον τομέα των διατάξεων ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102_hatzilaou.pdf
2. <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/121954-modern-electrical-propulsion-system-for-lng-tankers/>
3. [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/4acc81cd4a3ede45c1257b7b002de49a/\\$file/ABB_LNGCarrier_brochure-lowres.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/4acc81cd4a3ede45c1257b7b002de49a/$file/ABB_LNGCarrier_brochure-lowres.pdf)
4. http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4594/1/bairachtarisn_fcpropulsionsystem.pdf
5. http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102_prousalidis.pdf
6. <http://www.liquefiedgascarrier.com/advantages-electrical-propulsion-LNG-carrier.html>
7. <http://www.liquefiedgascarrier.com/duel-fuel-electrical-propulsion.html>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Abstract	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1	6
1 Η ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ LNG.....	6
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	6
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG – ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	6
1.3 ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ LNG	8
1.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ	8
1.4 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΣΤΟΛΟΣ LNG	10
1.4.1 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΚΑΙ Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	10
1.4.2 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ LNG ΠΛΟΙΩΝ	13
1.4.3 Η ΕΠΑΝΔΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ LNG ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ.....	14
Κεφάλαιο 2	16
2 Εφαρμογές ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης.....	16
2.1 Επιβατηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια, οχηματαγωγά.....	16
2.2 Πετρέλαιο και Φυσικό Αέριο, εκμετάλλευση και εξερεύνηση: συγκροτήματα διάτρησης, πλοία παράγωγης και δεξαμενόπλοια.....	17
2.3 Σκάφη υποστήριξης εδάφους και υπεράκτια επισκευαστικά σκάφη.....	20
2.4 Βυθοκόροι και την επισκευαστικά πλοία	22
2.5 Κότερα και σκάφη αναψυχής.....	23
2.6 Παγοθραυστικά και ποντοπόρα πλοία πάγου	23
2.7 Πολεμικά πλοία	24
2.8 Ερευνητικά σκάφη.....	25
2.9 Τάσεις και νέες εφαρμογές.....	25
Κεφάλαιο 3	27
3 Ντιζελ-ηλεκτρική πρόωση.....	27
3.1 Ναυτικά συστήματα ντιζελ-ηλεκτρικής πρόωσης.....	27

3.2.....	30
3.3 Ιστορική αναδρομή ηλεκτροπρόωσης.....	30
3.4 Ορολογία ηλεκτρικής πρόωσης.....	33
3.5 Ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος για οδήγηση ηλεκτρικών.....	34
κινητήρων πρόωσης.....	34
3.6 Συνδυασμός κινητήρα Ε.Ρ. με έλικα μεταβλητού βήματος.....	36
3.7 Συνδυασμός κινητήρα Σ.Ρ. με έλικα σταθερού βήματος.....	38
3.8 Μειονεκτήματα.....	40
3.9 Συνεργασία έλικας και κινητήρα πρόωσης.....	40
3.10 Έλικα σταθερού βήματος.....	41
3.11 Έλικα ρυθμιζόμενου ή μεταβλητού βήματος.....	42
3.12 Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	43
3.12.1 Κίνηση της έλικας με άξονα (shaft propulsion).....	43
3.13 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης.....	45
3.13.1 Πλεονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης.....	45
3.13.2 Μειονεκτήματα ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης.....	46
Συμπεράσματα.....	48
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	49