

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΖΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ  
2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΑΜ : 4338**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : 10/09/2013**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρεται επάνω στα συστήματα υδροπροώθησης. Ξεκινά πρώτα με μια ιστορική ανάδρομη για το πως ο άνθρωπος επινόησε τις πρώτες ιδέες όπως ήταν τα κωπήλατα πλοία, πλοία με πανιά, ατμόπλοια, τροχήλατα πλοία, και οι εμβολοφόροι παλινδρομικές μηχανές ατμού. Στη συνέχεια αναφέρεται στους κινητήρες Diesel, στα πλοία με ηλιακή ενέργεια, στα Hovercraft, στα πυρηνοκίνητα πλοία, σε ηλεκτροκίνητα πλοία, πλοία με LNG κινητήρες και αεροστρόβιλοι. Οι τουρμπίνες ατμού πλοίων που αναπτύχθηκαν από τον Sir Charles Algernon Parsons αύξησαν την αναλογία ισχύ-βάρος. Πέτυχε δημοσιότητα, αποδεικνύοντας ανεπίσημα στα 100-foot Turbinia στο έντυπο Spithead Naval Review το 1897. Οι μηχανές ντίζελ σύντομα προσέφεραν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από την τουρμπίνα ατμού, αλλά για πολλά χρόνια είχαν μια κατώτερη αντιστοιχία ισχύος-χώρου. Ο κινητήρας ντίζελ προσέφερε σύντομα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από την τουρμπίνα ατμού, αλλά για πολλά χρόνια διέθετε έναν κατώτερο βαθμό απόδοσης. Στα επόμενα κεφάλαια που είναι το δυο και το τρία αναφέρομαι σε πιο σύγχρονες ιδέες. Μια από τις σύγχρονες ιδέες είναι η προώθηση με Pods που είναι ένας ενδιαφέρων μηχανισμός και που έχει περισσότερο σχέση με diesel ηλεκτροκίνητα πλοία και στο σύστημα προώθησης Kamewa που πρώτο δημιουργήθηκε το 1849 από τους κατασκευαστές που έφτιαχναν τους λέβητες. Το σύστημα αυτό είναι ένας ενδιαφέρων μηχανισμός με πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την συνηθισμένη πρόωση. Ορισμένα από αυτά είναι η υψηλότερη ταχύτητα, αυξημένη ευελιξία, μειωμένος θόρυβος και Vibration, και εύκολη συντήρηση. Η συγκεκριμένη εργασία εξετάζει τα πιο ίσως σημαντικά συστήματα υδροπροώθησης που έχουν άμεση εφαρμογή σε εμπορικές εφαρμογές. Το πιο ίσως λιγότερο γνωστό σε πολλούς είναι τα πλοία με ηλιακή ενέργεια η οποία κατά την γνώμη μου θεωρείται μια από τις πιο πετυχημένες ιδέες στις μέρες μας και που ίσως δεν της έχει δοθεί το κατάλληλο ενδιαφέρον για περαιτέρω εξέλιξη. Τέλος η εργασία τελειώνει με την βιβλιογραφία και τα περιεχόμενα.

## ABSTRACT

This is a coursework on the hydro-propulsion systems. It first begins with an historical review to how the man invented the first ideas as the oared ships, the ships with sails, steamer ships, wheeled ships and reciprocating piston steam engines. Then refers to Diesel engines, ships with solar energy, Hovercraft, the nuclear-powered ships, motor boats, ships with LNG engines and turbines. The diesel engine soon offer greater efficacy than the steam turbine, but for many years had a lower rate of return. In the following chapters two and three I am referring to more modern ideas. One of the latest ideas is the Pod propulsion system which is an interesting mechanism, which has to do more with Diesel-electric powered ships and propulsion system Kamewa which was first created in 1849 by manufacturers who made the boilers. This system is an interesting mechanism with many advantages over the conventional propulsion. Some of them are higher speed, increased flexibility, reduced noise and vibration, and easy maintenance. This work examines perhaps the most important systems of hydro-propulsion that have direct application to commercial applications. Probably the one that is less known, is ships with solar energy which, in my opinion, is one of the most successful ideas nowadays and to which perhaps has not been given sufficient interest for further development. Finally, the work ends with bibliography and the contents.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Γενικά ο όρος πρόωση πλοίου σημαίνει κίνηση του πλοίου. Επικράτησε όμως να αναφέρεται μόνο για τα μηχανοκίνητα πλοία, που είναι περισσότερη ελεγχόμενη, έναντι των άλλοτε ιστιοφόρων, ( με ιστιοπλοΐα), και κωπήλατων, (με κωπηλασία).

Η πρόωση των μηχανοκινήτων πλοίων ξεκίνησε αρχικά με τους πλευρικούς ή πρυμναίο τροχό που ονομάζονταν τροχήλατα. Με την επικράτηση όμως της έλικας πρόωση πλοίου ονομάζεται η κίνηση του πλοίου που επιτυγχάνεται με μία ή περισσότερες έλικες οι οποίες και φέρονται επί αξόνων. Οι άξονες περιστροφής των ελίκων συνδέονται με τις κύριες μηχανές που χρησιμοποιούν ατμό που παρέχεται από τους ατμολέβητες, οι οποίοι και λειτουργούν είτε με καύση, αρχικά, κάρβουνου και εξελικτικά με καύση πετρελαίου, στα λεγόμενα ατμόπλοια, είτε ακόμη και με πυρηνική ενέργεια, όπως στα σύγχρονα πυρηνοκίνητα.

Η πρόωση μικρότερων μηχανοκινήτων σκαφών γίνεται με πετρελαιομηχανές ή βενζινομηχανές χαρακτηριζόμενες ανάλογα εκ της θέσης τους σε εσωλέμβιες, εσω-εξωλέμβιες και εξωλέμβιες μηχανές. Κοινά μέσα πρόωσης των πάσης φύσεως μηχανοκινήτων πλοίων και σκαφών είναι η έλικα και το πηδάλιο, με κάποιες εξαιρέσεις όπως τα αερόστρωμα, κοινώς "χόβερκραφτς". Στην παρακάτω πτυχιακή εργασία αναφέρονται όλα τα μέσα πρόωσης πλοίων αναλυτικά από την πρώτη βάρκα μέχρι και τις μέρες μας.

Πλοίο είναι πλωτό σκάφος, με μεγάλες διαστάσεις που έχει την ιδιότητα να κινείται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κύριο Καθηγητή της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Σχολής Μηχανικών Τζορμπατζίδη Ανέστη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την επίβλεψη αυτής. Καθώς και την Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Σχολής Μηχανικών.

## Κεφάλαιο 1

### Κωπήλατα πλοία



Η ιστορία των πλοίων είναι πολύ παλιά και δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο χρόνος κατασκευής των πρώτων πλοίων. Οι αρχαιότερες παραστάσεις πλοίων που βρέθηκαν, χρονολογούνται από το 3000 π.χ. και είναι κρητικές και αιγυπτιακές. Είχαν ως βασικό μέσο κίνησης τα κουπιά (20 κωπηλάτες) και ως βοηθητικό ένα διπλό ιδιότυπο ιστό. Τα ελληνικά πλοία της εποχής του Ομήρου, σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν στην Ιλιάδα ήταν γρήγορα, κομψά και "άφρακτα" (δηλ. χωρίς κατάστρωμα). Το πλήρωμα το αποτελούσαν 50 ως 120 άντρες που ήταν παράλληλα και κωπηλάτες. Το μήκος τους κυμαινόταν από 15 - 30 μ. και ήταν "μονήρεις νήες", είχαν δηλ. μια σειρά κουπιά. Αργότερα έγιναν "διήρεις" και "τριήρεις". Τα αρχαία πλοία γνώρισαν μεγάλη εξέλιξη και τελειοποιήθηκαν από τους Φοίνικες, την τεχνική των οποίων χρησιμοποίησαν επίσης οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι. Πολλά στοιχεία για την τεχνική τους δίνονται σε διάφορες ασσυριακές παραστάσεις.

Τα πρώτα πλοία με έμβολο κατασκευάστηκαν τον 8ο αι. π.χ. Τον 7ο αι. π.χ. τα πλοία απέκτησαν δύο σειρές κωπηλατών, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ταχύτητά τους. Γύρω στο 500 π.χ. οι Έλληνες και οι Φοίνικες τελειοποίησαν ακόμη περισσότερο τα πλοία τους, Προσθέτοντας και τρίτη σειρά κουπιών ("τριήρεις"). Αυτές είχαν μήκος 36 μ. και πλάτος περίπου 6 μ. Το βύθισμά τους ήταν μικρότερο από 1 μ., για να μπορούν να μεταφέρονται εύκολα στη στεριά. Τριήρεις χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στη

ναυμαχία της Σαλαμίνας, και αργότερα, στους κλασικούς χρόνους, ήταν το κυριότερο πολεμικό πλοίο. Η μέχρι τότε τεχνική υιοθετήθηκε και από τους Ρωμαίους, που μετά το 260 π.χ. κατανόησαν τη μεγάλη χρησιμότητα των πλοίων για πολεμικούς αλλά και για εμπορικούς σκοπούς. Στη διάρκεια των ελληνορωμαϊκών χρόνων και στα πρώτα χρόνια της Βυζαντινής αυτοκρατορίας δεν παρουσιάστηκαν ουσιαστικές βελτιώσεις στα πλοία.

Τα πρώτα κωπήλατα πλοία, απ' ό,τι φαίνεται στις διάφορες παραστάσεις που διατηρούνται, ήταν αρκετά μεγάλα. Είχαν περίπου 20 κωπηλάτες και το φορτίο τους ήταν υπολογίσιμα βαρύ για την εποχή. Παραστάσεις τέτοιων πλοίων, που χρονολογούνται απ' το 3000 π.χ., ήταν αιγυπτιακής προέλευσης. Υπάρχουν όμως κι άλλες παραστάσεις από φοινικικά και ασσυριακά πλοία. Γνωστό μάλιστα είναι πως οι Φοίνικες, λαός κατεξοχήν θαλασσινός, κατόρθωσαν ν' αποκτήσουν μεγάλο στόλο, πράγμα που τους βοήθησε στην κατάληψη της Καρχηδόνας και τη δημιουργία αποικιών στη Μασσαλία, Λισσαβόνα, Έδειρα κι έτσι έφτασαν μέχρι τον Ατλαντικό Ωκεανό. Τα φοινικικά πλοία ήταν για πολεμική κι εμπορική χρήση.

Οι Κρήτες επίσης είχαν κατορθώσει να φτιάξουν σπουδαία για την εποχή πλοία, που κινούνταν με κουπιά και πανιά. Άξιοι ναυτικοί καθώς ήταν έφτασαν μέχρι το σημείο να δημιουργήσουν την πρώτη θαλασσοκράτειρα δύναμη του κόσμου.

Οι πληροφορίες που υπάρχουν γύρω απ' τα αρχαία ελληνικά πλοία είναι αρκετά κατατοπιστικές και δείχνουν πως οι Έλληνες δεν έμειναν πίσω στην κατασκευή πλοίων και στη πλατιά χρησιμοποίησή τους. Το πρώτο πλοίο για το οποίο γίνεται συγκεκριμένα λόγος στην Ιστορία μας, είναι η Αργώ της αργοναυτικής εκστρατείας. Και μετά έρχονται τα ομηρικά έπη, για να μας δώσουν αρκετά και σαφή στοιχεία για τη ναυσιπλοΐα της εποχής. Τα καράβια που χρησιμοποιήθηκαν στις εκστρατείες των Ελλήνων ήταν αρκετά μεγάλα κι επανδρωμένα με 50-100 κωπηλάτες. Τα πλοία αυτά ήταν άφρακτα, δηλ. δεν είχαν κατάστρωμα και χρησίμευαν μάλλον για τη μεταφορά των πολεμιστών. Δύσκολα θ' άντεχαν αυτά τα πλοία σε ναυμαχία.

Ανάλογα με τον αριθμό των σειρών των κωπηλατών που είχαν τα πλοία, χωρίζονταν σε πεντηκοντήρεις (όταν είχαν μια σειρά από πενήντα κωπηλάτες), διήρεις (δύο σειρές κωπηλατών) και {τριήρης|τριήρεις}} (τρεις σειρές κωπηλατών). Οι τριήρεις κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά, όπως λέει η παράδοση, από τους Κορίνθιους και χρησιμοποιήθηκαν λίγο καιρό πριν απ' τους περσικούς πολέμους. Οι αθηναϊκές τριήρεις είχαν μήκος 36 μ. και δύναμη κωπηλατών από 200 άντρες.

Με μεγάλη καθυστέρηση εμφανίστηκαν στη Μεσόγειο τα ρωμαϊκά πλοία. Τύποι ρωμαϊκών πλοίων ήταν οι πεντήρεις (με πέντε σειρές κωπηλατών), τα λιντούρνια και οι δρόμωνες, που ήταν διήρεις με ψηλό άλμπουρο και πανί. Οι δρόμωνες ήταν κατεξοχήν πολεμικό πλοίο.

Από άποψη τεχνική, τα πλοία του μεσαίωνα δεν είχαν ιδιαίτερες εξελίξεις. Στηρίχτηκαν κυρίως στον τύπο του δρόμωνα, που τελειοποιήθηκε απ' τους μετέπειτα ναυπηγούς κι έτσι φτιάχτηκε η κορβέτα (κατά το 17ο αι.), που είχε τρεις ιστούς και κανόνια. Επίσης, της ίδιας εποχής περίπου είναι τα δίκροτα τα τρίκροτα και οι φρεγάτες, όλα πολεμικά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα πλοία του τέλους του μεσαίωνα, οι γνωστές караβέλες, που χρησιμοποιήθηκαν απ' τους μεγάλους ταξιδευτές του 15ου και 16ου αι. μ.χ. Καραβέλα ήταν η "**Σάντα Μαρία**", το πλοίο με το οποίο ο Χριστόφορος Κολόμβος έφτασε στην Αμερική. Επίσης, με караβέλες ταξίδευαν οι γνωστοί εξερευνητές Βάσκο ντε Γκάμα, Αμέρικο Βεσπούτσι, Μαγγελάνος κ.ά.

Ο κορμός του δέντρου που ο προϊστορικός άνθρωπος έσπρωχνε με την παλάμη του χεριού του, την οποία χρησιμοποιούσε σαν κουπί, έχει πολύ λίγα κοινά σημεία με τα σημερινά πλοία. Ένα όμως είναι το κοινό στοιχείο που μοιράζεται η μικρότερη βάρκα με το μεγαλύτερο υπερωκεάνιο: το σκάφος του ή κουφάρι, το κοίλο τμήμα του που επιπλέει. Η εφεύρεση του οχήματος που επιπλέει είναι τόσο σπουδαία για τις θαλάσσιες μεταφορές όσο ο τροχός για τις χερσαίες μεταφορές.

Οι κύριοι σταθμοί στην ιστορία των θαλάσσιων μεταφορών είναι τρεις:

- Το κουπί,
- Το πανί και
- Η μηχανή

Οι πανάρχαιες κρητικές και αιγυπτιακές παραστάσεις πλοίων από το 3000 π.χ., δίνουν την εντύπωση πως τα πλοία που διέθεταν ήταν πολύ μεγάλα, γιατί είχαν 20 κωπηλάτες και μετέφεραν σαν φορτίο αρκετά βόδια. Τα πλοία της αιγυπτιακής αυτοκρατορίας είχαν μόνο ένα κατάρτι που έμοιαζε με ανάποδο V και αποτελούνταν από δύο λεπτούς κοντούς κορμούς δεμένους μαζί ψηλά και στηριγμένους με ένα πολύπλοκο σύστημα σκοινιών πάνω στο κατάστρωμα. Οι Αιγύπτιοι σήκωναν το τετράγωνο πανί τους στην κορυφή αυτού του καταρτιού. Αυτά τα πλοία διέθεταν μακριά κουπιά που τα χειρίζονταν έμπειροι κωπηλάτες που στέκονταν όρθιοι. Αυτό δείχνει πως τα αιγυπτιακά πλοία είχαν αρχικά επινοηθεί για να πλέουν στο ποτάμι,



γιατί κανείς δεν μπορεί να σταθεί όρθιος και να χειριστεί κουπί στη ανοιχτή ταραγμένη θάλασσα.

Και οι Φοίνικες που ήταν θαυμάσιοι θαλασσοπόροι, είχαν βελτιώσει και τελειοποιήσει το πλοίο. Σίγουρα δεν θα είχαν καταφέρει να ταξιδέψουν μακριά από τη Βαλτική Θάλασσα, αν δε διέθεταν ένα ανωτέρου επιπέδου πλοίο και δε διέθεταν συνδυασμό κίνησης με κουπιά και πανιά, γιατί δεν θα μπορούσαν να καλύψουν τεράστιες αποστάσεις μόνο με τη δύναμη των χεριών τους. Οι Φοίνικες στην αρχή είχαν το ίδιο περίεργο κατάρτι με τους Αιγύπτιους. Μερικές φορές χρησιμοποιούσαν δύο πανιά, το ένα δεξιά και το άλλο αριστερά από το κατάρτι. Τελικά επικράτησε η λύση του ενός μεγάλου πανιού γιατί ήταν πιο απλή και εξίσου αποδοτική με τα δύο πανιά.



Πριν οι Έλληνες κατοικήσουν στο νότιο τμήμα της Βαλκανικής χερσονήσου και μεγαλουργήσουν, οι Κρήτες γνώριζαν στην εντέλεια να κατασκευάζουν πλοία και ήταν θαυμάσιοι ναυτικοί. Τα πρώτα ελληνικά πλοία ήταν τα ομηρικά. Αυτά ήταν χωρίς κατάστρωμα και είχαν για πλήρωμα από 50 μέχρι 120 άντρες και κωπηλατούσαν όλοι εκτός, από τον αρχηγό τους. Τα πλοία αυτά ονομάζονταν «μέλανοι» ή «κοίλα». Αν είχαν μια σειρά κουπιών ονομάζονταν «μονήρεις», και χρησιμοποιούνταν περισσότερο για μεταφορά πολεμιστών από ένα τόπο σε ένα άλλο. Αν είχαν δύο σειρές κουπιών ονομάζονταν «διήρεις» και αν είχαν τρεις ήταν οι

γνωστές μας «τριήρεις», που έμειναν στην ιστορία για τις άριστες πολεμικές τους δυνατότητες.

Οι Ρωμαίοι αν και ξεπερνούσαν τους Έλληνες σε πολλούς τομείς, άργησαν πολύ να αποκτήσουν αξιόλογη ναυτική δύναμη. Περισσότερο προτιμούσαν να κατασκευάζουν μεγάλα πλοία, τα οποία μπορούσαν να μεταφέρουν μέχρι 275 επιβάτες και όλα τα απαραίτητα εφόδια για αυτούς. Η κίνηση τους γινόταν με συνδυασμό κουπιών και πανιών και είχαν στερεωμένο μπροστά ένα έμβολο για να τρυπούν τα αντίπαλα πλοία στις ναυμαχίες. Στη μυτερή πλώρη τους έφτιαχναν επίσης και μια πλατιά εξέδρα που έμοιαζε με πύργο. Από αυτόν οι ρωμαίοι στρατιώτες πηδούσαν πάνω στα εχθρικά σκάφη που ήθελαν να κυριεύσουν.

Λίγα είναι τα στοιχεία που έχουμε για τα πλοία της βόρειας Ευρώπης και αυτά προέρχονται κυρίως από τις σφραγίδες κάποιων ναυτικών πόλεων που είχαν σαν σήμα τους κάποιο πλοίο. Τα πλοία αυτά διέθεταν πανιά και ήταν εμπορικά και ψαράδικα, ήταν μικρά και καλά κατασκευασμένα, αλλά δεν μπορούσαν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις. Τα πλοία του βορρά στηρίζονταν περισσότερο στον άνεμο για την κίνηση τους, παρά στη μυϊκή δύναμη. Τα κουπιά τα χρησιμοποιούσαν μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Τα πανιά που χρησιμοποιούσαν ήταν τετράγωνα, είχαν ένα τιμόνι δεξιά και ένα αριστερά στο πίσω μέρος τους και είχαν μόνο ένα κατάρτι. Την ίδια περίοδο στη Μεσόγειο άρχισαν να χρησιμοποιούν και ένα δεύτερο μικρό κατάρτι στην πλώρη, το οποίο με ένα μικρό πανί έδινε μεγαλύτερη ευστάθεια και μεγαλύτερη ευκολία στους ελιγμούς.

Πολύ ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα πλοία των Σκανδιναβών που ήταν θαλασσοπόροι από πολύ παλιά. Τα καράβια τους ήταν διαφορετικά από τα άλλα, με ομοιόμορφη πλώρη και πρύμη, χρησιμοποιούσαν ένα κουπί για τιμόνι και είχαν ένα τετράγωνο και διακοσμημένο πανί. Τα πρώτα από αυτά τα πλοία που ανήκαν στους Βίκινγκς, ανακαλύφθηκαν στη βόρεια Δανία το 1860. Κατασκευάστηκαν από τον 8ο αιώνα και το εκτόπισμά τους ήταν μεγαλύτερο από 30 τόνους. Τα πλοία των Βίκινγκς είχαν ένα κατάρτι στο κέντρο της πλώρης με ύψος 3 μέτρα περίπου. Τα καλύτερα πλοία που έφτιαζαν ονομάζονταν «ντράκαρ», τα οποία ήταν πολύ ελαφριά και μπορούσαν να πλέουν σε πολύ ταραγμένη θάλασσα. Μπορούσαν να πλέουν με άνεση στα βαθιά νερά και ήταν πολύ ευέλικτα με το βαρύ τιμόνι που είχαν στο δεξί μέρος της πρύμης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ναυμαχίας. Με το πλοίο αυτό οι Νορβηγοί ταξίδεψαν σε όλο το γνωστό τότε κόσμο. Ένα άλλο πλοίο που γεννήθηκε στη Σκανδιναβία ήταν το καγιάκ, το τελειότερο και ασφαλέστερο μονοθέσιο πλοίο που κατασκευάστηκε ποτέ.

Τα καγιάκ των Εσκιμώων αποτελούνται από ένα ελαφρύ ξύλινο σκελετό σκεπασμένο με δέρμα φώκιας. Στη μέση έχουν μια τρύπα στην οποία κάθεται ο επιβάτης, ο οποίος είναι από τη μέση και κάτω μέσα στο σκάφος με το υπόλοιπο κορμί του έξω. Το σώμα του ανθρώπου εφαρμόζει και γίνεται ένα με το σκάφος, και έτσι μπορεί να αψηφήσει κάθε καιρό την ώρα που ταξιδεύει.

Αιγυπτιακά και μινωικά πλοία. Είναι γνωστό ότι από το 6000 π.χ. και εξής άρχισαν να ναυπηγούνται μεγάλα πλοία στην Ανατολική Μεσόγειο. Οι Αιγύπτιοι κατασκεύαζαν πλοία από καλάμια, των οποίων τα άκρα έστρεφαν προς τα επάνω, ώστε να παίρνουν την μορφή της πλώρης και της πρύμνης. Ακόμη ανατολικότερα, στην Ερυθρά Θάλασσα, άρχισε η ναυπήγηση πλοίων από ξύλο, με αρκετή χωρητικότητα, χωρίς όμως τρόπιδες, με επίπεδη βάση και τετραγωνικά περίπου άκρα. Περί το 3000 π.χ. τα αιγυπτιακά πλοία ταξίδευαν στην Μεσόγειο, μέχρι την Κρήτη και τον Λίβανο, από όπου επανέπλεαν στην Αίγυπτο μεταφέροντας ξυλεία για ναυπήγηση των πλοίων τους. Τα αιγυπτιακά πλοία χρησιμοποιούσαν ξύλινα κουπιά για πρόωση, καθώς και για ελιγμούς, από την πρύμνη. Αργότερα, άρχισαν να χρησιμοποιούν και ιστίο για την εκμετάλλευση της προωθητικής δύναμης του ανέμου από την πρύμνη.

Τα ελληνικά πλοία έχουν ιστορία, που αρχίζει πριν από το 3000 π.χ. Οι Μινωικοί Κρήτες είχαν ήδη ναυπηγήσει, περί το 2000 π.χ., ξύλινα πλοία με μακριά τρόπιδες, από την οποία υψώνονταν στις δύο πλευρές, δεξιά και αριστερά, νομείς, επάνω στους οποίους στερεώνονταν επηγκενίδες, δηλαδή το περίβλημα ή το πέτσωμα του σκάφους. Η τρόπιδα υψωνόταν στο εμπρόσθιο άκρο της, προς τα επάνω, σχηματίζοντας έτσι πλώρη, ικανή να προστατεύει το πλοίο από τα κύματα. Ήταν ολοκληρωμένα πλοία.

Τα περισσότερα, εξάλλου, μινωικά πλοία είχαν μικρό σχετικό πλάτος και μεγάλο μήκος, ώστε να διευκολύνονται η κωπηλασία και οι χειρισμοί. Τα εμπορικά πλοία ήταν σχεδόν παρόμοια προς τα πολεμικά. Η διαφορά, όμως, ως προς τα πολεμικά ήταν ότι είχε τοποθετηθεί στην πλώρη τους μακρύ έμβολο, για επίθεση εναντίον άλλων πλοίων, οπότε χρειάστηκε και η ανάλογη ενίσχυσή της, καθώς και η ενίσχυση των δύο πλευρών του σκάφους, με ορισμένες επηγκενίδες μεγαλύτερου πάχους από τις άλλες, που ονομαζόταν ζωστήρες. Τα μινωικά πολεμικά πλοία έφεραν και ιστίο για ταχύτερο πλου με ευνοϊκό άνεμο, δεν το χρησιμοποιούσαν, όμως, στην ναυμαχία, γιατί την ύψωση ιστίου κατά τη μάχη, τη θεωρούσανε σημάδι ήττας. Τα μινωικά πλοία εικονίζονται με λεπτομέρειες στις τοιχογραφίες της Θήρας. Εγχάρακτη, όμως,

απεικόνιση κυκλαδικών πλοίων απαντά σε πρωιμότερη εποχή, στα τηγανοειδή των πρωτοκυκλαδικών χρόνων.



Εμπορικά πλοία των Φοινίκων. Οι Φοίνικες έμποροι της Τύρου και της Σιδώνας διαπίστωσαν ότι τα μινωικά πλοία δεν ήταν κατάλληλα για μεταφορές πραγμάτων, διότι χρησιμοποιούσαν πολλούς κωπηλάτες και ήταν, συνεπώς, δαπανηρά ενώ διέθεταν μικρή χωρητικότητα. Ναυπήγησαν το στρόγγυλο πλοίο με σκάφος αρκετά πλατύ, αλλά μικρού μήκους, με τρόπιδα που είχε μεγάλο βάρος,

με νομείς, καθώς και με ποδόστημα στην πλώρη και στην πρύμνη, δηλαδή ξύλινη προέκταση της τρόπιδας προς τα επάνω. Η πρόωση γινόταν και με ένα μεγάλο τετράγωνο ιστίο. Τα πλοία αυτά ίσως περιέπλευσαν και την Αφρική. Είναι πάντως γνωστό ότι έπλευσαν μέχρι και την Βρετάνη στον Ατλαντικό.

Αρχαία ελληνικά και ρωμαϊκά πλοία. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ναυπηγήσει διάφορους τύπους πλοίων, στην μακρά ιστορική διαδρομή τους, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων ήταν η χρησιμοποίηση πολυάριθμων κωπηλατών διατεταγμένων σε σειρά ή σειρές, σε κάθε πλευρά. Πολεμικά πλοία έλαβαν μέρος σε διάφορες ναυτικές εκστρατείες και σε πληθώρα άλλων αποστολών, που αποτέλεσαν σταθμό στην ιστορία. Η πλέον όμως εντυπωσιακή εξέλιξη στην ναυπηγική τέχνη ήταν η ναυπήγηση, κατά την κλασική περίπου περίοδο, της τριήρους, από διάφορες ναυτικές πόλεις της αρχαίας Ελλάδας. Περισσότερο γνωστές έγιναν οι περίφημες αθηναϊκές τριήρεις.

Πλοία των χωρών της Ανατολής. Οι Κινέζοι ναυπήγησαν στην αρχαιότητα το διπλό κανό, στη συνέχεια δε του περίφημου τζανκ, που αποδείχθηκε καλοτάξιδο στην θάλασσα, καθώς και ικανό για προσγιαλώσεις σε αβαθείς περιοχές. Οι ιστιοφορία ήταν, επίσης πολύ επιτυχής. Τα πλοία αυτά αποδείχθηκαν τόσο ικανά ώστε διατηρήθηκαν από τη βαθιά αρχαιότητα μέχρι πρόσφατα, τον 19ο αιώνα. Τον 15ο αιώνα ήταν τα πλέον ευρύχωρα, ισχυρά και καλοτάξιδα πλοία του κόσμου.

Στην Ιαπωνία ναυπηγήθηκαν διάφοροι τύποι πλοίων. Μεγάλη ώθηση στις ναυπηγήσεις έδωσε αυτοκρατορική διαταγή του 81 π.χ., κατά την οποία, κάθε επαρχία έπρεπε να ναυπηγεί ένα πλοίο. Έκτοτε, οι Ιάπωνες αναδείχθηκαν στους καλύτερους ναυπηγούς του κόσμου.

Πλοία των χωρών του Βορρά. Τα πλοία των Σκανδιναβών θύμιζαν πολύ εκείνα της μινωικής Κρήτης. Οι Βίκινγκς, όμως αντί να τοποθετήσουν



έμβολο στην πλώρη των πλοίων τους, κατασκεύασαν στενή, κοφτερή πλώρη και πρύμη, ώστε τα πλοία τους να ανθίστανται και στους ισχυρούς κυματισμούς, που επικρατούν στις βόρειες θάλασσες. Χρησιμοποίησαν, εξάλλου, ιστία κατασκευασμένα από δέρμα ή και από ύφασμα ενισχυμένο με λωρίδες δέρματος, για να αντέχουν στους θυελλώδεις ανέμους. Οι Σκανδιναβοί ναυπήγησαν, επίσης, και ένα πολύ επιτυχημένο τύπο εμπορικού πλοίου, το κνορ, που εξελίχθηκε και σε επιτυχημένο πολεμικό πλοίο με πρόβολο, αλλά, πολύ αργότερα, από τον 13ο αιώνα μ.Χ. και μετέπειτα, με τετραγωνικό ιστίο.

Εξαιρετικοί θαλασσοπόροι απ' τα πάρα πολύ παλιά χρόνια ήταν οι σκανδιναβικοί λαοί. Είχαν αρκετά αναπτυγμένη τεχνική στην κατασκευή ιστιοφόρων πλοίων και μάλιστα τέτοιων που ήταν σε θέση ν' αντεπεξέλθουν στις δύσκολες καιρικές συνθήκες του Βορρά, στις μεγάλες θύελλες και τρικυμίες. Ξακουστοί για την αντρεία τους και για τα επιτεύγματά τους ήταν οι Βίκινγκς. Δεν πήγαιναν πίσω οι ναυτικοί της Χανσεατικής ένωσης.

## Ιστιοφόρα πλοία



Το ιστίο, που με τη βοήθεια του ανέμου κινεί ένα πλεούμενο είναι άγνωστο πού και πότε έκανε για πρώτη φορά την εμφάνισή του. Το σίγουρο είναι πως αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εφευρέσεις του νοήμονα ανθρώπου, που από τα πανάρχαια χρόνια παρατηρούσε τα φυσικά φαινόμενα και προσπαθούσε να καθυποτάξει τις ιδιότητές τους. Από τη στιγμή που γνώριζε πως η δύναμη του ανέμου ήταν ικανή από μόνη της να σπρώξει κάποιο αντικείμενο στην κατεύθυνση που φυσούσε, δεν του έμενε παρά να βρει και τον τρόπο για να θέσει στην υπηρεσία του αυτή του την ιδιότητα. Η επιλογή, του πότε και πώς θα εκμεταλλευτεί τη δύναμη του ανέμου και σε ποια εφαρμογή, ήταν κάτι που θα καθόριζαν οι ανάγκες του και οι δυνατότητές του. Έτσι, όταν οι συνθήκες του επέβαλαν να ξανοιχτεί στη θάλασσα, με μεγαλύτερα και βαρύτερα πλεούμενα και να ταξιδέψει σε αποστάσεις που δεν μπορούσαν να καλυφθούν μόνο με τα κουπιά, που απαιτούσαν μυϊκή υπερπροσπάθεια, το πανί τού έλυσε τα χέρια.

Για την πρώτη εφαρμογή ιστιοφορίας, μπορούμε να υποθέσουμε ότι συνέβη όταν μία



οποιαδήποτε επιφάνεια που προβλήθηκε τυχαία στον άνεμο, προκάλεσε εκτροπή του πλεούμενου προς τη φορά του. Η επιφάνεια αυτή μπορούσε να ήταν για παράδειγμα το ίδιο το σώμα του επιβαίνοντα ή η ασπίδα που είχε στην πλάτη του. Ένα κομμάτι δέρμα στη συνέχεια, αναρτημένο σ' ένα μικρό ιστό, αποτέλεσε ίσως την αρχή αυτού που αργότερα ονομάσαμε ιστιοφόρα. Την πατρότητα της ανακάλυψης του ιστίου δεν μπορούμε φυσικά να αποδώσουμε με βεβαιότητα σε κάποιο λαό και πολύ περισσότερο σε κάποιο άτομο. Όμως κατά την προσφιλή συνήθεια των αρχαίων για κάθε τι έπρεπε να υπάρχει και ο αντίστοιχος δημιουργός

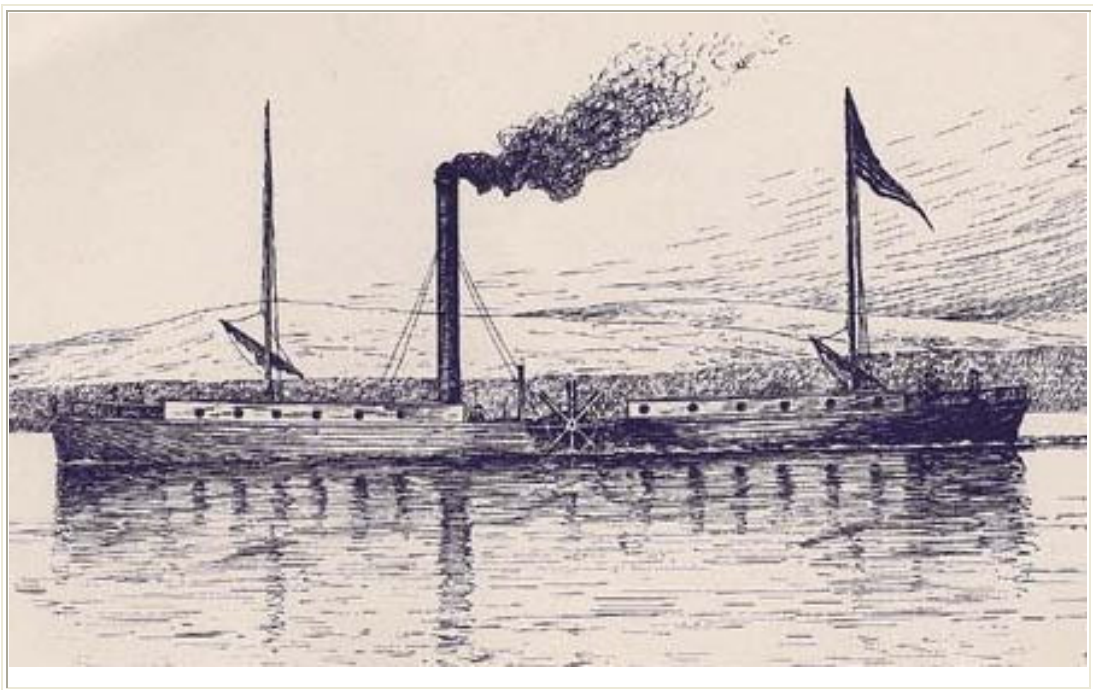


## Ατμόπλοια

Ατμοκινούμενα πλοία

Το έτος 1736 λέγεται ότι κατασκεύασε ο Άγγλος Jonathan Hull από το Gloucestershire, μια ατμοκίνητη μαούνα. Αν και δεν υπάρχουν άλλα στοιχεία, πέρα από ένα σχέδιο του πλοίου, αυτή η κατασκευή θα έπρεπε να θεωρείται το πρώτο ατμοκίνητο πλεούμενο στην ιστορία. Είναι όμως πολύ πιθανόν να μην κατασκευάστηκε ποτέ αυτό το πλοίο, παρότι ο Hull είχε πάρει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

Το έτος 1783 δοκίμασε ο μαρκήσιος Jouffroy d'Abbens στη Λυών ένα ατμόπλοιο με όνομα «Pyroscaphe» (πυροσκάφος), δηλαδή ένα πλοίο (για την ακρίβεια ποταμόπλοιο), με κινητήρια ατμομηχανή. Το δοκιμαστικό ταξίδι του κράτησε μόνο 15 λεπτά, γιατί η ατμομηχανή άρχισε να προκαλεί κραδασμούς, με αποτέλεσμα να υποστεί το σκάφος ρωγμές και να βυθιστεί.



Να σημειωθεί ότι αρχικά είχαν όλα τα ατμόπλοια ως κινητήριο μηχανισμό ένα πλευρικό και σε μερικές περιπτώσεις οπίσθιο τροχό, ο οποίος και προωθούσε το

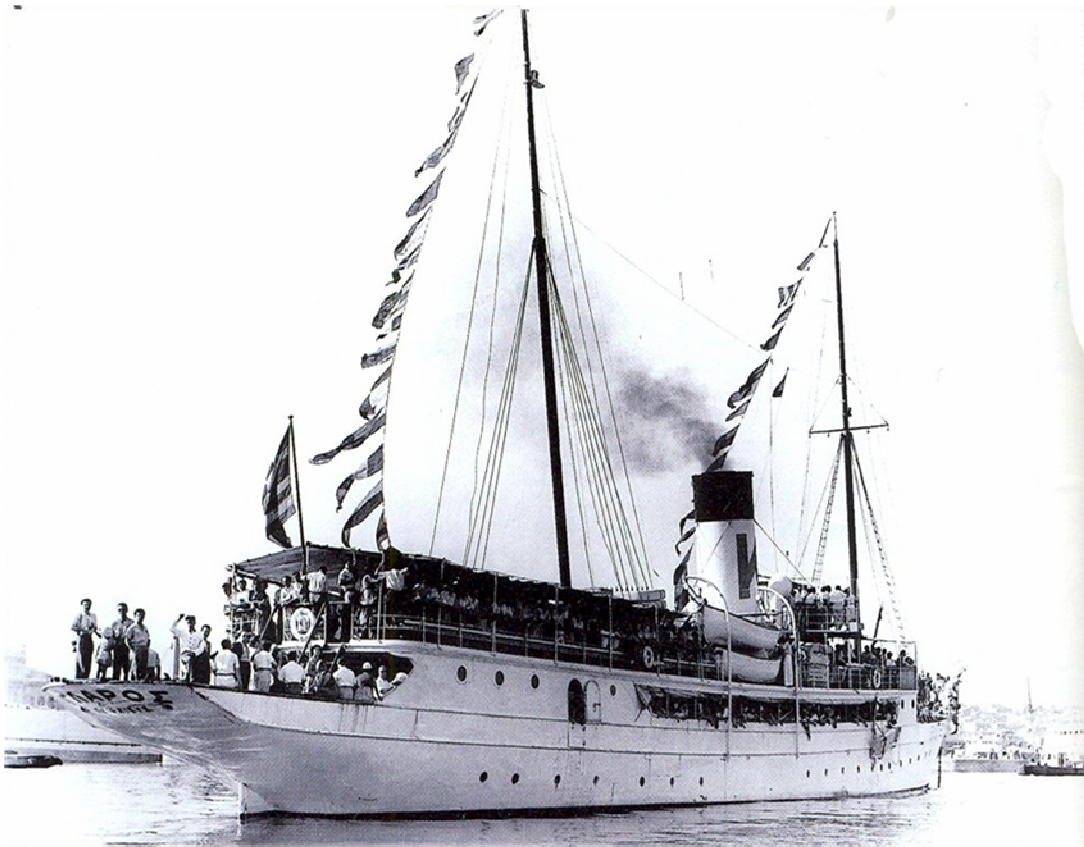


πλοίο. Σταδιακά άρχισε να χρησιμοποιούνται έλικες και από τη δεκαετία του 1840 πολλά πλοία είχαν μόνο έλικα. Αυτή ακριβώς τη δεκαετία κατασκευάζονταν πολεμικά πλοία με έλικα, σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα με διπλή έλικα στον ίδιο άξονα (John Ericson), επειδή αυτή βρισκόταν κάτω από την επιφάνεια του νερού και ήταν προστατευμένη από τα εχθρικά πυρά. Το έτος 1860 είχαν καθιερωθεί στα υπερωκεάνια πλοία αποκλειστικά οι έλικες και μόνο ποταμόπλοια κατασκευάζονταν πλέον με τροχό.

Η ελληνική ναυτιλία εισήλθε καθυστερημένα στην ατμοπλοία, κυρίως λόγω έλλειψης κεφαλαίων και απουσίας καταρτισμένων τεχνικών. Σταδιακά βελτιώθηκε όμως αυτή η κατάσταση και το έτος 1856 έγιναν οι πρώτες νηολογήσεις ατμόπλοιων με ελληνική σημαία. Στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα κυκλοφορούσαν 84 ελληνικά ατμόπλοια και το έτος 1915 περί τα 475, πολλά από τα οποία (κάπου 270) καταστράφηκαν στη διάρκεια του α' παγκόσμιου πολέμου. Η δυσκολία προσαρμογής στη νέα τεχνολογία οδήγησε από νωρίς πολλούς νησιώτες ναυτικούς να αναζητήσουν την τύχη τους στα ξένα ως μετανάστες. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ναυτικοί από το Καστελόριζο, οι οποίοι ίδρυσαν το 1912 στο Perth της Αυστραλίας την πρώτη οργανωμένη ελληνική κοινότητα, την «Καστελοριζιακή Αδελφότητα». Η ακμή των ιστιοφόρων πλοίων διατηρήθηκε μέχρι τα τέλη του 19ου αι., οπότε έκανε την εμφάνισή του ένας καινούριος τύπος караβιού, που μέσα σε λίγο χρονικό διάστημα εκτόπισε τα ιστιοφόρα κι αποτέλεσε πραγματική επανάσταση στην τεχνική κατασκευής και κίνησης πλοίων. Ήταν τα ατμόπλοια, πλοία δηλ. που έπλεαν με τη βοήθεια του ατμού, που η ενεργειακή δύναμή του είχε ανακαλυφτεί μόλις πριν λίγο (το 1782), απ' τον Άγγλο μηχανικό Ιάκωβο Βατ. Στα 1786 και 1788, οι Ι. Φιτς και Ουίλ Σάιμινγκτον, κατάφεραν να κινήσουν δυο πλοία με ατμό. Από τότε δεν σταμάτησαν ούτε στιγμή οι προσπάθειες βελτίωσης και τελειοποίησης των ατμοκίνητων πλοίων.

Άρχισαν τα μεγάλα ποντοπόρα ταξίδια (σε μεγάλες αποστάσεις). Το 1825, το "Έντερπράιζ" (σιδερένιο πλοίο), έφτασε στις ανατολικές Ινδίες και το "Σείριος" πρώτο διέσχισε τον Ατλαντικό. Το 1843, απ' τους Άγγλους, ναυπηγήθηκε το πρώτο σιδερένιο υπερωκεάνιο, το "Μεγάλη Βρετανία". Τα πρώτα ελληνικά ατμόπλοια φτιάχτηκαν το 1856. Αυτά ήταν τα: "Υδρα", "Καρτερία", "Βασιλεύς Όθων" και "Βασίλισσα της Ελλάδος". Είχαν χαρακτήρα συγκοινωνιακό και μεταφορικό. Πήγαιναν επιβάτες, γράμματα κι εμπορεύματα από νησί σε νησί.

Με την ανακάλυψη του ατμού και την κατασκευή των ατμόπλοιων, άρχισε να εμφανίζεται η ανάγκη δημιουργίας πλοίων, που θα είχαν μια συγκεκριμένη, ειδική αποστολή. Με γρήγορο ρυθμό αρχίζουν απ' τις αρχές του αιώνα μας να κατασκευάζονται πλοία, εμπορικά, επιβατηγά, πολεμικά, αλιευτικά κ.ά. Περνάμε έτσι στη σύγχρονη εποχή της ιστορίας του πλοίου, που η τελειοποίησή του, η τεχνική του, έχει κάνει μεγάλη πρόοδο.



## Τροχήλατα πλοία



Αυτός ο τύπος πλοίων υπέφερε κυριολεκτικά σε κυματισμό. Ιδιαίτερα μάλιστα σε υφιστάμενο διατοιχισμό όπου τότε βυθιζόμενο περισσότερο ανά πλευρά, ο τροχός της αυτής πλευράς ενεργούσε σαν τεράστιο πηδάλιο, με ισχυρή ροπή στρέψης προς την αντίθετη πλευρά, επιφέροντας απότομα αλλαγή πορείας του σκάφους έναντι του άλλου τροχού που σχεδόν γύριζε στον αέρα. Έτσι τα πλοία αυτά ήταν υποχρεωμένα συνεχώς να διορθώνουν την πορεία τους και ν' αυξομειώνουν την ταχύτητά τους. Τότε ακόμη δεν είχαν αναπτυχθεί και τα μέσα ελάττωσης διατοιχισμού και έτσι υποχρεώνονταν να πλέουν σχεδόν κόντρα στο κύμα με έντονο προνευστασμό, το κοινώς λεγόμενο σκαμπανέβασμα.

Επίσης η παραβολή αυτών των πλοίων στους λιμένες ήταν πολύ προβληματική με τους τροχούς στα πλευρά, σε σχέση με τα ιστιοφόρα που μπορούσαν ελεύθερα να πλευρίζουν και να εκτελούν απρόσκοπτα φορτοεκφορτώσεις. Έτσι αυτά παρέμενα περισσότερο είτε στη μέση του λιμένα ή πρυμνοδετούσαν με περιορισμό των δυνατοτήτων φορτοεκφόρτωσης. Σε αντίθεση όμως αυτών, εκείνα που κινούνταν σε ποτάμια όπου δεν υπήρχε αφενός κυματισμός και αφετέρου τροποποιώντας τη κίνησή τους, πρόωση, με μόνο ένα πρυμναίο τροχό επιβίωσαν περισσότερο στο χρόνο.

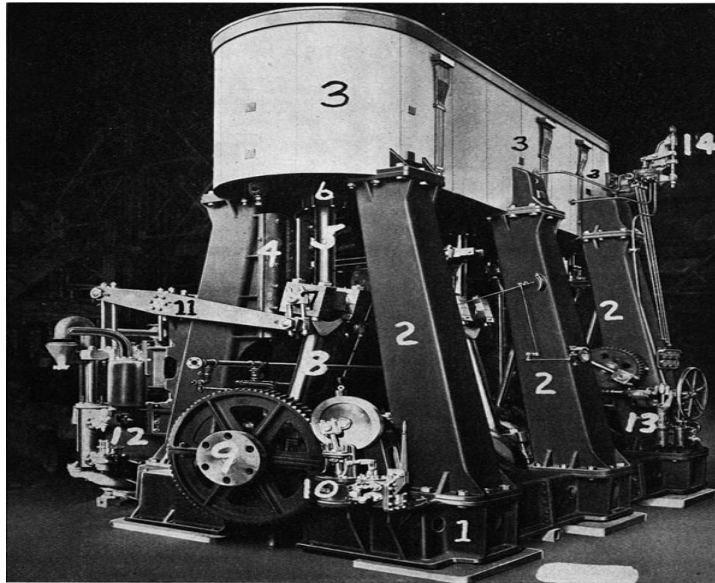
Ο εκτοπισμός

Ο εκτοπισμός των πλοίων αυτών επήλθε με την επινόηση της έλικας, που έφερε το νεότευκτο ατμόπλοιο "Αρχιμήδης" (ARCHIMIDES) που διέσχισε τον Ατλαντικό σε 14,5 ημέρες, μόλις δηλαδή μισή μέρα λιγότερο από τον "Μέγα Ανατολικό", αλλά με όλα βεβαίως τα ουσιαστικά ναυπηγικά πλεονεκτήματα της εξέλιξης της πρόωσης των πλοίων.

## Παλινδρομικές μηχανές ατμού

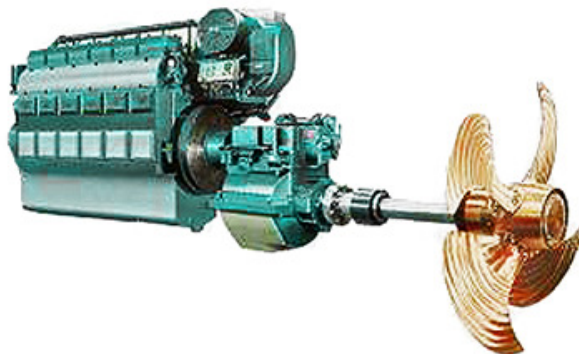
Η εξέλιξη των παλινδρομικών μηχανών ήταν μια περίπλοκη διαδικασία. Τα Νεότερα ατμόπλοια χρησιμοποιούσαν ξύλο κάρβουνο η πετρέλαιο. Τα συγκεκριμένα πλοία χρησιμοποίησαν τροχούς για την κίνηση καθώς και προπέλες για προώθηση πρώτη εμπορική επιτυχία των δεδουλευμένων ήρθε από των Robert Fulton 's North River Steamboat ( που συχνά ονομαζόταν Clermont) στις ΗΠΑ το 1807 Η Steam propulsion progressed considerably over the rest of the 19th century. Πρόωσης ατμού προχώρησε σημαντικά κατά το υπόλοιπο του 19ου αιώνα. Αξιοσημείωτες εξελίξεις στον ατμό ήταν η επιφάνια συμπύκνωσης η οποία εξαλειφτεί την χρήση θαλασσινού νερού στους λέβητες του πλοίου. Η επιτρεπόμενη πίεση ατμού οδήγησε σε υψηλότερο βαθμό απόδοσης για την κύρια μηχανή. Ο τρόπος μετάδοσης κινήσεως της ισχύς της κύριας μηχανής βοήθησε σε μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης προπέλες.

Notable developments included the steam surface condenser , which eliminated the use of sea water in the ship's boilers. This permitted higher steam pressures, and thus the use of higher efficiency multiple expansion (compound) engines.



## Κεφάλαιο 2

### Εμβολοφόροι κινητήρες diesel



Τα περισσότερα σύγχρονα πλοία χρησιμοποιούν μια παλινδρομική μηχανή ντίζελ ως κινητήρια δύναμη, λόγω της λειτουργίας και της απλότητας, της αντοχής και της οικονομίας καύσιμου σε σύγκριση με τους περισσότερους κυρίους μηχανισμούς κινήσεως. The rotating crankshaft can be directly coupled to the propeller with slow O περιστρεφόμενος στροφαλοφόρος μπορεί να συζευχθεί απευθείας με την έλικα με αργή ταχύτητα κινήσεως, μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων μείωσης για μέση και υψηλή ταχύτητα μηχανής, ή μέσω ενός εναλλάκτη και ηλεκτρικού κινητήρα (ντίζελ-ηλεκτρικά σκάφη). pump on an intelligent diesel . Η περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα συνδέεται με τον εκκεντροφόρο άξονα . Η παλινδρομική μηχανή ντίζελ πλοίων τέθηκε για πρώτη φορά σε χρήση το 1903, με το ντίζελ ηλεκτρικό ποταμόπλοιο δεξαμενόπλοιο *Vandal* όπου τέθηκε σε λειτουργία από των

Branobel . ΟΚινητήρας ντίζελ πρόσφερε σύντομα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από την τουρμπίνα ατμού, αλλά για πολλά χρόνια είχαν έναν κατώτερο βαθμό απόδοσης. Η εξέλιξη του υπερσυμπιεστή έσπευσε όμως την έγκρισή τους, επιτρέποντας μεγαλύτερες πυκνότητες ρεύματος.

#### Οι πετρελαιοκινητήρες σήμερα σε γενικές γραμμές κατατάσσονται σύμφωνα με

- Κύκλο λειτουργίας τους σε δίχρονους και τετράχρονους
- Ανάλογα με την κατασκευή τους, με σταυρό, κορμό, αντίθετων εμβόλων
- Με την ταχύτητα τους
- Με Αργή ταχύτητα: κάθε κινητήρας με μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας έως 300 στροφές ανά λεπτό (rpm), αν και οι περισσότεροι μεγάλη δίχρονοι κινητήρες ντίζελ με αργή ταχύτητα λειτουργούν κάτω από 120 rpm. Μερικοί δίχρονοι κινητήρες έχουν μια μέγιστη ταχύτητα περίπου 80 στροφές ανά λεπτό. Οι μεγαλύτεροι, πιο ισχυροί κινητήρες στον κόσμο είναι αργής ταχύτητας, δίχρονοι, crosshead πετρελαιοκινητήρες.
- Μεσαίας ταχύτητας κάθε κινητήρας με μέγιστη ταχύτητα στην περιοχή 300-900 rpm. Πολλούς συγχρόνους τετράχρονους κινητήρες ντίζελ με μεσαία ταχύτητα έχουν μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας περίπου 500 rpm.
- Υψηλής ταχύτητας. Κάθε κινητήρας με μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας άνω των 900 rpm.

Οι περισσότερες σύγχρονες μηχανές στα μεγαλύτερα εμπορικά πλοία χρησιμοποιούν είτε αργή ταχύτητα, δίχρονες, crosshead μηχανές, ή μεσαία ταχύτητα, τετράχρονες, μηχανές . Κάποια μικρότερα σκάφη χρησιμοποιούν και κινητήρες ντίζελ υψηλής ταχύτητας μέγεθος των διαφόρων τύπων κινητήρων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή για το ποιος θα εγκατασταθεί σε ένα καινούργιο πλοίο. Οι δίχρονοι κινητήρες είναι πόλη ψηλότερη και μεγαλύτερη από τους αντιστοίχους τετράχρονους . Slow speed two-stroke engines are much taller, but the footprint required, is smaller than that needed for equivalently rated four-stroke medium speed

diesel engines. As space above the waterline is at a premium in passenger ships and ως χώρος πάνω από την ίσαλο γραμμή είναι σε ένα ασφάλιστρο σε επιβατηγά πλοία (ειδικά αυτά με ένα κατάστρωμα και αυτοκίνητα), τα πλοία αυτά έχουν την τάση να χρησιμοποιούν πολλαπλές μηχανές μεσαίας ταχύτητα με αποτέλεσμα μεγαλύτερη, και μικρότερη σε μηχανοστάσιο από αυτό που απαιτείται για τους δίχρονους κινητήρες ντίζελ. Πολλαπλοί κινητήρες εγκαταστάσεων παρέχουν επίσης πλεονασμό, σε περίπτωση μηχανικής βλάβης ενός ή περισσοτέρων κινητήρων, καθώς και η δυνατότητα για μεγαλύτερη απόδοση σε μία ευρύτερη κλίμακα των συνθηκών λειτουργίας. Τα μοντέρνα πλοία με προπέλες είναι πολύ αποδοτικά και δουλεύουν με μικρές στροφές μηχανών, παρόλα αυτά δεν χρειάζεται κιβώτιο ταχυτήτων. Συνήθως τέτοιου είδους προώθησης χρησιμοποιεί μια οι δυο προπέλες όπου η κάθε μια έχει την δική της μηχανή. Τα πλοία με υψηλή και χαμηλή ταχύτητα μηχανών μπορούν να χρησιμοποιούν ένα κοινό gearbox. Αυτό επιτρέπει στις δυο μηχανές να υπαρχή ένα clutch το οποίο αφήνει την μια μηχανή να δουλεύει όταν στην άλλη μπορεί να γίνεται κάποια εργασία συντήρησης ίσως και μακριά από το λιμάνι.

## LNG κινητήρες

Οι μηχανές διπλού καυσίμου τροφοδοτούνται από ντίζελ πλοίων ποιότητας, βαρύ μαζούτ, ή υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Έχοντας πολλαπλές επιλογές καυσίμων θα επιτρέπουν σε πλοία να διέρχονται χωρίς να στηρίζονται σε έναν τύπο καυσίμου. Οι μελέτες δείχνουν ότι το LNG είναι το πιο αποτελεσματικό καύσιμο, αν και υπάρχει περιορισμένη πρόσβαση σε σταθμούς ανεφοδιασμού περιορίζει την παραγωγή των κινητήρων αυτών. Στα σκάφη τα οποία έχουν τοποθετηθεί με δύο κινητήρες καυσίμων έχουν αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά. Οφέλη του διπλού καυσίμου κινητήρων περιλαμβάνουν καύσιμα και λειτουργική ευελιξία, υψηλή απόδοση, χαμηλές εκπομπές καυσαερίων, και λειτουργικά πλεονεκτήματα κόστους. Υγροποιημένου φυσικού αερίου μηχανές προσφέρουν στη θαλάσσια βιομηχανία μεταφορών να είναι φιλικές προς το περιβάλλον και διαθέτουν εναλλακτική λύση για την παροχή ενέργειας στα πλοία. Το 2010 στην Φινλανδία η Viking Line υπέγραψε συμφωνία για να αρχίσει η κατασκευή σχετικά με το τι θα μπορούσε να είναι η μεγαλύτερη φιλικά προς το περιβάλλον πλοία κρουαζιέρας. Η

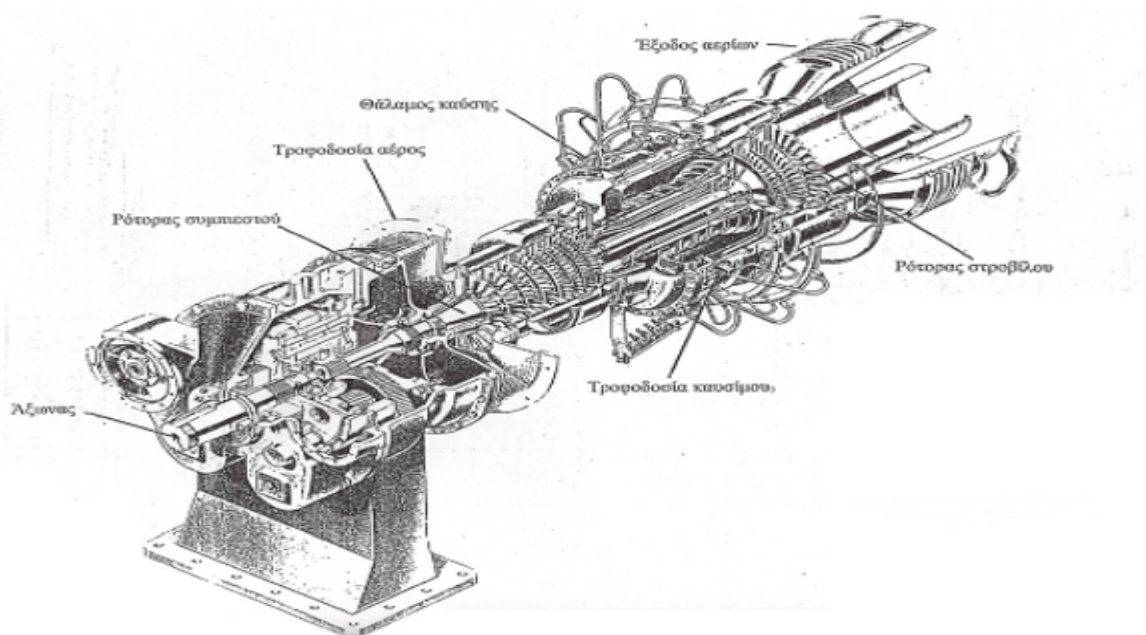
Κατασκευή NB 1376 θα ολοκληρωθεί το 2013. Σύμφωνα με την Viking Line, το σκάφος NB 1376 θα τροφοδοτείται κυρίως από υγροποιημένο φυσικό αέριο. Τα πλοία κρουαζιέρας θα έχουν σχέση με τη μείωση των εκπομπών ντίζελ που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο κινητήρων του περίπου 90%. Στοιχεία NB 1376 οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου θα είναι σχεδόν μηδενικές εκπομπές θείου και οξειδίου του και θα είναι τουλάχιστον 80% κάτω από το όριο του (IMO) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού. Η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου που συνδέεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη έχει γίνει ένα σημαντικό παγκόσμιο πρόβλημα. Φιλικό προς το περιβάλλον, καινοτομίες σε θέματα θαλάσσιας τεχνολογίας πρόωσης είναι αναγκαία και η χρήση του καυσίμου LNG είναι ένα βήμα προς την επίτευξη ενός υγιέστερου πλανήτη. Τα κέρδη των εταιρειών από τις φορολογικές περικοπές και λειτουργικά πλεονεκτήματα κόστους έχουν οδηγήσει στη σταδιακή αύξηση της χρήσης καυσίμων σε κινητήρες υγροποιημένου φυσικού αερίου

## Αεριοστρόβιλοι

Πολλά πολεμικά πλοία κτίζονται από τη δεκαετία του 1960 και έχουν χρησιμοποιήσει αεριοστρόβιλους για πρόωση, όπως υπάρχουν και μερικά επιβατηγά πλοία, που έχουν jetfoil . Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με άλλους τύπους κινητήρων. Most recently, the Queen Mary 2 has had gas turbines installed in addition to diesel engines . Πιο πρόσφατα, στο Queen Mary 2 έχει εγκατασταθεί αεριοστρόβιλοι εκτός από τους κινητήρες ντίζελ . Λόγω της κακής θερμικής απόδοσης τους σε χαμηλή ισχύ (πλεύσης) της παραγωγής, είναι κοινό για πλοία που χρησιμοποιούν τους να έχουν κινητήρες ντίζελ για κρουαζιέρες, με τουρμπίνες αερίου που προορίζεται για όταν χρειάζονται υψηλότερες ταχύτητες, ωστόσο, στην περίπτωση των επιβατηγών πλοίων ο κύριος λόγος για εγκατάσταση αεριοστροβίλων έχει να επιτρέψει τη μείωση των εκπομπών σε ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές ή στο λιμάνι. [5] Ορισμένα πολεμικά πλοία, καθώς και μερικά σύγχρονα κρουαζιερόπλοια έχουν επίσης χρησιμοποιήσει τουρμπίνες ατμού για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αεριοστροβίλων τους σε συνδυασμένο κύκλο, όπου η απορριπτόμενη θερμότητα από την εξάτμιση ενός αεριοστροβίλου χρησιμοποιείται για να βράσει το νερό και τη δημιουργία ατμού για την οδήγηση ενός ατμού



τουρμπίνα. Λόγω της χαμηλής θερμικής απόδοσης τους σε χαμηλή ισχύ χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό και ντίζελ μηχανές. Ο κύριος λόγος για την εγκατάσταση αεριοστρόβιλων ήταν να καταστεί δυνατή την μείωση των εκπομπών σε ευαίσθητες περιβαλλοντικά περιοχές όπως είναι στο λιμάνι. Μερικά πολεμικά πλοία, καθώς και μερικά σύγχρονα κρουαζιερόπλοια έχουν χρησιμοποιήσει τουρμπίνες ατμού για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αεριοστρόβιλων τους σε συνδυασμένο κύκλο, όπου η απορριπτόμενη θερμότητα από την εξάτμιση ενός αεριοστρόβιλου χρησιμοποιείται για να βράσει το νερό και να δημιουργήσει ατμό για την οδήγηση ενός ατμοστρόβιλου. Σε αυτές τους συνδυασμένους κύκλους, η θερμική απόδοση μπορεί να είναι η ίδια ή ελαφρώς μεγαλύτερη από εκείνη των κινητήρων ντίζελ. Ωστόσο, η ποιότητα του καυσίμου που απαιτείται για τις τουρμπίνες αερίου είναι πολύ πιο δαπανηρή από αυτή που χρειάζεται για τους κινητήρες ντίζελ, οπότε τα έξοδα λειτουργίας είναι ακόμη υψηλότερα.



## Πυρνοκίνητα πλοία

Πυρνοκίνητο πλοίο (nuclear ship) (NS) χαρακτηρίζεται το πλοίο εκείνο που χρησιμοποιεί ως μέσον πρόωσης πυρηνική ενέργεια. Αποτελεί την τελευταία εξέλιξη μέσου πρόωσης των μηχανοκινήτων πλοίων.

Τα πλοία αυτά σε ειδικό διαμέρισμα πρόωθεν του μηχανοστασίου φέρουν πυρηνικό αντιδραστήρα τύπου PWR που θέτει σε κίνηση τις ηλεκτρομηχανές (τουρμπίνες).

Σχετικές μελέτες εφαρμογής επέκτασης της πυρηνικής ενέργειας ως μέσον πρόωσης εμπορικών πλοίων ξεκίνησαν πολλές Χώρες. Σημαντικότερες ήταν των Γερμανών με την ναυπήγησή του μεταλλευματοφόρου "Otto Hahn", των Κινέζων με το επιβατηγό "Zan Than", των Ρώσων με το Παγοθραυστικό "Λένιν" και των Αμερικανών με το φορτηγό πλοίο γραμμής (λάινερ) "Savannah" που ναυπηγήθηκε το 1962.

Η πειραματική αυτή χρήση στα εμπορικά πλοία δεν πέτυχε όμως και το τελειότερο απ' όλα τα παραπάνω, το αμερικανικό "Σαβάννα" αποσύρθηκε από την εκμετάλλευσή του ως "λίαν αντισυμβατικό".



Αντίθετα όμως η εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας ως μέσον πρόωσης πολεμικών πλοίων υπήρξε μάλλον επιτυχής πλην ελαχίστων εξαιρέσεων (ατυχημάτων) ιδίως σε υποβρύχια και αεροπλανοφόρα για τα οποία η έννοια "ακτίνα δράσης" (δηλαδή μέγιστη απόσταση χωρίς ανεφοδιασμό) παραμένει άγνωστος!

Τα τελευταία χρόνια τα κέντρα που έχουν εστιάσει στην σχεδίαση σύγχρονων συστημάτων πρόωσης πλοίων όπου η κρίση του κόστους των καυσίμων και ακόλουθα η διεθνής οικονομική κρίση δημιούργησαν νέα δεδομένα έστρεψαν το ενδιαφέρον τους στο «Ρωσικό πείραμα».

Η πρόσφατη σχετικά κατασκευή δύο πυρνοκίνητων εμπορικών σκαφών με ικανότητες παγοθραυστικών για τις «σκληρές» βόρειες ρότες έφεραν στο προσκήνιο το όλο ζήτημα της εφαρμογής της ενέργειας αυτή στην πρόωση εμπορικών πλοίων.

Ωστόσο ο προβληματισμός και οι συζητήσεις των ειδικών πέραν του κόστους εστίασε και σε θέματα παγκόσμιας ασφάλειας. Θέματα που είχαν κάνει την εμφάνισή τους κατά την δεκαετία του 70 όταν η χρήση πυρηνοκίνητων αεροπλανοφόρων, υποβρυχίων και λοιπών μονάδων Πολεμικών Ναυτικών είχε επεκταθεί. Μετά το Τσερνόμπιλ μάλιστα οι «φόβοι» έγιναν πιο συγκεκριμένοι και ακόμη πιο εξειδικευμένοι μετά την γενικότερη και σε παγκόσμια κλίμακα πλέον «τρομο-φοβία» για «βρόμικα όπλα» κλπ. Ως γνωστόν ένα πλοίο κινούμενο με τέτοια ενέργεια εν πολλοίς θα μπορούσε να αποτελεί «όπλο» στα χέρια τρομοκρατών και για λόγους που δεν είναι της παρούσης. Όμως οι ειδικοί τώρα επιχειρούν «ένα βήμα μπροστά» καθώς τουλάχιστον για μεγάλες μονάδες που απαιτούν τεράστιες ποσότητες καυσίμων και η εμπορική τους χρήση καθίσταται επωφελής όταν έχουν και το τακτικό πλεονέκτημα της ταχύτητας η ενέργεια αυτή μπορεί να είναι και η λύση. Προς ώρας οι συζητήσεις πάντως συνεχίζονται με φόντο τις συζητήσεις της Κοπενχάγης για την υπερθέρμανση του πλανήτη και το ρόλο των καυσαερίων, το κόστος των ραφινρισμένων καυσίμων και τις διαθέσεις της βιομηχανίας παραγωγής καυσίμων κλπ.

#### *Το παρελθόν.*

Από τα μέσα της δεκαετίας του 50 μέχρι σήμερα κατασκευάστηκαν 486 πυρηνικά Υ/Β και 37 σκάφη πυρηνικά σκάφη επιφανείας. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα 739 πυρηνικοί αντιδραστήρες να βρεθούν να λειτουργούν στις θάλασσες του κόσμου. Από αυτούς, οι 238 είναι ακόμα σε λειτουργία, 195 σε Υ/Β, και 43 σε σκάφη επιφανείας. Και βέβαια στους αριθμούς αυτούς δε συμπεριλαμβάνονται τα πυρηνικά όπλα τα οποία μεταφέρονταν και μεταφέρονται από Υ/Β, πυρηνοκίνητα και μη, και σκάφη επιφανείας.



### Πυρηνοκίνητα πολεμικά σκάφη επιφανείας

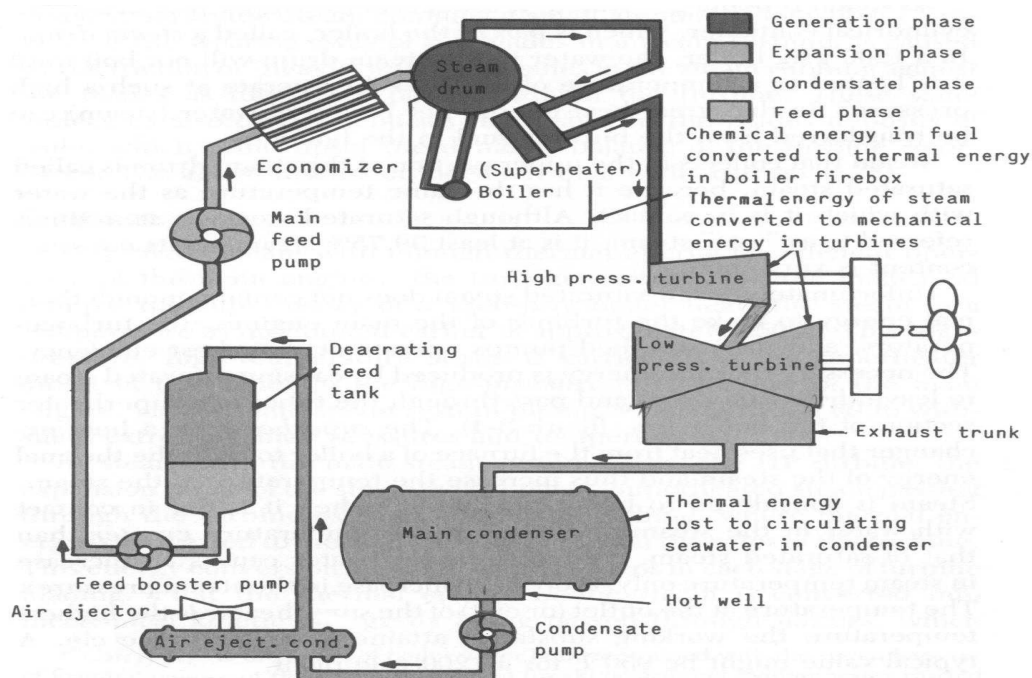
Το 1960 καθελκύστηκε το CVN-65 Enterprise το οποίο ήταν το 1<sup>ο</sup> πυρηνοκίνητο πολεμικό σκάφος επιφανείας και το εντυπωσιακότερο σκάφος που είχε ποτέ πλεύσει στους ωκεανούς. Παραμένει ακόμα σε υπηρεσία και κινείται από 8 αντιδραστήρες. Το ακολούθησαν, για το ναυτικό των ΗΠΑ, 9 καταδρομικά κατευθυνόμενων πυραύλων (CGN) τα οποία παροπλίστηκαν στη δεκαετία του 90. Σε υπηρεσία παραμένουν τα 9 αεροπλανοφόρα της κλάσης Nimitz με 2 αντιδραστήρες το καθένα. Συνολικά από τα 19 πυρηνοκίνητα πολεμικά επιφανείας που κατασκευάστηκαν για το ναυτικό των ΗΠΑ, σε υπηρεσία παραμένουν τα 10 αεροπλανοφόρα.

Από την άλλη πλευρά, τα σχέδια του Σοβιετικού ναυτικού για την κατασκευή ενός πυρηνοκίνητου αεροπλανοφόρου δεν πραγματοποιήθηκαν ποτέ. Το 1980 εισήλθε στην υπηρεσία το μεγαλύτερο πολεμικό σκάφος του κόσμου, εκτός αεροπλανοφόρων. Πρόκειται για το καταδρομικό κατευθυνόμενων πυραύλων (CGN) «Ναύαρχος Ουσάκοβ», πρώην «Κίροβ» το οποίο ακολούθησαν άλλα 3 σκάφη της ίδιας κλάσης, το τελευταίο εκ των οποίων, το «Μεγάλος Πέτρος» εισήλθε στην υπηρεσία στα τέλη της δεκαετίας του 90. Ένα πέμπτο σκάφος της κλάσης δεν ολοκληρώθηκε ποτέ, παρότι είχαν ήδη τοποθετηθεί οι αντιδραστήρες. Χρησιμοποιείται σήμερα ως πλωτό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις ακτές του Ειρηνικού. Επίσης το Σοβιετικό ναυτικό κατασκεύασε ένα σκάφος επικοινωνιών και διοίκησης επιχειρήσεων το «Ουράλ» το οποίο παρότι εισήλθε στην υπηρεσία μόλις το 1988 σήμερα είναι απενεργοποιημένο και συζητείται η πώλησή του.

Τέλος, το 2000 εισήλθε στην υπηρεσία του Γαλλικού ναυτικού το αεροπλανοφόρο R91 Charles De Gaulle, το τελευταίο μέλος της οικογένειας των πυρηνοκίνητων σκαφών επιφανείας.

Η ύπαρξη μη πολεμικών πλοίων που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης είναι μια ιστορία όχι και τόσο γνωστή. Η αρχή έγινε μόλις το 1959 με το Σοβιετικό παγοθραυστικό «Λένιν» το οποίο ήταν και το πρώτο σκάφος επιφανείας που έφτασε στο Βόρειο πόλο. Το «Λένιν» παροπλίστηκε το 1989, όμως σήμερα υπάρχουν 7 άλλα παγοθραυστικά που χρησιμοποιούνται από τη Ρωσία για τη διευκόλυνση της ναυσιπλοΐας στις βόρειες ακτές της χώρας. Από τις αρχές της δεκαετίας του 90 χρησιμοποιούνται επίσης και ως κρουαζιερόπλοια, για ταξίδια στο Βόρειο Πόλο. Επίσης η Ρωσία διαθέτει και ένα πυρηνοκίνητο εμπορικό πλοίο για μεταφορά μεταλλευμάτων.

Κατασκευάστηκαν άλλα 3 εμπορικά πυρηνοκίνητα πλοία. Το NSSavannah κατελύστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 50 όμως παροπλίστηκε το 1970. Το ίδιο σύντομη ήταν και η ιστορία του Γερμανικού NSOttoHahn το οποίο μετατράπηκε σε ντιζελοκίνητο και του Ιαπωνικού NSMutsu το οποίο μετά και από αρκετά προβλήματα λειτουργίας χρησιμοποιείται σήμερα για ερευνητικούς σκοπούς. Και στις 3 περιπτώσεις ο κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας ήταν το μεγάλο κόστος λειτουργίας, που καθιστούσε τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας οικονομικά ασύμφορη.



Πυρηνικός αντιδραστήρας ονομάζεται η διάταξη εκείνη εντός της οποίας παράγεται ενέργεια με ελεγχόμενη αντίδραση σχάσης. Ο Πυρηνικός αντιδραστήρας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν μια μεγάλη δεξαμενή όπου το πυρηνικό καύσιμο

υφίσταται πυρηνική σχάση απελευθερώνοντας έτσι θερμότητα. Τα άτομα του εν λόγω καυσίμου υπό ορισμένες συνθήκες διασπώνται αυθόρμητα εκπέμποντας νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια προκαλούν τη διάσπαση άλλων ατόμων, με τελικό αποτέλεσμα μια γεωμετρικά αυξανόμενη αλυσιδωτή αντίδραση.

Στην "καρδιά του αντιδραστήρα" φέρονται επιβραδυντικό υλικό και ρυθμιστικές ράβδοι (ή "ράβδοι ελέγχου" ή "ράβδοι ρύθμισης") που συγκρατούν την αλυσιδωτή αντίδραση σε σταθερό ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή ροή της θερμότητας. Ένα "ψυκτικό μέσο" (που μπορεί να είναι αέριο ή υγρό όπως το νερό) κυκλοφορεί μέσα στον αντιδραστήρα και θερμαίνεται. Στη συνέχεια αυτό οδηγείται σε ένα "εναλλάκτη θερμότητας" όπου προκαλεί βρασμό σε νερό που υπάρχει εκεί. Ο παραγόμενος ατμός στη συνέχεια θέτει σε κίνηση στρόβιλους που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και κινητική ενέργεια (πυρηνοκίνητα πλοία).

Ο Πυρηνικός αντιδραστήρας εκπέμπει έντονη ακτινοβολία που αξιοποιείται στη παραγωγή ραδιοϊσοτόπων. Η διαρροή της ακτινοβολίας αυτής εμποδίζεται από τα προστατευτικά στρώματα της "θωράκισης" του αντιδραστήρα. Όλοι όσοι εργάζονται σε τέτοιους χώρους υποχρεούνται να είναι εφοδιασμένοι με ειδικούς φορητούς ανιχνευτές ραδιενέργειας.

### Λειτουργία

Συνοπτικά, σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα σχάσης η ενέργεια που απελευθερώνεται από τη σχάση του πυρηνικού καυσίμου, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, με τον οποίο τίθεται σε λειτουργία ένας στρόβιλος που με τη σειρά του περιστρέφει μια γεννήτρια ηλεκτρισμού.

Στην πλειοψηφία τους, οι σύγχρονοι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν ως καύσιμο είτε φυσικό Ουράνιο (U), είτε εμπλουτισμένο Ουράνιο. Το εμπλουτισμένο ουράνιο, περιέχει το ισότοπο U235 σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι το φυσικό ουράνιο. Υπάρχουν και αντιδραστήρες σχάσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμα είτε το Πλουτόνιο Pu239 είτε το U233.

Το καύσιμο βρίσκεται σε ειδικούς φορείς (containers), σε μορφή ράβδων καυσίμου (fuel pins). Αυτές οι ράβδοι τοποθετούνται με καθορισμένη διάταξη μέσα στον επιβραδυντή (moderator), ο οποίος είναι γραφίτης ή νερό και σκοπός του είναι να επιβραδύνει τα νετρόνια που παράγονται από τις σχάσεις. Οι ρυθμιστικές ράβδοι, που χρησιμεύουν στη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού σχάσης, εισέρχονται στον πυρήνα του επιβραδυντή και η θέση τους μεταβάλλεται έτσι ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός ρυθμός σχάσης· όταν οι ράβδοι είναι βαθύτερα μέσα στον πυρήνα,

επιβραδύνουν περισσότερο νετρόνια κι έτσι μειώνεται ο ρυθμός σχάσεων. Το αντίθετο συμβαίνει όταν οι ράβδοι αποσύρονται.

Ένα ψυκτικό υλικό κυκλοφορεί υπό πίεση μέσα στα λεγόμενα "κανάλια" του επιβραδυντή. Σκοπός της κυκλοφορίας του ψυκτικού είναι η απαγωγή της θερμικής ενέργειας και η μεταφορά της σε εναλλάκτη θερμότητας. Ο επιβραδυντής βρίσκεται στο εσωτερικό χαλύβδινου προστατευτικού περιβλήματος, κατασκευασμένο έτσι ώστε να αντέχει στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες στο εσωτερικό του αντιδραστήρα. Γύρω από το χαλύβδινο περίβλημα, υπάρχει θωράκιση από σκυρόδεμα που εμποδίζει τη ραδιενέργεια να φτάσει στους χειριστές του αντιδραστήρα και το περιβάλλον, τόσο σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας όσο και σε περίπτωση ατυχήματος.

### Βασικές διαδικασίες

Η διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό ενός πυρηνικού αντιδραστήρα κατά τη διάρκεια παραγωγής σταθερού ποσού ισχύος μπορεί να συνοψιστεί στα παρακάτω στάδια:

1. Η σχάση κάθε πυρήνα U235 παράγει θραύσματα σχάσης μεταξύ των οποίων και νετρόνια. Τα θραύσματα της σχάσης μεταφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό της κινητικής ενέργειας που απελευθερώνεται από τον πυρήνα του ουρανίου. Αυτήν την κινητική ενέργεια την αποδίδουν σε άλλα άτομα με τα οποία συγκρούονται και έτσι οι ράβδοι των καυσίμων θερμαίνονται.
2. Τα νετρόνια της σχάσης εξέρχονται των ράβδων καυσίμου με κινητική ενέργεια της τάξης των MeV. Εισέρχονται στον χώρο του επιβραδυντή και συγκρούονται με τα άτομά του, μεταφέροντας έτσι την κινητική τους ενέργεια σε αυτά. Έτσι τα άτομα του επιβραδυντή αποκτούν ενέργεια και τα νετρόνια επιβραδύνονται έως ότου η μέση κινητική ενέργειά τους είναι περίπου ίση με αυτήν των ατόμων του επιβραδυντή καθώς αυτά ταλαντώνονται στο κρυσταλλικό του πλέγμα. Αυτά τα νετρόνια λέγονται θερμικά νετρόνια επειδή δεν χάνουν (κατά μέσο όρο) άλλη ενέργεια, μοιράζοντάς την στα άτομα του επιβραδυντή.
3. Τα νετρόνια που έχουν επιβραδυνθεί πλέον εισέρχονται ξανά στις ράβδους του καυσίμου και προκαλούν νέες σχάσεις πυρήνων U235 και έτσι επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

### Ιστορία

Παρά το γεγονός ότι οι επιστήμονες μόλις τις τελευταίες δεκαετίες κατάφεραν να κατασκευάσουν τεχνητούς πυρηνικούς αντιδραστήρες όπου γίνεται ελεγχόμενη



σχάση, εντούτοις φυσικοί πυρηνικοί αντιδραστήρες προϋπήρξαν περίπου ενάμισι δισεκατομμύριο χρόνια πριν. Ανακαλύφθηκαν το 1972 από τον Γάλλο φυσικό Φράνσις Περέν στα ορυχεία ουρανίου του Όκλο, στην Γκαμπόν της Δυτικής Αφρικής. Σε περίπου δεκαπέντε τοποθεσίες, η αναλογία μεταξύ U235 και U238, αλλά και άλλων ραδιενεργών ισοτόπων σε σχέση με τις κανονικές τους συγκεντρώσεις στο φλοιό της γης, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι κάποτε στα συγκεκριμένα σημεία έλαβαν χώρα πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης πολύ παρόμοιες με αυτές που συμβαίνουν στο εσωτερικό ενός σύγχρονου αντιδραστήρα. Οι αντιδραστήρες αυτοί "λειτούργησαν" για περίπου 150 εκατομμύρια χρόνια, "παράγοντας" περίπου 100 kW ενέργειας σε αυτό το διάστημα.

Ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας κατασκευάστηκε στα πλαίσια του σχεδίου Μανχάτταν, το 1942, υπό την καθοδήγηση του Ενρίκο Φέρμι στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο. Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε ήταν φυσικό ουράνιο, το οποίο περιέχει σε ποσοστό μικρότερο του 1% το ισότοπο του ουρανίου U-235 και κατά 99% αποτελείται από U-238 το οποίο δε σχάζετε εύκολα.

Ο Φέρμι είχε παρατηρήσει ότι η σχάση αυξανόταν όταν κάποιο μέσο επιβράδυνε τα νετρόνια, και έτσι στον πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα που κατασκεύασε χρησιμοποιήθηκαν επιβραδυντές αποτελούμενοι από γραφίτη. Το ουράνιο που αποτελούσε το καύσιμο λαμβανόταν από οξείδιο του ουρανίου που τοποθετούνταν σε μεγάλες ποσότητες πάνω στους στύλους του γραφίτη. Ρυθμιστικές ράβδοι καδμίου που εισέρχονταν στον αντιδραστήρα χρησίμευαν στο να προλαμβάνεται η αλυσιδωτή αντίδραση όταν αυτή δεν ήταν επιθυμητή. Ο Φέρμι, πριν τη λειτουργία του αντιδραστήρα, έδωσε εντολή να αφαιρεθούν όλες οι ρυθμιστικές ράβδοι εκτός από μία η οποία ήταν ικανή να σταματήσει τη δημιουργία αλυσιδωτής αντίδρασης. Μετά αφαιρέθηκε και αυτή σταδιακά και σε κάθε στάδιο ελεγχόταν ο ρυθμός της σχάσης για να διαπιστωθεί αν ήταν ίδιος με αυτόν που είχε υπολογιστεί θεωρητικά. Όταν αφαιρέθηκε και το τελευταίο τμήμα της ρυθμιστικής ράβδου, η έκλυση της ενέργειας ανοδικά έφτασε σε ένα σταθερό επίπεδο και υπήρξε ο πρώτος τεχνητός έλεγχος πυρηνικής σχάσης.

## **Αερόστρομα ή hovercraft**



Σκάφος που γλιστρά σε λεία επιφάνεια (συνήθως στη θάλασσα), πάνω σε ένα στρώμα πεπιεσμένου αέρα, και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά επιβατών και οχημάτων. Το σκάφος που προωθείται από έλικες όπως των αεροπλάνων ή ναυτικούς έλικες ή εκτοξευτήρες νερού. Η λειτουργία του βασίζεται στη δημιουργία του "στρωματοπιτάμενου συστήματος", το σκάφος δηλ. κινείται πάνω σε ένα συμπαγές στρώμα αέρα που δημιουργείται από το σύστημα ανύψωσης του σκάφους (ανάλογα με το μοντέλο είτε με έναν επιπλέον έλικα τοποθετημένο στο μπροστινό μέρος, είτε με εκμετάλλευση της πρόωσης του αέρα) και ανανεώνεται συνεχώς. Αποτέλεσμα είναι το σκάφος να έχει τη δυνατότητα να κινηθεί με πολύ μεγαλύτερη ευελιξία από τα συμβατικά πλοία, ακόμα και σε νερά με πολύ μικρό βάθος, ενώ μπορεί να αναπτύξει ταχύτητες 30-40 κόμβων. Το χόβερκραφτ εφευρέθηκε από τον Βρετανό Σερ Κρίστοφερ Κόκερελ, χρησιμοποιήθηκε αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς και από το 1959 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων.

Τα σκάφη αυτά είναι συνήθως μικρής χωρητικότητας 250 τόνων περίπου ικανά να μεταφέρουν περί τους 300, ή και περισσότερους, επιβάτες και γύρω στα 25 επιβατηγά οχήματα. Η κίνησή τους γίνεται πάνω σε στρώμα αέρος που επιτυγχάνεται με ειδικούς επιπρυμναίους αεροστροβίλους (ανεμιστήρες) πίσω από τους οποίους φέρονται τα πηδάλια. Η φορτοεκφόρτωσή τους γίνεται από τη πλώρη όπου και φέρουν προωαίο υδραυλικό καταπέλτη. Τα σκάφη αυτά θεωρητικά δεν παρουσιάζουν "εν κινήσει" (θαλάσσιο) εκτόπισμα (non-displacement craft), όπως επίσης και τα υδροπτέρυγα.



Το ΠΤΜ Κεφαλληνία του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού, τύπου Zubr



Το ΠΤΜ Ιθάκη του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού, τύπου Zubr

Συνεχώς ο ναυπηγικός αυτός τύπος σκαφών βελτιώνεται και πολλά τέτοια σκάφη έχουν προτιμηθεί από πολλές ναυτικές δυνάμεις Χωρών, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, στην εξέλιξη των πλοίων αποβάσεων καθώς και για αμφίβιες επιχειρήσεις και ανάγκες ναρκοπολέμου. Η πρώτη εμπορική εμφάνιση και εκμετάλλευση των χόβερκραφτς ήταν στις πορθμειακές γραμμές μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας.

Σημαντικότατος επίσης υπήρξε ο πολεμικός στόλος των χόβερκραφτς που είχε δημιουργήσει ο τελευταίος Σάχης της Περσίας λίγο πριν την πτώση του, και που αποτελούσε τον φόβο και τον τρόμο σε όλο τον Περσικό τότε και σήμερα Αραβικό Κόλπο, που όμως μετά την μεταπολίτευση του Ιράν και τον Περσοϊρακινό πόλεμο που ακολούθησε, στην αρχή καθηλώθηκε από έλλειψη ανταλλακτικών και στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε.

Στο ελληνικό πολεμικό ναυτικό, αυτός ο τύπος πλοίου χαρακτηρίζεται ως "πλοίο ταχείας μεταφοράς".

## Κεφάλαιο 3

### Πλοία με ηλιακή ενέργεια

Το πρώτο μεγάλο πλοίο που αντλεί από ηλιακούς συλλέκτες μέρος της ενέργειας που χρειάζεται για την κίνησή του απέπλευσε την Παρασκευή από την Ιαπωνία με στόχο την εξοικονόμηση καυσίμων και τη μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Το Auriga Leader («Αρχηγός Ηνίοχος»), κατασκευασμένα στο ναυπηγείο της Nippon Yusen KK στο Κόμπε, είναι ένα φορτηγό πλοίο σχεδιασμένο για τη μεταφορά έως και 6.400 αυτοκινήτων.

Στο πάνω τμήμα του έχουν εγκατασταθεί 328 φωτοβολταϊκά στοιχεία που μπορούν να παράγουν συνολικά 40 Kilowatt ηλεκτρικού ρεύματος, ισχύς που αρχικά θα καλύπτει μόλις το 0,2% της κατανάλωσης του συστήματος προώθησης του πλοίου.

Τα ναυπηγεία ελπίζουν πάντως ότι το ποσοστό αυτό θα αυξηθεί στο μέλλον.

Το τεράστιο φορτηγό, μήκους 200 μέτρων, θα χρησιμοποιηθεί αρχικά για εξαγόμενα οχήματα της Toyota, αναφέρει το Γαλλικό Πρακτορείο Ειδήσεων.

Το πρώτο φορτηγό πλοίο που κινείται εν μέρει με ηλιακή ενέργεια απέπλευσε πρόσφατα από το Τόκιο. Το τεράστιο αυτό πλοίο, βάρους 60.000 τόνων και μήκους



200 μέτρων, μπορεί να μεταφέρει ως και 6400 αυτοκίνητα. Η κατασκευή του κόστισε 2,4 εκατομμύρια δολάρια στην ιαπωνική εταιρία «Νίπον Γιούσεν». Είναι εξοπλισμένο με 328 πλαίσια φωτοβολταϊκών κυττάρων, τα οποία παρέχουν 40 KW, δηλαδή το 0.2% της ενεργειακής κατανάλωσης του πλοίου. Το ποσοστό είναι ακόμα μικρό, μα οι επιστήμονες δηλώνουν αποφασισμένοι να το αυξήσουν στο κοντινό μέλλον. Μια νέα λύση εν μέσω οικονομικής κρίσης

Λόγω της οικονομικής κρίσης, ο κλάδος των θαλάσσιων μεταφορών υφίσταται τεράστια πίεση

να μειώσει τα έξοδά του. Ιδιαίτερα η Ιαπωνία, που δεν έχει δικούς της ενεργειακούς πόρους, προσπαθεί με κάθε μέσο να ελαττώσει την εξάρτησή της από το πετρέλαιο,

το οποίο αναγκάζεται να αγοράζει από ξένες χώρες. Έτσι, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί ένα νέο μέσο για μείωση των εξόδων και μεγιστοποίηση του κέρδους.

Ταυτόχρονα, λόγω της κλιματικής αλλαγής, οι εταιρίες θαλάσσιων μεταφορών δέχονται πίεση να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ο κλάδος τους προκαλεί περίπου το 3% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά συνέπεια, η χρήση ηλιακής ενέργειας στις θαλάσσιες μεταφορές αποτελεί ένα εξαιρετικό μέτρο, φθινό και φιλικό προς το περιβάλλον. Στο πλαίσιο αυτό, η ιαπωνική εταιρία «Νίπον Γιούσεν», κατασκευάστρια του πρωτοποριακού πλοίου, έχει δηλώσει πως ο στόχος της είναι να μειώσει στο μισό τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως το 2010.

Το μεγαλύτερο ηλιακό σκάφος.

Πριν από λίγες μέρες ανακοινώθηκε πως είναι έτοιμη η μεγαλύτερη ηλιακή βάρκα στον κόσμο. Με 31 μέτρα μήκος και 15 πλάτος, το πλοίο αναμένεται να είναι σε θέση να λάβει 103.4Kw από τα 500 τετραγωνικά μέτρα ηλιακών panel για να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στον κινητήρα του ο οποίος χρειάζεται μόλις 20KW για να επιτευχθεί μια μέση ωριαία ταχύτητα έως και 8 κόμβοι (15 Km/h)



Το PlanetSolar (έτσι έχει βαφτιστεί το πλοίο) είναι ένα καταμαράν 60 τόνων που κόστισε 18 εκ. ευρώ στην *Knierim Yacht Club* του Κιέλου στην βόρεια Γερμανία θα ξεκινήσει τον επόμενο μήνα τις πρώτες δοκιμές στην θάλασσα από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβρη.

Τα φωτοβολταϊκά panels τοποθετήθηκαν από την πρύμνη έως το μέσω του πλοίου, κατασκευάστηκαν από την Sunpower και έχουν απόδοση 22% που είναι μια από τις μεγαλύτερες αυτή στην στιγμή το εμπόριο.

Η ιδέα για αυτό το ηλιακό πλοίο ανήκει στον *Raphaël Domjan* έναν Ελβετό μηχανικό 38 ετών και τον Γάλλο *Gérard d'Aboville* ο οποίος θα είναι και ο κυβερνήτης του σκάφους για την παγκόσμια περιοδεία που έχει προγραμματιστεί για τον επόμενο χρόνο με σκοπό να δείξει σε όλους τις πρακτικές πτυχές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Παρά το γεγονός ότι αυτό το είδος πλοίων δεν προορίζεται για να αντικαταστήσει τα συμβατικά η ομάδα του Planetsolar σημειώνει ότι ένα τέτοιο σκάφος μπορεί να κάνει το γύρο του κόσμου και δίνει ελπίδες για να μειωθούν οι εκπομπές από τις υδάτινες μεταφορές που κυμαίνονται στα 1.4 εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα (2008) το οποίο αντιπροσωπεύει το 6% των συνολικών εκπομπών και είναι δυο φορές υψηλότερο από εκείνο στις αερομεταφορές.

Το ταξίδι του ξεκίνησε το πρώτο πλοίο στον κόσμο που κινείται αντλώντας μερικώς **ηλιακή ενέργεια**. Πρόκειται για το **Auriga Leader**, που έφυγε την Παρασκευή από το λιμάνι της Ιαπωνίας και στόχος του είναι να ταξιδέψει περιορίζοντας το κόστος μετακίνησης και μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Το Auriga Leader κατασκευάστηκε στο ναυπηγείο της Nippon Yusen K.K. και είναι ικανό να μεταφέρει **6.400** αυτοκίνητα, ενώ είναι εξοπλισμένο με 328 ηλιακές γεννήτριες, συνολικού κόστους 150 εκατομμύρια γιεν. Αρχικά το ηλιακό πλοίο θα μεταφέρει αυτοκίνητα της Toyota. Η ιδέα για την κατασκευή του χρονολογείται πριν την οικονομική κρίση, η οποία έχει πλήξει τις αυτοκινητοβιομηχανίες.

Το ηλιακό σύστημα που διαθέτει το πλοίο μπορεί να παράγει **40**κιλοβατώρες ηλεκτρικού ρεύματος, ενέργεια ικανή για να καλύψει μόνο το 0,2% της συνολικής κατανάλωσης του πλοίου.

Τον τελευταίο καιρό γίνονται όλο και περισσότερες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Υπενθυμίζεται ότι πρόσφατα η δημοτική αρχή μιας μικρής πόλης λίγο πιο έξω από τη Βαρκελώνη, τοποθέτησε φωτοβολταϊκά συστήματα πάνω από τοπικό νεκροταφείο, μεταμορφώνοντάς το σε ηλιακό. Παρέχοντας ενέργεια στα νοικοκυριά, το νεκροταφείο περιορίζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 62 τόνους τον χρόνο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συνολικού κόστους 72.000 χιλιάδων ευρώ, τοποθετήθηκαν πάνω στα μνήματα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αλλοιώνουν την

## Ηλεκτροκίνητα πλοία

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντήζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες ντήζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλ. γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης, οπότε και αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν "prime movers" ('κινητήριες μηχανές'). 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 [1-49].

Η ηλεκτρική πρόωση έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πριν από περίπου 55 χρόνια [42-43]. Επί μεγάλο διάστημα, τα συστήματα ήταν του τύπου Σ.Ρ./Σ.Ρ. (συχνά συστήματα Ward-Leonard) δηλ. παραγωγή συνεχούς ρεύματος και κίνηση με συνεχές ρεύμα. 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.. Κατά την τελευταία εικοσαετία, η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ (ηλεκτρονικά ισχύος), 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.

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ., βλ. και Σχήμα 1. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων.
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.

- γ. Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων [42-43]. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν υποψήφιο σύστημα για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς και των μεγάλων πολεμικών πλοίων [17-19,23,28,42]. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία -προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από απόψεως περιορισμών 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 :

- α. η αύξηση των ηλεκτρικών καταναλωτών στα πλοία και η τάση για την 'ηλεκτροποίηση' των πλοίων (με αποκορύφωση το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο-All Electric Ship-AES), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λπ.),
- β. η ανάγκη για περισσότερο 'αθόρυβη' λειτουργία των πλοίων ,
- γ. η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος ζωής και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως,
- δ. και κυρίως η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό 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 προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών

δικτύου πλοίου με ηλεκτρική πρόωση απεικονίζεται στο Σχήμα 2 ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW).

## 2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

### 2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Το γενικευμένο ηλεκτρολογικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού. Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να είναι ενιαίο καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες ή μπορεί να αποτελείται από δύο επιμέρους υπό-συστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

Σε πλοία με συμβατική πρόωση, ειδική υποπερίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες άξονα-shaft generators- (εξηρητημένες δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια ντιζελο-μηχανή πρόωσης του πλοίου). Οι γεννήτριες αυτές μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο ΣΡ (DC link) ή να τροφοδοτούν αυτόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (thrusters). Ενίοτε, σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημία στην κύρια μηχανή) μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα, δηλ. ως ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης (τροφοδοτούμενες από τις άλλες ηλεκτρογεννήτριες) περιορισμένης ισχύος και να οδηγήσουν το σκάφος σε ασφαλή προορισμό.

Σημαντικά διαφορετικό είναι το ηλεκτρικό σύστημα της νέας γενιάς υποβρυχίων στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κυψέλες καυσίμου (fuel cells) (και αποθηκεύεται συστοιχίες συσσωρευτών ΣΡ) για να τροφοδοτήσει καταναλώσεις ΣΡ αλλά και ΕΡ μέσω μετατροπέων ΣΡ/ΕΡ [42-43]. Ηλεκτρογεννήτριες ΕΡ που κινούνται με κινητήρες ντιζελ υφίστανται μεν, αλλά δεν αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.2 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά

Όπως αναφέρθηκε οι επιλογές για το σχεδιασμό των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτροπρόωσης είναι πολλές και κάθε μία μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τον ρόλο του συγκεκριμένου πλοίου. Ο σχεδιασμός ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτροπρόωσης μπορεί να αναλυθεί στην επιλογή λύσεων σε επιμέρους ζητήματα, που είναι :

1. Το είδος των κινητήριων μηχανών. Ντιζελ, Αεριοστρόβιλοι (ειδικά για πιο αθόρυβη λειτουργία), Ατμοστρόβιλοι (ειδικά για πυρηνοκίνητα σκάφη),



Συσσωρευτές ή/και Ηλεκτροχημικές Κυψέλες Καυσίμου (Fuel-Cells) (για τα υποβρύχια).

2. Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου, όπως το είδος (DC, AC) και η τιμή της τάσης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ισχύος (που υπαγορεύεται κυρίως από τις απαιτήσεις ισχύος προώσεως και τη διαθεσιμότητα παρελκόμενου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (καλώδια, μονωτικά, διακόπτες πίνακες κ.λπ.)).

3. Ο αριθμός και το είδος των γεννητριών.

4. Η παράλληλη ή μη λειτουργία των γεννητριών.

5. Το ποσοστό αυτοματισμού στη λειτουργία, φόρτωση, παραλληλισμό και κράτηση των γεννητριών.

6. Ο αριθμός και το είδος των κινητήρων προώσεως. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η μέγιστη ισχύς, ο όγκος και το βάρος ανά μονάδα ισχύος, ο μέσος χρόνος μεταξύ επισκευών και βλαβών και η αποδοτικότητα (βαθμός αποδόσεως).

7. Το είδος ελέγχου-χειρισμού των κινητήρων προώσεως.

8. Το είδος των στατών μετατροπών.

9. Η σχεδίαση της διάταξης του ηλεκτρικού δικτύου και συγκεκριμένα :

α. Θα υπάρχει διάκριση ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, άρα και στα ηλεκτρικά δίκτυα, σε φορτία προώσεως και στα λοιπά ; Το ζήτημα έχει να κάνει και με το βαθμό εξηλεκτρισμού του πλοίου καθώς η σχέση του ηλεκτρικού δικτύου προώσεως με το ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω :

α.1. να είναι τελείως ανεξάρτητα, δηλαδή το καθένα να εξυπηρετείται από δικές του γεννήτριες και να μη συνδέονται μεταξύ τους ή αν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης, αυτή να είναι μόνο για κατάσταση ανάγκης.

α.2. να είναι διακριτά, αλλά να υπάρχει σύνδεση μεταξύ τους οπότε το ένα από τα δύο να μπορεί να τροφοδοτείται και από το άλλο.

α.3. να είναι ενοποιημένα σε ένα κοινό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε οδηγούμαστε στο

### 3.1.1 Κινητήρες αξονικής ροής

Πρόκειται για κινητήρες στους οποίους η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι κατά την ακτινική διεύθυνση δηλαδή όπως στις συνήθεις συμβατικές ηλεκτρικές μηχανές. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις τέτοιων κινητήρων είναι ο κινητήρας PERMASYN της εταιρείας SIEMENS, με μόνιμους μαγνήτες Sm-Co που βρίσκει εφαρμογές πρόωσης μεταξύ άλλων σε υποβρύχια του ΠΝ [43]. Ένας άλλος τύπος ηλεκτρικού κινητήρα πρόωσης είναι ο Εξελιγμένος Επαγωγικός Κινητήρας (Advanced Induction

Motor-AIM) της ALSTOM, [3-5, 49] ο οποίος έχει επιλεγεί για την πρόωση της φρεγάτας (Type 45) του Βρετανικού Πολεμικού Ναυτικού. Προσφέρει υψηλή πυκνότητα ισχύος και ροπής σε σύγκριση με έναν συμβατικό επαγωγικό κινητήρα ίδιας ονομαστικής ισχύος. Η διαφορά με τον κοινό 3-φασικό επαγωγικό κινητήρα είναι ότι προσφέρει την δυνατότητα λειτουργίας με 5, 10 ή 15 φάσεις χρησιμοποιώντας τις αρμονικές του μαγνητικού πεδίου με την βοήθεια εξελιγμένων ηλεκτρονικών ισχύος για να αυξηθεί η ισχύς του κινητήρα.

### 3.1.2 Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors)

Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, προσανατολισμένους μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει μέσα στο διάκενο σε διεύθυνση εν μέρει κατά την αξονική διεύθυνση και κυρίως κάθετη- *εγκάρσια* προς τον άξονα της μηχανής.

### 3.1.3 Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)

Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στον δρομέα, προσανατολισμένους κατά τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της μηχανής.

## 3.2 Μετατροπείς Συχνότητας

Στις εγκαταστάσεις E.P., στις οποίες η συχνότητα του παραγομένου ρεύματος είναι σταθερή, η συνεχής ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης (και επομένως της έλικας) είναι δυνατή εάν αυτός τροφοδοτηθεί όχι απ' ευθείας από το δίκτυο αλλά από διάταξη μετατροπής της συχνότητας. Η διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης κατά τα τελευταία έτη ίσως δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τους μετατροπείς αυτούς.

Η θεμελιώδης διάταξη μετατροπής είναι η γέφυρα 6-παλμών (ανορθωτής αλλά και κυρίως αντιστροφέας). Ωστόσο για μείωση των αρμονικών παραμορφώσεων κατασκευάζονται πιο σύνθετες διατάξεις. Έτσι ένας αντιστροφέας 12 παλμών αποτελείται από δύο αντιστροφείς 6 παλμών, των οποίων οι αντίστοιχες φάσεις έχουν γωνιακή διαφορά 30°. Σε σύγχρονες ναυπηγήσεις αξιοποιούνται προς το παρόν έως και γέφυρες 24 παλμών.

Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή ευρέως χρησιμοποιούμενων μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύος:

- Ζεύγη ανορθωτών – αντιστροφέων SPWM

Στις διατάξεις αυτές, αρχικά γίνεται ανόρθωση από ΕΡ σε ΣΡ και στη συνέχεια αντιστροφή από ΣΡ σε ΕΡ. Στον σύνδεσμο ΣΡ (DC-link) μεταξύ των δύο μετατροπέων παρεμβάλλεται κάποιο στοιχείο που διατηρεί σταθερή την τάση ή το ρεύμα που παρέχει ο μετατροπέας, όπως εξηγείται στη συνέχεια βλ. και Πίνακα 1:

α) πηγές ρεύματος (CSI Current Source Inverters) με SPWM: στο DC-link παρεμβάλλεται πηνίο που διατηρεί το ρεύμα τροφοδοσίας σταθερό με αποτέλεσμα ο μετατροπέας εμφανίζεται να λειτουργεί ως πηγή (σταθερού) ρεύματος.

β) πηγές τάσεως (VSI Voltage Source Inverters) με SPWM: στο σύνδεσμο ΣΡ παρεμβάλλεται πυκνωτής που διατηρεί την τάση τροφοδοσίας σταθερή με αποτέλεσμα ο μετατροπέας να εμφανίζεται ότι λειτουργεί ως πηγή (σταθερής) τάσεως,

γ) συγχρομετατροπείς (synchro-converters) ή LCI (Load Commutated Inverters, LCI): πρόκειται για ειδική περίπτωση μετατροπέα πηγής ρεύματος (CSI) στην οποία όμως οι διακόπτες ισχύος σβήνουν μόνον με τη βοήθεια του φορτίου τους. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί το κύριο πλεονέκτημά τους καθώς δεν απαιτούνται επιπλέον βοηθητικά κυκλώματα σβέσεως. Βρίσκουν εφαρμογή σε προωστήρια συστήματα με σύγχρονους κινητήρες μεγάλης ισχύος.

- Κυκλομετατροπείς (cycloconverters): με τις διατάξεις αυτές επιτυγχάνεται απευθείας μετατροπή από μία μορφή ΕΡ συγκριμένου πλάτους  $u_{954}$  και συχνότητας σε άλλη μορφή ΕΡ διαφορετικού πλάτους και συχνότητας. Στην περίπτωση των προωστήριων συστημάτων πλοίων, λαμβάνει χώρα υποβιβασμός συχνότητας (από 50/60 Hz σε 2-3 Hz).

Η απλή περίπτωση ενός τριφασικού κυκλομετατροπέα 6 παλμών (6-παλμικός) αποτελείται από 36 ελεγχόμενους διακόπτες ισχύος, 12 για κάθε φάση, βλ. Σχ. 12-13. Σε κάθε φάση αντιστοιχούν δύο γέφυρες διακοπών (g και o) με 6 διακόπτες η κάθε μία, βλ. Σχ. 13. Η μία γέφυρα είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της κυματομορφής κατά τη θετική ημιπερίοδο και η άλλη κατά την αρνητική. Στις γέφυρες εισέρχονται όλες οι φάσεις εισόδου. Αντιπαράλληλα προς τους διακόπτες ισχύος, εν γένει, συνδέονται και δίοδοι ισχύος για να κυκλοφορούν αντίστροφης φοράς ρεύματα προστατεύοντας τους ελεγχόμενους διακόπτες (στο Σχήμα 13 έχουν παραλειφθεί για λόγους απλότητας).

Η τεχνική ελέγχου αγωγής των διακοπών ισχύος μπορεί να ποικίλλει και σε αυτήν την περίπτωση, ωστόσο έχει επικρατήσει μία αντίστοιχη μέθοδος της ημιτονοειδούς διαμόρφωσης εύρους παλμών των αντιστροφέων SPWM. Στην περίπτωση αυτή, το

επιθυμητό σήμα σε μία φάση εξόδου συγκρίνεται με τις τάσεις όλων των φάσεων εισόδου και στα σημεία που εξισώνονται (σημεία τομής των κυματομορφών), παράγονται σήματα αλλαγής κατάστασης των αντίστοιχων διακοπών ισχύος.

Ένας κυκλομετατροπέας 12 παλμών αποτελείται από δύο κυκλομετατροπείς 6 παλμών των οποίων οι αντίστοιχες φάσεις έχουν γωνιακή διαφορά 30°. Η διαφορά αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μετασχηματιστή με δύο δευτερεύοντα τύλιγματα από τα οποία το ένα είναι σε συνδεσμολογία κατά Υ ενώ το άλλο κατά Δ. Οι έξοδοι του κυκλομετατροπέα 12 παλμών μπορεί να τροφοδοτούν είτε ένα απλό τριφασικό τύλιγμα κινητήρα, είτε το διπλό τριφασικό τύλιγμα ενός ειδικού τύπου κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση των αρμονικών παραμορφώσεων.

Οι κυκλομετατροπείς πλεονεκτούν στο ότι παράγουν κυματομορφές με πολύ μικρή παραμόρφωση αλλά είναι πολυδάπανες διατάξεις με πολλούς διακόπτες ισχύος ενώ κατά τη μεταγωγή των διακοπών απαιτείται αυξημένη ακρίβεια συντονισμού από τα κυκλώματα ελέγχου.

Μητροειδείς μετατροπείς (matrix converters): Πρόκειται για εναλλακτική αλλά πιο γενικευμένη διάταξη των κυκλομετατροπέων που ενδεχομένως να επικρατήσει καθώς δίνει τη δυνατότητα σε όλες τις φάσεις εξόδου να τροφοδοτηθούν απευθείας από όλες τις φάσεις εισόδου κατά τρόπο που καθορίζεται με ακρίβεια από το κύκλωμα ελέγχου. Η ουσιαστική διαφορά από τους κυκλομετατροπείς είναι στον αλγόριθμο ελέγχου εναύσεως / σβέσεως, που ακόμη βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο και επιτρέπει σε κάθε στιγμή την αντιστροφή ακολουθίας των φάσεων εξόδου σε σχέση με τις φάσεις εισόδου καθώς και την τροποποίηση των γωνιακών αποκλίσεων μεταξύ των τάσεων εισόδου και εξόδου με σκοπό τη ρύθμιση των συντελεστών ισχύος και στις δύο πλευρές. Προς το παρόν καμιά τέτοια διάταξη δεν έχει ενσωματωθεί σε προγράμματα ανάπτυξης για προωστήριες διατάξεις ηλεκτρικών κινητήρων λόγω τεχνολογικών αδυναμιών υλοποίησης, παρόλο που σε διεθνή συνέδρια έχουν προταθεί αξιόλογες μέθοδοι ελέγχου (π.χ. μέθοδος Venturini) με πολύ θετικές προοπτικές [7]. Παρόμοια με τους κυκλομετατροπείς, οι μεταγωγές καταστάσεων (από αγωγή σε σβέση και το αντίστροφο) των ηλεκτρονικών διακοπών ενέχουν τον κίνδυνο βραχυκυκλωμάτων μεταξύ των φάσεων.

Τεχνικές Ελέγχου Κινητήρων Πρόωσης ΕΡ

Ο έλεγχος της ταχύτητας και της ροπής ενός κινητήρα EP είναι αρκετά πιο σύνθετος από την περίπτωση των κινητήρων SP, όπου η ροπή,  $M$ , προκύπτει ως μία ποσότητα ανάλογη του γινομένου του ρεύματος τυλίγματος διεγέρσεως (πεδίου),  $I_f$  και του ρεύματος τυλίγματος τυμπάνου,  $I_A$ :

$$M = k \cdot I_f \cdot I_A$$

όπου  $k$  σταθερά που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Στη συνέχεια ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή όλων των μεθόδων ελέγχου κινητήρων EP με έμφαση σε αυτές που εφαρμόζονται σε κινητήρες ηλεκτροπρόωσης.

- Βαθμωτός έλεγχος ανοικτού ή κλειστού βρόχου  $V/F$  (scalar control): -μη εφαρμόσιμος στην περίπτωση της πρόωσης -: απλά ως αναφορά δίνεται η επιθυμητή μηχανική ταχύτητα χωρίς να λαμβάνεται μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας. Η τάση μεταβάλλεται αναλογικά προς την επιθυμητή ταχύτητα σε μία προσπάθεια να μην μεταβάλλεται η ροπή. Σε μία παραλλαγή αυτής της μεθόδου, λαμβάνεται μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας που συγκρινόμενη με την επιθυμητή ταχύτητα παράγει ένα σήμα σφάλματος. Το σήμα αυτό οδηγείται σε έναν ελεγκτή PI και παράγεται κατάλληλο σήμα εναύσεως των διακοπών ισχύων. Το ίδιο σήμα ρυθμίζει και την τάση σε μία προσπάθεια να μην μεταβάλλεται η ροπή στον άξονα.

- Έλεγχος με SPWM και CSI (μαζί με συγκριτές υστερήσεως): η στιγμιαία τιμή του ρεύματος εισόδου ελέγχεται συνεχώς ώστε να κυμαίνεται μεταξύ δύο οριακών τιμών κατωφλίου. Σε κάθε προσπάθεια του ρεύματος να υπερβεί τα όρια αυτά, παράγεται σήμα από τον ελεγκτή PWM που δίνει εντολή στους διακόπτες να άγουν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αναιρεθεί η εν λόγω προδιάθεση του ρεύματος.

- Διανυσματικός έλεγχος (vector control): όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος γίνεται όπως στη μηχανή SP ξένης διεγέρσεως, όπου η ροπή,  $M$ , προκύπτει ως μία ποσότητα ανάλογη του γινομένου του ρεύματος τυλίγματος διεγέρσεως (πεδίου),  $I_f$  και του ρεύματος τυλίγματος τυμπάνου,  $I_A$ :

$$M = k \cdot I_f \cdot I_A$$

Στην μηχανή SP όμως τα δύο ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι σταθερά στο χώρο και σε  $90^\circ$  μεταξύ τους. Αντιθέτως, στις μηχανές EP, τα πεδία αφενός στρέφονται και αφετέρου η μεταξύ τους γωνία μεταβάλλεται με τις μεταβολές στις φορτίσεις. Είναι όμως μαθηματικά δυνατόν, να αποσυζευχθούν τα ρεύματα στάτη και δρομέα σε ένα

πλαίσιο αναφοράς που στρέφεται είτε με την ταχύτητα του δρομέα είτε με οποιαδήποτε άλλη ταχύτητα κατά τρόπον ώστε να θεωρηθούν ακίνητα. Κάθε ρεύμα φάσεως αναλύεται σε δύο επιμέρους διανυσματικές συνιστώσες, τη συνιστώσα ευθέως άξονα (direct axis, d) και τη συνιστώσα εγκάρσιου άξονα (quadrature axis, q). Οι συνιστώσες αυτές είναι κάθετες μεταξύ τους και διατηρούνται ακίνητες ως προς το στρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς. Σημειώνεται ότι ενώ αυτός ο μαθηματικός μετασχηματισμός αποσύζευξης ήταν γνωστός εδώ και 50 χρόνια τουλάχιστον, η υλοποίησή του, όμως με ηλεκτρονικά κυκλώματα σε πραγματικό χρόνο περιστροφής των κινητήρων κατέστη δυνατή μόλις τα τελευταία 15 χρόνια. Η μεθοδολογία του μετασχηματισμού αποσύζευξης διαφέρει με τον τύπο της μηχανής (σύγχρονη ή ασύγχρονη) όπως εξηγείται και στη συνέχεια. Γενικά έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές, ανάλογα με την εκλογή του στρεφόμενου πλαισίου αναφοράς από τις οποίες η πλέον διαδεδομένη είναι η μέθοδος ελέγχου με προσανατολισμό στο διάνυσμα της πεπλεγμένης ροής του δρομέα ή έλεγχος πεδίου (field control), που αναλύεται στη συνέχεια.

Ο διανυσματικός έλεγχος πεδίου του κινητήρα διακρίνεται περαιτέρω σε άμεσο και έμμεσο έλεγχο. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του άμεσου ελέγχου η μαγνητική ροή προσδιορίζεται είτε με απευθείας μέτρηση της, είτε με χρήση μαθηματικού μοντέλου μαγνητικής ροής. Αντιθέτως, κατά τον έμμεσο έλεγχο, η μαγνητική ροή υπολογίζεται έμμεσα από μετρήσεις άλλων μεγεθών καθώς μετρώνται τα ρεύματα στο τύλιγμα του στάτη και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

Η ροπή του κινητήρα επαγωγής προκύπτει να είναι το γινόμενο δύο συνιστωσών του ρεύματος του στάτη, όπως αυτό αναλύεται στο πλαίσιο αναφοράς ( $d_m, q_m$ ) που στρέφεται με το διάνυσμα της μαγνητικής ροής του δρομέα:

$$M = k \cdot i_{s,dm} \cdot i_{s,qm}$$

Σημειώνεται ότι η μέτρηση του διανύσματος μαγνητικής ροής (κατά μέτρο και γωνία) και δη στον στρεφόμενο δρομέα είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνει (υπεισέρχεται μεγάλο ποσοστό θορύβου, ενώ πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς οι μεταβολές των τιμών R και L των τυλιγμάτων διότι με την περιστροφή μεταβάλλονται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών). Ως μειονέκτημα της μεθόδου σημειώνεται ο μεγάλος αριθμός αισθητήρων, μετατροπέων και μετρητικών που πέραν της πολυπλοκότητας που εισάγουν, αυξάνουν το κόστος αλλά και τον χρόνο απόκρισης των διατάξεων



ελέγχου. Επιπλέον, με τη μέθοδο του διανυσματικού ελέγχου η ροπή ελέγχεται μόνον με έμμεσο τρόπο χωρίς να αποφεύγονται και κραδασμοί (torque ripples).

- Απευθείας έλεγχος ροπής (direct torque control DTC): πρόκειται για ουσιαστική εξέλιξη της μεθόδου του διανυσματικού ελέγχου πεδίου (vector field

control). Έτσι, και σε αυτήν την περίπτωση οι τάσεις και τα ρεύματα του στάτη μετρώνται και μετασχηματίζονται σε στρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς, όμως μετράται ή καλύτερα υπολογίζεται η μαγνητική ροή στον στάτη καθώς επίσης και η τιμή της ροπής στον άξονα του κινητήρα. Από τη σύγκριση των μεγεθών μαγνητικής ροής και ροπής με τις επιθυμητές τους τιμές παράγονται τα σήματα ελέγχου των μετατροπέων (για έναυση και σβέση των διακοπών). Η διαδικασία σύγκρισης στηρίζεται σε μη γραμμικές συναρτήσεις και έχει το πλεονέκτημα ότι αξιοποιεί τη διακριτή στον χρόνο συμπεριφορά των διακοπών ισχύος αυξάνοντας τελικά τη συνολική απόδοση. Η τεχνική αυτή έχει ήδη αρχίσει να εφαρμόζεται σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση και πιο συγκεκριμένα με αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα σε συνδυασμό με σύγχρονο κινητήρα μονίμων μαγνητών (Azipod, εταιρεία ABB) και κυκλομετατροπείς. Η μέθοδος πλεονεκτεί έναντι του διανυσματικού ελέγχου, καθώς ελέγχει απευθείας τη ροπή εξόδου του κινητήρα, έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε μετρήσεις και υπολογισμούς μεγεθών (π.χ. δεν είναι απαραίτητη η μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής) ενώ η παραγόμενη ροπή είναι πλέον εφικτό να μην εμπεριέχει μεγάλες αιχμές (torque ripples).

#### Συνεργασία έλικα – κινητήρα πρόωσης

Στα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης συγκαταλέγεται και η ουσιαστική μείωση του αξονικού συστήματος των 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). Έλικα Σταθερού Βήματος

Καθώς η υπερτάχυνση δέν 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 Σχήμα 19 απεικονίζει τις καμπύλες απαιτούμενης ισχύος σε διάφορες καταστάσεις, καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικα.

1 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού

κινητήρα σε ροπή 120%

2 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού

κινητήρα σε ροπή 100%

3 Λειτουργία δύο ηλεκτρικών

κινητήρων σε ροπή 120%

4 Λειτουργία δύο ηλεκτρικών

κινητήρων σε ροπή 100%

5 Λειτουργία 30% SM

6 Δοκιμή στη θάλασσα

7 Δοκιμή ρυμούλκησης

Έλικα Ρυθμιζόμενου 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.



1 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού

κινητήρα σε ροπή 100%

2 Λειτουργία δύο ηλεκτρικών

κινητήρων σε ροπή 100%

3 Συνδυασμένη λειτουργία

Το Αξιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (POD)

Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα που έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα, εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου, όπως στις εξωλέμβιες, Σχ. 20 και Σχ. 21. Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά  $360^{\circ}$  κατά την αξιμουθιακή διεύθυνση (από όπου προέρχεται και το όνομά του), δηλ. στο οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου, ενώ αφενός πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και αφετέρου δεν υφίσταται μηχανισμός πηδαλίου.

### Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της 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 εκπεμπομένων ρύπων διότι:
    - α. η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως,
    - β. 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.
  - Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.
- Μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής:
- 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 ξεπερνάται εύκολα.
  - Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel - έλικα ρυθμιζομένου 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 νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης 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.
  - 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 τάσεως. 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 για 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.

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 κοκ) μιας υδάτινης μάζας.

## **Πλοία εξοπλισμένα με PODS**

Επί του παρόντος ένας αυξανόμενος αριθμός των σύγχρονων πλοίων είναι εξοπλισμένος με pods (προωθητικές) Τα πλεονεκτήματα είναι μια βελτιωμένη απόδοση πρόωσης και μια βελτιωμένη ικανότητα ελιγμών καθώς και μια μείωση δονήσεων στην πρύμνη του σκάφους. Εκτός από τα κρουαζιεροπόλοια τα pods εμφανίζονται και εφαρμόζονται και σε άλλα είδη σκαφών στις μέρες μας με μεγαλύτερο εύρος στροφών. Μεγάλα πλεονεκτήματα υπάρχουν σε αυτό το είδος πρόωσης αλλά πρέπει να δίνεται και ορισμένη προσοχή ως προς των σχεδιασμό τους. Επίσης η κατευθυντήρια ευστάθεια είναι λιγότερη από πλοία με συμβατική πρόωση.

Για τα τελευταία χρόνια αυτό το είδος της πρόωσης χρησιμοποιείτε ευρέως και ο λόγος είναι η απόδοση πρόωσης καθώς και η ευελιξία του ίδιου του σκάφους. Τα πλοία με Ντήζελ- ηλεκτρική πρόωση έχουν κερδίσει από αυτό το σκεπτικό. Άλλο

λεονέκτημα είναι ο αυξανόμενος χώρος ο οποίος υπάρχει στο μηχανοστάσιο. Το τελευταίο καιρό έχουν γίνει σημαντικές έρευνες στην προώθηση αυτή επάνω στην αντοχή υλικών καθώς και στην υδροδυναμική. Στην αγορά υπάρχουν αρκετά σχέδια επάνω στην προώθηση αυτή από κυρίως χορηγούς όπως είναι η Rolls-Royce, ABB, Azipod, Siemens-Schottel και warthila.



Από θέμα αντοχής υλικών το μέρος το οποίο στεγάζεται ο ηλεκτρικός κινητήρας (motor) η τοποθέτηση καθώς και η στέγαση όλου του συστήματος είναι καθοριστική. Επίσης μέχρι και σήμερα γίνεται σημαντική έρευνα επάνω στο υδροδυναμικό κομμάτι του συστήματος. Σίγουρα επάνω στην απόδοση τιμόνευσης μένουν να βελτιωθούν αρκετά πράγματα. Ορισμένα αντικείμενα τα οποία είναι ακόμα σε ερευνά είναι τα παρακάτω.

- 1) Ο σχεδιασμός των πτερύγιων επάνω στα pods.
- 2) Τα πτερύγια για την διεύθυνση
- 3) Ο σχεδιασμός σε σχήμα τορπίλης επάνω στο όλο σύστημα.
- 4) Βελτιστοποίηση του προσανατολισμού του λοβού της μονάδας.

Κλασικά τα πρώτα κρουαζιεροπόρπλοια τα οποία είχαν αυτή την προώθηση είχαν δυο μονάδες. Το τελευταίο πλοίο το οποίο φτιάχτηκε με αυτή την εγκατάσταση είχε μια μονάδα με δυο προσκολλημένα αζιμούθια μονάδες λόγω του ορίου της ισχύς.

Χρησιμοποιώντας στερεωμένα και πακτωμένα rods αποτελεί μια πρόκληση από θέμα ευελιξίας του καραβιού. Παρόλα αυτά θα πρέπει να δοθεί αρκετή προσοχή τουλάχιστον στις μεγάλες δυνάμεις που δημιουργούνται από στρέψη επάνω στα rods στην γάστρα του πλοίου. Θα πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση ως προς των σχεδιασμό στα πρώτα στάδια. Επίσης τα χαρακτηριστικά του καραβιού παίζουν σημαντικό ρόλο για παράδειγμα ένα επιβατηγό πλοίο δεν έχει μεγάλες γωνίες κλίσης άρα μπορεί να μην δεχτεί βοήθεια στο λιμάνι από ρυμουλκά.

### **Διαφορές μεταξύ συμβατικών πλοίων και πλοίων με προώθηση με PODS**

Οι γραμμές της γάστρας του πλοίου είναι λίγο διαφορετικές σε πλοία με Pods από κανονικά πλοία. Για να επιτρεπτή στα Pods μια πλήρη περιστροφή 360 μοίρες πρέπει να είναι στερεωμένα στην επίπεδη επιφάνεια της γάστρας του πλοίου. Επειδή υπάρχει πρόβλημα αντοχής πλοίου τα Pods είναι ιδιόκως στερεωμένα στο μέρος της πρύμνης του καραβιού. Αυτό σημαίνει ότι οι γραμμές του πλοίου είναι πιο πλατιές από άλλα συμβατικά καράβια.



Επίσης η χρήση των rods μπορεί να είναι αρκετή ώστε να μην χρειάζεται sternthrusters. Αλλά σίγουρα υπάρχουν δυνάμεις οι οποίες δημιουργούνται επάνω στο πλοίο όταν υπάρχει χαμηλή ταχύτητα επάνω στις κίνησης. Επίσης ο κατασκευαστής έχει τοποθέτηση επιπρόσθετα κατευθυνόμενα πτερύγια για την ποριά και την διεύθυνση του καραβιού. Σίγουρα υπάρχουν ορισμένα πράγματα τα οποία βρίσκονται σε μελέτη ακόμα. Αυτή η ειδικευμένη προώθηση σίγουρα έχει ορισμένους τομείς στους οποίους υπερέρχει αλλά έχει και ορισμένα μειονεκτήματα.

- 1) Καταρχήν είναι ένα πανάκριβο σύστημα το οποίο θέλει ειδική συντήρηση ειδικά όταν το καράβι πρόκειται να βγει σε Dry-dock και θα χρειαστεί να τραβήξει άξονα όπως τα συμβατικά καράβια.
- 2) Σε περίπτωση ζημιάς ίσως χρειαστεί να αλλάχτη όλο το σύστημα καθώς και το κόστος ίσως είναι σχετικά μεγαλύτερο από ένα κανονικό καράβι.

Ένα αναμφισβήτητο όμως πλεονέκτημα είναι επάνω στο θέμα τις ευελιξίας και το γεγονός ότι μπορεί να αποφθεχτεί το ρυμουλκό επάνω στις κινήσεις του καραβιού. Ο σχεδιασμός του πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός τουλάχιστον από θέμα Αντοχής υλικών καθώς επενεργούν τεράστιες δυνάμεις κατά την στρέψη όλου του συστήματος. Επίσης αυτός ο μηχανισμός επέτυχε γύρω στο 9% καλύτερη απόδοση καύσιμου όταν πρωταρχικά εγκαταστάθηκε το 1990 σε καράβι

Σίγουρα υπάρχουν ορισμένα πράγματα τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν γίνει η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος για κυρίως προώθηση.

## **Σύστημα προώθησης KAMEWA**

Το σύστημα προώθησης Kamewa δημιουργήθηκε το 1849 από τους κατασκευαστές που έφτιαχναν τους λέβητες. Οι τουρμπίνες προστεθήκαν στα προϊόντα υδροπροώθησης το 1870. Το 1930 η εταιρία kamewa ενεργοποίησε όλη την προηγούμενη γνώση την οποία διάθετε από τον σχεδιασμό του controllable pitch propeller. Σήμερα η εταιρία Kamewa έχει συγκεντρωθεί μόνο σε ναυτιλιακές εφαρμογές. Τα προϊόντα της Kamewa σήμερα είναι controllable-pitch main propellers, tunnel thrusters, azimuth thrusters, water Jet propulsion systems, electronic systems και μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων καταστρώματος.



## Σύστημα προώθησης πλοίου

Η αρχή της προώθησης αποτελείται από το νερό το οποίο προωθείτε στο κάτω μέρος της γάστρας (Hull) του πλοίου, ακολουθούμενο από έναν οχετό καταθλιμμένο στην πρύμνη του πλοίου. Όταν διέρχεται με ροή στον οχετό το νερό πρεσάρεται με μια αντλία οδηγούμενη από το μηχανήμα της προώθησης του πλοίου. Η ταχύτητα του νερού που καταθλίβεται στην πρύμνη του πλοίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του πλοίου, όπου δίνει μια προώθηση σε μια δύναμη αντιδράσεως (reaction force) όπου προωθεί το σκάφος. Η όλη εγκατάσταση περιλαμβάνεται από την αντλία, ολόκληρη με των άξονα, το υδραυλικό και το ηλεκτρονικό σύστημα καθώς και των σχεδιασμό του οχετού εισαγωγής.

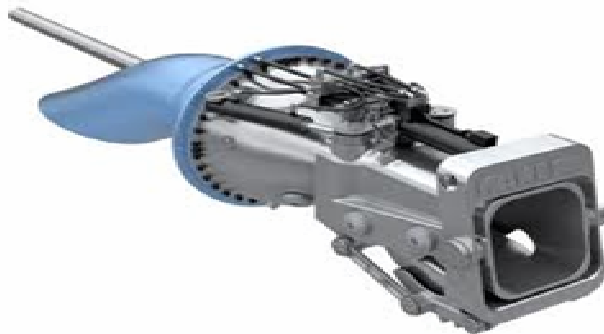


Η περιστρεφόμενη νία είναι υδραυλική και μπορεί να περιστραφεί 30 μοίρες σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το reversal του Thrust καταφέρνεται από έναν reversing

bucket (κουβά) που βρίσκεται κάτω από την περιστρεφόμενη νίλα. Το Trust επιτυγχάνεται από αυτό το είδος του κουβά το οποίο αντανακλά την ποσότητα του νερού. Ο σκοπός της αντλίας είναι να πρεσάρει το νερό. Το διαφορικό της πίεσης σε κάθε πλευρά του impeller δίνει μια ώθηση σε ένα thrust όπου παίρνεται από ένα ρουλεμάν όπου βρίσκεται στο hub της αντλίας. Από το hub η δύναμη μεταφέρεται διάμεσου κατευθυνόμενων οδηγητικών βανών στο πίσω μέρος του πλοίου.

Το impeller είναι καρφωμένο σε ένα κοντό άξονα στο hub με ένα ρουλεμάν. Το impeller είναι ένα guide vane σχεδιασμένο για να εξουδετερώνει την περιστροφή της ροής που δημιουργείτε από το impeller. Το πίσω κομμάτι των οδηγητικών vanes είναι διαμορφωμένο στην εξαγωγή της νόζλας. Το water Jet έχει σχετικά ένα μεγάλο αριθμό λεπίδων και η εξαγωγή είναι σχεδιασμένη να εξασφαλίζει ότι το περιεχόμενο των υψηλών αρμονικών στην ροή του νερού στην αντλία είναι μικρή. Επίσης η γεωμετρία των πτερύγιων του impeller έχει διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει ελάχιστο θόρυβο και πίεση.

Οι παραγόμενες πλαϊνές δυνάμεις εξαρτώνται μόνο από την ταχύτητα του jet, και όχι από την ταχύτητα του νερού που πλησιάζει την εισαγωγή. Αυτό σημαίνει ότι η πλαϊνές δυνάμεις δεν μειώνονται επάνω στην στροφή του πλοίου η όταν υπάρχει μια κατάσταση ελιγμού.



Σε ταχύτητα 20 με 50 μίλια την ώρα για πλοία τα όποια έχουν αυτό το σύστημα πρόωσης ο εσωτερικός θόρυβος είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με άλλα καράβια όπου έχουν παρόμοια εγκατάσταση. Το water Jet παρέχει πολύ καλή ευελιξία για το καράβι και απόλυτο έλεγχο σε ταχύτητα που βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τα Water jet έχουν βελτιωμένη απόδοση που σημαίνει ότι λιγότερο ισχύ χρειάζονται για να φτάσουν στην κατάλληλη ταχύτητα σκάφους στην ίδια αποδομένη ισχύ. Χαμηλή



επιτάχυνση και παρά πολύ καλή ευελιξία είναι χαρακτηριστικά που κάνουν το jet σύστημα ιδανικό για κάποιο σκάφος το οποίο κινείται γρήγορα.

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια σύγκριση με ένα κανονικό σύστημα προώθησης.

- ✓ Υψηλότερη Ταχύτητα
- ✓ Χαμηλότερη κατανάλωση σε ταχύτητα επάνω από 20 με 25 μιλιά την ώρα.
- ✓ Αυξημένη ευελιξία
- ✓ 2-4 φορές μεγαλύτερη δύναμη στο τιμόνι
- ✓ Διπλή συχνότητα περιστροφής.
- ✓ 40-50 % μικρότερη τακτική διάμετρο
- ✓ Αυξημένη επιτάχυνση και σταμάτημα.
- ✓ Μειωμένος ήδρω ακουστικός θόρυβος.
- ✓ Μειωμένος θόρυβος και Vibration επάνω στο καράβι.
- ✓ Μειωμένη τριβή φθορά σε μηχανή και gearbox.
- ✓ Εύκολη συντήρηση.
- ✓ Δεν έχει fouling (ρύπανση).
- ✓ Μπορεί να αδειάσει τα Jets από το νερό με συμπιεσμένο αέρα.



## **Επίλογος - Συμπεράσματα**

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

## Βιβλιογραφία

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_propulsion](http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_propulsion)
2. Material from Rolls Royce regarding Marine propulsion (The brochure).
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Kamewa>
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Azipod>
5. Pounder Marine Diesel Engine and Gus Turbines by Doug Woodyard
6. Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως Α' Κλιάνης Λ.-Νικολός Ι.-Σιδέρης Ι.2002
7. Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως Β' Κλιάνης Λ.- Νικολός Ι.- Σιδέρης Ι. 2003
8. [http://en.wikipedia.org/κατηγορία:Ιστορικά\\_πλοία](http://en.wikipedia.org/κατηγορία:Ιστορικά_πλοία)
9. [www.elint.org.gr/news.../2-first-solar-powered-ship-around-the-globe.html](http://www.elint.org.gr/news.../2-first-solar-powered-ship-around-the-globe.html)
10. <http://eu.wikipedia.org/wiki/hovercraft>
11. [Hemertes.lis.upatras.gr/jspui/.../1833/.../ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ%20ΤΕΛΙΚΟ](http://Hemertes.lis.upatras.gr/jspui/.../1833/.../ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ%20ΤΕΛΙΚΟ)
12. <http://www.scribd.com/doc/5988146/6/ΤΑ-ΙΣΤΙΟΦΟΡΑ-ΠΛΟΙΑ>
13. <http://el.wikipedia.org/wiki/Ναυπηγική>
14. [http://el.wikipedia.org/wiki/Τροχήλατο\\_πλοίο](http://el.wikipedia.org/wiki/Τροχήλατο_πλοίο)
15. <http://www.elzoni.gr/html/ent/049/ent.28049.asp>

## Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	5
<b>Κεφάλαιο 1</b> .....	6
Κωπήλατα πλοία .....	6
Ιστιοφόρα πλοία .....	14
Ατμόπλοια.....	16
Τροχήλατα πλοία .....	19
Παλινδρομικές μηχανές ατμού .....	20
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	21
Εμβολοφόροι κινητήρες diesel .....	21
LNG κινητήρες .....	23
Αεριοστρόβιλοι.....	24
Πυρινοκίνητα πλοία .....	26
Αερόστρωμα ή hovercraft .....	32
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....	35
Πλοία με ηλιακή ενέργεια.....	35
Ηλεκτροκίνητα πλοία.....	38
Πλοία εξοπλισμένα με PODS .....	51
Διαφορές μεταξύ συμβατικών πλοίων και πλοίων με προώθηση με PODS .....	53
Σύστημα προώθησης KAMEWA .....	54
Σύστημα προώθησης πλοίου.....	55
<b>Επίλογος - Συμπεράσματα</b> .....	58
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	59
<b>Περιεχόμενα</b> .....	60