

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΩΣΗΣ. ΕΛΙΚΕΣ, ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ, ΠΡΩΡΑΙΑ ΕΛΙΚΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Για την πρόωση των μηχανοκίνητων πλοίων,
βρίσκονται σήμερα σε χρήση οι εξής κατηγορίες συστημάτων:
έλικες,
συστήματα υδραυλικής αντίδρασης (water-jets),
συστήματα πρόωσης με αέρα (air propulsion systems).

Οι έλικες είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα πρόωσης

και χρησιμοποιείται τόσο σε μικρές

όσο και σε μεγάλες ταχύτητες.

Αντίθετα, τα άλλα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται

μόνο σε ταχύπλοα σκάφη, με μικρό σχετικά εκτόπισμα,

όπου απαιτείται κατά κανόνα σχετικά μεγάλη ισχύς

σε περιορισμένο χώρο.

Τα συστήματα πρόωσης με αέρα

χρησιμοποιούνται κυρίως σε αερόστρωμνα σκάφη (hovercraft), που κινούνται πάνω σε στρώμα αέρα.

Στις υπόλοιπες κατηγορίες ταχυπλόων σκαφών, χρησιμοποιούνται (ειδικοί) έλικες

και, σε μικρότερη κλίμακα, συστήματα υδραυλικής αντίδρασης.

Επίσης, έλικες τοποθετούνται και εγκάρσια στην πλώρα του πλοίου για να διευκολύνουν τους ελιγμούς (πρωραίοι έλικες).

Στα ιστιοπλοϊκά και τα ιστιοφόρα σκάφη χρησιμοποιείται ως μέσο πρόωσης η ιστιοφορία.

Στα πρώτα από αυτά, τα πανιά αποτελούν το κύριο, ενώ στα δεύτερα, βοηθητικό σύστημα πρόωσης.

Και οι δύο και πρόωση με μηχανή και έλικα.

ΠΡΩΣΗ ΜΕ ΕΛΙΚΕΣ

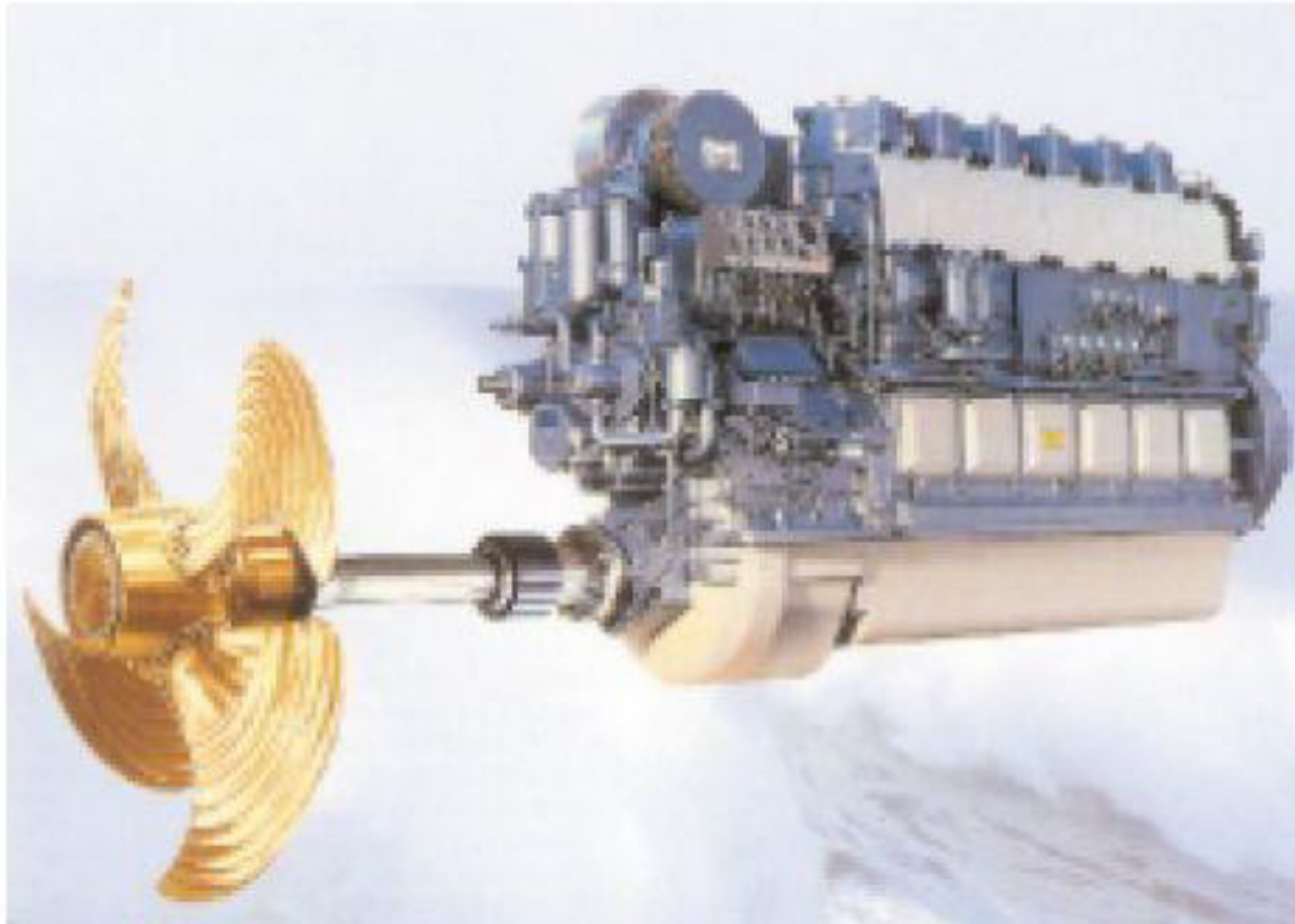
Τα συστήματα πρόωσης με έλικες αποτελούνται
από ένα ή περισσότερους έλικες σταθερού βήματος (fixed-pitch)
ή ρυθμιζόμενου βήματος (controllable-pitch, CPP),
τα παρελκόμενα στήριξης του έλικα,
το μειωτήρα στροφών
και τη μηχανή.

Ο τύπος των ελίκων ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος και, κυρίως, την ταχύτητα του πλοίου.

Στις μικρότερες ταχύτητες, χρησιμοποιούνται

έλικες υποσπηλαίωσης

ή πλήρους διαβροχής (subcavitating ή fully-wetted).



*Φωτογραφία 5.1 : Έλκα μεταβλητού βήματος
κινούμενη από μηχανή Diesel*

Στα ταχύπλοα πλοία χρησιμοποιούνται
έλικες μερικής σπηλαίωσης (trans-cavitating)
ή υπερσπηλαίωσης (super-cavitating).

Το κάθε πτερύγιο του έλικα) αποτελείται από υδροτομές

Καθώς ο έλικας περιστρέφεται, τα πτερύγια συναντούν το νερό υπό γωνία, οπότε το εκτρέπουν προς τα πίσω με ταχύτητα.

Αν θεωρήσουμε ένα παρατηρητή ακίνητο πάνω στο πτερύγιο,

αυτός, αντί να παρατηρεί τον έλικα που κινείται στο νερό,

βλέπει το νερό να προσπίπτει στο πτερύγιο με την ίδια σε μέτρο και αντίθετη σε φορά ταχύτητα.

Αυτή η κατάσταση δημιουργεί μεγάλες ταχύτητες

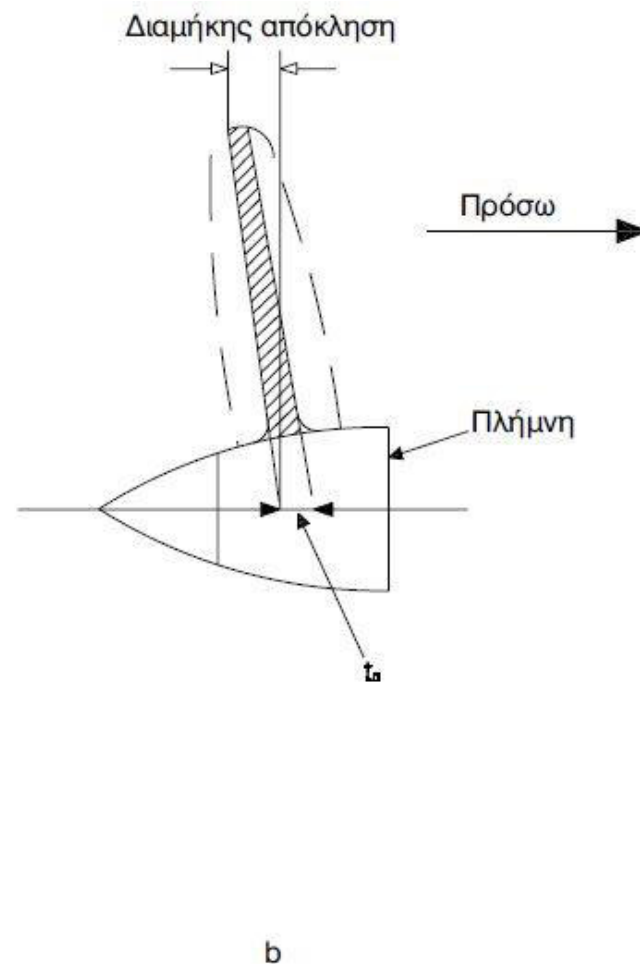
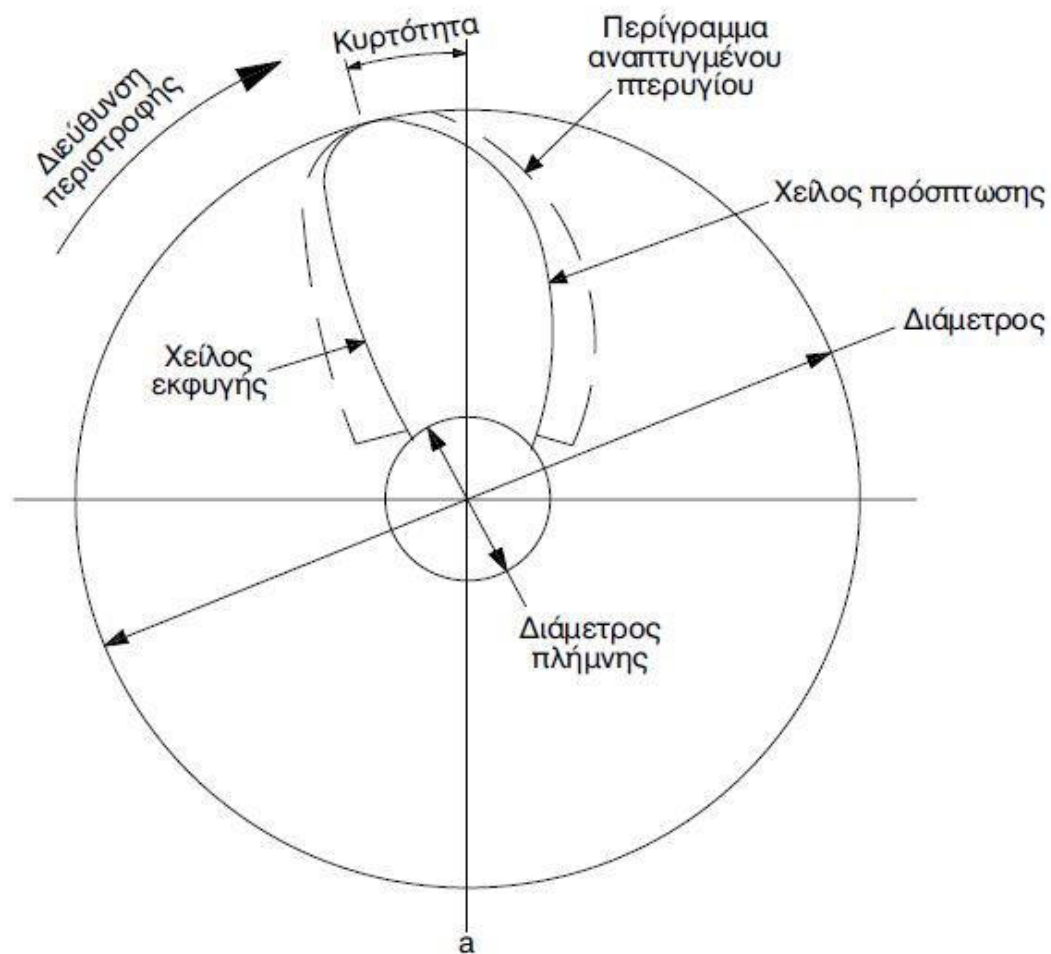
και κατά συνέπεια χαμηλές πιέσεις (αρχή του Bernoulli)

στην πάνω (πίσω) επιφάνεια του πτερύγιου.

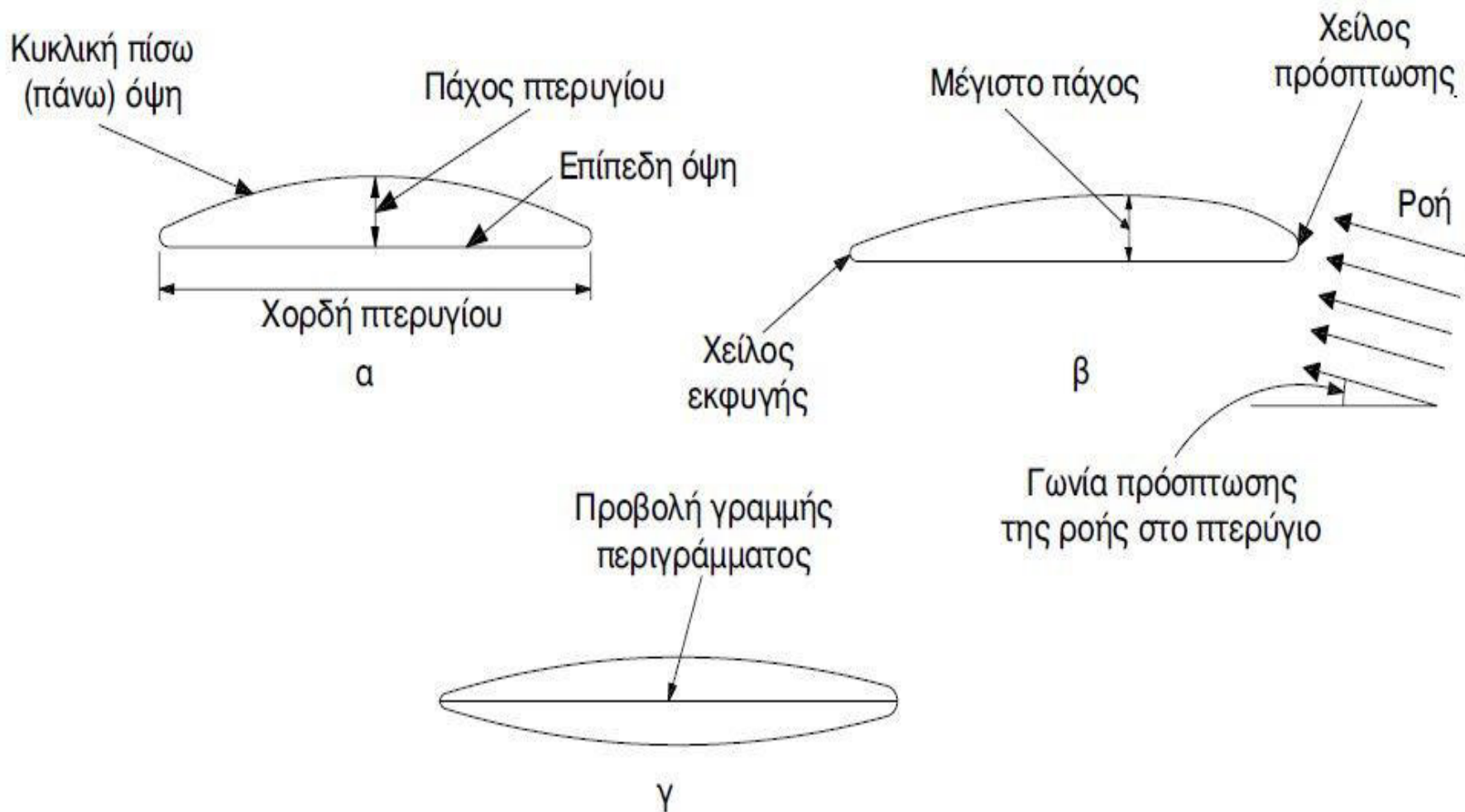
Η διαφορά πιέσεων οδηγεί στην ανάπτυξη ανωστικών δυνάμεων, κάθετων στη ροή.

Οι δυνάμεις αυτές, στην περίπτωση του έλικα,

έχουν κατεύθυνση προς τα εμπρός και ουσιαστικά προωθούν το πλοίο



Σχήμα 5.1. Σχέδιο έλικα πλοίου.



Σχήμα 5.2. Πτερύγιο υπό κλίση σε ομοιόμορφη ροή.

Η κλίση του πτερυγίου του έλικα ως προς το εγκάρσιο επίπεδο, εκφράζεται με το **βήμα P** του έλικα.

Το βήμα του έλικα ορίζεται ως η απόσταση που θα προχωρούσε, κατά μήκος του άξονα του έλικα, το πτερύγιο σε μια περιστροφή του

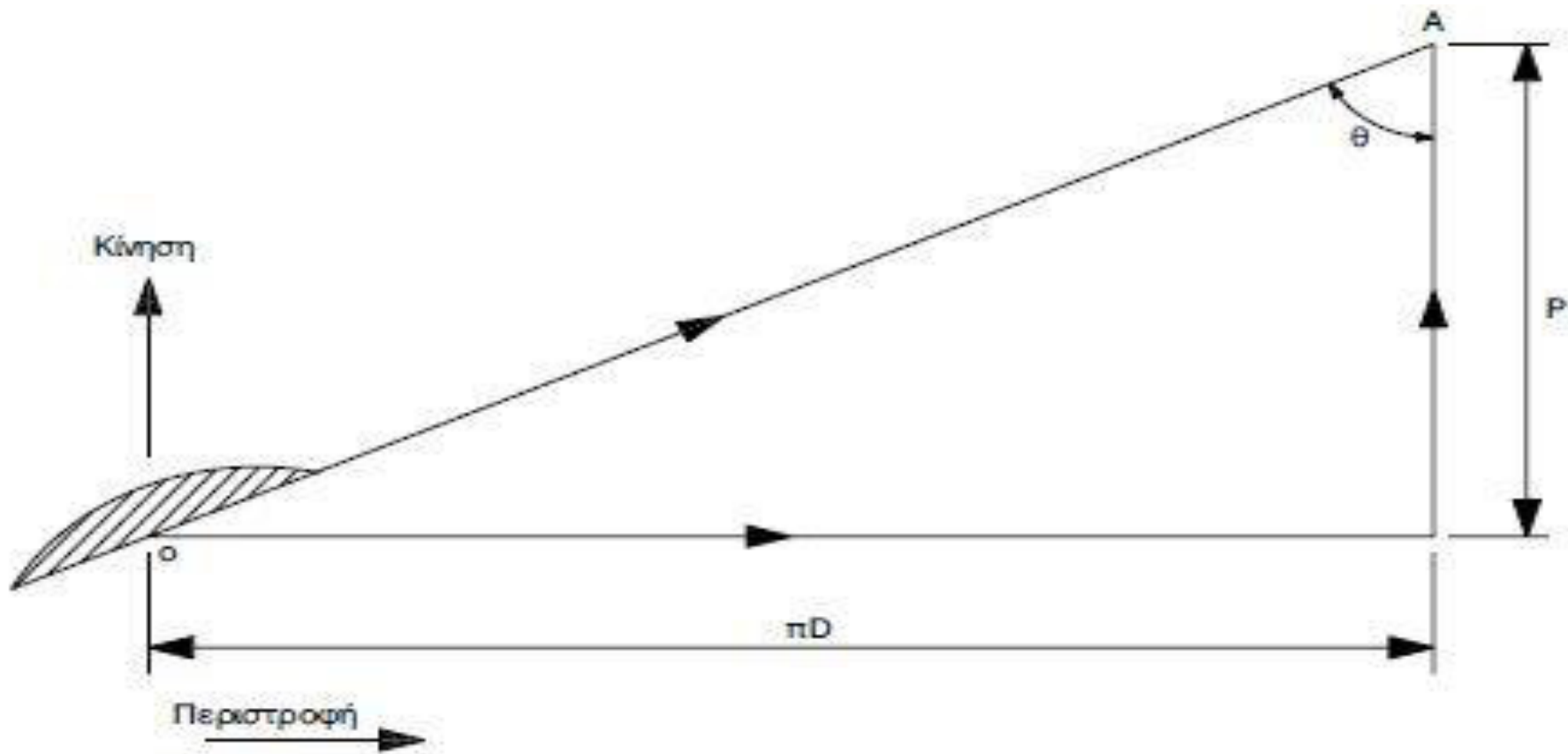
Κατά την περιστροφή του, το πτερύγιο διανύει, εγκάρσια, απόσταση μιας περιμέτρου κύκλου πD

(όπου D η διάμετρος του δίσκου του έλικα)

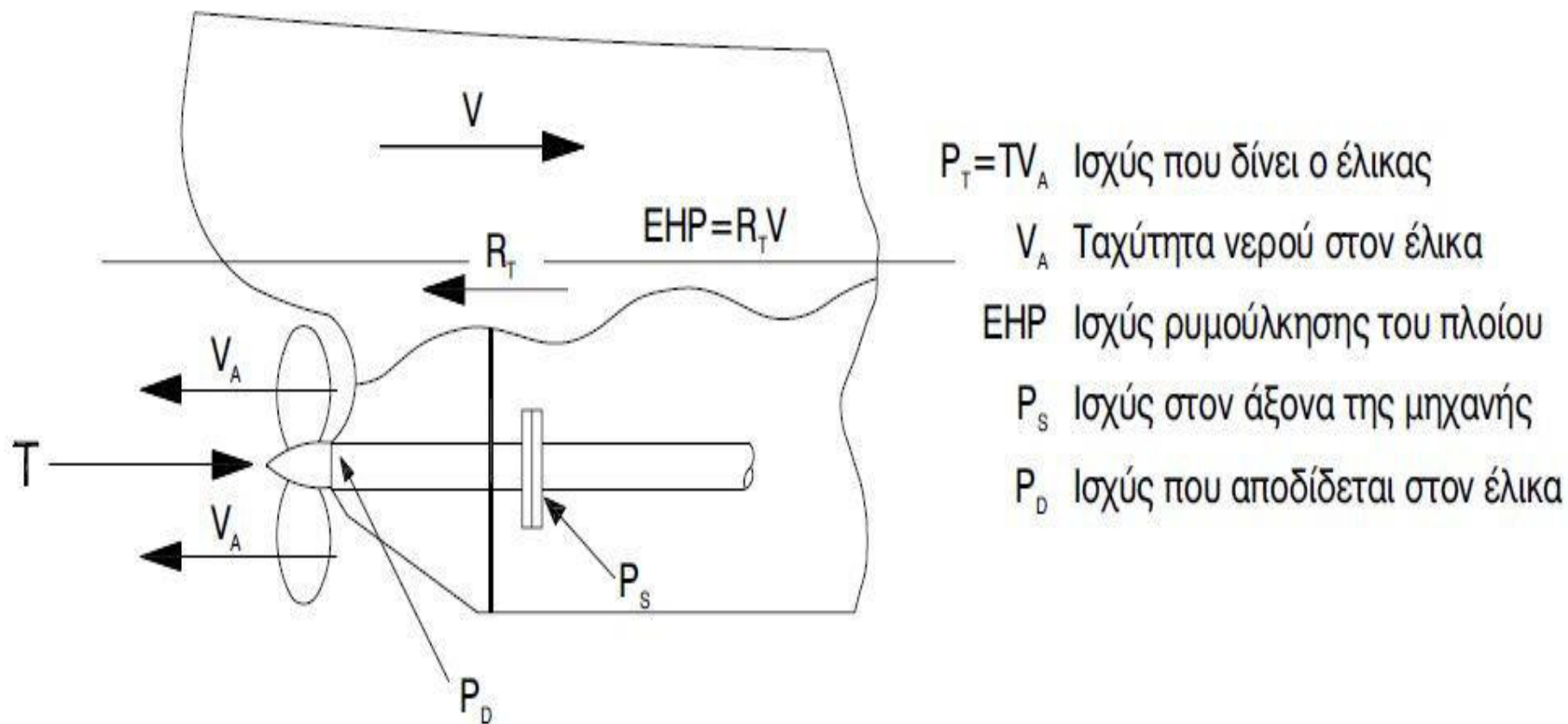
και διαμήκη απόσταση P .

Άρα, η εφαπτομένη της γωνίας κλίσης θ του πτερύγιου θα είναι:

$$\epsilon\phi \theta = P / (\pi D)$$



Σχήμα 5.3. Ορισμός του βήματος P του έλικα (D είναι η διάμετρος του έλικα).



Σχήμα 5.4. Διάταξη πρύμνης συμβατικού πλοίου.

Σπηλαίωση

όταν η ταχύτητα περιστροφής του έλικα είναι υψηλή και η κλίση της υδροτομής σχετικά μεγάλη,

η ταχύτητα του νερού, στην πάνω πλευρά του, θα αυξηθεί πολύ.

η εξίσωση του Bernoulli, προβλέπει ότι κατά μήκος μιας γραμμής ροής (της τροχιάς δηλ. ενός μικρού τμήματος του νερού)

η συνολική πίεση παραμένει σταθερή.

Η πίεση αυτή είναι το άθροισμα της στατικής
και της δυναμικής πίεσης (λόγω ταχύτητας)
και δίνεται από τη σχέση

$$\rho + \rho V^2/2 = \text{σταθερή ποσότητα}$$

Έτσι, όταν αυξάνεται η ταχύτητα

(λίγο μετά το χείλος πρόσπτωσης στο μπροστινό άκρο της υδροτομής),
μειώνεται η στατική πίεση p .

Όταν η p πέσει κάτω από κάποια τιμή, τότε το νερό ατμοποιείται.

Το φαινόμενο αυτό λέγεται **σπηλαίωση**.

Αν, στη συνέχεια, η στατική πίεση αυξηθεί πάλι (προς το χείλος εκφυγής, στο πίσω μέρος της υδροτομής) τότε ο υδρατμός γίνεται πάλι νερό.

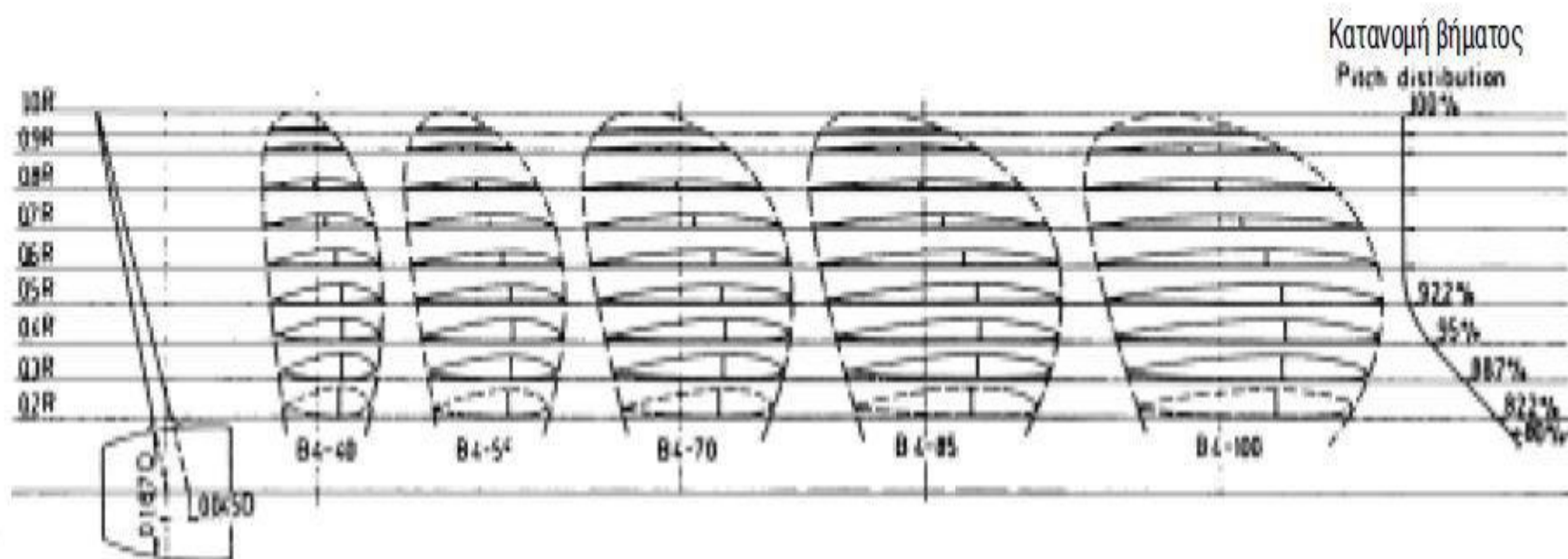
Η υγροποίηση του υδρατμού

συνοδεύεται από **έντονο κρουστικό φαινόμενο**

που καταστρέφει την επιφάνεια του πτερυγίου

και χαρακτηρίζεται ως **μηχανική διάβρωση λόγω σπηλαίωσης**.

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη, γιατί καταστρέφει τον έλικα.



Σχήμα 5.5. Η γεωμετρία της σειράς ελίκων Wageningen B-Series

Έλικες υποσπηλαίωσης

Οι έλικες **υποσπηλαίωσης** σχεδιάζονται για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, με την απαίτηση ότι

η στατική πίεση, σε οποιοδήποτε σημείο της επιφανείας των πτερυγίων της,

δεν θα πέφτει κάτω ή δεν θα πλησιάζει πολύ την πίεση ατμοποίησης του νερού, σ' αυτές τις συνθήκες.

Τότε φυσαλίδες σπηλαίωσης,
που περιέχουν υδρατμό ή αέρα διαλυμένο στο νερό,
δεν θα σχηματίζονται πουθενά πάνω στην επιφάνεια των πτερύγιων.

Είναι επιθυμητό να αποφεύγονται οι φυμαλίδες σπηλαίωσης,
γιατί η καταστροφή τους,
καθώς μετακινούνται σε περιοχή υψηλότερης πίεσης πάνω στη
επιφάνεια του πτερύγιου,
μπορεί να προκαλέσει σοβαρή μηχανική διάβρωση
καθώς και ταλαντώσεις

Μια επιτυχημένη σχεδίαση έλικα υποσπηλαίωσης δίνει

ικανοποιητική ταχύτητα πρόωσης, ώσης

και απορροφουμένης ισχύος,

με αρκετά μικρό ρυθμό μηχανικής διάβρωσης, λόγω σπηλαίωσης.

Έτσι, διασφαλίζεται ικανοποιητικός χρόνος ζωής του έλικα και απουσία απαράδεκτων ταλαντώσεων.

Για την ελαχιστοποίηση των βλαβών λόγω σπηλαίωσης, λαμβάνονται τα εξής μέτρα:

- (α) επιλέγεται υλικό του έλικα με καλή αντοχή σε σπηλαίωση,
- (β) γίνεται καλή υδροδυναμική σχεδίαση της γάστρας του σκάφους, των παρελκόμενων και του ίδιου του έλικα,
- (γ) επικαλύπτεται ο έλικας με υλικό που παρουσιάζει αντοχή στη σπηλαίωση.

Ο στόχος είναι

να σχεδιαστεί ένας αποδοτικός έλικας,
με τη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρο έτσι,
ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ταχύτητα του σκάφους,
με την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου
και με ικανοποιητική διάρκεια ζωής του έλικα.

Οι κύριες παράμετροι σχεδίασης ενός έλικα είναι,

εκτός της διαμέτρου D ,
το βήμα P ,
ο λόγος **εκτεταμένης επιφάνειας** του έλικα
(συνολική επιφάνεια των πτερύγιων της)
προς το εμβαδόν του δίσκου της α_E , και οι στροφές λειτουργίας RPM.

Η συμπεριφορά, στο νερό, των ελίκων υποσπηλαίωσης

είναι ανάλογη με τη συμπεριφορά των (αερο)ελίκων (υποηχητικών αεροσκαφών) στον αέρα.

Για το λόγο αυτό, οι κυριότερες συστηματικές σειρές ελίκων υποσπηλαίωσης χρησιμοποιούν αεροτομές τύπου NACA

Έλικες σε συνθήκες μερικής σπηλαίωσης

Με την αύξηση των στροφών ενός κανονικού έλικα υποσπηλαίωσης, η ώση του αρχικά αυξάνεται.

Πάνω από κάποια ταχύτητα περιστροφής, όμως, η ώση δεν θα συνεχίσει να αυξάνεται, αλλά, αντίθετα θα έχει την τάση να μειωθεί.

Μετά από κάποια παραπέρα αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, η ώση θα αυξηθεί και πάλι.

Έχει παρατηρηθεί ότι

η απότομη απώλεια της ώσης συνοδεύεται από εξάπλωση της σπηλαίωσης, που, τελικά, καλύπτει την πλευρά χαμηλής πίεσης των πτερυγίων.

Όταν η ώση αρχίζει να αυξάνεται πάλι,

λέμε ότι ο έλικας **υπερσπηλαιώνει**,

ενώ μέχρι το σημείο ο έλικας λειτουργεί

σε κατάσταση **μερικής σπηλαίωσης**.

Έλικες υπερσπηλαίωσης

Λέμε ότι ένας έλικας λειτουργεί σε κατάσταση **υπερσπηλαίωσης**, όταν παρουσιάζει φυσαλίδα σπηλαίωσης στα πτερύγιά του, η οποία πηγάζει από το χείλος πρόσπτωσης του πτερύγιου, καλύπτει πλήρως την πίσω (πάνω) πλευρά του πτερύγιου, και καταλήγει με τη ροή πίσω από το χείλος εκφυγής.

Όταν, επιπλέον, σε πολύ χαμηλές τιμές υποπίεσης,
ο συντελεστής ώσης (και συνεπώς η απόδοση) του έλικα
δεν εξαρτάται πλέον από την **υποπίεση**,
τότε λέμε ότι ο έλικας λειτουργεί
σε κατάσταση **πλήρους υπερσπηλαίωσης**.

Ένα πλεονέκτημα των ελίκων

που λειτουργούν σε κατάσταση υπερσπηλαίωσης
είναι ακριβώς η απουσία μηχανικής διάβρωσης,
λόγω σπηλαίωσης, στην πίσω πλευρά των πτερύγιων.

Οι έλικες, τα πτερύγια των οποίων είναι έτσι σχεδιασμένα
ώστε να λειτουργούν σε κατάσταση υπερσπηλαίωσης,
ονομάζονται έλικες υπερσπηλαίωσης.

Οι έλικες υπερσπηλαίωσης χρησιμοποιούνται,
επιτυχώς, σ' όλες τις ταχύτητες πάνω από 40 κόμβους,
αν και, βεβαίως, η απόδοσή τους είναι πολύ χαμηλή
σε ταχύτητες πάνω από 100 κόμβους.

Αν η φυσαλίδα σπηλαίωσης είναι γεμάτη κυρίως με αέρα, που προσάγεται κατάλληλα, και όχι με υδρατμό, τότε έχουμε τους **υπεραεριζόμενους έλικες** (super-ventilated propellers), οι οποίοι βέβαια συμπεριφέρονται ανάλογα με τους έλικες υπερσπηλαίωσης

Μια κατηγορία υπεραεριζόμενων ελίκων

είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν μερικά βυθισμένοι στο νερό,
ώστε να αερίζεται το κεντρικό τους τμήμα όπου στηρίζονται τα πτερύγια,
το οποίο λέγεται **πλήμνη** του έλικα

Έλικες ρυθμιζόμενου βήματος

Αρκετά πλοία χρησιμοποιούν έλικες στους οποίους το βήμα μπορεί να μεταβληθεί με **ηλεκτρο-υδραυλικό** σύστημα περιστροφής των πτερύγιων τους.

Οι έλικες αυτοί λέγονται ***έλικες ρυθμιζόμενου βήματος σε αντίθεση με τους έλικες σταθερού βήματος.***

Οι έλικες ρυθμιζόμενου βήματος έχουν το πλεονέκτημα να λειτουργούν σε κάθε ταχύτητα περιστροφής της μηχανής με το σωστό βήμα.

Επίσης, για να κινηθεί το πλοίο ανάποδα, δεν απαιτείται κίνηση της μηχανής ανάποδα, αλλά απλή αντιστροφή του βήματος.

Στα μειονεκτήματα των ελίκων αυτών συγκαταλέγονται

η ακριβή κατασκευή,

η μειωμένη απόδοσή τους,

σε σχέση με τον αντίστοιχο έλικα σταθερού βήματος που έχει σχεδιαστεί για το συγκεκριμένο βήμα,

και το αυξημένο μέγεθος της πλήμνης

για να ενσωματώσει τον υδραυλικό μηχανισμό περιστροφής των πτερυγίων

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

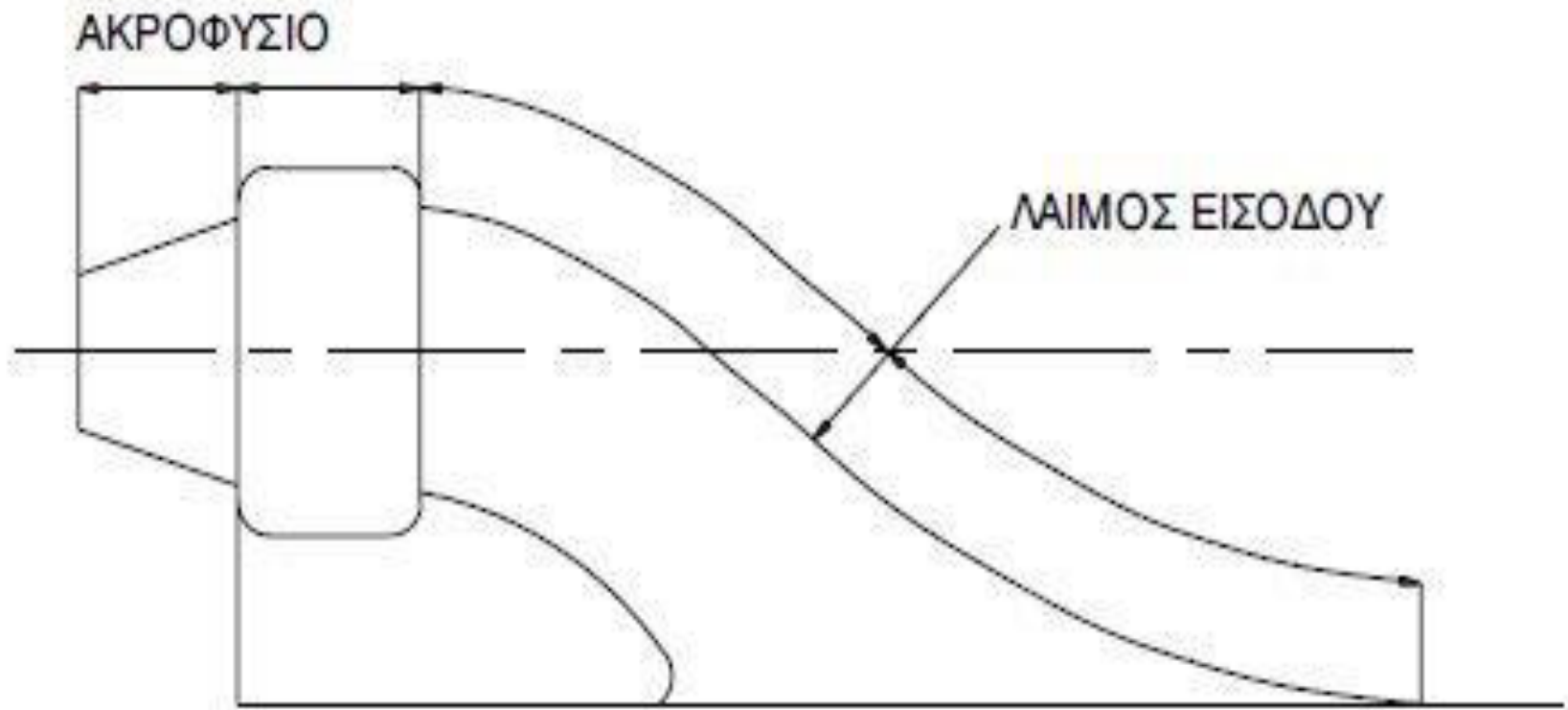
Στα συστήματα πρόωσης υδραυλικής αντίδρασης γίνεται εισροή νερού με ειδική διαμόρφωση εισόδου (inlet),

μεταβλητού ή σταθερού εμβαδού, επί της γάστρας (συνήθως στον πυθμένα) του σκάφους.

Το νερό οδηγείται μέσω γωνιακού σωληνωτού αγωγού σε μία αντλία που αποτελείται, συνήθως, από μια πτερωτή (impeller).

Η ροή επιταχύνεται στην πτερωτή και, ακολούθως, εκτονώνεται, στην πρύμνη,

μέσω ενός ακροφύσιου (nozzle), στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 5.9. Σύστημα υδραυλικής αντίδρασης.

Στο στάδιο της εκτόνωσης,

υπάρχει μηχανισμός ελεγχόμενης αλλαγής της κατεύθυνσης
(ακόμη και αντιστροφής) της ροής του νερού,
και της παρεχόμενης ώσης,
βελτιώνοντας έτσι τις ελκτικές ικανότητες του σκάφους.

επειδή η όλη διάταξη πρόωσης βρίσκεται εσωτερικά της γάστρας,
επιτρέπει την κίνηση του σκάφους και σε ιδιαίτερα ρηχά νερά
Το ότι η όλη διάταξη πρόωσης βρίσκεται εσωτερικά της γάστρας
είναι και μειονέκτημα,
αφού ελαττώνεται ο ωφέλιμος όγκος του σκάφους.

Γενικά, η απόδοση πρόωσης των συστημάτων υδραυλικής αντίδρασης είναι χαμηλότερη από την απόδοση των συστημάτων με έλικες αν και, τα τελευταία χρόνια, γίνονται προσπάθειες να αυξηθεί.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ

Υπάρχουν διάφορα συστήματα πρόωσης με αέρα, κατάλληλα για χρήση κυρίως σε ταχύπλοα σκάφη, όπως οι ελεύθερες ή μέσα σε δακτύλιο (αερο)έλικες και τα συστήματα με φυγοκεντρικές ή αξονικές αεραντλίες.

Όλα τα συστήματα πρόωσης αέρα παρουσιάζουν δύο πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα πρόωσης που λειτουργούν στο νερό:

την καλή απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες

και την έλλειψη σπηλαίωσης,

αφού δεν υπάρχουν βυθισμένα μέρη.

Παρουσιάζουν όμως και το μειονέκτημα

ότι εκτίθενται στη μηχανική διάβρωση,

λόγω του αφρού,

και στη χημική διάβρωση,

λόγω του αλατιού.

Τόσο οι ελεύθεροι

όσο και οι μέσα σε δακτύλιο έλικες
εφαρμόζονται, κυρίως, στην πρόωση αερόστρωμνων,
τα οποία δεν διαθέτουν στερεές κατασκευές στο νερό.

Οι έλικες αυτοί προσφέρουν

τη δυνατότητα υψηλών βαθμών απόδοσης, μολονότι, πρακτικά, απαιτούνται υπερβολικές διάμετροι για την επίτευξη απόδοσης μεγαλύτερης του 60%.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αεροελίκων είναι ο εκπεμπόμενος θόρυβος

ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΙΣΤΙΟΦΟΡΙΑ

Η πρόωση με πανιά αποτελούσε για πολλούς αιώνες τον αποκλειστικό τρόπο πρόωσης των πλοίων.

Σήμερα εφαρμόζεται κυρίως σε ιστιοφόρα και ιστιοπλοϊκά σκάφη.

Στα ιστιοφόρα, αποτελεί βοηθητικό τρόπο πρόωσης, παράλληλα με τις εγκατεστημένες σ' αυτά μηχανές.

Υπάρχει σχετική διάταξη της Επιθεώρησης Εμπορικών Πλοίων (ΕΕΠ)
του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας (ΥΕΝ)

που επιτρέπει την τοποθέτηση μιας μόνο κύριας μηχανής,
αντί για δύο, σε επιβατηγά πλοία,
υπό την προϋπόθεση ότι θα διαθέτουν ικανοποιητική ιστιοφορία,
ώστε να μπορούν να πλεύσουν με ταχύτητα 4 κόμβων,
μόνο με τα πανιά.

Όσον αφορά τα ιστιοπλοϊκά σκάφη αυτά αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία σκάφων.

Όσα από αυτά συμμετέχουν σε αγώνες, ενσωματώνουν, γενικά, πολύ υψηλή τεχνολογία, τόσο στη σχεδίαση όσο και στην κατασκευή τους.

Τα σύγχρονα πανιά λειτουργούν ως αεροτομές,
οι οποίες παράγουν δυνάμεις τόσο κατά μήκος του πλοίου για την
πρόωσή του,
όσο και εγκάρσια που δίνει κλίση στο πλοίο
και κατακόρυφη που αυξάνει ουσιαστικά το εκτόπισμα

Για την αντιμετώπιση της εγκάρσιας κλίσης, τα ιστιοπλοϊκά διαθέτουν καρίνα και μεγάλο πηδάλιο.

Επιπλέον, προς βελτίωση της ευστάθειας, λαμβάνεται μέριμνα για μετατόπιση του κέντρου βάρους όσον γίνεται χαμηλότερα, με την τοποθέτηση έρματος 40-50% του βάρους του σκάφους στην καρίνα.

Αντίστοιχα, τοποθετείται έρμα και στον πυθμένα των ιστιοφόρων σκαφών



Φωτογραφία 5.2 Σύγχρονο ιστιοπλοϊκό σκάφος