



Ειδικές Ναυπηγικές Κατασκευές και Ιστιοφόρα σκάφη

Διδάσκουσα:

Σ. Κ. Πέππα, Καθηγήτρια Εφαρμογών

Σχεδίαση της έλικας

Σκοπός

Η έλικα των ιστιοπλοϊκών σκαφών σχεδιάζεται έτσι ώστε:

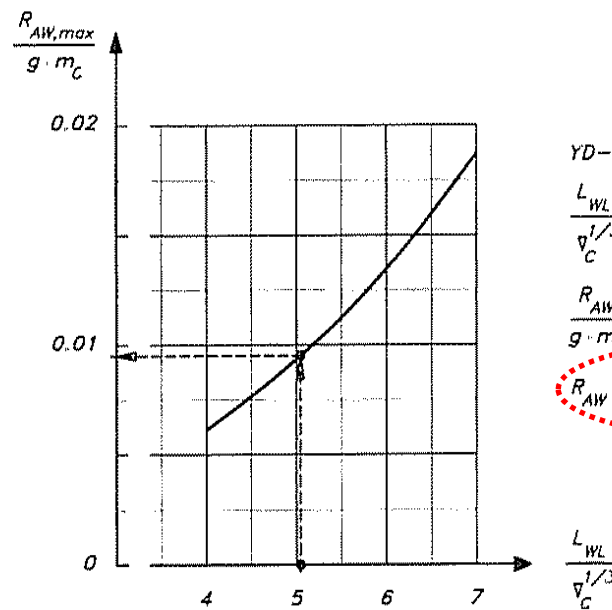
- να έχει ικανοποιητική απόδοση κατά την πλεύση του σκάφους με μηχανή, ενώ ταυτόχρονα
- η παρουσία της να μην αυξάνει σημαντικά την αντίσταση του σκάφους κατά την πλεύση του με τη βοήθεια της ιστιοφορίας του.

Αντίσταση

- Σημειώνεται ότι κατά την πλεύση με μηχανή το ιστιοπλοϊκό σκάφος θεωρείται ότι πλέει στην όρθια κατάσταση, οπότε η μηχανή του έχει να υπερνικήσει τις παρακάτω συνιστώσες της αντίστασης:
 - την αντίσταση τριβής
 - την υπόλοιπη αντίσταση
 - την πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών, και
 - την αεροδυναμική αντίσταση της γάστρας και της ιστιοφορίας σε περίπτωση ανέμου

Η πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών

- Η R_{AW} είναι δύσκολο να υπολογιστεί
- Συνήθως 10% του αθροίσματος των υπολοίπων συνιστωσών της αντίστασης
- Στο σχήμα βλέπουμε την μέγιστη πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών σε αδιάστατη μορφή συναρτήσει του λόγου $L_{wl}/V_c^{1/3}$ για το σκάφος YD-40



YD-40 :

$$\frac{L_{wl}}{V_c^{1/3}} = \frac{10.02}{7.63^{1/3}} = 5.09$$

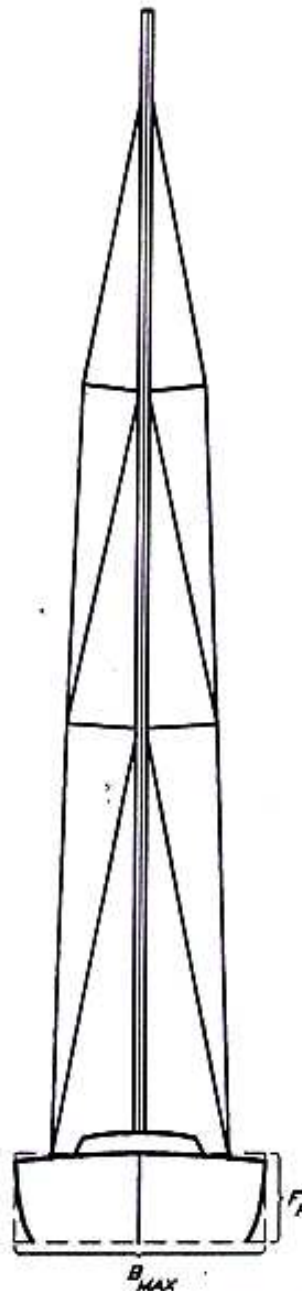
$$\frac{R_{AW}}{g \cdot m_c} = 0.0095 \text{ (diagram)}$$

$$R_{AW} = 0.0095 \cdot 9.81 \cdot 7820 = 730 \text{ [N]}$$

Συνιστώσες της αεροδυναμικής αντίστασης

Stays: Πρότονος, Επίτονος
Shrouds: Παράτονοι

26/5/2013



Windage of hull : Αεροδυναμική αντίσταση γάστρας

$$R_{AH} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_a^2 \cdot C_{AH} \cdot B_{MAX} \cdot F_F$$

V_a : Apparent windspeed [m/s]

C_{AH} : Wind resistance coefficient of hull (≈ 0.5)

B_{MAX} : Max beam [3.71 m]

F_F : Freeboard forward [1.39 m]

Windage of mast : Αεροδυναμική αντίσταση καταριού

$$R_{AM} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_a^2 \cdot C_{AM} \cdot t_M \cdot L_M$$

C_{AM} : Wind resistance coefficient of mast (≈ 1.0)

t_M : Average mast thickness [0.139 m]

L_M : Mast length [16.9 m]

Windage of rig : Αεροδυναμική αντίσταση Εξαρτισμού

$$R_{AR} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_a^2 \cdot C_{AR} \cdot t_R \cdot L_R$$

(άλμπουρο, πανί, μάτσα και σύνδεσμος)

C_{AR} : Wind resistance coefficient of rig (≈ 1.2)

t_R : Thickness of stays and shrouds [0.008 and 0.01 m]

L_R : Length of stays and shrouds [76.7 and 23.9 m]

(Add R_{AR} 's for different lengths and thicknesses)

$$R_A = R_{AH} + R_{AM} + R_{AR}$$

Έλικα

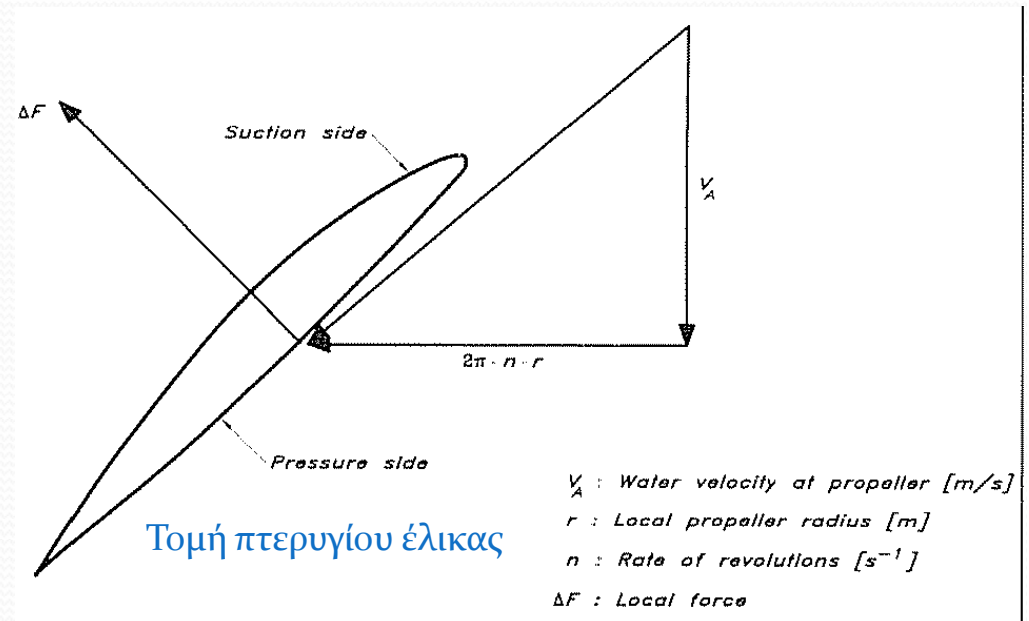
- Η ταχύτητα του πτερυγίου είναι το άθροισμα της:
 - ταχύτητας προχωρήσεως:

$$V_A = (1 - w) \cdot V_s$$

w , συντελεστής ποσοστού ομόρρου

$$V_A < V_s$$

- και της ταχύτητας περιστροφής (που είναι ανάλογη της τοπικής ακτίνας, r και του ρυθμού περιστροφής, n)



Έλिका – Βέλτιστη σχεδίαση

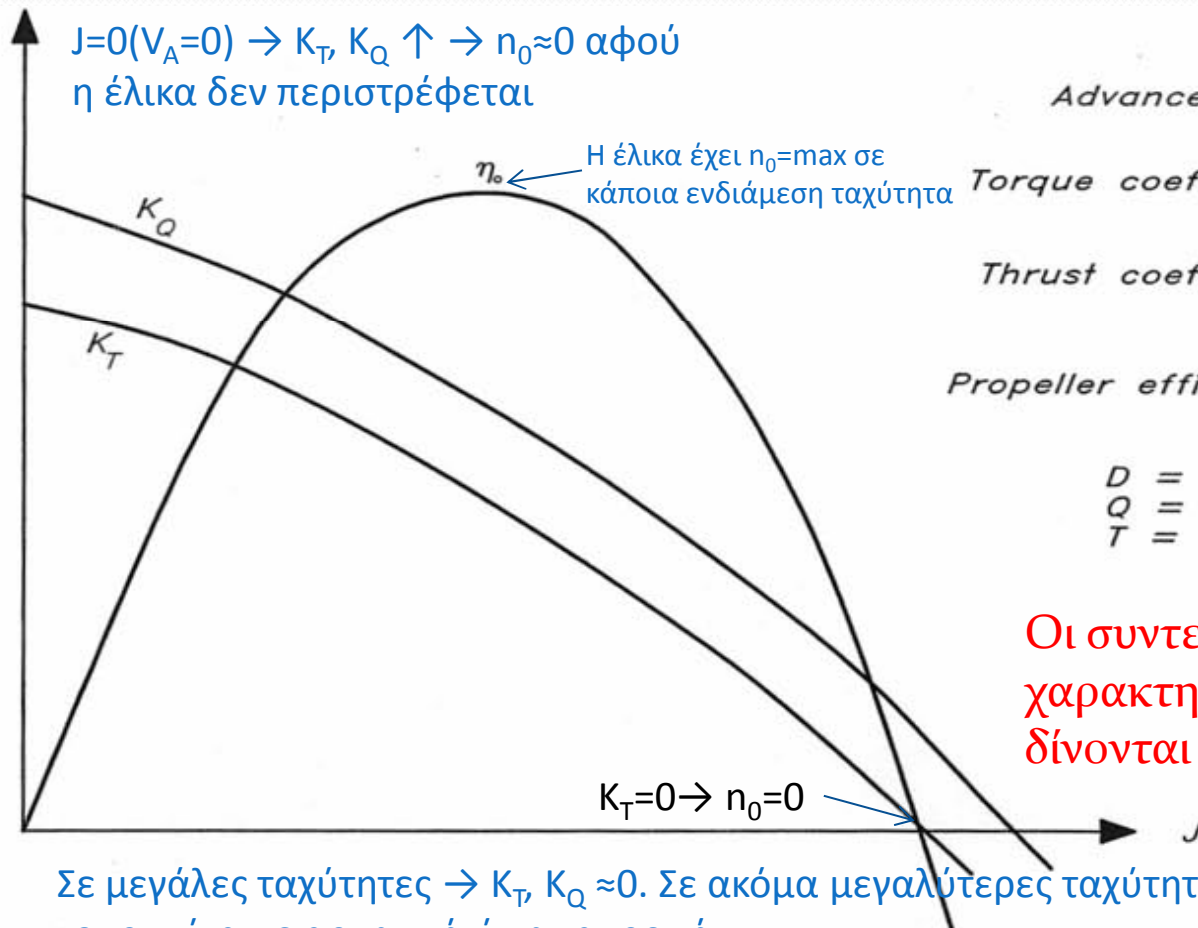
Για να σχεδιάσουμε τη βέλτιστη έλिका πρέπει να ξέρουμε:

- Την ταχύτητα προχωρήσεως
- Την ώση
- Την ταχύτητα περιστροφής

Συστηματικές σειρές ελίκων

- Αν και υπάρχουν αρκετές συστηματικές σειρές για τη σχεδίαση των ελίκων, μερικές μόνον από αυτές περιλαμβάνουν δίπτερες έλικες που χρησιμοποιούνται στα ιστιοπλοϊκά σκάφη.
- Μια τέτοια σειρά είναι η σειρά ελίκων Troost που αναπτύχθηκε από το ερευνητικό κέντρο NSMB στην Ολλανδία.
- Τα αποτελέσματα της σειράς παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων K_T , K_Q , $\eta = f(J)$, ή διαγραμμάτων $B_u - \delta$, όπου B_u είναι ο συντελεστής ώσης

Χαρακτηριστικές ελίκων



Advance ratio : $J = \frac{V_A}{D \cdot n}$

Torque coefficient : $K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot D^5 \cdot n^2}$

Thrust coefficient : $K_T = \frac{T}{\rho \cdot D^4 \cdot n^2}$

Propeller efficiency : $\eta_0 = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$

$D =$ Propeller diameter [m]
 $Q =$ Torque [Nm]
 $T =$ Thrust [N]

Οι συντελεστές K_T , K_Q & η_0 λέγονται χαρακτηριστικές της έλικας και δίνονται συναρτήσει του J .

Σε μεγάλες ταχύτητες $\rightarrow K_T, K_Q \approx 0$. Σε ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες η έλικα δουλεύει σαν τουρμπίνα με αρνητική ώση και ροπή

Συντελεστής ώσης B_u & δ

$$B_u = 13,36 \cdot \sqrt{\frac{Tn^2}{\rho V_A^2}}$$

όπου : T = η ώση

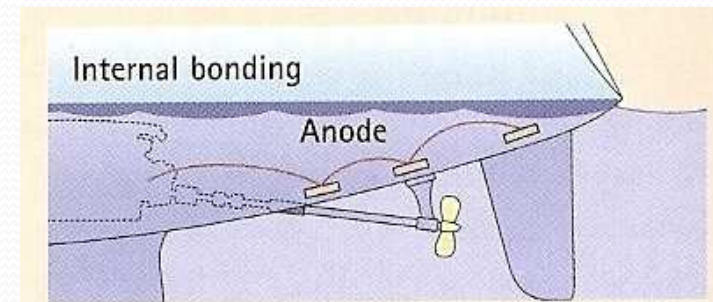
ρ = η πυκνότητα του νερού

V_A = η ταχύτητα προχώρησης της έλικας

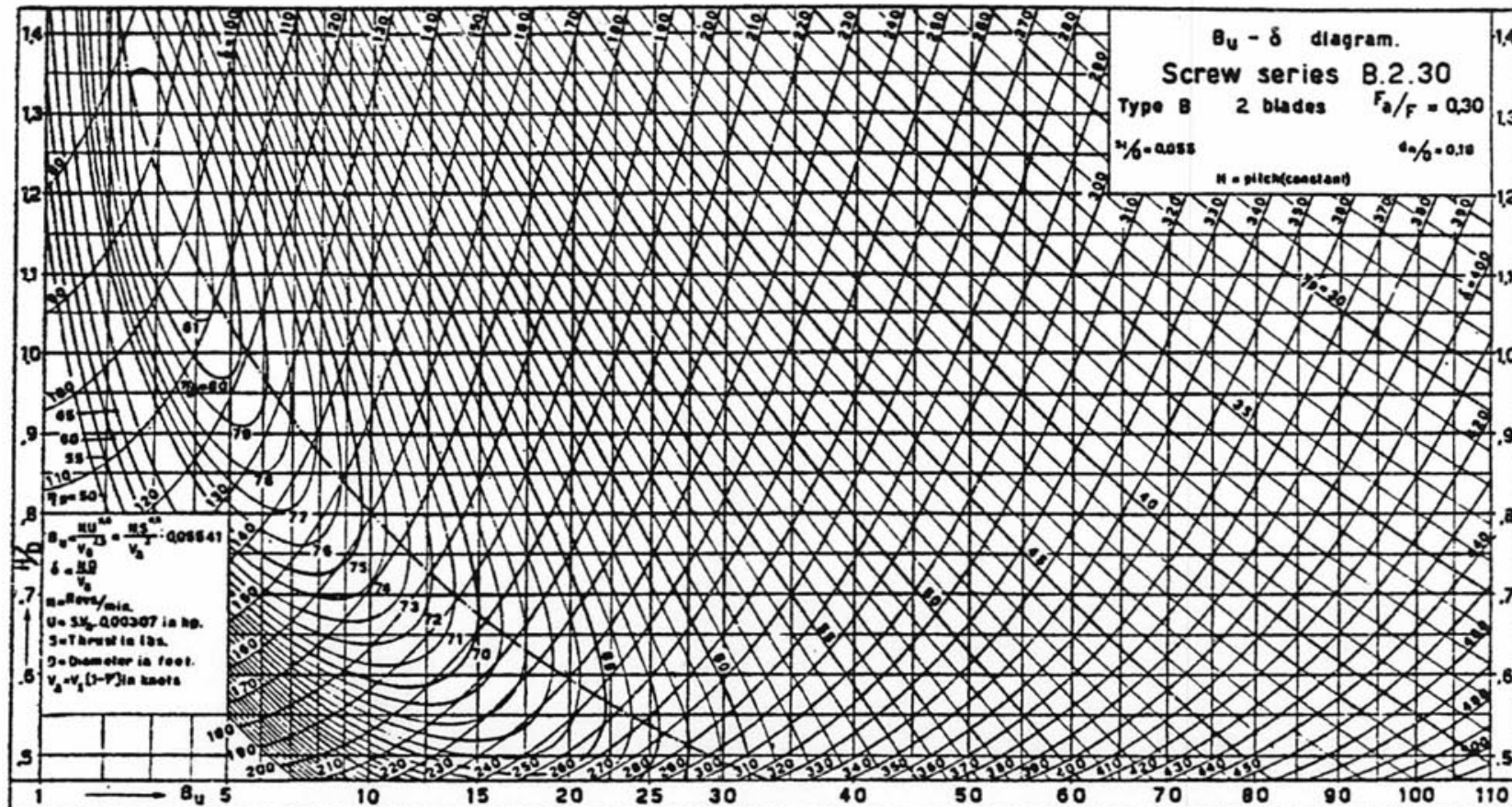
n = οι στροφές της έλικας

και : δ = 101.3 / J

J = ο συντελεστής προχώρησης

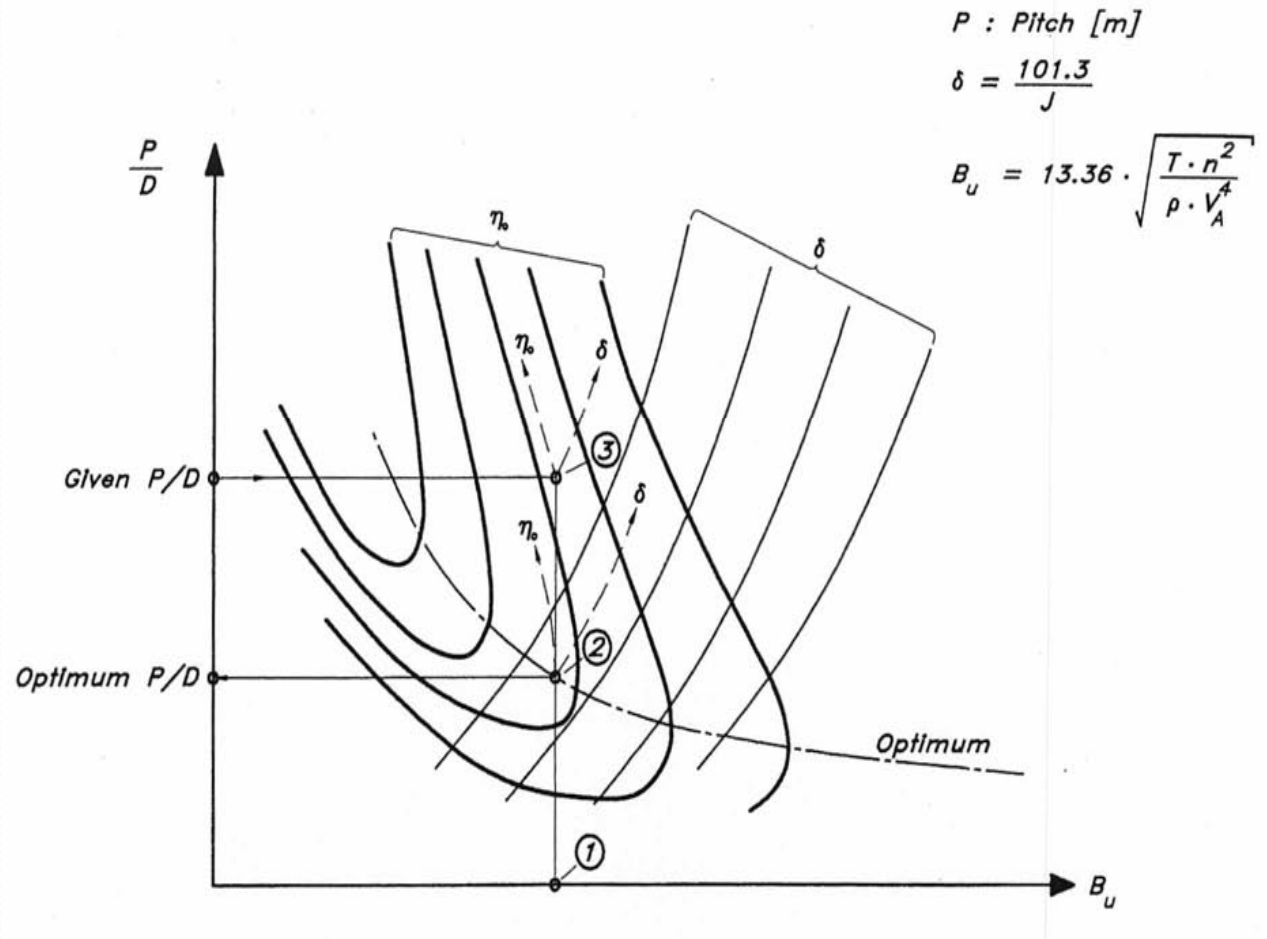


Διάγραμμα $B_u - \delta$ για τις δίπτερες έλικες Troost B.2.30



Τρόπος χρήσης διαγράμματος B_u - δ

- Υπολογίζουμε το B_u (1)
- Αν θέλουμε βέλτιστο η_0 τότε βρίσκουμε το σημείο (2) και από εκεί το P/D
- Αν πάλι έχουμε δεδομένη προπέλα P/D βρίσκουμε το σημείο (3)
- Από τα σημεία (2) ή (3) βρίσκουμε τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης η_0
- Υπολογίζουμε με ανάλογο τρόπο το δ και από εκεί το J και κατόπιν από τον ορισμό $J=V_A/D \cdot n$ τη διάμετρο



Παράδειγμα

Βέλτιστη έλικα για διάφορες ταχύτητες - Ιστιοπλοϊκό YD-40

Από διάγραμμα
για δίπτερες
έλικες Troost
B.2.30

	Calm weather			Rough weather		
$V_A = [knots]$	7	8	8.5	6	6.5	7
$V_A = [m/s]$	3.60	4.11	4.37	3.09	3.34	3.60
$T = [N]$	1356	2749	3805	3977	4337	4840
B_u	23.7	25.8	26.9	55.2	49.1	44.8
$\delta [diagram]$	236	243	250	337	320	310
$D [m]$	0.42	0.49	0.54	0.51	0.53	0.55
$P/D [diagram]$	0.61	0.60	0.51	0.55	0.55	0.55
$P [m]$	0.25	0.30	0.32	0.28	0.29	0.30
$\eta_b [diagram]$	0.61	0.60	0.59	0.48	0.50	0.51
$P_D [kW]$	8.0	18.8	28.2	25.4	29.0	33.8

Engine max : $P_D = 30 [kW]$ at $n = 3000 [rpm]$

Gear ratio 2.5:1

Στροφές στην έλικα: $n = \frac{3000}{2.5 \cdot 60} = 20 [rps]$

Υποθέτουμε ότι η ισχύς στην έλικα είναι 26 KW

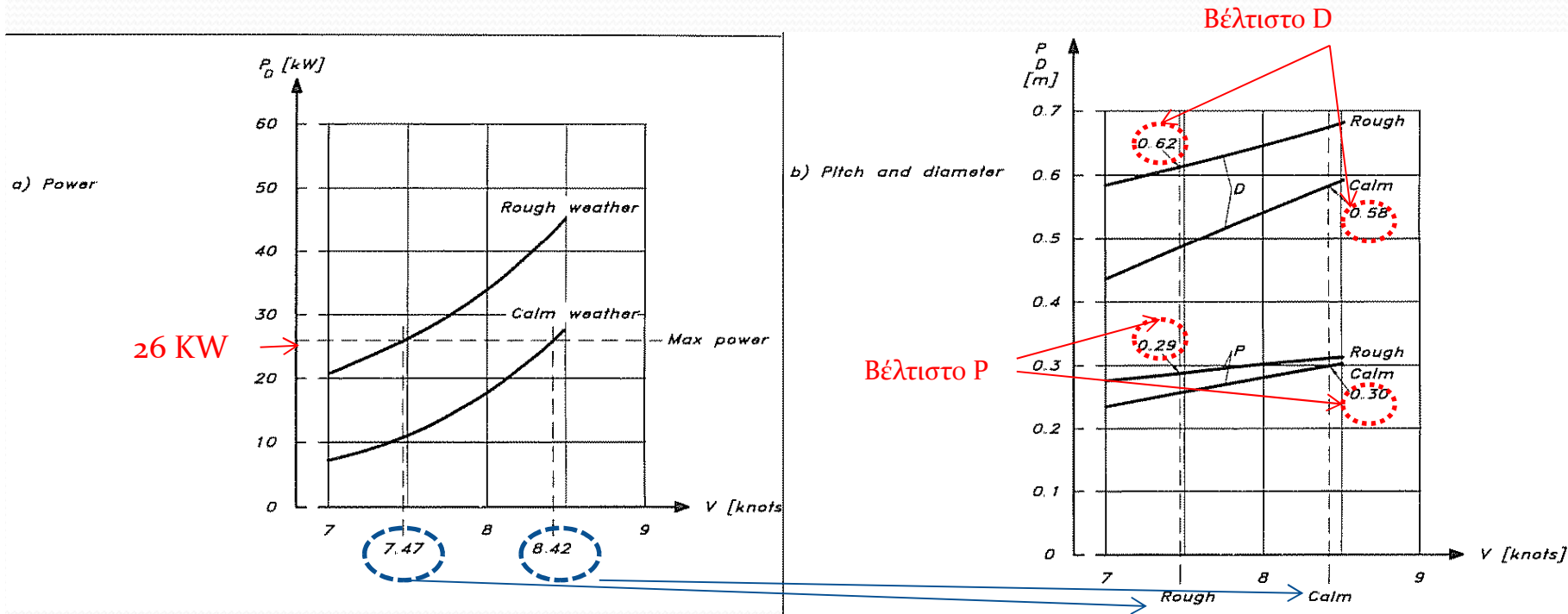
$$B_u = 13.36 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot n^2}{\rho \cdot V_A^4}}$$

$$D = \frac{\delta \cdot V_A}{101.3 \cdot n}$$

$$P_D = \frac{T \cdot V_A}{\eta_b}$$

Παράδειγμα

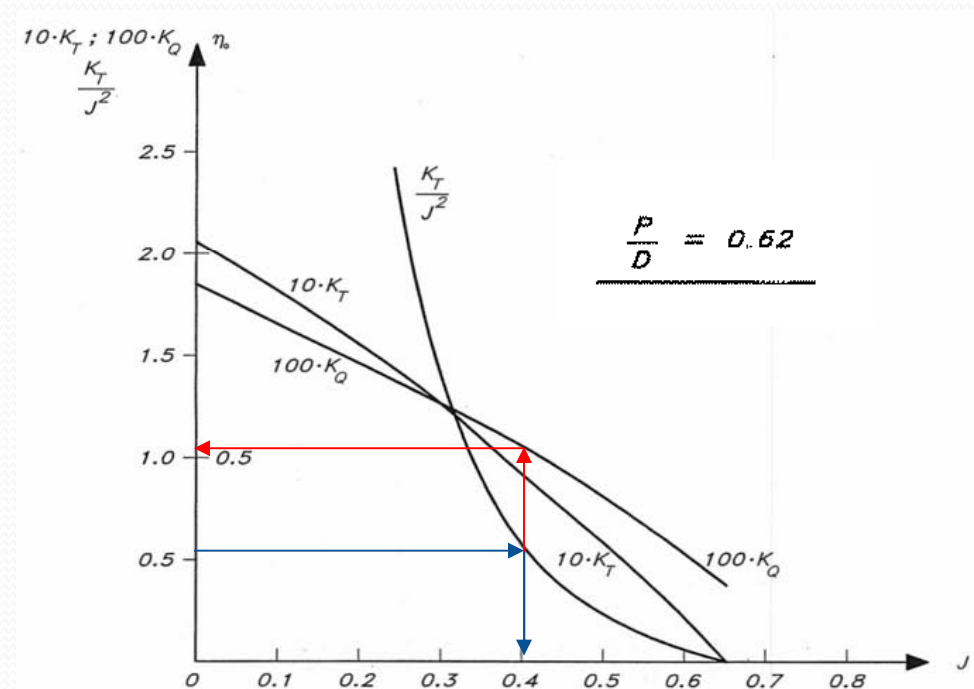
Προκύπτουν διαγράμματα (α) για την ισχύ & β) P/D για 2 καταστάσεις πλεύσεις



Επιδόσεις δεδομένης προπέλας

Για δεδομένο λόγο $P/D = 0.62$

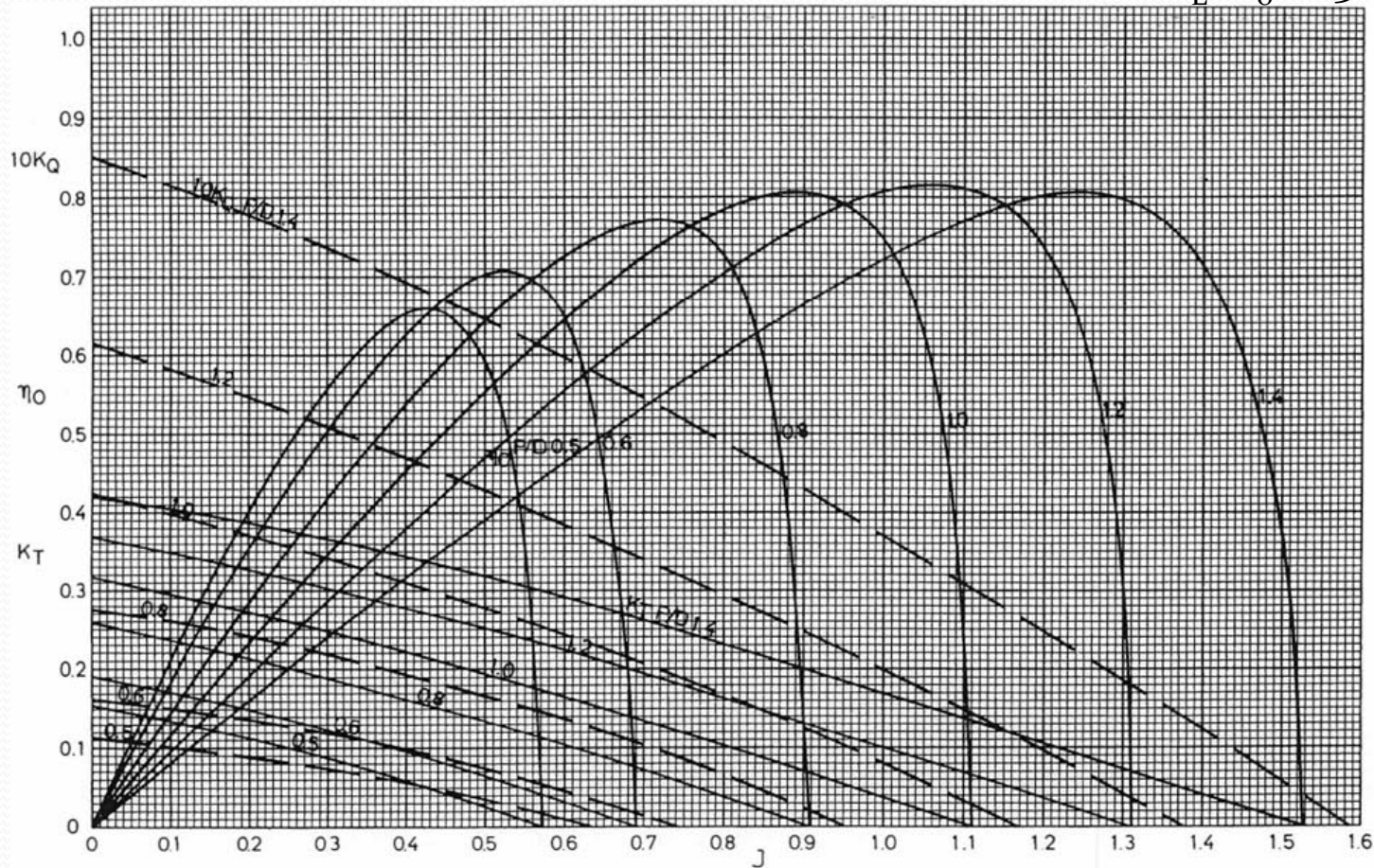
- Υποθέτουμε ταχύτητα της προπέλας ίση με του σκάφους
- Η ώση είναι ίση με την αντίσταση ρυμούλκησης
- Υπολογίζουμε τη φόρτιση της προπέλας δηλ. το K_T/J^2
- Βρίσκουμε στον κάθετο άξονα την τιμή που αντιστοιχεί στην τιμή που υπολογίσαμε
- Βρίσκουμε το αντίστοιχο J
- Βρίσκουμε το αντίστοιχο K_Q
- Υπολογίζουμε τις στροφές n
- Υπολογίζουμε την αποδιδόμενη ισχύ στην έλικα P_D



Χαρακτηριστικές 2/πτερης

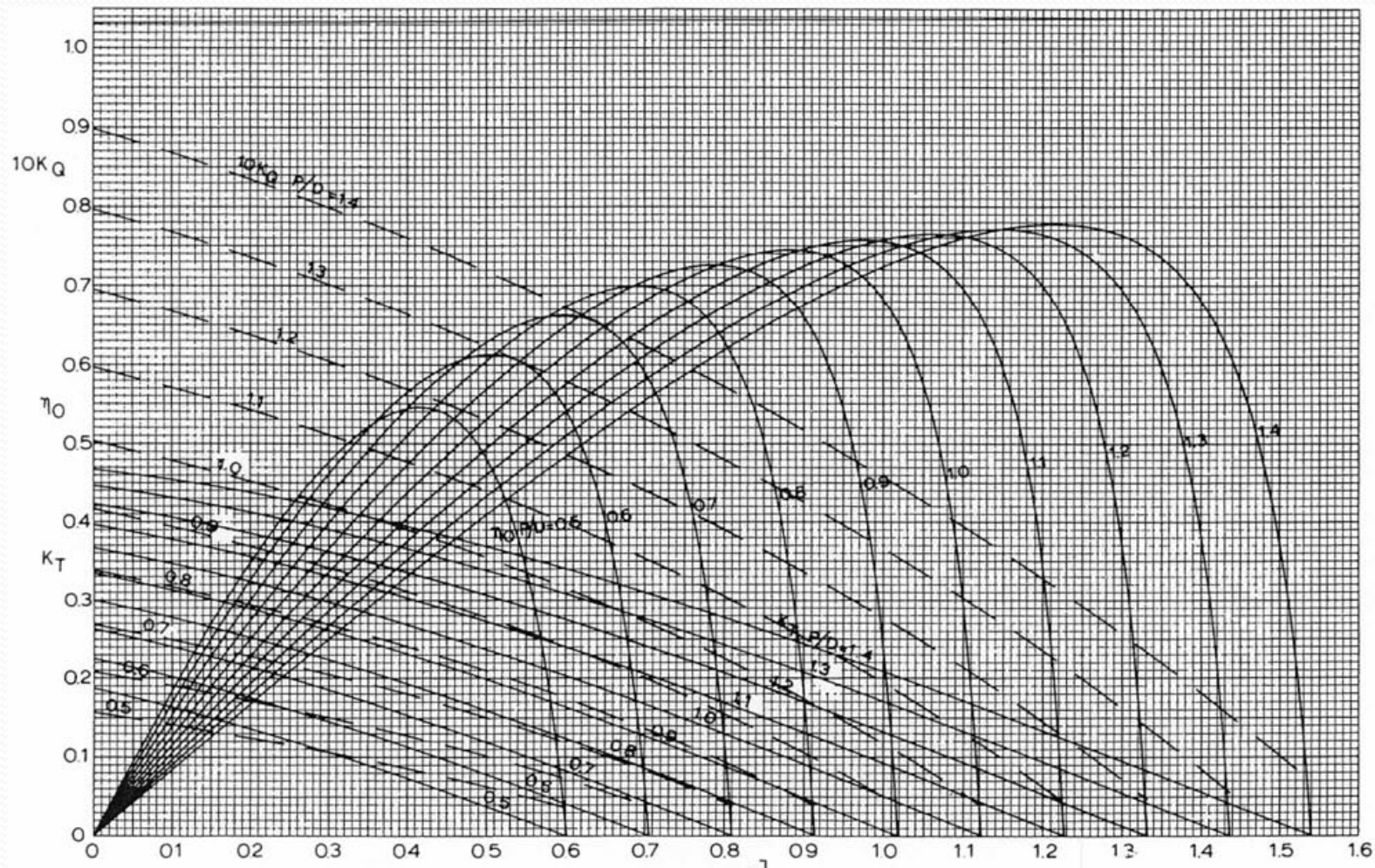
Propeller characteristics, 2-bladed Troost propellers (Courtesy of MARIN)

$$A_E/A_O=0.30$$



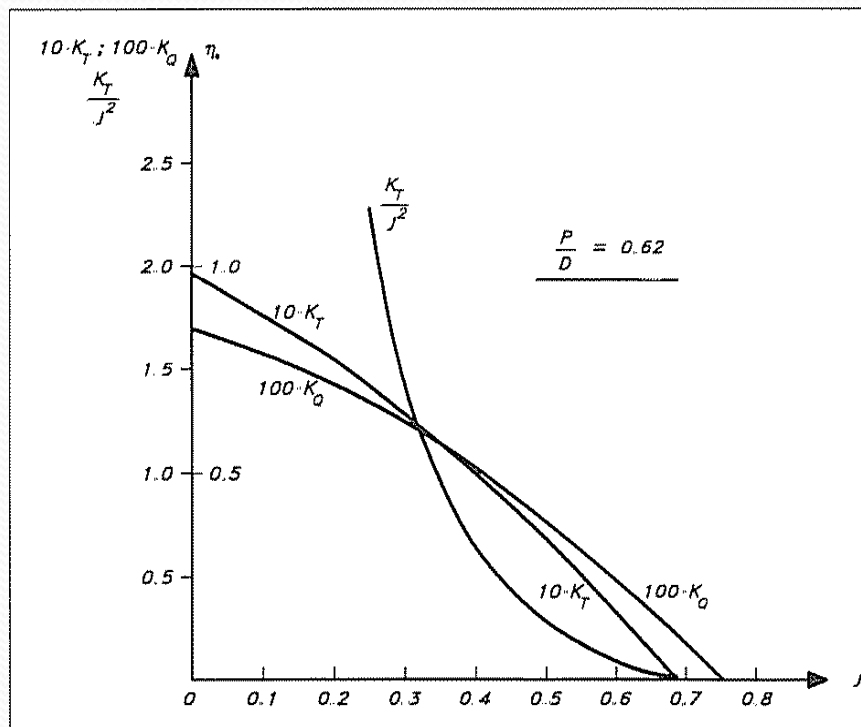
Χαρακτηριστικές 3/πτερης

Propeller characteristics, 3-bladed Troost propellers (Courtesy of MARIN)



Παράδειγμα

Από διάγραμμα για τρίπτερη Troost $A_E/A_0=0.30$



	Calm weather			Rough weather		
$V_A = V$ [knots]	7	8	8.5	7	8	8.5
$V_A = V$ [m/s]	3.60	4.11	4.37	3.60	4.11	4.37
$T = R$ [N]	1300	2750	4000	3357	4880	6169
D (given) [m]	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Coefficient	0.347	0.563	0.724	0.896	1.000	1.118
J (diagram)	0.475	0.415	0.385	0.355	0.340	0.330
K_0 (diagram)	0.0084	0.0100	0.0107	0.0114	0.0118	0.0122
n [rps]	14.3	18.7	21.4	19.1	22.8	25.0
P_D [kW]	6.60	17.5	28.2	21.4	37.6	51.2

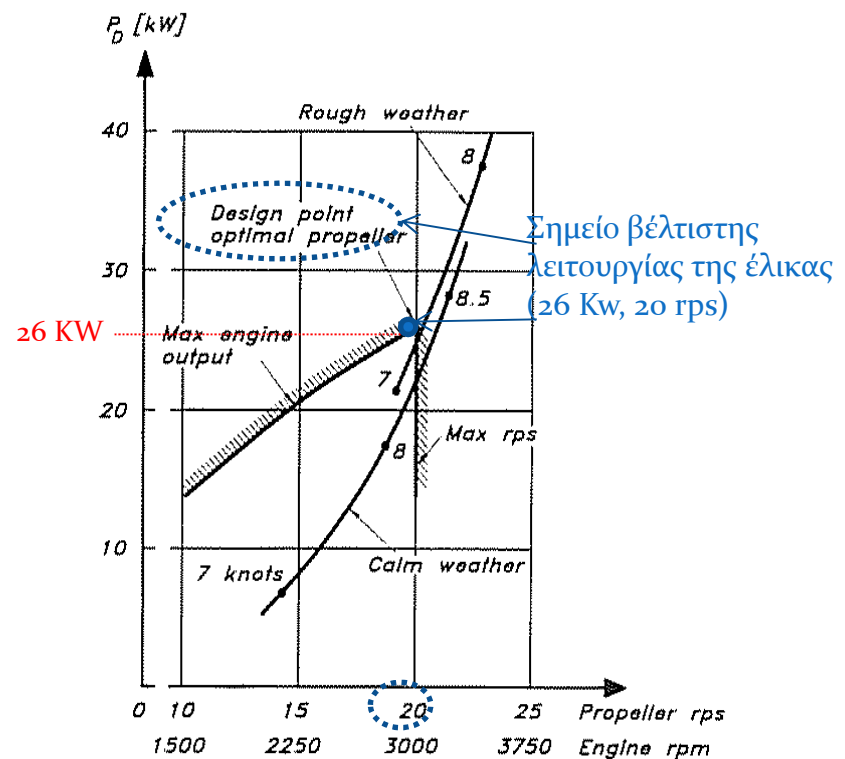
$$\text{Coefficient} = \frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho \cdot D^2 \cdot V_A^2} = \frac{T}{289 \cdot V_A^2}$$

$$n = \frac{V_A}{D \cdot J}$$

$$P_D = 2\pi \cdot K_0 \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n^3 = 0.269 \cdot K_0 \cdot n^3$$

Συνεργασία έλικας-μηχανής

- Έχοντας την καμπύλη της αποδιδόμενης ισχύος πάμε πίσω στη μηχανή και την χαρακτηριστική της
- Χαράζουμε τις αντίστοιχες καμπύλες και βρίσκουμε το σημείο λειτουργίας της προπέλας
- Η επιλογή τρίπτερης έλικας δεν η βέλτιστη αφού στο max rps → 22 KW - 8,2 knots (calm weather) & 25 KW – 7,2 knots (rough weather)
- Σε αυτό το παράδειγμα όπως είχαμε δει αρχικά με την επιλογή της βέλτιστης έλικας (δίπτερη) θα είχε ταχύτητα 8,4 (calm weather) & 7,5 knots (rough weather)



Έλεγχος σπηλαίωσης

Μέθοδος προτεινόμενη από τον Burrill:

Pressure at propeller shaft:

$$P_p = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h_p$$

P_{atm} : Atmospheric pressure

h_p : Depth at propeller shaft

Cavitation number :

$$\sigma = \frac{P_p - P_V}{\frac{1}{2} \rho \cdot V_A^2 \cdot [1 + (\frac{0.7\pi}{J})^2]}$$

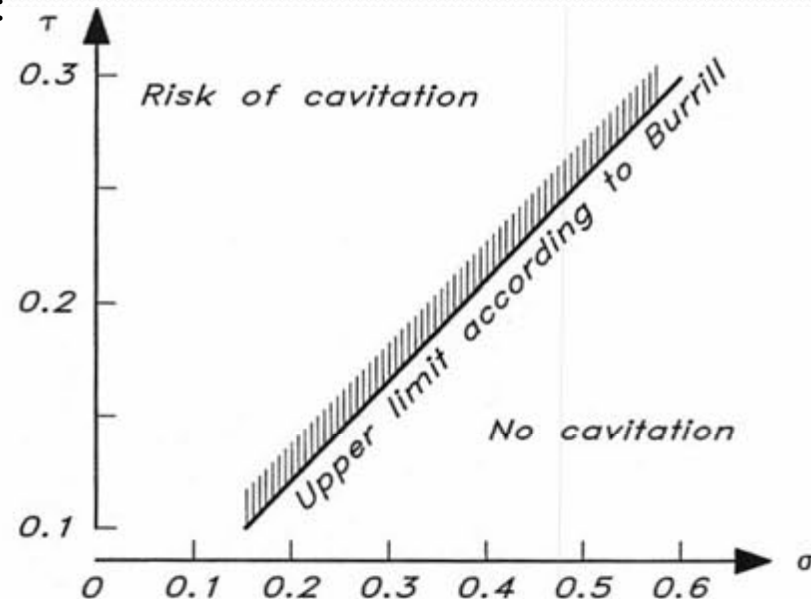
P_V : Vaporization pressure

Blade area :

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{T}{\tau \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V_A^2 \cdot [1 + (\frac{0.7\pi}{J})^2] \cdot (1.067 - 0.229 \frac{P}{D}) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

A_D : Developed blade area

A_0 : Area of propeller disk



Παράδειγμα

$$h_p = 0.48 \text{ [m]}$$

$$p_{atm} = 101300 \text{ [Pa]}$$

$$p_p = 101300 + 1025 \cdot 9.81 \cdot 0.48 = 106127 \text{ [Pa]}$$

$$p_v = 2300 \text{ [Pa]}, \text{ at } 20^\circ \text{C}$$

$$\frac{P}{D} = 0.62$$

$$D = 0.55 \text{ [m]}$$

Worst case – rough weather, 7 knots (see Fig 9.15):

$$V_A = 3.60 \text{ [m/s]}$$

$$J = 0.355$$

$$T = 3357 \text{ [N]}$$

$$\sigma =$$

$$\tau =$$

$$\frac{A_D}{A_0} =$$

Παράδειγμα

$$h_p = 0.48 \text{ [m]}$$

$$p_{atm} = 101300 \text{ [Pa]}$$

$$p_p = 101300 + 1025 \cdot 9.81 \cdot 0.48 = 106127 \text{ [Pa]}$$

$$p_v = 2300 \text{ [Pa], at } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{F}{D} = 0.62$$

$$D = 0.53 \text{ [m]}$$

Worst case – rough weather, 7 knots (see Fig 9.15):

$$V_A = 3.60 \text{ [m/s]}$$

$$J = 0.355$$

$$T = 3357 \text{ [N]}$$

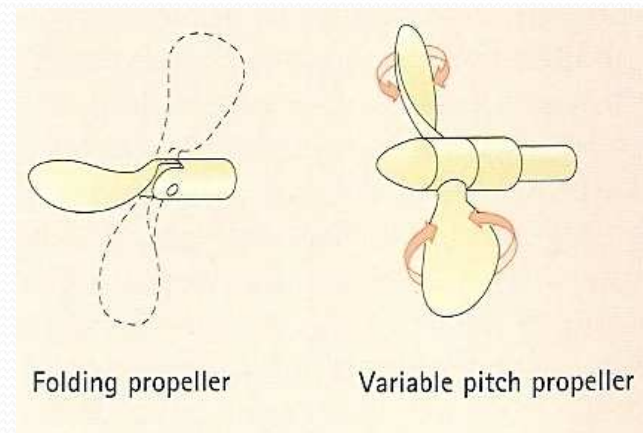
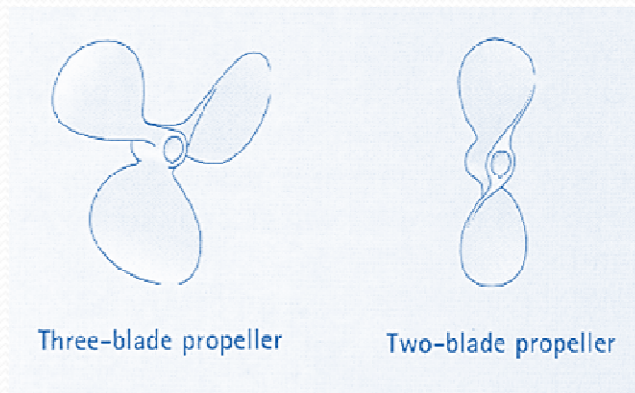
$$\sigma = \frac{106127 - 2300}{0.5 \cdot 1025 \cdot 3.60^2 \cdot [1 + (\frac{0.7\pi}{0.355})^2]} = 0.40$$

$$\tau = 0.220 \text{ (diagram Fig 9.17)}$$

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{3357}{0.220 \cdot 0.5 \cdot 1025 \cdot 3.60^2 \cdot [1 + (\frac{0.7\pi}{0.355})^2] \cdot (1.067 - 0.229 \cdot 0.62) \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot 0.53^2} = 0.285$$

Σταθερές & αναδιπλούμενες

- Στα ιστιοπλοϊκά σκάφη χρησιμοποιούνται σταθερές ή αναδιπλούμενες έλικες.
- Παρόλο που οι αναδιπλούμενες έχουν σταθερό προβάδισμα στην επιλογή δυστυχώς στοιχεία, όμως, υπάρχουν μόνο για τις σταθερές έλικες.



Αντίσταση της έλικας

- Η αντίσταση των ελίκων κατά την πλεύση δίνεται από τη σχέση:

$$R_P = 0.5\rho V^2 C_D A_P$$

όπου : C_D = 1.20 για ακίνητη έλικα (locked)
= 0.30 για ελεύθερα περιστρεφόμενη έλικα
= 0.06 για αναδιπλούμενη έλικα

$$A_P = \frac{A_D}{A_O} \left(1.067 - 0.229 \frac{P}{D} \right) \frac{\pi}{4} D^2$$

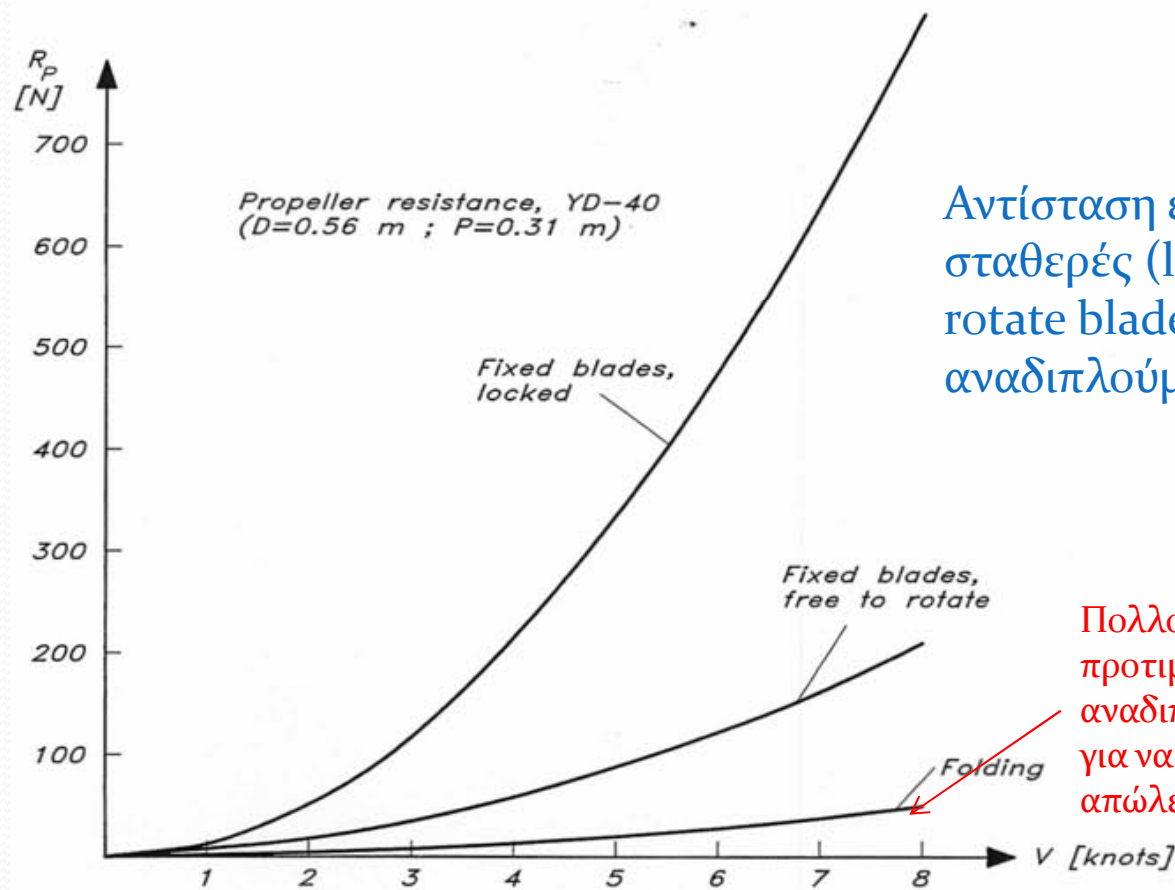
A_D = η αναπτυγμένη επιφάνεια των πτερυγίων της έλικας

A_O = η επιφάνεια του δίσκου της έλικας

P = το βήμα της έλικας

D = η διάμετρος του δίσκου της έλικας

Αντίσταση της έλικας κατά την κίνηση με πανιά



Αντίσταση έλικας για σταθερές (locked - free to rotate blades) & αναδιπλούμενες έλικες

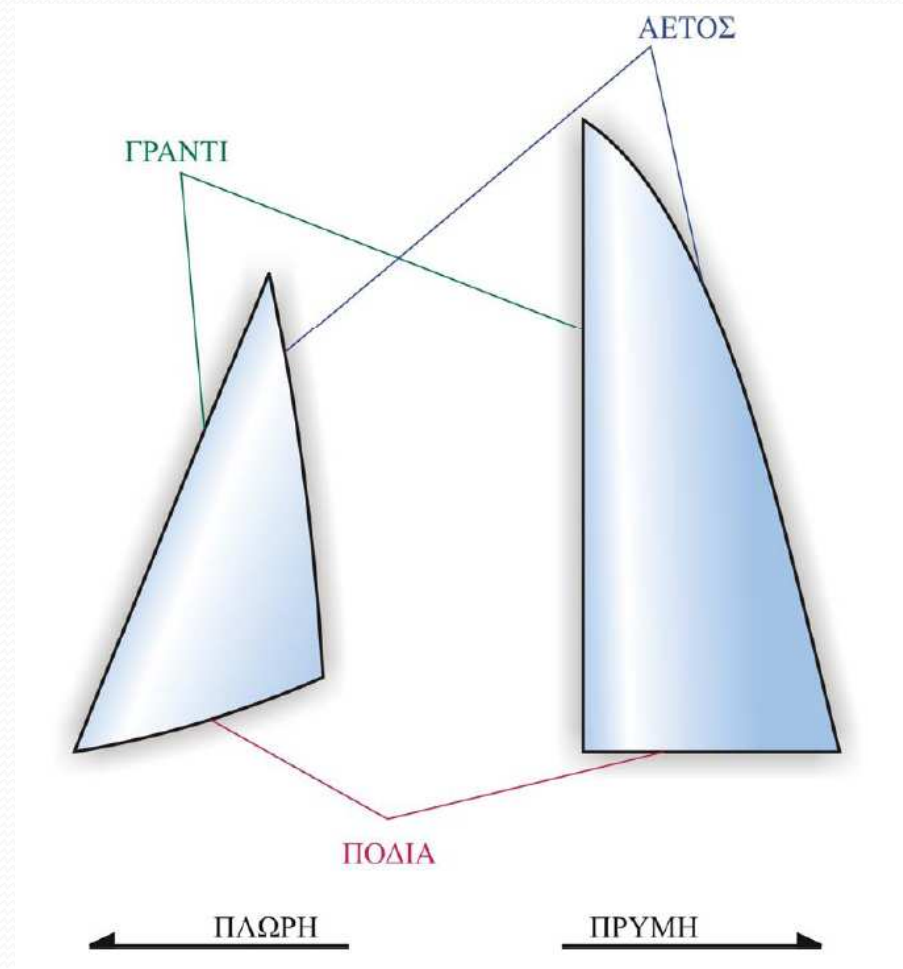
Πολλοί ιστιοπλόοι προτιμούν τις αναδιπλούμενες έλικες για να μειώσουν τις απώλειες στην ταχύτητα

Σχεδίαση της Ιστιοφορίας



Πανιά

- Η προραία πλευρά του πανιού είναι το Γραντί και η πρυμναία ο Αετός



Συλλογή πανιών

Η κλασσική συλλογή πανιών για ένα σκάφος που δεν έχει ρόδες για το τύλιγμα των πλωριών πανιών αποτελείται από:

- Μια σειρά πλωριών πανιών
- Μια μαΐστρα
- Ένα μπαλόνη
- Μια μαΐστρα θύελλας
- Και ένα φλόκο θύελλας

ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΑΝΙΩΝ ▷

Η κλασσική συλλογή πανιών για ένα σκάφος που δεν έχει ρόδες για το τύλιγμα των πλωριών πανιών αποικείται από μια σειρά πλωριών πανιών, μια μαΐστρα, ένα μπαλόνη, μια μαΐστρα θυέλλας κι ένα φλόκο θυέλλας.

Μαΐστρα (πορτοκαλί)
Πρέπει να είναι αρκετά γερή για να αντέχει σε όλες τις εντάσεις ανέμου

Τζένουα (ροζ)
Για ασθενείς ως μέτριους ανέμους

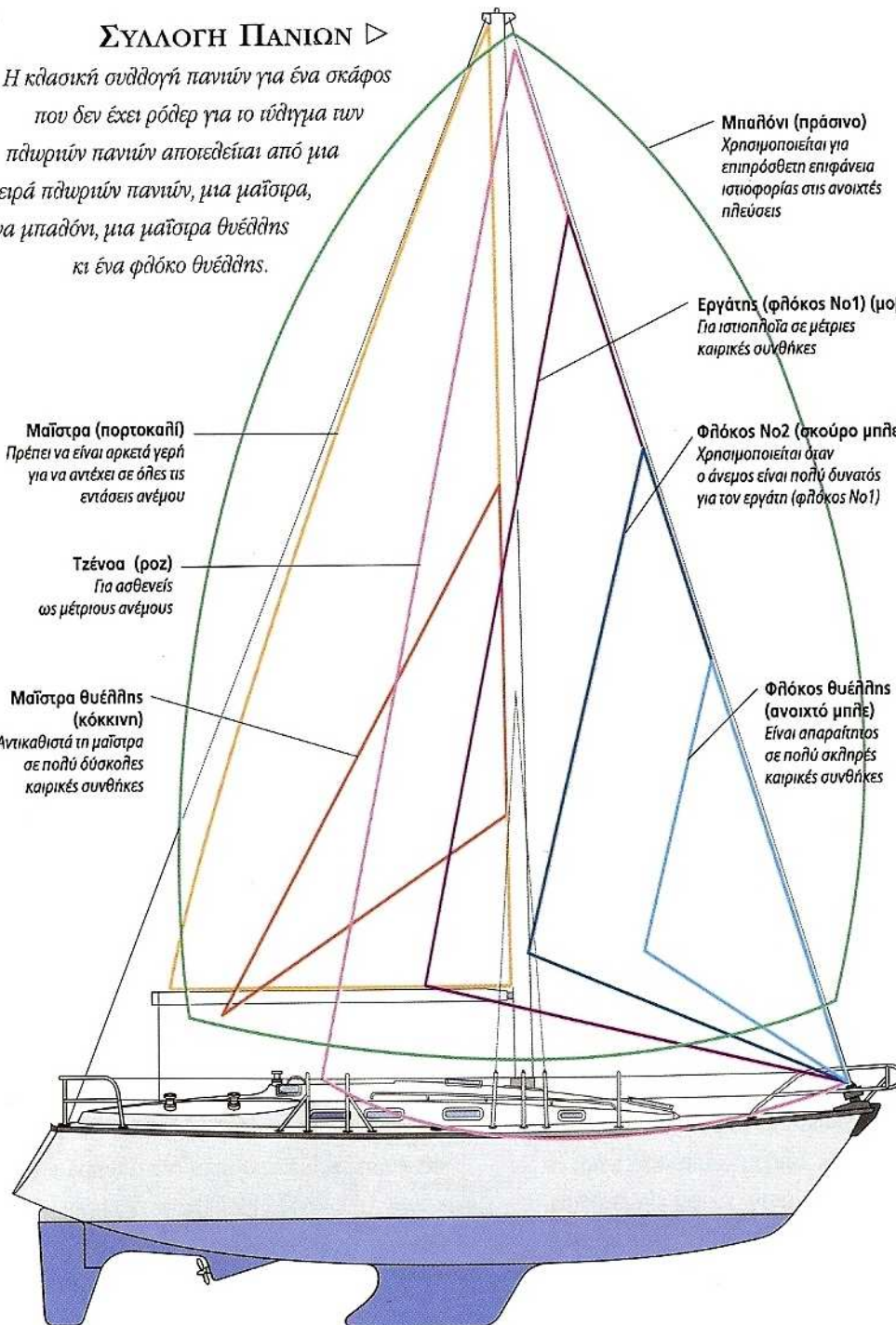
Μαΐστρα θυέλλας (κόκκινη)
Αντικαθιστά τη μαΐστρα σε πολύ δύσκολες καιρικές συνθήκες

Μπαλόνη (πράσινο)
Χρησιμοποιείται για επιπρόσθετη επιφάνεια ιστιοφορίας στις ανοικτές πλεύσεις

Εργάτης (φλόκος Νο1) (μοβ)
Για ιστιοπλοία σε μέτριες καιρικές συνθήκες

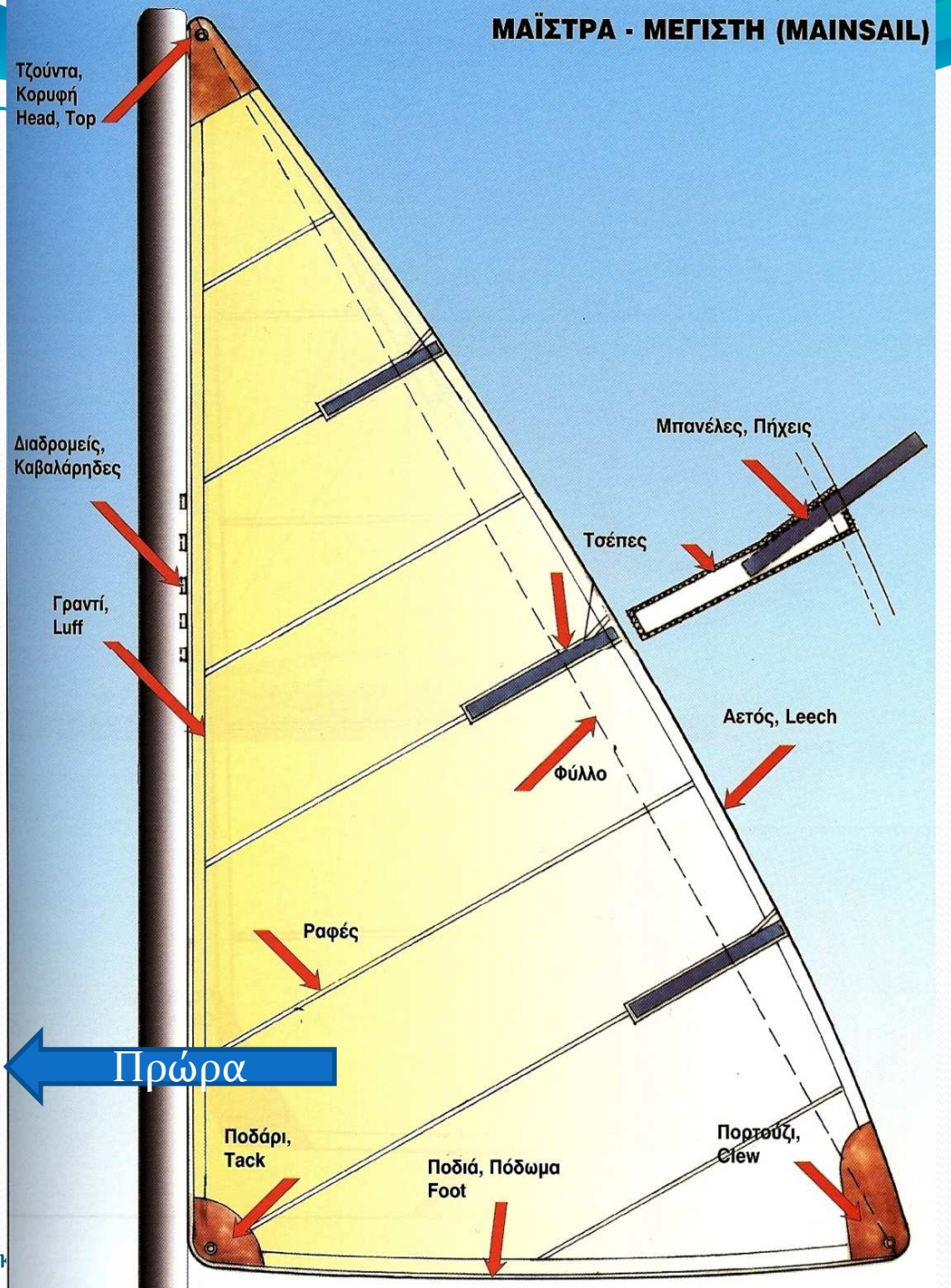
Φλόκος Νο2 (ακούρο μπλε)
Χρησιμοποιείται όταν ο άνεμος είναι πολύ δυνατός για τον εργάτη (φλόκος Νο1)

Φλόκος θυέλλας (ανοικτό μπλε)
Είναι απαραίτητος σε πολύ σκληρές καιρικές συνθήκες



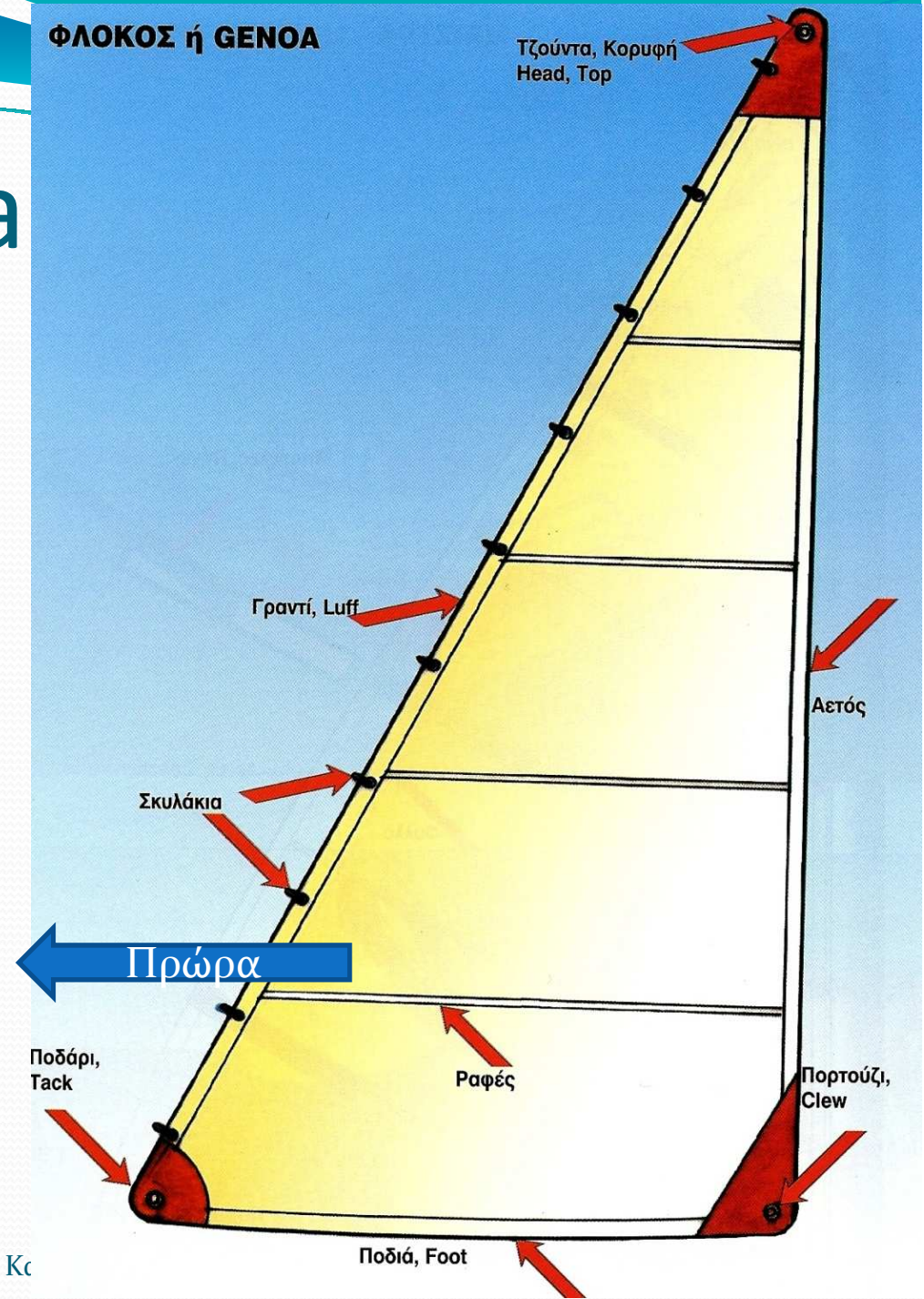
Μαΐστρα

ΜΑΪΣΤΡΑ - ΜΕΓΙΣΤΗ (MAINSAIL)



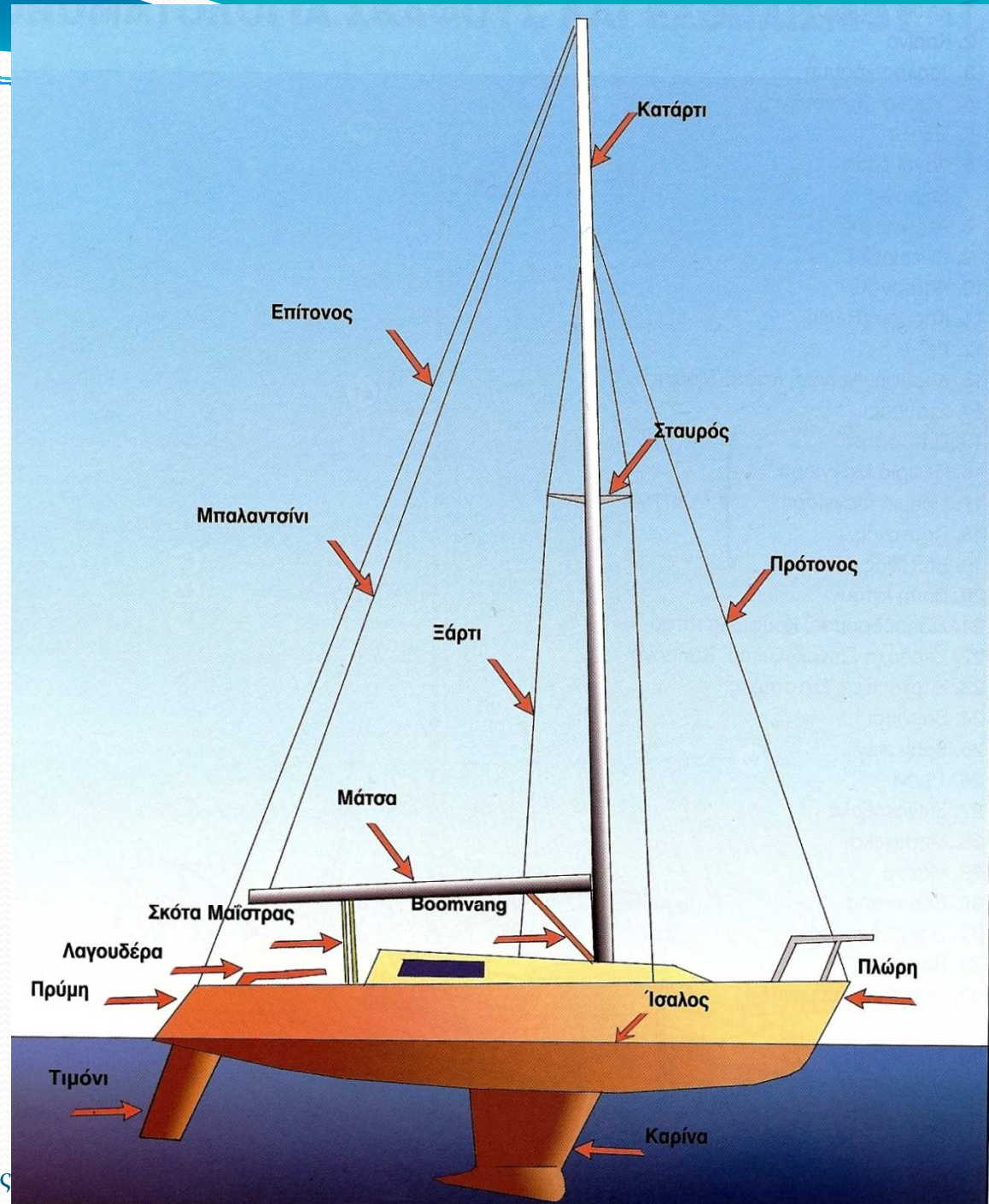
Φλόκος ή Γενοα

ΦΛΟΚΟΣ ή ΓΕΝΟΑ



Εξαρτισμός

- Κατάρτι
- Σταυρός
- Μάτσα
- Επίτονος
- Μπαλαντσίνι
- Πρότονος
- Ξάρτι
- Boomvang
- Σκότα Μαΐστρας

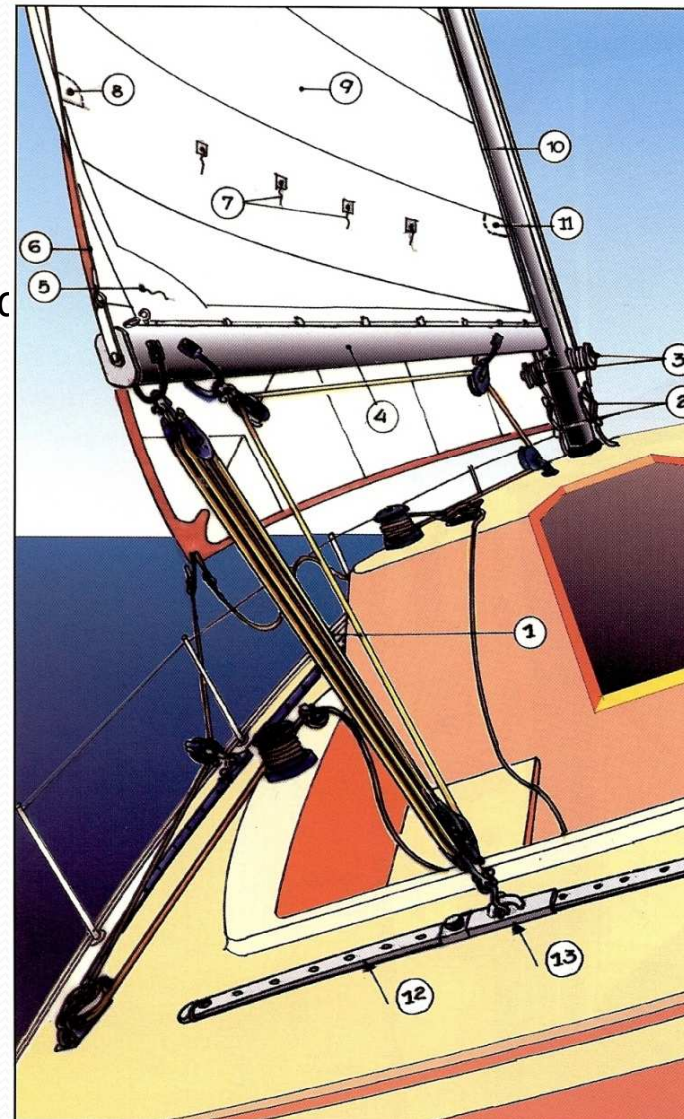


Χειρισμός των πανιών:

Μαϊστρα

Τα χειριστήρια της μαϊστρας είναι:

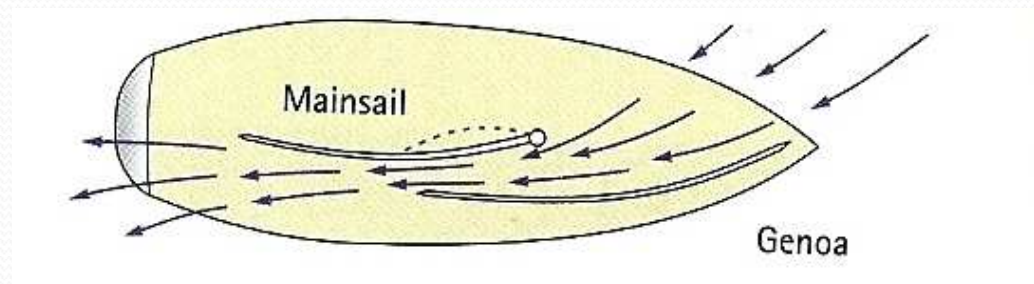
- η σκότα,
- ο σιδηρόδρομος με το βαγονάκι της σκότας
- το boom vang,
- το Cunningham,
- το outhaul,
- τα μουδόσκοινα με τα τσαμαντάλια,
- το μαντάρι,
- το μπαλαντσίνι και
- το κρυφό.



1. Σκότα Μαϊστρας
2. Κοτσανέλο
3. Βιντσιρέλο
4. Μάτσα
5. Κρυφό
6. Μπαλαντσίνι
7. Τσαμαντάλια (για να κρατούν το πανί όταν παίρνουμε μούδα)
8. Πορτούζι μούδας
9. Μαϊστρα
10. Γραντί
11. Ποδάρι της μούδας
12. Σιδηρόδρομος Μαϊστρας
13. Βαγονάκι (Traveller)

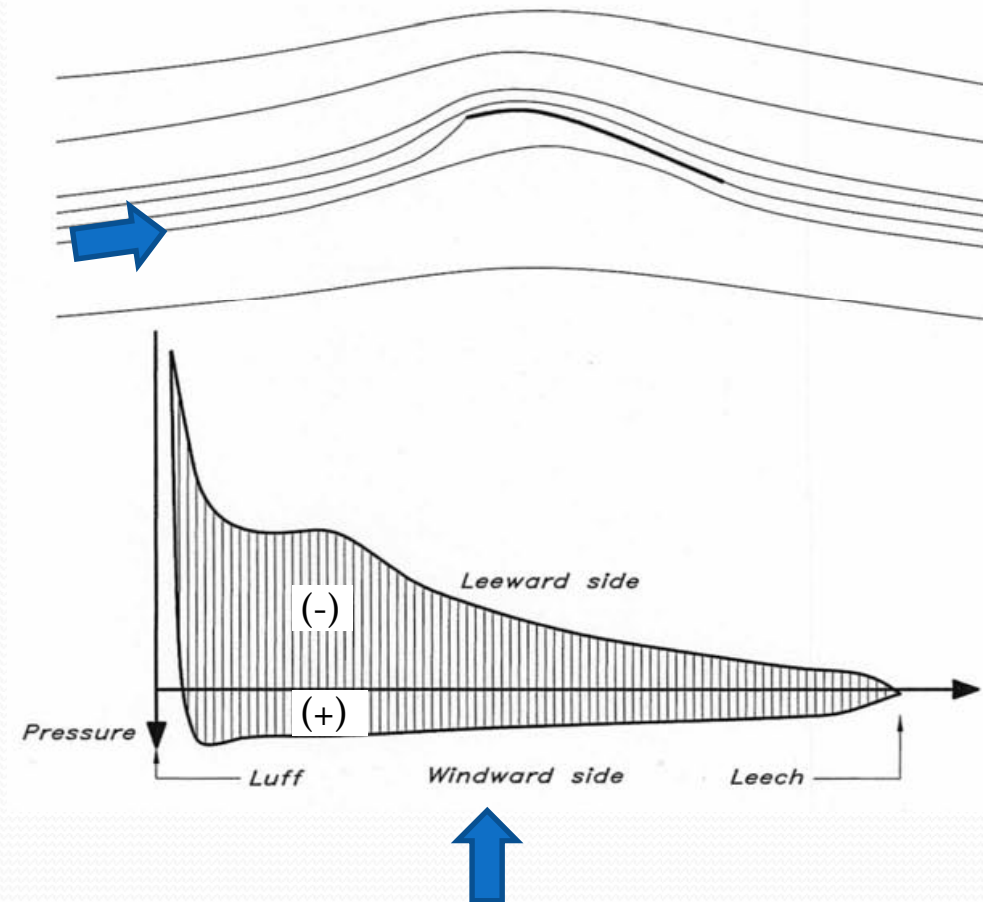
Αρχή λειτουργίας

- Όπως τα παρελκόμενα της γάστρας, η ιστιοφορία των ιστιοπλοϊκών σκαφών συμπεριφέρεται σαν μια αεροτομή, η οποία όμως έχει πολύ μικρό πάχος και έντονη κυρτότητα (camber).
- Επιπλέον, λειτουργεί στη διαταραγμένη από την παρουσία του ιστού ροή.



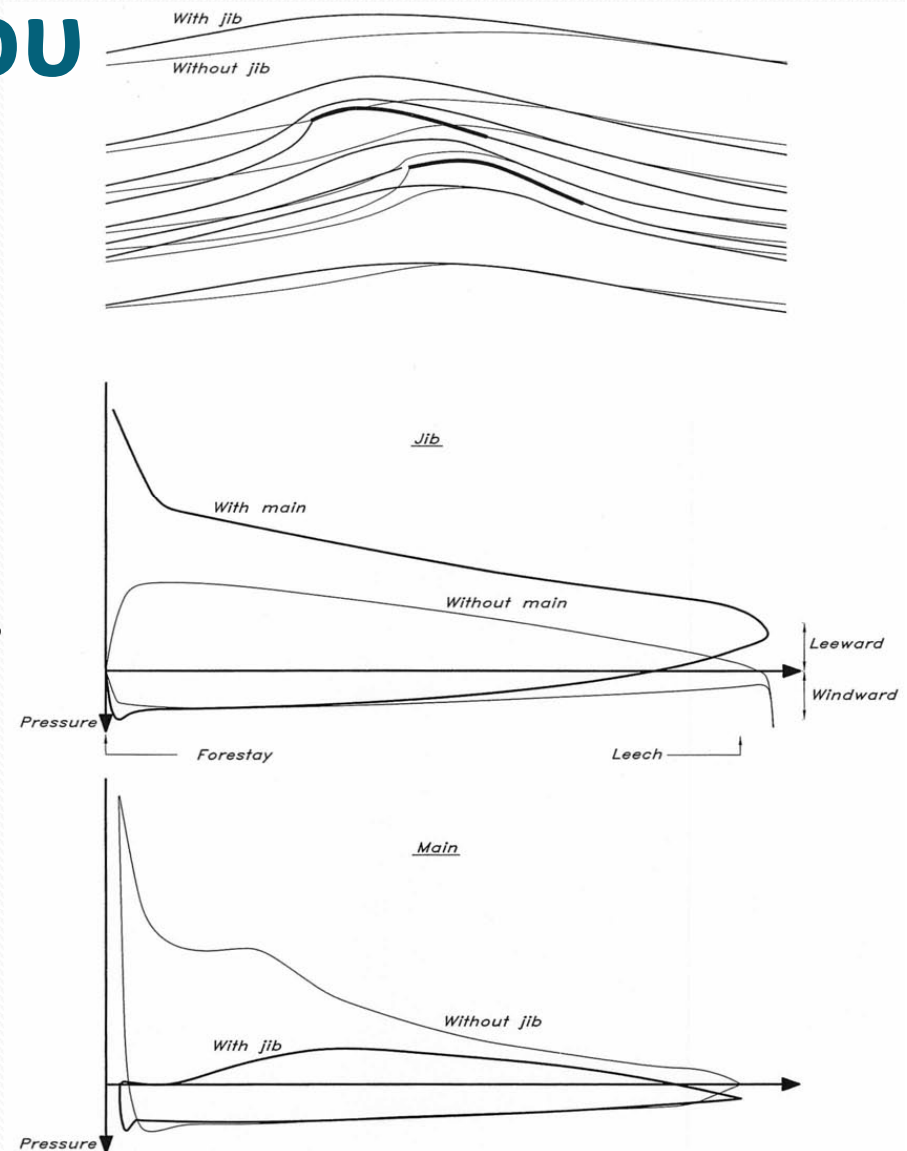
Ροή γύρω από το πανί

- Στο σχήμα φαίνεται η ροή γύρω από ένα απλό πανί και η κατανομή πιέσεων στις δύο πλευρές του
- Αμελείται η επίδραση του ιστού



Ροή γύρω από συνδυασμό μεγίστης και φλόκου

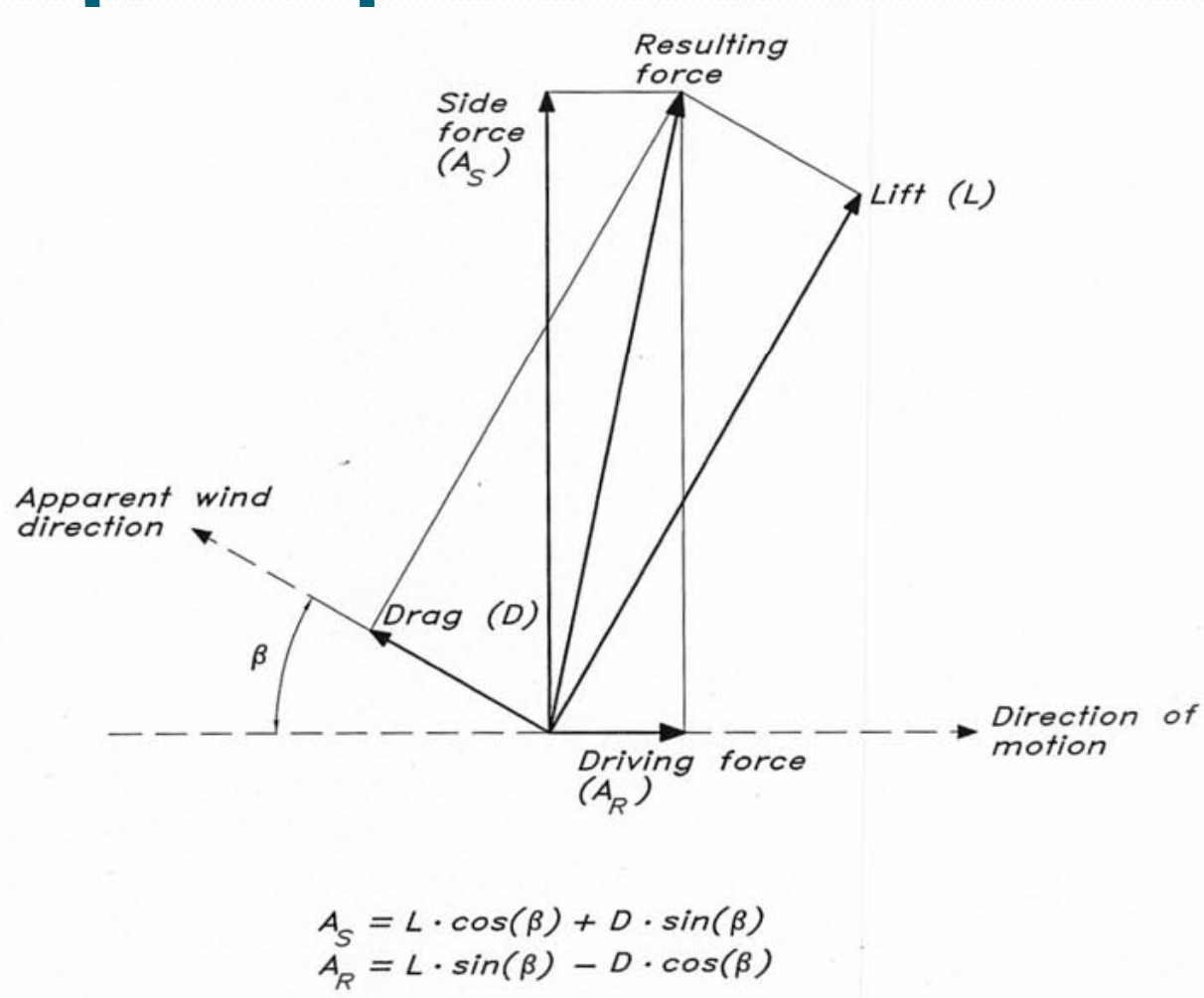
- Στο σχήμα δίνονται τα αντίστοιχα στοιχεία για την περίπτωση συνδυασμού δύο πανιών (μαϊστρα ή μεγίστη, φλόκος).
- Αμελείται η επίδραση του ιστού.
- Οι γραμμές ροής έχουν μεγαλύτερη κλίση όταν υπάρχει ο φλόκος που σημαίνει ότι ο αέρας πέφτει στη μεγίστη με μικρότερη γωνία (γωνία πρόσπτωσης) όταν υπάρχει και ο φλόκος.
- Το αντίθετο ισχύει για το φλόκο.
- Επομένως, ο συνδυασμός των δύο πανιών υπερφορτίζει το φλόκο και αποφορτίζει τη μεγίστη



Τρόπος συμπεριφοράς

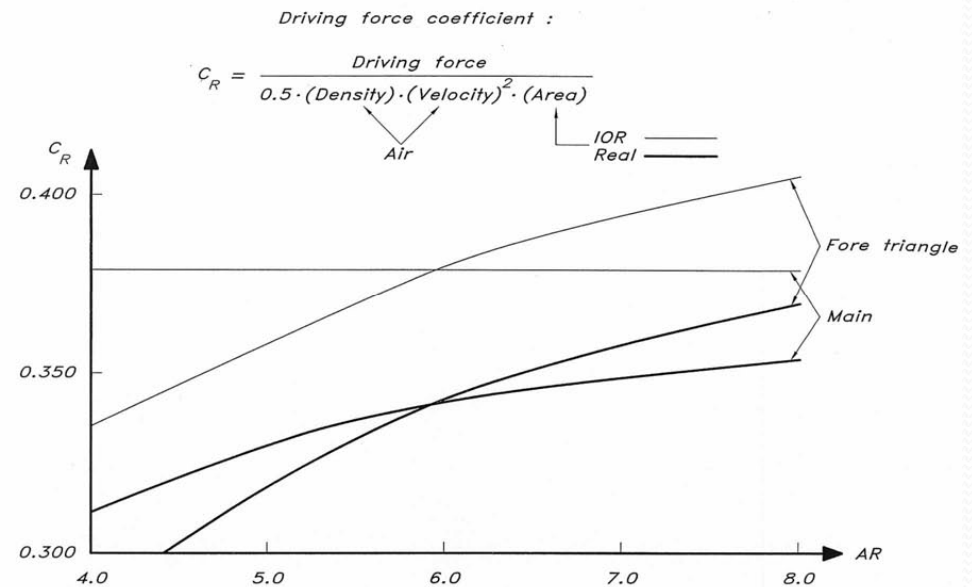
- Τα πανιά συμπεριφέρονται σαν τρισδιάστατες αεροτομές
- Έτσι η ανωστική δύναμη μηδενίζεται στην άνω και την κάτω πλευρά όπου και δημιουργούνται δίνες με συνέπεια την αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης κατά την επαγόμενη αντίσταση (induced drag).
- Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του πανιού τόσο μικρότερη είναι η επαγόμενη αντίσταση.

Δυνάμεις που θέλουμε να υπολογίσουμε



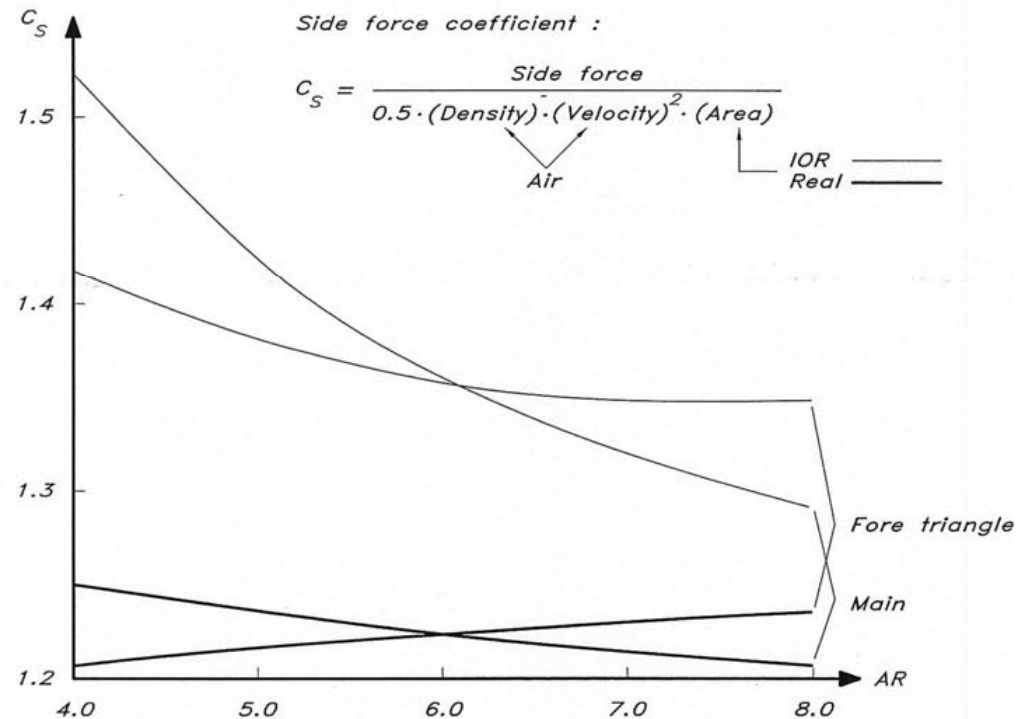
Επίδραση του λόγου επιμήκους

- Στο σχήμα δίνεται η επίδραση του λόγου επιμήκους του πανιού στην προωστήρια και την πλευρική δύναμη στα πανιά για διάφορους λόγους επιμήκους, σύμφωνα με υπολογισμούς το Milgram (1971) στο MIT.



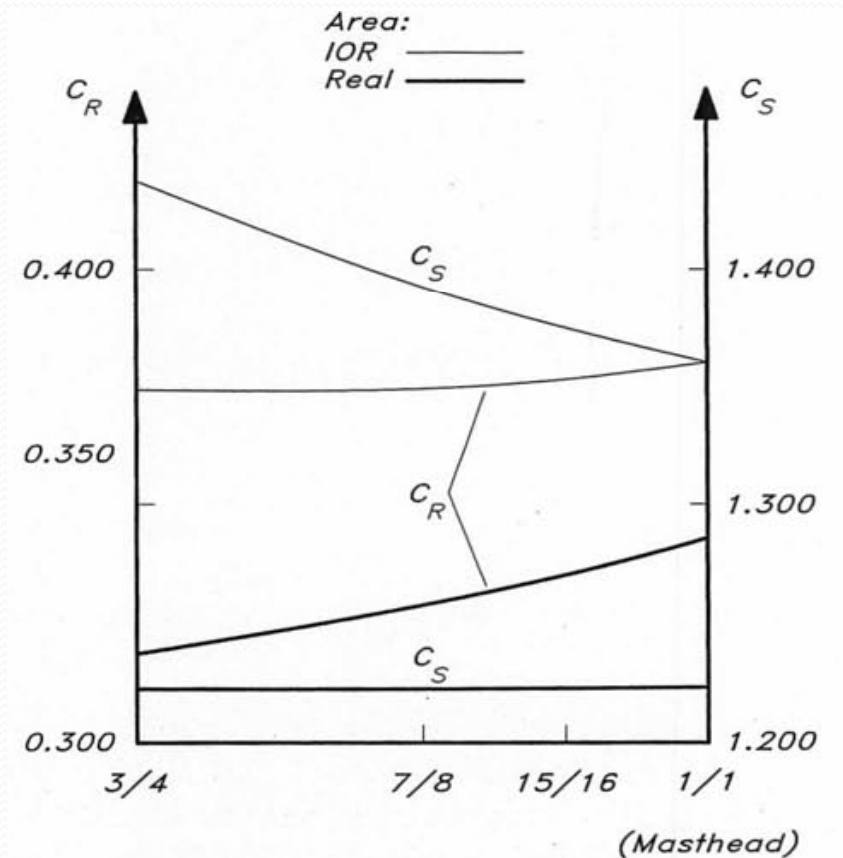
Επίδραση του λόγου επιμήκους

- Στο σχήμα δίνεται η επίδραση του λόγου επιμήκους του πανιού στην προωστήρια και την πλευρική δύναμη στα πανιά για διάφορους λόγους επιμήκους, σύμφωνα με υπολογισμούς το Milgram (1971) στο MIT.



Επίδραση κατακόρυφης θέσης του άνω άκρου του φλόκου

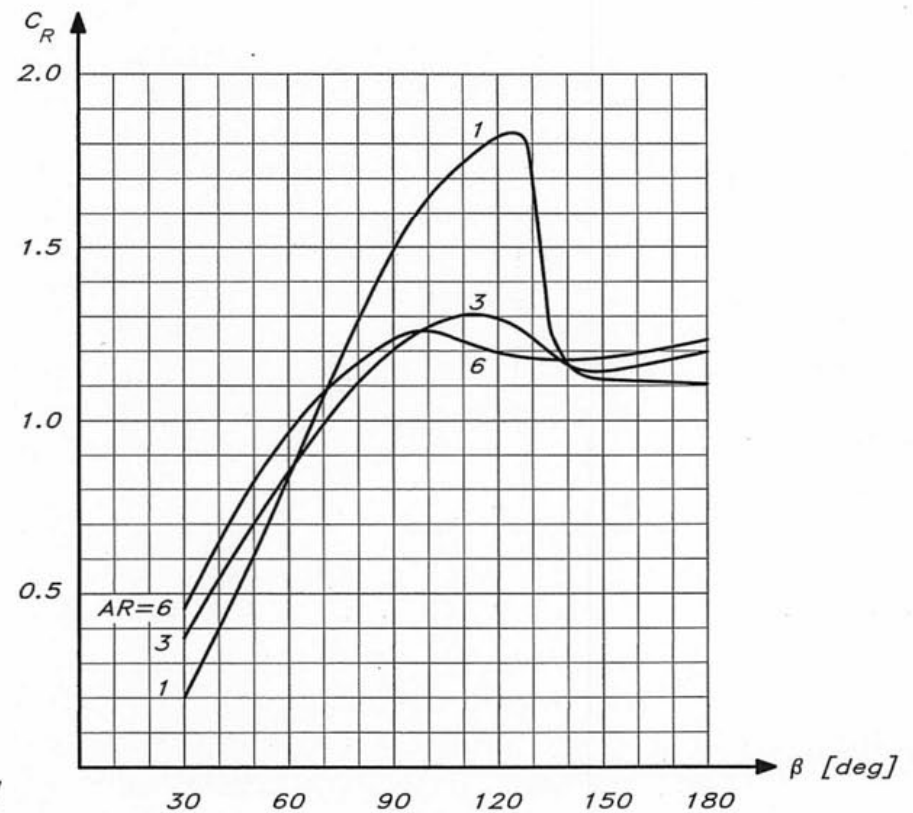
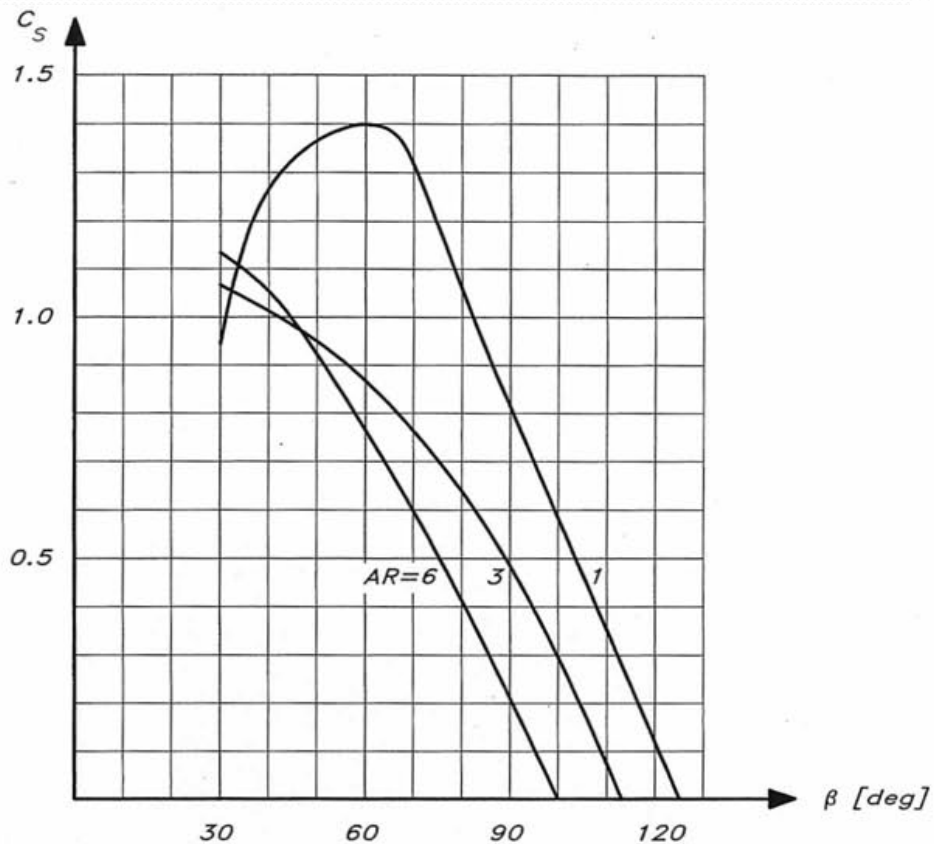
- Στο σχήμα ο ίδιος συγγραφέας διερευνά την επίδραση της κατακόρυφης θέσης του άνω άκρου του φλόκου στις παραπάνω δυνάμεις.



Συμπέρασμα

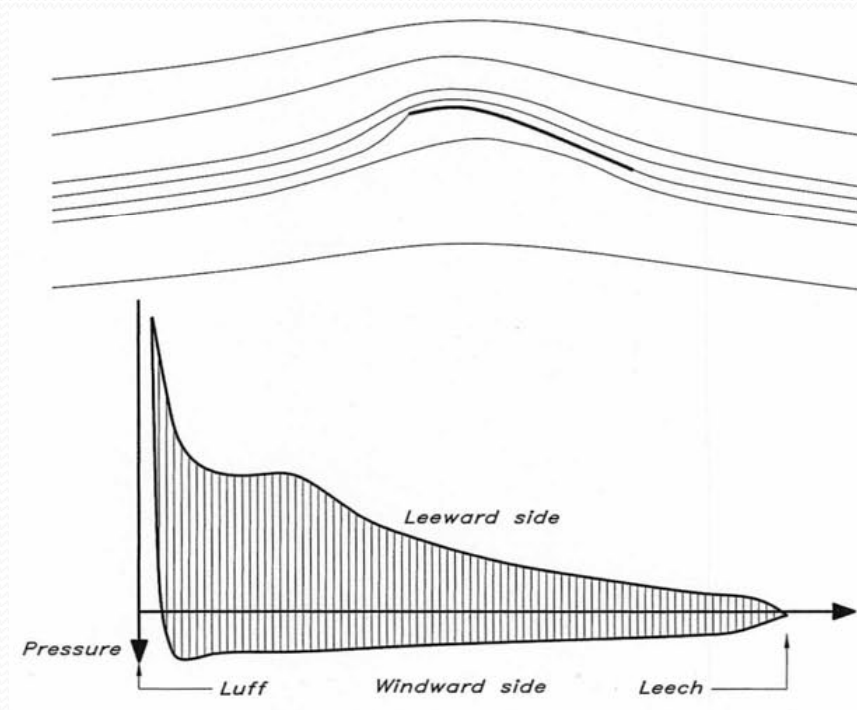
- Τα αποτελέσματα των παραπάνω σχημάτων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ενδείκνυται η χρήση πανιών με μικρό κατά το δυνατόν λόγο επιμήκους.
- Αυτό το συμπέρασμα δεν είναι πάντοτε αληθές, καθότι σε μια πραγματική κατάσταση πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι παρακάτω παράγοντες:
 - οι πλεύσεις που είναι διαφορετικές από την όρτσα. Σύμφωνα με το Marchaj σε πλεύσεις δευτερόπρυμα, ο μικρός λόγος επιμήκους είναι ευνοϊκός.
 - η επίδραση του ιστού στην ροή της μεγίστης. Η παρουσία του ιστού μειώνει τη θετική επίδραση του λόγου επιμήκους. Ας σημειωθεί ότι η αύξηση του λόγου επιμήκους, για δεδομένη επιφάνεια πανιού, οδηγεί σε ιστό μεγαλύτερης διαμέτρου.
 - η αύξηση της ροπής εγκάρσιας κλίσης με την αύξηση του λόγου επιμήκους. Η αύξηση αυτή εξαρτάται επίσης από την ένταση του ανέμου και την ευστάθεια του σκάφους.

Επίδραση του AR στην προωστήρια και πλευρική δύναμη



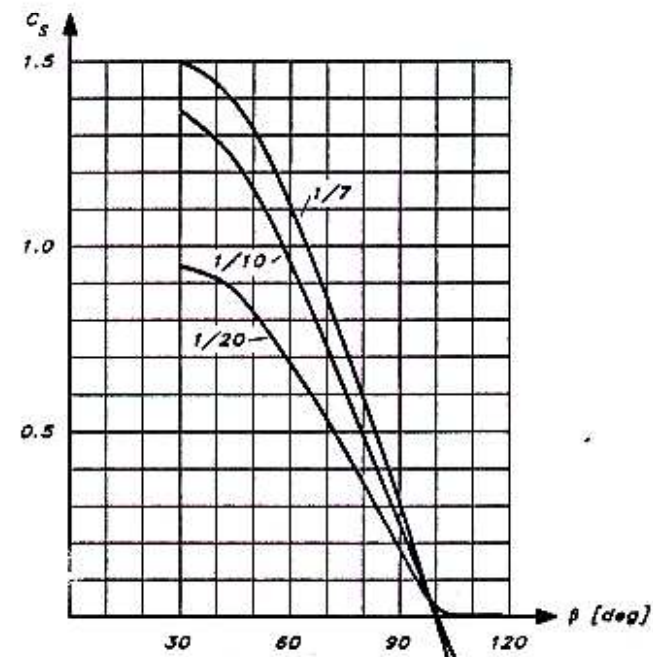
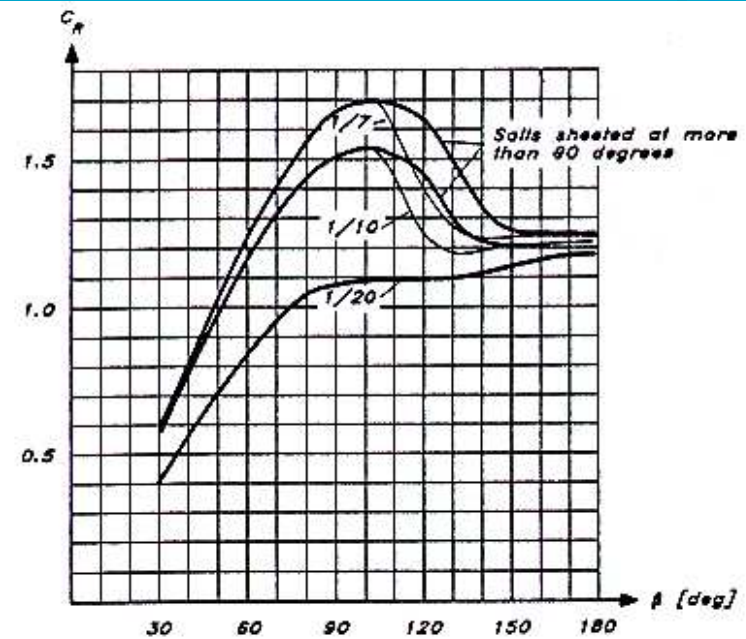
Η κυρτότητα

- Δεδομένου ότι το πανί είναι πτερύγιο σχεδόν μηδενικού πάχους, η κυρτότητά του αποτελεί το μοναδικό χαρακτηριστικό της τομής

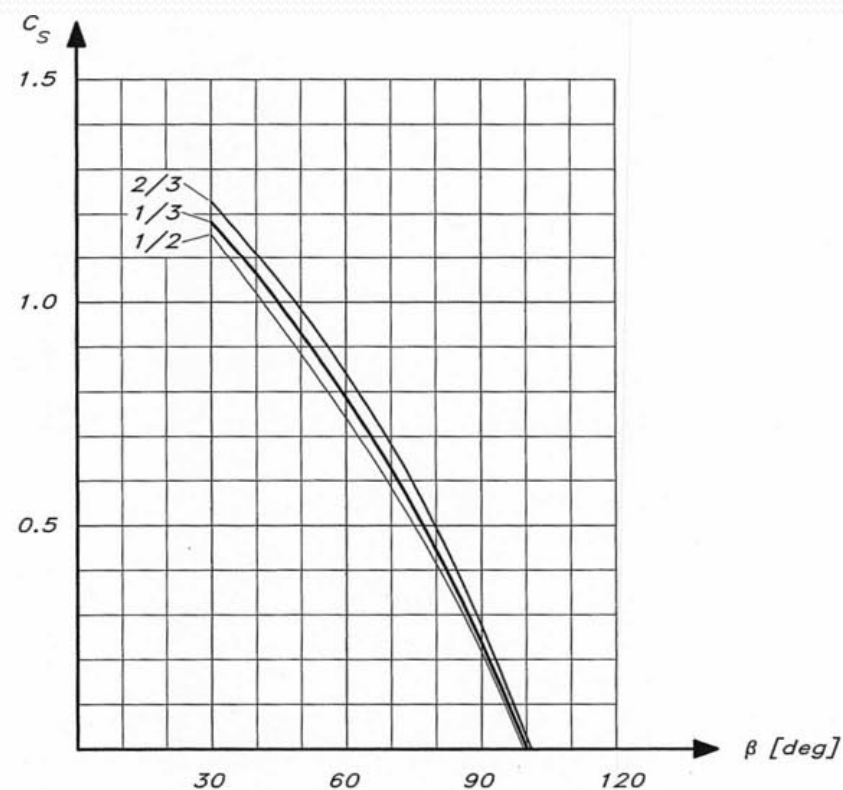
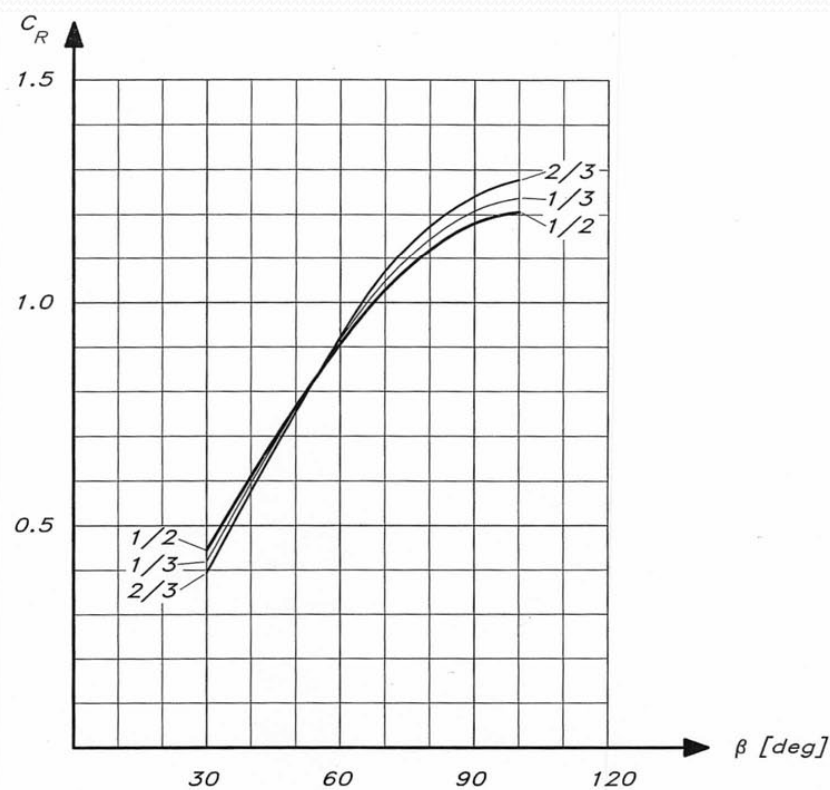


Επίδραση κυρτότητας

- Εκτιμώμενη επίδραση της κυρτότητας στην προωστήρια και την πλευρική δύναμη

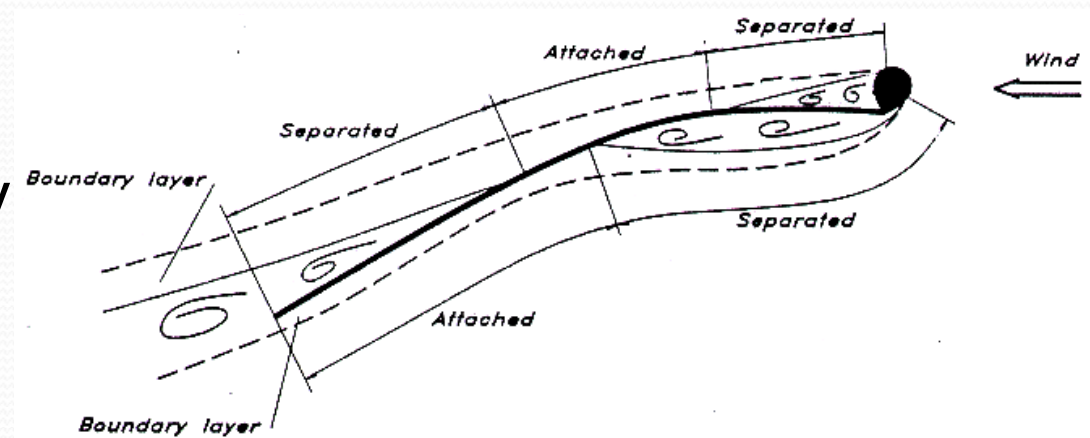


Επίδραση της θέσης της κυρτότητας



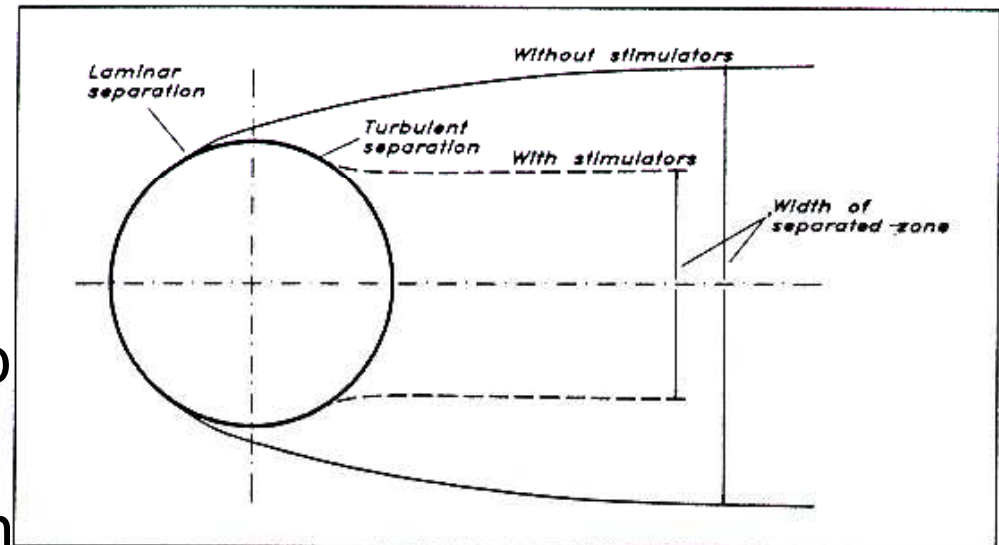
Η επίδραση του ιστού

- Η ροή γύρω από ένα πανί παρουσία ιστού φαίνεται στο σχήμα
- Ο ιστός προκαλεί αποκόλληση της ροής με συνέπεια τη μείωση της προωστήριας και της πλευρικής δύναμης και την αύξηση της αντίστασης.
- Για τον προσδιορισμό του φαινομένου απαιτείται περιστροφή του ιστού ώστε η επαφή πανιού-ιστού να γίνει ομαλή.



Η επίδραση του ιστού

- Επίσης η αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας του ιστού ή η προσθήκη διεγερτών τύρβης οδηγεί σε τυρβώδη ροή στον ιστό και, συνεπώς σε περιορισμό της ζώνης αποκόλλησης πίσω από τον ιστό
- Επιπλέον, συνιστάται η χρήση πιο υδροδυναμικών (streamlined) από τον κύλινδρο τομών ιστού.



Υπολογισμός της αεροδυναμικής των πανιών

- Ο Hazen (1980) πρότεινε ένα μοντέλο για την περιγραφή της αεροδυναμικής των πανιών.
- Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται με μικρές τροποποιήσεις σε πολλά προγράμματα VPP.
- Ο Hazen προδιαγράφει τους συντελεστές ιστιοφορίας σε πέντε γωνίες πλεύσης: 27° , 50° , 80° , 100° και 180° .

Μοντέλο Hazen

- Οι συντελεστές αυτοί δίνουν τιμές για το φλόκο (jib), τη μεγίστη (main), το μπαλόκι (spinnaker), τη μετζάνα (mizzen) και κόντρα μετζάνα (mizzen staysail)
- Η συνολική αντίσταση προσδιορίζεται με πολλαπλασιασμό της επιφάνειας του κάθε πανιού επί τον αντίστοιχο συντελεστή, άθροιση για όλα τα πανιά και διαίρεση διά της ονομαστικής επιφάνειας των πανιών.
- Η επιφάνεια αυτή είναι το άθροισμα των επιφανειών του φλόκου, της μεγίστης και της μετζάνας, θεωρώντας ότι τα πανιά αυτά είναι τριγωνικά

Συντελεστές Hazen

Sail coefficients, lift

Angle	Μεγίστη <i>Main</i>	Φλώκος <i>Jib</i>	Μπαλόκι <i>Spinnaker</i>	Μετζάνα <i>Mizzen</i>	Βελαστράλι (αράπης) <i>Mizz. stays</i>
27	1.5	1.5	0.0	1.3	0.0
50	1.5	0.5	1.5	1.4	0.75
80	0.95	0.3	1.0	1.0	1.0
100	0.85	0.0	0.85	0.8	0.8
180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Sail coefficients, viscous drag

Angle	<i>Main</i>	<i>Jib</i>	<i>Spinnaker</i>	<i>Mizzen</i>	<i>Mizz. stays</i>
27	0.02	0.02	0.0	0.02	0.0
50	0.15	0.25	0.25	0.15	0.1
80	0.8	0.15	0.9	0.75	0.75
100	1.0	0.0	1.2	1.0	1.0
180	0.9	0.0	0.66	0.8	0.0

Sail area and height of centre of effort above sheer

<u>Area</u>	<u>Centre of effort</u>
Main: $A_M = 0.5 \cdot P \cdot E$	$CE_M = 0.39 \cdot P + BAD$
Jib: $A_J = 0.5 \cdot \sqrt{I^2 + J^2} \cdot LPG$	$CE_J = 0.39 \cdot I$
Spinnaker: $A_S = 1.15 \cdot SL \cdot J$	$CE_S = 0.59 \cdot I$
Mizzen: $A_Y = 0.5 \cdot PY \cdot EY$	$CE_Y = 0.39 \cdot PY + BADY$
Mizzen staysail: $A_{YS} = 0.5 \cdot YSD \cdot (YSMG + YSF)$	$CE_{YS} = 0.39 \cdot PY + BADY$
Foretriangle: $A_F = 0.5 \cdot I \cdot J$	

Nominal area

$$A_N = A_F + A_M + A_Y$$

Lift

$$C_L = \frac{C_{LM} \cdot A_M + C_{LJ} \cdot A_J + C_{LS} \cdot A_S + C_{LY} \cdot A_Y + C_{LYS} \cdot A_{YS}}{A_N}$$

Viscous/parasitic drag

$$C_{DP} = \frac{C_{DPM} \cdot A_M + C_{DPJ} \cdot A_J + C_{DPS} \cdot A_S + C_{DPY} \cdot A_Y + C_{DPYS} \cdot A_{YS}}{A_N}$$

Induced drag

$$C_{DI} = C_L^2 \cdot \left(\frac{1}{\pi \cdot AR} + 0.005 \right) \begin{cases} \text{close hauled: } AR = \frac{(1.1 \cdot (EHM + FA))^2}{A_N} \\ \text{other courses: } AR = \frac{(1.1 \cdot EHM)^2}{A_N} \end{cases}$$

Drag of mast and topsides

$$C_{D0} = 1.13 \cdot \frac{(BMAX \cdot FA) + (EHM \cdot EMDC)}{A_N}$$

Total drag

$$C_D = C_{DP} + C_{DI} + C_{D0}$$

Flattening: Multiply C_L by flat factor F

Reefing: Multiply C_L and C_{DP} by reef factor R squared
Multiply height of CE by R

Standard IOR notation:

P : Mainsail hoist
E : Foot of mainsail
I : Height of foretriangle
J : Base of foretriangle
LPG : Perpendicular of longest jib
SL : Spinnaker leech length
PY : Mizzen hoist
EY : Foot of mizzen

YSD : Mizzen staysail depth
YSMG : Mizzen staysail mid-girth
YSF : Mizzen staysail foot
BMAX : Max beam of yacht
FA : Average freeboard
EHM : Mast height above sheer
EMDC : Average mast diameter
BAD : Height of main boom above sheer
BADY : Height of mizzen boom above sheer

Newer additions:

Full length battens: Increase lift of main by 15% for angles up to 60 degrees

Blanketing and fractional rig exposed mast correction, see paper by C.L Poor on IMS.