



Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας



Τεχνολογία Μικρών Σκαφών

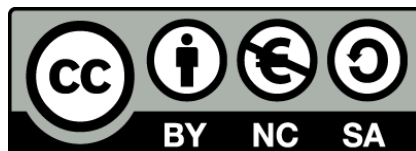
Ενότητα 9: Επιλογή έλικας ταχυπλόου

Σοφία Πέππα

Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών ΤΕ

Γρηγόρης Γρηγορόπουλος

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολ. Μηχ. ΕΜΠ



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



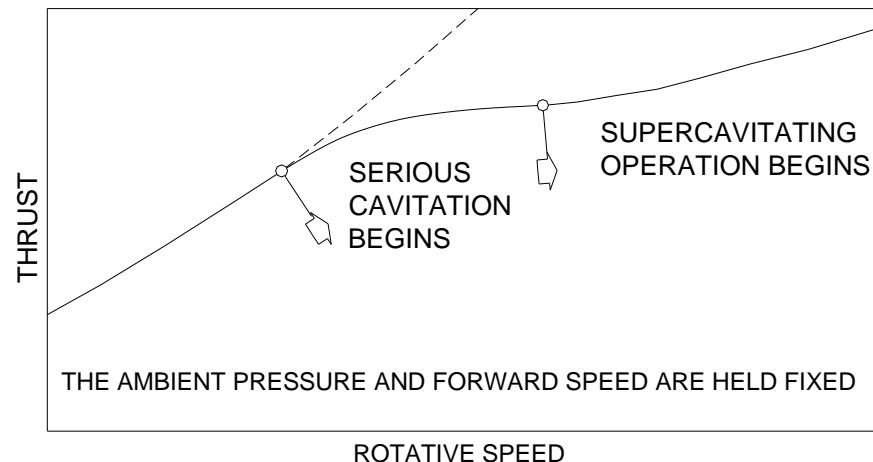
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

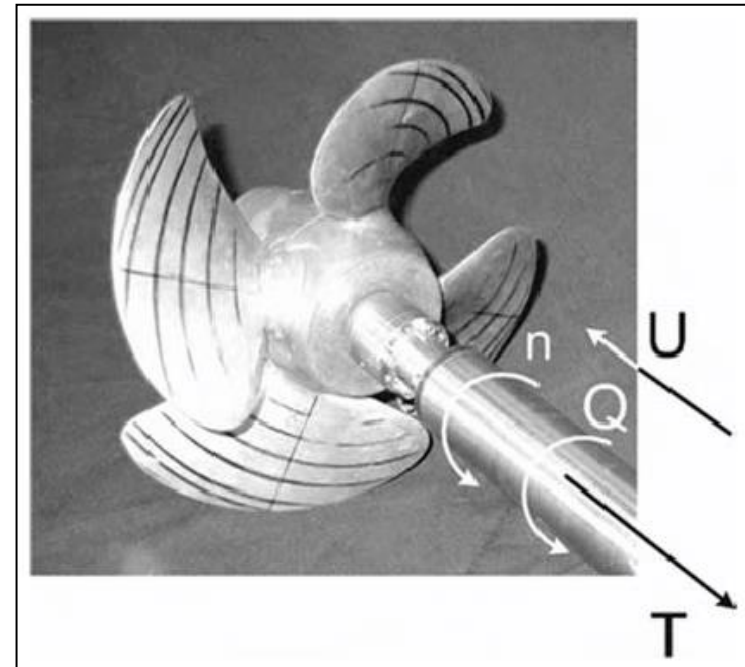
Επιλογή έλικας 1/2

- Η μέθοδος επιλογής ελίκων για ταχύπλοα δε διαφέρει ουσιαστικά από την αντίστοιχη για τα άλλα πλοία.
- Σημαντικότερη διαφορά η παρουσία σημαντικής σπηλαίωσης.
- Απουσία γραμμικότητας μεταξύ των στροφών της έλικας και της ταχύτητας του σκάφους στις μεγάλες ταχύτητες.



Επιλογή έλικας 2/2

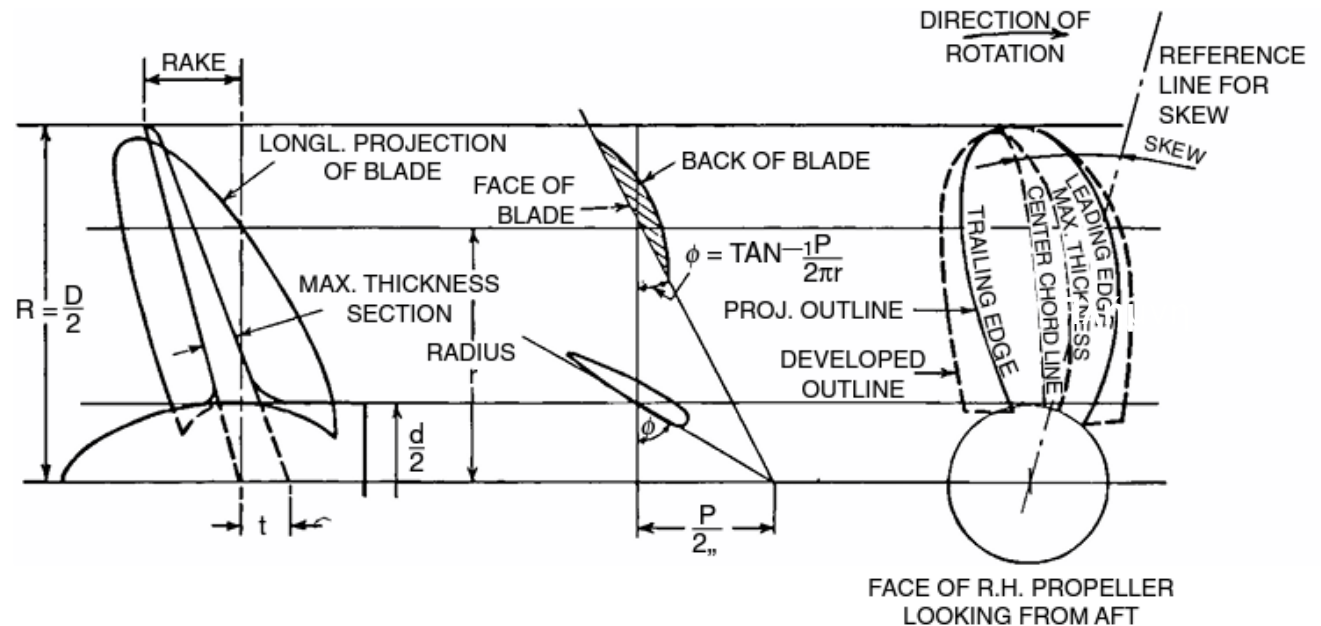
- Οι έλικες περιστρεφόμενες σε ορισμένες στροφές μετατρέπουν την ισχύ της μηχανής και παράγουν ώση που εξισορροπεί τις απαιτήσεις ώσεως του σκάφους στην ταχύτητα πλεύσης.
- Βέλτιστη έλικα είναι εκείνη που ικανοποιεί τις απαιτήσεις ώσεως του σκάφους εντός δεδομένων ορίων:
 - Γεωμετρικών.
 - Οικονομικών.
 - Αποδιδόμενης ισχύος από τη μηχανή.



Γεωμετρικοί περιορισμοί

- Γεωμετρικοί περιορισμοί στην επιλογή έλικας:
 - η κλίση των ελικοφόρων αξόνων (10 - 16 μοίρες)
 - οι ανοχές των ακροπτερυγίων (15 - 20% της διαμέτρου της έλικας)
 - ο περιορισμός βάθους.

Σχέδιο έλικας



Τυπικό σχέδιο έλικας
(van Manen and van
Oossanen, 1988)

Diameter D Pitch ratio = $\frac{P}{D}$

Pitch P Blade thickness ratio = $\frac{t}{D}$

No. of blades 4 Pitch angle = ϕ

Disk area = area of tip circle = $\frac{\pi}{4} D^2 = A_O$

Developed area of blades, outside hub = A_D

Developed area ratio = $DAR = \frac{A_D}{A_O}$

Projected area of blades (on transverse plane) outside hub = A_P

Projected area ratio = $PAR = \frac{A_P}{A_O}$

Ταχύτητα περιστροφής έλικας

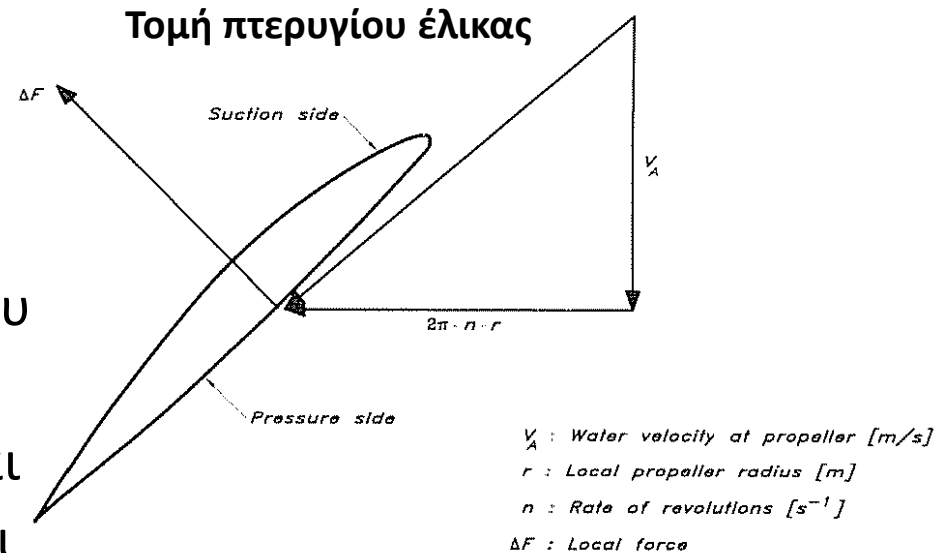
Η ταχύτητα του πτερυγίου της έλικας είναι το άθροισμα της:

- Ταχύτητας προχωρήσεως:

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

w , συντελεστής ποσοστού ομόρρου

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



Αδιάστατοι Συντελεστές

- Συντελεστής προχώρησης (advance ratio):

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

- Αδιάστατος συντελεστής ροπής:

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

- Αδιάστατος συντελεστής ώσης:

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

- Βαθμός απόδοσης: Η παραγόμενη ισχύς προς την απαιτούμενη ισχύ περιστροφής:

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

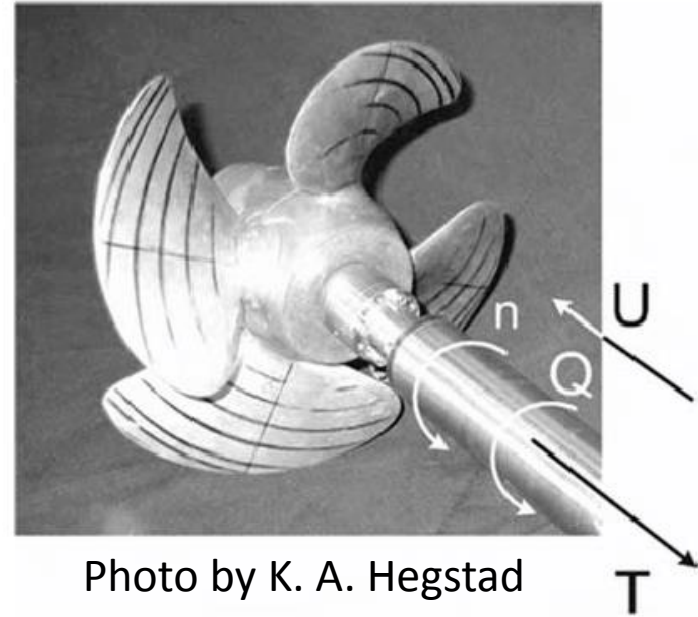
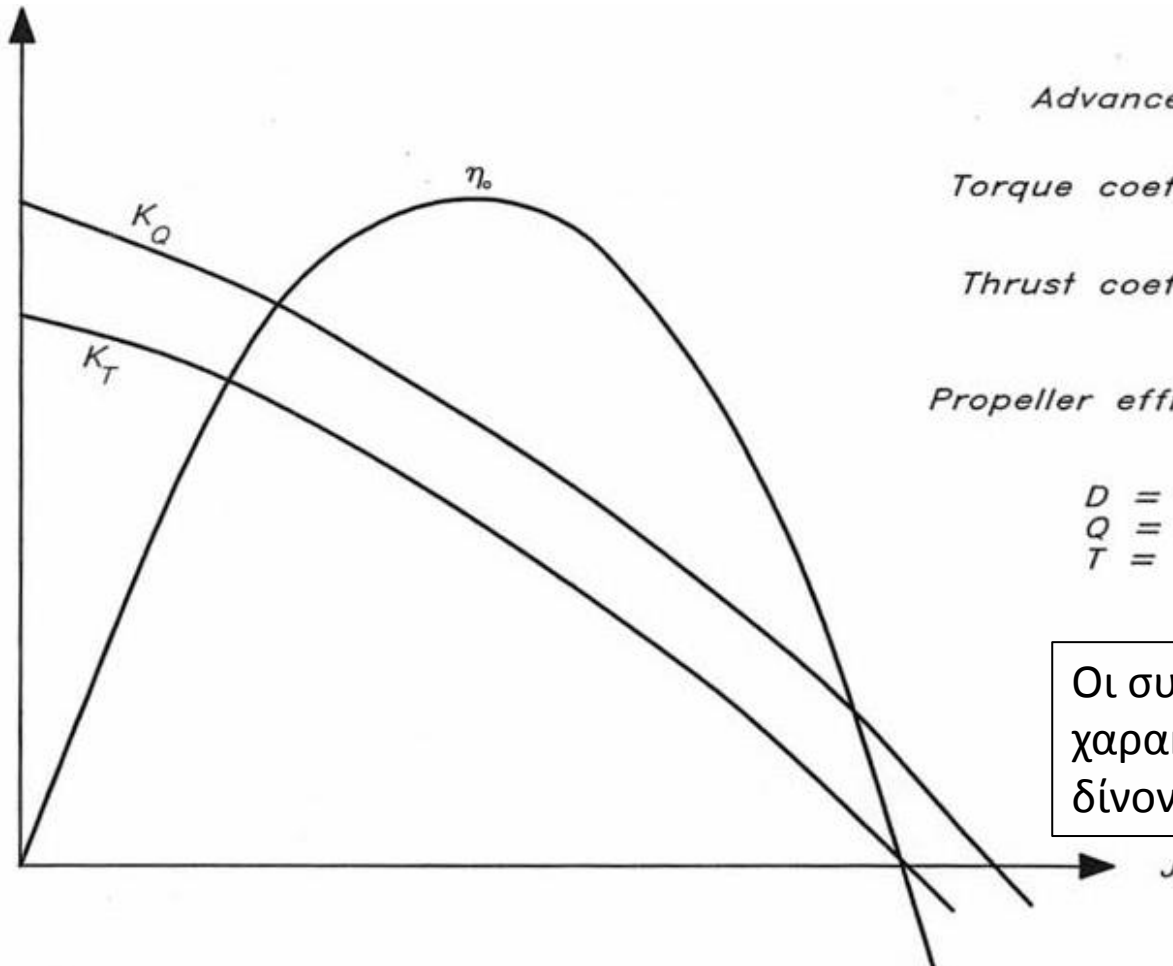


Photo by K. A. Hegstad

Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles By Odd M. Faltinsen

Χαρακτηριστικές ελίκων



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

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

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

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

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

Συστηματικές σειρές ελίκων

- Υπάρχουν αρκετές συστηματικές σειρές για τη σχεδίαση των ελίκων.
- Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνήθως με μορφή διαγραμμάτων K_T , K_Q , $\eta = f(J)$.

Συντελεστής φόρτισης έλικας K_T/J^2

- **Πλεονέκτημα:** η απαλοιφή των στροφών της έλικας (n) στα πρώτα στάδια των υπολογισμών, τα οποία εκτελούνται για δεδομένη ταχύτητα σκάφους V και διάμετρο έλικας D .

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

$$J = \frac{V \cdot (1 - w)}{nD}$$

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

Απαιτούμενη ώση

- Υποθέσεις:
 - N_{prop} = αριθμός ελίκων
 - κάθε έλικα παράγει την ίδια ώση.
- Η ώση που απαιτείται από κάθε έλικα είναι:

$$T = \frac{R}{(1-t) \cdot N_{prop}}$$

Όπου:

R: η αντίσταση της γάστρας σε δεδομένη ταχύτητα

t: συντελεστής μείωσης ώσης (thrust deduction).

Συντελεστές w , t , η_R 1/3

- Οι συντελεστές αλληλεπίδρασης έλικας-γάστρας εκφράζουν τη συνεργασία έλικας-πλοίου, δηλ. ότι η έλικα δεν βρίσκεται σε ελεύθερη ροή αλλά λειτουργεί στον μεταβαλλόμενο ομόρου του σκάφους.
- **Ο συντελεστής ομόρου (w):** εκφράζει τη διαφορετική τιμή του πεδίου ταχυτήτων, V_A στην οποία καλείται να λειτουργήσει η έλικα.
- **Ο συντελεστής μείωσης ώσης (t):** εκφράζει τη μείωση της διαθέσιμης ώσης λόγω της αλλαγής της κατανομής των πιέσεων στην πρύμνη του σκάφους από τη λειτουργία της προπέλας και την αύξηση της αντίστασης σε σχέση με την αντίσταση ρυμούλκησης.

Συντελεστές w , t , η_R 2/3

- **Ο βαθμός σχετικής περιστροφής η_R** : εκφράζει την διαφορετική απόδοση της έλικας όταν λειτουργεί πίσω από το σκάφος σε σχέση με το β.α. σε ελεύθερη ροή. Οι βασικές αιτίες για τη μεταβολή της απόδοσης είναι:
 - Ο ετερογενής ομόρους πίσω από το σκάφος, όπου επικρατούν μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής για ένα πτερύγιο καθώς αυτό περιστρέφεται.
 - Τα ποσοστά στρωτής και τυρβώδους ροής στα πτερύγια της προπέλας είναι διαφορετικά καθώς η τύρβη πίσω από το σκάφος είναι μεγαλύτερη από εκείνη σε ελεύθερη ροή.

Συντελεστές w , t , n_R 3/3

- Για μια πρώτη προσέγγιση των τιμών των συντελεστών για τα ταχύπλοα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους τύπους του Holtrop :

$$w = 0.3095 \cdot C_B + 10 \cdot C_{\nabla} \cdot C_B - 0.23 \cdot D / \sqrt{B \cdot T}$$

$$t = 0.325 - 0.1885 \cdot D / \sqrt{B \cdot T}$$

$$n_R = 0.9737 + 0.111 \cdot (C_P - 0.0225 \cdot LCB) + 0.06325 \cdot P / D$$

Συντελεστές απόδοσης

- Ο βαθμός απόδοσης της έλικας, n_0 :

$$n_0 = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q}$$

- Ο συντελεστής απόδοσης γάστρας, n_H :

$$n_H = \frac{(1-t)}{(1-w)}$$

Επιλογή χαρακτηριστικών έλικας 1/2

- Ο σχεδιαστής, με βάση την εμπειρία του και τη βιβλιογραφία (π.χ. τύπος του Keller) μπορεί να κάνει **μια αρχική εκτίμηση** για τον αριθμό πτερυγίων και την εκτεταμένη επιφάνεια των ελίκων A_E/A_0 ή EAR.

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot Z) \cdot T}{(P_o - P_v) \cdot D^2} + K$$

Όπου: T η ώση σε kp,

P_o η στατική πίεση στο κέντρο του άξονα της έλικας, kp/m^2 .

P_v η πίεση ατμοποίησης του νερού, kp/m^2 , 175.7 kp/m^2 .

$K=0$, για γρήγορα διπλέλικά πλοία.

$K=0,1$ για διπλέλικά πλοία.

$K=0,2$ για μονέλικά πλοία.

- Είναι επίσης σημαντικό να γίνει μια έρευνα αγοράς για τις οικονομικές παραμέτρους της επιλογής ή αύξηση της τιμής συναρτήσει της EAR.

Επιλογή χαρακτηριστικών έλικας 2/2

- Ο προσδιορισμός του συντελεστή φόρτισης, για δεδομένη ταχύτητα σκάφους οδηγεί στον υπολογισμό του αριθμού σπηλαίωσης σ , σε μια μοναδική **βέλτιστη τιμή** του βαθμού απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή η_0 που συμβαίνει για ορισμένο λόγο βήματος προς διάμετρο (**P/D**) και συντελεστή προχώρησης **J**.
- Στην επιλογή έλικας ο αναγνώστης μπορεί να χρησιμοποιήσει κατάλληλα διαγράμματα ελίκων ταχυπλόων σκαφών (Allison, J.L. 1978).

Υπολογισμός ισχύος - στροφών

- Ο β.α. του συνδυασμού έλικας-γάστρας είναι:

$$n_D = n_O \cdot n_H \cdot n_R$$

- Η ολική ισχύς των μηχανών, SHP συνδέεται με την ολική ισχύ ρυμούλκησης, EHP με τη σχέση:

$$SHP = \frac{EHP}{n_s \cdot n_D} = \frac{EHP}{n_s \cdot n_o \cdot n_H \cdot n_R}$$

όπου n_s ο β.α. άξονα

- Οι στροφές της έλικας, n :

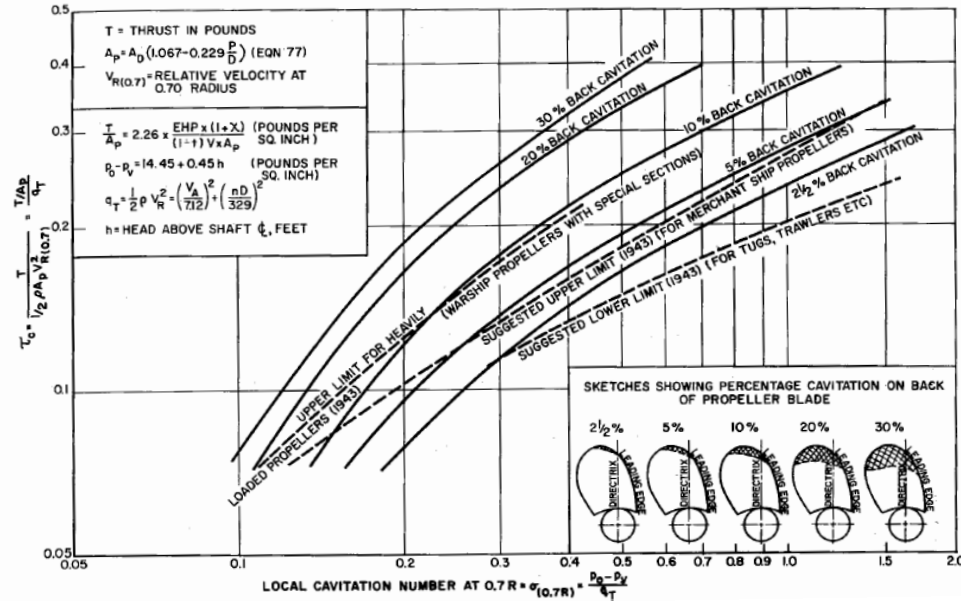
$$n = \frac{V \cdot (1 - w)}{J \cdot D}$$

Έλεγχοι για τη σπηλαίωση

- Με την επιλογή του EAR, έχει ελεγχθεί η σπηλαίωση μόνο για την υδροδυναμική απόδοση της έλικας.
- Τα προβλήματα μηχανικής διάβρωσης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αν η επιλογή της EAR γίνει έτσι ώστε η σπηλαίωση να μην υπερβαίνει το **10%** στην πίσω όψη των πτερυγίων με βάση το κριτήριο των **Gawn-Burrill** \longrightarrow Μια καλή προσέγγιση του κριτηρίου δίνεται από

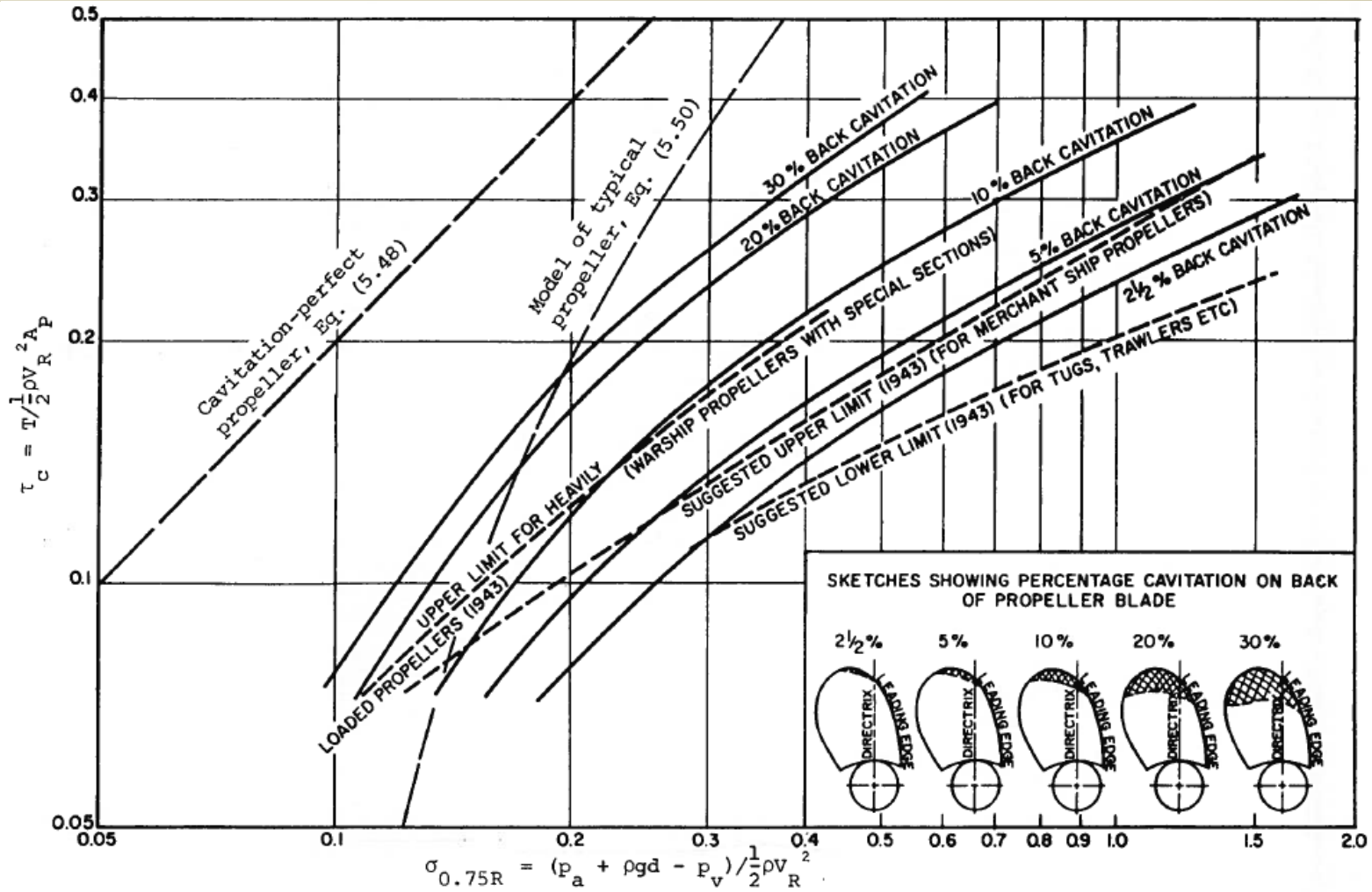
την καμπύλη:

$$\tau_C = 0.494 \cdot (\sigma_{0.7R})^{0.88}$$



Comstock (1967)

Διάγραμμα Burrill



Έλεγχος για τη σπηλαίωση 1/2

- Υπολογισμός του συντελεστή φόρτισης ώσης (τ_c) :

$$\tau_c = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A_P (V_{0.7R})^2}$$

Όπου:

$$A_P = EAR \cdot \left(\pi \cdot D^2 / 4 \right) \cdot \left(1.067 - 0.229 \cdot P/D \right)$$

$$V_{0.7R} = \sqrt{V_A^2 + (0.7 \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2}$$

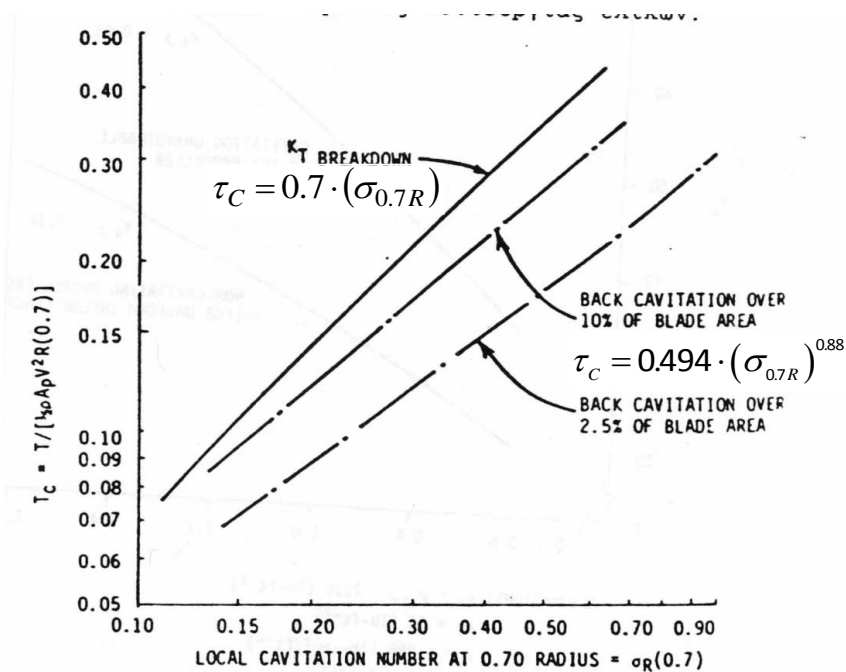
$$\sigma_{0.7R} = \frac{\sigma}{(1-w)^2} \left[\frac{J^2}{J^2 + 4.84} \right]$$

Ο αριθμός σπηλαίωσης στα 0.7 της ακτίνας της έλικας(0.7R)

Έλεγχος για τη σπηλαίωση 2/2

- Έλικες Gawn-Burrill: Οι Blount-Fox δίνουν την καμπύλη της απότομης απώλειας ώσης (thrust breakdown ή K_T breakdown).
- Η καμπύλη αυτή δίδεται από τη σχέση:

$$\tau_C = 0.7 \cdot (\sigma_{0.7R})$$



General trend of Gawn-Burrill propeller series cavitation phenomena

Συντελεστής φόρτισης ροπής

- Συντελεστής φόρτισης ροπής (Q_c) (Blount-Fox):

$$Q_c = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho \cdot D \cdot A_p \cdot (V_{0.7R})^2} = \frac{2.55 \cdot K_\rho}{(J^2 + 4.84) \cdot EAR \cdot \left(1.067 - 0.229 \cdot \frac{P}{D}\right)}$$

1^ο Κριτήριο

Οι τιμές των τ_c και K_Q που υπολογίζονται ελέγχονται προκειμένου να ικανοποιούν τα κριτήρια.

- **1^ο κριτήριο**

Η σπηλαίωση να μην υπερβαίνει το 10% της πίσω όψη των πτερυγίων (10% back cavitation). Το κριτήριο αυτό προσεγγίζεται από την καμπύλη:

$$\tau_{C10\%BackCav.} = 0.494 \cdot (\sigma_{0.7R})^{0.88}$$

2^ο Κριτήριο

- 2^ο κριτήριο

Η σπηλαίωση μόλις έχει αρχίσει να επιδρά (πτωτικά) στην ώση της έλικας, ($K_{TBreakdown}$). Το κριτήριο αυτό είναι και το όριο για το οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα K_p , K_Q - J χωρίς τον αριθμό σπηλαίωσης και προσεγγίζεται από την καμπύλη:

$$\tau_{CK_{TBreakdown}} = 0.7 \cdot (\sigma_{0.7R})$$

3^ο Κριτήριο 1/3

3^ο κριτήριο

Το έσχατο όριο πέραν του οποίου η έλικα δεν μπορεί να φορτιστεί. Το όριο αυτό λέγεται και όριο μέγιστης ώσης (maximum thrust limit, τ_{cLimit}) και το όριο μέγιστης ροπής (maximum torque limit, Q_{cLimit}):

- Για έλικες **Wageningen B series** είναι:

$$T_{CLimit} = 1.27\sigma_{0.7R} \quad \text{όπου: } 0.03 \leq \sigma_{0.7R} \leq 0.2$$

$$Q_{CTimit} = [-0,0167 + 0,247(P/D)](\sigma_{0.7R})^{L04}$$

$$\text{όπου: } 0.03 \leq \sigma_{0.7R} \leq 0.2$$

3^ο Κριτήριο 2/3

- Για έλικες **Gawn-Burrill** είναι:

$$\tau_{CLimit} = \max\{\tau_{CO}, \tau_{CX}\}$$

Όπου: $\sigma_{0.7R} \leq 0.4$

$$\tau_{CO} = 1.2\sigma_{0.7R}$$

$$\tau_{CX} = 0.0725(P/D) - 0.034EAR$$

$$Q_{CLimit} = \max\{Q_{CO}, Q_{CX}\}$$

Όπου: $\sigma_{0.7R} \leq 0.4$

$$Q_{CO} = 0.2(P/D)\{(\sigma_{0.7R})^{[0.7+0.31(EAR)^{0.9}]}\}$$

$$Q_{CX} = \frac{1}{(EAR)^{1/3}} [0.0185(P/D)^2 - 0.0166(P/D) + 0.00594]$$

3^ο Κριτήριο 3/3

- Για έλικες **Newton – Rader**:

$$\tau_{CLimit} = \max\{\tau_{CO}, \tau_{CX}\}$$

Όπου: $\sigma_{0.7R} \leq 0.4$

$$\tau_{CO} = [0.703 + 0.25(P/D)](\sigma_{0.7R})^{[0.65+0.10(P/D)]}$$

$$\tau_{CX} = -0.0142EAR + 0.0833(P/D)$$

$$Q_{CLimit} = \max\{Q_{CO}, Q_{CX}\}$$

Όπου: $\sigma_{0.7R} \leq 0.4$

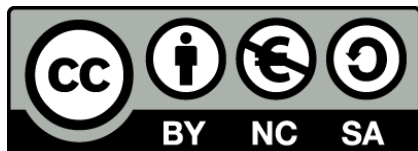
$$Q_{CO} = [-0.12 + 0.24(P/D)](\sigma_{0.7R})^{[0.5+0.165(P/D)]}$$

$$Q_{CX} = -0.024(EAR)^{1/2} + 0.0335(P/D)$$

Βιβλιογραφία

- Comstock, J., P., 1967, Principles of Naval Architecture, Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.
- Faltinsen, O., M., 2005, Hydrodynamics of High-speed marine vehicles, New York, NY (USA): Cambridge University Press.
- Allison, J.L., 1978, Propellers for High-Performance Craft, Marine Technology, Vol. 15, No. 4, pp. 335-380, October.

Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

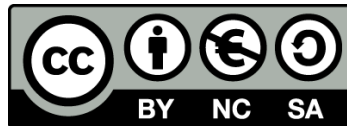
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Σοφία Πέππα, Γρηγόρης Γρηγορόπουλος 2014. Σοφία Πέππα, Γρηγόρης Γρηγορόπουλος. «Τεχνολογία Μικρών Σκαφών. Ενότητα 9: Επιλογή έλικας ταχυπλόου». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocp.teiath.gr.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

© Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.

διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.

διαθέσιμο με άδεια CCO Public Domain
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.

διαθέσιμο ως κοινό κτήμα
Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.

χωρίς σήμανση
Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Σημειώσεις μαθήματος «Τεχνολογία Μικρών Σκαφών Ι», Γ.Γρηγορόπουλος, Σ.Περισσάκης, (“Παιδεία Μπροστά”, 2^ο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης).

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

