

# *Πηδαλιουχία*

## *Πηδάλια*

*Αθήνα, 2017*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μέσα που διαθέτει ένα πλοίο , διαφορετικά το ένα από το άλλο , πρέπει να ικανοποιούν τις ναυτικές απαιτήσεις για την ασφάλεια του πλοίου .

Ναυτικές απαιτήσεις που συγκλίνουν στην υπηρεσιακή ικανότητα του πλοίου και είναι απόλυτα συνδεδεμένες με την εμπορική του αποστολή.

Συστήματα και εγκαταστάσεις για τους ελιγμούς , την αγκυροβολία , την μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών αποτελούν σημαντικά στοιχεία ενός πλοίου. Μια σωστή μελέτη και σχεδίαση αυτών των συστημάτων προσθέτει αξία στις ποιοτικές ικανότητες αντοχής , ευστάθειας και ταχύτητας.

Η πηδαλιούχηση ενός πλοίου αναφέρεται στην ελεγχόμενη αλλαγή ή διατήρηση της κατεύθυνσης της κίνησης του πλοίου.

Το σύστημα πηδαλιούχησης του πλοίου πρέπει να έχει την ικανότητα να ανταποκρίνεται άμεσα και με ακρίβεια στις ενέργειες ελιγμού ακόμα και σε αντίξοες καιρικές συνθήκες .

Διακρίνονται δύο διαφορετικές απαιτήσεις :

1. έλεγχος της κίνησης του πλοίου σε ανοιχτή θάλασσα : το πλοίο πρέπει να διαθέτει ένα σύστημα ελέγχου κατά τον πλού έτσι ώστε να διατηρείται στην προγραμματισμένη πορεία είτε ελέγχοντας την ευθεία πορεία με μικρές διορθωτικές κινήσεις είτε μεταβάλλοντας την ευθεία πορεία με ελιγμούς προσέγγισης.
2. έλεγχος των κινήσεων του πλοίου σε στενά με χαμηλή ταχύτητα , όπως σε προσέγγιση σε αποβάθρα , ή σε μέρη με συνωστισμό όπου απαιτούνται γρήγοροι και αποτελεσματικοί ελιγμοί.

Οι εγκαταστάσεις για τον έλεγχο των κινήσεων του πλοίου μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την αποστολή τους όπως κυβέρνηση του πλοίου (steering) , ελιγμοί (manoeuvring) , μεταβολή ταχύτητας (σταθεροποίηση) (speed changing) , αλλά γενικά αποτελούνται από μια σειρά λειτουργικών συστημάτων που προσδιορίζονται :

- μονάδα ισχύος : σύνολο συσκευών που προσδίδουν την απαραίτητη ενέργεια για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης κίνησης του πλοίου. Είναι μηχανές ηλεκτρο-υδραυλικές που λαμβάνουν εντολή είτε από αυτόματη συσκευή είτε από χειριστή.
- εκτέλεση εντολής : ένας μηχανισμός που μετατρέπει την μεταδιδόμενη ενέργεια σε διαθέσιμη ισχύ στον άξονα.
- επιφάνεια ελέγχου : το στοιχείο μέσω του οποίου το σύστημα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον προκειμένου να παραχθεί η απαραίτητη δύναμη ως αντίδραση της εκτροπής της ροής .

Οι εγκαταστάσεις αυτές εκμεταλλεύονται ενέργεια η οποία παράγεται στο πλοίο . Η μηχανική ενέργεια προέρχεται από ηλεκτρική ενέργεια , που πιθανόν ενδιάμεσα να μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης , μέσω του ρευστού ενός ελαιο – δυναμικού συστήματος. Η μηχανική ενέργεια είναι διαθέσιμη στον άξονα του πηδαλίου για τη δημιουργία δυνάμεων ελέγχου , με κατάλληλο μηχανισμό.

Στις επόμενες σελίδες περιγράφεται η επενέργεια του πηδαλίου στο πλοίο , η περιγραφή των τύπων των πηδαλίων , η κατασκευαστική δομή τους , η σχετική ονοματολογία , η διαδικασία κατασκευής , και οι υπολογισμοί που απαιτούνται για τη μελέτη και σχεδίαση ενός πηδαλίου.

Στο παράρτημα **ΣΧΗΜΑΤΑ** , παρουσιάζονται αναλυτικά κατασκευαστικές λεπτομέρειες πτερυγίου πηδαλίου καθώς και ανάλυση του πηδαλίου που ευρίσκεται στον εργαστηριακό χώρο του Εργαστηρίου Ναυπηγικής /ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΗΔΑΛΙΩΝΘΕΩΡΙΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΗΣΗΣ1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο έλεγχος του πλοίου σε οριζόντιο επίπεδο , αναφέρεται στην ικανότητα του πλοίου να διατηρείται ή να μεταβάλλεται η κατεύθυνση της πορείας του με χρήση κατάλληλων οργάνων.

Η ικανότητα ελιγμών του πλοίου δηλώνει την ευκολία με την οποία ένα πλοίο μπορεί να διατηρηθεί σε μια συγκεκριμένη πορεία . Η απόδοση του πλοίου είναι η ευστάθεια κατεύθυνσης , δηλαδή όταν ένα πλοίο υποστεί μια διαταραχή από την αρχική του πορεία , θεωρείται ότι είναι ευσταθές όταν τείνει να ακολουθήσει μια νέα ευθεία πορεία .

Η ικανότητα ελιγμών του πλοίου σχετίζεται επίσης με την ικανότητα απόκρισης του πλοίου στην επενέργεια επιφανειών ελέγχου κατά την εκκίνηση ή κατά την μεταβολή της γωνίας πορείας του , καθώς επίσης και με τη δυνατότητα του πλοίου να εκτελέσει ένα πλήρη κύκλο στροφής σε συγκεκριμένο χώρο.

Το πιο παλιό όργανο αλλά και το πλέον κατάλληλο είναι το πηδάλιο (επιφάνεια ελέγχου) , το οποίο σχηματικά παριστάνεται από μια κατακόρυφη πλάκα τοποθετημένη στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου στο πρυμναίο άκρο του σκάφους, με τρόπον ώστε να υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής της ως προς κατακόρυφο άξονα.

Ο προορισμός του πηδαλίου είναι να δημιουργεί μια δύναμη ελέγχου η οποία με τη σειρά της δημιουργεί μια ροπή περί τον κατακόρυφο άξονα επί του πλοίου, με αποτέλεσμα το πλοίο να περιστραφεί και να προσανατολιστεί με μια γωνία προσπτώσεως ως προς την κατεύθυνση της ροής.

Οι δυνάμεις και οι ροπές που δημιουργούνται επί του πλοίου σαν αποτέλεσμα αυτής της περιστροφής και της γωνίας προσπτώσεως καθορίζουν τις ελκτικές ικανότητες του πλοίου.

Το πηδάλιο πρέπει να αναπτύσσει άνωση και στις δύο αντίθετες κατευθύνσεις γωνιακής εκτροπής, και για το λόγο αυτό είναι συμμετρικό πτερύγιο υδροδυναμικής μορφής (πηδάλια μικρών πλοίων αποτελούνται από επίπεδη πλάκα με οριζόντιες ενισχύσεις) με κατακόρυφο άξονα συμμετρίας.

Υπάρχει ένα σημείο στο πλοίο, στο οποίο όταν επιδράσει μια δύναμη κάθετη ως προς το επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, δεν παρατηρείται αλλαγή πορείας. Το σημείο αυτό ονομάζεται **ουδέτερο σημείο**

(neutral point) και βρίσκεται περίπου σε απόσταση  $\left(\frac{1}{6}\right) L_{B.P.}$  πρύμνηθεν της πρωραίας καθέτου (σχήμα -1-).



Σχήμα -1-

Εάν η δύναμη  $F$  εφαρμοστεί από τα δεξιά προς τα αριστερά πρύμνηθεν του ουδέτερου σημείου, το πλοίο θα στρίψει δεξιά. Εάν η δύναμη  $F$  εφαρμοστεί από τα δεξιά προς τα αριστερά αλλά πώραθεν του ουδέτερου σημείου το πλοίο θα στρίψει αριστερά.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του σημείου εφαρμογής της δύναμης από το ουδέτερο σημείο, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της δύναμης στη διαδικασία στροφής του πλοίου.

Η ικανότητα στροφής του πλοίου εξασφαλίζεται από το πηδάλιο και η ροπή που δημιουργείται όταν το πηδάλιο είναι σε γωνία  $\alpha$  ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μακριά το πηδάλιο βρίσκεται από το ουδέτερο σημείο.

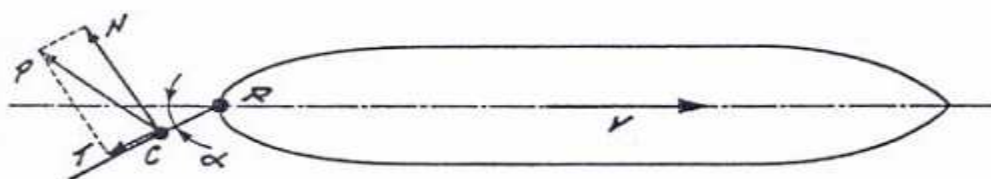
Σε σχέση επομένως με τη θέση του ουδέτερου σημείου και την ιδιότητά του, το πηδάλιο τοποθετείται όσο πιο μακριά, άρα στην πρύμνη του πλοίου και συγκεκριμένα στον ομόρου της έλικας όπου και υφίσταται την επίδραση μάζας νερού που έχει επιταχυνθεί λόγω της έλικας, γεγονός που δημιουργεί μεγαλύτερη δύναμη άρα και ροπή, οπότε εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ευελιξία στο πλοίο.

Κατά συνέπεια, το πηδάλιο είναι περισσότερο αποτελεσματικό όταν τοποθετείται στην πρύμνη του πλοίου.

Όταν το πηδάλιο είναι σε γωνία "0" ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και το πλοίο κινείται ευθύγραμμο με ταχύτητα  $V$ , οι δύο πλευρικές επιφάνειες του πηδαλίου προσβάλλονται από το ρευστό κατά ίδιο τρόπο, ούτως ώστε δεν επιδρά καμία δύναμη δεδομένου ότι οι πιέσεις που εξασκούνται επί των δύο πλευρών του πτερυγίου του πηδαλίου είναι ίσες και αντίθετες.

Όταν το πηδάλιο είναι σε κλίση υπό γωνία  $\alpha$  ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, το ρευστό εξασκεί μια υπερπίεση στο πρόσωπο (στην πλευρά που απ' ευθείας βαπτίζεται από τη ροή) και μια υποπίεση στη ράχη (στην αντίθετη πλευρά) (σχήμα -2-), με αποτέλεσμα τη συνισταμένη δύναμη  $N$ , η οποία ασκείται στο σημείο  $C$  που βρίσκεται πώραθεν του κέντρου βάρους της επιφάνειας του πηδαλίου και κάθετα σε αυτήν.

Εξ αιτίας του ιξώδους του νερού στο οποίο είναι βυθισμένο το πηδάλιο, εξασκείται επί αυτού μια εφαπτόμενη δύναμη  $T$  (τριβή) η οποία μαζί με την  $N$  δίδουν μια συνισταμένη  $P$ , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα -2-. Επειδή η εφαπτομενική δύναμη είναι πολύ μικρή, θεωρείται αμελητέα και η δύναμη  $N$  ταυτίζεται με την  $P$ .



Σχήμα -2-

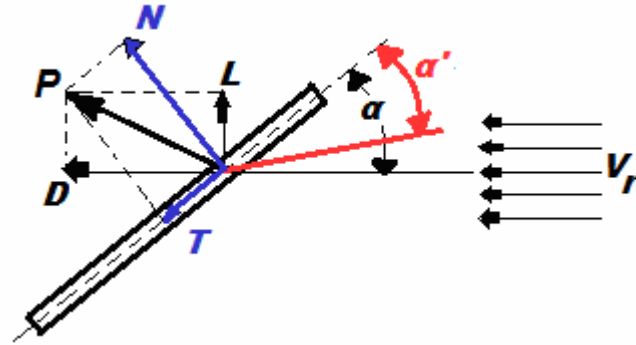
Η δύναμη  $P$  ονομάζεται δύναμη επί του πηδαλίου.

Αυτή η δύναμη τείνει να επαναφέρει το πηδάλιο στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας με μια ροπή  $P \cdot \overline{CR}$ , όπου  $R$  παριστάνει την προβολή του άξονα περιστροφής του πηδαλίου στο οριζόντιο επίπεδο, οπότε για να εμποδιστεί αυτή η κίνηση επαναφοράς, πρέπει να εφαρμοστεί στον άξονα του πηδαλίου μια ροπή ίση και αντίθετη.

Η δύναμη που δημιουργεί ένα πηδάλιο είναι ανάλογη με την επιφάνειά του. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που δημιουργεί τη στροφή και επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η ευελιξία του πλοίου.

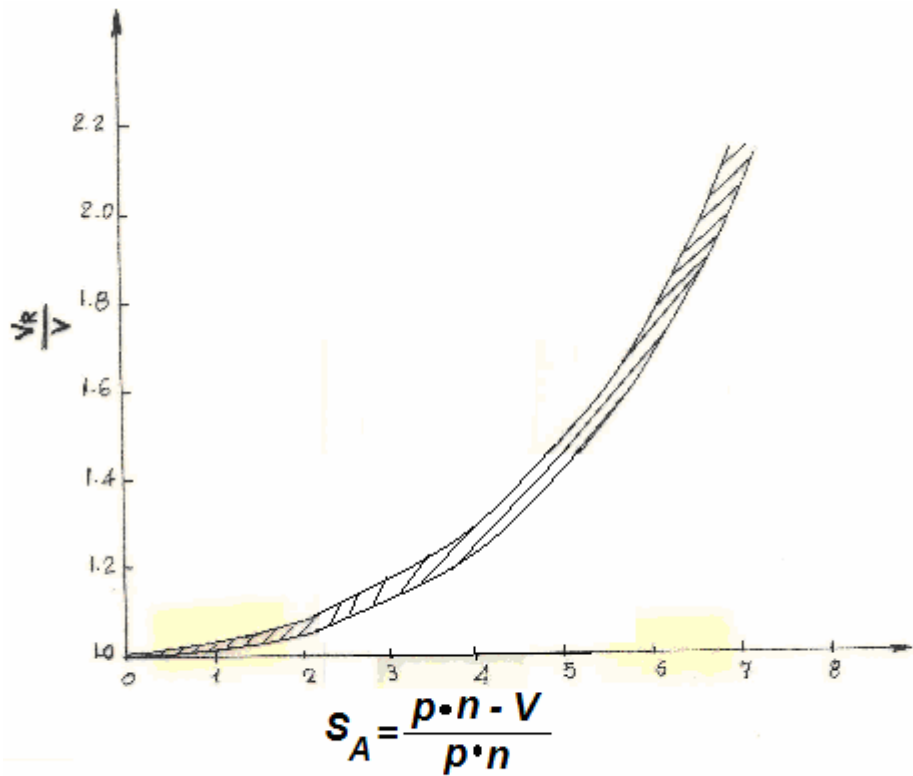
Η δύναμη  $P$  αναλύεται στη δύναμη  $D$ , παράλληλη στη διεύθυνση της ταχύτητας  $V$  και στη δύναμη  $L$  κάθετη στην ταχύτητα  $V$ .

Η παρουσία του σκάφους και της έλικας εμπρός από το πηδάλιο, αλλάζουν την ομοιομορφία της ροής  $V_R$ , σχηματίζοντας τη γωνία  $\alpha'$  μεταξύ του επιπέδου συμμετρίας του πηδαλίου και της πραγματικής διεύθυνσης της ροής.



Σχήμα -3-

Με το πηδάλιο πίσω από την έλικα, η ταχύτητα  $V_R$  που περιβάλλει την επιφάνεια του πηδαλίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα  $V$  προχώρησης του πλοίου και αυτό εξ αιτίας του ομόρου της έλικας (σχήμα 5).



$\rho$  = βήμα έλικας     $n$  = στροφές έλικας = στρ / sec  
 $V$  = ταχύτητα πλοίου (m/sec)     $V_R$  = ταχύτητα ροής

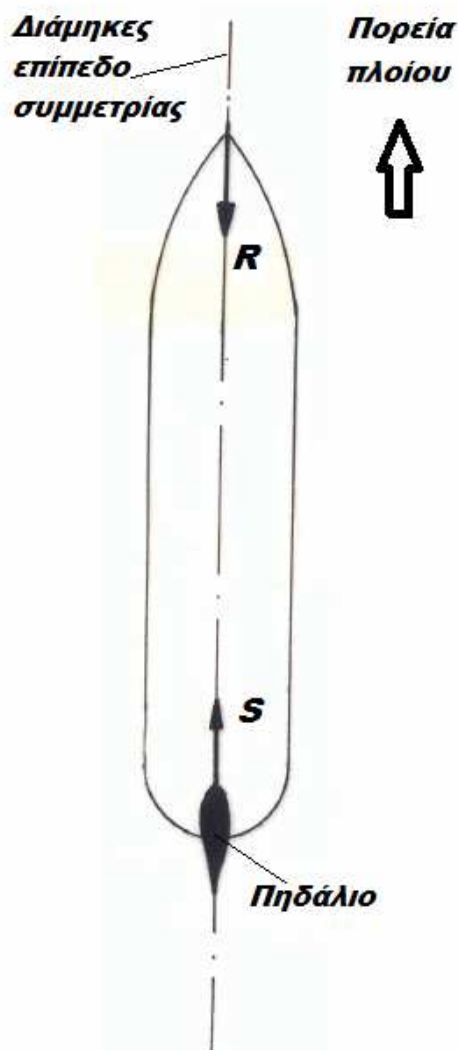
Σχήμα -4-

## 2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Το υγρό ρεύμα κατά μήκος των πλευρών του πλοίου το οποίο πλέει σε ήρεμο νερό με το πηδάλιο στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας (χωρίς κλίση ως προς αυτό) , είναι συμμετρικό.

Επομένως , οποιαδήποτε δύναμη που δρά κατά την εγκάρσια διεύθυνση επί του πλοίου , και που μπορεί να προκαλείται από την κίνηση του νερού κατά μήκος των πλευρών του πλοίου , εξισορροπείται από τη συμμετρία της γάστρας.

Κατά συνέπεια , επειδή η ώση **S** από το σύστημα πρόωσης του πλοίου και η αντίσταση **R** στην κίνηση του πλοίου ευρίσκονται στο επίπεδο συμμετρίας , το πλοίο πλέει επί μιας ευθύγραμμης πορείας όταν φυσικά δεν ενεργούν εξωτερικές διαταράξεις.



Σχήμα -5-

Όταν το πηδάλιο τεθεί υπό γωνία  $\alpha$  ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας , τότε δημιουργείται η δύναμη **P** (σχήμα -3-) η οποία θεωρείται ότι εξασκείται κάθετα στην επιφάνεια του πηδαλίου.

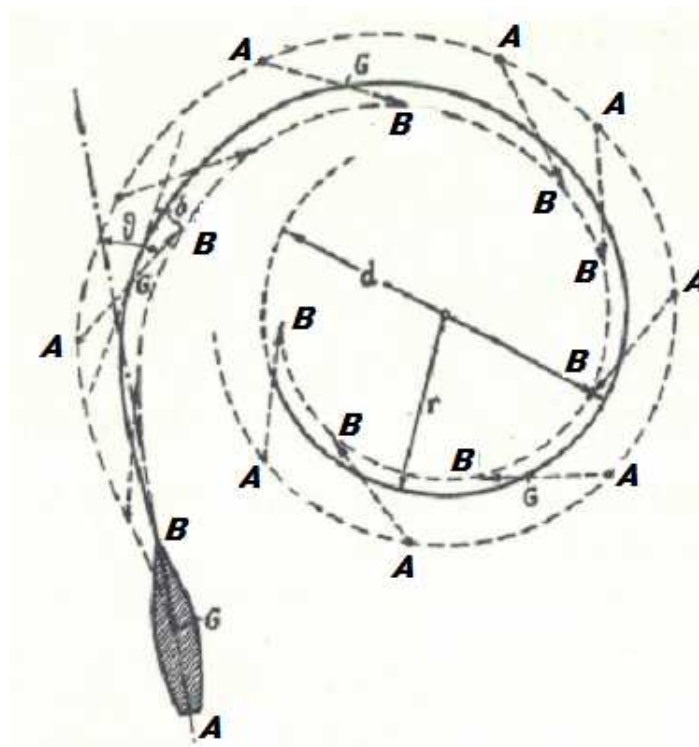
Αυτή η δύναμη προκαλεί μια εγκάρσια κίνηση του πλοίου και περιστροφές του πλοίου στους (κάθετα μεταξύ τους) άξονες x (εγκάρσιος) , y (διαμήκης) , z (κατακόρυφος).

Από τις κινήσεις αυτές είναι επιθυμητή μόνο αυτή ως προς τον κατακόρυφο άξονα . Οι άλλες στην πραγματικότητα είναι ανεπιθύμητες . Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι οι περιστροφές του πλοίου περί τον διαμήκη άξονα έχουν προκαλέσει περιπτώσεις ανατροπής με καταστροφικές συνέπειες πλοίων με οριακή εγκάρσια ευστάθεια.

## 2.1. ΚΥΚΛΟΣ ΣΤΡΟΦΗΣ

Όταν σε ένα πλοίο σε ευθύγραμμη πορεία το πηδάλιο τεθεί προς τη μια πλευρά έτσι ώστε το πηδάλιο να σχηματίσει γωνία ως προς το διαμήκη άξονα συμμετρίας του πλοίου και στη συνέχεια το πηδάλιο διατηρηθεί στη θέση αυτή, τότε το πλοίο ακολουθεί μια νέα πορεία και θα διαγράψει μια νέα τροχιά η οποία ονομάζεται κύκλος στροφής.

Η πλήρης γραμμή παριστάνει την τροχιά που διαγράφει το κέντρο βάρους  $G$  του πλοίου, ενώ οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν την τροχιά που διαγράφει η πλώρη  $A$  και η πρύμνη  $B$  του πλοίου.



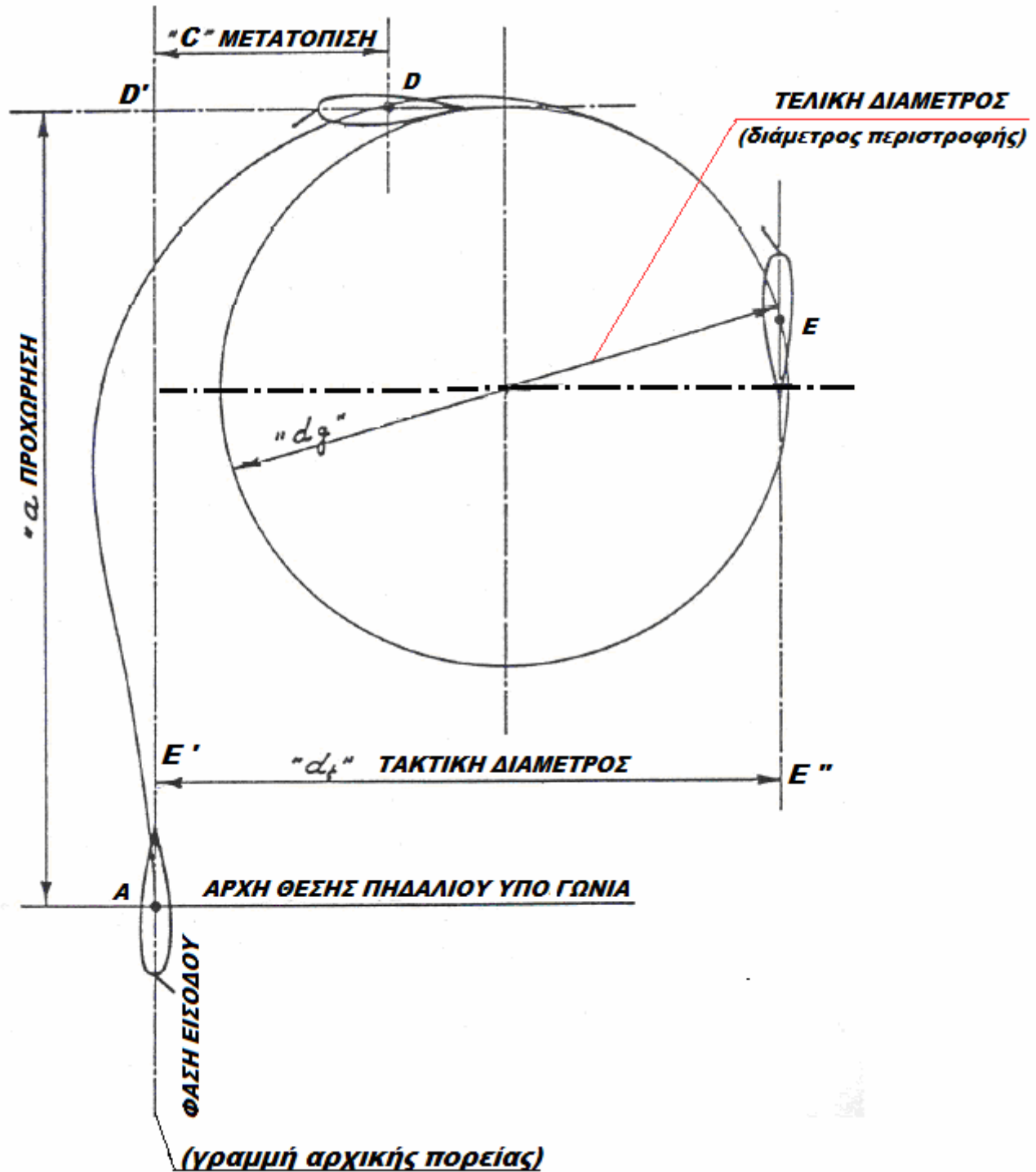
Σχήμα - 6-

Ο κύκλος στροφής έπεται της **ΦΑΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ** κατά τη διάρκεια της οποίας το πλοίο πλέει σε ευθεία πορεία με σταθερό αριθμό στροφών των ελίκων για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται ώστε να εξασφαλιστεί ότι η ταχύτητα έχει μια σταθερή τιμή.

Ο σκοπός του κύκλου στροφής είναι να καταγραφούν όλα τα μεγέθη που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του πλοίου και που είναι χρήσιμα και απαραίτητα στον πλοίαρχο για τους πιθανούς ελιγμούς που πρόκειται να προβεί κατά τη ζωή του πλοίου.

Έτσι ο κύκλος στροφής εκτελείται και προς τα δεξιά και προς τα αριστερά για διαφορετικές τιμές της ταχύτητας και της γωνίας του πηδαλίου και τα αποτελέσματα καταχωρίζονται στο σχετικό μητρώο του πλοίου.

Συνήθως το διάγραμμα του κύκλου στροφής που παρουσιάζεται ενδεικτικά στο επόμενο σχήμα ...., δημιουργείται από τριγωνομετρική διόπτευση μεταξύ δύο επίγειων σταθμών, συγχρονισμένων μεταξύ των με τη βοήθεια ενιαίου χρονομέτρου, και που καταγράφουν στιγμιαία τη γωνία παρατήρησης, την απόσταση και το χρόνο.

Σχήμα - 7-

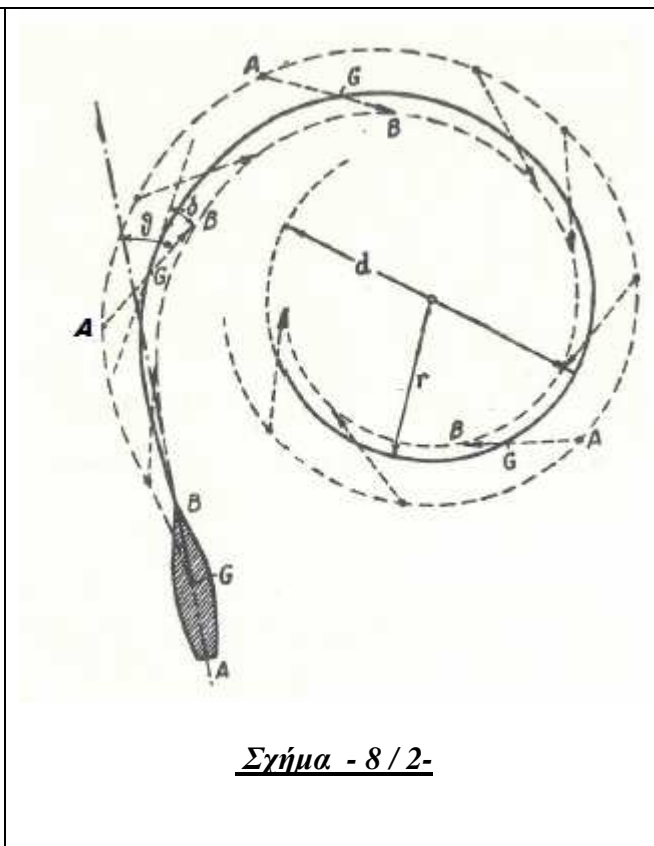
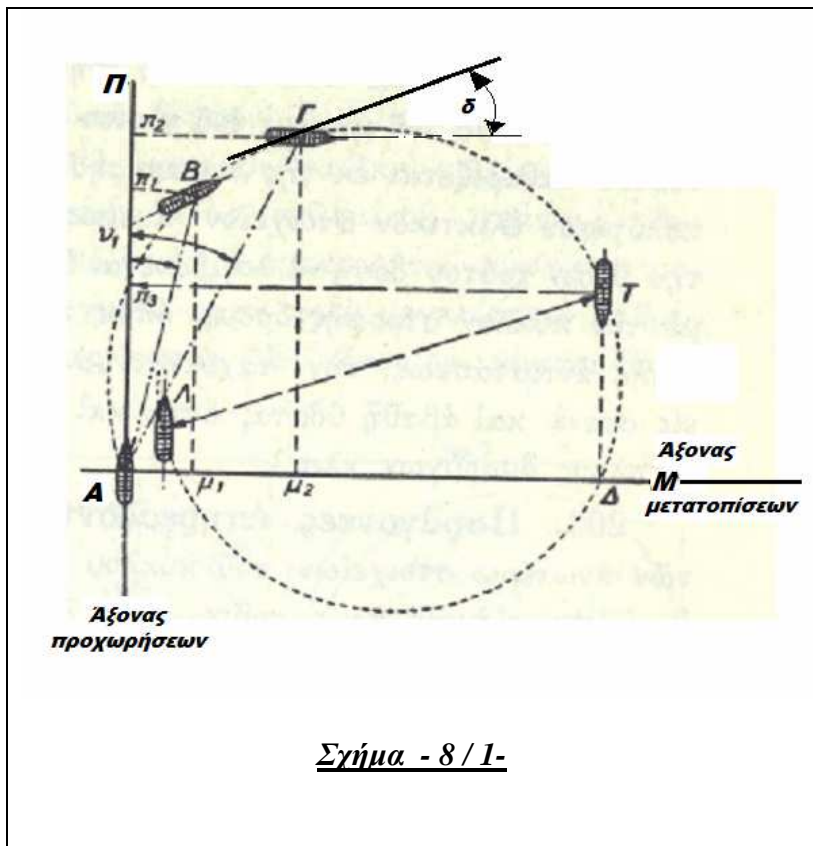
Οι αεροφωτογραφίες είναι πολύ χρήσιμες για την παροχή σημαντικών ενδείξεων.

Η πορεία που με σημεία προκύπτει χρειάζεται μια ερμηνεία : στην πραγματικότητα λόγω της παρουσίας ρευμάτων , λόγω της δράσης του ανέμου μετατρέπεται σε μια σπειροειδή καμπύλη η οποία θα έπρεπε να είναι μια κυκλική πορεία σε σταθερή κατάσταση χωρίς την παρουσία των αιτίων διαταραχής.

Τα σημαντικά μεγέθη και τα χαρακτηριστικά του κύκλου στροφής είναι :



- $d_t$  : **τακτική διάμετρος** του κύκλου στροφής : είναι η απόσταση η οποία μετριέται μεταξύ της αρχικής (ευθύγραμμης) πορείας του πλοίου και μιας θέσης του πλοίου στην οποία το πλοίο είναι σε στροφή  $180^\circ$ , δηλαδή η απόσταση από το σημείο E μέχρι το σημείο E' (σχήμα 7) που είναι η προβολή της θέσης του πλοίου και αντίστοιχα η απόσταση ΑΔ στο σχήμα 8/1.
- $d_g$  : **τελική διάμετρος** (διάμετρος κυκλικής στροφής, διάμετρος) = η διάμετρος του κυκλικού τμήματος της τροχιάς του κέντρου βάρους G του πλοίου στη φάση της στροφής, η διάμετρος  $d_g$  στο σχήμα 8, η διάμετρος ΛΤ στο σχήμα 8/1, η διάμετρος  $d$  στο σχήμα 8/2.



Σχήμα - 8-

- **α** : προχώρηση για μια γωνία στροφής του πλοίου = είναι η απόσταση επί της γραμμής της αρχικής πορείας κατά την οποία κινήθηκε το κέντρο βάρους, στη διεύθυνση της αρχικής θέσης, η οποία μετριέται επί του άξονα προχωρήσεων μεταξύ του αρχικού σημείου A του ελιγμού και των διαφόρων ενδιάμεσων φάσεων (Απ<sub>1</sub>, Απ<sub>2</sub> κ.λ.π., σχήμα 8/1). Η μέγιστη προχώρηση μετριέται επί της αρχικής γραμμής πορείας μεταξύ του αρχικού σημείου A και του σημείου D στο οποίο η πορεία είναι σε  $90^\circ$  (σχήμα 7).
- **C** : μετατόπιση = είναι η απόσταση, που μετριέται σε κάθε ενδιάμεση θέση επί του άξονα μετατοπίσεων ΑΜ, κατά την οποία κινήθηκε το κέντρο βάρους κάθετα προς την αρχική πορεία μετρούμενη σε κάθετη διεύθυνση προς την αρχική πορεία ( απόσταση DD' στο σχήμα 7, και οι αποστάσεις Αμ<sub>1</sub>, Αμ<sub>2</sub>, κ.λ.π. στο σχήμα 8/1).
- γωνία εκπτώσεως **δ** = είναι η γωνία η οποία σχηματίζεται μεταξύ του διαμήκους άξονα του πλοίου με την εφαπτομένη σε κάθε σημείο του κύκλου στροφής (ή της τροχιάς της στροφής) (η γωνία εκπτώσεως συνήθως μεταβάλλεται μεταξύ  $6^\circ$  και  $10^\circ$ ).

Ως παράδειγμα παρατίθενται οι τιμές σε μέτρα των παραπάνω μεγεθών από τις δοκιμές που έγιναν σε επιβατηγό πλοίο ( $L = 184,5 \text{ m}$ ,  $B = 20,31 \text{ m}$ ,  $D = 5,81 \text{ m}$ ) για τρεις διαφορετικές γωνίες πηδαλίου και για δύο ταχύτητες στην αρχική φάση εισόδου :

V	25 kn			32 kn		
a	$15^0$	$25^0$	$35^0$	$15^0$	$25^0$	$35^0$
$\alpha$	740	500	490	825	600	620
C	530	370	330	615	400	360
$d_t$	1025	700	580	1100	735	615
$d_g$	990	670	540	1020	720	550

Οι θέσεις που το πλοίο λαμβάνει κατά τον κύκλο στροφής αναλύονται στη συνέχεια.

### 2.1.1. Κίνηση πλοίου στο οριζόντιο επίπεδο

**1<sup>η</sup> φάση** (φάση ελιγμού, μανούβρας) (Σχήμα -9-): η φάση αυτή διαρκεί για όσο χρόνο απαιτείται ώστε το πηδάλιο να τεθεί από το μέσον στην επιθυμητή γωνία  $\alpha$  ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Κατά την φάση αυτή δημιουργείται η δύναμη  $\mathbf{P}$ , για την οποία έχει γίνει η υπόθεση ότι το σημείο εφαρμογής της C ευρίσκεται επί του άξονα περιστροφής του πηδαλίου, αναλύεται σε δύο συνιστώσες :

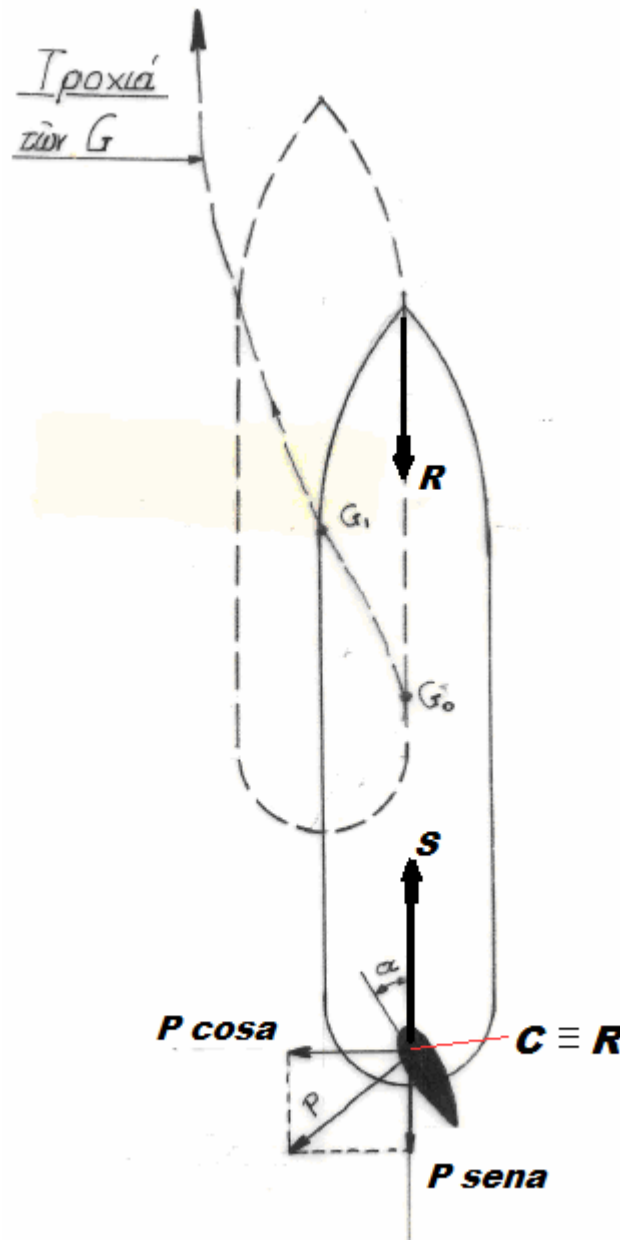
- διαμήκης συνιστώσα  $P \cdot \sin \alpha$
- εγκάρσια συνιστώσα :  $P \cdot \cos \alpha$

Η πρώτη εξασκείται στην ίδια διεύθυνση και φορά με την αντίσταση  $\mathbf{R}$ , οπότε αυξάνει την αντίσταση και επιβραδύνει την πρόσω κίνηση του πλοίου.

Η δεύτερη, μεταφερόμενη στο κέντρο βάρους του πλοίου, προκαλεί μια πλευρική μετατόπιση του πλοίου που ονομάζεται εκτροπή (ή έκπτωση), και δημιουργεί τη ροπή στροφής  $(P \cdot \cos \alpha) \times \overline{RG}$ , η οποία τείνει να περιστρέψει το πλοίο περί τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους. Σε αυτό αντιστέκεται η ροπή αδρανείας της μάζας του πλοίου και μια ποσότητα νερού γύρω από το πλοίο που ονομάζεται πρόσθετη μάζα.

Η πρώτη φάση διαρκεί πολύ λίγο και στις πρώτες στιγμές του ελιγμού η ροπή αδρανείας της μάζας δεν έχει υπερνικηθεί από τη ροπή  $(P \cdot \cos \alpha) \times \overline{RG}$  στην κίνηση του πλοίου το οποίο συνήθως εξακολουθεί να κινείται για λίγο ευθύγραμμα, οπότε η μόνη δύναμη που δρά είναι η δύναμη  $P \cdot \cos \alpha$  η οποία και προκαλεί την πλευρική μετατόπισή του. Συνεπώς εάν το πηδάλιο έχει στραφεί προς τα δεξιά το πλοίο ωθείται προς τα αριστερά χωρίς σημαντική περιστροφή περί τον κατακόρυφο από το κέντρο βάρους άξονα.

Στη συνέχεια βέβαια η ροπή αποκτά υπεροχή και περιστρέφει το πλοίο προς τα δεξιά (έχει παραπάνω υποτεθεί ότι το πηδάλιο έχει στραφεί προς τα δεξιά) με την πλώρη εντός του κύκλου στροφής.



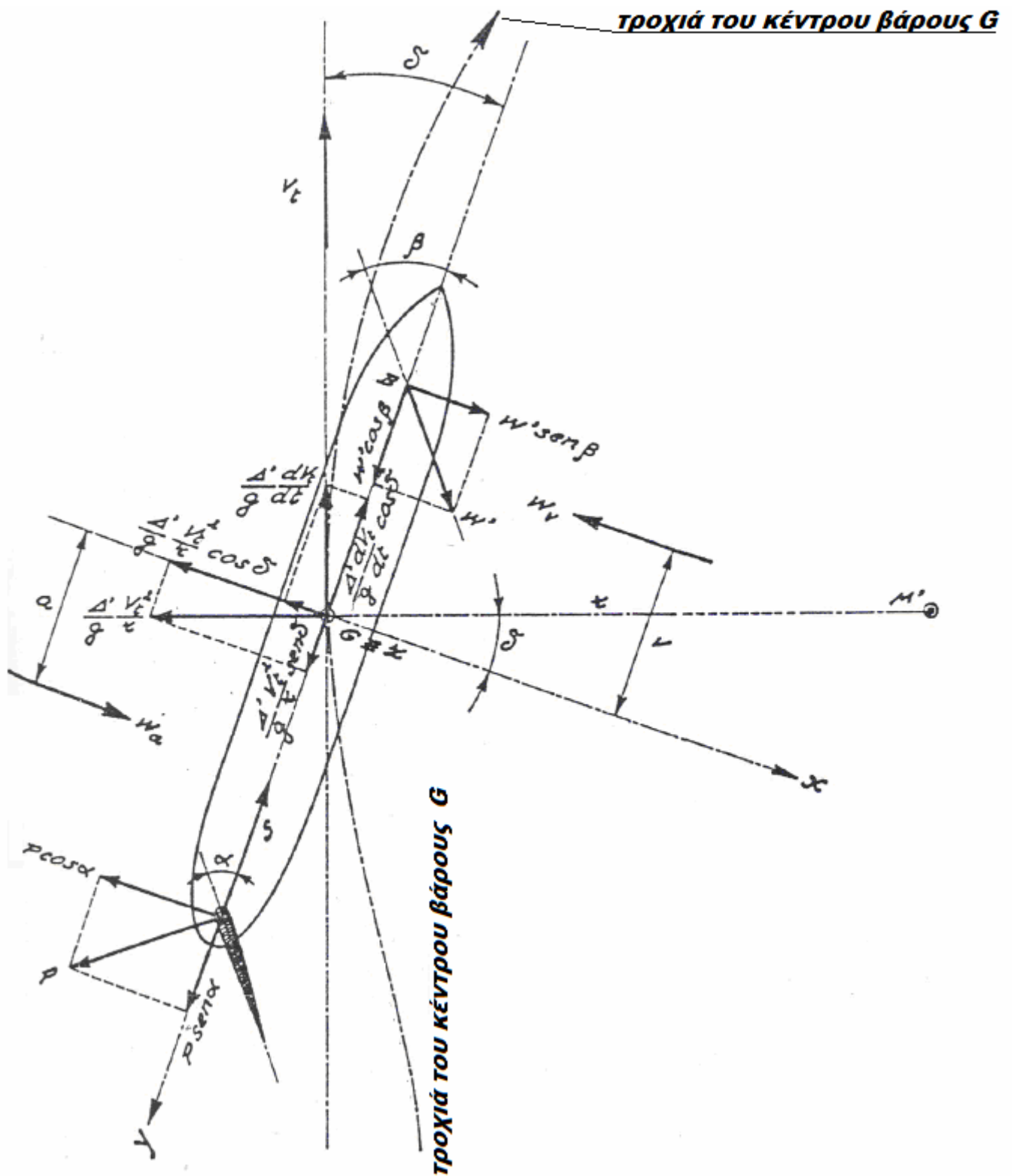
Σχήμα - 9 -

**2<sup>η</sup> φάση** (φάση περιστροφής) (Σχήμα -10-)

Κατά τη φάση αυτή, ενεργεί η ροπή στροφής (που δημιουργήθηκε από την πρώτη φάση) και η ευθύγραμμη κίνηση του πλοίου (της πρώτης φάσης) που είχε ήδη την τάση στροφής, μετατρέπεται σε ομαλή περιστροφική ή κυκλική κίνηση, αυξάνεται η γωνιακή ταχύτητα μέχρι να αποκτήσει σταθερή τιμή.

Εξ αιτίας της πλευρικής μετατόπισης από την πρώτη φάση, και της στροφής με την οποία αρχίζει η δεύτερη φάση, οι πλευρικές πιέσεις γύρω από το πλοίο υφίστανται ουσιαστικές μεταβολές:

η αντίσταση  $W$  του πλοίου που αρχικά δρά στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, βαθμιαία μετατρέπεται στην αντίσταση  $W'$  μεγαλύτερης τιμής εξ αιτίας της αύξησης της αντίστασης σχήματος, κεκλιμένη κατά τη γωνία  $\beta$  ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, και μπορεί να θεωρηθεί ότι εφαρμόζεται στο σημείο B.



Σχήμα -10-

Η οριζόντια συνιστώσα  $W' \cdot \cos \beta$  αυτής της αντίστασης , μαζί με την  $P \cdot \sin \alpha$  επιβραδύνει περισσότερο την κίνηση του πλοίου , ενώ η εγκάρσια συνιστώσα  $w' \cdot \sin \beta$  , με αντίθετη φορά ως προς την  $P \cdot \cos \alpha$  , μειώνει την έκπτωση (εκτροπή , πλευρική μετατόπιση του πλοίου) .

Επιπροσθέτως, η ροπή  $(W' \cdot \sin \beta) \times (\overline{BG})$  ίδιας φοράς με τη ροπή  $(P \cdot \cos a) \times (\overline{RG})$  αυξάνει τη γωνιακή ταχύτητα της περιστροφικής κίνησης του πλοίου περί τον κατακόρυφο κεντροβαρικό του άξονα, και το πλοίο ακολουθεί μια καμπύλη τροχιά της οποίας η ακτίνα καμπυλότητας  $r$  βαθμιαία ελαττώνεται.

Επειδή η  $W'$  ενεργεί σε ένα σημείο  $B$  που ευρίσκεται μεταξύ του κέντρου βάρους  $G$  και της πλώρης, το πλοίο πλέει με την πλώρη εσωτερικά και την πρύμνη εξωτερικά ως προς την τροχιά που διαγράφει το κέντρο βάρους  $G$  (η δύναμη  $W'$  βοηθά τη στροφή του πλοίου όταν το σημείο  $B$  ευρίσκεται πρόωραθεν του κέντρου βάρους  $G$  του πλοίου).

Κατά τη στροφή, το πλοίο συναντά από το νερό μια αντίσταση  $W_V$  πλώρα δεξιά και μια αντίσταση  $W_A$  πρύμα αριστερά που απέχουν από το κέντρο βάρους  $G$  του πλοίου,  $v$  και  $a$  αντίστοιχα.

Έτσι σε κάθε πολύ μικρή χρονική στιγμή η τροχιά του  $G$  μπορεί να προσεγγιστεί με ένα κύκλο του οποίου η ακτίνα  $r$  ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή της τροχιάς αυτής.

Εάν :

$v_t$  = η εφαπτομενική ταχύτητα του  $G$

$\Delta'$  = το εκτόπισμα του πλοίου μαζί με την πρόσθετη μάζα (παρασυρόμενη μάζα νερού κατά την κίνηση)

$g$  = η επιτάχυνση βαρύτητας

$t$  = ο χρόνος

$\delta$  = γωνία εκπτώσεως

Είναι :

$$f_C = \frac{\Delta'}{g} \times \frac{V_t^2}{r} = \text{φυγόκεντρος δύναμη στη διεύθυνση της ακτίνας καμπυλότητας } r$$

$$f_i = \frac{\Delta'}{g} \times \frac{dV_t}{dt} = \text{δύναμη αδράνειας, εφαπτόμενη στην τροχιά του κέντρου βάρους } G$$

Οι τρεις εξισώσεις ισορροπίας είναι :

- ισορροπία ως προς τον άξονα  $y$  με θετική φορά προς την πρύμνη :

$$P \times \sin a - S + \frac{\Delta'}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \sin \delta - \frac{\Delta'}{g} \times \frac{dV_t}{dt} + W' \times \cos \beta = 0$$

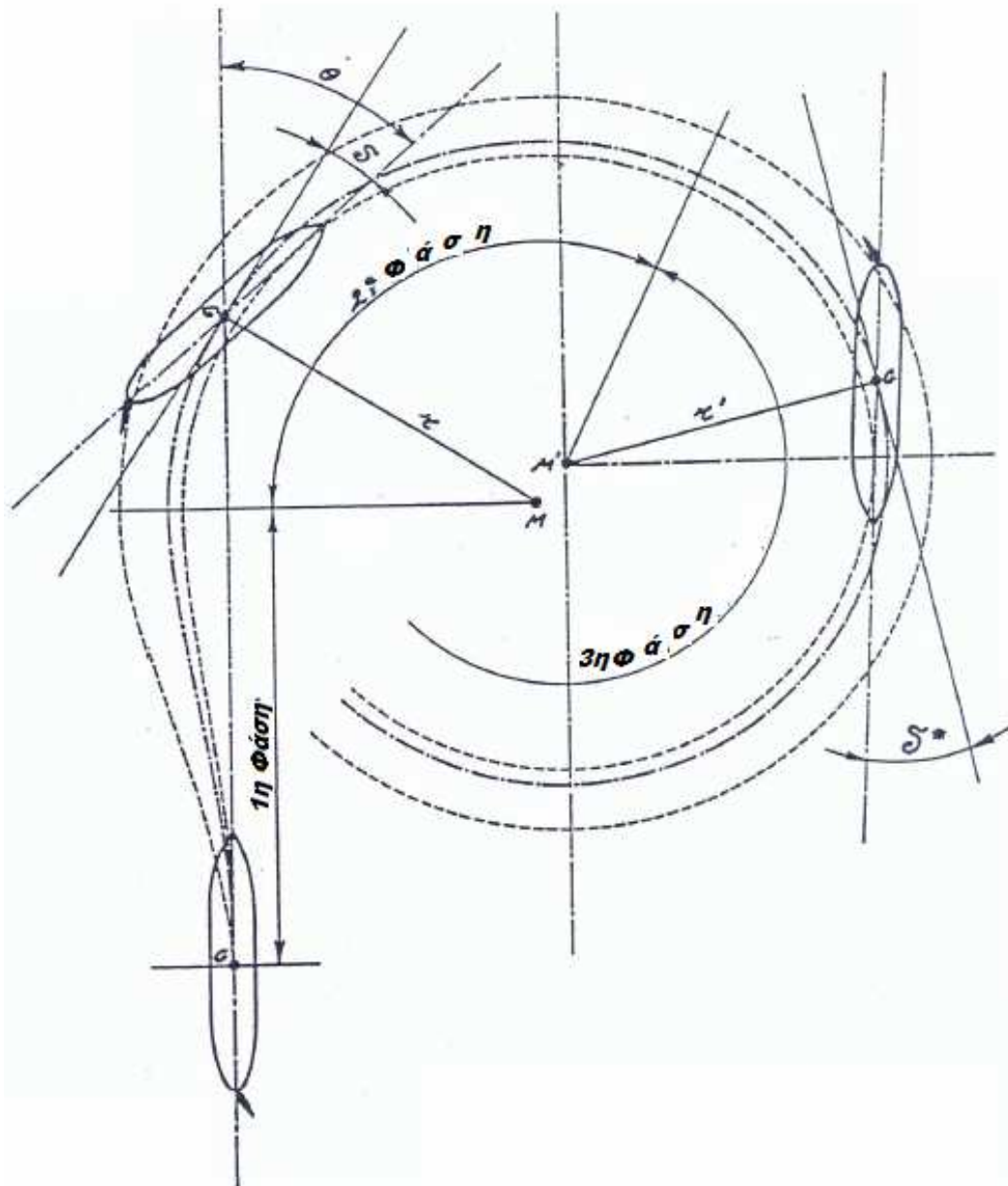
- ισορροπία ως προς τον άξονα  $x$  με θετική φορά προς τα δεξιά :

$$-P \times \cos a + W_\alpha - \frac{\Delta'}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos \delta - \frac{\Delta'}{g} \times \frac{dV_t}{dt} \times \sin \delta - W_V + W' \times \sin \beta = 0$$

- ισοροπία των ροπών περί τον άξονα  $Z$  με θετική φορά αριστερόστροφα :

$$-P \times \cos \alpha \times \overline{RG} + W_a \times \alpha + W_V \times V - W' \times \sin \beta \times \overline{BG} + I_z \times \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = 0$$

Στην τελευταία αυτή εξίσωση το  $\vartheta$  παριστάνει τη "γωνία πορείας", και ορίζεται ως τη γωνία κατά μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μεταξύ του ίχνους του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας και της διεύθυνσης της κίνησης πριν από την στροφή.



Σχήμα -11-

Αυτή η μεταβολή δυνάμεων και κίνησης δεν διαρκεί πολύ αλλά σβήνει προς το τέλος της 2ης φάσης για τους παρακάτω λόγους :

- αρχικά , μεγαλώνοντας η γωνία  $\delta$  , το σημείο εφαρμογής B της αντίστασης  $W'$  μετατοπίζεται προς την πρύμνη , με συνέπεια να ελαττώνεται η ροπή  $W' \times \sin\beta \times \overline{BG}$  .
- Επίσης , η περιστροφική κίνηση μεταβάλλει τη ροή του νερού γύρω από το πλοίο , με συνέπεια να ελαττώνεται η γωνία υπό την οποία η ροή προσπίπτει επί του πηδαλίου. Έτσι η πραγματική γωνία πρόσπτωσης του νερού στο πηδάλιο γίνεται μικρότερο από τη γωνία  $\alpha$  κλίσης (από τη γέφυρα) του πηδαλίου με συνέπεια να μικραίνουν και η δύναμη  $P$  και η ροπή  $P \times \cos a \times \overline{RG}$  .  
Τέλος , με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας , μεγαλώνουν και οι αντιστάσεις  $W_V$  και  $W_A$  που προκαλούνται από το νερό κατά τη στροφή.

Υπό μια συγκεκριμένη τιμή  $\delta^*$  της γωνία εκπτώσεως θα εξισορροπηθούν οι δεξιόστροφες (με τη φορά του ρολογιού) ροπές που ελαττώνονται , με τις αριστερόστροφες ροπές (αντίθετες με τη φορά του ρολογιού) που μεγαλώνουν και έτσι προσδιορίζεται η αρχή της 3ης φάσης η οποία χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι το πλοίο πλέον κινείται σε ομαλή κυκλική κίνηση.

### 3<sup>η</sup> φάση (φάση ομαλής κυκλικής κίνησης , κυκλική τροχιά) (Σχήμα -12-)

Η τρίτη φάση αρχίζει όταν ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες :

- σταματούν η γωνιακή επιτάχυνση  $\frac{d^2\vartheta}{dt^2}$  και η επιβράδυνση  $\frac{dV_t}{dt}$
- η φυγόκεντρος δύναμη εξισορροπείται από την αντίσταση του νερού
- η ακτίνα καμπυλότητας  $r$  της τροχιάς που διαγράφει το κέντρο βάρους , αποκτά σταθερή τιμή ίση με  $r'$  . Αυτό συμβαίνει μετά από μια μεταβολή της τροχιάς περίπου κατά  $100^0 - 120^0$  από την αρχική.

Για τις παραπάνω συνθήκες , οι τρεις εξισώσεις ισορροπίας της προηγούμενης παραγράφου (2<sup>η</sup> φάση) γίνονται :

- ισορροπία ως προς τον άξονα  $Y$  με θετική φορά προς την πρύμνη :

$$P \times \sin a - S + \frac{\Delta'}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \sin\delta^* + W' \times \cos\beta = 0$$

- ισορροπία ως προς τον άξονα  $X$  με θετική φορά προς τα δεξιά :

$$-P \times \cos a + W_\alpha - \frac{\Delta'}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos\delta^* - W_V + W' \times \sin\beta = 0$$

- ισορροπία των ροπών περί τον άξονα  $Z$  με θετική φορά αριστερόστροφα :

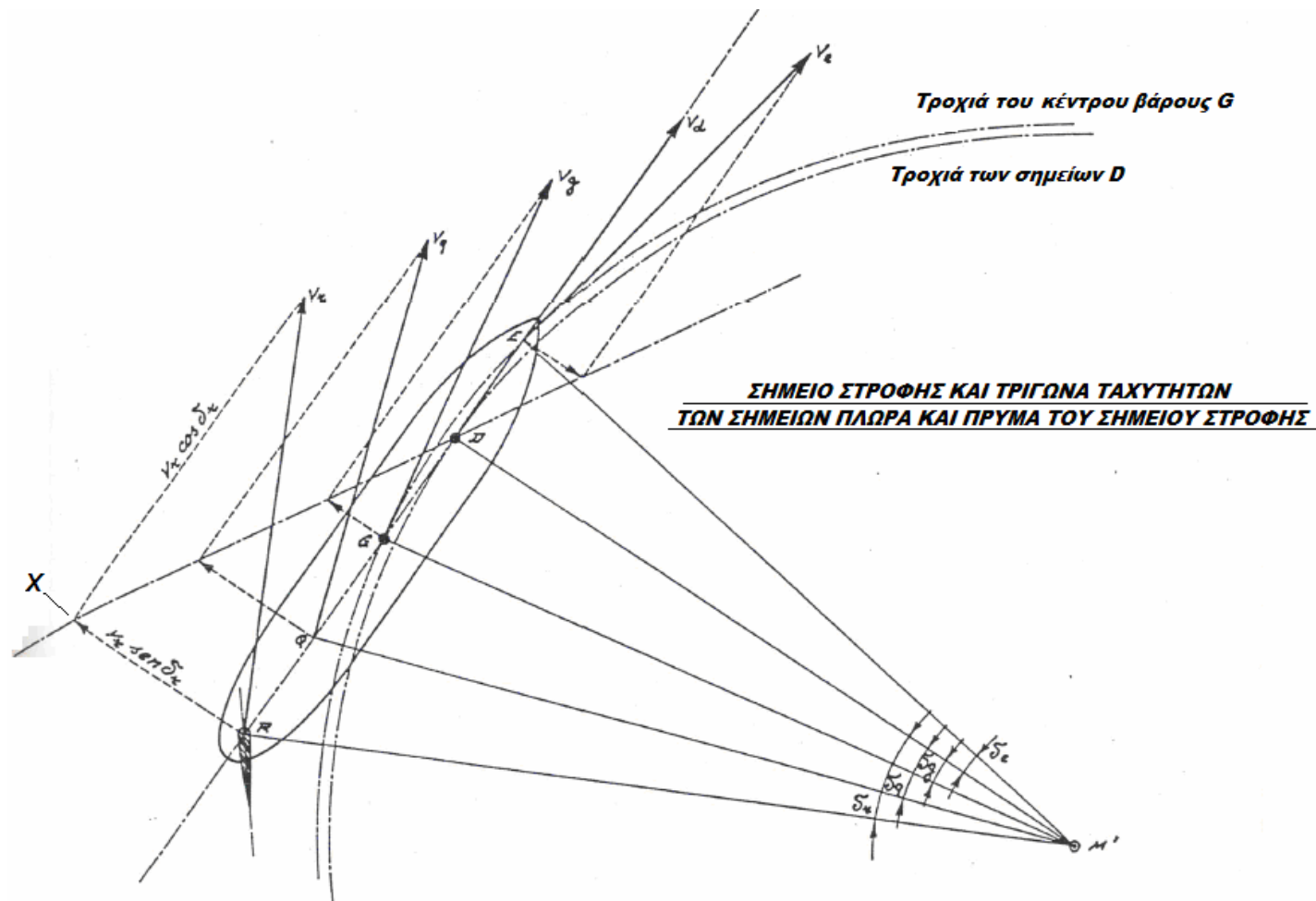
$$-P \times \cos a \times \overline{RG} + W_a \times \alpha + W_V \times V - W' \times \sin\beta \times \overline{BG} = 0$$

Οι εξισώσεις αυτές αλλά και οι αντίστοιχες εξισώσεις της 2<sup>ης</sup> φάσης , δεν είναι εύκολο να επιλυθούν χωρίς περαιτέρω πληροφορίες δεδομένου ότι είναι μεγάλος ο αριθμός των αγνώστων.

Εν τούτοις , ο Kucharski έχει προτείνει μια μέθοδο με την οποία καθίσταται δυνατή μια μαθηματική λύση των προαναφερόμενων εξισώσεων στην περίπτωση ενός πλοίου σε καμπύλη τροχιά με μεγάλη ακτίνα

καμπυλότητας, χωρίς απώλεια ταχύτητας και με πηδάλιο υδροδυναμικής μορφής σε ικανοποιητική απόσταση από τη γάστρα ώστε να μπορούν να θεωρηθεί αμελητέο οποιοδήποτε αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι στο σημείο **R** η ταχύτητα  $V_r$  είναι εφαπτόμενη στον κύκλο με ακτίνα  $\overline{M'R}$ .



Σχήμα -12-

Εάν  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα της στροφής περί του σημείου  $M'$  μπορεί να γραφεί:  $V_r = \omega \times \overline{M'R}$

Με τον ίδιο τρόπο οι ταχύτητες των σημείων  $Q$  και  $G$  είναι αντίστοιχα:

$$V_q = \omega \times \overline{M'Q} \quad \text{και} \quad V_g = \omega \times \overline{M'G}$$

Στο σημείο  $D$ , ένα σημείο το οποίο ευρίσκεται στο προωαίο τμήμα του πλοίου επί του άξονα συμμετρίας και στο οποίο η εφαπτομένη στην τροχιά συμπίπτει με τον άξονα συμμετρίας και το οποίο προκύπτει ως σημείο τομής της καθέτου από το σημείο  $M'$  (= κέντρο του κύκλου στροφής) με το ίχνος του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας, η ταχύτητα είναι:

$V_d = \omega \times \overline{M'D}$  και είναι ακριβώς επί του ίχνους του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας με φορά ΠΡΥΜΑ  $\rightarrow$  ΠΛΩΡΑ.



Στο σημείο E πρώταθεν του σημείου D , η ταχύτητα είναι  $V_e = \omega \times \overline{M'E}$  .

Αναλύοντας αυτές τις ταχύτητες στη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση , προκύπτει άμεσα ότι οι συνιστώσες στη διεύθυνση ΠΡΥΜΑ → ΠΛΩΡΑ είναι ίσες μεταξύ τους σε κάθε σημείο δεδομένου ότι είναι :

$$V_r \times \cos \delta_r = \omega \times \overline{M'R} \times \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'R}} = \omega \times \overline{M'D} \quad V_q \times \cos \delta_q = \omega \times \overline{M'Q} \times \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'Q}} = \omega \times \overline{M'D}$$

$$V_g \times \cos \delta_g = \omega \times \overline{M'G} \times \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'G}} = \omega \times \overline{M'D} \quad V_d \times \cos(0) = \omega \times \overline{M'D}$$

$$V_e \times \cos \delta_e = \omega \times \overline{M'E} \times \frac{\overline{M'D}}{\overline{M'E}} = \omega \times \overline{M'D}$$

Η τιμή της κάθε εγκάρσιας συνιστώσας , απεναντίας , εξαρτάται από την απόσταση του κάθε εξεταζόμενου σημείου από το σημείο D , όπως εύκολα προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις :

$$V_r \times \sin \delta_r = \omega \times \overline{MR} \times \frac{\overline{DR}}{\overline{M'R}} = \omega \times \overline{DR} \quad V_q \times \sin \delta_q = \omega \times \overline{M'Q} \times \frac{\overline{DQ}}{\overline{M'Q}} = \omega \times \overline{DQ}$$

$$V_g \times \sin \delta_g = \omega \times \overline{M'G} \times \frac{\overline{DG}}{\overline{M'G}} = \omega \times \overline{DG} \quad V_d \times \sin(0) = 0$$

$$V_e \times \sin \delta_e = \omega \times \overline{M'E} \times \frac{\overline{DE}}{\overline{M'E}} = \omega \times \overline{DE}$$

Το σημείο **D** ονομάζεται **σημείο στροφής** και η θέση του μετακινείται λίγο με την μεταβολή της ταχύτητας και της γωνίας που στρέφει το πηδάλιο.

Το σημείο αυτό προσδιορίζεται από την εμπειρία στο κάθε πλοίο και έχει μεγάλη σπουδαιότητα για την αντίληψη της διαδικασίας του κύκλου στροφής , αλλά και για τους ελικτικούς χειρισμούς του πλοίου σε στενά μέρη . Η θέση του εξαρτάται από την ταχύτητα , το περίγραμμα της γάστρας που επηρεάζει την πλευρική

αντίσταση, από τις συνθήκες πλού στα αβαθή νερά, από τα ρεύματα στην είσοδο ποταμών, από τον διάπλου διωρύγων κ.λ.π.

Ενδεικτικά ευρίσκεται σε απόσταση  $(\frac{1}{5}) \times L_{WL}$  πρύμνηθεν της προωραίας καθέτου. Κατά άλλες εκτιμήσεις, το σημείο στροφής ευρίσκεται μεταξύ του  $\frac{1}{4}$  και του  $\frac{1}{3}$  του μήκους του πλοίου πρύμνηθεν της πλώρης (στα γρήγορα και ευέλικτα πλοία όπως για παράδειγμα στα αντιτορπιλλικά, η γέφυρα τοποθετείται περίπου σε αυτή τη θέση).

Όπως ευκρινώς προκύπτει από το **Σχήμα -12-** το πλοίο έχει πορεία προχώρησης κατά τον άξονα **Y** και πορεία έκπτωσης (πλευρική μετατόπιση) κατά τον άξονα **X** με ταχύτητα  $V_g \times \sin \theta_g = \omega \times \overline{DG}$  προς τα έξω της καμπύλης στροφής.

Έτσι όλη η περιοχή του πλοίου πρύμνηθεν του σημείου στροφής κινείται έξω από την καμπύλη, ενώ όλα τα σημεία πύραθεν του σημείου στροφής κινούνται εντός της καμπύλης στροφής.

Στο σημείο στροφής δεν υπάρχει έκπτωση: η στιγμιαία ταχύτητα έχει φορά σταθερά κατά τον άξονα **Y** και αυτό καθιστά για έναν παρατηρητή εύκολη την εκτίμηση της πορείας του πλοίου. Από το σημείο αυτό του πλοίου ο πλοίαρχος μπορεί να βλέπει την πρύμνη η οποία κατά την περιστροφή βγαίνει έξω από τον κύκλο και την πλώρη η οποία εισέρχεται προς τα μέσα του κύκλου.

Για το λόγο αυτό είναι ενδεδειγμένο να τοποθετείται η γέφυρα του πλοίου όσο είναι εφικτό κοντά στο σημείο στροφής και έτσι δίδεται η δυνατότητα σε όποιον διευθύνει τους ελιγμούς να υπάρχει ένα μήκος του πλοίου ικανό για να εκτιμηθεί η κατεύθυνση του διαμήκους άξονα.

Κατά τη διάρκεια της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> φάσης η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται εξ αιτίας της αύξησης της αντίστασης και της πίεσης επί του πηδαλίου.

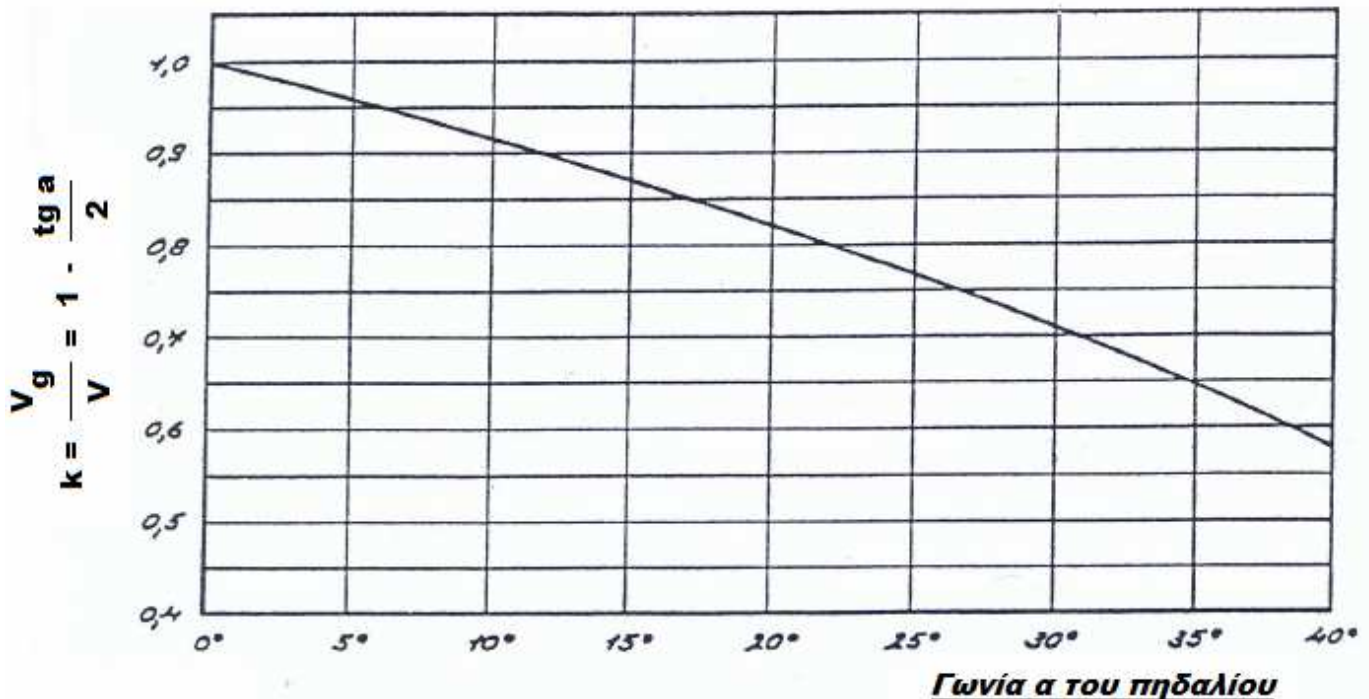
Κατά τη διάρκεια της 3<sup>ης</sup> φάσης αυτή η μειωμένη ταχύτητα παραμένει σταθερή.

Από πολλές δοκιμές σε μονοέλικα και διπλέλικα πλοία ερευνητές όπως οι Shoenher, Waimer και άλλοι, δημοσίευσαν εμπειρικές σχέσεις όπου αποτυπώνονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ταχύτητας  $V_g$  του πλοίου κατά την κυκλική κίνηση και την ταχύτητα  $V$  σε ευθεία πορεία πριν τεθεί υπό γωνία το πηδάλιο.

Ως προσέγγιση στα πλαίσια αυτής της έρευνας μπορεί να θεωρηθεί ότι η μείωση της ταχύτητας κατά τη στροφή εξαρτάται μόνο από τη γωνία που το πηδάλιο τίθεται και από κανένα άλλο στοιχείο του συστήματος πλοίο – πηδάλιο.

Η μεταβολή του λόγου  $k = \frac{V_g}{V}$  μπορεί να εκφραστεί από τη συνάρτηση:

$$k = \frac{V_g}{V} = 1 - \frac{tg \alpha}{2} \text{ η οποία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα -13-):}$$



**Μείωση της ταχύτητας κατά τη στροφή σε σχέση με τη γωνία α που τίθεται το πηδάλιο**

**Σχήμα -13-**

Η σχέση αυτή δεν έχει φυσική σημασία, δεδομένου ότι για γωνία  $\alpha = 63^{\circ} 30'$  θα ήταν  $V_g = 0$  και για τιμές της γωνίας α μεγαλύτερες η  $V_g$  θα ήταν αρνητική.

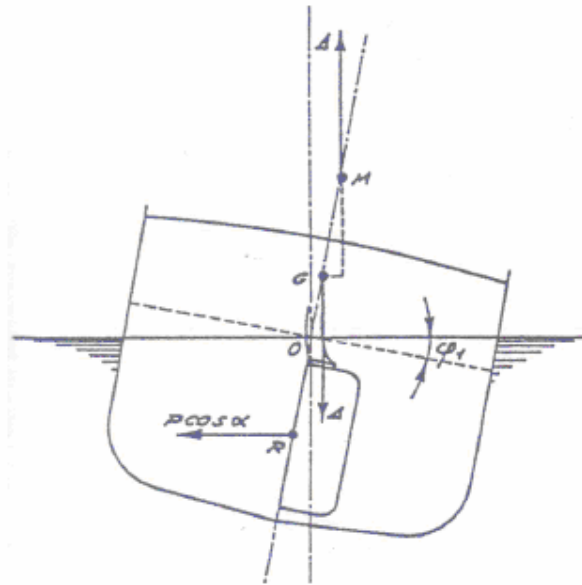
Όμως η σχέση αυτή προσφέρεται για τιμές της γωνίας που τίθεται το πηδάλιο και που στην πράξη αυτό λειτουργεί.

### **2.1.2. Κίνηση του πλοίου περί διαμήκη άξονα**

Η κλίση του πλοίου γύρω από τον διαμήκη άξονα οφείλεται στο γεγονός ότι οι εγκάρσιες συνιστώσες των δυνάμεων δρουν σε διαφορετικά ύψη και ακόμη οι τιμές που λαμβάνουν μεταβάλλεται ενώ το πλοίο ευρίσκεται στις διάφορες φάσεις της στροφής. Έτσι οι κλίσεις δεν είναι μόνο διαφορετικές από φάση σε φάση αλλά είναι και αντίθετες.

#### **2.1.2.1. Κλίση στην πρώτη φάση**

Η μόνη δύναμη που εξετάζεται είναι η συνιστώσα  $P \cdot \cos \alpha$  το σημείο εφαρμογής της οποίας θεωρείται το R. Επειδή στους μοντέρνους μηχανισμούς πηδαλίου ο απαιτούμενος χρόνος για να τεθεί το πηδάλιο στην πλευρά είναι πολύ σύντομος, η εφαρμογή της δύναμης  $P \cdot \cos \alpha$  μπορεί να θεωρηθεί στιγμιαία. Υποθέτοντας ότι για μικρές γωνίες κλίσης ο άξονας περί του οποίου περιστρέφεται το πλοίο ταυτίζεται με την τομή της ισάλου με το επίπεδο συμμετρίας, η ροπή από τη δύναμη  $P \cdot \cos \alpha$  κάνει το πλοίο να κλίνει προς το εσωτερικό της καμπύλης στροφής.



**Εγκάρσια Κλίση του πλοίου στην αρχή της φάσης ελιγμού**  
**Σχήμα -14-**

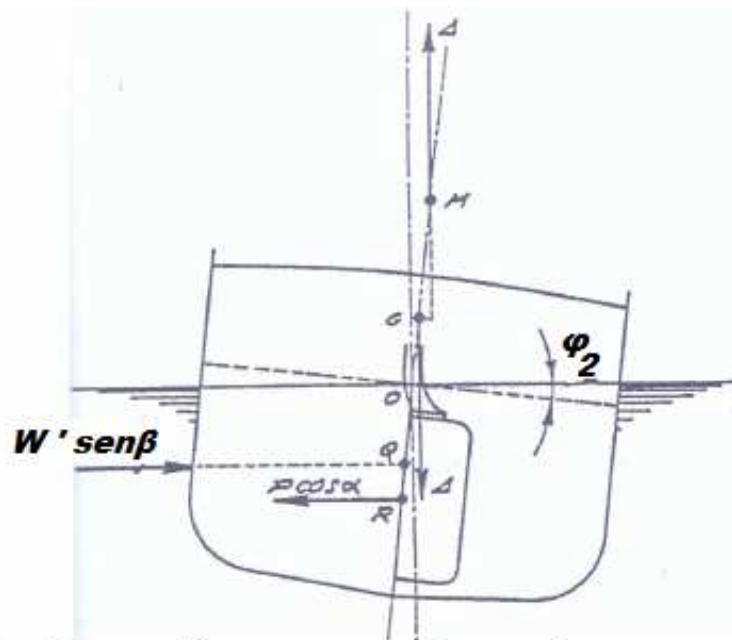
Σε αυτή την κλίση αντιτίθεται η ροπή επαναφοράς, και μπορεί να γραφεί (Σχήμα -14-):

$$(P \times \cos \alpha) \times (\overline{RO} \times \cos \varphi_1) = \Delta \times (r - a) \times \text{sen} \varphi_1$$

από την οποία προκύπτει :

$$\text{tg} \varphi_1 = \frac{(P \times \cos \alpha) \times \overline{RO}}{\Delta \times (r - a)}$$

Η κλίση  $\varphi_1$  έχει μεταβατικό χαρακτήρα επειδή, πρώτα από την έκπτωση και ύστερα από την περιστροφή περί τον άξονα **z** δημιουργείται η εγκάρσια συνιστώσα  $W' \times \text{sen} \beta$  της οποίας η ευθεία ενέργειας (Σχήμα -15-)



**Εγκάρσια κλίση στην αρχή της φάσης στροφής**  
**Σχήμα -15-**

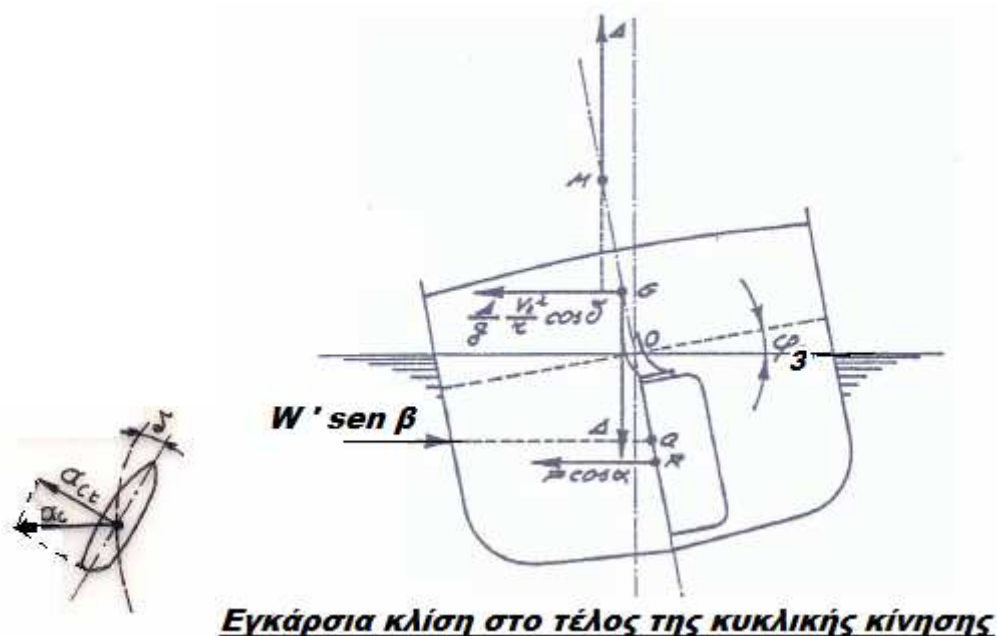
ευρίσκεται πάνω από εκείνη στην οποία ασκείται η εγκάρσια συνιστώσα  $P \cdot \cos \alpha$  της πίεσης επί του πηδαλίου.

Έτσι δημιουργείται μια ροπή αντίθετη προς την προηγούμενη, με συνέπεια η εγκάρσια κλίση σταδιακά να μειώνεται από την αρχική τιμή της γωνίας  $\varphi_1$  στην τιμή  $\varphi_2 < \varphi_1$ .

### 2.1.2.2. Κλίση στη δεύτερη φάση

Η συνιστώσα  $W' \times \sin \beta$  σταδιακά αυξάνεται όλο και περισσότερο, αρχικά αντιτιθέμενη και στη συνέχεια ξεπερνώντας με αριστερόστροφη ροπή την δεξιόστροφη ροπή της  $P \cdot \cos \alpha$ .

Επίσης, μόλις το πλοίο αρχίζει να στρέφει περί των κέντρων  $M'$  (σχήμα 12), ενεργεί η εγκάρσια συνιστώσα της φυγόκεντρης δύναμης  $\frac{\Delta}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos \delta$  η οποία, εφαρμοζόμενη στο κέντρο βάρους  $G$  (το οποίο για τα πλοία επιφάνειας γενικά είναι κάτω από το σημείο  $O$ ), κάνει αισθητή την αριστερόστροφη ενέργειά της.



Σχήμα -16-

Ακολούθως το πλοίο κλίνει προς αριστερά (Σχήμα -16-), εάν το πηδάλιο έχει τεθεί δεξιά στη φάση ελιγμού,

ή μέχρι να φτάσει μια γωνία  $\varphi_3$  εγκάρσιας κλίσης η οποία ορίζεται στατικά από την ισορροπία μεταξύ των δεξιόστροφων ροπών και των αριστερόστροφων ροπών που ενεργούν στο πλοίο.

Συνεπώς είναι :

$$\begin{aligned} & (W' \times \sin \beta) \times [(\overline{QO}) \times \cos \varphi_3] - (P \times \cos \alpha) \times [(\overline{OR}) \times \cos \varphi_3] + \left( \frac{\Delta}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos \delta \right) \times [(\overline{GO}) \times \cos \varphi_3] = \\ & = \Delta \times (r - a) \times \sin \varphi_3 \end{aligned}$$

Από την οποία προκύπτει :

$$tg\varphi_3 = \frac{(W' \times \sin\beta) \times [(\overline{QO})] - (P \times \cos\alpha) \times [(\overline{OR})] + \left(\frac{\Delta}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos\vartheta\right) \times [\overline{GO} \times \cos\varphi_3]}{\Delta \times (r-a)}$$

Στην πραγματικότητα όμως , εξ αιτίας της κεκτημένης αδράνειας , όταν αντιστρέφεται η φορά της κλίσης το πλοίο κλίνει προς τα αριστερά κατά μια γωνία μεγαλύτερη από την  $\varphi_3$  που υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση.

### 2.1.2.3. Κλίση στην τρίτη φάση

Το πλοίο παραμένει σε κλίση στην ίδια πλευρά , αλλά κατά μια γωνία  $\varphi_4 < \varphi_3$  εξ αιτίας της μείωσης της ταχύτητας και της συνεπαγόμενης μείωσης της φυγόκεντρης δύναμης.

Στους όρους του πρώτου μέρους των δυο εξισώσεων ,

$$(P \times \cos\alpha) \times (\overline{RO} \times \cos\varphi_1) = \Delta \times (r-a) \times \sin\varphi_1$$

$$\begin{aligned} & (W' \times \sin\beta) \times [(\overline{QO}) \times \cos\varphi_3] - (P \times \cos\alpha) \times [(\overline{OR}) \times \cos\varphi_3] + \left(\frac{\Delta}{g} \times \frac{V_t^2}{r} \times \cos\vartheta\right) \times [(\overline{GO}) \times \cos\varphi_3] = \\ & = \Delta \times (r-a) \times \sin\varphi_3 \end{aligned}$$

θα έπρεπε να περιλαμβάνεται η αντίσταση στη στρέψη της έλικας η οποία αν και είναι πολύ μικρή (μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα ) εν τούτοις επηρεάζει την εγκάρσια διαγωγή του πλοίου.

Πράγματι , κατά τη λειτουργία μιας έλικας που λειτουργεί σε N (στροφές / λεπτό) και ισχύ  $F_a$  (CV) , η ροπή που η ελικοφόρος άτρακτος μεταδίδει στην έλικα είναι , σε  $(t \times m)$  :

$$M = 0,716 \times \frac{F_a}{N} (t \times m).$$

Μια ροπή ίση και αντίθετη παριστάνει την αντίδραση του νερού στην έλικα επομένως και στο πλοίο , το οποίο κλίνει εγκάρσια και σε αντίθετη φορά από την περιστροφή της έλικας κατά μια γωνία  $\varphi^*$  η οποία υπολογίζεται από τη σχέση :

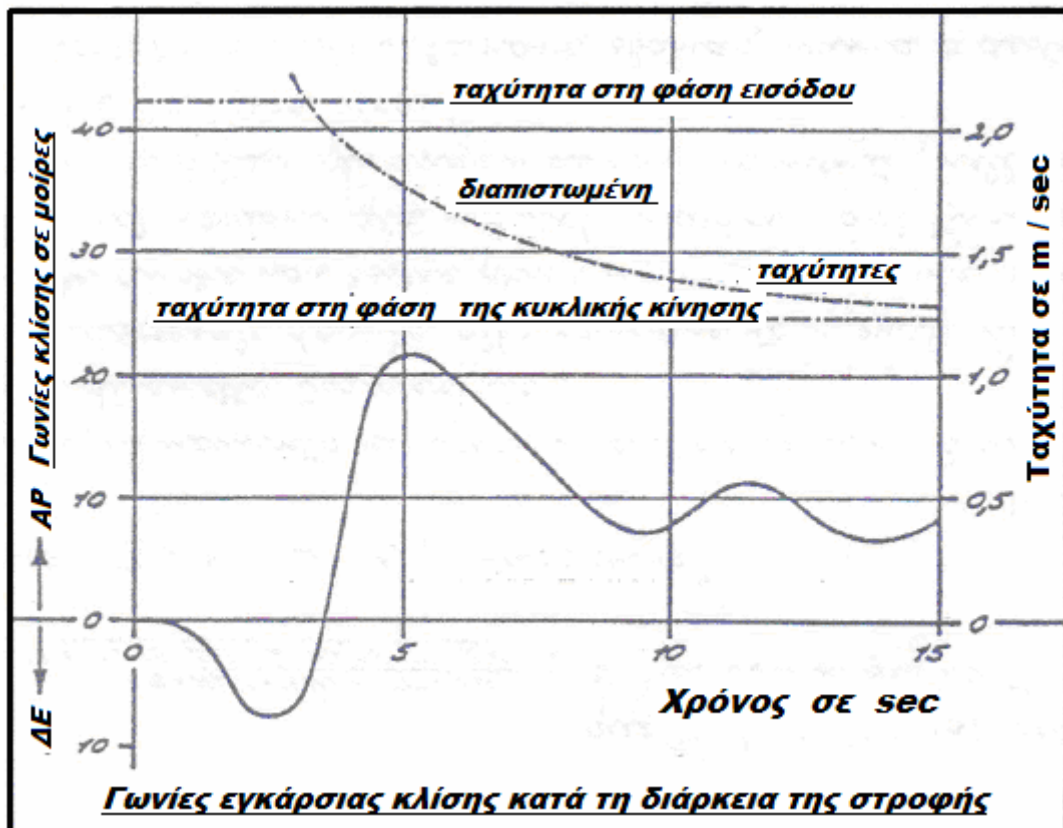
$$0,716 \times \frac{F_a}{N} = \Delta \times (r-a) \times \sin\varphi^*$$

Εάν η πρόωση γίνεται με 2 ή 4 έλικες , τότε η συνισταμένη ροπή των αντιδράσεων είναι μηδέν και κατά συνέπεια δεν προκαλεί επιδράσεις στην εγκάρσια διαγωγή.

Η εγκάρσια κλίση του πλοίου που οφείλεται στην στρεπτική αντίδραση της έλικας είναι μικρότερη από  $1^0$  και θα μπορούσε να μην ελαμβάνετο υπ' όψιν εάν αυτή η κλίση δεν προσετίθετο κατά την εξέλιξη των σημαντικών κλίσεων που προκαλούνται όταν το πηδάλιο τίθεται στην πλευρά..

Στο διάγραμμα του σχήματος 17 παρουσιάζονται οι γωνίες κλίσης στις διάφορες φάσεις της στροφής που διαπιστώθηκαν σε αλιευτικό πλοίο ανοιχτής θάλασσας.

Με το πηδάλιο στη δεξιά πλευρά το πλοίο κλίνει πρώτα προς τα δεξιά σε γωνία λίγο λιγότερο από  $10^0$ , μετά προς τα αριστερά πάνω από  $20^0$ , στη συνέχεια ταλαντεύεται περί των  $10^0$  πάντα στα αριστερά κατά τη φάση της κυκλικής κίνησης.



Σχήμα -17-

Η περισσότερο ευαίσθητη στιγμή είναι εκείνη της μέγιστης κλίσης στην αρχή της 2<sup>ης</sup> φάσης επειδή εάν το πηδάλιο ετίθετο στη μέση τη στιγμή που το πλοίο αλλάζει φορά κλίσης, θα εξέλειπε η επίδραση εξισορρόπησης της δύναμης ( $P \times \cos \alpha$ ) με επιδείνωση της κατάστασης.

Αυτό δεν είναι απίθανο να συμβεί, επειδή ο πηδαλιούχος φοβούμενος μια υπερβολική κλίση ενδεχομένως να αποφάσιζε να επαναφέρει γρήγορα το πηδάλιο στη μέση (επίπεδο συμμετρίας) ή ακόμα και να το θέσει σε αντίθετη γωνία, ενώ η μόνη συνετή και λογική ενέργεια θα ήταν εκείνη της ελάττωσης της ταχύτητας των μηχανών πρόωσης.

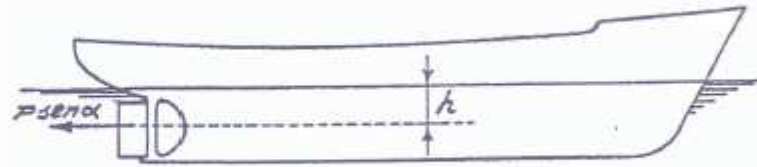
Φυσικά ο κίνδυνος θα είναι μεγαλύτερος για τα πλοία με υψηλό κέντρο βάρους, με μικρό εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος, με ταχύτητα αρκετά υψηλή και με μικρή διάμετρο του κύκλου στροφής.

Στην τιμή και τη φορά της κλίσης έχει σημαντική επίδραση και η θέση του κέντρου πίεσης C ( $C \equiv R$  στα σχήματα 14, 15, 16).

Έτσι χαμηλώνοντας το R με κατάλληλες μορφές πηδαλίων είναι εφικτό να επιτευχθεί μια ελάττωση της κλίσης  $\varphi_3$  στο εξωτερικό της τροχιάς χωρίς ασφαλώς να αποφευχθεί (με ίδιες συνθήκες) η αύξηση της κλίσης  $\varphi_1$ .

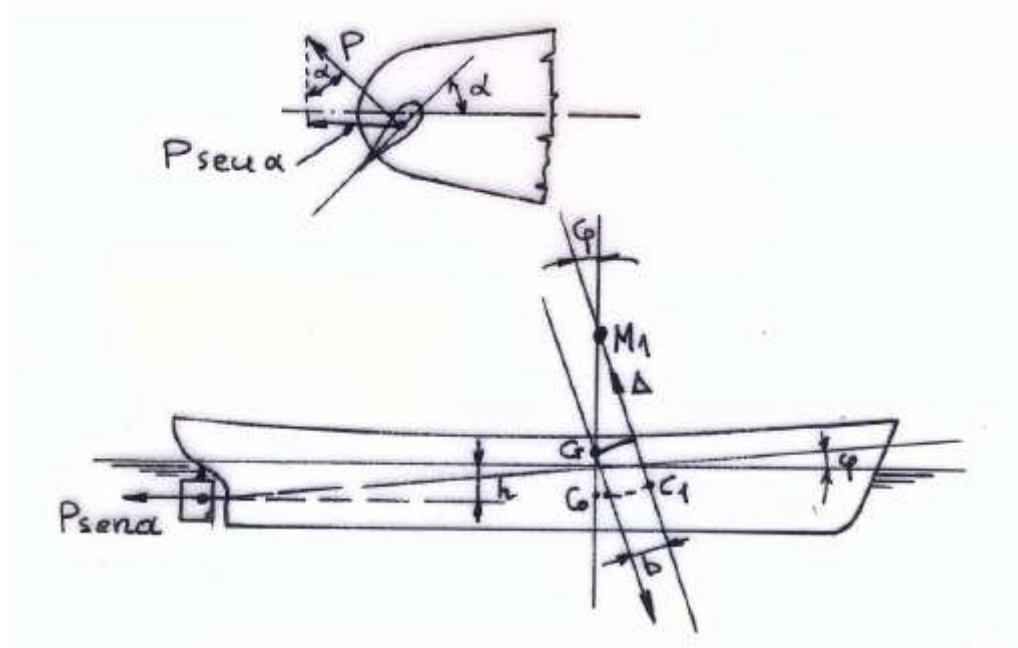
### 2.1.3. Κλίση του πλοίου περί εγκάρσιο άξονα

Αποδεχόμενοι χωρίς μεγάλο λάθος ότι ο εγκάρσιος άξονας περιστροφής διέρχεται από το κέντρο  $g$  της ισάλου για μικρές γωνίες κλίσης, η διαμήκης συνιστώσα ( $P \times \text{sena}$ ) της πίεσης επί του πηδαλίου δημιουργεί μια ροπή ( $P \times \text{sena}$ ) $\times h$  η οποία τείνει να βυθίσει με την πλώρη το πλοίο (Σχήμα -18-).



Μεταβολή (διαμήκους) διαγωγής εξ αιτίας του πηδαλίου

Σχήμα -18-



Σχήμα -19-

Η γωνία της διαμήκους κλίσης  $\vartheta$  που λαμβάνει το πλοίο μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

$(P \times \text{sena}) \times (h \times \cos \vartheta) = \Delta \times (R - a) \times \text{sen} \vartheta$  , από την οποία προκύπτει :

$$\text{tg} \vartheta = \frac{(P \times \text{sena}) \times h}{\Delta \times (R - a)}$$

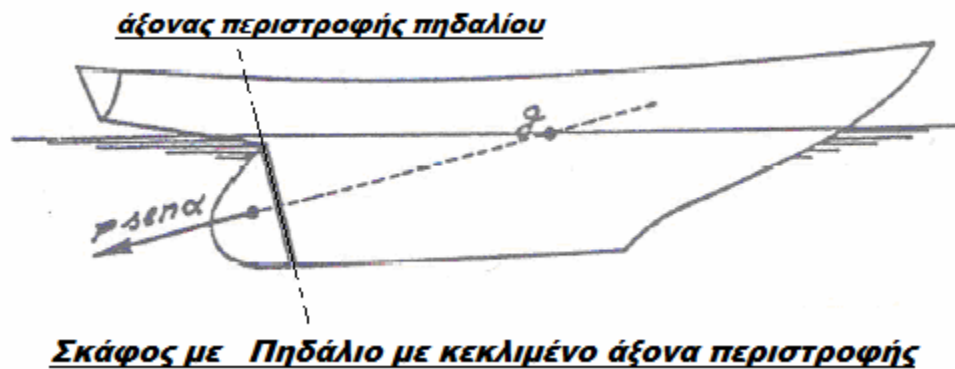
Προφανώς στη βύθιση με την πλώρη του πλοίου αντιδρά η ροπή διαμήκους ευστάθειας  $\Delta \times (R - a)$  (στο σχήμα 19 η ροπή διαμήκους ευστάθειας είναι η  $\Delta \times (R - a) = \Delta \times b$ ).



Επειδή ο όρος του παρονομαστή  $\Delta \times (R - a)$  για μεγάλα πλοία είναι γενικά πολύ μεγάλος σε σχέση με τον αριθμητή, η μεταβολή της διαγωγής είναι αμελητέα.

Σε μικρά αλλά κυρίως σε σκάφη με μικρή ταχύτητα, κυρίως δε στα ιστιοφόρα τα οποία πλέουν με κλίση λόγω του ανέμου, είναι δυνατό να διαπιστωθούν σημαντικές διαφορές στη διαγωγή με το πηδάλιο στην πλευρά με συνέπεια την ανάδυση της πρύμνης.

Έτσι τοποθετείται το πηδάλιο με κεκλιμένο άξονα (Σχήμα -20-) οπότε η ευθεία ενέργειας της δύναμης  $P \times \sin \alpha$  διέρχεται από το κέντρο πλευστότητας της ισάλου χωρίς να προκαλεί ροπή διαμήκου κλίσης.



Σχήμα -20-

### 3. Ελικτικότητα

**Ελικτικότητα** ενός πλοίου είναι η δυνατότητα μεταβολής των μεγεθών που προσδιορίζουν το άνυσμα της ταχύτητας, όπως ή ένταση, διεύθυνση, κατεύθυνση.

Εάν  $\vec{V}$  είναι το άνυσμα της ταχύτητας, μια μέτρηση της ελικτικότητας μπορεί να δίδεται από τη σχέση :

$$M = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του M τόσο περισσότερο το πλοίο είναι ευέλικτο.

Έτσι **το πλοίο** μπορεί να αλλάζει πορεία ακόμα και σε περιορισμένο χώρο υπό την ενέργεια των ίδιων μέσων του, διατηρώντας ευστάθεια κατά τον πλου, οπότε **πρέπει να διαθέτει :**

- ισχυρά μέσα διακυβέρνησης, ήτοι πηδάλια κοινού ή ειδικού τύπου με μεγάλες επιφάνειες, σωστά τοποθετημένα ως προς τη γάστρα και τις έλικες, κινούμενα από ισχυρά μηχανήματα..
- κατάλληλη κατανομή μάζας ώστε να προκύπτει αρκετά μειωμένη ροπή αδρανείας ως προς τον κατακόρυφο κεντροβαρικό άξονα, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται αποφεύγοντας την τοποθέτηση μεγάλων βαρών στην ακροπρωραία και ακροπρυμναία περιοχή του πλοίου.
- το κέντρο βάρους G πλώραθεν της μέσης του μήκους του

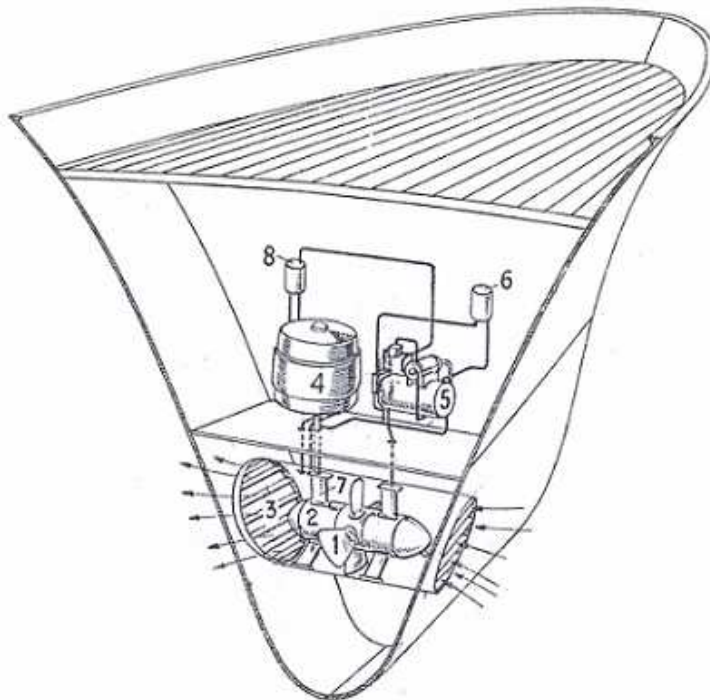
Τα συμβατικά (κοινά) πηδάλια, όπως εφαρμόζεται στα περισσότερα πλοία, έχουν μικρή αποδοτικότητα σε χαμηλές ταχύτητες, μπορούν δηλαδή να προσφέρουν τις επιδόσεις τους όταν το πλοίο είναι σε κίνηση.

Για την αύξηση των ελικτικών δυνατοτήτων και των ελιγμών του πλοίου μέσα σε λιμάνια και σε ανοικτή θάλασσα, είναι πολύ χρήσιμο να υπάρχουν στο πλοίο πρόσθετα βοηθητικά μέσα τα οποία, χωρίς ασφαλώς να αντικαθιστούν το πηδάλιο, να το συμπληρώνουν. Έτσι συνολικά τα συστήματα αυτά αποτελούν προτέρημα για το πλοίο και από ναυτικής πλευράς αλλά και από εμπορικής.

**Τέτοια συστήματα** , είναι :

- **έλικα πλώρης**, είναι μια έλικα τοποθετημένη κατά το εγκάρσιο μέσα σε σήραγγα, κινούμενη από ηλεκτρικό κινητήρα, δημιουργώντας εγκάρσια ώση.

Αυτού του τύπου η έλικα τοποθετείται για υποβοήθηση ελιγμών σε μικρές ταχύτητες και περιορισμένο χώρο.



1. πτερύγια έλικας, 2. χώρος κωνικού γραναζιού, 3. σχάρα, 4. κινητήρια μηχανή,
5. υδραυλικό σύστημα, 6. δοχείο βαρύτητας, 7. πτερύγιο κατεύθυνσης, 8. δοχείο λαδιού λίπανσης

### Σχήμα -21-

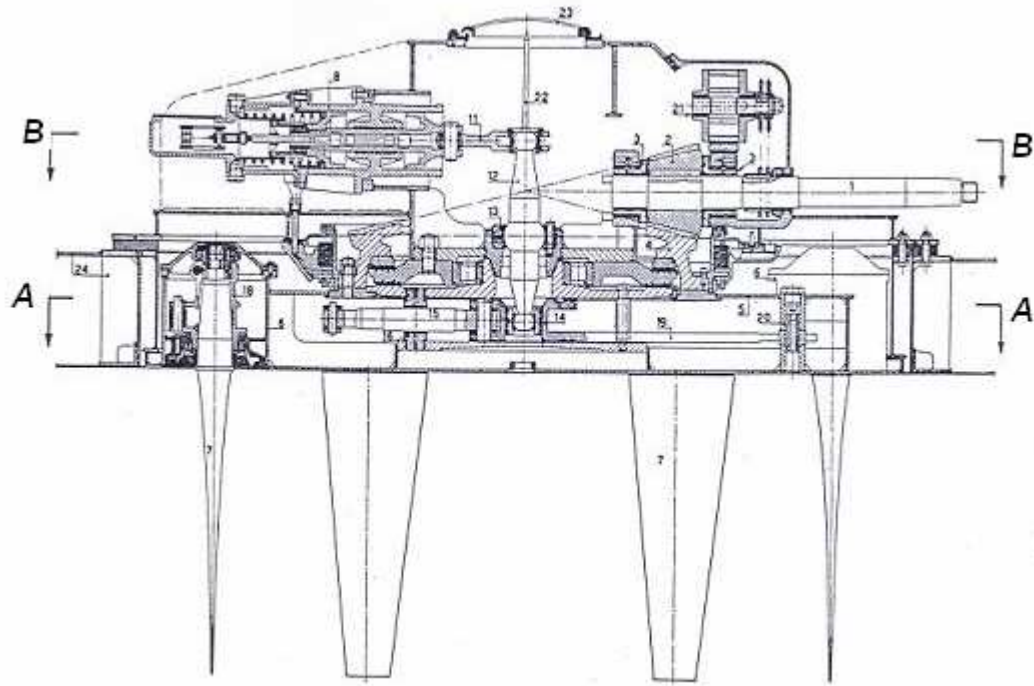
Τα χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος είναι :

- μεταβολή της ώσης από τιμή μηδέν μέχρι τη μέγιστη τιμή σε σύντομο χρόνο,
- ίδιες αποδόσεις και στις δύο πλευρές του πλοίου,
- στιγμιαία αντιστροφή της ώσης.

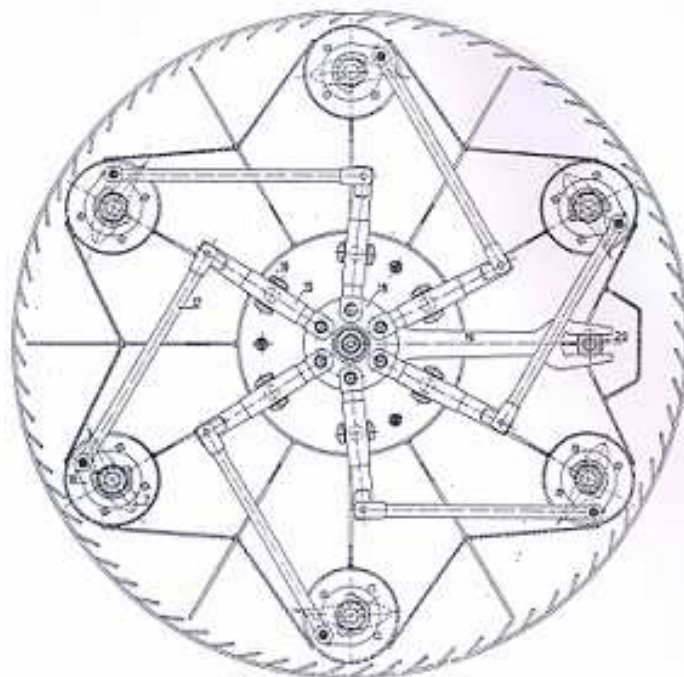
Η έλικα μπορεί να είναι σταθερού ή μεταβλητού βήματος. Το πλεονέκτημα χρήσης έλικας μεταβλητού βήματος είναι ότι αυτή περιστρέφεται πάντοτε προς μια κατεύθυνση, με ίδιο αριθμό στροφών, με άμεση απόκριση σε περίπτωση ανάγκης χρησιμοποίησής της. Αυτό βέβαια εξαρτάται από τον υδραυλικό μηχανισμό που ελέγχει τα πτερύγια της έλικας.

- **Έλικα Voith – Schneider, έλικα Kirsten – Boeing** (αλλιώς λέγονται και έλικες με κατακόρυφο άξονα) (σχήμα -22α, 22β, 22γ), ήτοι έλικα κατακόρυφης περιστροφής, που αποτελείται από πέντε (-5-) πτερύγια που εξέχουν από κυκλικό οριζόντιο δίσκο.

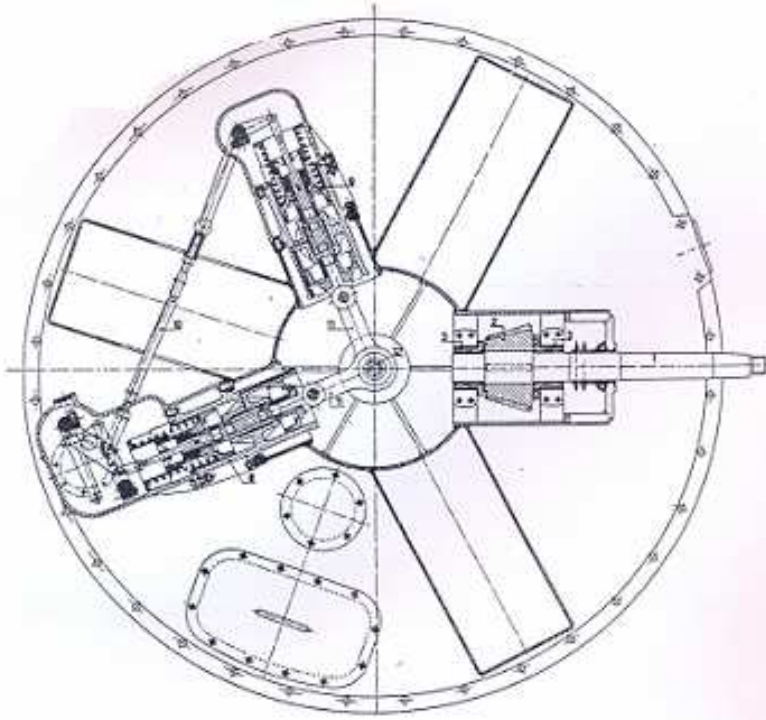
Οι έλικες αυτού του τύπου έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από τις συμβατικές έλικες αλλά χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε μικρά πλοία στα οποία υπάρχει περιορισμένος διαθέσιμος χώρος και στα οποία απαιτείται ιδιαίτερη ευελιξία, όπως ρυμουλκά λιμένος, μικρά βοηθητικά πλοία λιμένος.



Σχήμα -22α- : διαμήκης τομή του συστήματος **Voith – Schneider**



Σχήμα -22β- : οριζόντια τομή **A-A** του συστήματος **Voith – Schneider**



Σχήμα -22γ- : οριζόντια τομή B-B του συστήματος Voith – Schneider

- Έλικα με δακτύλιο, ή πηδάλιο Kort

Επινοήθηκε από τον Kort το 1933 και αποτελείται από ένα κυκλικό δακτύλιο με τοιχώματα υδροδυναμικής μορφής που τοποθετείται γύρω από την έλικα και είναι στηριγμένο στο σκάφος.



Σχήμα -23-

Σύμφωνα με τη θεωρία της έλικας, η ώση που η έλικα προσδίδει στο πλοίο οφείλεται στη μεταβολή της ορμής που το νερό υπόκειται κατά τη διέλευσή του από τον δίσκο της έλικας.

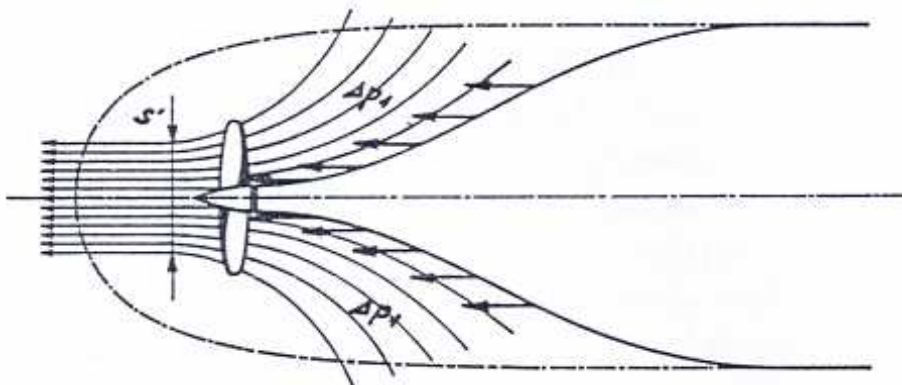
Με άλλα λόγια το προωθητικό αποτέλεσμα της έλικας οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή προσδίδει στο νερό που την περιβάλλει, με ταχύτητα περίπου ίδια με αυτήν του πλοίου, μια ταχύτητα μεγαλύτερη.

Αυτή η αύξηση της ταχύτητας όμως δεν είναι στιγμιαία, επειδή η έλικα κατά τη λειτουργία της προκαλεί μια επιτάχυνση και στο νερό πρώρα αυτής στην περιοχή μεταξύ της έλικας και του πρυμναίου μέρους του πλοίου, δημιουργώντας έτσι μια υποπίεση  $\Delta p_1$  ως προς το περιβάλλον νερό.

Αυτή η υποπίεση προκαλεί ένα χαμήλωμα του νερού πρώρα της έλικας και μια αναρρόφηση μεταξύ έλικας και γάστρας.

Αυτό προκαλεί επιβράδυνση και συνεπώς απαιτείται περισσότερο έργο από πλευράς έλικας (σχήμα -24-).

Για το λόγο αυτό, η ώση που προσφέρει η έλικα είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που απαιτείται για τη ρυμούλκηση του πλοίου στις ίδιες συνθήκες.



σχήμα -24-

Ο δακτύλιος Kort έχει μεγαλύτερη διάμετρο πρώρα της έλικας έτσι ώστε η πρωραία εγκάρσια τομή του είναι πολύ μεγαλύτερη από την εγκάρσια τομή όπου λειτουργεί η έλικα.

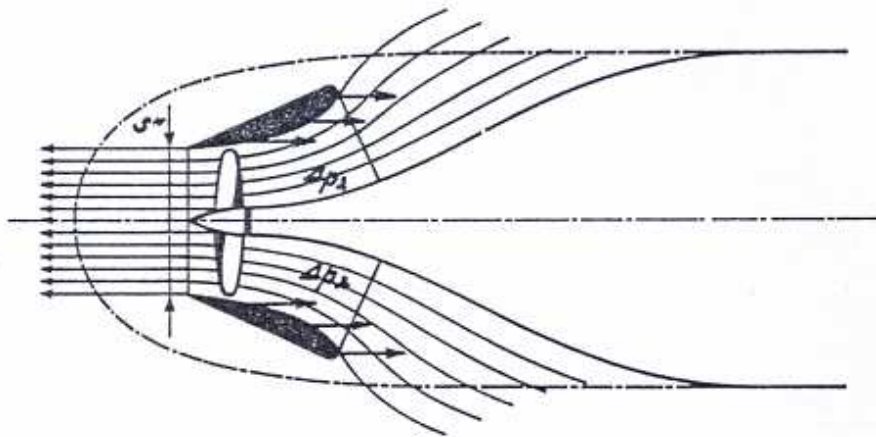
Εξ αιτίας αυτής της διαμόρφωσης των εγκάρσιων τομών του δακτυλίου, η επιτάχυνση του νερού προκύπτει σε μεγάλο βαθμό μέσα στο δακτύλιο.

Σε αυτό το περιορισμένο χώρο, η πίεση του νερού είναι μικρότερη από την πίεση του περιβάλλοντος νερού και επειδή αυτή η υποπίεση  $\Delta p_2$  δημιουργείται μέσα στο δακτύλιο, εξωτερικά του δακτυλίου υπάρχει μια σχετική πίεση μεγαλύτερη.

Έτσι, προκύπτουν δυνάμεις που εξασκούνται στην εξωτερική επιφάνεια του δακτυλίου οι οποίες μπορούν (χωρίς σοβαρό λάθος) να θεωρηθούν κάθετες στην επιφάνεια αυτή και αναλύονται σε εγκάρσιες και διαμήκεις συνιστώσες.

Η συνισταμένη των διαμήκων συνιστωσών, είναι πρόσθετη ώση που ενεργεί επί του δακτυλίου στην κατεύθυνση της κίνησης και επομένως στο πλοίο, επί του οποίου ο δακτύλιος είναι συγκολλημένος (σχήμα -25-).





σχήμα -25-

Αυτή η πρόσθετη ώση που εξασκείται στην εγκάρσια προβολή του δακτυλίου, μπορεί να φθάσει και το 40 % της συνολικής ώσης που προέρχεται από την έλικα.

Επίσης, με ένα καλά μελετημένο δακτύλιο, αποφεύγεται η δημιουργία στραγγαλισμού της ροής του νερού πρύμα της έλικας και επομένως αυξάνοντας την τομή της εκροής προκύπτει η ίδια μεταβολή ορμής άρα και η ίδια ώση με μικρότερο αριθμό στροφών της έλικας ίσης διαμέτρου, ή με ίδιο αριθμό στροφών με έλικα μικρότερης διαμέτρου : στην πρώτη περίπτωση προκύπτει μικρότερη επιτάχυνση σε μεγαλύτερη ορμή νερού, στην δεύτερη περίπτωση μια επιτάχυνση μεγαλύτερη σε μικρότερη ορμή.

Ο δακτύλιος Kort είναι επομένως αποδοτικός όταν η έλικα υπόκειται σε μεγαλύτερο φορτίο (όπως στα ρυμουλκά, στα αλιευτικά ) και όταν το βύθισμα του πλοίου είναι περιορισμένο.

### - Ενεργό πηδάλιο

Είναι προφανές ότι το κοινό πηδάλιο ενεργεί όταν το πλοίο είναι σε κίνηση.

Η εταιρεία Pleuger στο Αμβούργο (γνωστή κατασκευάστρια εταιρεία για αντλίες βυθισμένες σε αρτεσιανά φρεάτια), σχεδίασε αυτό τον τύπο πηδαλίου που δίνει στο πλοίο τη μέγιστη ικανότητα πηδαλιούχησης ακόμα και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ή ακόμα και με την κύρια μηχανή πρόωσης σβηστή.

Το πηδάλιο αυτό φέρει ενσωματωμένο, στο πρυμναίο άκρο μια μικρή έλικα. Η έλικα αυτή κινείται μαζί με το πηδάλιο το οποίο μπορεί να περιστραφεί μέχρι και 90° από κάθε πλευρά, με δυνατότητα ευρείας μεταβολής της πλευρικής ώσης .

Αυτή η βοηθητική έλικα κινείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα που είναι τοποθετημένος στο ίδιο το σώμα του πηδαλίου μέσα σε κατάλληλο πλαίσιο αεροδυναμικής μορφής (σχήμα 25 α, 25 β).

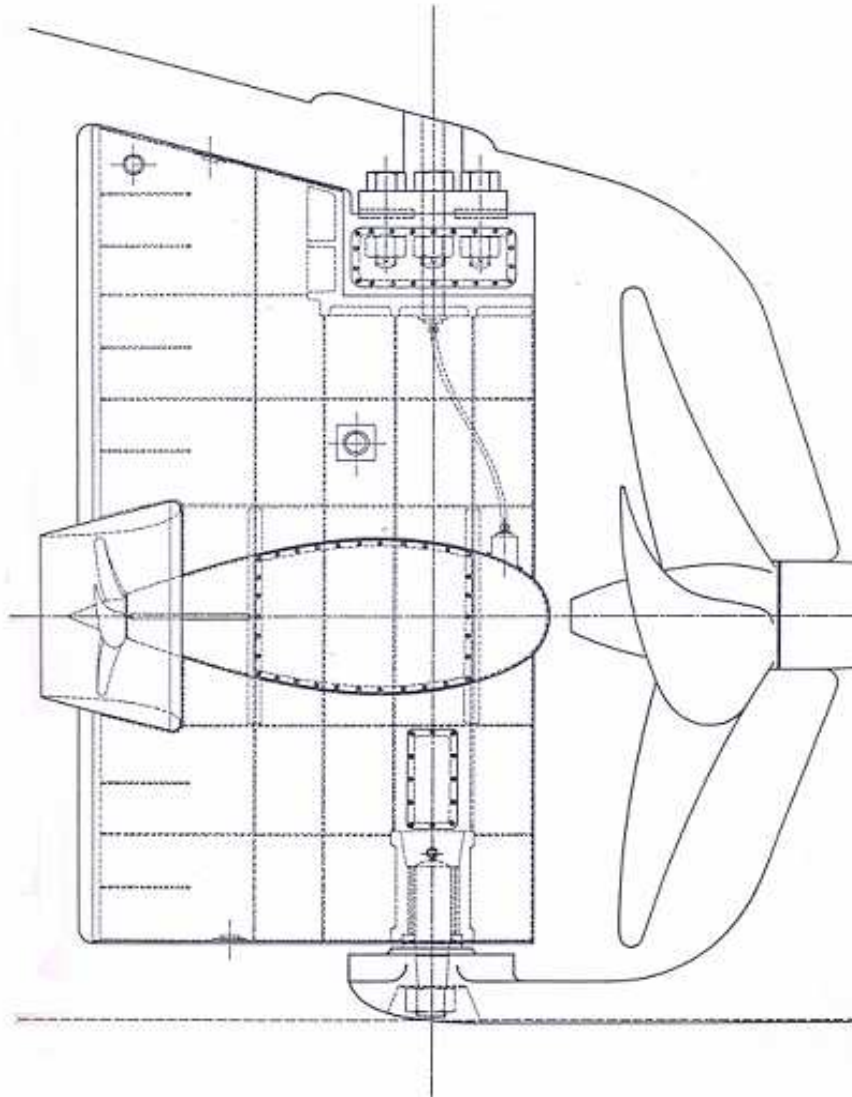
Είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι εξωτερικά του πλαισίου, το οποίο είναι ερμητικά κλειστό, υπάρχει θαλασσινό νερό.

Στο εσωτερικό του πλαισίου κυκλοφορεί γλυκό νερό σε πίεση τέτοια που να μην επιτρέπει την είσοδο της θάλασσας στο εσωτερικό του κινητήρα, κάτι που θα προκαλούσε διάβρωση και επικάλυψη άλατος.

Έτσι ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι πλήρως βυθισμένος σε γλυκό νερό που λειτουργεί και σαν ψυκτικό μέσο, αλλά και σαν λιπαντικό των τριβέων.

Οι περιελίξεις του κινητήρα ψύχονται απ' ευθείας με το γλυκό νερό, το οποίο με τη σειρά του αποδίδει αυτή τη θερμότητα στο περιβάλλον θαλασσινό νερό που βρίσκεται έξω από το πλαίσιο που περιέχει τον κινητήρα.

Αυτός ο αποτελεσματικός τρόπος ψύξεως επιτρέπει την κατασκευή συμπαγών κινητήρων σε σχέση με αερόψυκτους κινητήρες με ίδια ισχύ και αριθμό στροφών.



**ΕΝΕΡΓΟ ΠΗΔΑΛΙΟ "PLEUGER"**  
**Εξωτερική όψη**

**Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου**

**Μήκος εμφόρτου ισάλου..... = 119,450 μ.**

**Πλάτος μέγιστο ..... = 16,200 μ.**

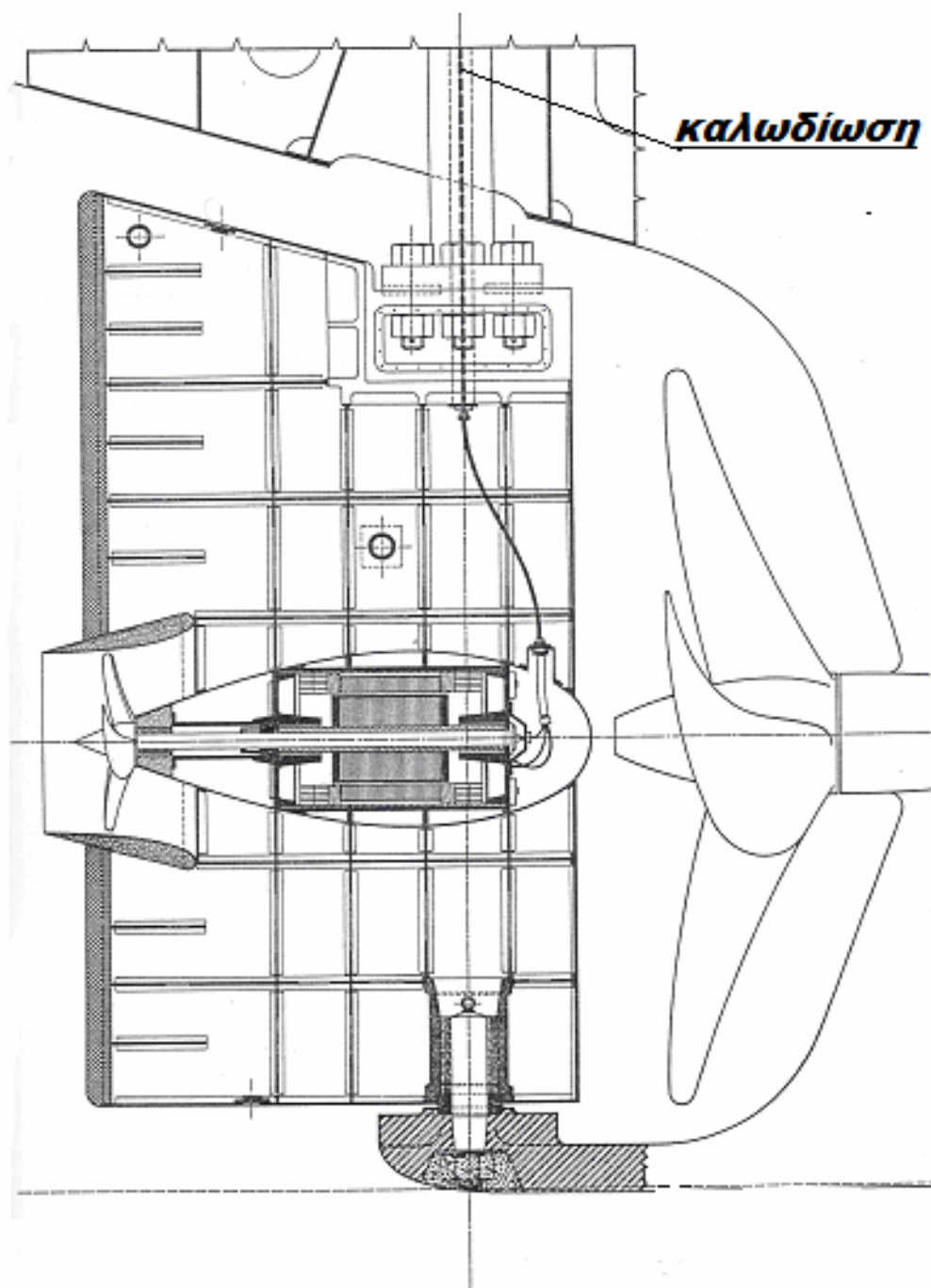
**Έμφορτο βύθισμα ..... = 6,450 μ.**

**Κύρια μηχανή ..... = 4.700 CV**

**Ταχύτητα υπηρεσίας ..... = 16 κόμβοι**

**Σχήμα -25 α-**





**ΕΝΕΡΓΟ ΠΗΔΑΛΙΟ "PLEUGER"**  
**Διαμήκης τομή**

**Χαρακτηριστικά πηδαλίου**

**Επιφάνεια πηδαλίου ..... = 13,15 m<sup>2</sup>**

**Ποσοστό ζυγοστάθμισης. = 0,22**

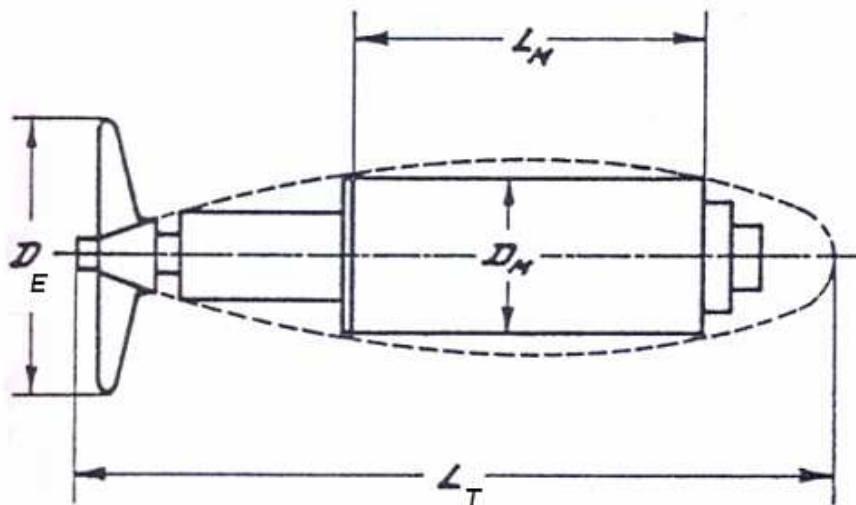
**Κινητήρας πηδαλίου ..... = Α.Μ. 54400**

**Βάρος πηδαλίου + Κινητήρας + άξονας = 19,450 t**

**Μέγιστη προσδιδόμενη ταχύτητα ..... = 3,75 κόμβοι**

**Σχήμα -25 β-**

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται στοιχεία ορισμένων κινητήρων για ενεργά πηδάλια, με αναφορά στο σχήμα 11 (τα στοιχεία είναι από την εταιρεία Pleuger).



Σχήμα -26-

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ ‘ΑΜ 50 HZ		2350	33100	33150	44250	54400	
ΙΣΧΥΣ	N	50	100	150	250	400	CV
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ	n	950	950	950	720	720	(στροφές/1)
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	$D_M$	370	470	470	650	690	mm
ΜΗΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	$L_M$	1040	1150	1270	1300	1500	mm
ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	$L_T$	1700	2100	2200	2500	2800	mm
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΛΙΚΑΣ	$D_E$	~ 600	~ 700	~ 800	~ 950	~ 1050	mm
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	$\eta$	84	86	87	87	88	%
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	$\cos \varphi$	0,82	0,83	0,85	0,83	0,84	
ΒΑΡΟΣ	P	675	975	1120	2250	3000	Kg
ΩΣΗ	S	560	1255	1900	3450	6000	Kg

Σχήμα -27-

Ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα, που το παράγει μια γεννήτρια πετρελαίου ελεγχόμενη από τη γέφυρα διαμέσου του άξονα του πηδαλίου.

Η όλη εγκατάσταση είναι απόλυτα υδατοστεγής και το ρεύμα παρέχεται με καλώδια που ευρίσκονται μέσα σε στεγανό αγωγό εσωτερικά του κοίλου κορμού του πηδαλίου .

Ο τύπος αυτός του ρεύματος, επιτρέπει τη μεταβολή του αριθμού των στροφών της έλικας ενεργώντας απ' ευθείας στον αριθμό στροφών της γεννήτριας, δηλαδή μεταβάλλοντας τον αριθμό στροφών της πετρελαιομηχανής μεταβάλλεται και η συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας.

Είναι γνωστό ότι σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα πολυφασικό, εάν  $f$  είναι η συχνότητα σε Hertz (HZ) και  $p$  ο αριθμός των πόλων του στάτορα, η σύγχρονη ταχύτητα που συνδέεται με τη συχνότητα του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από το στάτορα, δίδεται από τη σχέση :

$$\eta_S = \frac{120 \cdot f}{p} \left( \frac{\text{στροφές}}{1'} \right)$$

Με μια συχνότητα 50 (HZ), προκύπτουν :

- 3.000  $\left( \frac{\text{στροφές}}{1'} \right)$  για κινητήρα 2 πόλων, 1.500  $\left( \frac{\text{στροφές}}{1'} \right)$  για κινητήρα 4 πόλων,
- 1.000  $\left( \frac{\text{στροφές}}{1'} \right)$  για κινητήρα 6 πόλων, 750  $\left( \frac{\text{στροφές}}{1'} \right)$  για κινητήρα 8 πόλων, κ.λ.π.

### **Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει ένα ενεργό πηδάλιο είναι :**

- η κίνηση του ηλεκτροκινητήρα άρα και της έλικας γίνεται ηλεκτρικά από τη γέφυρα για τις τρεις φάσεις, πρόσω – κράτει – ανάποδα, ούτως ώστε εκτός από την πηδαλιούχηση ακόμα και με σβηστή την κύρια μηχανή πρόωσης, η έλικα του πηδαλίου μπορεί να δώσει στο πλοίο μια ταχύτητα 3 – 4 κόμβων, ταχύτητα ικανή για ελιγμούς του πλοίου στο λιμάνι αλλά και σε ανοικτή θάλασσα (π.χ. σε περίπτωση ομίχλης).
- η ώση της έλικας μπορεί να κατευθυνθεί σε οποιαδήποτε διεύθυνση, με αποτέλεσμα το πλοίο να μπορεί να κάνει ελιγμούς σε περιορισμένο χώρο χωρίς τη βοήθεια ρυμουλκών
- το ενεργό πηδάλιο έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμο για ειδικού τύπου πλοία, όπως τα υδρογραφικά που απαιτούν ευστάθεια κατά τον πλου ακόμα και σε αντίξοες συνθήκες καιρού. Υπάρχουν περιπτώσεις τέτοιων πλοίων χωρίς ενεργό πηδάλιο που αναγκάστηκαν να διακόψουν τις μετρήσεις με δύναμη θάλασσας 5, ενώ υδρογραφικά με ενεργό πηδάλιο μπορούσαν να λειτουργήσουν και με δύναμη θάλασσας 9.
- Τα χαρακτηριστικά του κοινού πηδαλίου δεν μεταβάλλονται μετά την εγκατάσταση των ειδικών μηχανισμών και των κατασκευαστικών παρεμβάσεων που καθιστούν ενεργό το πηδάλιο.
- Το ενεργό πηδάλιο ενεργεί ευεργετικά στην απόδοση της κύριας έλικας : πειράματα που έγιναν σε πλοία με τέτοιο σύστημα απέδειξαν ότι περιστρέφοντας την έλικα ελιγμών (αυτή που ευρίσκεται επί του ενεργού πηδαλίου δηλαδή) μαζί με την κύρια έλικα η συνολική απόδοση είναι μεγαλύτερη από τις δύο έλικες που λειτουργούν ανεξάρτητα..

#### **4. ΔΥΝΑΜΗ ΕΠΙ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Ο προσδιορισμός της συνολικής πίεσης που το νερό εξασκεί επί του πηδαλίου γίνεται με σχέσεις που δίνουν την ολική αντίσταση  $P$  (kg) που συναντά μια ίσης επιφάνειας  $A$  (m<sup>2</sup>) επίπεδη πλάκα η οποία κινείται στο νερό με ίδια ταχύτητα  $V$  (kn ή m/sec) και γωνία πρόσπτωσης ίση με τη γωνία εκτροπής  $\alpha$  του πηδαλίου.

Η σχέση που περισσότερο χρησιμοποιείται είναι αυτή του Jossel, η οποία δίδει μεγαλύτερες τιμές από τις άλλες σχέσεις και πιο κοντά στις τιμές που έχουν υπολογιστεί από πειράματα πηδαλίων.

Η σχέση αυτή είναι :

$$P = 5,293 \times \frac{\text{sen}\alpha}{0,195 + 0,305 \times \text{sen}\alpha} \times A \times V^2, \text{ εάν } V \text{ (kn)}$$

$$P = 20 \times \frac{\text{sen}\alpha}{0,195 + 0,305 \times \text{sen}\alpha} \times A \times V^2, \text{ εάν } V \text{ (m/sec)}$$

Σημειώνονται εδώ και οι άλλες σχέσεις για τον υπολογισμό της δύναμης επί του πηδαλίου :

$$\text{Rankine} \quad : \quad P = 11 \times A \times V^2 \times \text{sen}^2\alpha, \text{ εάν } V \text{ kn),} \quad \text{και} \\ P = 41,5 \times A \times V^2 \times \text{sen}^2\alpha \text{ εάν } V \text{ (m/sec)}$$

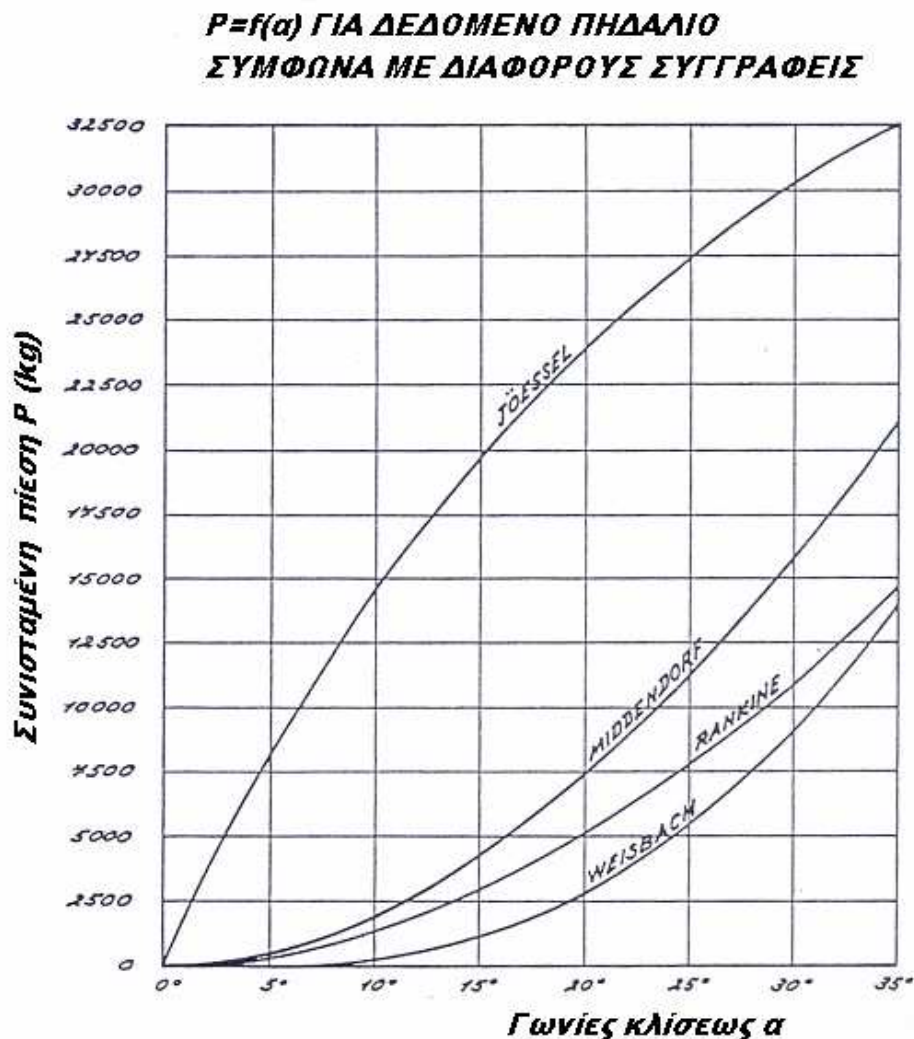
$$\text{Middendorf} \quad : \quad P = 11 \times A \times (1,2 \times V^2) \times \text{sen}^2\alpha \text{ εάν } V \text{ kn),} \quad \text{και} \\ P = 59,7 \times A \times V^2 \times \text{sen}^2\alpha \text{ εάν } V \text{ (m/sec)}$$

$$\text{Weisbach} \quad : \quad P = 34,5 \times A \times V^2 \times \text{sen}\alpha \times (1 - \cos\alpha) \text{ εάν } V \text{ kn),} \quad \text{και} \\ P = 130 \times A \times V^2 \times \text{sen}\alpha \times (1 - \cos\alpha) \text{ εάν } V \text{ (m/sec)}$$

Οι σχέσεις αυτές όμως δεν χρησιμοποιούνται διότι δίδουν αποτελέσματα με μεγάλη απόκλιση από τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές.

Αυτό είναι εμφανές από την γραφική παράσταση των προαναφερόμενων σχέσεων στο παρακάτω σχήμα για πηδάλιο ορθογωνικού σχήματος με τα εξής χαρακτηριστικά :

$$A = 10 \text{ (m}^2\text{)}, \quad V = 20 \text{ (kn)} = 10,29 \left( \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right), \quad \text{γωνία εκτροπής } 0^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$$



Σχήμα -28-

Οι διαφορές των τιμών της δύναμης των εμπειρικών αυτών σχέσεων με τις τιμές που λαμβάνονται από τα πειράματα που έγιναν σε πηδάλια χωρίς καρένα και σε πηδάλια μαζί με καρένα με λειτουργία της μηχανής πρόωσης, οφείλονται σε πολλούς λόγους, κυριότερος των οποίων είναι ότι το πηδάλιο οιασδήποτε μορφής και σχήματος δεν μπορεί να προσομοιωθεί με μια επίπεδη πλάκα ίδιας επιφάνειας η οποία να κινείται σε ομοιόμορφη κίνηση με σταθερή γωνία πρόσπτωσης σε ακίνητο αρχικά νερό.

Υπάρχει μεγάλη απόκλιση αποτελεσμάτων μεταξύ των πραγματικών συνθηκών (όπως σε όλα τα προβλήματα όπου παρουσιάζεται σχετική κίνηση υγρού σε επαφή με στερεό) με τις συνθήκες που θεωρείται ότι υπάρχουν.

Έτσι τα καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται μετά από πειράματα σε μοντέλλα πηδαλίων που είναι τοποθετημένα στις αντίστοιχες γάστρες με την ταυτόχρονη λειτουργία των συστημάτων πρόωσης.

Οι σχέσεις του Jossel, προέκυψαν από πειράματα που έγιναν το 1873 στο Indret τοποθετώντας στη ροή μια επίπεδη ορθογωνική πλάκα διαστάσεων  $(0,40m) \times (0,30m)$  με οριζόντια τη μεγάλη πλευρά.

Τελικά οι σχέσεις αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συνισταμένης πίεσης  $P$  σε ορθογωνικής μορφής πηδάλια τοποθετημένα με ανάλογο τρόπο.

Επειδή όμως τις περισσότερες φορές τα πηδάλια δεν έχουν τόσο απλή γεωμετρική μορφή οπότε δεν είναι τόσο άμεσος ο προσδιορισμός της πίεσης  $P$ , όπως σε πηδάλια τραπεζοειδούς μορφής ή μορφής τύπου Simplex, το πτερυγίο χωρίζεται σε πολλές ορθογωνικής μορφής επιφάνειες και με γνωστές τις τιμές ταχύτητας και γωνίας εκτροπής υπολογίζεται η κάθε τιμή της πίεσης  $P$  χρησιμοποιώντας τις σχέσεις του Jossel.

Τελικά, από τη διαδοχή των σχέσεων για τις επιμέρους πιέσεις, ο υπολογισμός καταλήγει στον προσδιορισμό της επιφάνειας του πτερυγίου του πηδαλίου.

## 5. ΚΕΝΤΡΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

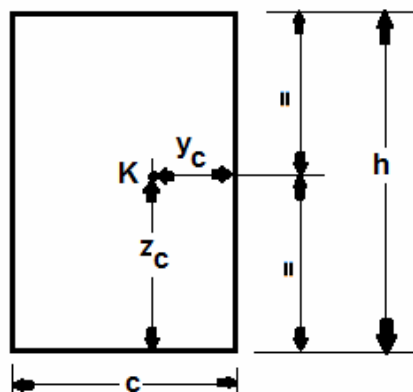
Το σημείο αυτό (κέντρο πίεσης) ορίζεται ως το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η συνισταμένη δύναμη επί του πηδαλίου .

Η θέση του κέντρου πίεσης εξαρτάται από :

1. το σχήμα της επιφάνειας
2. τη σχέση πλάτους ως προς το ύψος
3. την τομή του πτερυγίου του πηδαλίου
4. τη γωνία του πηδαλίου

Επομένως το κέντρο πίεσης μετατοπίζεται προς την προωαία ακμή του πηδαλίου (δηλαδή προς τον άξονα περιστροφής) όσο μικρότερη είναι η γωνία του πηδαλίου , όσο πιο "γεμάτη" (ογκώδης) είναι η τομή του πτερυγίου , όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ύψους / πλάτους του πτερυγίου (δηλαδή πτερύγιο στενόμακρο).

Για ένα πηδάλιο με ορθογωνική μορφή επιφάνειας με μήκος  $c$  και ύψος  $h$  , ο Joessel διατύπωσε τους παρακάτω τύπους για τον υπολογισμό των συντεταγμένων του κέντρου πίεσης :



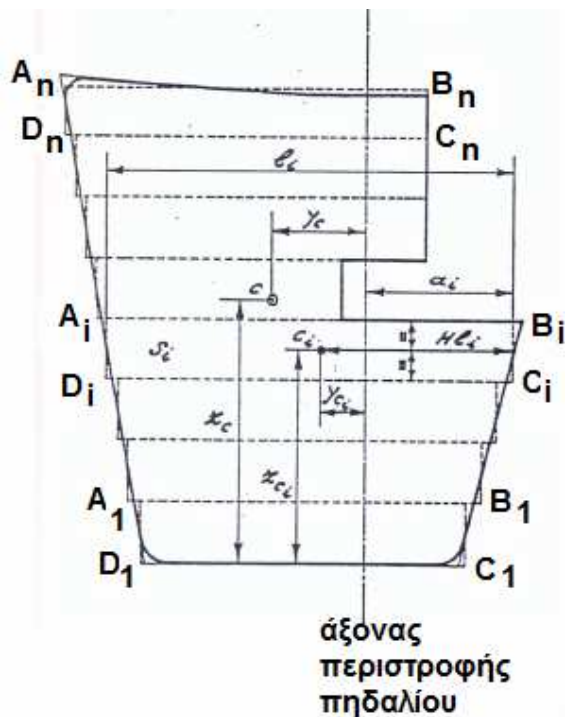
Σχήμα -29-

$$- z_c = \frac{h}{2} = \text{απόσταση από το κάτω χείλος του πηδαλίου}$$

$$- y_c = (0,195 + 0,305 \times \text{sena}) \times c = \text{απόσταση από την ακμή εισόδου (προωαία ακμή) του πηδαλίου για την κίνηση πρόσω και από την πρυμναία ακμή του πηδαλίου για την κίνηση ανάποδα.}$$

Είναι προφανές ότι το κέντρο εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης επί του πηδαλίου (= κέντρο πίεσης) συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο της επιφάνειας στην περίπτωση που το πηδάλιο είναι σε θέση  $90^\circ$  προς την πλευρά , οπότε όλη η δύναμη του πηδαλίου είναι αντίσταση με μηδενική πλευρική ώση .

Για ένα πηδάλιο με επιφάνεια διαφορετική της ορθογωνικής μορφής όπως αυτό του σχήματος ,



Σχήμα -30-

η  $z_c$  υπολογίζεται εφαρμόζοντας το θεώρημα Varignon από τη σχέση :

$$z_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times z_{c_i}}{P} = \frac{K \sum_{i=1}^n S_i \times z_{c_i}}{K \times S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times z_{c_i}}{S}$$

Εξισώνοντας δηλαδή το άθροισμα των ροπών ως προς το κάτω χείλος του πηδαλίου , των συνιστωσών πιέσεων  $\sum_{i=1}^n P_i \times z_{c_i}$  και τη ροπή της συνισταμένης πίεσης ( $P \times z_c$ ) ως προς το ίδιο κάτω χείλος.

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η  $y_c$  από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου , εφαρμόζοντας το ίδιο θεώρημα από την παρακάτω σχέση :

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times y_{c_i}}{P} = \frac{K \sum_{i=1}^n S_i \times y_{c_i}}{K \times S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times (H \times l_i - a_i)}{S}$$

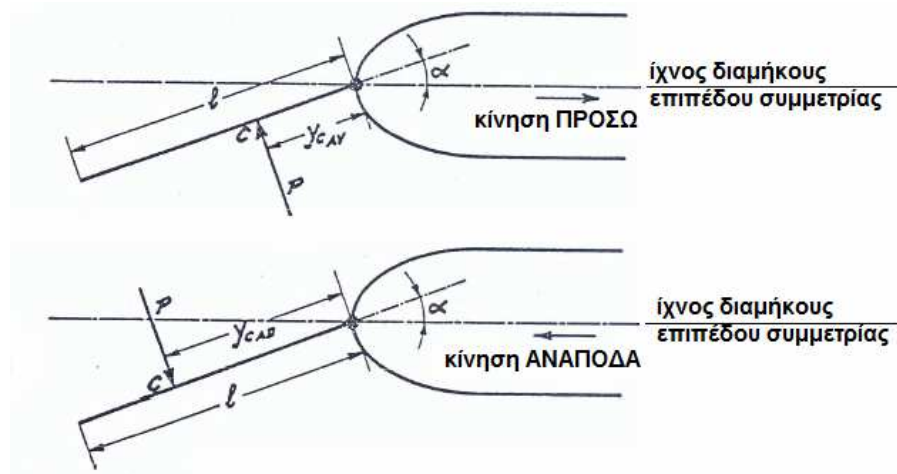
Εξισώνοντας δηλαδή το άθροισμα των ροπών ως προς τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου , των συνιστωσών πιέσεων  $\sum_{i=1}^n P_i \times y_{c_i}$  και τη ροπή της συνισταμένης πίεσης ( $P \times y_c$ ) ως προς τον ίδιο άξονα .

Η προσπάθεια στις πειραματικές δοκιμές ήταν να σχηματισθεί μια τομή περυγίου τέτοιας μορφής ώστε να είναι ως επί το πλείστον σταθερή η θέση του κέντρου πίεσης με μεταβαλλόμενη γωνία , οπότε να παραμένει σταθερό το έργο και το φορτίο του μηχανισμού περιστροφής του πηδαλίου.



Τα προαναφερόμενα ισχύουν για πρόσω κίνηση του πλοίου, δεδομένου ότι στην κίνηση ανάποδα συμβαίνει το αντίστροφο, δηλαδή το κέντρο πίεσης μετατοπίζεται προς την πρυμναία ακμή με συνέπεια να μεγαλώνει η απόστασή του από τον άξονα περιστροφής άρα και η ροπή και το έργο στρέψης του πηδαλίου.

Εάν θεωρηθεί ένα πηδάλιο μονού ελάσματος με επιφάνεια ορθογωνικής μορφής μήκους  $c$  μη ζυγοσταθμισμένο, εξετάζοντας την κίνηση ΠΡΟΣΩ και την κίνηση ΑΝΑΠΟΔΑ,



Σχήμα -31-

τότε λαμβάνοντας υπ' όψιν τη σχέση  $y_c = (0,195 + 0,305 \times \text{sena}) \times c$ , οι αποστάσεις του κέντρου πίεσης στην κάθε περίπτωση κίνησης είναι αντίστοιχα :

$$(y_c)_{\text{ΠΡΟΣΩ}} = (0,195 + 0,305 \times \text{sena}) \times c$$

$$(y_c)_{\text{ΑΝΑΠΟΔΑ}} = c - (0,195 + 0,305 \times \text{sena}) \times c, \text{ και για γωνία } a = 35^0 \text{ προκύπτει :}$$

$$(y_c)_{\text{ΠΡΟΣΩ}} = (0,369) \times c$$

$$(y_c)_{\text{ΑΝΑΠΟΔΑ}} = (0,631) \times c$$

Το οποίο σημαίνει ότι επειδή και στις δύο περιπτώσεις είναι ίσες οι πιέσεις  $P$  που ασκούνται επί του πηδαλίου, είναι :

$$(M_t)_{\text{ΑΝΑΠΟΔΑ}} = \frac{0,631}{0,369} \times (M_t)_{\text{ΠΡΟΣΩ}} = 1,710 \times (M_t)_{\text{ΠΡΟΣΩ}}$$

Εάν εξισωθούν οι ροπές, προκύπτει ότι οι ταχύτητες πρέπει να ικανοποιούν την παρακάτω σχέση :

$$V_{\text{ΠΡΟΣΩ}} = \left( \sqrt{\frac{0,369}{0,631}} \right) \times V_{\text{ΑΝΑΠΟΔΑ}}.$$



**Κατά συνέπεια** , ειδικά για πηδάλια ζυγοσταθμισμένα και ημιζυγοσταθμισμένα πρέπει η ταχύτητα στην κίνηση ΑΝΑΠΟΔΑ να λαμβάνεται ίση με μια τιμή για την οποία η ροπή στρέψεως να είναι περίπου ίση με τη ροπή στην κίνηση ΠΡΟΣΩ με μέγιστη ταχύτητα και υπό γωνία  $\alpha = 35^\circ$ . Έτσι αποφεύγονται μεγάλες διαστάσεις και αποφεύγονται επικίνδυνες καταπονήσεις στην κατασκευή του πηδαλιού και του μηχανισμού. Εάν το κέντρο πίεσης σε ένα πηδάλιο παραμένει σε σταθερή θέση όσο η γωνία πρόσπτωσης μεγαλώνει , είναι επιθυμητό ο άξονας περιστροφής του πηδαλιού να τοποθετηθεί πρόωραθεν και πολύ κοντά στο κέντρο πίεσης , με συνέπεια να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη (χαμηλή) ροπή στρέψεως .

Πάντως στα περισσότερα πηδάλια το κέντρο πίεσης κινείται πύμα όσο η γωνία πρόσπτωσης του νερού μεγαλώνει. Γι 'αυτό με στόχο να μειωθεί η μέγιστη ροπή στρέψης , στην πράξη και σύμφωνα με μελέτες των Taplin (1960) , Comstock (και Mantel) 1953) , η θέση του άξονα περιστροφής του πηδαλιού προσδιορίζεται έτσι ώστε η ροπή στρέψης να μηδενίζεται μεταξύ  $10^\circ$  και  $15^\circ$ .

Έτσι ένα τυπικό διάγραμμα ροπής στρέψης / γωνίας πρόσπτωσης είναι αυτό που παρουσιάζεται στο επόμενο **σχήμα 31 α**

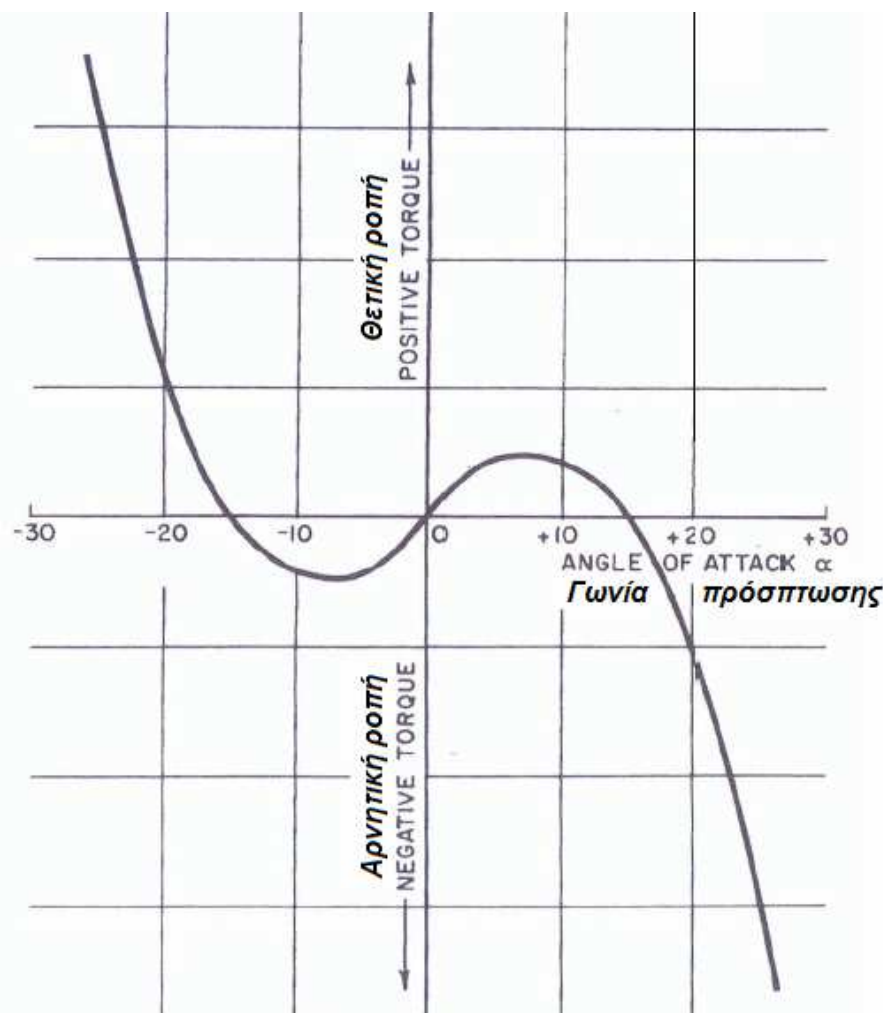


Fig. 231 Typical torque versus angle of attack relationship  
(Principles of Naval Architecture Vol. III Controllability)

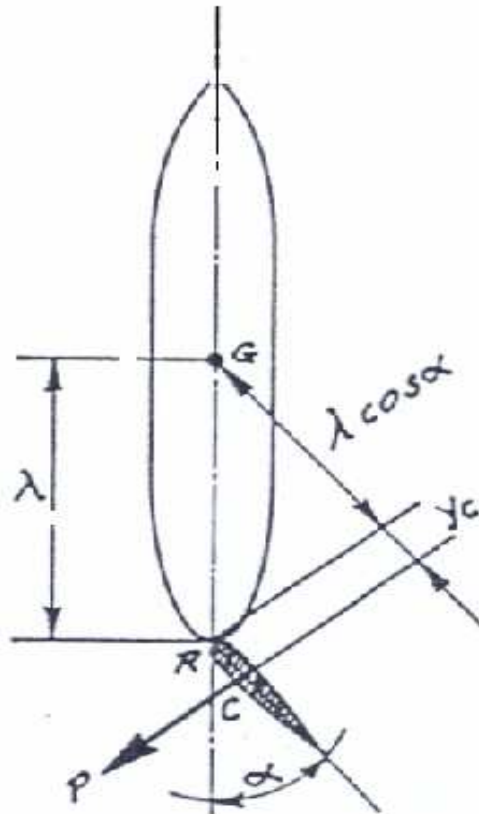
**Σχήμα 31 α**

## 6. ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ

Ορίζεται ροπή στρέψεως η ροπή της συνισταμένης πίεσης  $P$  ως προς την κάθετο που περνά από το κέντρο βάρους  $G$  του πλοίου.

Η ροπή αυτή δίδει το μέτρο της αποτελεσματικότητας της κλίσης του πηδαλίου στην εκτροπή του πλού του πλοίου.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, είναι :  $M_{στρ.} = P \cdot (\lambda \cdot \cos \alpha + y_C)$



Σχήμα -32-

Σημειώνεται ότι ενώ το μέγεθος του  $\lambda$  είναι της τάξεως του  $(\frac{1}{2})L$ , η τιμή του  $y_C$  στη διαστασιολόγηση του πηδαλίου είναι της τάξεως του  $(\frac{1}{150})L$  ή ακόμα μικρότερο.

Οπότε στη σχέση της ροπής στρέψεως μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα η τιμή του  $y_C$  ως προς το  $(\lambda \cdot \cos \alpha)$  και με βάση τη σχέση του Jossel, η ροπή είναι :

$$M_{στρ.} = P \times \lambda \times \cos \alpha = 5,293 \times \frac{\sin \alpha \times \cos \alpha}{0,195 + 0,305 \times \sin \alpha} \times A \times V^2 \times \lambda$$

Είναι προφανές ότι για να προσδοθούν στο πλοίο καλλίτερες ελκτικές επιδόσεις είναι απαραίτητο να γίνει μέγιστη η ροπή στρέψεως ενεργώντας στους όρους :

- A (επιφάνεια) και
- α (γωνία εκτροπής)

εφ' όσον δεν είναι δυνατό να γίνει παρέμβαση στα μεγέθη σχεδίασης του πλοίου όπως η ταχύτητα και η απόσταση  $\lambda = f(L)$ .

Επίσης **δεν είναι εύκολο** να γίνει παρέμβαση ούτε στην τιμή της επιφάνειας A, αφ' ενός λόγω του ότι αυξάνεται η ροπή στρέψεως στον άξονα του πηδαλίου (με συνέπεια την αύξηση της ισχύος του μηχανισμού του πηδαλίου με ίσες τις υπόλοιπες συνθήκες), αφ' ετέρου λόγω αύξησης βάρους, περιορισμένου χώρου και αύξησης της τοπικής ενίσχυσης της κατασκευής.

Άλλωστε, έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι η αύξηση της επιφάνειας του πηδαλίου πέρα από μια συγκεκριμένη τιμή δεν προσφέρει στην μείωση του κύκλου στροφής (άρα δεν βελτιώνει τις ελκτικές ικανότητες του πλοίου).

Τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζεται, για ένα συγκεκριμένο πλοίο, η επιφάνεια του πηδαλίου ως προβολή στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου, εξαρτώνται από τον τύπο του κάθε πλοίου, από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του κάθε πλοίου, από παρόμοια πλοία, από αποτελέσματα ερευνών (π.χ. συστηματικές σειρές) επί μοντέλων που υποβλήθηκαν σε σχετικές δοκιμές.

Διαπιστώνοντας τη δυσκολία παρέμβασης στην τιμή της επιφάνειας του πηδαλίου, το μόνο μέγεθος στο οποίο μπορεί να γίνει παρέμβαση είναι η γωνία 'α', οπότε προσδιορίζεται η τιμή της γωνίας εκτροπής 'α' στην οποία γίνεται μέγιστη η ροπή στρέψεως.

Αυτό υπολογίζεται, εξισώνοντας με το μηδέν την παράγωγο της συνάρτησης  $\frac{\text{sen}\alpha \cdot \cos \alpha}{0,195 + 0,305 \cdot \text{sen}\alpha}$ , ήτοι :

$$\frac{d}{d\alpha} \left( \frac{\text{sen}\alpha \cdot \cos \alpha}{0,195 + 0,305 \cdot \text{sen}\alpha} \right) = 0 \Rightarrow 0,305 \cdot \text{sen}^3 \alpha + 0,390 \cdot \text{sen}^2 \alpha - 0,195 = 0$$

απ' όπου προκύπτει :  $\alpha = 35^{\circ} 30'$ .

Για το λόγο αυτό η μέγιστη γωνία εκτροπής που δίδεται στον άξονα πηδαλίου περιορίζεται στην τιμή αυτή, δηλαδή  $35^{\circ}$  δεξιά και  $35^{\circ}$  αριστερά..

## 7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

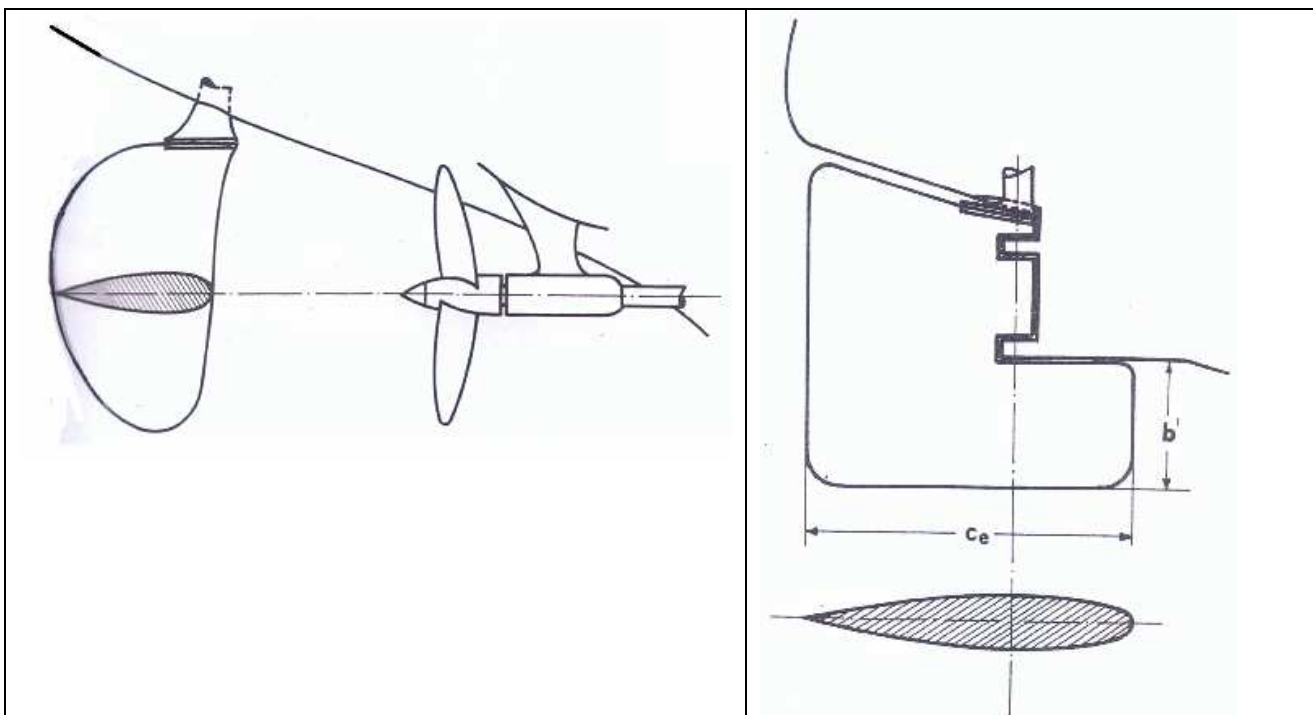
Η σχεδίαση του πηδαλίου εκπονείται ικανοποιώντας μια σειρά από προϋποθέσεις / περιορισμούς διαφορετικής φύσης.

Όπως κάθε άλλη εγκατάσταση του πλοίου , έτσι και το σύνολο του συστήματος πηδαλιούχησης , το περύγιο του πηδαλίου , ο άξονας , οι στηρίξεις και τα υποστηρίγματα , οι τριβείς , ο μηχανισμός μετάδοσης της κίνησης στο πηδάλιο , πρέπει να έχει το ελάχιστο βάρος , μέγεθος , ελάχιστη πολυπλοκότητα και ελάχιστο αρχικό κόστος. Ταυτόχρονα πρέπει να είναι αξιόπιστο , επειδή η απώλεια της ικανότητας πηδαλιούχησης συνιστά ένα σοβαρό κίνδυνο για το πλοίο , έτσι η συνολική μελέτη του συστήματος πηδαλιούχησης πρέπει να καταλήγει σε μια εγκατάσταση απλή , με χαμηλό κόστος και σχεδιασμένη με υψηλούς συντελεστές ασφαλείας .

Το πηδάλιο τοποθετείται στην περιοχή της πρύμνης και το μέγεθός του περιορίζεται από το διαθέσιμο χώρο :

- σε κατάλληλη απόσταση από την έλικα ώστε να αξιοποιείται στο μέγιστο η ροή που προέρχεται από αυτήν χωρίς να προκαλούνται δονήσεις (ταλαντώσεις) . Οι αποστάσεις αυτές προδιαγράφονται από τους κανονισμούς των Νηογνομόνων. Η τοποθέτηση του πηδαλίου πίσω ακριβώς από την έλικα δεν αφαιρεί ισχύ πρόωσης συγκριτικά με την τοποθέτηση του πηδαλίου εκτός ροής έλικας , δεδομένου ότι η περιστροφική ενέργεια του νερού πίσω από την έλικα επάγει στο πηδάλιο δύναμη με φορά τη φορά της ώσης .
- Η ελάχιστη απόσταση από τη βασική γραμμή υπαγορεύεται για λόγους ασφαλείας , με σκοπό να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του πηδαλίου από αβαθή νερά ή κατά το δεξαμενισμό του πλοίου . Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μια απόσταση από τη βασική γραμμή της τάξεως των (150-200) mm.
- Στην πρύμνη το πηδάλιο δεν πρέπει να εξέχει , ώστε να προστατεύεται από πιθανή αβαρία αποφεύγεται ώστε το πηδάλιο , και σε κατάλληλη έκταση ως προς το άκρο της πρύμνης και κατά το κατακόρυφο ως προς τη βασική γραμμή ή το κατώτερο σημείο της τρόπιδας.

### Υπάρχουν διάφοροι τύποι πηδαλίου που τοποθετούνται στην πρύμνη του πλοίου



Σχήμα -33-

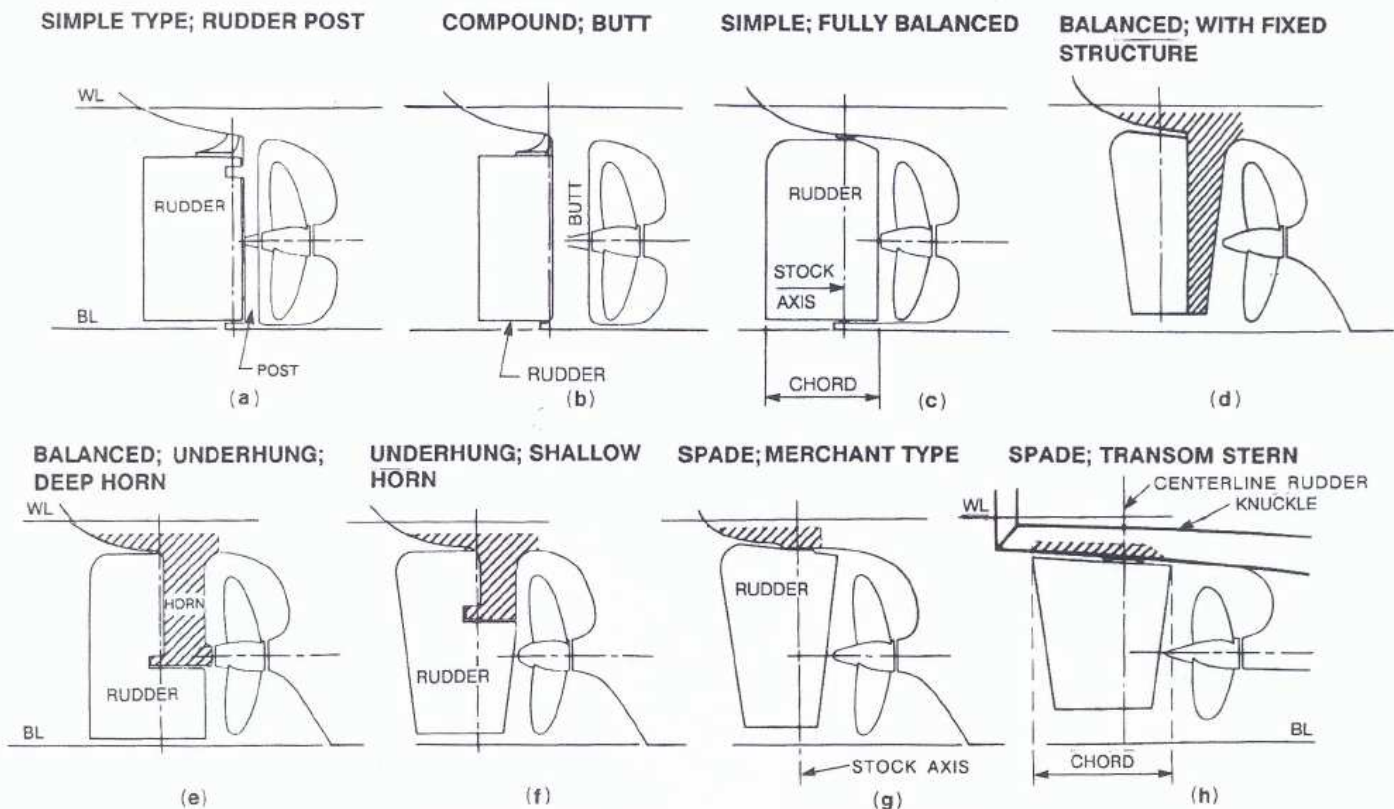


Fig. 206 Various rudder-fin arrangements (Saunders, 1965)

(Principles of Naval Architecture . Vol. III , Motion in Waves and Controllability , par. 17.2)

### Σχήμα -34-

Τα σύγχρονα πηδάλια είναι κοίλα (κούφια) και κατασκευάζονται με χρήση υδροδυναμικής μορφής χρησιμοποιώντας πειραματικά αποτελέσματα στα οποία αποτυπώνονται σχεδιαστικά τα διάφορα προφίλ για κάθε χρήση.

Ακολουθεί η ονοματολογία της υδροδυναμικής μορφής πτερυγίου , και οι αντίστοιχοι ορισμοί των μεγεθών που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία μελέτης και σχεδίασης του πτερυγίου του πηδαλιού ενός πλοίου.

## **8. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Η μορφή (σχήμα) του πτερυγίου ενός πηδαλιού , είναι αποτέλεσμα μιας σειράς μελετητικών θεωρήσεων που υπόκεινται σε εκτιμήσεις υδροδυναμικές αλλά και κατασκευαστικές.

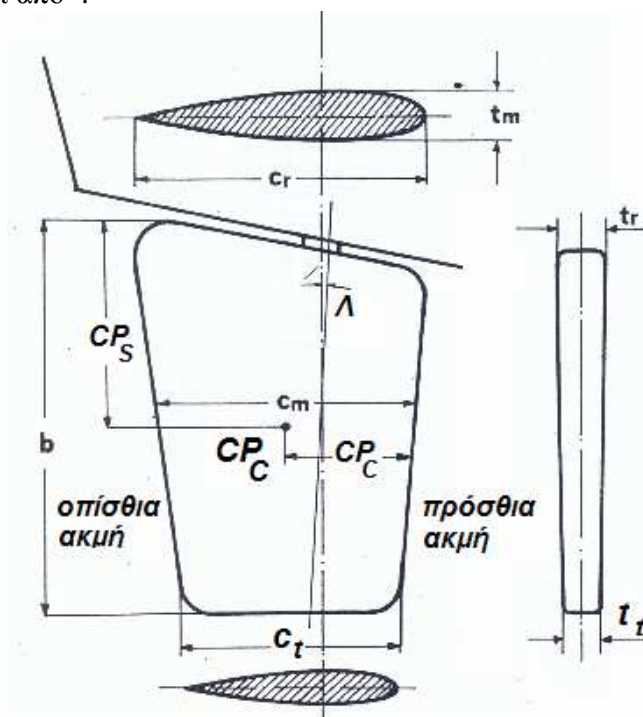
Αν και υπάρχουν πολλές πιθανές μορφές πτερυγίου του πηδαλιού , η επιφάνεια του πηδαλιού μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας γεωμετρικές παραμέτρους που ορίζουν τα μεγέθη που την προσδιορίζουν .

Στην πιο απλή μορφή του , ένα πηδάλιο στερεώνεται από ισχυρές κατασκευαστικές στηρίξεις εσωτερικές του σκάφους. Συχνά, όταν οι δυνάμεις που επενεργούν είναι μεγαλύτερες , είναι απαραίτητο να υπάρχουν και παρελκόμενες κατασκευές της γάστρας για τη στήριξη του πηδαλιού.

Στην πρώτη περίπτωση το πηδάλιο αποτελείται από μια επιφάνεια πλήρως κινούμενη (all - movable) , ενώ στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει ένα κινητό μέρος (που είναι το πτερύγιο του πηδαλίου) και ένα σταθερό τμήμα , ένα εξωτερικό που σκάφους στήριγμα του πηδαλίου. Και στις δύο περιπτώσεις υλοποιείται ένα σώμα ομαλής εξομαλυσμένης επιφάνειας που συνιστά ένα εναίο υδροδυναμικό σώμα , που εμβαπτίζεται από τη ροή της έλικας.

Οι γεωμετρικές διατάξεις του πτερυγίου ορίζονται με αναφορά στην προβολή του πτερυγίου στο επίπεδο αναφοράς το οποίο προσδιορίζεται από την διεύθυνση του άξονα περιστροφής και από τη διεύθυνση από την οποία προέρχεται μια ομογενής ροή . Η διεύθυνση αυτής της ομογενούς ροής συνιστά μια σημαντικά χρήσιμη αναφορά για την γεωμετρία του πτερυγίου , προσδιορίζοντας τα γεωμετρικά μεγέθη που συνδέονται με το μηχανισμό των υδροδυναμικών δυνάμεων.

Η επιφάνεια που προβάλλεται στο επίπεδο αναφοράς , προσδιορίζει τη μορφή του πηδαλίου , δηλαδή την επιφάνεια του πηδαλίου  $A$  ( $m^2$ ) (profile area) . Η μορφή της επιφάνειας του πηδαλίου που χαράσσεται στο επίπεδο αναφοράς αποτελείται από :



Σχήμα 35

- πρόσθια ακμή (χείλος προσβολής , leading edge) που εκτίθεται στη ροή εισόδου
- οπίσθια ακμή (χείλος εκφυγής , trailing edge) που εκτίθεται στη ροή εξόδου
- χορδή (chord)  $c_r$  (m) μετρούμενη στην άνω επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου κατά την οριζόντια διεύθυνση ακόμα και όταν τα άκρα της άνω επιφάνειας είναι σε κεκλιμένη γραμμή.
- χορδή (chord)  $c_t$  (m) μετρούμενη στην κάτω επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου
- ύψος (άνοιγμα)  $b$  (m) , η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ άνω και κάτω επιφάνειας του πτερυγίου του πηδαλίου
- το πάχος  $t$  (thickness) του πτερυγίου μετρούμενο στη χορδή εγκάρσια κατά το οριζόντιο



- **λόγος επιμήκους** (γεωμετρικός , geometric aspect ratio)  $AR = \frac{\bar{b}}{c} = \frac{\bar{b}}{c} \times \frac{c}{c} = \frac{A}{(\bar{c})^2}$  ως ο λόγος μέσου ύψους (ανοίγματος) προς το μήκος της μέσης χορδής .

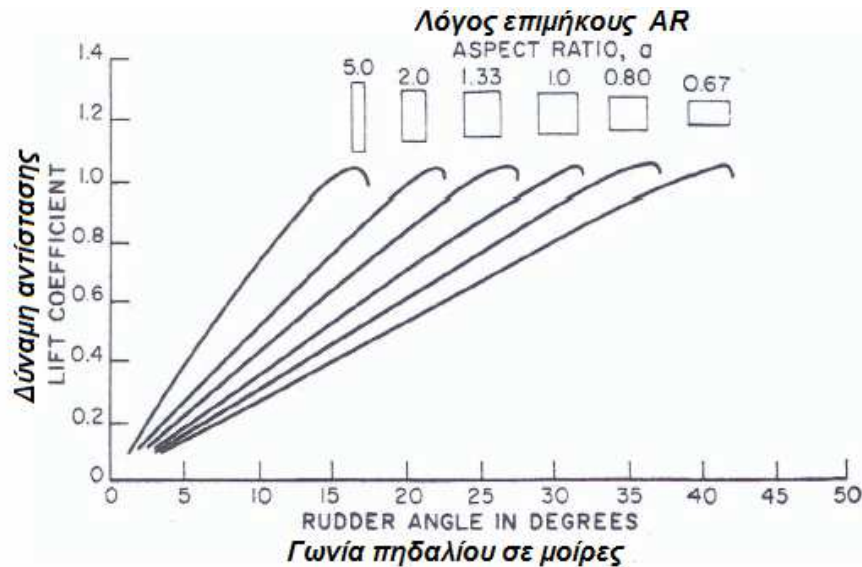


Fig. 131 Effect of rudder aspect ratio on lift coefficient (VanLammeren, Troost, and Koning, 1948)

(Principles of Naval Architecture / Vol. III Motion in Waves and Controllability)

### Σχήμα 36

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η κλίση της καμπύλης της δύναμης αντίστασης με τη γωνία του πηδαλίου , ελαττώνεται έντονα όσο μικραίνει ο λόγος επιμήκους.

Αυτή η σχέση είναι συνεπής με τις σχέσεις που θεωρητικά έχουν διατυπωθεί για την κλίση της καμπύλης άντωσης (Weing 1947), όπως επίσης και με τα πειραματικά αποτελέσματα όπως αυτά παρουσιάζονται από (Loften and Smith 1949 , Larson 1946 / σχήμα 18 Mandel 1953).

Όσο μεγαλώνει ο λόγος επιμήκους για πηδάλια ίδιου εμβαδού επιφάνειας , η μέγιστη δύναμη άντωσης επιτυγχάνεται σε μικρότερη γωνία εκτροπής του πηδαλίου και αυτό αυξάνει την απόδοση του πηδαλίου .

Βέβαια ο λόγος επιμήκους (που σχετίζεται με την επιφάνεια του πηδαλίου) δεν είναι δυνατό να μεγαλώσει όσο θα ήταν επιθυμητό , δεδομένου ότι για τις διαστάσεις του πηδαλίου υπάρχουν περιορισμοί και από πλευράς διαμόρφωσης της πρύμνης αλλά και από παράγοντες που σχετίζονται με την ικανότητα στροφής , την ταχύτητα απόκρισης σε πηδαλιούχηση και με την δυναμική ευστάθεια κατά την ενέργεια του πηδαλίου , παράγοντες που σχετίζονται μεταξύ τους και με την επιφάνεια του πηδαλίου (Principles of Naval Architecture . Vol. III , Motion in Waves and Controllability , par. 14.2 , 14.4) .

**ΣΗΜ. :** όταν η άνω επιφάνεια του πηδαλίου είναι πολύ κοντά στη γάστρα , τότε το πηδάλιο για σκοπούς υδροδυναμικών μελετών (εξ αιτίας του κατοπτρισμού της ροής) ενεργεί ως ο λόγος επιμήκους να είναι διπλάσιος του γεωμετρικού (που είναι και η πραγματική απεικόνιση της μορφής του πτερυγίου του πηδαλίου).

Βέβαια αυτό συμβαίνει όταν το πηδάλιο είναι στη μέση (γωνία εκτροπής πηδαλίου  $0^0$  ) , ενώ όταν το πηδάλιο απομακρύνεται από τη μέση θέση και η απόσταση της άνω χορδής από τη γάστρα μεγαλώνει , λαμβάνεται γραμμική μεταβολή του λόγου διαμήκους από  $2 \times AR$  με πηδάλιο στη μέση έως  $1 \times AR$  με πηδάλιο στη μέγιστη γωνία που λαμβάνεται στις  $35^0$  .

Πάντως, επειδή στην πράξη για λόγους κυρίως κατασκευαστικούς δεν υλοποιείται η παραπάνω συνθήκη ακόμα και όταν το πηδάλιο είναι στη μέση θέση (γωνία εκτροπής πηδαλίου  $0^0$ ), πρέπει να υπάρχει προσοχή στον υπολογισμό του  $2 \times AR$ .

Έτσι μια ελάχιστη απόσταση ελευθερίας (τζόγος) υπολογίζεται πάνω από την άνω χορδή μέχρι τη γάστρα στο σημείο τοποθέτησης του πηδαλίου ώστε να εκμηδενίζεται αυτή η επίδραση στο λόγο επιμήκους λόγω της γάστρας. Στο αρχικό στάδιο της μελέτης του πηδαλίου που είναι άγνωστες οι διαστάσεις του πτερυγίου, θεωρείται αρκετή μια απόσταση που συνήθως είναι  $\left(\frac{1}{15} \times H\right)$  η οποία θα ελεγχθεί εάν επαρκεί για την τοποθέτηση και των απαραίτητων περιωαυγενίων που συνδέουν τα πτερύγιο του πηδαλίου με το μηχανισμό του πηδαλίου ( $H$  είναι η κατακόρυφη απόσταση που είναι διαθέσιμη στο νομέα όπου θα τοποθετηθεί το πηδάλιο, δεδομένου ότι θεωρείται όπως παραπάνω περιγράφηκε ότι η άνω επιφάνεια του πηδαλίου ευρίσκεται πολύ κοντά στη γάστρα). το πηδάλιο).

- **ποσοστό ζυγοστάθμισης** (balance ratio) =  $\frac{A_1}{A_{ΟΛ}}$  ( $A_1$  η επιφάνεια πλώρα του άξονα περιστροφής του πηδαλίου).

- **λόγος σύγκλισης** (taper ratio) =  $\frac{c_r}{c_t}$

- **λόγος χορδής** : πάχος / μήκος (thickness ratio) =  $\frac{t_m}{c_m}$

Στον επόμενο πίνακα δίδονται ενδεικτικά τιμές των λόγων των παραπάνω μεγεθών :

Αδιάστατοι λόγοι	Ενδεικτικές τιμές
Γεωμετρικός λόγος επιμήκους $\frac{\bar{b}}{c}$	1,5 ÷ 2,5
Λόγος ( πάχους / μήκους ) χορδής $\frac{t_m}{c_m}$	0,06 ÷ 0,25
Λόγος σύγκλισης $\frac{c_r}{c_t}$	0,5 ÷ 1,0
Ποσοστό ζυγοστάθμισης $\frac{A_1}{A_{ΟΛ}}$	0,0 ÷ 0,30 (*)

(\*) = η τιμή 0,00 σημαίνει πηδάλιο μη ζυγοσταθμισμένο.

- **η γωνία σάρωσης** (sweepback angle)  $\Lambda$ , η οποία αντιστοιχεί στη γωνία κλίσης που μετριέται ως προς την κατακόρυφη ενώνοντας το τέταρτο της άνω και κάτω χορδής από την ακμή εισόδου του πτερυγίου. Η γωνία αυτή έχει μεγάλη σημασία στη μεταβολή της κατανομής της υδροδυναμικής άντωσης και στη διαμόρφωση της απώλειας στήριξης (stall). Η γωνία αυτή είναι θετική εάν η διαμόρφωση του πτερυγίου ως προς τη ροή είναι αυτή του **σχήματος 35**. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι μια υψηλή γωνία σάρωσης οδηγεί σε πτερύγιο το οποίο στην οπίσθια ακμή λεπταίνει βαθμιαία προς τα κάτω και έτσι το πτερύγιο καταπονείται περισσότερο στην κορυφή. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η γωνία σάρωσης είναι μικρή ή αρνητική, γεγονός που αποδίδει στο πτερύγιο μια συμπεριφορά όμοια με εκείνη μιας επιφάνειας που λεπταίνει πολύ λίγο. Για την επιλογή της βέλτιστης τιμής της γωνίας σάρωσης όταν



έχει οριστεί ο λόγος σύγκλισης  $\left[ (\text{taper ratio}) = \frac{C_r}{C_t} \right]$ , πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα σε πτερύγια .

## **9. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Από την εξέταση των σχέσεων υπολογισμού της δύναμης του πηδαλίου και της ροπής στρέψεως προκύπτει ότι εξαρτώνται από το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου. Αυτό σημαίνει ότι πλοία μεγάλης ταχύτητας έχουν μεγαλύτερη ενέργεια πηδαλίου για την ίδια επιφάνεια και ταχύτητα, ή αντιστρόφως για την ίδια ενέργεια πηδαλίου απαιτείται μικρότερη επιφάνεια ή μικρότερη γωνία.

Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι πηδάλια με μεγάλη επιφάνεια χρησιμοποιούνται σε πλοία στα οποία είναι απαραίτητη μεγάλη ικανότητα ελιγμών, όπως είναι τα ρυμουλκά, τα πορθμεία, τα πολεμικά πλοία.

Στα εμπορικά πλοία η επιφάνεια του πηδαλίου (ή των πηδαλίων) διαφέρει μεταξύ των πλοίων και εξαρτάται από τους ειδικούς όρους εργασίας, όπως συχνή πορεία με μικρή ταχύτητα, συχνή είσοδος σε δύσκολα λιμάνια, πορεία σε στενά ποτάμια και στενά κανάλια.

Στην πράξη η επιφάνεια του πηδαλίου συγκρίνεται με το πηδάλιο άλλου σκάφους του ίδιου τύπου που έχει αποδειχθεί κατά τη λειτουργία του ότι έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ελιγμών.

Το κριτήριο για τη σύγκριση αυτή είναι το γινόμενο του μήκους επί το βύθισμα του πλοίου, δηλαδή η βρεχόμενη επιφάνεια στο μέγιστο βύθισμα του πλοίου στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

Συνεπώς η συνολικά απαιτούμενη επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου (των πηδαλίων), δηλαδή ανεξάρτητα από τον αριθμό των πηδαλίων που τοποθετούνται στο πλοίο, υπολογίζεται σε συνάρτηση της βρεχόμενης επιφάνειας σε συνθήκες έμφορτης κατάστασης.

Η μορφή της επιφάνειας του πηδαλίου εξαρτάται από τη διαμόρφωση της πρύμνης του πλοίου.

Για όλα τα πηδάλια είναι κοινή η ανάγκη τοποθέτησης της κατώτερης επιφάνειας του πηδαλίου πιο πάνω από τη γραμμή της τρόπιδας αφ' ενός για προστασία, αφ' ετέρου για την εύκολη είσοδο του πλοίου στη δεξαμενή.

Ένα πηδάλιο με μεγάλο ύψος και μικρό μήκος εκμεταλλεύεται όλη τη ροή της έλικας (ή των ελίκων) και αποδίδει καλλίτερα από ένα άλλο πηδάλιο με ίδια επιφάνεια με το πρώτο, αλλά με μικρότερο ύψος και μεγαλύτερο μήκος.

Στα ρυμουλκά σημαντική διάσταση πέραν του ύψους, είναι το μήκος του πτερυγίου, δεδομένου ότι στον υπολογισμό της ευστάθειας του ρυμουλκού λαμβάνεται υπ' όψιν η προβολή της έλικας επί του πτερυγίου του πηδαλίου όταν αυτό είναι σε γωνία  $45^\circ$ .

### **Η συνολική επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί με τους παρακάτω τρόπους :**

**1.** η συνολική επιφάνεια του πηδαλίου υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση :

$$A = k \times L_{WL} \times d$$

όπου  $L_{WL}$  = μήκος εμφόρτου ισάλου σε μέτρα,  $d$  = έμφορτο βύθισμα, σε μέτρα.

Ο συντελεστής  $k$  λαμβάνει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με τον τύπο του πλοίου :

Τύπος πλοίου	$k$
Μεγάλα δεξαμενόπλοια	$\frac{1}{55} \div \frac{1}{65}$
Μεγάλα φορτηγά ξηρού φορτίου	$\frac{1}{60} \div \frac{1}{70}$
Μεσαίου μεγέθους φορτηγά	$\frac{1}{50} \div \frac{1}{60}$
Ε/Γ – Ο/Γ (Επιβατηγά / Οχηματαγωγά, Ferry boats)	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Ρυμουλκά (Ρ/Κ) ανοικτής θαλάσσης	$\frac{1}{30} \div \frac{1}{40}$
Ρυμουλκά μικρά	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Επιβατηγά πλοία	$\frac{1}{60} \div \frac{1}{70}$
Ποταμόπλοια	$\frac{1}{50} \div \frac{1}{60}$
Αλιευτικά (Α/Κ)	$\frac{1}{20} \div \frac{1}{30}$
Ιστιοφόρα (Ι/Φ)	$\frac{1}{14} \div \frac{1}{16}$
Σκάφη λιμένων	$\frac{1}{12} \div \frac{1}{25}$
Σκάφη προησπισμένων περιοχών	$\frac{1}{40} \div \frac{1}{50}$
Τορπιλάκατοι	$\frac{1}{30} \div \frac{1}{40}$
Αεροπλανοφόρα ή ελικοπτεροφόρα	$\frac{1}{35} \div \frac{1}{45}$
Αντιτορπιλλικά	$\frac{1}{25} \div \frac{1}{35}$
Υποβρύχια	$\frac{1}{40} \div \frac{1}{45}$

(IL GOVERNO DELLA NAVE, EMILIO CASTAGNETO, Pellerano – NAPOLI)

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** : για κάθε τύπο πλοίου οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή , λαμβάνονται για πλοία με μικρότερη ταχύτητα , δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα (δύναμη πηδαλίου , ροπή στρέψεως πηδαλίου) του πηδαλίου μεγαλώνει με το τετράγωνο της ταχύτητας.

**2.** η συνολική επιφάνεια υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση του Νορβηγικού Νηογνώμονα :

$$A = \frac{d \times L}{100} \times \left[ 1 + 25 \times \left( \frac{B}{L} \right)^2 \right] (m^2)$$

όπου  $L$  = το μήκος υπολογισμού του πλοίου σε μέτρα ,  $d$  = έμφορτο βύθισμα, σε μέτρα

$B$  = το πλάτος του πλοίου σε μέτρα.

**3.** η κινούμενη επιφάνεια του πηδαλίου, δεν θα είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση του Γερμανικού Νηογνώμονα (Part 1, Chapter 1, Section 14) :

$$A = c_1 \times c_2 \times c_3 \times c_4 \times \frac{1,75 \times d \times L}{100} \quad (m^2)$$

όπου :  $L$  = το μήκος υπολογισμού του πλοίου σε μέτρα,  $d$  = έμφορτο βύθισμα, σε μέτρα

**Οι συντελεστές ορίζονται :**

**A. Για τον τύπο του πλοίου :**

$c_1 = 1,0$  γενικά

$c_1 = 0,9$  για πλοία φορτίων χύδην (bulk carriers) με εκτόπισμα μεγαλύτερο των 50.000 τόνων

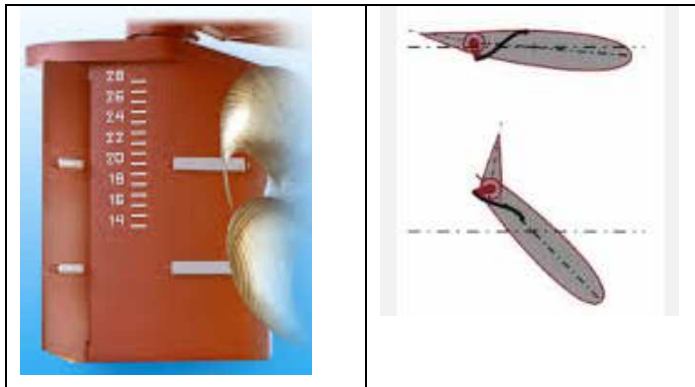
$c_1 = 1,7$  για ρυμουλκά και αλιευτικά.

**B. Για τον τύπο του πηδαλίου :**

$c_2 = 1,0$  γενικά

$c_2 = 0,9$  για ημιζυγασταθμισμένα πηδάλια

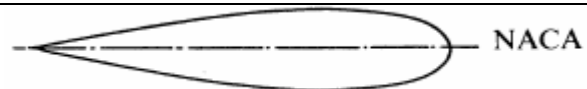
$c_2 = 0,7$  για μεγάλης δύναμης (διπλής ενέργειας)



**Σχήμα -37-**

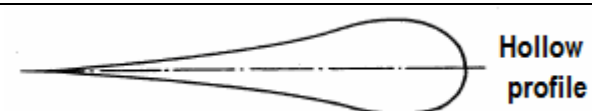
**Γ. Για την τομή του πηδαλίου :**

$c_3 = 1,0$  για προφίλ NACA



**Σχήμα -38-**

$c_3 = 0,8$  για κοίλα προφίλ εκτός μορφής NACA (hollow profiles)



**Σχήμα -39-**

**Δ. Για τη θέση του πηδαλίου :**

$c_4 = 1,0$  για πηδάλια πίσω από την έλικα

$c_4 = 1,5$  για πηδάλια έξω από το ρεύμα της έλικας.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** : όταν τοποθετούνται περισσότερα του ενός πηδάλια , η επιφάνεια του κάθε πηδαλίου μπορεί να μειωθεί στο 20 % της επιφάνειας που υπολογίστηκε από τον παραπάνω τύπο.

**10. ΤΥΠΟΙ ΠΗΔΑΛΙΩΝ**

Οι τύποι των πηδαλίων σχετίζονται με την καθ' ύψος κατανομή της επιφάνειας του πτερυγίου του πηδαλίου πρύμα και πώρα σε σχέση με τον άξονα περιστροφής .

Έτσι υπάρχουν τα **ζυγοσταθμισμένα** πηδάλια και τα **μερικώς ζυγοσταθμισμένα** (ή **ημι-ζυγοσταθμισμένα**) πηδάλια.

Τα **ζυγοσταθμισμένα** πηδάλια είναι εκείνα στα οποία η επιφάνεια διαμοιράζεται πώραθεν και πρύμνηθεν του άξονα περιστροφής καθ' όλο το ύψος του πηδαλίου.

Ο τύπος αυτός του πηδαλίου χρησιμοποιείται σε διπλέλικα πλοία , τετραπλέλικα και σε τριπλέλικα πολεμικά πλοία , σε ταχύπλοα και μεγάλα επιβατηγά πλοία .

Τα **μερικώς ζυγοσταθμισμένα** (ή **ημι-ζυγοσταθμισμένα**) πηδάλια είναι εκείνα στα οποία η επιφάνεια πώραθεν του άξονα περιστροφής είναι μικρότερη από την επιφάνεια πρύμνηθεν του άξονα περιστροφής ( δηλαδή δεν διαμοιράζεται καθ' όλο το ύψος του πηδαλίου η επιφάνεια του πηδαλίου ).

Πηδάλια τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολεμικά πλοία και στα διπλέλικα επιβατηγά που έχουν μορφή πρύμνης καταδρομικού

Στα πηδάλια αυτά το ύψος της πωραίας επιφάνειας είναι συνήθως το μισό της πρυμναίας .

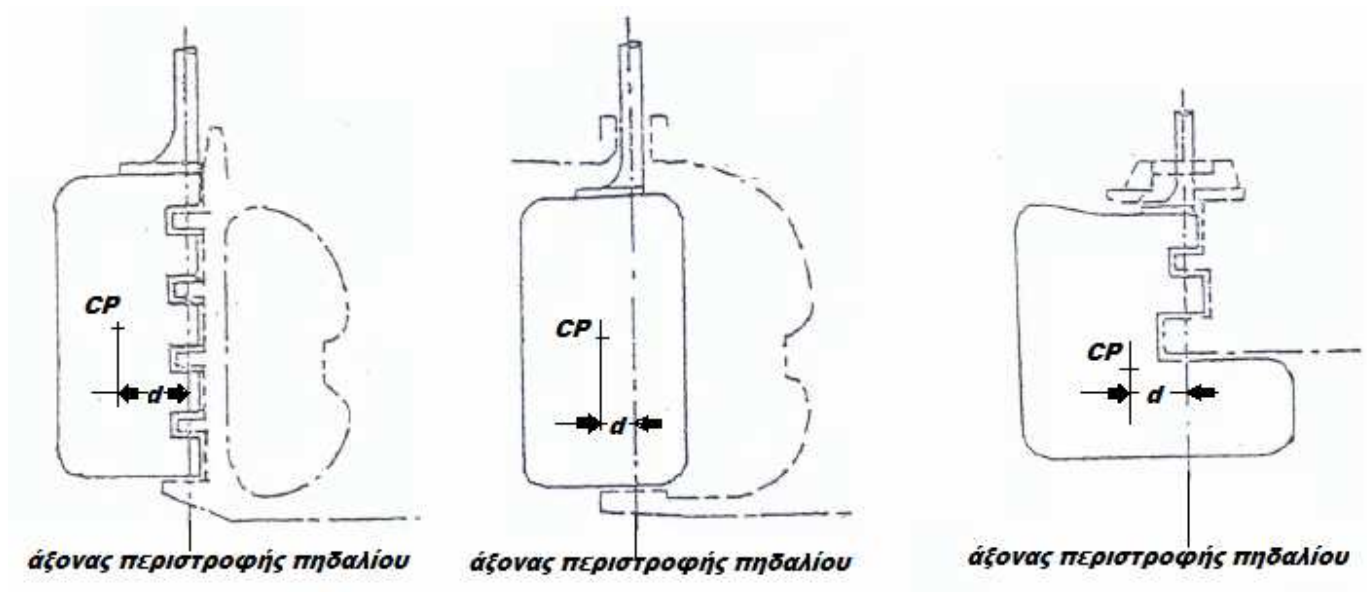
Η διανομή αυτή παίζει σπουδαίο ρόλο για την επίδραση του ρεύματος της έλικας εάν ληφθεί υπ' όψιν ότι η πωραία αυτή επιφάνεια δέχεται την επίδραση του ισχυρού ρεύματος του κάτω ημικυκλίου της έλικας.

(Τα κοινά πηδάλια που περιγράφησαν παραπάνω , είναι **μη ζυγοσταθμισμένα πηδάλια** , δεδομένου ότι όλη η επιφάνεια του πηδαλίου ευρίσκεται καθ' όλο το ύψος του πηδαλίου πρύμνηθεν του άξονα περιστροφής) .

Η έννοια της **ζυγοσταθμισμένης επιφάνειας** του πηδαλίου αναφέρεται στη σχετική θέση μεταξύ του κέντρου εφαρμογής CP της δύναμης του πηδαλίου από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου.

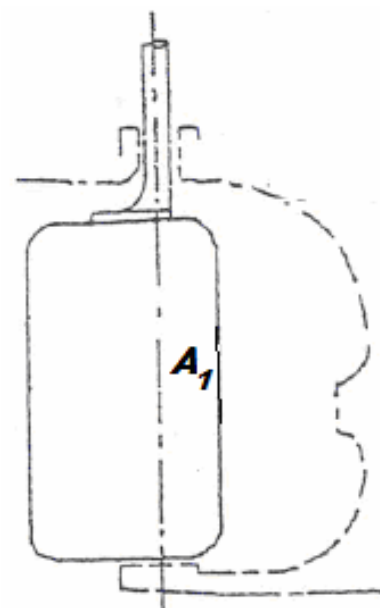
**Σκοπός της ζυγοστάθμισης** είναι να πλησιάσει το κέντρο εφαρμογής CP της δύναμης του πηδαλίου προς τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου , **δηλαδή σκοπός είναι να μειωθεί η απόσταση d**, έτσι ώστε η ροπή που σχηματίζεται για την περιστροφή του πηδαλίου να είναι μικρή , και συνεπώς μειώνεται και το αντίστοιχο κινητήριο έργο.

Όπως άλλωστε είναι γνωστό , η ροπή ισούται με το γινόμενο της δύναμης του πηδαλίου επί την απόσταση του σημείου εφαρμογής της από τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου.



Σχήμα 40

Εάν  $A_1$  είναι η επιφάνεια που ευρίσκεται πρόωθεν του άξονα περιστροφής του πηδαλίου και  $A_{ΟΛ}$  είναι η ολική επιφάνεια του πηδαλίου ,



Σχήμα 41

τότε ο λόγος  $k = \frac{A_1}{A_{ΟΛ}}$  λέγεται **ΠΟΣΟΣΤΟ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗΣ**.

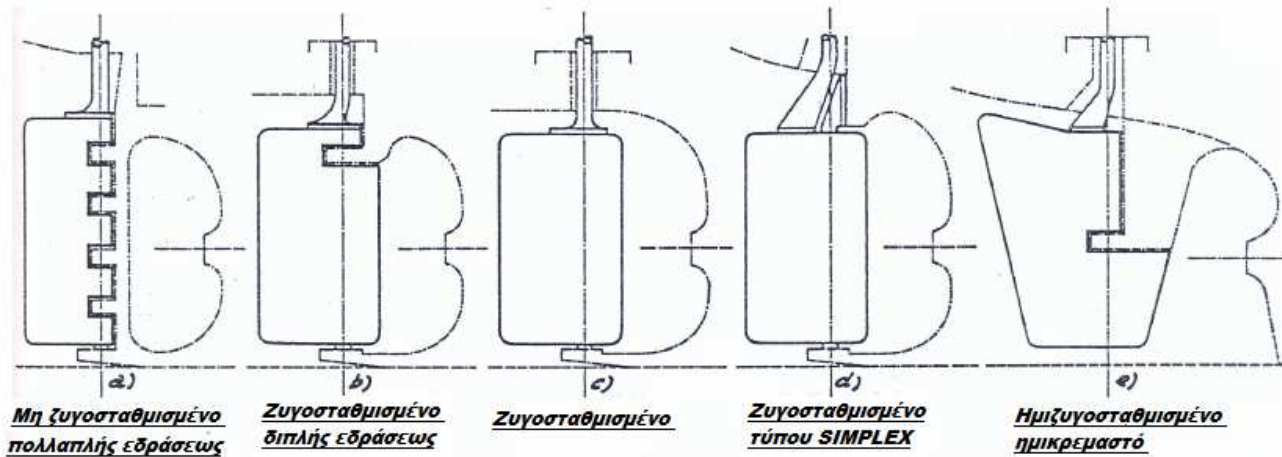
Το ποσοστό ζυγοστάθμισης κυμαίνεται γενικά μεταξύ 0,10 έως 0,25 και μπορεί να φτάσει μέχρι και 0,30.

Οι τιμές του ποσοστού ζυγοστάθμισης ενδεικτικά μπορεί να ληφθεί :

	k
Φορτηγά πλοία	(*) 0,00 ÷ 0,15
Επιβατηγά πλοία	0,15 ÷ 0,25
Μεγάλα πολεμικά πλοία	0,20 ÷ 0,25
Μικρά πολεμικά πλοία	0,20 ÷ 0,30

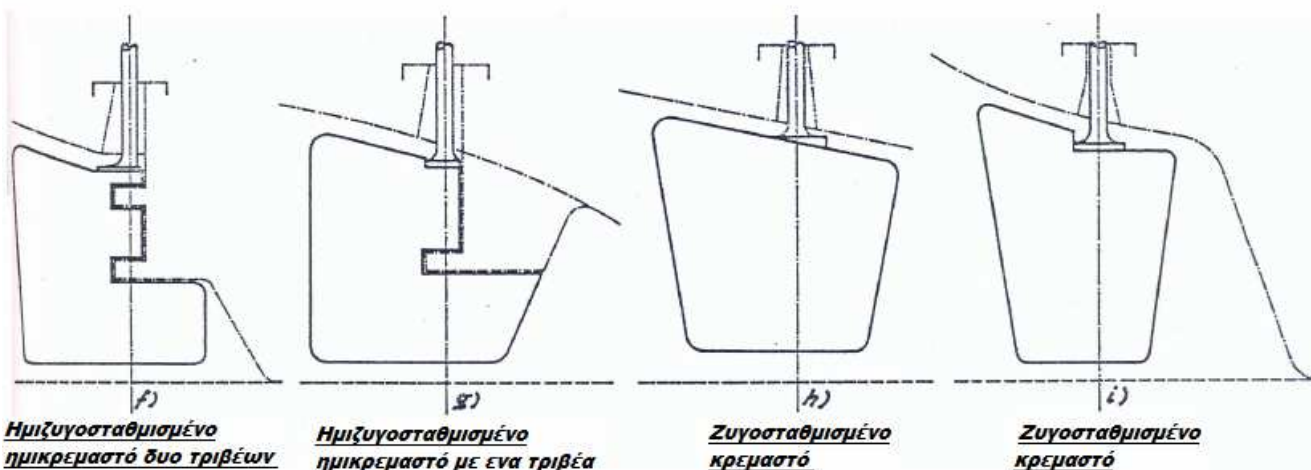
(\*) = η τιμή 0,00 σημαίνει πηδάλιο μη ζυγοσταθμισμένο.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΗΔΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕ ΜΙΑ ΕΛΙΚΑ**



Σχήμα 42

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΗΔΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑ ΜΕ (2) Η (4) ΕΛΙΚΕΣ**



Σχήμα 43

## **11. Μορφή τομής πηδαλίων**

Είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει ένα γενικό κριτήριο για την εκλογή του μεγέθους του πηδαλίου που να ισχύει για όλες τις κατηγορίες των πλοίων, αφ' ενός διότι για κάθε πλοίο διαφέρει η απαιτούμενη ικανότητα ελιγμών, αφ' ετέρου το γενικό σχήμα του κάθε πλοίου επιβάλλει περιορισμούς.

Μπορεί γενικά να ειπωθεί ότι για πλοία στα οποία απαιτείται μεγάλη ικανότητα ελιγμών, όπως τα πολεμικά πλοία όλων των κατηγοριών, τα ρυμουλκά και τα πορθμεία, τα πηδάλια έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια από τα άλλα εμπορικά πλοία.

Διαφορές επίσης υπάρχουν και μεταξύ εμπορικών πλοίων, διαφορές οι οποίες εξαρτώνται από τους ειδικούς όρους εργασίας, όπως συχνή πορεία με μικρή ταχύτητα, συχνή είσοδος σε δύσκολα λιμάνια ή πορεία σε στενούς ποταμούς και στενά κανάλια.

Έτσι, ενώ γενικά τοποθετείται ένα πηδάλιο στην πρύμνη του πλοίου και στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, για πλοία με μεγάλη ταχύτητα ή πλοία με ανάγκη συχνών και δύσκολων ελιγμών τοποθετούνται δύο πηδάλια συμμετρικά ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και πίσω από κάθε έλικα. Επίσης, σύμφωνα με τη νομοθεσία για τα επιβατηγά πλοία απαιτείται η τοποθέτηση δύο τουλάχιστον πηδαλίων πίσω από κάθε έλικα (σημειώνεται ότι οι πλόες και ο αριθμός επιβατών για ένα επιβατηγό πλοίο περιορίζονται εάν σε αυτό υπάρχει μια μηχανή πρόωσης).

Για όλα τα πηδάλια υπάρχει η προσοχή το κατώτερο τμήμα του να είναι πάνω από την γραμμή της τρόπιδας για λόγους προστασίας σε πιθανό κτύπημα στον θαλάσσιο πυθμένα αλλά και για λόγους προστασίας κατά την είσοδο στη δεξαμενή.

Συχνά η επιφάνεια του πηδαλίου εκλέγεται σε σύγκριση με άλλο πλοίο ίδιου τύπου, για το οποίο έχει αποδειχθεί κατά τη λειτουργία του έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα ελιγμών.

Το κριτήριο σύγκρισης είναι το γινόμενο μήκους επί το βύθισμα, ή η επιφάνεια του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας. Επειδή ο λόγος αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με τη φόρτωση του πλοίου, πρέπει να εξετάζεται και η κατάσταση φόρτωσης, με την έμφορτη κατάσταση να δίδει αποτελέσματα μέγιστου υπολογισμού.

Τα πηδάλια είναι δυνατό να είναι κατασκευασμένα :

- από ένα μόνο έλασμα, τα μονοελασμάτινα πηδάλια, ή
- πηδάλια με διπλό έλασμα, τα κοίλα πηδάλια.

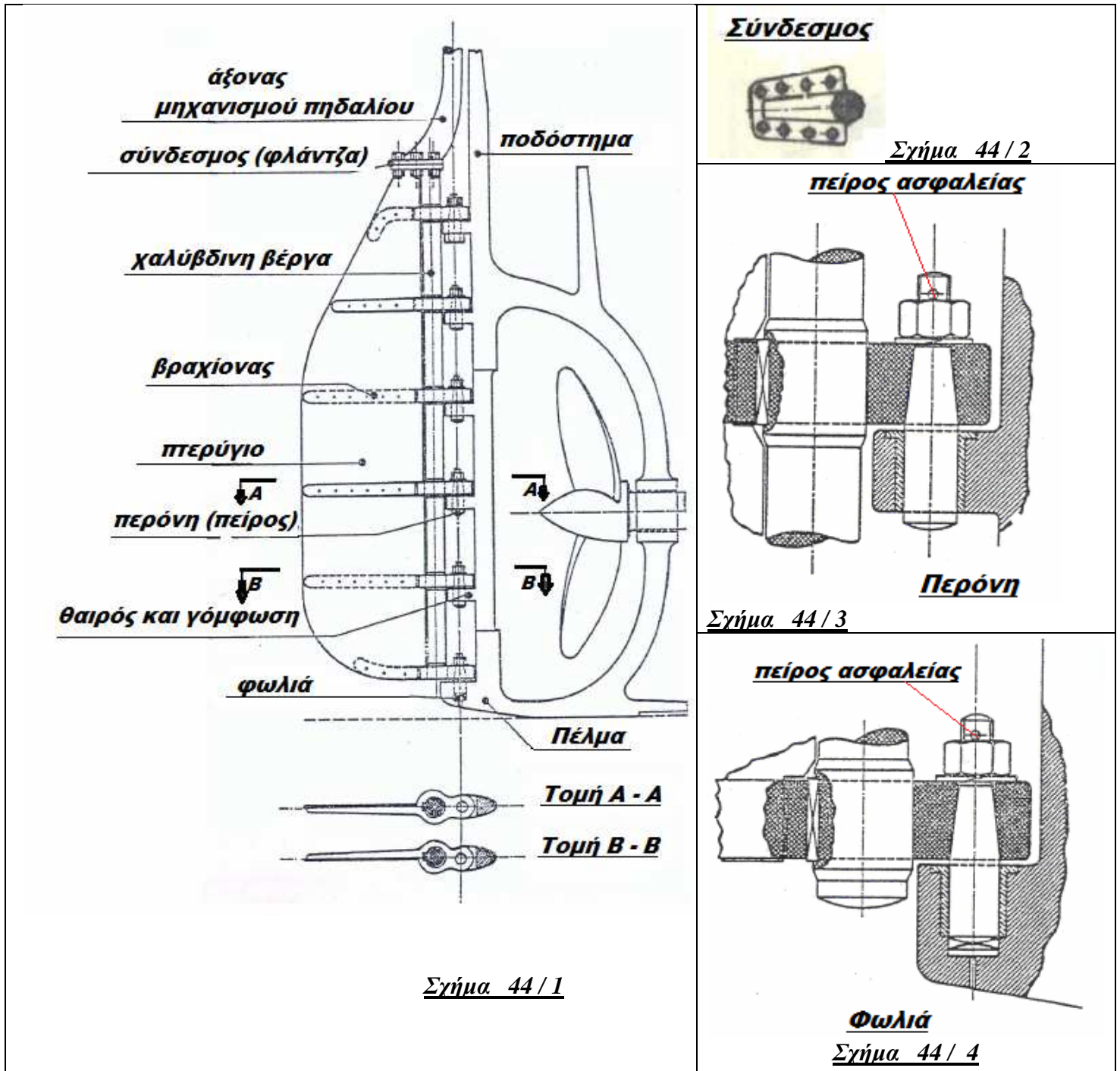
### **11.1 Κοινό πηδάλιο (μονο - ελασμάτινο)**

Τα πηδάλια παλαιότερα ήταν μονοελασμάτινα, ενώ σήμερα κατασκευάζονται για πλοία μικρών διαστάσεων και χαμηλής ταχύτητας (π.χ. τρεχαντήρια, ιστιοπλοϊκά κ.α.).

Το σχήμα του πηδαλίου τέτοιου τύπου, που έχει μεγάλο βάθος (ύψος) και μικρό πλάτος (έχει στενόμακρη μορφή), μπορεί να είναι ορθογώνιο, ελλειπτικό, τριγωνικό προς τα πάνω. Το πιο σύνηθες σχήμα είναι το ορθογώνιο το οποίο, σε σχέση με τα άλλου σχήματος κοινά πηδάλια, είναι πιο απλό περισσότερο ισχυρό στην κατασκευή του και συνεπώς περισσότερο ασφαλές.



Αποτελούνται ( Σχήμα 44 / 1 ) από μια κατακόρυφη χαλύβδινη βέργα κατάλληλης διαμέτρου στην οποία είναι προσαρμοσμένος ένας αριθμός βραχιόνων που στηρίζουν το έλασμα που αποτελεί το πτερύγιο του πηδαλίου. Στο άνω μέρος της βέργας υπάρχει κατάλληλος σύνδεσμος (φλάντζα , Σχήμα 44 / 2 ) η οποία με βίδες συνδέεται με τη φλάντζα του άξονα του μηχανισμού περιστροφής του πηδαλίου .



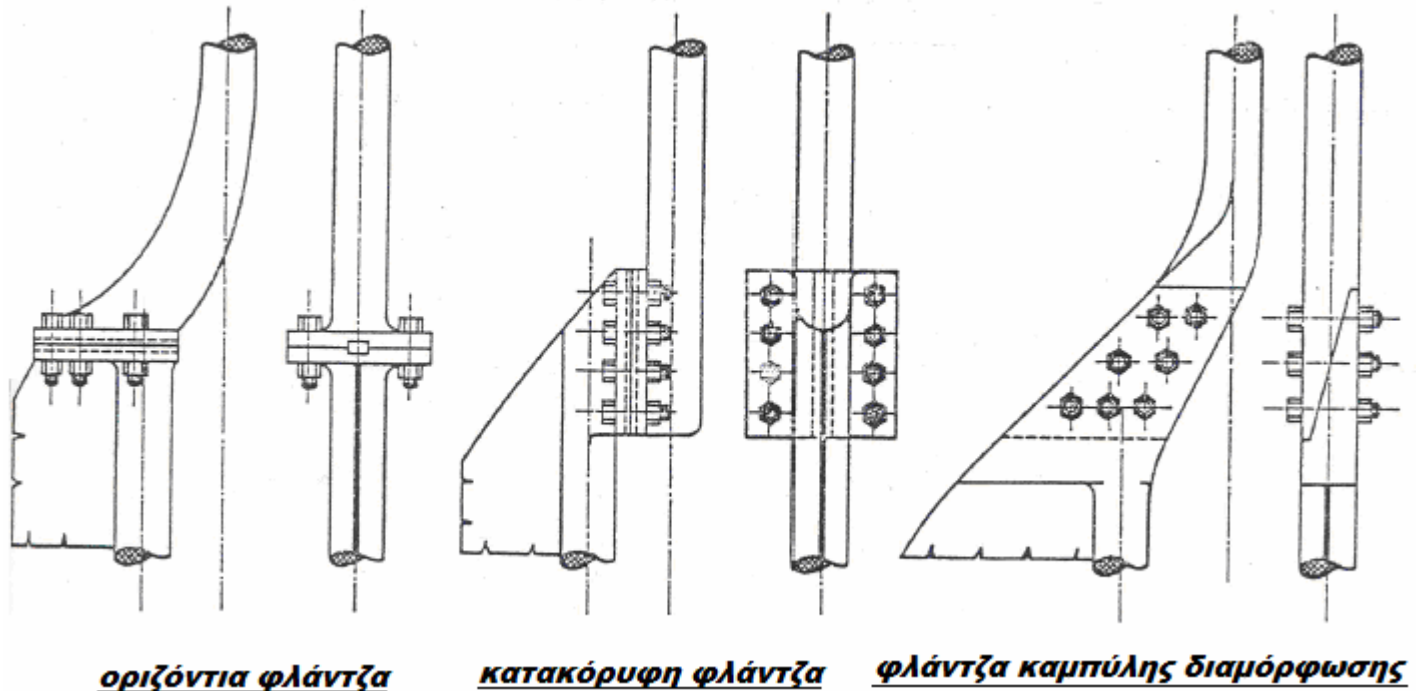
Σχήμα 44

Στο προωαίο τμήμα του πτερυγίου υπάρχουν οι διατάξεις στήριξης και περιστροφής του πηδαλίου , η περόνη ( Σχήμα 44 / 3 ) και η φωλιά ( Σχήμα 44 / 4 ) .



Στις περόνες και στη φωλιά υπάρχουν οι πείροι στήριξης οι οποίοι στο άνω μέρος έχουν ένα τμήμα με σπείρωμα , ακολούθως υπάρχει ένα κωνικό τμήμα και στο τέλος ένα τμήμα κυλινδρικό κυκλικής διατομής. Για την αποφυγή χαλάρωσης του περικοχλίου (παξιμάδι) εξ αιτίας δονήσεων τοποθετείται **πείρος ασφαλείας**

Η σύνδεση μπορεί να γίνεται με κάθετη φλάντζα , με οριζόντια φλάντζα ή με φλάντζα καμπύλης διαμόρφωσης (Σχήμα 45 ).



**Σχήμα 45**

Η χαλύβδινη βέργα στο σημείο σύνδεσης με τον άξονα του μηχανισμού πηδαλιού έχει την ίδια με αυτόν διάμετρο , ενώ προς τα κάτω η διάμετρός της ελαττώνεται ώστε στο χαμηλότερο βραχίονα να έχει διάμετρο ίση με το 75 % της διαμέτρου στο ανώτερο σημείο.

Ενισχύονται με κατάλληλες ενισχύσεις (βραχίονες) τοποθετημένες εναλλάξ από τις δύο πλευρές του περυγίου σε αποστάσεις.

Η διάμετρος του κορμού , η απόσταση και οι διαστάσεις των βραχιόνων , το πάχος του ελάσματος του περυγίου , οι διαστάσεις του συνδέσμου και των πείρων (βελονιών) δίδονται από τους κανονισμούς των νηογνομόνων .

## **11.2 Πηδάλια με διπλό έλασμα ( κοίλα πηδάλια )**

Η αρχή της κατασκευής των πηδαλιών βασίστηκε στην προσπάθεια (όπως και η κατασκευή του ποδοστήματος ) να διαμορφωθούν σε υδροδυναμική μορφή ώστε να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση λόγω του σχήματος αυτού ικανοποιητικών αποτελεσμάτων , όπως η μείωση της αντίστασης και η μετατόπιση του κέντρου πίεσεως προς τον άξονα. Επίσης η ταχύτητα του νερού που προσπίπτει στο πηδάλιο από την έλικα είναι μεγαλύτερη (εξ αιτίας του υδροδυναμικού σχήματος του πηδαλιού) σε σχέση με το κοινό πηδάλιο με αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης του πηδαλιού.

Η αντικατάσταση του μονοελασμάτινου πηδαλίου από πηδάλιο υδροδυναμικής μορφής , ελάττωσε την υποδύναμη του μηχανισμού πηδαλιούχησης κατά 15 % για την ίδια περίπου ταχύτητα.

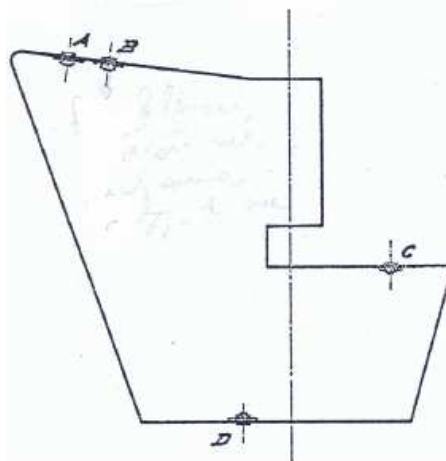
Τα πηδάλια διπλού ελάσματος έχουν υδροδυναμική μορφή , αποτελούνται από διπλό εξωτερικό περίβλημα , στο εσωτερικό τοποθετούνται κατακόρυφα και οριζόντια ενισχυτικά ( διαφράγματα ) , με ενσωματωμένο ή όχι τον άξονα (ως κατακόρυφο ενισχυτικό στη θέση του άξονα περιστροφής).

Σε σχέση με τα κοινά (μονοελασμάτινα) πηδάλια , ο τύπος αυτός του πηδαλίου έχει ελαφρύτερη κατασκευή , δέχεται μεγαλύτερη άνωση με συνέπεια να καταπονείται λιγότερο η κατασκευή στήριξης στην πρυμναία περιοχή θέσης του πηδαλίου , η δε υδροδυναμική μορφή έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη αντίσταση παρελκομένων .

Η πλειονότητα αυτού του τύπου πηδαλίων είναι κατασκευασμένα ηλεκτροσυγκολλητά και επειδή οι μειωμένες εσωτερικές διαστάσεις καθιστούν πρακτικά αδύνατη την επισκευσιμότητα , για την κατασκευή του πηδαλίου αυτού του τύπου ακολουθείται η διαδικασία εξωτερικής ολοκλήρωσης, δηλαδή η συγκόλληση με εγκοπές (λουμπάρια , slot welding) , διαδικασία η οποία ακολουθείται και σε άλλες περιοχές του πλοίου όπως για παράδειγμα χαμηλά στην πρυμναία περιοχή (skeg , κότσι) .

Η ένωση των ελασμάτων εξωτερικού περιβλήματος (επένδυσης) του πηδαλίου , πρέπει να γίνεται με απόλυτη επιμέλεια και ακρίβεια ώστε να αποφευχθεί η είσοδος υδάτων στο εσωτερικό του πηδαλίου με αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους του και τη γρήγορη επιδείνωση της κατάστασης (οξειδωση) των κατασκευαστικών στοιχείων του πηδαλίου. Όταν τελειώσει η κατασκευή του πηδαλίου , για τον έλεγχο της κατασκευής γίνεται έλεγχος στεγανότητας με εσωτερική υδροστατική πίεση ( $p = (1,5 \div 1,7) \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$ ).

Το νερό πρεσσάρεται στο εσωτερικό του πηδαλίου δια μέσου της οπής (με σπείρωμα) D που είναι στο κάτω διάφραγμα , ενώ η εξαγωγή του αέρα για την πλήρωση με νερό του πηδαλίου γίνεται από αντίστοιχη οπή (ή οπές ανάλογα με την κατασκευαστική δομή του κάθε πηδαλίου) στο άνω διάφραγμα (στο σχήμα Α και Β). Στη συνέχεια διαπιστώνεται εάν υπάρχει διαρροή από τις κολλήσεις ή τις οπές , οπότε είτε γίνεται επισκευή εάν απαιτείται , είτε ανοίγει η οπή στο κάτω διάφραγμα και το νερό στραγγίζει.

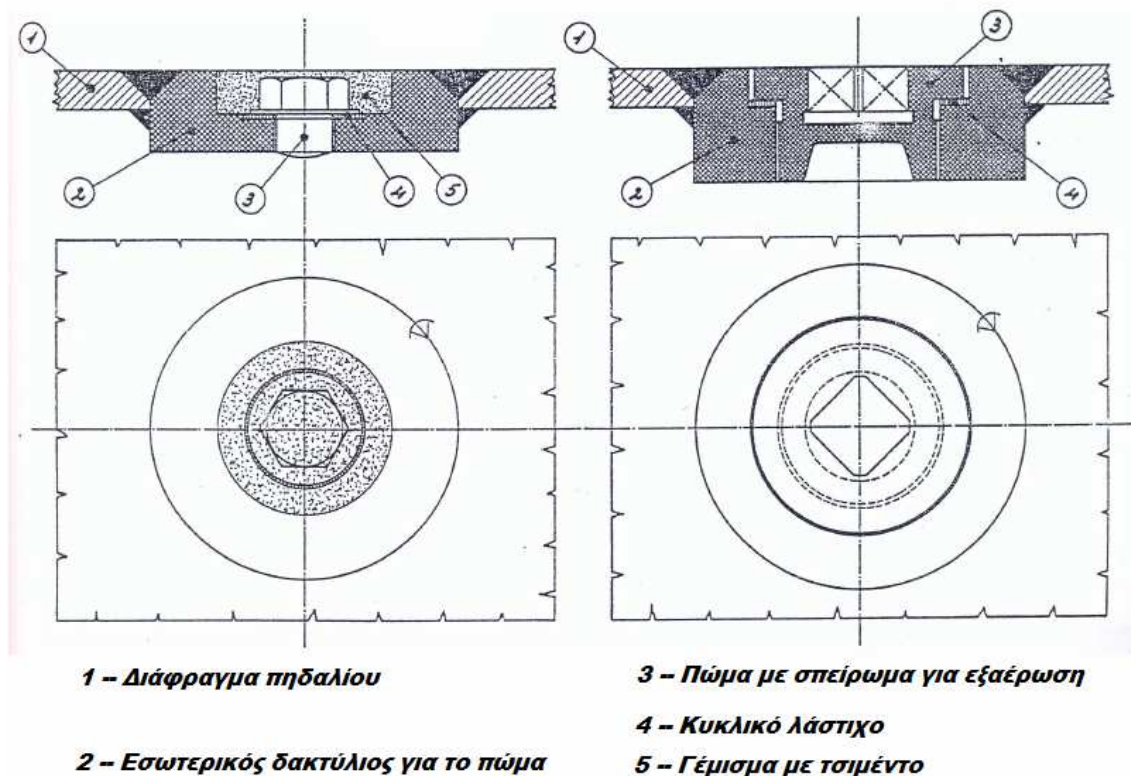


Σχήμα 46

Για την αποφυγή να βαρύνει το πηδάλιο σε περίπτωση εισόδου νερού , τα κενά γεμίζονταν με τεμάχια ξύλου ανακατεμένα με τριμμένο φελλό. Όμως δεν ήταν ικανοποιητική λύση διότι με την είσοδο ακόμα και ελάχιστης ποσότητας νερού το ξύλο σάπιζε και οξειδώνονταν γρήγορα τα κατασκευαστικά στοιχεία. Καλλίτερη λύση ήταν να γεμίζονται εσωτερικά τα πηδάλια με πολυουρεθάνη.

Τελικά , όταν έχει ελεγχθεί και διαπιστωθεί η στεγανότητα του πηδαλίου , ακολουθείται η μέθοδος της εσωτερικής βαφής του πηδαλίου με ορυκτή άσφαλτο (κατράμι , πίσσα , bitumen) . Στο πηδάλιο του **σχήματος 46** , αυτό γεμίζεται με κατράμι από την οπή **A** έχοντας κλείσει με πώμα την οπή **D** και έχοντας αφήσει ανοικτές για εξαγωγή του αέρα αρχικά τις οπές **B** και **C** και μετά για τον ίδιο λόγο μόνο την οπή **B**. Το κατράμι καλύπτει όλες τις επιφάνειες των κατασκευαστικών στοιχείων του πηδαλίου περνώντας και μέσα από τις οπές ελάφρυνσης των οριζόντιων και κατακόρυφων διαφραγμάτων . Όταν διαπιστωθεί ότι το πηδάλιο έχει γεμίσει εντελώς , αφαιρείται το πώμα της οπής **D** και στραγγίζει το περιεχόμενο διατηρώντας για λίγο κλειστή την οπή **C** .

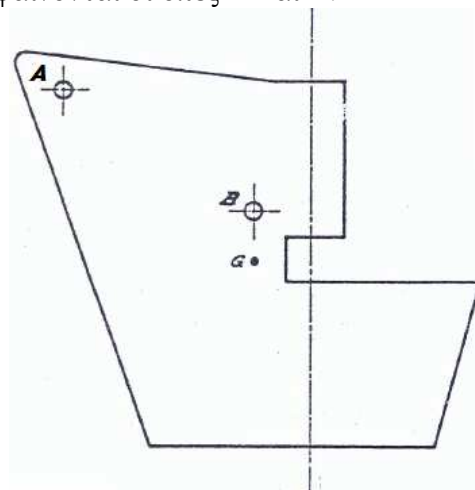
Στο παρακάτω **σχήμα 47** παρουσιάζονται δύο υποδείγματα οπών με τα αντίστοιχα πώματα.



**Σχήμα 47**

Επίσης , σε κάθε πηδάλιο υπάρχουν στοιχεία για χρήση ανάγκης του πηδαλίου και για την τοποθέτηση του πηδαλίου στη φάση του εξοπλισμού του πλοίου , στην εξάρμωση και επανατοποθέτησή στο σκάφος σε εργασίες επισκευής .

Στο **σχήμα 48** και στο **σχήμα 49** φαίνονται οι οπές **A** και **B**.



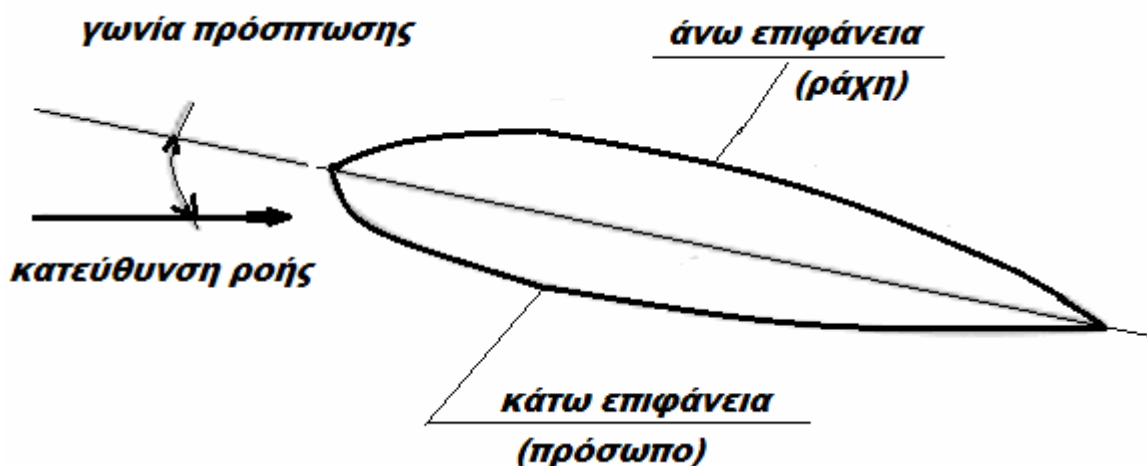
**Σχήμα 48**



### 11.3 Κοίλα πηδάλια υδροδυναμικής μορφής

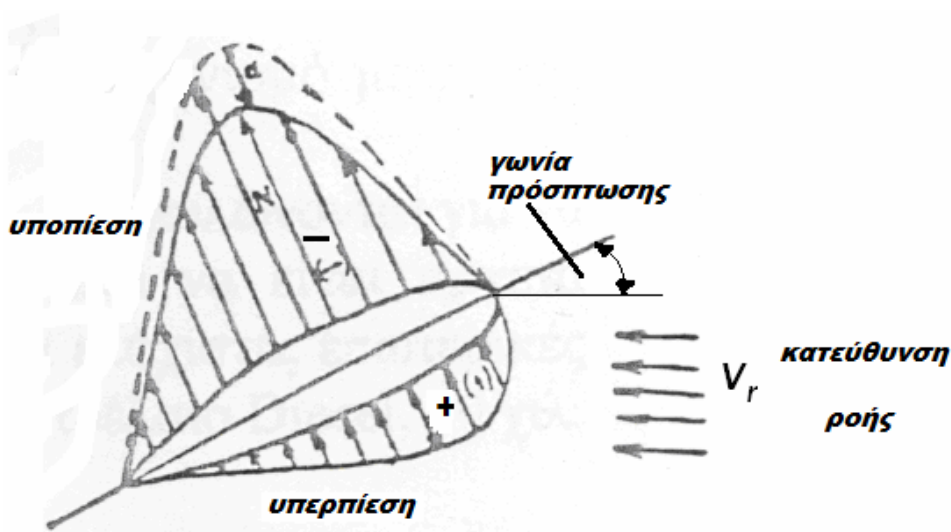
Τα πηδάλια αυτά έχουν μορφή πτερυγίου και κατασκευάζονται με τομή (υδρο) δυναμικής μορφής της NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*, ομοσπονδιακός οργανισμός που ιδρύθηκε 3/3/1915 με σκοπό τις αεροναυτικές έρευνες. Την 1/10/1958 διαλύθηκε και όλες οι δραστηριότητες και το προσωπικό μεταφέρθηκαν στο νεοιδρυθέντα οργανισμό NASA = *National Aeronautics and Space Administration.* ), με σημαντικό ερευνητικό έργο, μέρος του οποίου είναι οι ομώνυμες σειρές πτερυγίων.

Το πτερύγιο είναι ένα στερεό σώμα με διαμόρφωση τέτοια ώστε όταν τεθεί σε κινούμενο ρευστό κατά μια γωνία ως προς τη ροή (γωνία πρόσπτωσης) δημιουργείται μια διαφορά πίεσης μεταξύ της άνω και κάτω επιφάνειάς του.



Σχήμα 50

Η πρόσπτωση του ρευστού εξασκεί μια υπερπίεση (+) στην κάτω επιφάνεια (πρόσωπο) και μια υποπίεση (-)

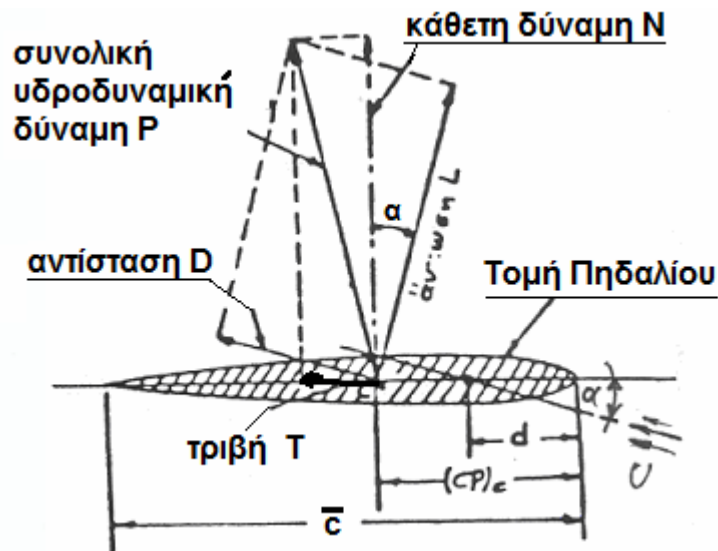


Σχήμα 51



στην άνω επιφάνεια (ράχη) με αποτέλεσμα τη δημιουργία δυνάμεων .

Η συνολική υδροδυναμική δύναμη  $P$  αναλύεται στη δύναμη  $L$  , η οποία ονομάζεται δύναμη ανύψωσης (άνωση) (lift) κάθετη στη διεύθυνση της ταχύτητας ροής  $V$  και στη δύναμη  $D$  (drag) παράλληλη στη διεύθυνση της ταχύτητας ροής. Η κάθετη συνιστώσα  $N$  της συνολικής υδροδυναμικής  $P$  στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου , είναι και ο λόγος ύπαρξης του πηδαλίου.



Σχήμα 52

Οι έρευνες του οργανισμού NACA είχαν ως αποτέλεσμα σχεδίαση μορφών πτερυγίων που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές .

Το προφίλ κάθε πτερυγίου NACA προσδιορίζεται από 4 χαρακτήρες :

- ο πρώτος χαρακτήρας περιγράφει τη μέγιστη κυρτότητα ως ποσοστό της χορδής.
- Ο δεύτερος χαρακτήρας προσδιορίζει την απόσταση της μέγιστης κυρτότητας από την προσθία ακμή (ακμή εισόδου , ακμή πρόσπτωσης ) του πτερυγίου σε δέκατα ποσοστού της χορδής .
- Οι δύο τελευταίοι χαρακτήρες προσδιορίζουν το μέγιστο πλάτος της χορδής ως ποσοστό του μήκους της χορδής.

### 1° Παράδειγμα :

- NACA 2412 : μέγιστη κυρτότητα 2 % στη θέση 40 % (0,4) από την ακμή εισόδου και μέγιστο πλάτος 12 % της χορδής.

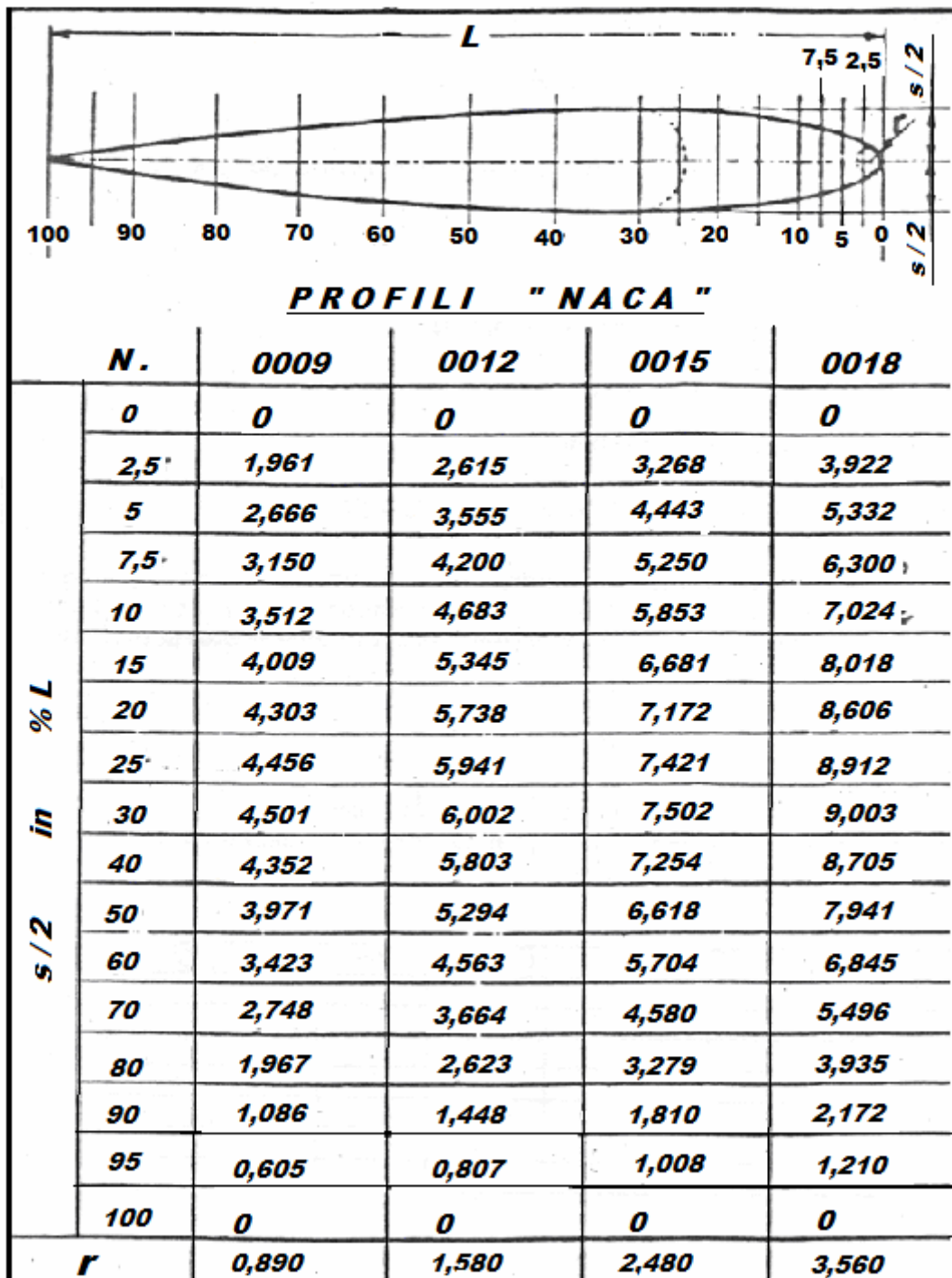
### 2° Παράδειγμα :

- NACA 0015 : οι πρώτοι χαρακτήρες 00 δηλώνουν ότι το προφίλ αυτό δεν παρουσιάζει κυρτότητα και ότι είναι συμμετρικό ως προς την αξονική γραμμή του . Το 15 σημαίνει ότι το πτερύγιο έχει 15 % λόγο πλάτους προς μήκος της χορδής .

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο πίνακας NACA με τα στοιχεία τεσσάρων προφίλ πτερυγίων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση των πτερυγίων των πηδαλίων των πλοίων.

### 11.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΝΑCΑ

1. Εμπορικά πλοία με -1- έλικα ...: NACA 0018  $\frac{s_{MAX}}{l} = 0,18$
2. Εμπορικά πλοία με -2- έλικες ...: NACA 0015  $\frac{s_{MAX}}{l} = 0,15$
3. Πολεμικά πλοία με -2- έλικα ...: NACA 0012  $\frac{s_{MAX}}{l} = 0,12$
4. Γρήγορα πλοία ..... : NACA 0009  $\frac{s_{MAX}}{l} = 0,09$

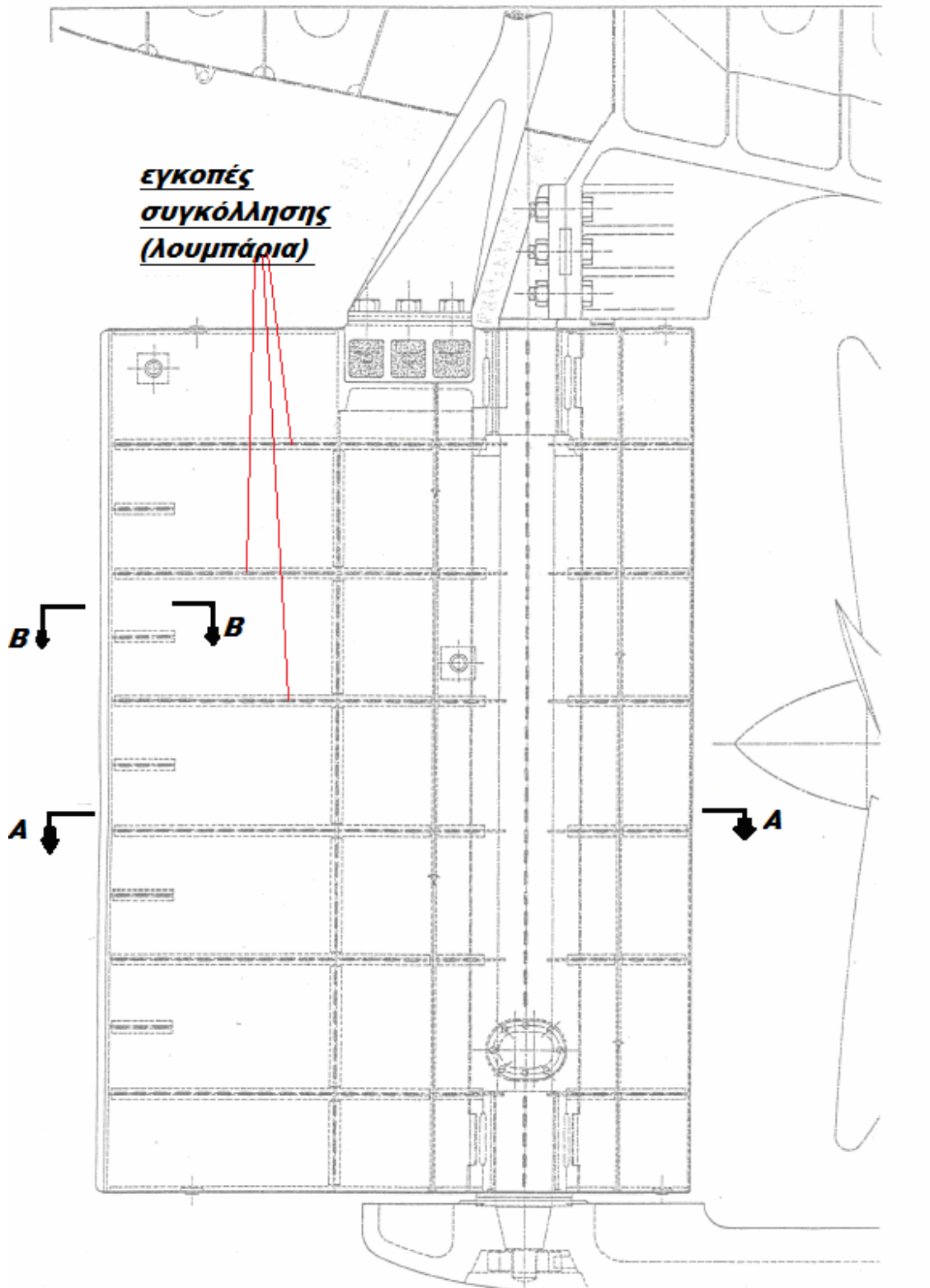


Amedeo Morvillo , ALLESTIMENTO NAVALE L' ATENEO , Napoli

Σχήμα 53

## 12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Στο σχήμα 54, παρουσιάζεται πηδάλιο μονέλικου πλοίου και περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής του .



σχήμα 54.

Όλη η κατασκευή είναι συγκολλητή και τα αντίστοιχα κορδόνια υπολογίζονται από τους κανονισμούς (στην επόμενη σελίδα παρατίθενται οι σχετικοί πίνακες από τους κανονισμούς του Αμερικάνικου Νηογνώμονα A.B.S.).



**12.1 Κανονισμοί A.B.S. (Αμερικάνικος Νηογνώμων) για συγκολλήσεις**

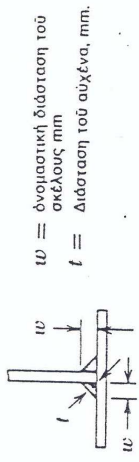
**ΠΙΝΑΚΑΣ 30.1**  
**Διαστάσεις Διπλών Συνεχών Γωνιακών Συγκολλήσεων — Χιλιοστά**

Για τις συγκολλήσεις παχών ενδιαιμένων τών αναφερόμενων στον Πίνακα, χρησιμοποιήσατε το πλησιέστερο μικρότερο πάχος.

Για πάχη μικρότερα από 8 mm ή διάσταση του σκέλους δεν θα είναι μικρότερη από 0.625t, εκτός από τις χωρίς άγκυρες συνδέσεις άκρων όπου θα είναι 0.7t. Το πάχος t είναι το μικρότερο από τα πάχη των συγκολλούμενων μελών εκτός από όταν έχει εφαρμογή η Σημείωση 1 του τέλους του Πίνακα. Η διάσταση του σκέλους δεν θα είναι μικρότερη από 4,5 mm.

Για πλώια που πρόκειται να καταταγούν σαν πετρελαιοφόρα «Oil Carriers» ή διάσταση του σκέλους μέσα στις δεξαμενές φορτίου ή έρματος που βρίσκονται στο χώρο του φορτίου δεν θα είναι μικρότερη από 6 mm εκτός από όπου έχει δοθεί διαφορετική έγκριση σύμφωνα με τις 30.9.2a ή b.

\*Όπου αναφέρονται οι Τύποι Α ή Β, συγκόλλησης στη στήλη των Κατασκευαστικών Μελών, αναφερθείτε στην 30.9.7 για τη περιγραφή και τη διάταξη των συγκολλήσεων αυτών.



w = όνομαστική διάσταση του σκέλους mm  
l = Διάσταση του σπύχνα, mm.

Διαστάσεις συγκολλήσεως για το λεπτότερο από τα συγκολλούμενα μέλη mm

Κατασκευαστικά Μέλη	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
<b>Πηδάλια</b>																			
— Οριζόντια Διαφράγματα																			
Με τα ελάσματα τών πλευρών.	ic	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0
	l	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5
Με τα κατακόρυφα διαφράγματα στη περιοχή του άξονα περιστροφής	ic	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0
	l	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.0	8.5	9.0	9.0	9.5	10.0
— Κατακόρυφα Διαφράγματα																			
Με τα ελάσματα τών πλευρών	ic	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0
	l	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5
Με τα οριζόντια διαφράγματα	ic	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.5	7.5	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0
	l	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5
Στην περιοχή του άξονα περιστροφής με τα χιτά του πάνω και του κάτω πώλου																			
— Έλασματα τών Πλευρών																			
Λοιπά (Βλέπε τη Σημείωση 4)	ic	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0
	l	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.0	8.5	8.5	9.0	9.5	10.0

ημειώσεις  
 1 Η διάσταση της συγκόλλησης θα καθορίζεται από τα πάχη των συγκολλούμενων μελών.  
 2 Διαμήκεις ορθογωνικής διατομής — όπου το πάχος που καθορίζει τις διαστάσεις της συγκόλλησης είναι μεγαλύτερο από 25 mm ή διάσταση των σκελών δεν θα είναι μικρότερη από 0,3 επί το πάχος αυτό, αλλά δεν χρειάζεται και να είναι μεγαλύτερη από 8 mm έφ' όσον το μικρότερο από τα συγκολλούμενα πάχη δεν είναι μεγαλύτερο από 34 mm. \*Όπου το μικρότερο πάχος των συγκολλούμενων μελών είναι μεγαλύτερο από 34 mm ή διαστάσεις της συγκόλλησης θα καθορίζεται ιδιαίτέρως κατά περίπτωση.  
 3 Η περίπτωση αυτή έχει εφαρμογή μόνο όταν οι διαμητικές δυνάμεις μέσα στο μεσαίο μισό άνοιγμα δεν είναι μεγαλύτερες από το μισό της

μέγιστης τιμής που φθάνουν στο υπόλοιπο μέλος, ή δε ψυχή έχει τό ίδιο ύψος μεταξύ των άγκων των άκρων, και το ίδιο πάχος σε όλο το μήκος του μέλους. Οι διαστάσεις των συγκολλήσεων θα καθορίζονται από το πάχος του, προς συγκόλληση μέλους.  
 4 Οι διαστάσεις των συγκολλήσεων θα καθορίζονται από το πάχος των πλευρικών ελασμάτων.  
 5 Στη περίπτωση διαμήκους συστήματος κατασκευής, οι διαστάσεις των συγκολλήσεων θα αυξάνονται ώστε να υπάρχει το ίδιο έμβασδο συγκόλλησης με αυτό που θα υπήρχε χωρίς τα άνοιγματα για τη διέλευση των διαμήκων μελών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 30.2 (συνέχεια)**

**Χιλιοστά**

Διαστάσεις συγκολλήσεως για τó λεπτότερα όπó τó συγκολλούμενα μέλη mm

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Όνομαστική διάσταση τού σκέλους τής γωνιακής συγκόλλησης ή Όνομαστική διάσταση τού σκέλου τής γωνιακής συγκόλλησης l	5.0	5.0	6.5	6.5	6.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Μήκος τής γωνιακής συγκόλλησης	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	54	65	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Κατασκευαστικά Μέλη

Ίσαύσταση τών Συγκολλήσεων S, mm

**Βάσεις**

— Λεβήτων και Λοπιών Βοηθητικών Μηχανημάτων

Μέ τó Ελασμα Εδράσεως τó περιβλήμα, ή τόν Εσωτερικό πυθμένα

Βλέπε τόν Πίνακα 30.1 για τís διπλές συνεχείς συγκολλήσεις

**Πηδάλια**

— Όριζόντια Διαφράγματα

Μέ τά Ελάσματα τών πλευρών

100 130 150 150 130 150 150 150 150 150 150 150 150

Μέ τά κατακόρυφα διαφράγματα στη περιοχή τού άξονα περιστροφής

Βλέπε τόν Πίνακα 30.1 για τís διπλές συνεχείς συγκολλήσεις

— Κατακόρυφα Διαφράγματα

Μέ τά Ελάσματα τών πλευρών

100 130 150 150 130 150 150 150 150 150 150 150 150

Μέ τά όριζόντια διαφράγματα

100 130 150 150 130 150 150 150 150 150 150 150 150

Στη περιοχή τού άξονα περιστροφής μέ τά χυτά τού πάνω καί κάτω πόλου

Συγκολλήσεις πλήρους διείσδυσης

— Πλευρικά Έλάσματα

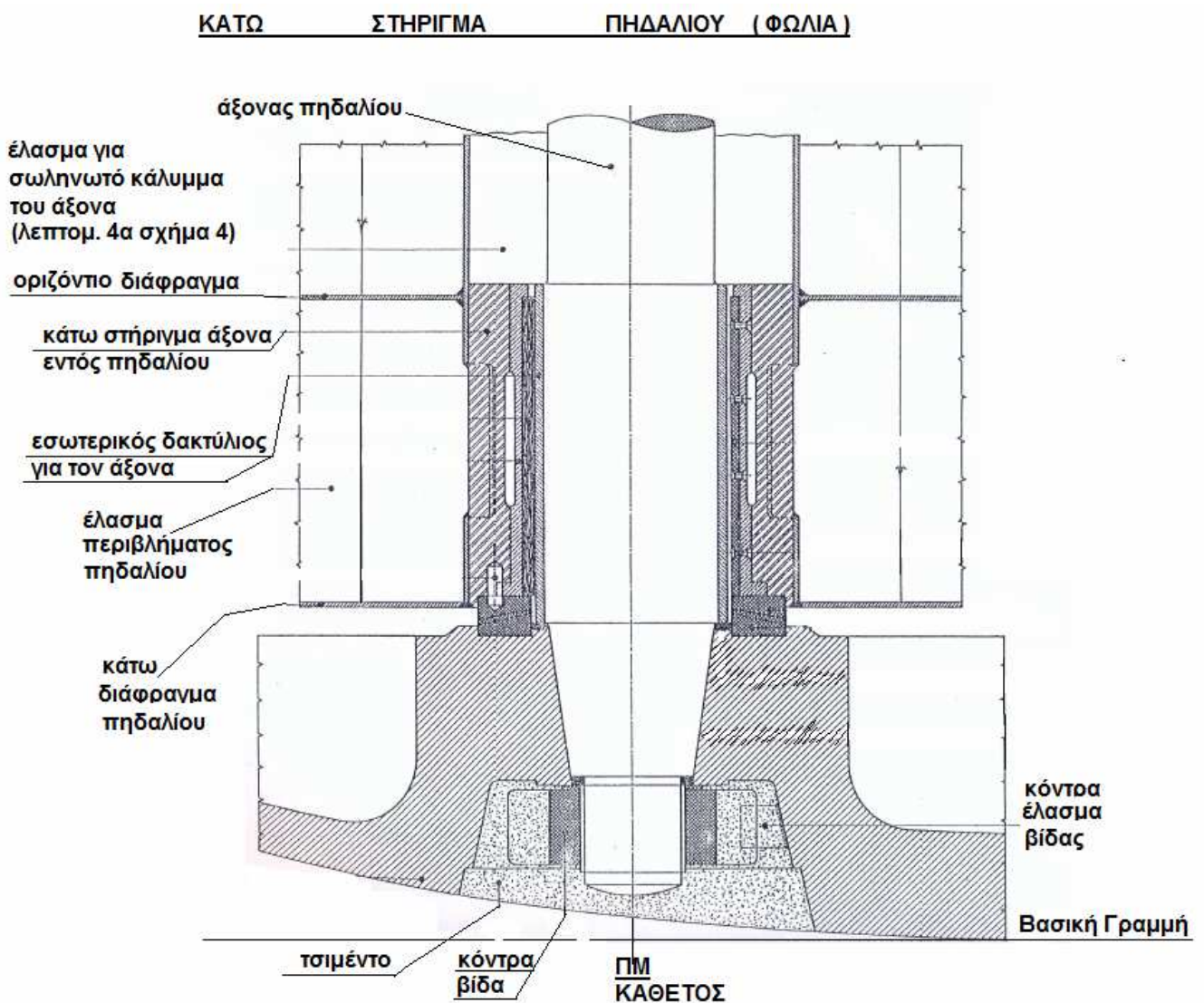
Λοιπά

Βλέπε τόν Πίνακα 30.1 για τís διπλές συνεχείς συγκολλήσεις

Ο άξονας του μηχανισμού του πηδαλίου συνδέεται με το πηδάλιο με οριζόντιο περιαιχένιο (φλάντζα) στο άνω διάφραγμα (ή κατακόρυφο περιαιχένιο, ανάλογα με τον τύπο του πηδαλίου).

### Η στήριξη του πηδαλίου γίνεται :

- στο άνω μέρος με κατακόρυφη φλάντζα η οποία βιδώνεται στο σκάφος σε αντίστοιχη υποδοχή. Στο κάτω μέρος αυτής της φλάντζας επί του άνω διαφράγματος υπάρχει στρογγυλή διπλή φλάντζα στο κάτω μέρος της οποίας ξεκινά ο εσωτερικός κορμός του σώματος του πηδαλίου και έτσι επιτυγχάνεται η περιστροφή του πηδαλίου .
- στο κάτω μέρος σε κατάλληλη υποδοχή (φωλιά).



σχήμα 55



Το σώμα του πηδαλίου είναι υδροδυναμικής μορφής και αποτελείται από το εξωτερικό περίβλημα το οποίο εσωτερικά είναι ενισχυμένο από οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις (διαφράγματα) σε ισαποστάσεις που υπολογίζονται από τους κανονισμούς σε σχέση με το σχήμα και το μέγεθος του πηδαλίου.

Τα εσωτερικά διαφράγματα, κάθετα και οριζόντια, αποτελούνται από ελάσματα με οπές ελάφρυνσης και έχουν από τη μια πλευρά βοηθητική (κόντρα) λάμα απαραίτητη για το τελικό μοντάρισμα του εξωτερικού περιβλήματος.

Το ακροπρυμναίο τμήμα του πηδαλίου ενισχύεται με λάμα ή με διαμορφωμένο χοντρό έλασμα για προστασία του πηδαλίου σε πιθανά κτυπήματα στην περιοχή.

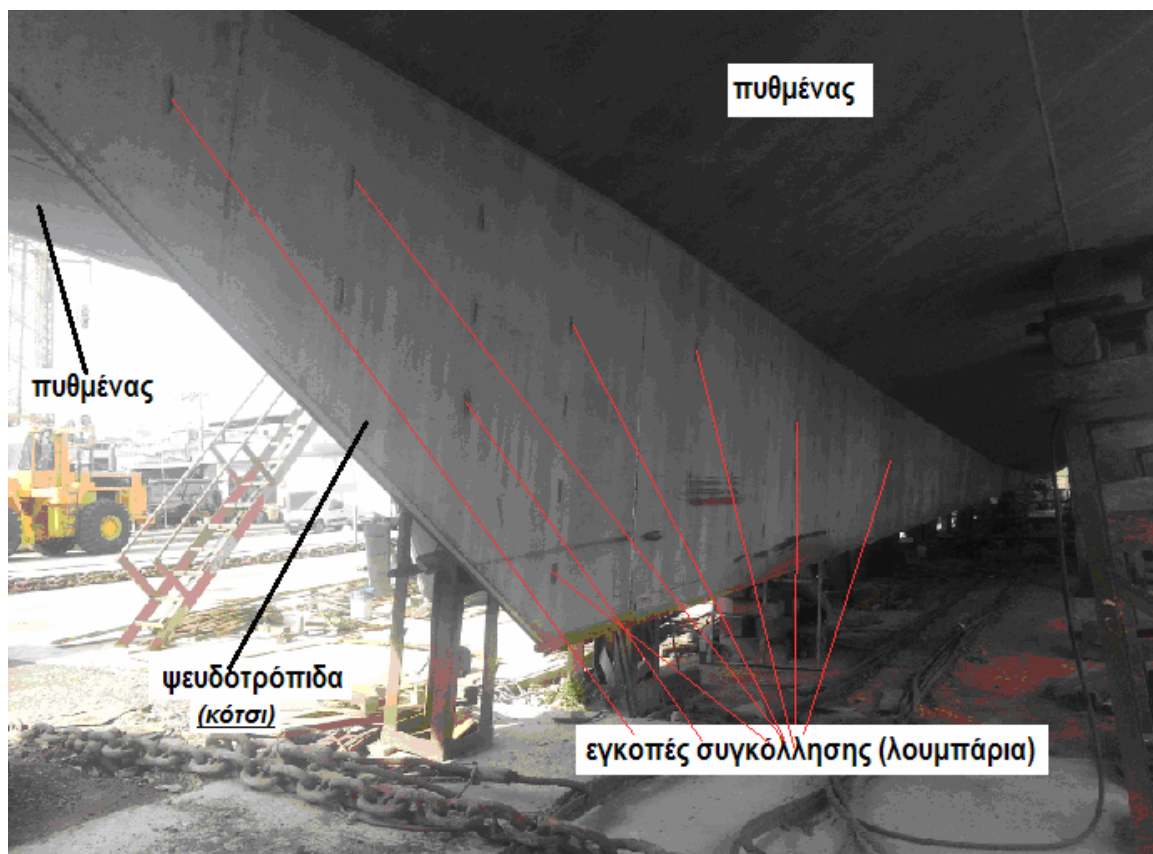
Μεταξύ των οριζοντίων διαφραγμάτων τοποθετούνται αγκώνες ενίσχυσης (μπρακέτα) (τομή B-B) που σκοπό έχουν την περαιτέρω ενίσχυση της ακροπρυμναίας λάμας με τα ελάσματα του περιβλήματος.

Ένα κατακόρυφο ενισχυτικό (διάφραγμα) είναι οπωσδήποτε τοποθετημένο κάτω από τη φλάντζα σύνδεσης (3).

Άλλα δύο κατακόρυφα διαφράγματα είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να δημιουργούν "κουτί" γύρω από τον κορμό του πηδαλίου. Το "κουτί" αυτό εναλλακτικά μπορεί να είναι κυκλικής διατομής.

Εξ αιτίας των περιορισμένων εσωτερικά διαστάσεων του πηδαλίου, είναι δύσκολο να γίνουν οι απαραίτητες κολλήσεις στο σύνολο της κατασκευής.

Για το λόγο αυτό στην κατασκευή ακολουθείται μια σειρά, συγκολλώντας απ' έξω προς τα μέσα, όπως γίνεται και σε άλλες περιοχές του πλοίου στις οποίες δεν είναι εφικτές εσωτερικές εργασίες, για παράδειγμα χαμηλά στην πρύμνη ή στην κατασκευή της διαχωριστικής των ελίκων ψευδοτρόπιδας στα διπλέλικα πλοία χωρίς ποδόστημα (κότσι) (σχήμα 56).



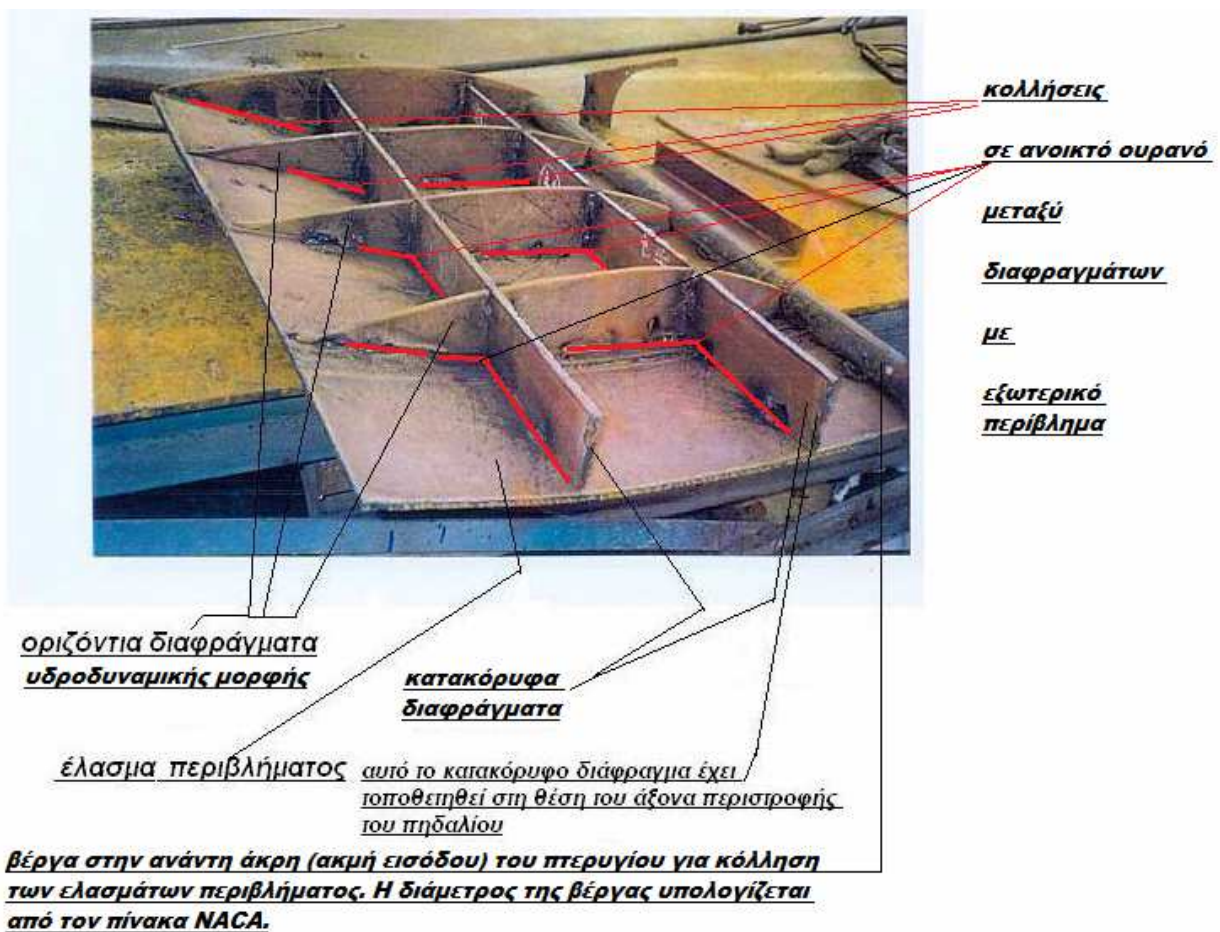
σχήμα 56

## 12.2 Το μοντάρισμα και οι συνδέσεις ακολουθούν μια διαδικασία που βασίζεται στο γενικό κριτήριο :

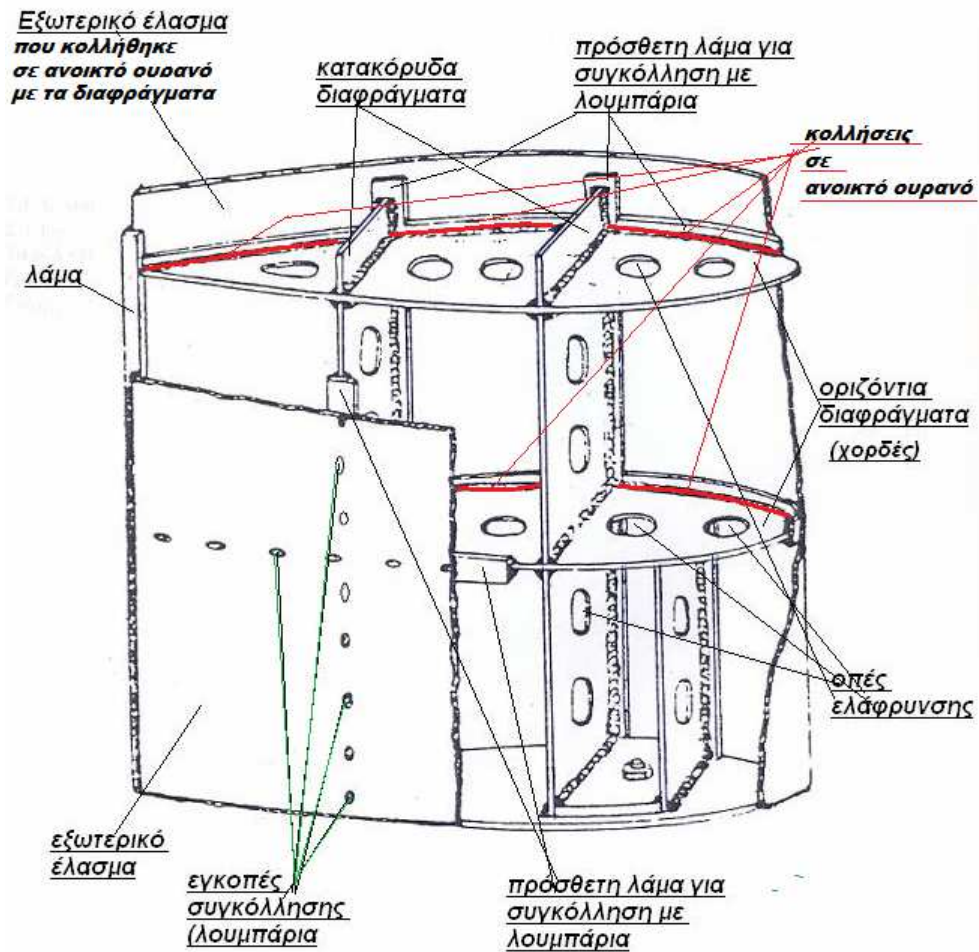
- 1.** μοντάρισμα σε ανοικτό ουρανό των εσωτερικών τμημάτων στα ελάσματα της μιας πλευράς (κόλληση των διαφραγμάτων στο εξωτερικό περίβλημα , βοηθητικές λάμες). Η κατασκευή είναι ανοικτή στην αρχή της διαδικασίας .
- 2.** μοντάρισμα των ελασμάτων του εξωτερικού περιβλήματος στην άλλη πλευρά , εφαρμόζοντας τη μέθοδο των εγκοπών συγκόλλησης (λουμπάρια).

Στα επόμενα σχήματα 57 και 58 φαίνεται :

- στο σχήμα 57 ένα πηδάλιο στο στάδιο της αρχικής κατασκευής και οι συγκολλήσεις ελασμάτων και διαφραγμάτων από τη μια πλευρά όπου οι εργασίες γίνονται σε ανοικτό ουρανό
- στο σχήμα 58 μια τρισδιάστατη παρουσίαση πηδαλίου με όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται προκειμένου να ολοκληρωθεί η κατασκευή του πηδαλίου.

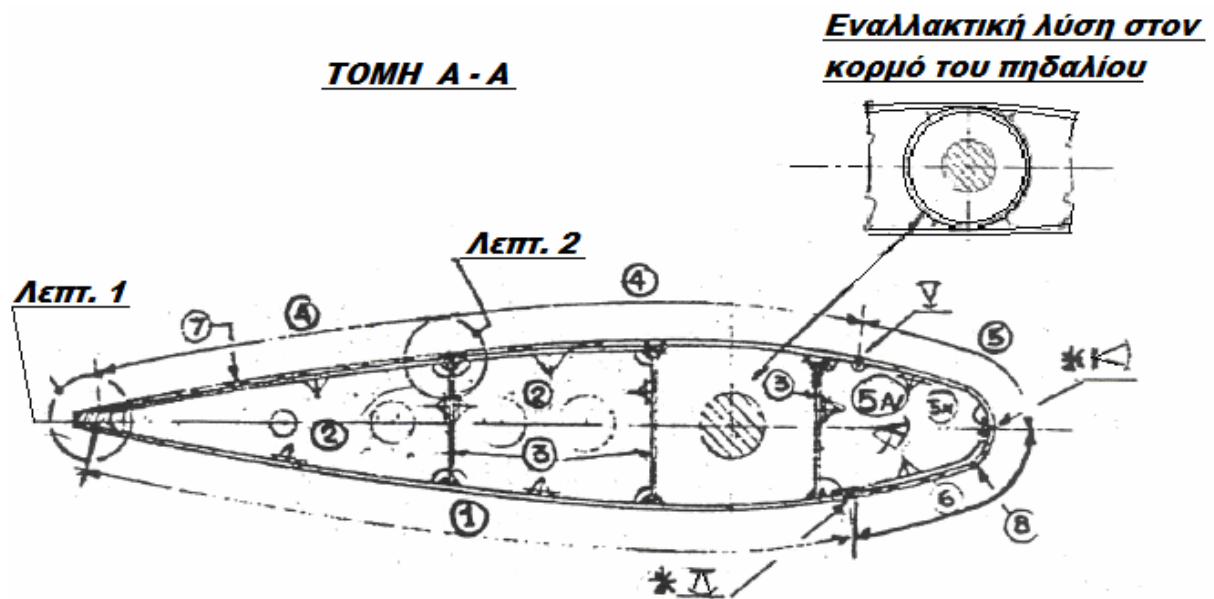


σχήμα 57



**Σχήμα 58**

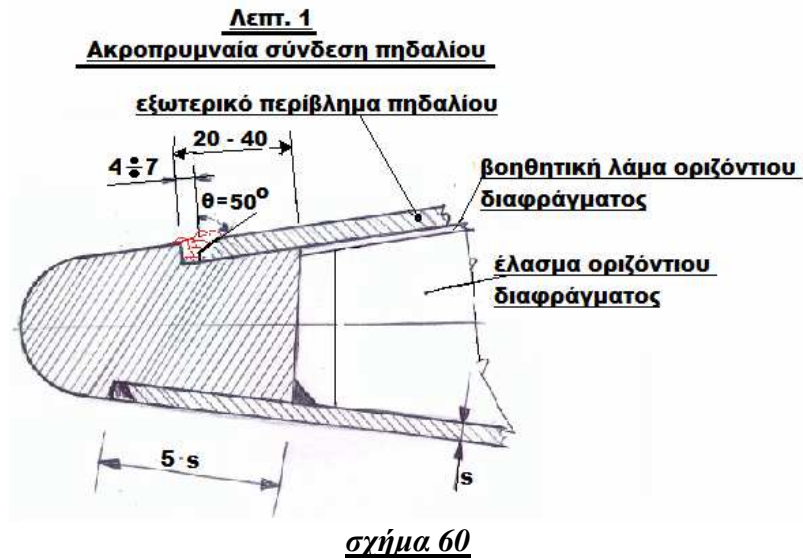
Η ακολουθία των εργασιών που περιγράφεται παρακάτω αναφέρεται στο **σχήμα 59** :



**Σχήμα 59**

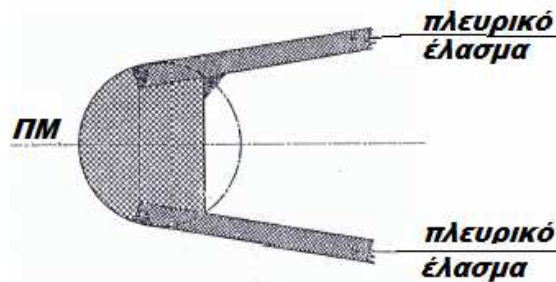
Ετοιμάζεται το έλασμα 1 και συγκολλάται στο πρυμναίο ενισχυτικό (**Λεπτ. 1**) με σχετική διαμόρφωση και κορδόνι .





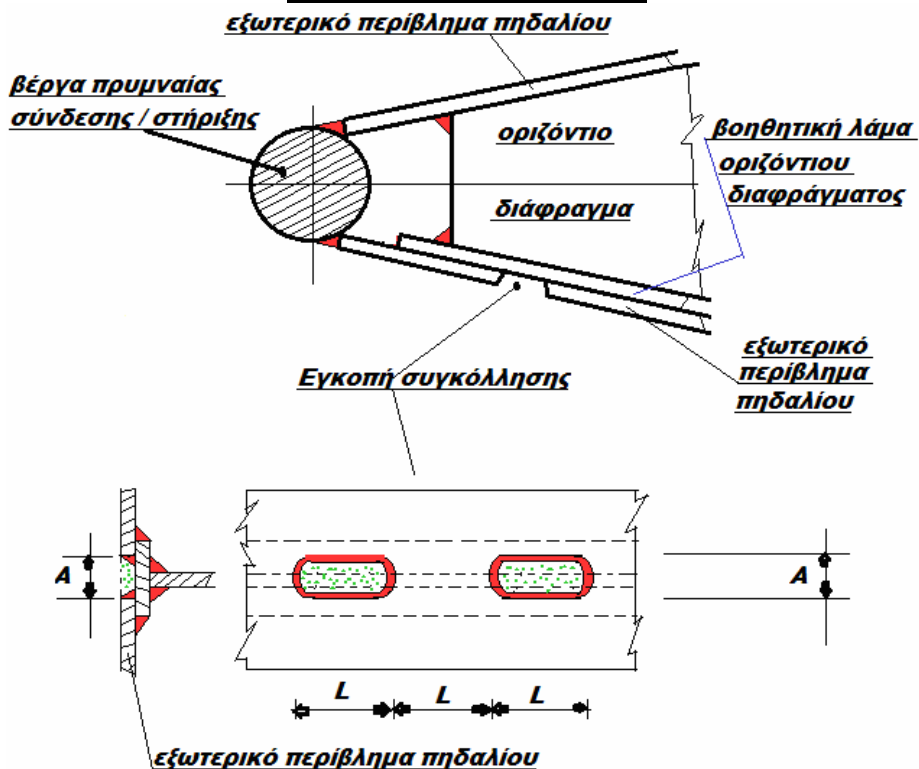
Στα επόμενα σχήματα (**σχήμα 61**, **σχήμα 62**) παρουσιάζονται εναλλακτικές συνδέσεις στην ακροπρυμαία περιοχή του πηδαλίου :

**1<sup>η</sup> εναλλακτική λύση :**



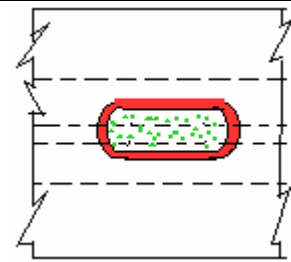
**Σχήμα 61.**

**2<sup>η</sup> εναλλακτική λύση :**





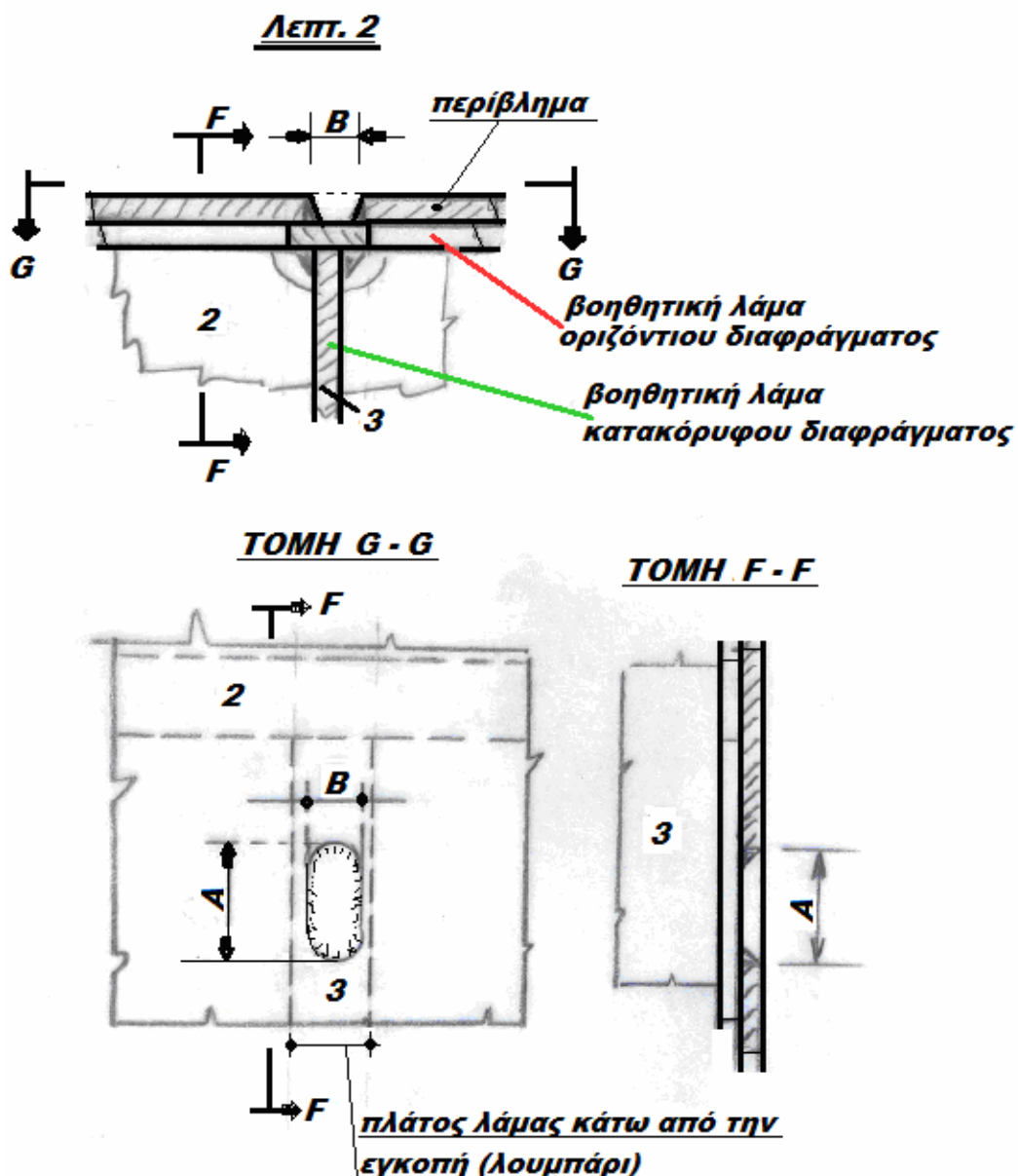
**Σημείωση :** το εσωτερικό κενό της εγκοπής γεμίζει με κατάλληλο υλικό , με ηλεκτροσυγκόλληση , σιδερόστοκο , ARALDITE (Δομικές κόλλες 2 συστατικών που δίνουν πολύ ισχυρές συγκολλήσεις , Υπάρχουν εποξειδικές, ακρυλικές και πολυουρεθανικές κόλλες , μπορούν να αντικαταστήσουν βίδες, πριτσίνια και ηλεκτροσυγκολλήσεις σε αρκετές φάσεις της βιομηχανικής παραγωγής , κολλάνε ακόμα και δύσκολα υλικά όπως π.χ. ανοξείδωτα, πλαστικά κ.α. και η εφαρμογή τους είναι πολύ εύκολη με ειδικά πιστόλια και μηχανές ανάμιξης) .



Σχήμα 63

Στη συνέχεια γίνεται συγκόλληση συνεχής σε ανοικτό ουρανό των οριζοντίων διαφραγμάτων 2 και των κατακόρυφων διαφραγμάτων 3 στα ελάσματα 1.

Τα οριζόντια και κατακόρυφα διαφράγματα είναι ήδη εφοδιασμένα με βοηθητικές λάμες (κόντρα λάμες) (Σχήμα 64) (Λεπτ. 2) συγκολλημένες επί αυτών.



Σχήμα 64

Τα ελάσματα 4 του εξωτερικού περιβλήματος στην άλλη πλευρά, στα οποία έχουν ήδη διαμορφωθεί οι κατάλληλες εγκοπές συγκόλλησης (λουμπάρια) στις θέσεις των οριζοντίων και κατακόρυφων βοηθητικών λαμών, συγκολλούνται στα συγκεκριμένα σημεία καθώς και στην πρυμναία κατακόρυφη λάμα ενίσχυσης ή εναλλακτικά στο διαμορφωμένο έλασμα (Λεπτ. 1).

Στο προωαίο τμήμα συγκολλάται σε ανοικτό ουρανό το έλασμα (5) με τα διαφράγματα (5A) τα οποία συγκολλούνται στα ελάσματα (4) και στο κάθετο διάφραγμα (3).

Τελικά συγκολλάται το έλασμα (6) με τις ήδη διαμορφωμένες εγκοπές συγκόλλησης (λουμπάρια (8) στη βοηθητική λάμα του ελάσματος (5A).

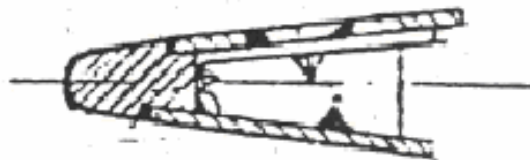
Η ολοκλήρωση της κατασκευής στο προωαίο τμήμα απαιτεί δύο κατασκευαστικές λεπτομέρειες (σχήμα 59): την συνεχή κόλληση (\*) μεταξύ των ελασμάτων (6) και (1) στη βοηθητική λάμα ήδη τοποθετημένη στο έλασμα (1).

ανάλογη συγκόλληση (\*) μεταξύ των ελασμάτων (6) και (5) στην κατακόρυφη βοηθητική λάμα ήδη τοποθετημένη στο έλασμα (5).

Στο σχήμα 59 επίσης διακρίνονται :

α. Η συνεχής συγκόλληση μεταξύ αγκώνα ενίσχυσης (μπρακέτο) και μασίφ (Τομή Β – Β στο σχήμα 54, σελίδα 63).

### **TOMH B - B**



**Σχήμα 65.**

β. Οι διαστάσεις της βοηθητικής λάμας στήριξης σε σχέση με τις διαστάσεις που έχουν οι εγκοπές συγκόλλησης (λουμπάρια).

γ. Ο αριθμός των εγκοπών σε σύγκριση με την απόσταση μεταξύ των διαφραγμάτων.

Οι διαστάσεις των εγκοπών συγκόλλησης προδιαγράφονται από τους κανονισμούς και ο αριθμός των διαφραγμάτων υπολογίζεται σε κάθε πηδάλιο ξεχωριστά σύμφωνα με αυτές και τις διαστάσεις του συγκεκριμένου πηδαλίου.

Στην επόμενη σελίδα περιγράφεται ο υπολογισμός των εγκοπών συγκόλλησης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Γαλλικού Νηογνώμονα.

**12.3 Εγκοπές συγκόλλησης (λουμπάρια, Slot welding) (Bureau Veritas, Part II, Ch. 6, Sect. 6-22**

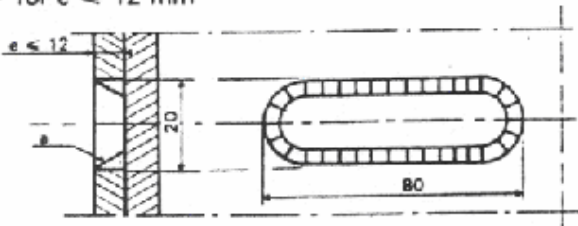
**6 - Slot welding**

61 - Slot welding may be used as a substitute to plug weldings, mainly when the backing plate thickness is rather small.

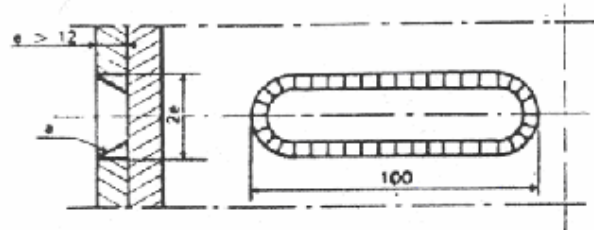
These welds are equivalent to scallops welds having the same pitch and throat depth. The rules for plug welding also apply to slot welding.

62 - Their shape is given on the following sketches depending on the plate thickness.

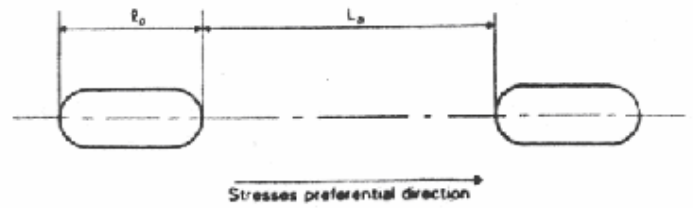
- for  $e \leq 12$  mm



- for  $e > 12$  mm



63 - The distance  $L_b$  between the extremities of two consecutive slot welds is not to be less than twice the slot length  $l_s$  ( $L_b \geq 2 l_s$ ).



64 - The width of the opening is to be such as to allow easy fillet along its perimeter.

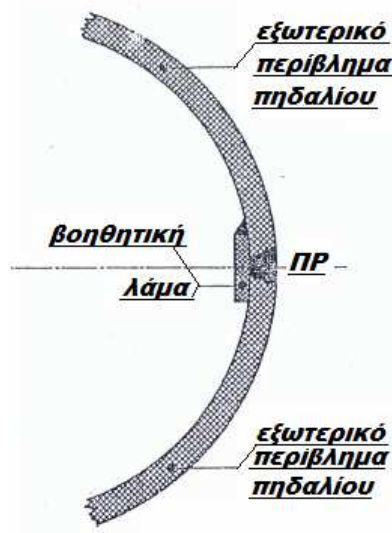
65 - Slot welds are, if possible, to be aligned in the stresses preferential direction.

Σχήμα 66

### 12.4 ΠΡΩΡΑΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ

Η πρωραία σύνδεση μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους. Το μέγεθος του πηδαλίου, ο τύπος του πηδαλίου είναι παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψιν για την επιλογή της κατασκευαστικής λύσης στην ακροπρωραία περιοχή του πηδαλίου.

Στο σχήμα 59 η σύνδεση γίνεται όπως στο παρακάτω Σχήμα 67



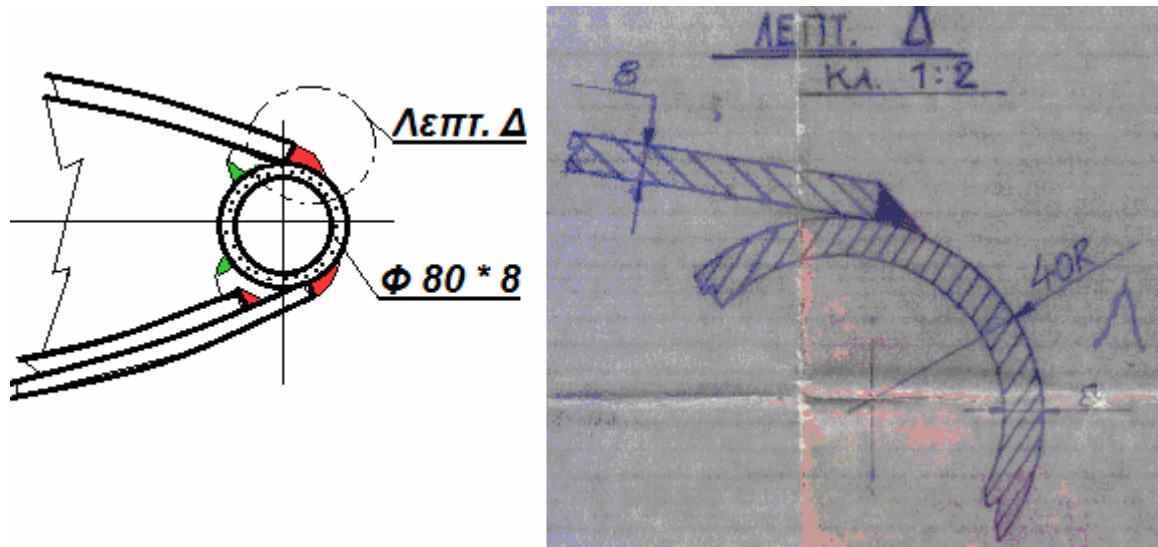
Σχήμα 67

Στο σχήμα 68 παρουσιάζεται εναλλακτική λύση :



Σχήμα 68

Στο σχήμα 69 παρουσιάζεται άλλη εναλλακτική λύση :



Σχήμα 69

### 13. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Τα πηδάλια που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις εφαρμογές είναι τα κοίλα πηδάλια και το πτερόγιο των πηδαλίων αυτών στην οριζόντια τομή έχει υδροδυναμική μορφή .

Έτσι για τη σχεδίαση του πτερυγίου του πηδαλίου , ακολουθείται η μέθοδος υπολογισμού των υδροδυναμικών συντελεστών για τις δυνάμεις και τις ροπές για τις τομές που σχεδιάζονται . Οι συντελεστές αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω σε μορφή που εύκολα μπορούν να υπολογιστούν .

#### 1. . Συντελεστής ανώσεως

$$C_L = \left( \frac{C_L}{a} \right)_{a=0} \cdot a + \frac{C_{DC}}{AR} \cdot \left( \frac{a}{57,3} \right)^2$$

$$\text{όπου : } \left( \frac{C_L}{a} \right)_{a=0} = \frac{0,9 \cdot 2\pi \cdot AR}{57,3 \cdot \left[ \left( \cos \Lambda \cdot \sqrt{\frac{AR^2}{\cos^4 \Lambda} + 4} \right) + 1,8 \right]}$$

$\alpha$  = γωνία, σε μοίρες, προσπτώσεως της ροής πάνω στο πηδάλιο

$\beta$  = γωνία, σε μοίρες, εκτροπής του πηδαλίου

$\alpha$  = (5/7)  $\beta$  : η γωνία  $\alpha$  πρόσπτωσης του νερού στο πηδάλιο λαμβάνεται κατά (5/7) μικρότερη από τη γωνία  $\beta$  εκτροπής του πηδαλίου επειδή υπάρχει η γάστρα στο χώρο που ευρίσκεται το πηδάλιο. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι **γωνία απώλειας στήριξης (stall angle)** να συμβαίνει αργότερα , δηλαδή για μεγαλύτερες γωνίες εκτροπής του πηδαλίου. Υπενθυμίζεται ότι **γωνία απώλειας στήριξης** είναι η γωνία πρόσπτωσης πέρα από την οποία παρατηρείται απότομη πτώση της ικανότητας παροχής υδροδυναμικής άντωσης από την υδροτομή.

$AR$  = aspect ratio = ( μέσο ύψος πηδαλίου / μέσο πλάτος ) =  $\frac{\bar{b}}{c}$

Η κατακόρυφη διάσταση , το ύψος , του πηδαλίου ονομάζεται και **άνοιγμα (span)** , η οριζόντια διαμήκης διάσταση (πλάτος) του πηδαλίου ονομάζεται **χορδή (cord)** , η οριζόντια εγκάρσια διάσταση του πηδαλίου είναι **το πάχος (t , thickness)** .

Υπενθυμίζεται εδώ η σημείωση των σελίδων -47- , -48- :

**ΣΗΜ. :** όταν η άνω επιφάνεια του πηδαλίου είναι πολύ κοντά στη γάστρα , τότε το πηδάλιο για σκοπούς υδροδυναμικών μελετών (εξ αιτίας του κατοπτρισμού της ροής) ενεργεί ως ο λόγος επιμήκους να είναι διπλάσιος του γεωμετρικού (που είναι και η πραγματική απεικόνιση της μορφής του πτερυγίου του πηδαλίου).

Βέβαια αυτό συμβαίνει όταν το πηδάλιο είναι στη μέση (γωνία εκτροπής πηδαλίου  $0^0$  ) , ενώ όταν το πηδάλιο απομακρύνεται από τη μέση θέση και η απόσταση της άνω χορδής από τη γάστρα μεγαλώνει , λαμβάνεται γραμμική μεταβολή του λόγου διαμήκους από  $2 \times AR$  με πηδάλιο στη μέση έως  $1 \times AR$  με πηδάλιο στη μέγιστη γωνία που λαμβάνεται στις  $35^0$  (για τη μέγιστη αυτή γωνία , ίδε σελίδα 43) .



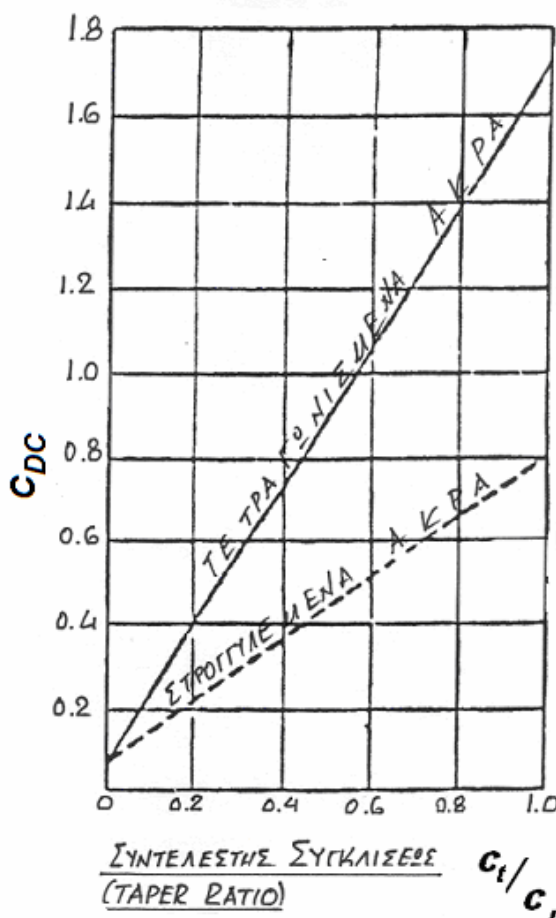
Πάντως , επειδή στην πράξη για λόγους κυρίως κατασκευαστικούς δεν υλοποιείται η παραπάνω συνθήκη ακόμα και όταν το πηδάλιο είναι στη μέση θέση (γωνία εκτροπής πηδαλίου  $0^0$ ), πρέπει να υπάρχει προσοχή στον υπολογισμό του  $2 \times AR$  .

Έτσι μια ελάχιστη απόσταση ελευθερίας (τζόγος) υπολογίζεται πάνω από την άνω χορδή μέχρι τη γάστρα στο σημείο τοποθέτησης του πηδαλίου ώστε να εκμηδενίζεται αυτή η επίδραση στο λόγο επιμήκους λόγω της γάστρας. Στο αρχικό στάδιο της μελέτης του πηδαλίου που είναι άγνωστες οι διαστάσεις του περυγίου , θεωρείται αρκετή μια απόσταση που συνήθως είναι  $\left(\frac{1}{15} \times H\right)$  η οποία θα ελεγχθεί εάν επαρκεί για την τοποθέτηση και των απαραίτητων περιωαχενίων που συνδέουν τα περύγιο του πηδαλίου με το μηχανισμό του πηδαλίου ( $H$  είναι η κατακόρυφη απόσταση που είναι διαθέσιμη στο νομέα όπου θα τοποθετηθεί το πηδάλιο , δεδομένου ότι θεωρείται όπως παραπάνω περιγράφηκε ότι η άνω επιφάνεια του πηδαλίου ευρίσκεται πολύ κοντά στη γάστρα).

Σε κάθε περίπτωση , ο φαινόμενος (apparent) λόγος επιμήκους για κάθε γωνία στο διάστημα  $(0^0 \div 35^0)$  υπολογίζεται από τη σχέση :

$$(AR)_{\text{φαιν.}} = 2 \times AR - \frac{\beta^0}{35} \times AR$$

$C_{DC}$  = υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος 57 σύμφωνα με τον συντελεστή συγκλίσεως =  $c_t / c_r$

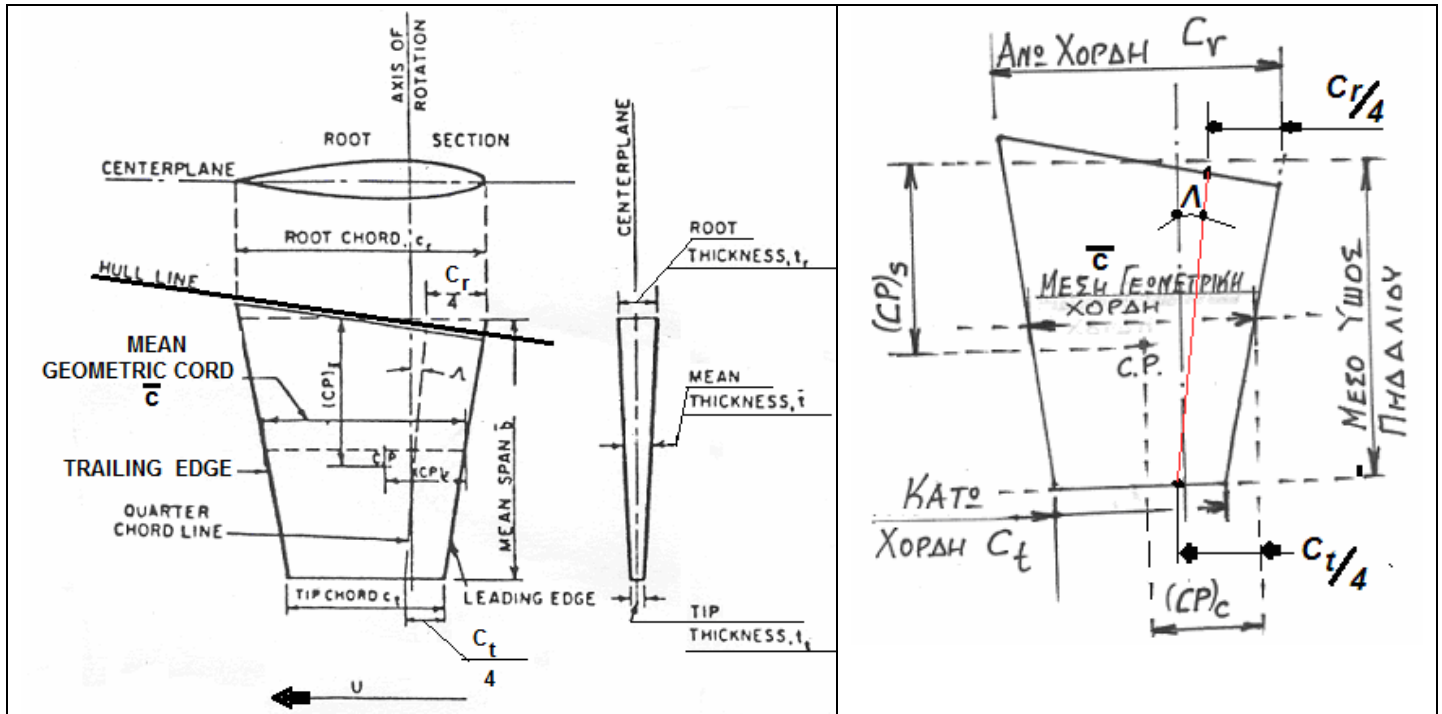


(PNA , Volume III – Motions in Waves and Controllability)

Σχήμα 70



Η γωνία  $\Lambda$  (sweepback angle, σελίδα 46) (Σχήμα 35) στη δεύτερη σχέση υπολογίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται ενώνοντας με μια ευθεία το τέταρτο της άνω χορδής και το τέταρτο της κάτω χορδής από την ακμή εισόδου του πηδαλίου, με την κατακόρυφη.



(PNA, Volume III – Motions in Waves and Controllability)

Σχήμα 71

**2. Συντελεστής αντιστάσεως :**  $C_D = C_{d_0} + \frac{C_L^2}{0,9 \cdot \pi \cdot AR}$ , μπορεί να ληφθεί :

- NACA 0009 :  $C_{d_0} = 0,0050$
- NACA 0012 :  $C_{d_0} = 0,0060$
- NACA 0015 :  $C_{d_0} = 0,0065$
- NACA 0018 :  $C_{d_0} = 0,0070$

**3. Συντελεστής κάθετου δυνάμεως :**  $C_N = C_L \cdot \cos \alpha + C_D \cdot \sin \alpha$

Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό του  $C_N$  ισχύει όταν το πηδάλιο είναι πλήρως βυθισμένο στο νερό και μακριά από την επιφάνεια του νερού.

Το γεγονός ότι το πηδάλιο πλησιάζει πολύ (και σε πολλές περιπτώσεις εξέρχει της επιφάνειας του νερού) στην ελεύθερη επιφάνεια, μειώνεται η απόδοση του πηδαλίου από τη δημιουργία κυματισμών και από το γεγονός ότι το πτερύγιο δεν εμβαπτίζεται από την πλήρη ροή της έλικας.

Συνέπεια αυτού είναι να μειώνεται η κάθετη δύναμη  $N$ , οπότε πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η πραγματική θέση του πηδαλίου του πλοίου σε σχέση με την επιφάνεια του νερού.

Αυτό επιτυγχάνεται διορθώνοντας την τιμή του  $C_N$  χρησιμοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 71 α)

Η διόρθωση αυτή εξαρτάται από το λόγο επιμήκους  $AR$ , το λόγο ολίσθησης  $S_A$  και τη μέση βύθιση του πηδαλιού.

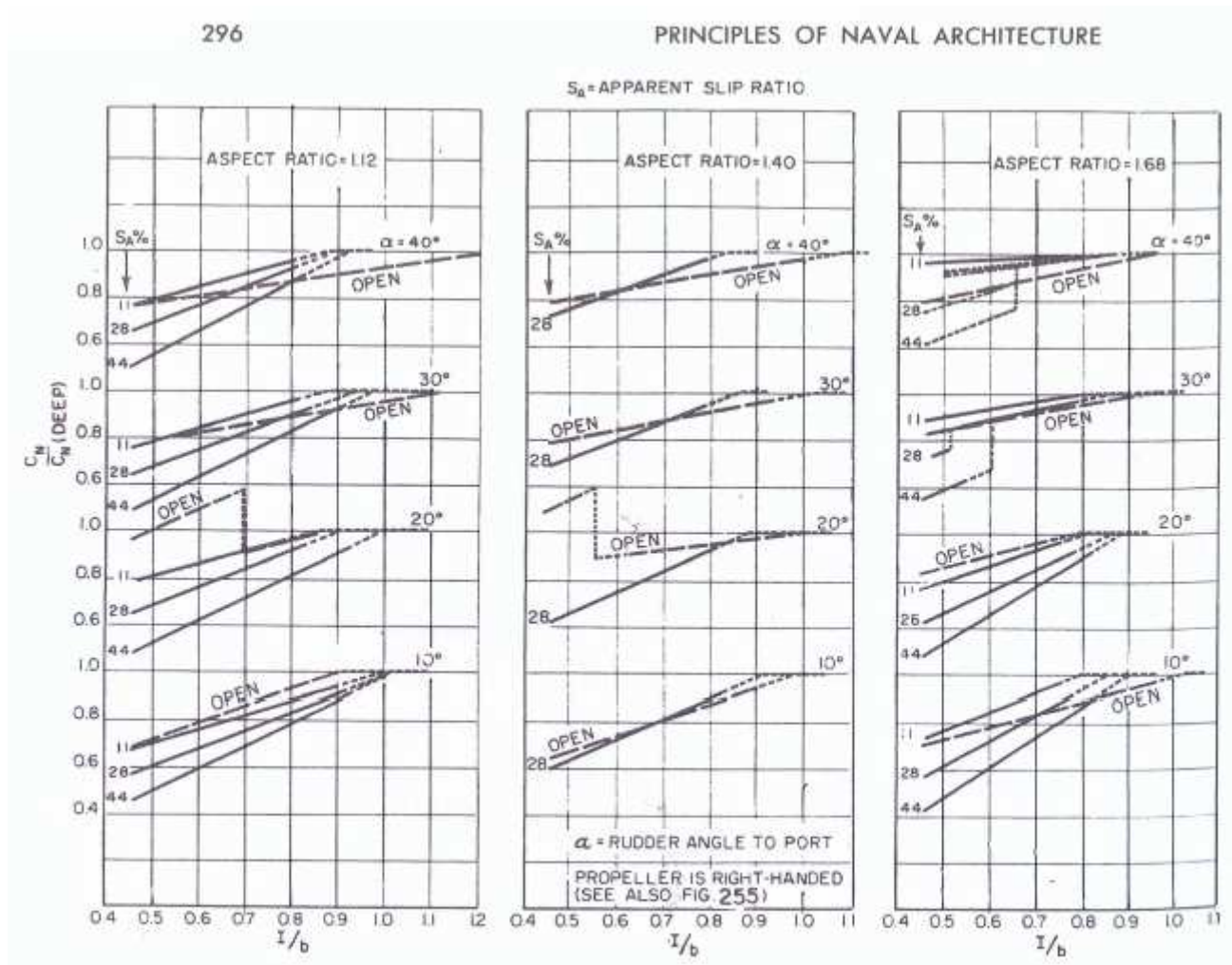


Fig. 127 Effect of rudder submergence ratio  $I/b$  on rudder normal force coefficient (Shiba, 1960)

( PNA , Volume III - Motions in Waves and Controllability , page 296 )

Σχήμα 71 α

**4. Συντελεστής ροπής γύρω από το τέταρτο της χορδής**

$$C_{M_{c/4}} = \left[ 0,25 - \left( \frac{C_M}{C_L} \right)_{C_L=0} \right] \cdot \left( \frac{C_L}{a} \right)_{a=0} - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_{DC}}{AR} \cdot \left( \frac{a}{57,3} \right)^2$$

$$\text{όπου } \left( \frac{C_M}{C_L} \right)_{C_L=0} = \frac{1}{2} - \frac{1,11 \cdot \left[ (AR^2 + 4)^{1/2} \right] + 2}{4 \cdot (AR + 2)}$$

**5. Θέση υδροδυναμικού κέντρου πίεσεως από την προωαία ακμή :**  $(CP)_C = \left( 0,25 - \frac{C_{M_{C/A}}}{C_N} \right) \cdot C$

**6. Θέση υδροδυναμικού κέντρου πίεσεως από την άνω ακμή :**  $(CP)_S = \frac{4}{3 \cdot \pi} \cdot b$

### 13.1 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΞΟΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Η **κάθετη δύναμη** επί του πηδαλίου δίδεται από τη σχέση  $F = \frac{1}{2} \cdot C_N \cdot \rho \cdot A_T \cdot U^2$ , όπου :

$$\rho = 104,61 \frac{kp \cdot s^2}{m^4} \text{ για } t = 15^0 C$$

$U$  = ταχύτητα ροής στο πηδάλιο > ταχύτητα πλοίου, όπως φαίνεται στο **σχήμα 72**

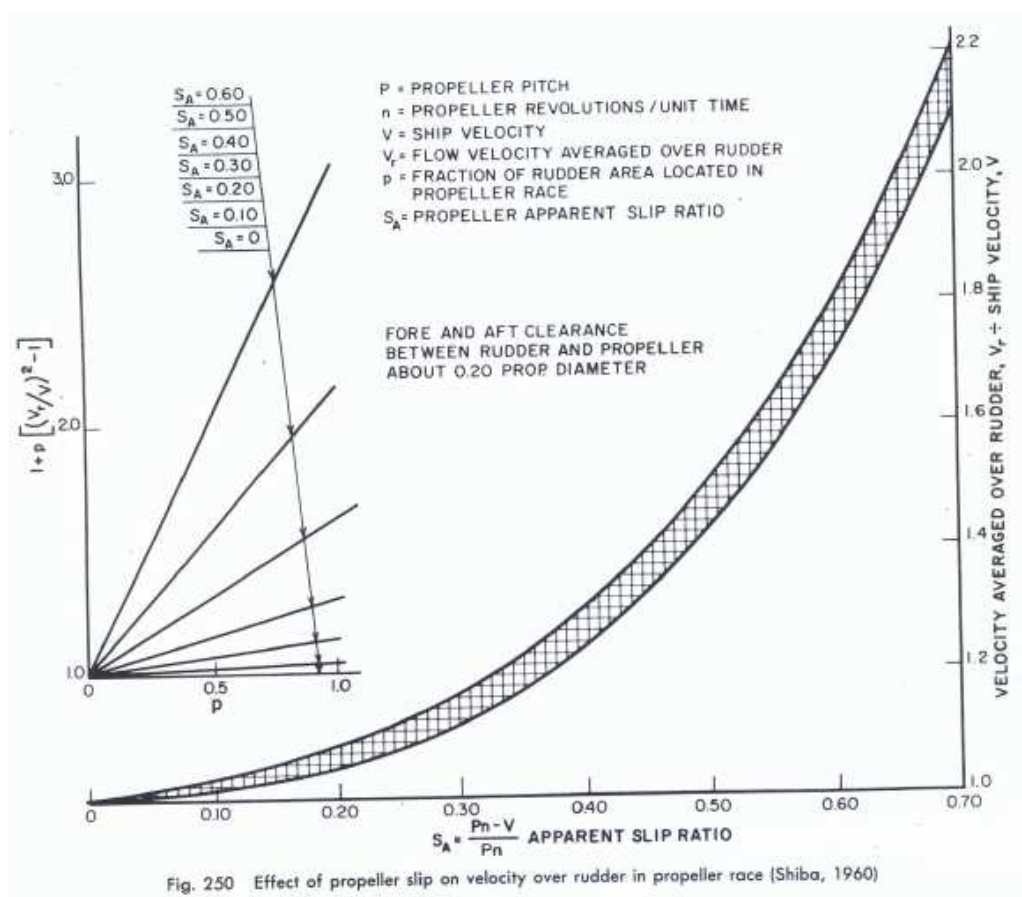


Fig. 250 Effect of propeller slip on velocity over rudder in propeller race (Shiba, 1960)

#### Σχήμα 72 (P.N.A. , Vol.III , Sect.17)

Η ταχύτητα  $U$  υπολογίζεται από το παραπάνω διάγραμμα χρησιμοποιώντας το αδιάστατο μέγεθος  $S_A = 1 - \frac{V_S}{P \cdot n}$ , ( $V_S$  = ταχύτητα του πλοίου σε κόμβους και εκφράζεται στον τύπο σε (m/sec),  $1 kn = 0,514 \left( \frac{m}{sec} \right)$ ,  $P$  = βήμα της έλικας (m),  $n$  = στροφές της έλικας (rpm) και  $\frac{n}{60} = (\sigma\tau\rho / sec)$ ).

Η υδροδυναμική **ροπή στρέψεως** στον άξονα πηδαλίου, δίδεται από την ακόλουθη σχέση :  $Q = F \cdot (d - CP_C)$

$d$  = απόσταση άξονα περιστροφής του πηδαλίου από την ακμή προσπτώσεως του νερού (ακμή εισόδου του πηδαλίου) .

Αυτή η απόσταση υπολογίζεται με βάση την υπόθεση ότι η ροπή στρέψεως πρέπει να μηδενίζεται μεταξύ  $(10-15)^\circ$ , δηλαδή

$$(CP_C)_{10^\circ} < d < (CP_C)_{15^\circ}$$

Για το υπολογισμό της απόστασης  $d$ , συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας (Δες ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2)

**ΠΙΝΑΚΑΣ υπολογισμού της απόστασης  $d$**   
**του άξονα περιστροφής από την ακμή εισόδου**

$\beta^0$	$\alpha^0$	$C_L$	$C_D$	$C_N$	$C_{Mc/4}$	$CP_C$	$F$	$Q_M$
5	3,571							
10	7,143							
15	10,714							
20	14,286							
25	17,857							
30	21,428							
35	25,000							

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1** : ο υπολογισμός της δύναμης και της ροπής στρέψεως του πηδαλίου (για έλεγχο αντοχής και επιλογή του μηχανισμού του πηδαλίου) γίνεται , εφαρμόζοντας τους κανονισμούς που προβλέπονται από τους Νηογνώμονες , δεδομένου ότι από τη δύναμη και τη ροπή εξαρτώνται τα πάχη των ελασμάτων , και οι συνδέσεις των περιαυχενίων .

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2** : Ο υπολογισμός της τιμής του  $d$  γίνεται σχεδιάζοντας σε διάγραμμα την καμπύλη  $Q_M = \varphi(\beta^0)$  = ροπή στρέψεως σε συνάρτηση με τη γωνία εκτροπής του πηδαλίου και την καμπύλη  $CP_C = f(\beta^0)$  = θέση υδροδυναμικού κέντρο πίεσεως από την προραία ακμή σε συνάρτηση με τη γωνία εκτροπής του πηδαλίου.

Ευρίσκεται στο διάγραμμα η γωνία μηδενισμού της ροπής  $Q_M$  και στη συνέχεια ευρίσκεται στην καμπύλη  $CP_C = f(\beta^0)$  το αντίστοιχο σημείο και τελικά ευρίσκεται η τιμή του  $(CP_C)_{Q_M=0}$ .

## 14. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ

### 14. Α . ΠΗΔΑΛΙΑ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΑ

#### Α.1. ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Η δύναμη του πηδαλίου για τον καθορισμό των κατασκευαστικών στοιχείων του , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

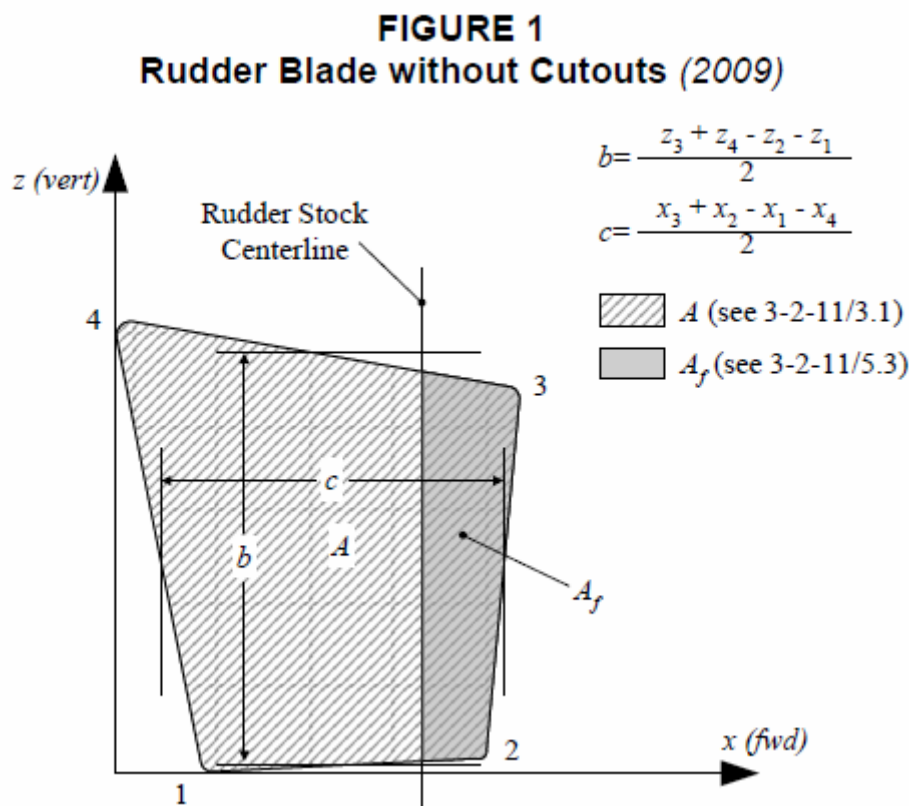
$$P = n \times k_R \times k_c \times k_l \times A \times V_R^2 \quad (kN) ,$$

(σε περίπτωση που η γωνία εκτροπής  $\alpha$  του πηδαλίου υπερβαίνει τις  $35^\circ$  , η δύναμη που υπολογίζεται πολλαπλασιάζεται επί  $1,74 \times \sin(\alpha)$  )

όπου :

$$n = 0,132 \quad , \quad k_R = \frac{\left(\frac{b^2}{A_t} + 2\right)}{3} \quad \text{αλλά δεν θα λαμβάνεται μεγαλύτερο από } 1,33.$$

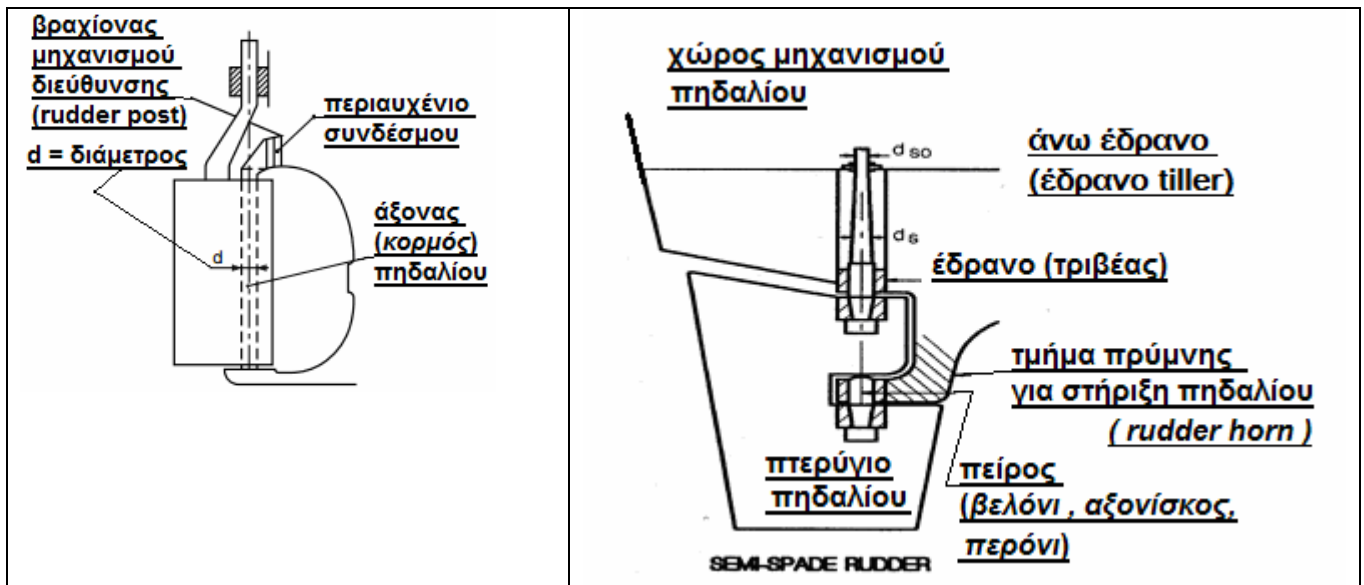
$b$  = ύψος σε του πτερυγίου του πηδαλίου όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 73



(ABS 2015 , Part 3 Hull Constuction and Equipment / Ch. 2 Hull Structures and Arrangements / Sec. 11 Rudders and Steering Equipment)

Σχήμα 73

$A_f$  = άθροισμα της επιφάνειας του πηδαλιού A και της επιφάνειας του τμήματος της πρύμνης (rudder horn) που στηρίζεται το πηδάλιο (όπου υπάρχει) , ή του βραχίονα του μηχανισμού διεύθυνσης (rudder post) του πηδαλιού.



Σχήμα 74.

$A$  = συνολική επιφάνεια , σε (m<sup>2</sup>) , του πτερυγίου του πηδαλιού

$k_c$  = συντελεστής που εξαρτάται από τη μορφή της τομής του πτερυγίου

TABLE 1A  
Coefficient  $k_c$  for Ordinary Rudders (2015)

	Profile Type	$k_c$	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Single plate 	1.0	1.0
2	NACA-00 Göttingen 	1.1	0.80
3	Flap rudder (or Twisted rudder of Cat. 3) 	1.7	1.3
4	Rudder with steering nozzle 	1.9	1.5

(ABS 2015 , Part 3 Hull Constuction and Equipment / Ch. 2 Hull Structures and Arrangements / Sec. 11 Rudders and Steering Equipment)

Σχήμα 75.

όπου :

Ahead condition = κίνηση πρόσω

Astern condition = κίνηση ανάποδα



$k_l$  = συντελεστής από τον επόμενο πίνακα :

**TABLE 2**  
**Coefficient  $k_l$  (2012)**

<i>Rudder/Propeller Layout</i>	$k_l$
Rudders outside propeller jet	0.8
Rudders behind a fixed propeller nozzle	1.15
Steering nozzles and azimuthing thrusters	1.15
All others	1.0

(ABS 2015 , Part 3 Hull Constuction and Equipment / Ch. 2 Hull Structures and Arrangements / Sec. 11 Rudders and Steering Equipment)

Σχήμα 76

$V_R$  = ταχύτητα πλοίου σε κόμβους , και είναι :

= για κίνηση πρόσω η μεγαλύτερη των  $V_d$  ή  $V_{\min}$ .

= για κίνηση ανάποδα η μεγαλύτερη των  $V_a$  ή  $0,5 \times V_d$  ή  $0,5 \times V_d$

$V_d$  = ταχύτητα πλοίου , σε κόμβους , στις μέγιστες συνεχείς στροφές του άξονα και στην έμφορτη ίσαλο.

$V_a$  = μέγιστη ταχύτητα , σε κόμβους , σε κίνηση ανάποδα.

$$V_{\min} = \frac{V_d + 20}{3} \text{ (όχι μικρότερη από 10 κόμβοι)}$$

**A.2. ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΗΣ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Η ροπή στρέψης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση , για κίνηση πρόσω και κίνηση ανάποδα :

$$Q_R = P \times r \text{ (kN} \times \text{m)}$$

$P$  = δύναμη ( σε kN ) επί του πηδαλίου , όπως υπολογίστηκε από την προηγούμενη παράγραφο.

$r = c \times (a - k)$  ( m ) με ελάχιστη τιμή  $0,1 \times c$  ( m )

$c$  = μήκος μέσης χορδής , σε ( m ) , στο Σχήμα 73.



$a = 0,33$  για κίνηση πρόσω

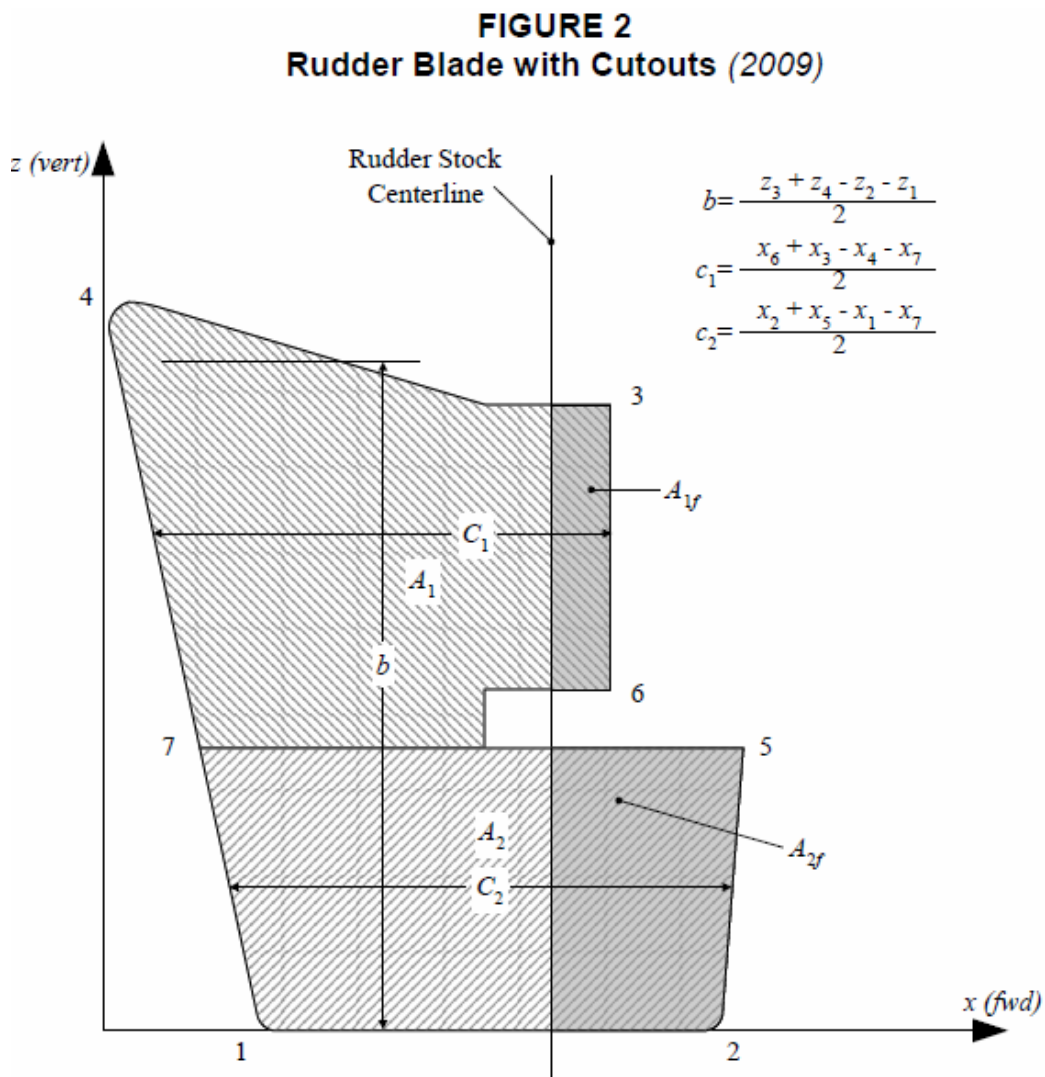
$a = 0,66$  για κίνηση ανάποδα

$k = \text{ποσοστό ζυγοστάθμισης} = \frac{A_f}{A}$ , όπου  $A_f$  η επιφάνεια του περυγίου του πηδαλίου πλώρα του άξονα περιστροφής του πηδαλίου (Σχήμα 73.)

## 14. Β . ΠΗΔΑΛΙΑ ΗΜΙ - ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΑ

### B.1 ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Η συνολική δύναμη υπολογίζεται από τη σχέση της παραγράφου A.1, όπου  $A$  είναι το άθροισμα των επιμέρους επιφανειών, όπως φαίνεται στο σχήμα 74



(ABS 2015, Part 3 Hull Constuction and Equipment / Ch. 2 Hull Structures and Arrangements / Sec. 11 Rudders and Steering Equipment)

Σχήμα 74

Η δύναμη για κάθε επιμέρους επιφάνεια υπολογίζεται από τις σχέσεις :

$$P_1 = P \times \frac{A_1}{A} \text{ (kN)} \quad , \quad P_2 = P \times \frac{A_2}{A} \text{ (kN)} \quad , \quad \text{όπου } A = (A_1 + A_2) \text{ (m}^2\text{)}$$

## A.2. ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΗΣ ΤΟΥ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Η ροπή στρέψης για κάθε τμήμα του πηδαλίου , υπολογίζεται από :

$$(Q_R)_1 = (P_1 \times r_1) \text{ (kN} \times \text{m)}$$

$$(Q_R)_2 = (P_2 \times r_2) \text{ (kN} \times \text{m)}$$

Η συνολική ροπή στρέψης του πηδαλίου υπολογίζεται από τη σχέση :

$$Q_R = [P_1 \times r_1 + P_2 \times r_2] \text{ (kN} \times \text{m)}$$

αλλά δεν θα είναι μικρότερη από την ελάχιστη ροπή στρέψης για κίνηση πρόσω .

Στην παραπάνω σχέση είναι :

$$- Q_{\min.} = \frac{0,1 \times P \times (A_1 \times c_1 + A_2 \times c_2)}{A}$$

$$- r_1 = c_1 \times (a - k_1) \text{ (m)}$$

$$- r_2 = c_2 \times (a - k_2) \text{ (m)}$$

-  $c_1$  ,  $c_2$  = μήκος μέσης χορδής των επιμέρους επιφανειών , σχήμα 74.

-  $k_1 = \frac{A_{1f}}{A}$  ,  $k_2 = \frac{A_{2f}}{A}$  = ποσοστά ζυγοστάθμισης των επιμέρους τμημάτων του πηδαλίου , όπου

-  $A_{1f}$  ,  $A_{2f}$  οι επιφάνειες πρόωραθεν του άξονα περιστροφής για το κάθε τμήμα του πηδαλίου .

-  $a = 0,33$  για κίνηση πρόσω  
 $= 0,66$  για κίνηση ανάποδα

Για τμήματα πηδαλίου πίσω από σταθερά πλαίσια της γάστρας , όπως το τμήμα της πρύμνης για τη στήριξη του πηδαλίου (rudder horn) ,

-  $a = 0,25$  για κίνηση πρόσω  
 $= 0,55$  για κίνηση ανάποδα

## **15. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

### **ΑΝΩ ΑΞΟΝΑΣ**

Ο άνω άξονας είναι μέρος του άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου πάνω από το έδρανο τριβής (neck bearing) μέχρι τον οίακα (δοιάκι, λαγουδέρα, tiller).

Η διάμετρος στον πάνω άξονα δεν θα είναι μικρότερη από :

$$S = N_u \times \sqrt[3]{Q_R \times K_S} \quad (mm)$$

-  $K_S$  = συντελεστής υλικού που λαμβάνεται = 1 για χάλυβα (ελατό, σφυρήλατο, χυτοχάλυβα) με όριο διαρροής ίσο με  $235 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$  (για τους άξονες, τις βίδες σύνδεσης, τα βελόνια ως ελάχιστο όριο διαρροής λαμβάνεται  $200 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$ ).

-  $Q_R$  = συνολική ροπή στρέψεως, σε  $(kN \times m)$

-  $N_u = 42,0$

### **ΚΑΤΩ ΑΞΟΝΑΣ**

Η διάμετρος του άξονα μέσα και κάτω από το έδρανο τριβής, δεν θα είναι μικρότερη από :

$$S_i = S \times \sqrt[6]{1 + \left( \frac{4}{3} \right) \times \left( \frac{M}{Q_R} \right)^2} \quad (mm)$$

$S$  = διάμετρος άνω άξονα, σε  $(mm)$

$M$  = καμπτική ροπή, σε  $(kN \times m)$

$Q_R$  = ροπή στρέψεως, σε  $(kN \times m)$

Η καμπτική ροπή υπολογίζεται από :

$$M_n = P \times b, \text{ σε } (kN \times m)$$

$b$  = απόσταση, σε  $(m)$ , από το κέντρο του άξονα περιστροφής μέχρι το κέντρο της επιφάνειας του πηδαλίου

**ΒΕΛΟΝΙΑ**

Η διάμετρος των βελονιών δεν θα είναι μικρότερη από αυτή που προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12 Π**  
**ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΒΕΛΟΝΙΩΝ (mm)**

$V \cdot \sqrt{A}$	2 ΒΕΛΟΝΙΑ
45	202
50	216
55	228
60	237
65	244
70	249
75	253

(ABS RULES FOR BUILDING AND CLASSING STEEL VESSELS / Rudders and Steering Equipment))

**Σχήμα 75**

Όταν η τιμή του  $V \times \sqrt{A}$  είναι μικρότερη από 45 ή μεγαλύτερη από 75, ή για πηδάλια με άκανθο που έχουν ένα βελόνι, η διάμετρος του βελονιού δεν θα είναι μικρότερη από αυτή που προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$d = c \times V \times \sqrt{A} \text{ (mm) , όπου :}$$

-  $d$  = διάμετρος του βελονιού , σε (mm)

-  $A$  = επιφάνεια της προβολής του πηδαλίου , σε ( $m^2$ )

-  $V$  = ταχύτητα σε κόμβους , με το πλοίο να ταξιδεύει πρόσω στην έμφορτη ίσαλο θέρους , με τις μέγιστες επιτρεπόμενες στροφές συνεχούς λειτουργίας του άξονα , αλλά όχι μικρότερη από 11 κόμβους.

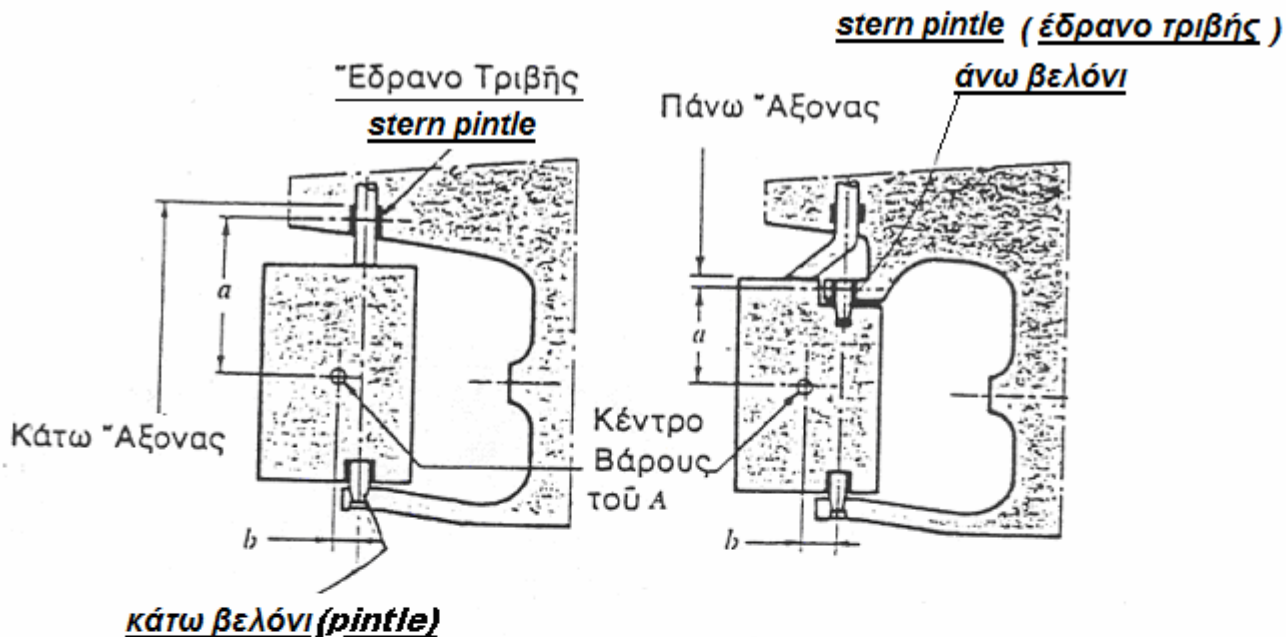
-  $c = 4,52$  για τιμές του  $V \times \sqrt{A}$  μικρότερες του 45

= 3,37 για τιμές του  $V \times \sqrt{A}$  μεγαλύτερες του 75

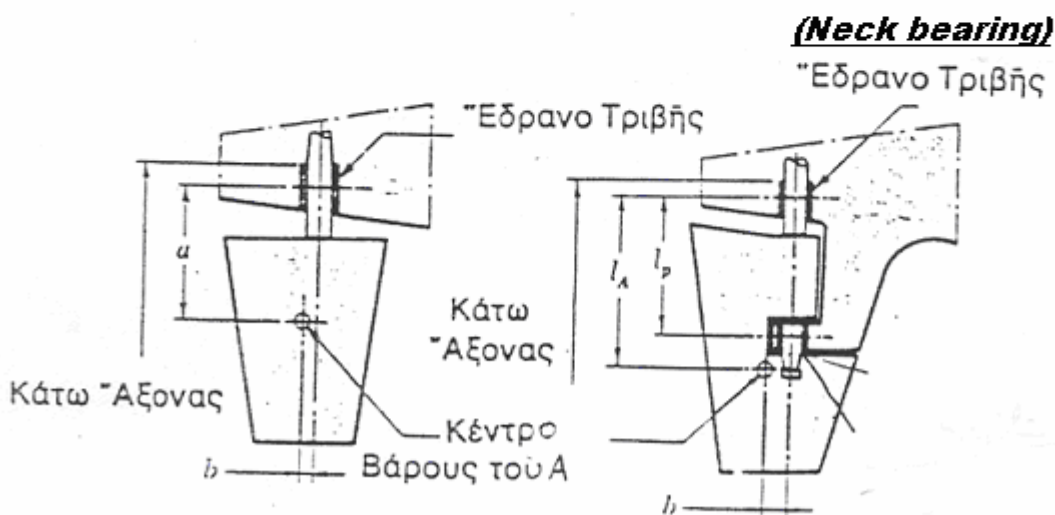
=  $4,19 \times \left( \frac{l_A}{l_p} \right)$  για πηδάλια με άκανθο που έχουν ένα βελόνι.

-  $l_A$  = κατακόρυφη απόσταση , σε (m) , από το κέντρο του κουζινέτου τριβής μέχρι το κέντρο της επιφάνειας του πηδαλίου (**Σχήμα 76**)

-  $l_p$  = κατακόρυφη απόσταση , σε (m) , από το κέντρο του κουζινέτου τριβής μέχρι το κέντρο του κουζινέτου του βελονιού (**Σχήμα 76**)



a) Πηδάλια Πλοίων με Πέδιλα



b) Κρεμαστό Πηδάλιο

γ) Πηδάλιο Πλοίου με Άκανθο

(ABS RULES FOR BUILDING AND CLASSING STEEL VESSELS / Rudders and Steering Equipment))

Σχήμα 76.

Το βάθος της φωλιάς του βελονιού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από  $(1,2 \times d)$ . Τα βελόνια πρέπει να εκτείνονται σε όλο το μήκος του κουζινέτου και όταν χρησιμοποιείται πάνω βελόνι πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν ψηλότερα. Τα βελόνια πρέπει να εφαρμόζουν όπως οι κωνικές βίδες, να μην έχουν πατούρα πριν το κωνικό, το δε κωνικό δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1 : 12 ως προς τη διάμετρο και τα παξιμάδια πρέπει να ασφαλίζονται αποτελεσματικά πάνω στα βελόνια.

## **16. ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΠΗΔΑΛΙΩΝ (περιαυχένια)**

Ο άξονας του μηχανισμού του πηδαλίου συνδέεται με την άνω επιφάνεια (άνω χορδή) του πτερυγίου του πηδαλίου με συνδέσμους (περιαυχένια), το ένα εκ των οποίων συγκολλάται με τον άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου και το άλλο συγκολλάται στην άνω χορδή του πηδαλίου.

Τα περιαυχένια, αποτελούνται από επαρκή μάζα μετάλλου το πάχος της οποίας υπολογίζεται στην επόμενη παράγραφο, συνδέονται δε μεταξύ τους με βίδες, ο ελάχιστος αριθμός των οποίων είναι έξι (-6-).

### **16.1 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΒΙΔΑΣ**

Η διάμετρος της κάθε βίδας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$d_{βιδας} = 0,62 \times \sqrt{\frac{S^3}{n \times r}}, \text{ σε } (mm), \text{ όπου :}$$

$S$  = απαιτούμενη διάμετρος άξονα, σε (mm)

$n$  = αριθμός βιδών (όχι μικρότερος από 6)

$r$  = μέση απόσταση, σε (mm), του κέντρου του συστήματος των βιδών από το κέντρο του περιαυχενίου.

**ΣΗΜ.** : Ο υπολογισμός της διαμέτρου γίνεται θεωρώντας για άξονα και βίδες χάλυβα (ελατό, σφυρήλατο, χυτοχάλυβα) με όριο διαρροής ίσο με  $235 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$  (για τους άξονες, τις βίδες σύνδεσης, τα βελόνια ως ελάχιστο όριο διαρροής λαμβάνεται  $200 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$ ). Σε διαφορετική περίπτωση, λαμβάνεται υπ' όψιν το είδος του υλικού με αντίστοιχους συντελεστές  $K_b$  (συντελεστής υλικού των βιδών σύνδεσης) και  $K_s$  (συντελεστής υλικού του άξονα), και οι αντίστοιχες τιμές λαμβάνονται από τους κανονισμούς.

Επειδή κατά το αρχικό στάδιο της μελέτης, δεν είναι γνωστό το σχήμα του περιαυχενίου (παραλληλόγραμμο, τραπέζιο), ούτε και η διάμετρος των βιδών, οπότε στην παραπάνω σχέση υπολογισμού της διαμέτρου της βίδας υπάρχουν δύο άγνωστοι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της διαμέτρου της βίδας :

$$d_{βιδας} = \frac{0,65 \times S}{\sqrt{n}} \text{ σε } (mm), \text{ όπου :}$$

$S$  = απαιτούμενη διάμετρος άξονα, σε (mm)

$n$  = αριθμός βιδών (όχι μικρότερος από 6)

στη συνέχεια, μπορεί να επαληθευθεί η τιμή της διαμέτρου (με την πρώτη σχέση) όταν σχεδιάζοντας το περιαυχένιο και τις οπές για τις βίδες θα μετρηθεί η απόσταση  $r$ .

**16.2 ΠΑΧΟΣ ΠΕΡΙΑΥΧΕΝΙΟΥ**

Το πάχος του περιαυχενίου θα είναι το μεγαλύτερο (λαμβάνοντας υπ' όψιν την παραπάνω σημείωση για το υλικό) από :

$$- t_f = 0,25 \times S \text{ , σε (mm)}$$

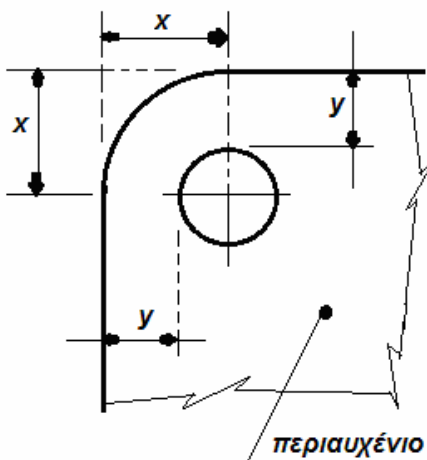
$$- t_f = d_{\text{βιδας}} \text{ , σε (mm)}$$

Το υλικό από τον άξονα της οπής της βίδας μέχρι το άκρο του περιαυχενίου δεν θα είναι μικρότερο από

$$x = 1,2 \times d_{\text{βιδας}} \cdot$$

Το υλικό μεταξύ της άκρης της οπής από το άκρο του περιαυχενίου δεν θα είναι μικρότερο από

$$y = 0,67 \times d_{\text{βιδας}} \cdot$$



Σχήμα 77

**ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**  
**(περιαυχένιο , flange)**



οπές για τις βίδες σύνδεσης

έλασμα  
περιαυχενίου

Το ένα περιαυχένιο (άνω περιαυχένιο) συγκολλάται στην άνω χορδή του περυγίου του πηδαλίου και το άλλο περιαυχένιο (κάτω περιαυχένιο) συγκολλάται στον άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου. Τα δύο περιαυχένια ενώνονται με τους (6 κατ'ελάχιστον) κοχλίες (βίδες) σύνδεσης.

Σχήμα 77 α



**17. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Το πάχος των ελασμάτων πηδαλίου (ελάσματα περιβλήματος, εσωτερικά ενισχυτικά = διαφράγματα) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$t = 1,74 \times a \times \left( \sqrt{p_R \times k} \right) + 2,5 \text{ (mm)}, \text{ όπου :}$$

$a$  = το μικρότερο ανυποστήκτο μήκος ( $m$ ) του φατνώματος του ελάσματος του πηδαλίου

$$p_R = \text{πίεση σχεδίασης} \left( \frac{kN}{mm^2} \right) = 10 \times d + \frac{P}{10^3 \times A}$$

$d$  = βύθισμα του πλοίου σε ( $m$ )

$P$  = δύναμη του πηδαλίου, από την παράγραφο 14.A.1 ή 14.B.1, ανάλογα με τον τύπο του πηδαλίου.

$A$  = επιφάνεια του πηδαλίου σε ( $m^2$ )

Σε κάθε περίπτωση, το πάχος δεν θα είναι μικρότερο από το ελάχιστο πάχος το οποίο υπολογίζεται από :

$$t_{\text{ελαχ.}} = c_1 \times \left( \sqrt{L \times k} \right) \text{ (mm)} \text{ με ελάχιστη τιμή } t_{\text{ελαχ.}} \leq 16 \text{ (mm)} \text{ και } \underline{\text{πάντως όγι μικρότερο από}}$$

$$\underline{t_{\text{ελαχ.}} = 8\sqrt{k} \text{ (mm)}}, \text{ όπου : } \begin{aligned} c_1 &= (1,5 - 0,05 \times L) \text{ για } L < 50 \text{ (m)} \\ &= 1,00 \text{ για } L \geq 50 \text{ (m)} \end{aligned}$$

Το πάχος των εσωτερικών ενισχυτικών του πτερυγίου του πηδαλίου, δεν θα είναι μικρότερο από το 70% του πάχους  $t$  (mm) όπως παραπάνω υπολογίζεται αλλά ούτε μικρότερο από  $t = 8 \times (\sqrt{k})$  (mm)

**Όπου :**

$k$  = συντελεστής που σχετίζεται με το υλικό και με την τιμή της  $R_{eH}$  = (yield strength) = αντοχή διαρροής υλικού :

$$k = 1 \quad \text{για } R_{eH} = 235 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$k = 0,78 \quad \text{για } R_{eH} = 315 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$k = 0,72 \quad \text{για } R_{eH} = 355 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$k = 0,66 \quad \text{για } R_{eH} = 390 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$k = \frac{295}{R_{eH} + 60} \quad \text{για } 235 \left( \frac{N}{mm^2} \right) < R_{eH} < 390 \left( \frac{N}{mm^2} \right), \text{ με } R_{eH} \neq 315 \left( \frac{N}{mm^2} \right), R_{eH} \neq 355 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

**17.α. ΕΛΕΥΘΕΡΙΕΣ ΕΛΙΚΑΣ - ΣΚΑΦΟΥΣ - ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

ΠΡΟΣΩΡΙΝΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΚΑΙ ΚΑΘΟΔΗΓΗΤΙΚΑΙ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ **Κεφάλαιον R**

**R (E) ΚΑΘΟΔΗΓΗΤΙΚΑΙ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΩΝ ΕΛΙΚΟΣ - ΣΚΑΦΟΥΣ**

**Σύμβολα**

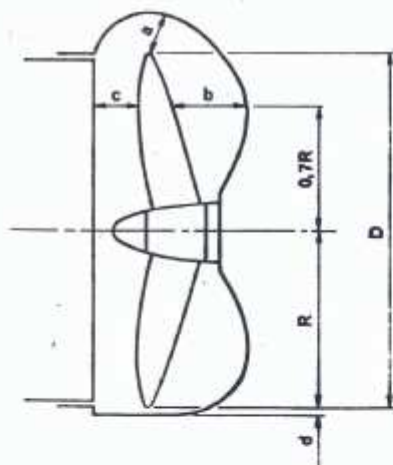
- 101 D = διάμετρος έλικος, εις μέτρα (πόδας).
- R = ακτίς έλικος, εις μέτρα (πόδας).
- L = μήκος του πλοίου, εις μέτρα (πόδας).

**Γενικά**

102 Αί κάτωθι συστάσεις ύποδεικνύουν τάς ελάχιστας έλευθερίας μεταξύ έλικος και ποδοστήματος, πηδαλιού ή περιβλήματος αί όποια δέον όπως προβλέπωνται προς περιορισμόν εις τό ελάχιστον τής πιθανότητος κραδασμών προξενουμένων υπό τής έλικος.

**ΜΟΝΕΛΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**

103 Αί έλευθερία μεταξύ έλικος και πηδαλιού ή ποδοστήματος δέον νά μη είναι μικρότεραί τών διδομένων εις Πίνακα R(E) 1.1



**ΠΙΝΑΞ R (E) 1.1**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ	a*	b*	c*	d
3	1,2k <sub>1</sub> D	1,8k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
4	1,0k <sub>1</sub> D	1,5k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
5	0,85k <sub>1</sub> D	1,275k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
6	0,75k <sub>1</sub> D	1,125k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D

όπου

$$k_1 = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{2,56C_b H}{L^2} + 0,3\right)$$

$$\left(K_1 = \left(0,1 + \frac{L}{10\,000}\right) \left(\frac{28 C_b H}{L^2} + 0,3\right)\right) \text{Βρετ. μον.}$$

C<sub>b</sub> = συντελεστής γάστρας επί νομέων εις έμφορτον βύθισμα

H = μεγίστη ύπολογισθεΐσα ίσποδύναμις άτράκτου.

\* Σημείωσις: Εις ούδεμίαν περίπτωσιν «α» θά είναι μικρότερον του 0,10 D, «β» μικρότερον του 0,15 D, ή «α» μικρότερον του μεγίστου πάχους του πηδαλιού. Τό πάχος θά μετρήται εις την γραμμήν 0,7R άνωθεν τής άξονικής γραμμής τής άτράκτου.

**ΔΙΠΛΕΛΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**

104 'Η έλευθερία μεταξύ τών άκρων τών πτερυγιών τής έλικος και του σκάφους δέν πρέπει νά είναι μικρότερα τών :

3 πτερύγια : 1,2 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,2D

4 πτερύγια : 1,0 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,2D

5 πτερύγια : 0,85 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,16 D

6 πτερύγια : 0,75 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,16D

'Η έλευθερία μεταξύ έλικος και τών βραχιόνων τής άτράκτου ή τών διογκωμάτων του σκάφους δέν πρέπει νά είναι μικρότερα τών :

3 πτερύγια : 1,2 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,15D

4 πτερύγια : 1,0 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,15D

5 πτερύγια : 0,85 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,15 D

6 πτερύγια : 0,75 K<sub>2</sub>D άλλ' ούχι μικρότερα του 0,15D

όπου

$$K_2 = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{1,28C_b H}{L^2} + 0,3\right)$$

$$\left(K_2 = \left(0,1 + \frac{L}{10\,000}\right) \left(\frac{14 C_b H}{L^2} + 0,3\right)\right) \text{Βρετ. μον.}$$

C<sub>b</sub> = συντελεστής γάστρας επί νομέων εις έμφορτον βύθισμα,

H = μεγίστη όλική έγκατεστημένη ύπολογισθεΐσα ίσποδύναμις άτράκτου.

**18. ΕΛΕΥΘΕΡΙΕΣ ΕΛΙΚΑ – ΣΚΑΦΟΥΣ- ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

153

17-D

**Appendix 17-D**

**PROPELLER-HULL CLEARANCES**

The table hereafter permits to determine the minimum values recommended for propeller-hull clearances in order to limit the risk of vibrations excited by the propellers.

The symbols used have the following significations:

$$\alpha = \frac{(C_b F)^{2/3}}{8L}$$

F : horse power per shaft,

C<sub>b</sub>: block-coefficient of the ship such as defined in chapter 5 Volume B,

L : length of the ship, in m, as defined in chapter 5 Volume B,

D : diameter of the propeller,

e : maximum thickness of the rudder,

– for single screw ships:

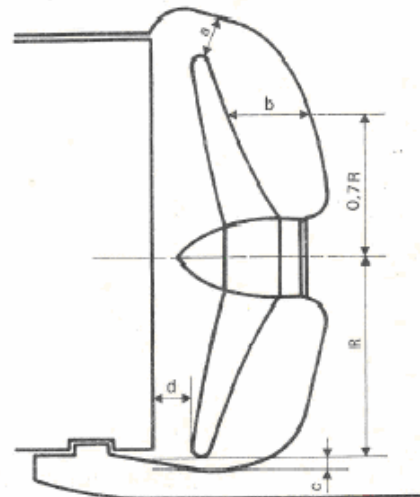
a, b, c, d: clearances defined by the diagram opposite,

– for twin screw ships:

A : clearance between tip of the blade and hull,

B : clearance between blade and shaft brackets,

the herebefore clearances being expressed in the same unit as D and e.



Whenever two clearance values result from the application of the table hereafter, the higher one is to be taken into consideration.

Number of blades	Single-screw ships				Twin-screw ships	
	a	b	c	d	A	B
3	0,80αD and 0,10D	1,5a	0,03D	0,12D and e	0,80αD and 0,20D	A and 0,15D
4	0,65αD and 0,10D				0,65αD and 0,20D	
5	0,55αD and 0,10D				0,55αD and 0,16D	
6	0,50αD and 0,10D				0,50αD and 0,16D	

BUREAU VERITAS

**BUREAU VERITAS**

**Σχήμα 79**  
**(Κανονισμοί ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΑ)**

## **19. ΜΕΛΕΤΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ**

Η μελέτη – σχεδίαση του πηδαλίου εκπονείται με βάση την παρακάτω διαδικασία :

1. Σχεδιάζεται η περιοχή της πρύμνης του πλοίου ώστε να καθοριστεί (από σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών ) ο διαθέσιμος χώρος. Σημειώνεται ότι εάν το πλοίο έχει ένα πηδάλιο αυτό θα τοποθετηθεί στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας , ενώ εάν έχει δύο πηδάλια το καθένα θα τοποθετηθεί πίσω από την αντίστοιχη έλικα (εκτός εάν το πλοίο έχει δύο έλικες και ένα πηδάλιο , οπότε αυτό θα είναι στο μέσον).
2. υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια του πηδαλίου χρησιμοποιώντας τον πίνακα ή τις σχέσεις των Νηογνωμόνων και καθορίζεται η πραγματική επιφάνεια στη συγκεκριμένη περιοχή της πρύμνης ελέγχοντας τις ελευθερίες μεταξύ γάστρας , έλικας .
3. καθορίζονται οι διαστάσεις του πτερυγίου του πηδαλίου και σχεδιάζεται η επιφάνειά του.
4. με δεδομένα την πραγματική επιφάνεια και την ταχύτητα του πλοίου , υπολογίζεται η διάμετρος του άξονα του μηχανισμού πηδαλίου.
5. υπολογίζεται το πάχος των περιαχενίων και ελέγχεται το ύψος μεταξύ της άνω χορδής του πηδαλίου και της γάστρας στο σημείο τοποθέτησης.
6. καθορισμός των τελικών διαστάσεων του πηδαλίου ,επιλογή προφίλ NACA και σχεδίαση των γραμμών των οριζόντιων τομών : εάν το πηδάλιο είναι ορθογωνικής μορφής , η οριζόντια τομή είναι μια , ενώ εάν είναι τραπεζοειδούς μορφής σχεδιάζεται η άνω χορδή , η κάτω χορδή και η μέση χορδή (στο μέσον του ύψους του πηδαλίου).
7. υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών , καθορισμός της απόστασης του κέντρου πίεσης από τον άξονα περιστροφής , καθορισμός της μέγιστης ροπής στρέψεως.
8. υπολογισμός κατασκευαστικών στοιχείων του πηδαλίου: ισαποστάσεις οριζόντιων και κάθετων διαφραγμάτων , πάχη ελασμάτων , υπολογισμός διαστάσεων εγκοπών συγκόλλησης , σχεδίαση περιαχενίου .
9. εκπόνηση κατασκευαστικού σχεδίου του πηδαλίου.

**(αναλυτικό παράδειγμα μελέτης – σχεδίασης πηδαλίου ευρίσκεται αναρτημένο στο :**

*eclass.teiath.gr* ⇒ ΣΤεφ/Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών ⇒  
 ⇒ ΣΤεφ/ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ ⇒ προπτυχιακό ⇒  
 ⇒ ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΛΟΙΟΥ II – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ⇒ Έγγραφα ⇒  
 ⇒ ΠΗΔΑΛΙΟ ⇒ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥ 1.A / ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥ 1.B

**Επίσης το αναλυτικό Παράδειγμα μελέτης – σχεδίασης πηδαλίου είναι αναρτημένο και στο :**

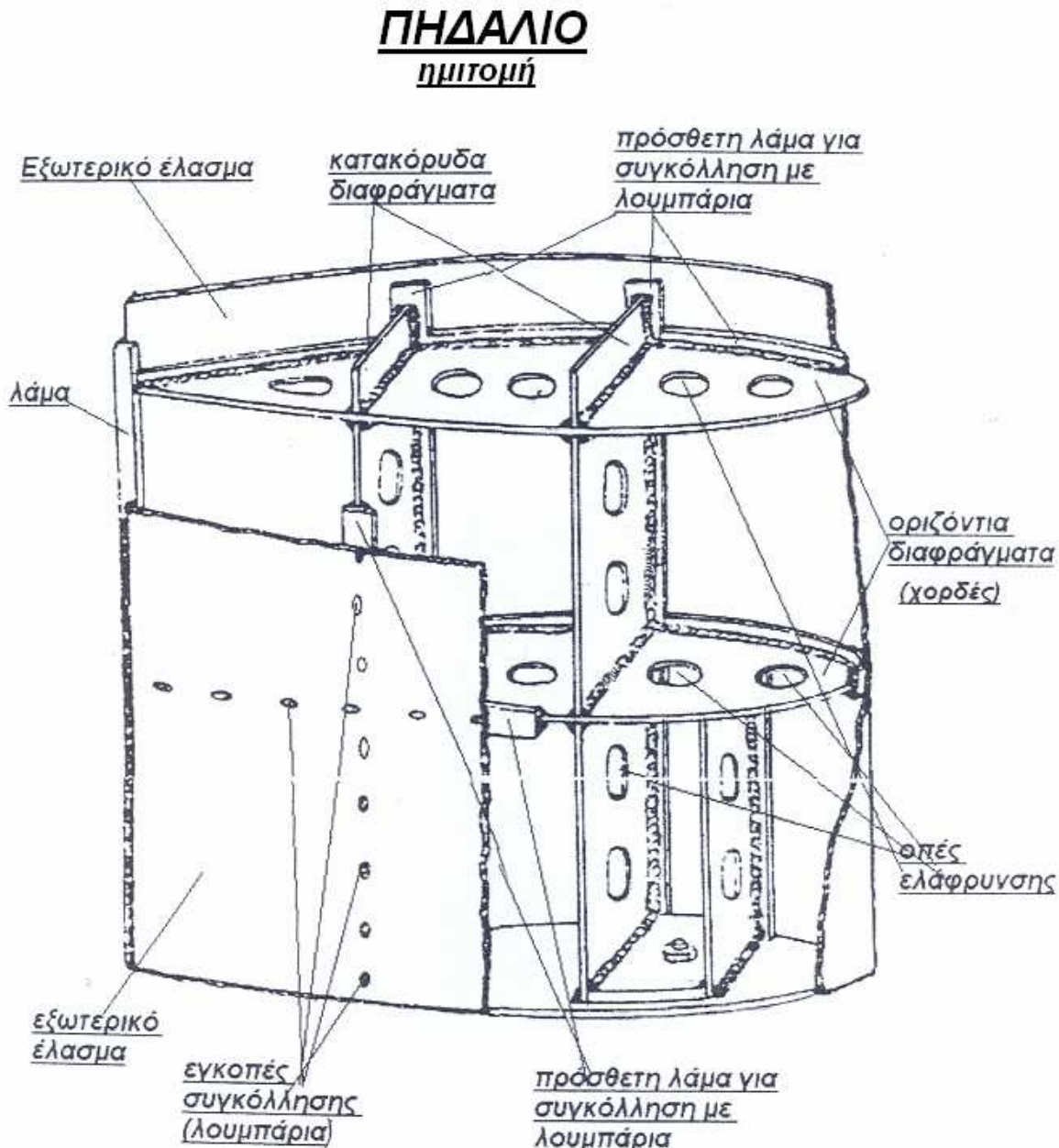
*ocr.teiath.gr* ⇒ Ανοικτά μαθήματα ⇒ Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (STEF) ⇒  
 ⇒ Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών ΤΕ (NAFP) ⇒ Προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών ⇒  
 ⇒ Μηχανές Πλοίου II (B) (NAFP\_UNDER115) ⇒ Έγγραφα ⇒  
 ⇒ Εκπαιδευτικό υλικό ⇒ Παρουσιάσεις ⇒ 2.Πηδαλιούχια – Πηδάλια ⇒  
 ⇒ 2.2 Παράδειγμα πηδαλίου και 2.3 Παράδειγμα πηδαλίου

## **20. ΣΧΗΜΑΤΑ**



## 20.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Διακρίνονται οι πρόσθετες (βοηθητικές) λάμες που τοποθετούνται στα οριζόντια και κατακόρυφα διαφράγματα για τη δημιουργία εγκοπών συγκόλλησης (λουμπάρια) για τη συγκόλληση του εξωτερικού περιβλήματος.



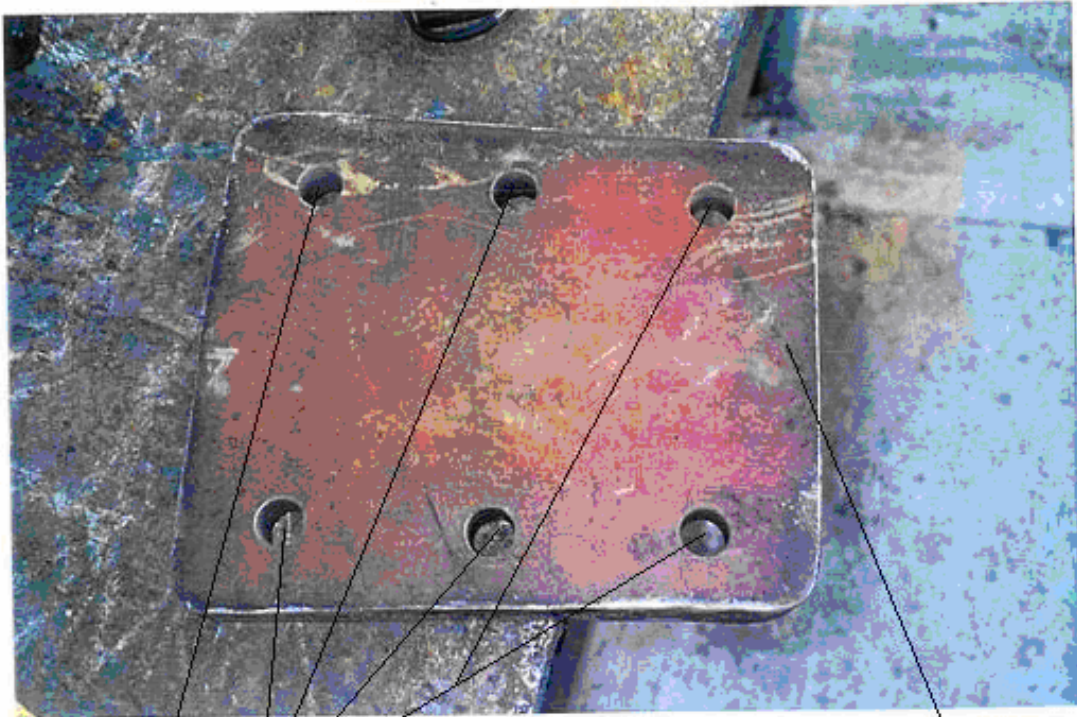
Σχήμα 80



## 20.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

#### περιαυχένιο



οπές για τις βίδες σύνδεσης

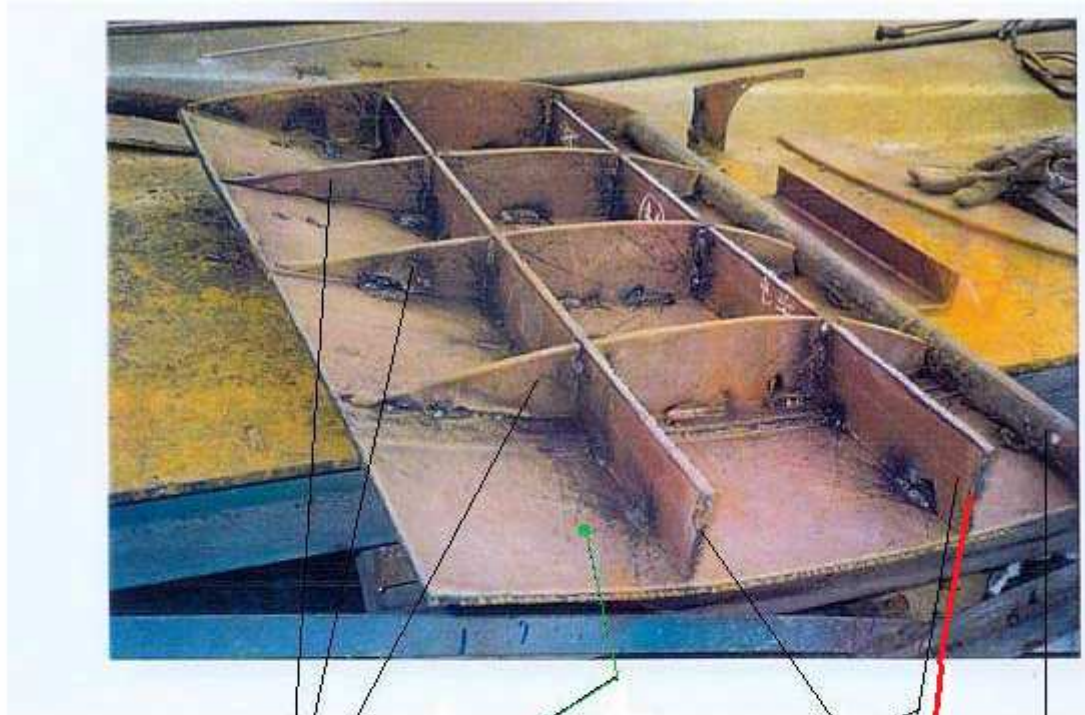
έλασμα  
περιαυχενίου

Το ένα περιαυχένιο συγκολλάται στην άνω χορδή του πτερυγίου του πηδαλίου (άνω περιαυχένιο ) και το άλλο περιαυχένιο (κάτω περιαυχένιο ) συγκολλάται στον άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου.

Τα δύο περιαυχένια ενώνονται με τους (6 κατ' ελάχιστον) κοχλίες (βίδες) σύνδεσης.

Σχήμα 81

### 20.3 Κατασκευή Πτερυγίου πηδαλίου



οριζόντια διαφράγματα  
υδροδυναμικής μορφής

κατακόρυφα  
διαφράγματα

ελασμα περιβλήματος

αυτό το κατακόρυφο διάφραγμα έχει  
τοποθετηθεί στη θέση του άξονα περιστροφής  
του πηδαλίου

βέργα στην ακμή εισόδου (ανάντη ακμή) του πτερυγίου για κόλληση των  
ελασμάτων περιβλήματος.

Η ακτίνα της βέργας υπολογίζεται από τον αντίστοιχο πίνακα NACA

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ανοικτή η κατασκευή ενός πτερυγίου πηδαλίου.  
Στο σχήμα αυτό φαίνονται :

- τα οριζόντια διαφράγματα – ενισχύσεις που έχουν υδροδυναμική μορφή
- τα κατακόρυφα διαφράγματα – ενισχύσεις που είναι λάμες

Επίσης στο δεξί μέρος του σχήματος φαίνεται η σωλήνα που τοποθετείται για την ολοκλήρωση της κατασκευής. Η ακτίνα αυτής της σωλήνας υπολογίζεται από τον αντίστοιχο πίνακα της επιλεγμένης μορφής NACA.

Σχήμα 82



### 20.4 Άξονας μηχανισμού πηδαλίου



Βίδες  
σύνδεσης

οπές για τις  
βίδες σύνδεσης

περιαυχάινιο  
(άνω περιαυχάινιο)

Σχήμα 83

### **20.5 Άξονας μηχανισμού πηδαλίου σε διαδικασία τοποθέτησης**

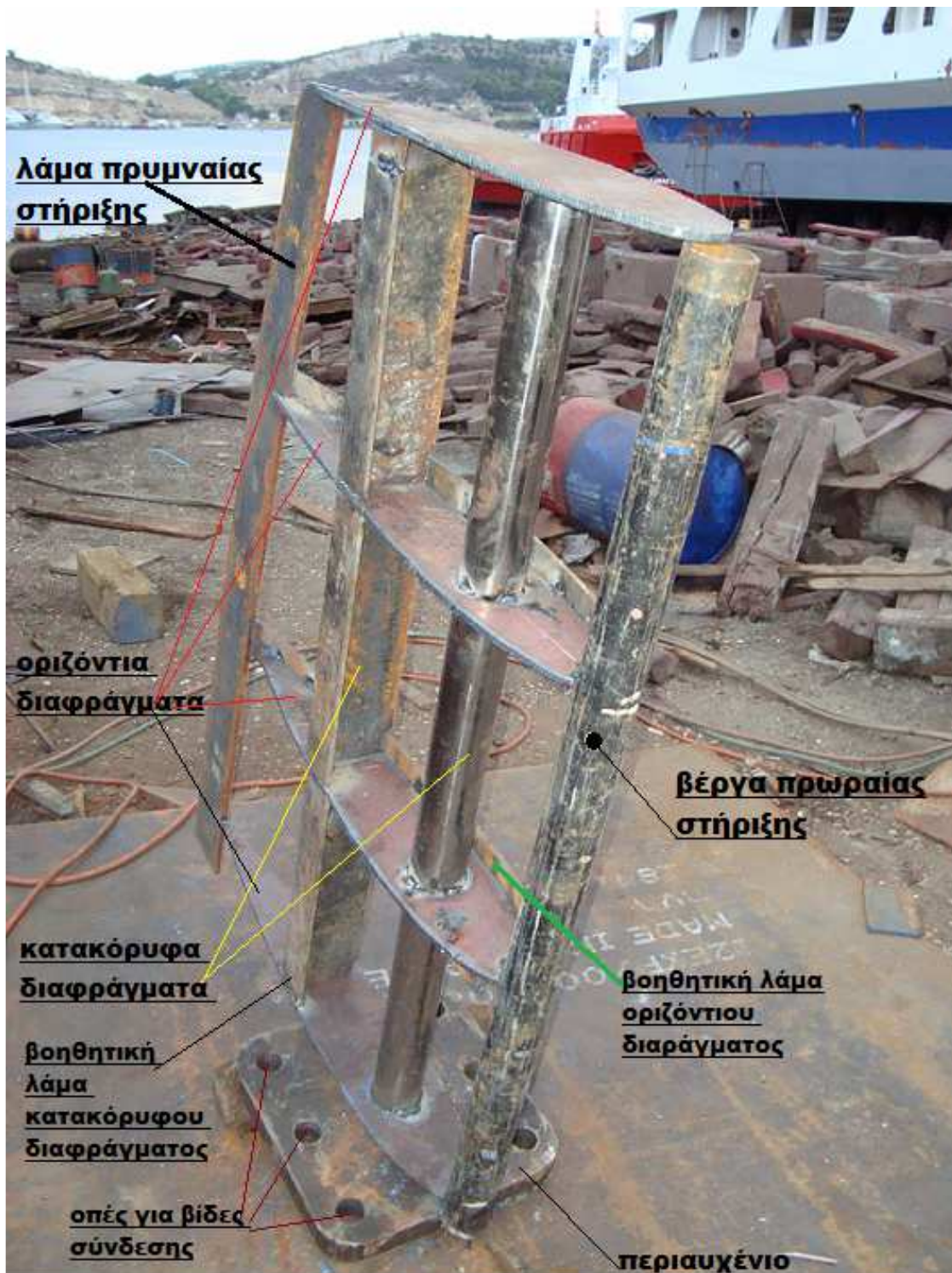


περιαυχάινιο που συγκολλάται στον άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου (είναι το άνω περιαυχάινιο)

Σχήμα 84



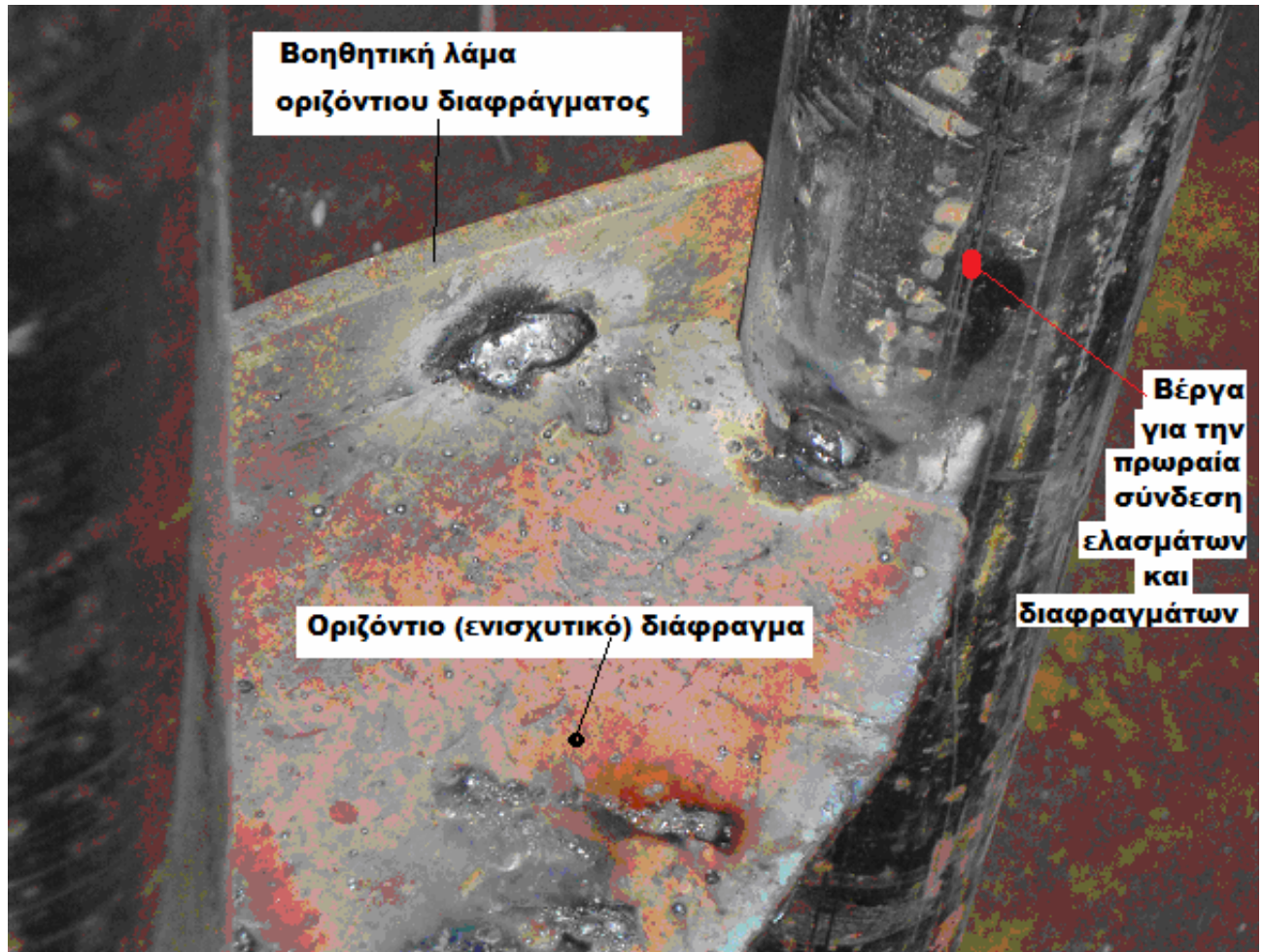
## 20.6 ΠΤΕΡΥΓΙΟ ΠΗΔΑΛΙΟΥ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



(είναι το κάτω περιαυχένιο του συστήματος και συνδέεται με βίδες στο άνω περιαυχένιο το οποίο έχει τοποθετηθεί στο κάτω μέρος του άξονα του μηχανισμού πηδαλίου)

Σχήμα 85

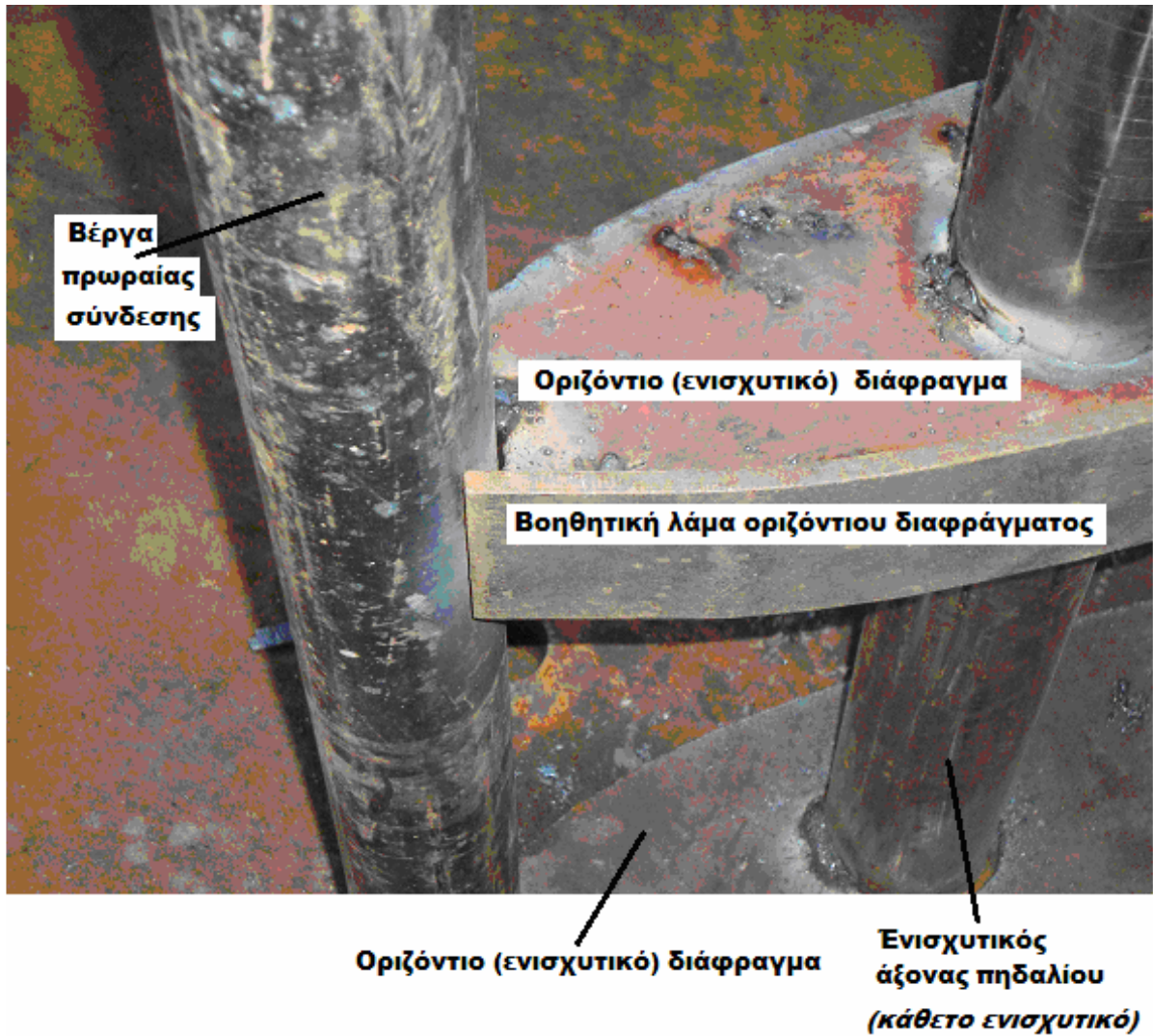
## 20.7 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΠΡΩΡΑΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ 1



Σχήμα 86

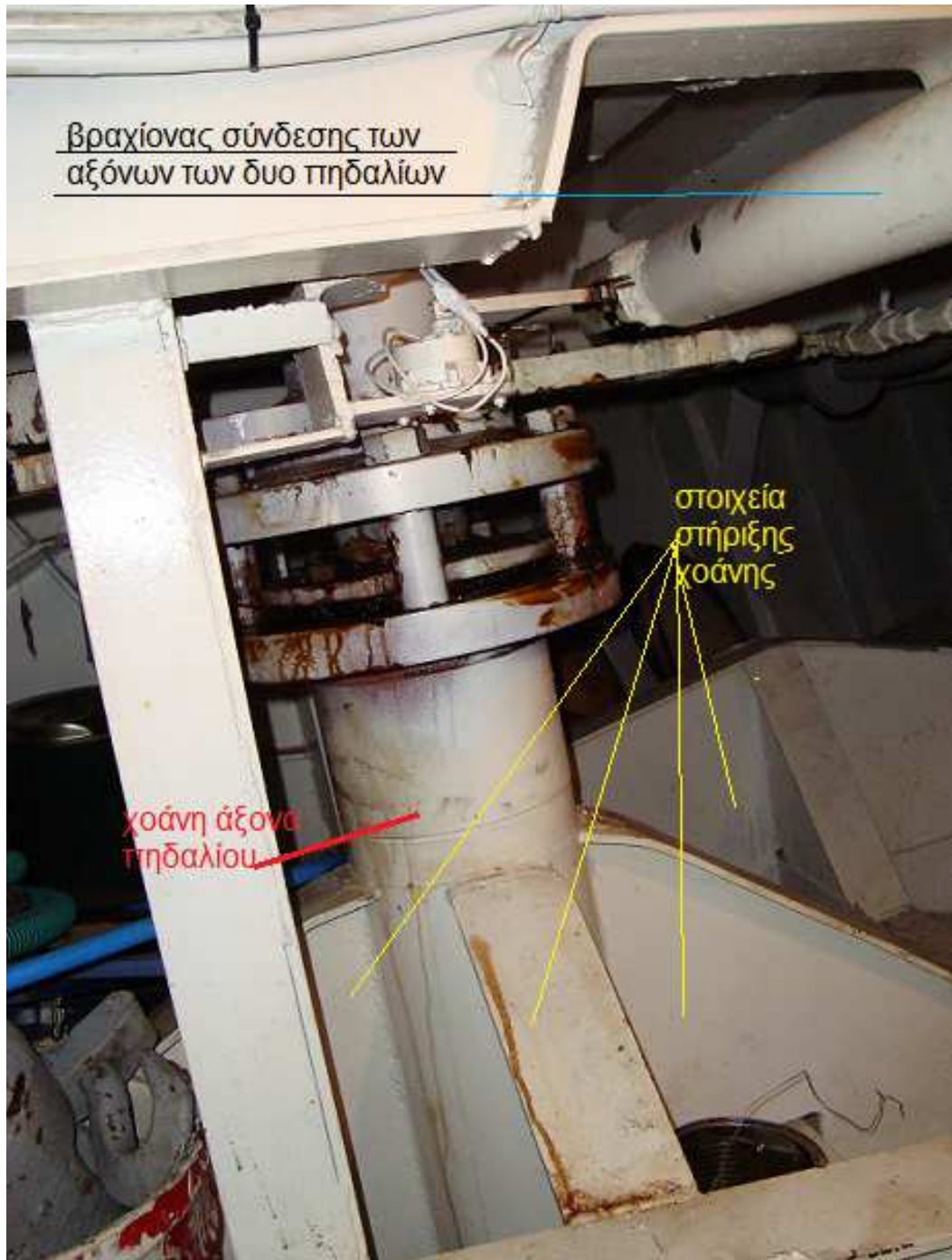


## 20.8 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΠΡΩΡΑΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ 2



Σχήμα 87

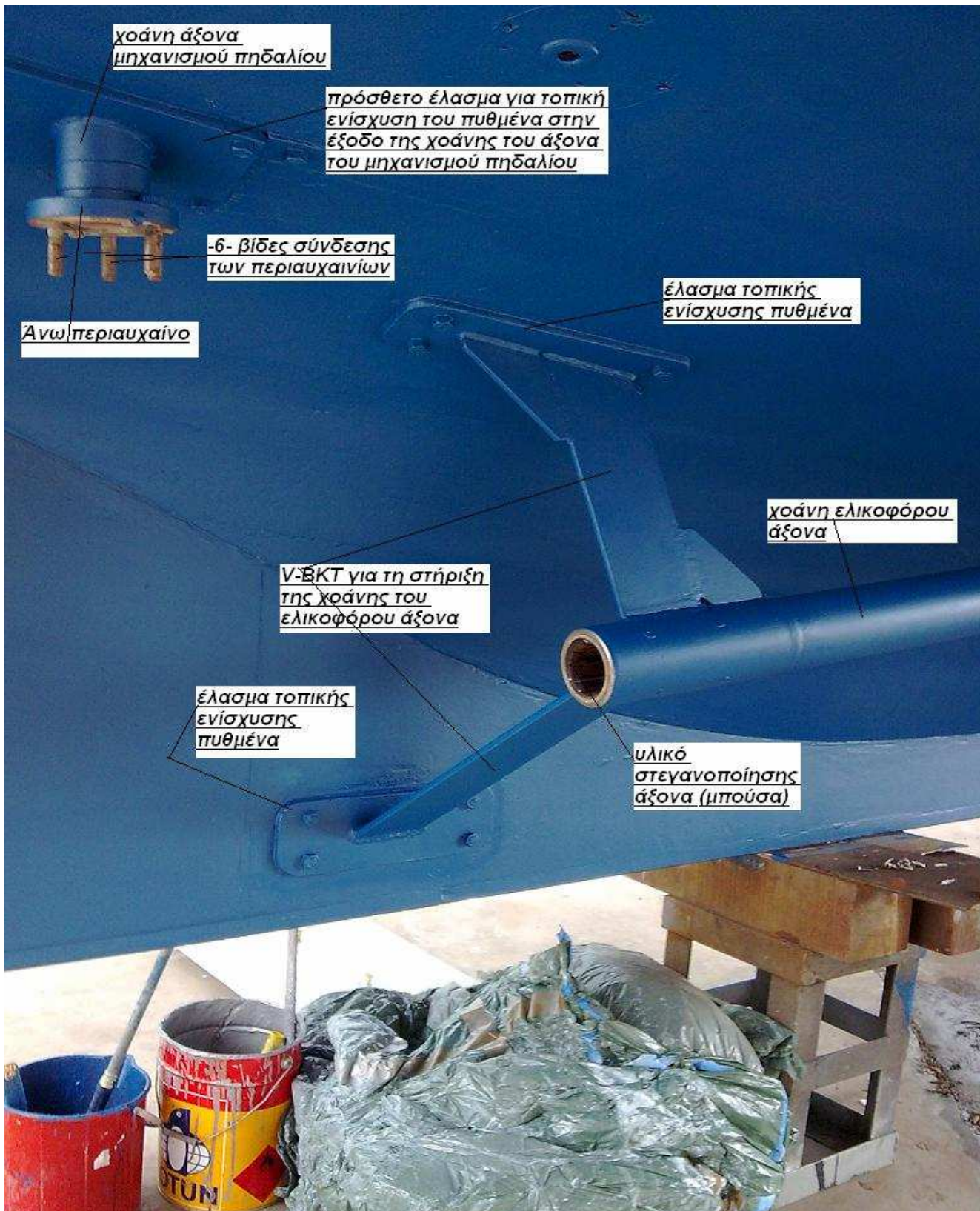
## **20.9 ΣΤΗΡΙΞΗ ΧΟΑΝΗΣ ΑΞΟΝΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥ** **ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ**



Σχήμα 88



## 20.10 ΠΡΥΜΝΗ : Περιογή τοποθέτησης πηδαλίου – ελικοφόρου ατράκτου – έλικας



Σχήμα 89

### 20.11 ΠΡΥΜΝΗ : τοποθετημένο πηδάλιο



Σχήμα 90



## 20.12 ΠΗΔΑΛΙΟ

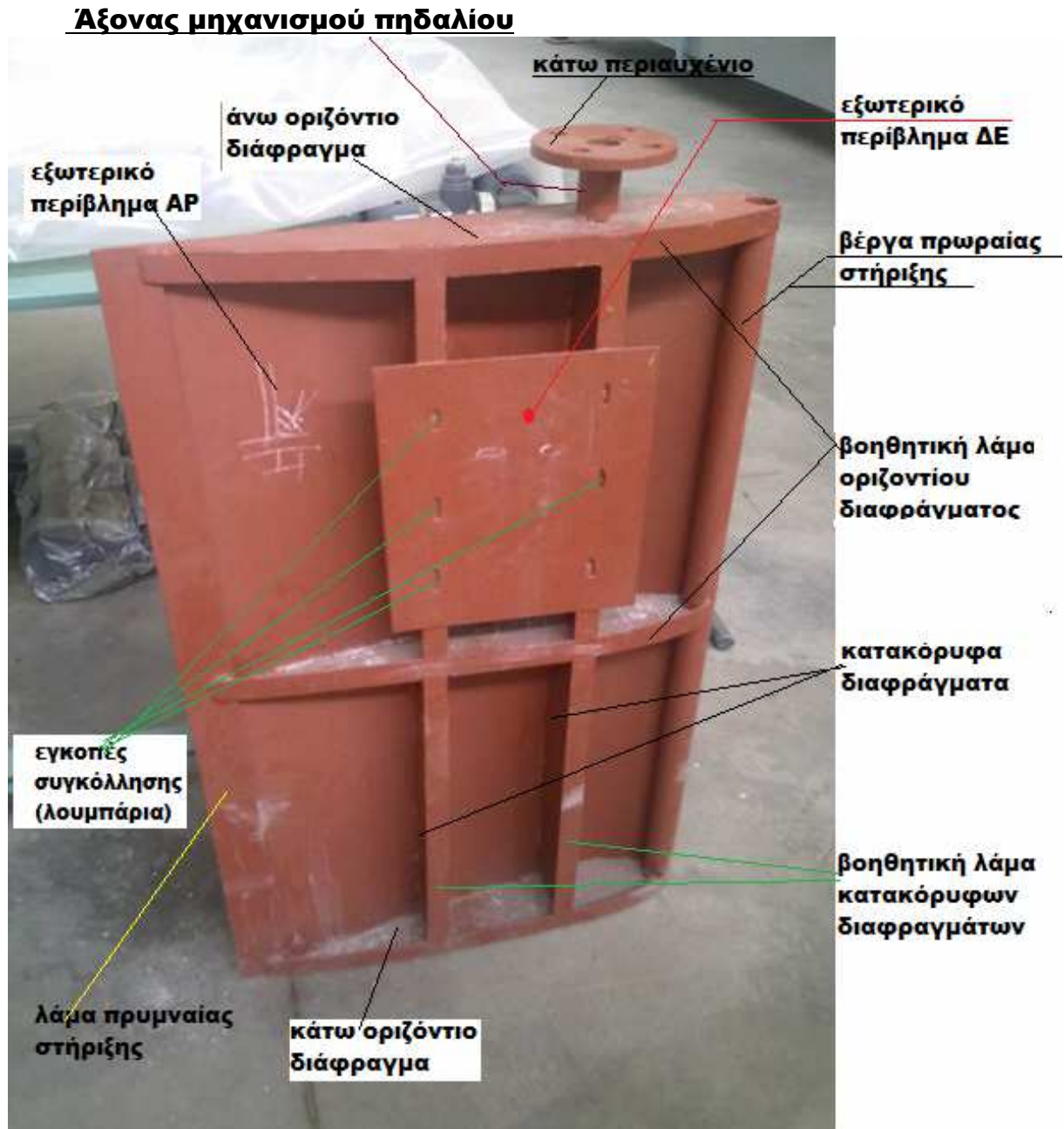
(εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)



Σχήμα 91

## 20.13 ΠΗΔΑΛΙΟ

(εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

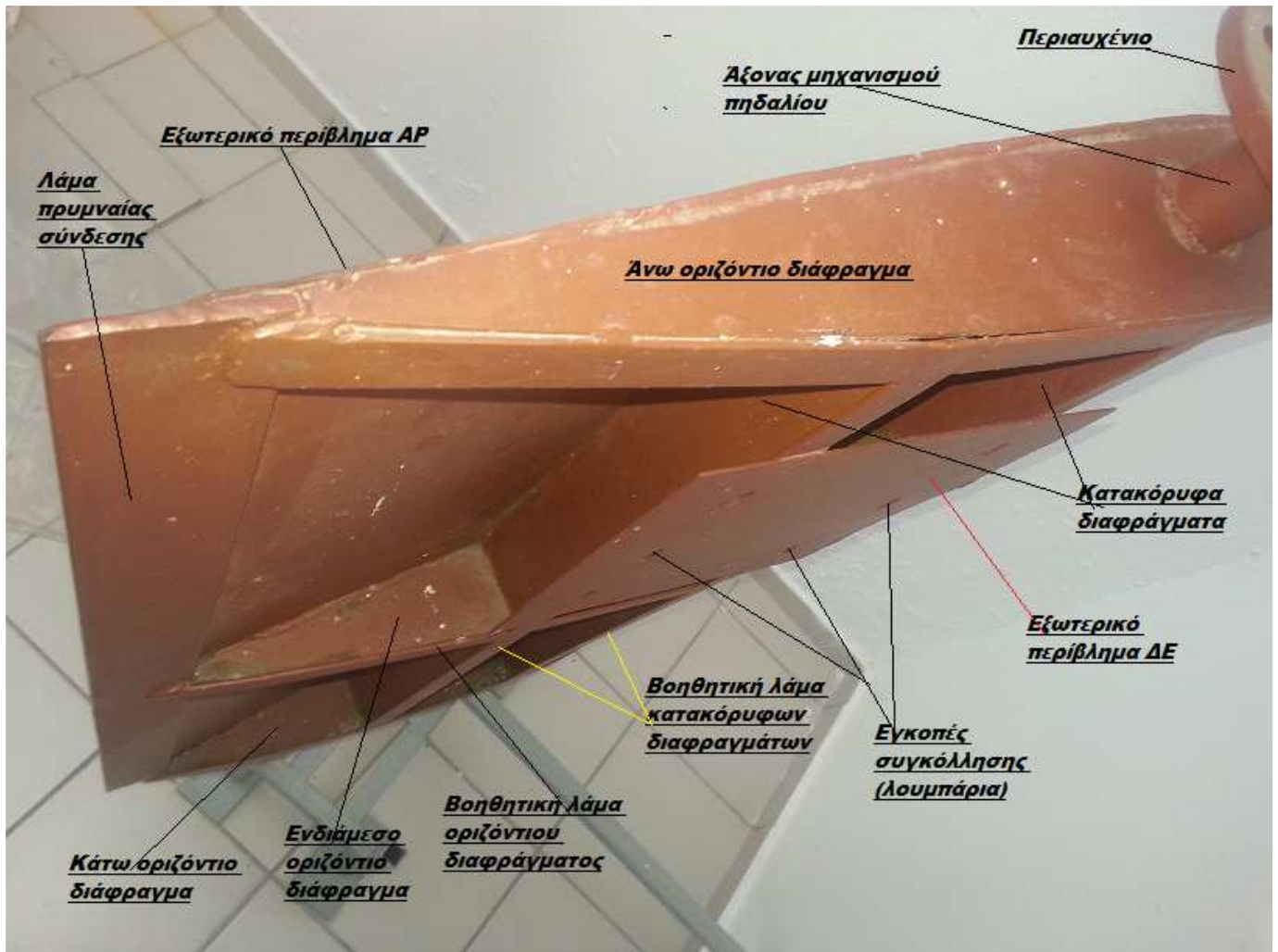


Σχήμα 92



## 20.14 ΠΗΔΑΛΙΟ (εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

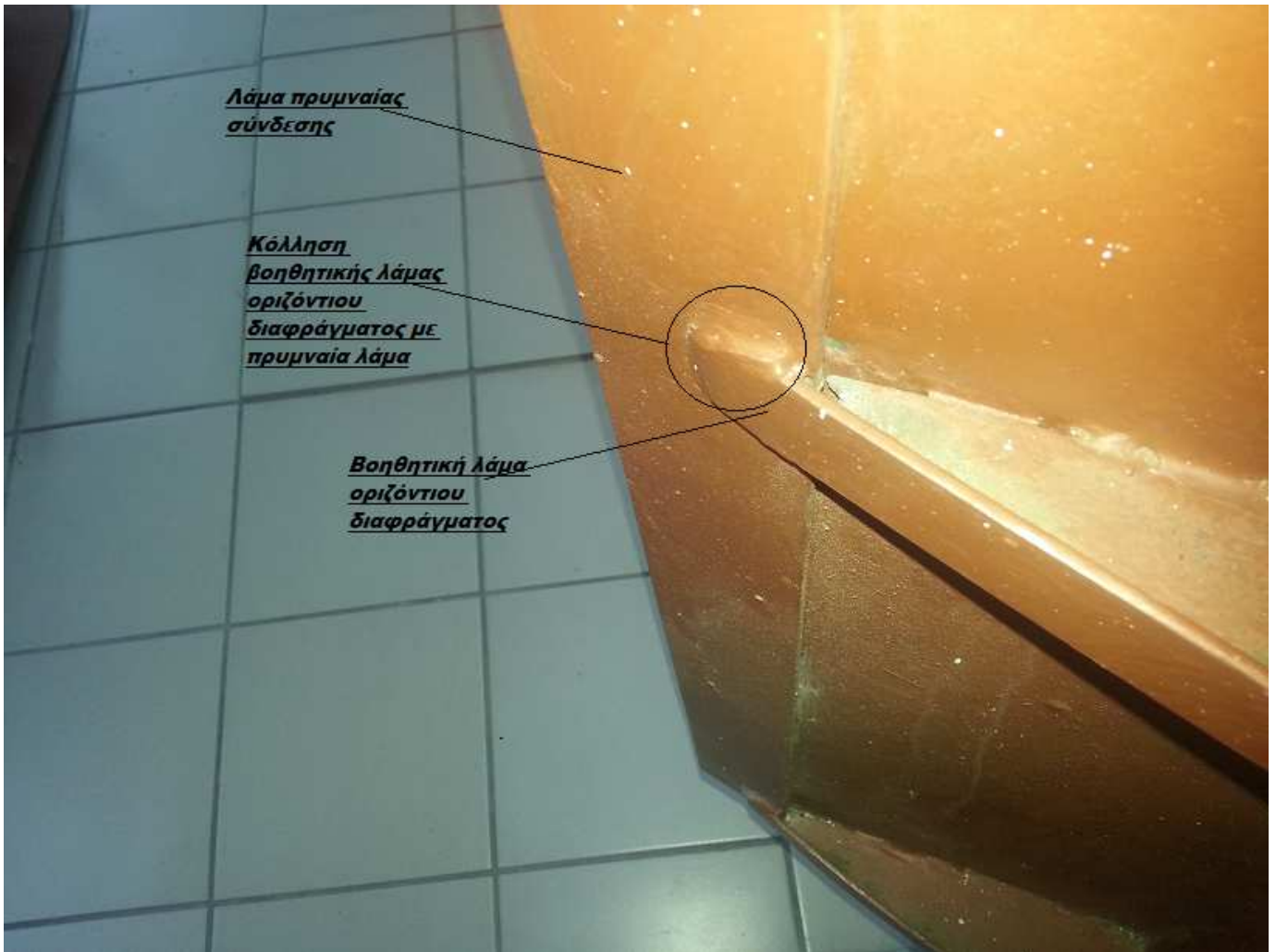
### Δεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 1/3



Σχήμα 93

## 20.15 ΠΗΔΑΛΙΟ (εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

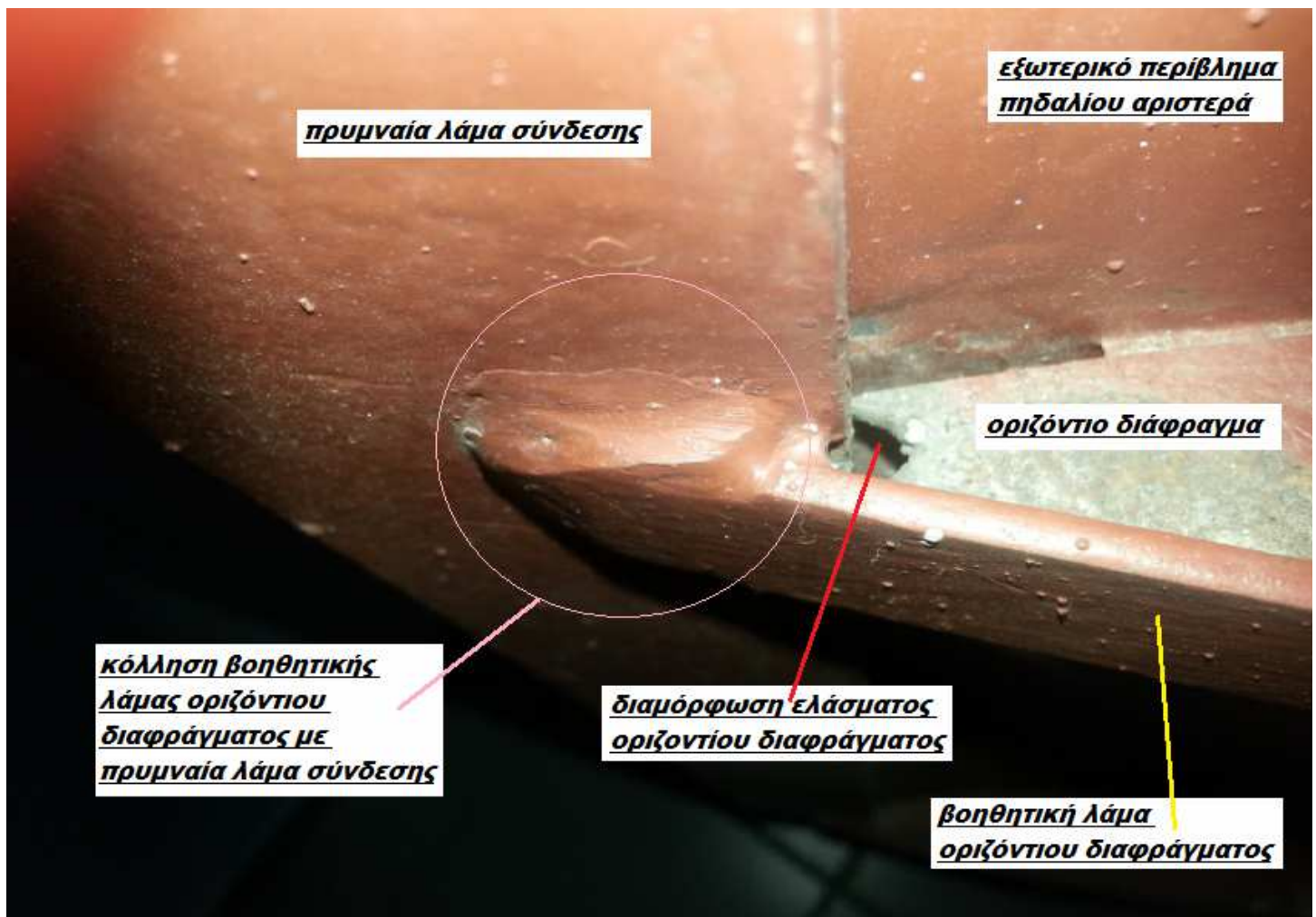
### Λεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 2 / 3



Σχήμα 94

## 20.16 ΠΗΔΑΛΙΟ (εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

### Λεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 3/3



Σχήμα 95

## 20.17 ΠΗΔΑΛΙΟ (εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

### Λεπτομέρεια προωραίας σύνδεσης 1/2

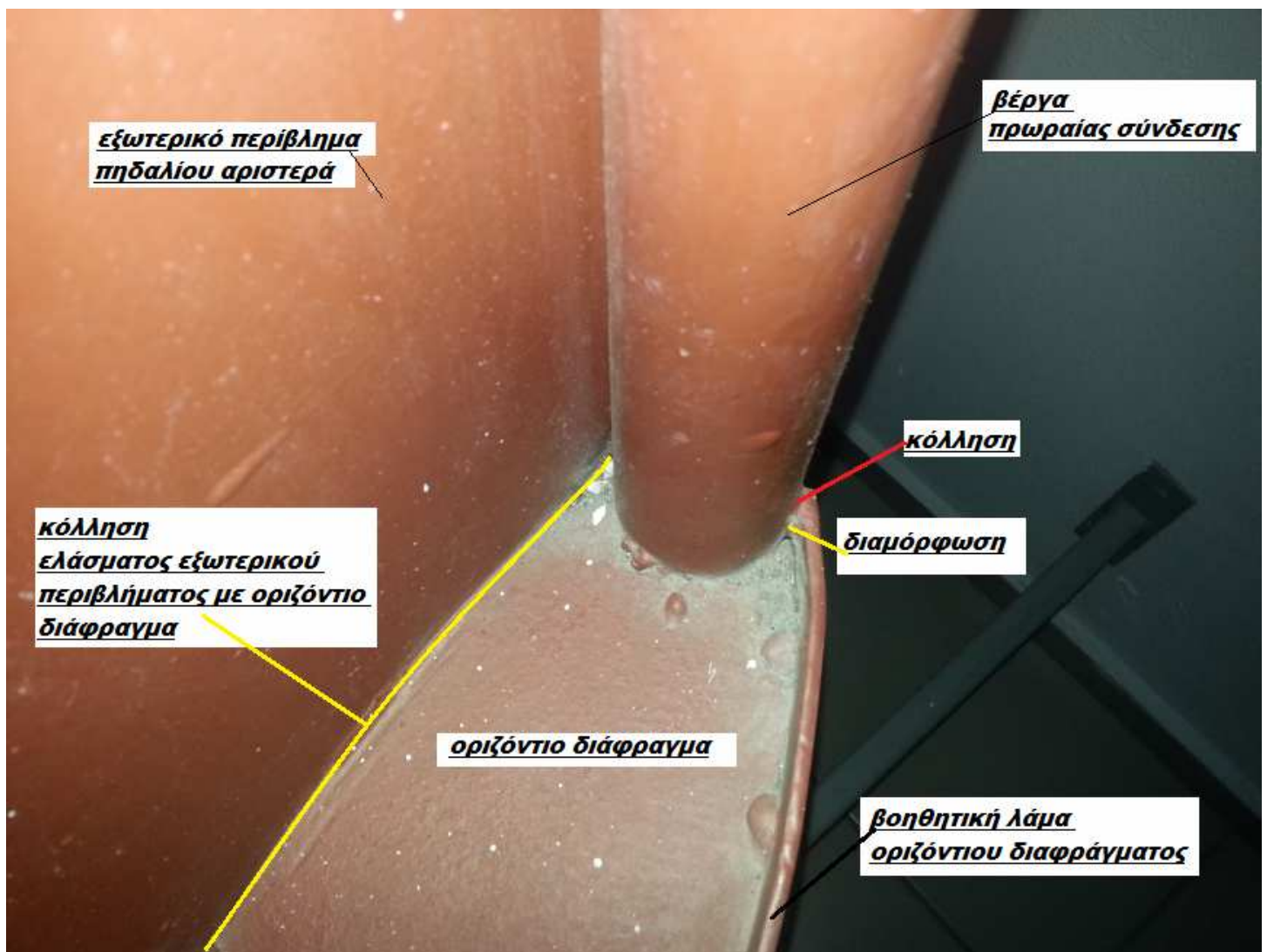




Σχήμα 96

**20.18 ΠΗΔΑΛΙΟ** (εργαστήριο Τεχνικής Νομοθεσίας)

**Λεπτομέρεια προωραίας σύνδεσης 2/ 2**



Σχήμα 97



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΗΣΗ – ΠΗΔΑΛΙΑ

Εισαγωγή .....	2
Γενικά περί πηδαλίων :Πηδαλιούχηση – Πηδάλια .....	3
1. Γενικά .....	3
2. Επιδράσεις του πηδαλίου επί του πλοίου .....	6
2.1 Κύκλος στροφής .....	7
2.1.1. Κίνηση πλοίου στο οριζόντιο επίπεδο .....	10
2.1.2. Κίνηση πλοίου περί διαμήκη άξονα .....	19
2.1.2.1.Κλίση στην πρώτη φάση .....	19
2.1.2.2.Κλίση στη δεύτερη φάση .....	21
2.1.2.3.Κλίση στη Τρίτη φάση .....	22
2.1.3. Κλίση του πλοίου περί εγκάρσιο άξονα .....	24
3. Ελικτικότητα .....	26
Έλικά πλώρης.....	26
Έλικά VOITH – SCHNEIDER .....	27
Πηδάλιο KORT .....	29
Ενεργό πηδάλιο .....	31
4 Δύναμη επί του πηδαλίου .....	36
5 Κέντρο εφαρμογής της δύναμης του πηδαλίου .....	38
6 Ροπή στρέψεως .....	42
7 Σχεδιασμός του πηδαλίου .....	44
8 Ονοματολογία υδροδυναμικής μορφής πηδαλίου .....	45
9 Επιφάνεια πηδαλίου .....	49
10 Τύποι πηδαλίων .....	52
11 Μορφή τομής πηδαλίων .....	55
11.1 Κοινό πηδάλιο (μονό έλασμα) .....	55
11.2 Πηδάλιο με διπλό έλασμα (κοίλα πηδάλια) .....	57
11.3 Κοίλα πηδάλια υδροδυναμικής μορφής .....	61
11.4 Πίνακας NACA .....	63
12. Κατασκευή πηδαλίου .....	64
12.1. Συγκολλήσεις πηδαλίου .....	65
12.2. Μοντάρισμα πηδαλίου και κατασκευαστικές λεπτομέρειες .....	68
12.3 Εγχοπές συγκόλλησης (λουμπάρια) .....	74
12.4. Πρωραία σύνδεση .....	75
13. Υπολογισμός υδροδυναμικών συντελεστών .....	77
13.1. Υδροδυναμικός υπολογισμός θέσης άξονα περιστροφής πηδαλίου .....	81
14. Υπολογισμοί αντοχής .....	83
14.1 Ζυγοσταθμισμένα πηδάλια .....	83
14.2. Ημι-ζυγοσταθμισμένα πηδάλια .....	86

15. Άξονας πηδαλίου .....	88
16. Σύνδεσμοι πηδαλίου .....	91
16.1 Διάμετρος βίδας .....	91
16.2 Πάχος περιανχενίου .....	92
17. Υπολογισμός πάχους ελασμάτων πηδαλίου .....	93
17.α. Ελευθερίες έλικας – σκάφους – πηδαλίου (E.N.) .....	94
18. Ελευθερίες έλικας – σκάφους – πηδαλίου ( B.V.) .....	95
19. Μελέτη – σχεδίαση πηδαλίου .....	96
20. Σχήματα .....	97
20.1 Τρισδιάστατη παρουσίαση πηδαλίου .....	98
20.2 Σύνδεσμος πηδαλίου (περιανχένιο) .....	99
20.3 Κατασκευή πτερυγίου πηδαλίου .....	100
20.4 Άξονας μηχανισμού πηδαλίου .....	101
20.5 Άξονας μηχανισμού πηδαλίου σε διαδικασία τοποθέτησης .....	102
20.6 Πτερύγιο πηδαλίου υπό κατασκευή .....	103
20.7 Λεπτομέρεια πρωραίας σύνδεσης 1 .....	104
20.8 Λεπτομέρεια πρωραίας σύνδεσης 2 .....	105
20.9 Στήριξη χοάνης άξονα πηδαλίου εσωτερικά του σκάφους .....	106
20.10. Πρύμνη : περιοχή τοποθέτησης πηδαλίου – ελικοφόρου ατράκτου – έλικας .....	107
20.11. Πρύμνη : τοποθετημένο πηδάλιο .....	108
20.12. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας 1 .....	109
20.13. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας 2 .....	110
20.14. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας 3 : λεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 1/3 .....	111
20.15. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας 4 : λεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 2/3 .....	112
20.16. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας : λεπτομέρεια πρυμναίας σύνδεσης 3/3 .....	113
20.17. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας : λεπτομέρεια πρωραίας σύνδεσης 1/2 .....	114
20.18. Πηδάλιο εργαστηρίου Τεχνικής Νομοθεσίας : λεπτομέρεια πρωραίας σύνδεσης 2/2 .....	115
Περιεχόμενα .....	116
Βιβλιογραφία .....	118

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. **TECNOLOGIA DELLA NAVE (ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΟΙΟΥ) , GENOVA 1976**
2. **ALLESTIMENTO NAVALE (ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΟΙΟΥ), GENOVA 1998**
3. **ALLESTIMENTO NAVALE , Parte 1a , A. Morvillo , GENOVA**
4. **ΝΑΥΠΗΓΙΑ , ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ , Β.Ε.ΦΡΑΓΚΟΥΛΗΣ**
5. **ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΟΙΟΥ , Τόμος 2 , Κ.Ι. Rawson & Ε.Ι. Tupper**
6. **IL GOVERNO DELLA NAVE , Emilio Castagneto , Napoli**
7. **Κανονισμοί κατασκευής πλοίου, Α.Β.Ι. (Αμερικάνικος Νηογνώμων)**
8. **Κανονισμοί κατασκευής πλοίου, Ε.Ν. (Ελληνικός Νηογνώμων)**
9. **Κανονισμοί κατασκευής πλοίου, Γ.Ι. (Γερμανικός Νηογνώμων)**
10. **SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION, S.N.A.M.E.**
11. **MARINE ENGINEERING, S.N.A.M.E.**
12. **Principles of Naval Architecture , Vol. III / Motions in Waves and Controllability**