ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

(σελ. 96 / *ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017*)

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 περιαυχενίων 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 με εφαρμογή κανονισμών Νηογνώμονα : ισαποστάσεις οριζόντιων και κάθετων διαφραγμάτων , πάχη ελασμάτων , υπολογισμός διαστάσεων εγκοπών συγκόλλησης , υπολογισμός ροπής στρέψεως , σχεδίαση περιαυχενίου .

9. εκπόνηση κατασκευαστικού σχεδίου του πηδαλίου.

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Ολικό μήκος ……………………….. = 24,40 (m)

Μήκος μεταξύ καθέτων ……… = 20,30 (m)

Μήκος ισάλου …………………….. = 21,60 (m)

Μήκος υπολογισμού …………. = 20,736 (m)

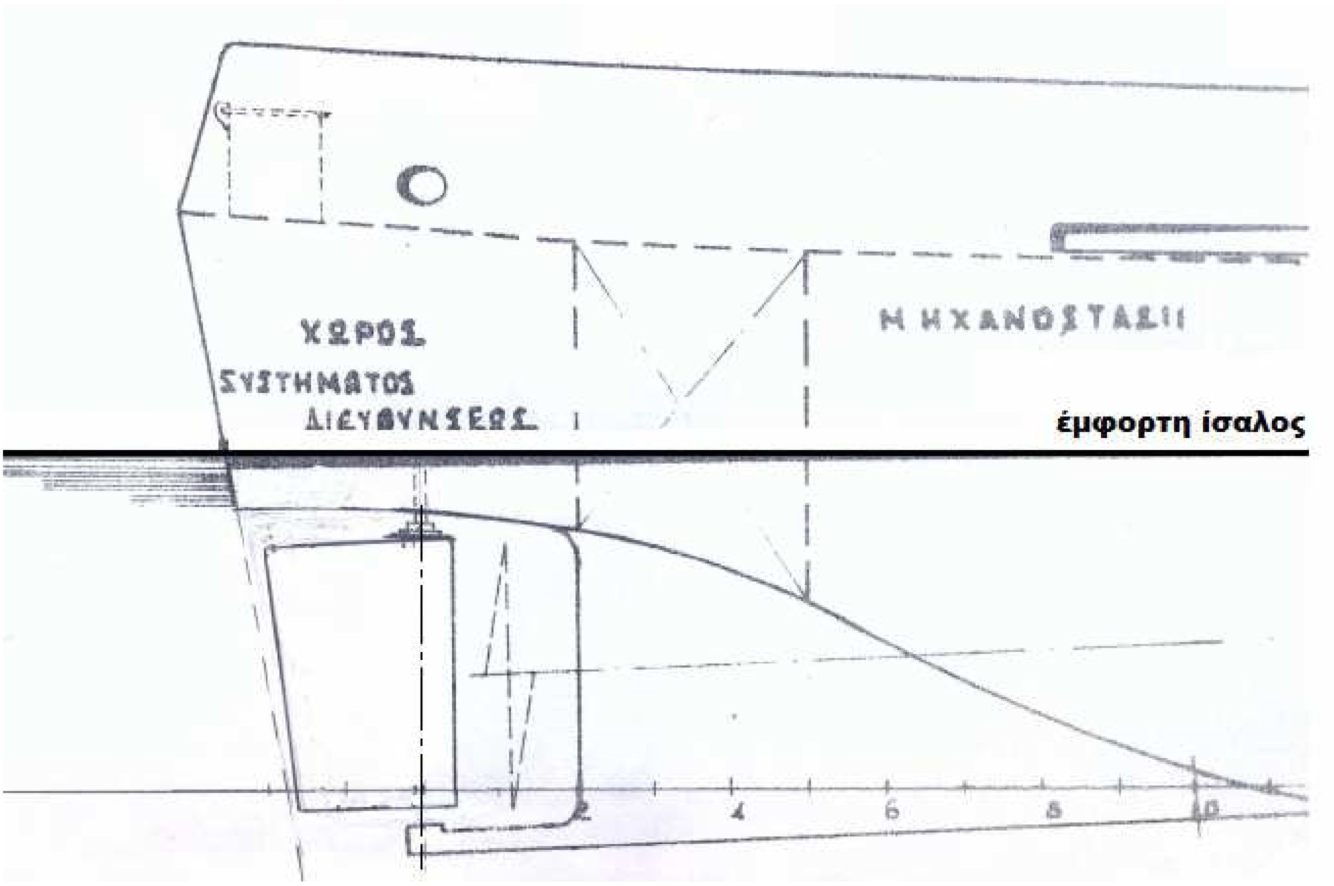
Πλάτος ……………………………….. = 6,60 (m)

Κοίλο (ύψος κατασκευής) ….. = 3,30 (m)

Βύθισμα …………………………….. = 2,15 (m)

Είδος πλοίου ……………………… = αλιευτικό

ΒΗΜΑ 1 : Σχεδίαση πρύμνης



ΒΗΜΑ 2 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

Η απαιτούμενη επιφάνεια του πηδαλίου μπορεί να υπολογιστεί :

Α. Από τη σχέση : $A = k \times L_{WL} \times d \left(m^2\right)$ (σελίδα 49 , παρ. 1 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***)

Από τον πίνακα της σελίδας 50 , για αλιευτικά πλοία είναι : $k = (1/20 \div 1/30$)

$$A = \frac{1}{20} \times 21{,}60 \times 2{,}15 = 2{,}332\ m^2$$

$$A = \frac{1}{30} \times 21{,}60 \times 2{,}15 = 1{,}548\ m^2$$

Β. Από τη σχέση του Νορβηγικού Νηογνώμονα (σελίδα 50 , παρ. 2 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) :

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

$L_{υπολογισμού} = 20{,}736\ (m)$, B = 6,60 μ. , Βύθισμα = 2,15 μ.

Προκύπτει : A = 1,575 $\left(m^2\right)$

Γ. Από τη σχέση του Γερμανικού Νηογνώμονα (σελίδα 51 , παρ. 3, ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) :

$$A = \frac{1{,}75 \times d \times L_{υπολογισμού}}{100} \times c_1 \times c_2 \times c_3 \times c_4 \left(m^2\right)$$

Όπου : $c_1 = 1{,}7$, $c_2 = 1{,}0$, $c_3 = 1{,}0$, $c_4 = 1{,}0$

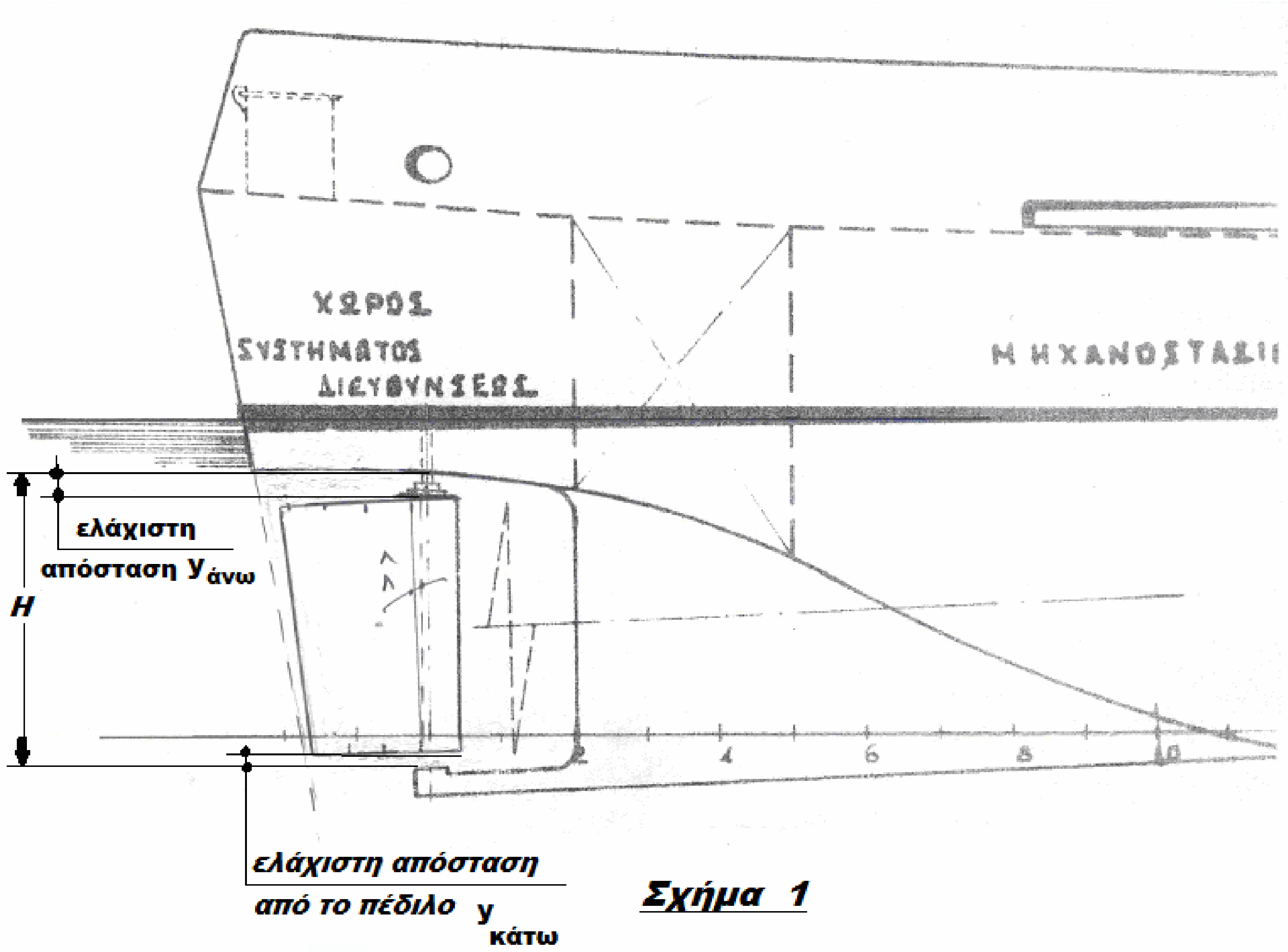
$L_{υπολογισμού} = 20{,}736\ (m)$, B = 6,60 μ. , Βύθισμα = 2,15 μ.

Προκύπτει : A = 1,326 $\left(m^2\right)$

ΒΗΜΑ 3 : Καθορισμός διαστάσεων πηδαλίου

Οι διαστάσεις και η μορφή του πτερυγίου του πηδαλίου καθορίζονται από το διαθέσιμο χώρο της πρύμνης του πλοίου.

Το πτερύγιο του πηδαλίου δεν πρέπει να εκτείνεται πρύμνηθεν της νοητής γραμμής του καθρέπτη , και θα απέχει μια ελάχιστη απόσταση από το άνω μέρος της γάστρας και από το άνω μέρος του πέδιλου , ως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.



Σχήμα 1

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 $2 \times AR$.

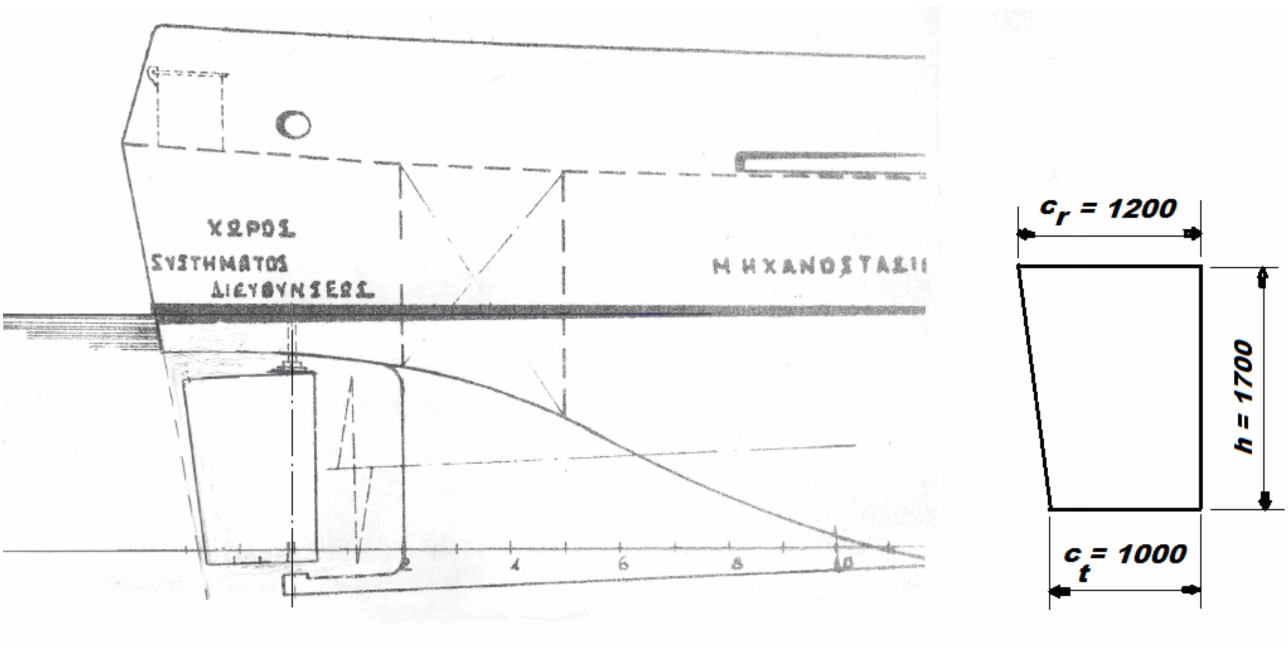
Έτσι μια ελάχιστη απόσταση ελευθερίας (τζόγος) υπολογίζεται πάνω από την άνω χορδή μέχρι τη γάστρα στο σημείο τοποθέτησης του πηδαλίου ώστε να εκμηδενίζεται αυτή η επίδραση στο λόγο επιμήκους λόγω της γάστρας. Στο αρχικό στάδιο της μελέτης του πηδαλίου που είναι άγνωστες οι διαστάσεις του πτερυγίου, 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 περιαυχενίων που συνδέουν τα πτερύγιο του πηδαλίου με το μηχανισμό του πηδαλίου (λαμβάνεται η απόσταση Η , θεωρώντας ότι το πηδάλιο πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο στη γάστρα του πλοίου) .

<u>Από το σχέδιο της πρύμνης</u> , προκύπτει $\frac{H}{15} = \frac{2000}{15} = 133,330\left(mm\right)$, και θεωρώντας μια απόσταση περίπου **<u>100 (mm) από την κάτω χορδή του πηδαλίου μέχρι το πέδιλο</u>** , προκύπτει :

<u>Λαμβάνεται Καθαρό ύψος πηδαλίου = 1700 (mm).</u>

Η μέγιστη επιφάνεια είναι 2,322 (m^2) , η οποία όμως δεν είναι εφικτό να δημιουργηθεί στην υπάρχουσα πρύμνη. Λαμβάνεται η μέση τιμή μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης τιμής , οπότε προκύπτει A = 1,811 (m^2).

Από τη σχέση : $A = h\times c$, προκύπτει πλάτος μέσης χορδής c = 1,065 (m) , και από το σχήμα 1 της πρύμνης η μορφή του πτερυγίου του πηδαλίου έχει τις παρακάτω διαστάσεις :



<u>Σχήμα 2</u>

Είναι :

$$c_r = \mu\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ \acute{\alpha}\nu\omega\ \chi o\rho\delta\acute{\eta}\varsigma \ldots\ldots\ldots\ldots = 1,200\left(mm\right)$$
$$c_t = \mu\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ \kappa\acute{\alpha}\tau\omega\ \chi o\rho\delta\acute{\eta}\varsigma \ldots\ldots\ldots\ldots = 1,000\left(mm\right)$$
$$c_m = \mu\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ \mu\acute{\varepsilon}\sigma\eta\varsigma\ \chi o\rho\delta\acute{\eta}\varsigma \ldots\ldots\ldots\ldots = 1,100\left(mm\right)$$
$$b = \acute{\upsilon}\psi o\varsigma\ \pi\tau\varepsilon\rho\upsilon\gamma\acute{\iota}o\upsilon\ \pi\eta\delta\alpha\lambda\acute{\iota}o\upsilon \ldots\ldots = 1,700\left(m\right)$$

$$AR = aspect\ ratio = \frac{1,700}{1,100} = 1,545$$

Επιφάνεια πηδαλίου : $A = \frac{1,200+1,000}{2} \times 1,700 = 1,870\ \left(m^2\right)$

ΒΗΜΑ 4 : Υπολογισμός διαμέτρου άξονα πηδαλίου

Η πραγματική επιφάνεια του πηδαλίου έχει υπολογιστεί μέχρι τώρα σε A = 1,87 $\left(m^2\right)$.

Η ταχύτητα του πλοίου είναι 14 (kn).

Οπότε υπολογίζεται η διάμετρος του άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου , με τις σχέσεις της παραγράφου 15 / σελίδα 88 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) .

$$S_l = S \times \sqrt[6]{1+\left(\frac{4}{3}\right)\times\left(\frac{M}{Q_R}\right)^2}\ \left(mm\right) \quad , \text{ όπου } \quad S = N_u \times \sqrt[3]{Q_R \times K_S}\ \left(mm\right)$$

- K_S = 1

- N_u = 42,0

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

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

$Q_R = P \times r\ \left(kN \times m\right)$, (σελ. 85 , παραγρ. 14.Α.2 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)***

P = δύναμη (σε kN) επί του πηδαλίου :

$P = n \times k_R \times k_c \times k_l \times A \times V_R^2\ \left(kN\right)$, (σελ. 83 , παραγρ. 14.Α.1 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)***

n = 0,132 , $k_R = \dfrac{\left(\dfrac{b^2}{A_t}+2\right)}{3} = \dfrac{\left(\dfrac{1,700^2}{1,87}+2\right)}{3} = 1,182$, $k_c = 1,1$ $\quad k_l = 1,0$, $V_R = 14\ \left(kn\right)$, A = 1,87 $\left(m^2\right)$

Είναι : $P = 62,90\ \left(kN\right)$

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

c = μήκος μέσης χορδής , σε (m) , στο <u>*Σχήμα 73 Σελ. 83 ,*</u> ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017.***

k = ποσοστό ζυγοστάθμισης = $\dfrac{A_f}{A}$, (σελ. 86 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)*** όπου A_f η επιφάνεια του πτερυγίου του πηδαλίου πλώρα του άξονα περιστροφής του πηδαλίου (<u>*Σχήμα 73 ,*</u> ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)***

Στη φάση αυτή της μελέτης δεν είναι γνωστή η θέση του άξονα περιστροφής , άρα δεν είναι γνωστό το ποσοστό ζυγοστάθμισης , οπότε για το r λαμβάνεται η ελάχιστη τιμή :

$$0{,}1 \times c \ (m) \ = \ 0{,}1 \times 1{,}100 \ (m) \ = \ 0{,}11 \ (m)$$

Με την τιμή αυτή υπολογίζεται το ποσοστό ζυγοστάθμισης :

$$0{,}11 = r_{\min} \ = \ c \times (a - k) \ = 1{,}10 \times \ (0{,}33 - k) \ \Rightarrow \ k = 0{,}230$$

Οπότε από τη σχέση

$k = \dfrac{A_1}{A_{ΟΛ}} \Rightarrow A_1 = 1{,}87 \times 0{,}23 = 0{,}430$, και από τη σχέση : $A_1 \ = \ d' \times b$

$\Rightarrow \ d' = \dfrac{A_1}{b} = \ 0{,}253 \ (m)$ = απόσταση του άξονα περιστροφής από τη ακμή εισόδου

Είναι : $Q_R \ = P \times r \ (kN \times m) = 62{,}90 \times 0{,}11 \ (kN \times m) \ = \ 6{,}919 \ (kN \times m)$

Είναι : $S \ = \ N_u \ \times \ \sqrt[3]{Q_R \times K_S} \ \ (mm) = 42{,}0 \times \ \sqrt[3]{6{,}919 \times 1{,}0} \ \ (mm) = 80{,}03 \ (mm)$

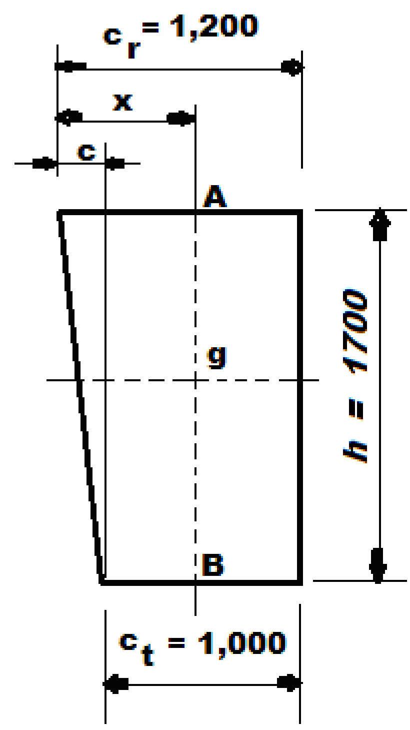
Η διάμετρος του άξονα του μηχανισμού του πηδαλίου είναι :

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

Η καμπτική ροπή υπολογίζεται από : $M_n \ = P \ \times \ \mathrm{b}$, σε $(kN \times m)$, (σελ. 85 , παραγρ. 15 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017) ,*** όπου :

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

Από τη γεωμετρία του πτερυγίου :



$$Ag = \frac{h}{3}\times\frac{(2\times c_t + c_r)}{c_t + c_r} = \frac{1,700}{3}\times\frac{(2\times 1,000 + 1,200)}{1,200 + 1,000} = 0,824$$

$$Bg = 1,700 - 0,824 = 0,876$$

$$x = c_t \times (e + \beta \times \gamma)$$

$$\beta = \frac{1 + 2\times c_t}{3\times(1 + c_t)} = \frac{1 + 2\times 1,000}{3\times(1 + 1,000)} = 0,5$$

$$\gamma = \frac{c}{c_r} = \frac{1,200 - 1,000}{1,200} = \frac{0,200}{1,200} = 0,167$$

$$e = 0,5 - 0,5\times\left[\beta\times(1 - a)\right] = 0,5 - 0,5\times\left[0,5\times(1 - 1,200)\right] = 0,55$$

$$x = c_t \times (e + \beta \times \gamma) = 1,000\times(0,55 + 0,5\times 0,167) = 0,6335$$

προκύπτει $\mathrm{b} = (1,20 - 0,6335) - 0,253 = 0,3135\ (m)$

Οπότε είναι : $M_n = (P \times \mathrm{b})(kN\times m) = 62,90\times 0,3135 = 19,719\,(kN\times m)$

Και :

$$S_l = \mathrm{S} \times \sqrt[6]{1 + \left(\frac{4}{3}\right)\times\left(\frac{M_n}{Q_R}\right)^2}\ (mm) = 80,03\times\sqrt[6]{1 + \left(\frac{4}{3}\right)\times\left(\frac{19,719}{6,919}\right)^2}\ (mm) = 120,80\ (mm)$$

Επιλέγεται = 122 (mm)

ΒΗΜΑ 5 : Υπολογισμός πάχους περιαυχενίων / έλεγχος ύψους (ελευθερίας)

Υπολογίζεται το πάχος των περιαυχενίων και η διάμετρος των βιδών (σελ. 91 , παραγρ. 16.1 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)***:

Διάμετρος βίδας : $d_{\beta\iota\delta\alpha\varsigma} = \frac{0,65\times S}{\sqrt{n}}\ (mm) = \frac{0,65\times S}{\sqrt{n}} = \frac{0,65\times 122}{\sqrt{6}} = 32,37\ (mm)$

Επιλέγεται = 33 (mm)

Το πάχος του κάθε περιαυχενίου είναι το μεγαλύτερο των :

$$\left(t_{περιαυχ.}\right)_1 = 0,25 \times S_i = 0,25 \times 122 = 30,5 \ (mm)$$
$$\left(t_{περιαυχ.}\right)_2 = d_{βιδας} = 33 \ (mm)$$

Από τη σελίδα -4- η απόσταση (ελευθερία , τζόγος) από την άνω χορδή του πηδαλίου μέχρι τη γάστρα είναι :

$y_{άνω} =$ (2,000 – 1,700 – 0,100) (m) = 0,200 (m) = 200 (mm)

Το υπολογισθέν πάχος του ενός περιαυχενίου είναι 33 (mm) , επομένως η απόσταση που έχει υπολογισθεί ως άνω ελευθερία επαρκεί για την τοποθέτηση των δύο περιαυχενίων τα οποία θα συνδέσουν το πτερύγιο του πηδαλίου με τον μηχανισμό του πηδαλίου.

ΣΗΜ. εάν το υπολογισθέν πάχος των περιαυχενίων συνεπάγεται μεγαλύτερη ελευθερία μεταξύ της άνω χορδής του πηδαλίου και της γάστρας , τότε καθορίζεται νέο ύψος πτερυγίου του πηδαλίου και επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί με τη νέα επιφάνεια πηδαλίου αφού καθορισθούν οι αντίστοιχες διατάσεις της μορφής του πτερυγίου από την πρύμνη του πλοίου.

ΒΗΜΑ 6 : Τελικές διαστάσεις πηδαλίου / σχεδίαση τομών

Επομένως οι διαστάσεις του πηδαλίου τελικά, είναι :

$$c_r = μήκος \ άνω \ χορδής \ .... = 1,200 \left(mm\right)$$

$$c_t = μήκος \ κάτω \ χορδής \ .... = 1,000 \left(mm\right)$$

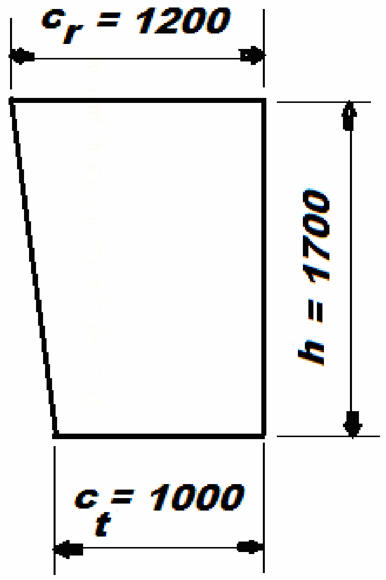
$$AR = aspect \ ratio = \frac{1,700}{1,100} = 1,545$$

$$c_m = μήκος \ μέσης \ χορδής \ .... = 1,100 \left(mm\right)$$

$$b = ύψος \ πτερυγίου \ πηδαλίου........ = 1,700 \left(m\right)$$

Επιφάνεια πηδαλίου : $A = \dfrac{1,200 + 1,000}{2} \times 1,700 = 1,870 \ \left(m^2\right)$

Το δε σχήμα του είναι αυτό το επόμενου σχήματος.



Η μορφή του πτερυγίου του πηδαλίου είναι υδροδυναμική και για τη σχεδίαση των γραμμών του πηδαλίου επιλέγεται προφίλ NACA 0018. Επειδή το πτερύγιο είναι τραπεζοειδές , θα σχεδιαστεί η άνω χορδή , η μεσαία χορδή και η κάτω χορδή.

Από τον πίνακα του σχήματος -53- στη σελίδα -63- ***(ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)*** , λαμβάνονται οι συντελεστές για τον υπολογισμό των ημιπλατών .

Το μήκος της κάθε χορδής υποδιαιρείται σε 10 ίσα τμήματα και η τιμή του κάθε ημιπλάτους υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

Ημιπλάτος = (συντελεστής) χ (μήκος χορδής σε μέτρα) χ 10 = ημιπλάτος σε χιλιοστά.

Επειδή η κάθε χορδή είναι συμμετρική ως προς το διαμήκη άξονα , σχεδιάζεται η μισή χορδή και γράφονται τα αντίστοιχα ημιπλάτη σε κάθε σταθμό .

Για τη σχεδίαση των κατασκευαστικών τομών για κάθε χορδή, σχεδιάζεται πλήρης η κάθε χορδή.

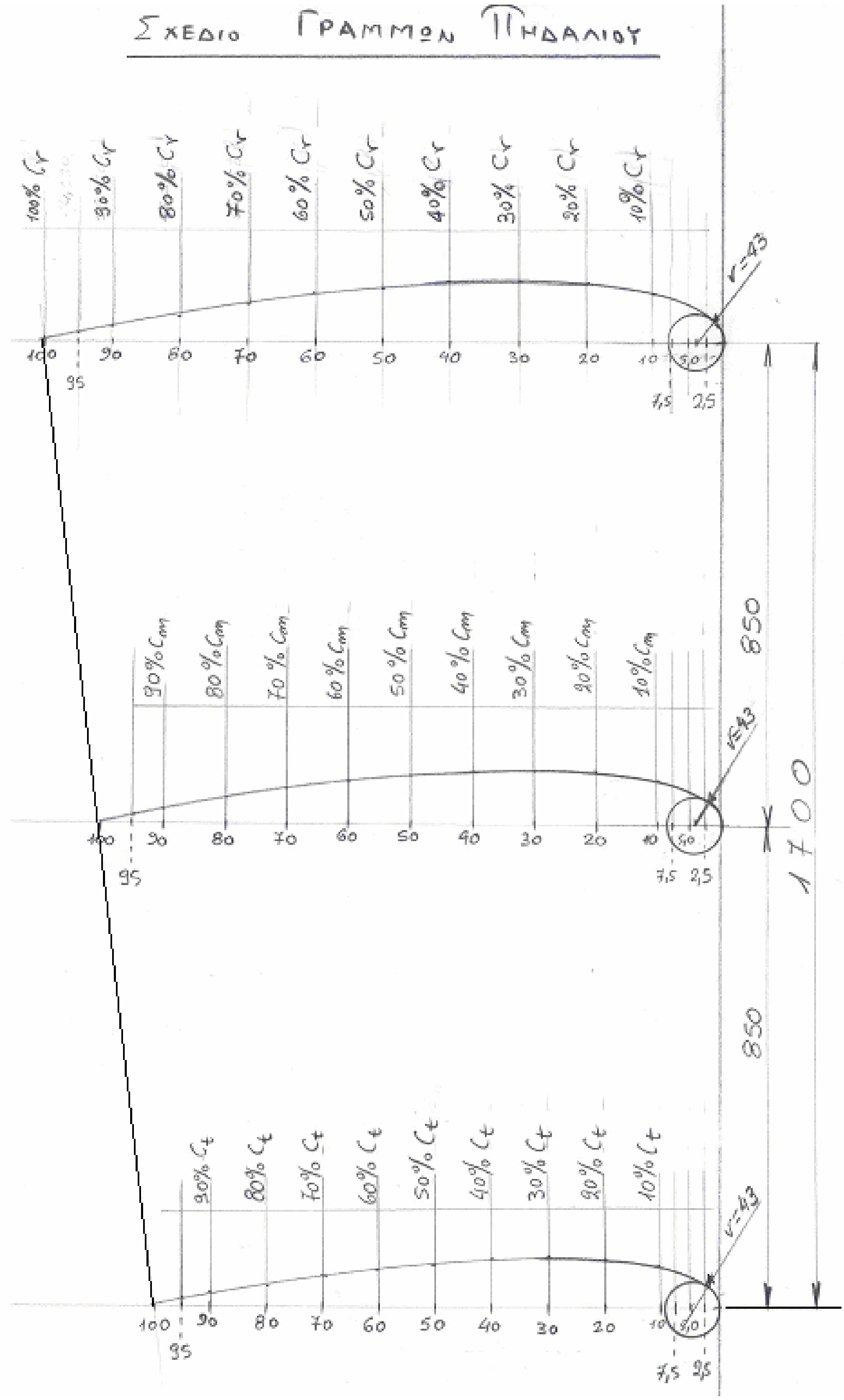
Στις δύο επόμενες σελίδες , επισυνάπτονται ο πίνακας της υδροδυναμικής μορφής NACA 0018 με τα ημιπλάτη κάθε χορδής και το σχέδιο των τριών χορδών.

ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

NACA 0018

	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΑΝΩ ΧΟΡΔΗ $C_r = 1200$	ΜΕΣΗ ΧΟΡΔΗ $C_m = 1100$	ΚΑΤΩ ΧΟΡΔΗ $C_t = 1000$
0	0,000	0,000	0.000	0,000
2,5	3.922	47,064	43,142	39,220
5,0	5,332	63,984	58,652	53,320
7,5	6,300	75,600	69,300	63,000
10	7,024	84,288	77,264	70,240
15	8,018	96,216	88,198	80,180
20	8,606	103,272	94,666	86,060
25	8,912	106,944	98,032	89,120
30	9,003	108,036	99,033	90,030
40	8,705	104,460	95,755	87,050
50	7,941	95,292	87,351	79,410
60	6,845	82,140	75,295	68,450
70	5,496	65,952	60,456	54,960
80	3,935	47,220	43,285	39,350
90	2,172	26,064	23,892	21,720
95	1,210	14,520	13,310	12,100
100	0,00	0.000	0,000	0.000
r	3,560	42,720	39,160	35,600

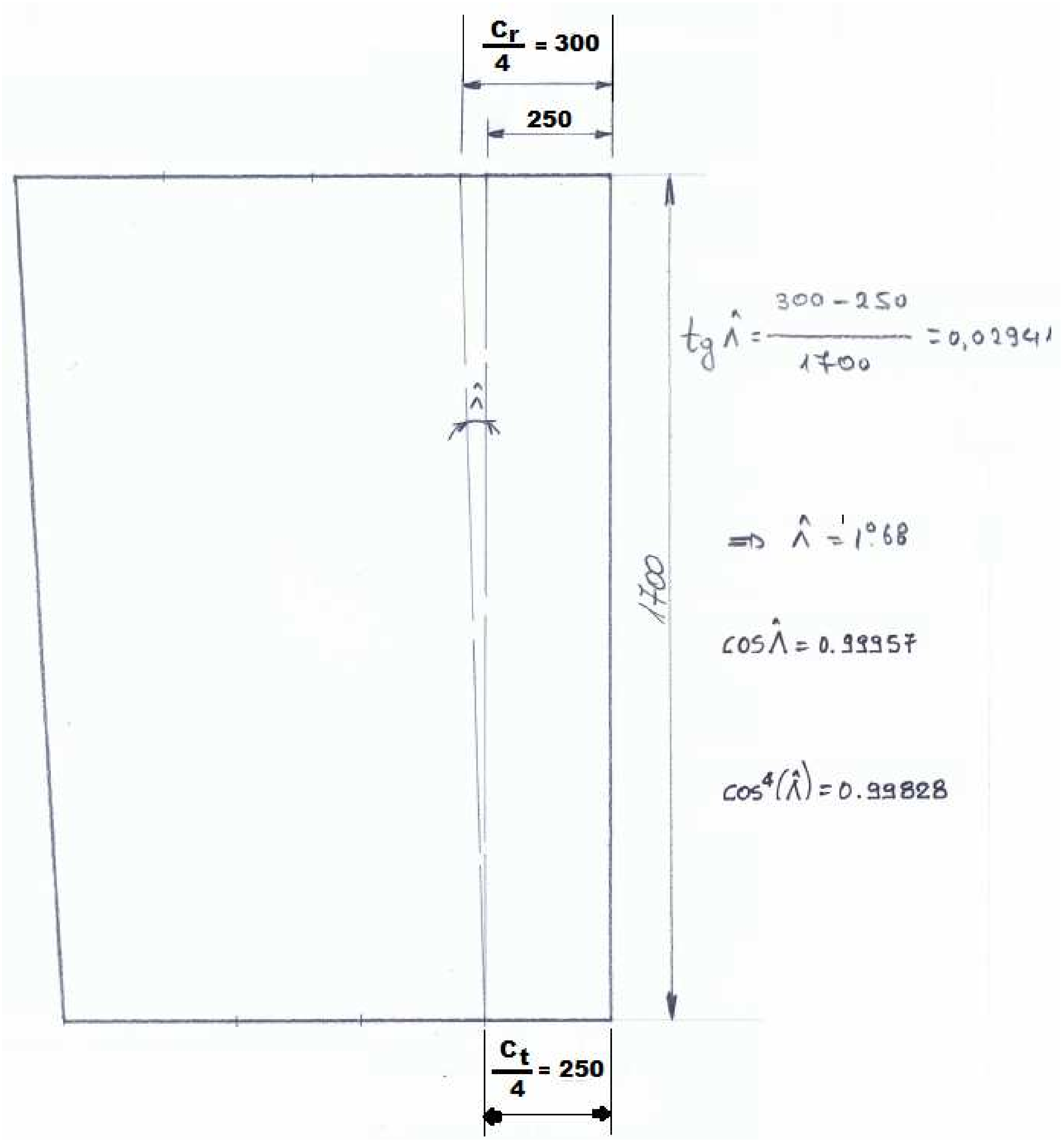
Λαμβάνεται ως ακτίνα r = 43 (mm).


ΣΧΕΔΙΟ ΓΡΑΜΜΩΝ ΠΗΔΑΛΙΟΥ
100% Cr
90% Cr
80% Cr
70% Cr
60% Cr
50% Cr
40% Cr
30% Cr
20% Cr
10% Cr
r=43
100
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5,0
7,5
2,5
90% Cm
80% Cm
70% Cm
60% Cm
50% Cm
40% Cm
30% Cm
20% Cm
10% Cm
r=43
90% Ct
80% Ct
70% Ct
60% Ct
50% Ct
40% Ct
30% Ct
20% Ct
10% Ct
r=43
850
850
1700

<u>ΒΗΜΑ 7</u>

Ακολουθεί ο υπολογισμός των υδροδυναμικών συντελεστών , οπότε θα καθορισθεί η θέση του άξονα περιστροφής .

Στις σχέσεις των υδροδυναμικών συντελεστών , υπάρχει το ημίτονο και το συνημίτονο της γωνίας **Λ** (σελ. 79 , σχήμα 71 και σελ. 46 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017)*** και στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο προσδιορισμός της και ο υπολογισμός των τριγωνομετρικών της αριθμών :



Οι σχέσεις για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών συντελεστών , δίδονται στις σελίδες (77 – 82) των διδακτικών σημειώσεων ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017*** .

1. **Λόγος διαμήκους** :

Υπενθυμίζεται εδώ ότι (σελ. 77 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) :

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 .

Έτσι για κάθε γωνία εκτροπής στο διάστημα $\left(5^0 \div 35^0\right)$ ο λόγος διαμήκους υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\left(AR\right)' = 2\times AR - \frac{\beta}{35}\times AR$$

2. Συντελεστής καθέτου δυνάμεως : C_N

Υπενθυμίζεται ότι (σελ. 79 , ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) :

Η σχέση $C_N = C_L \cdot \cos a + C_D \cdot sena$ 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 εξέχει 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 , σελ. 80 , ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017).***

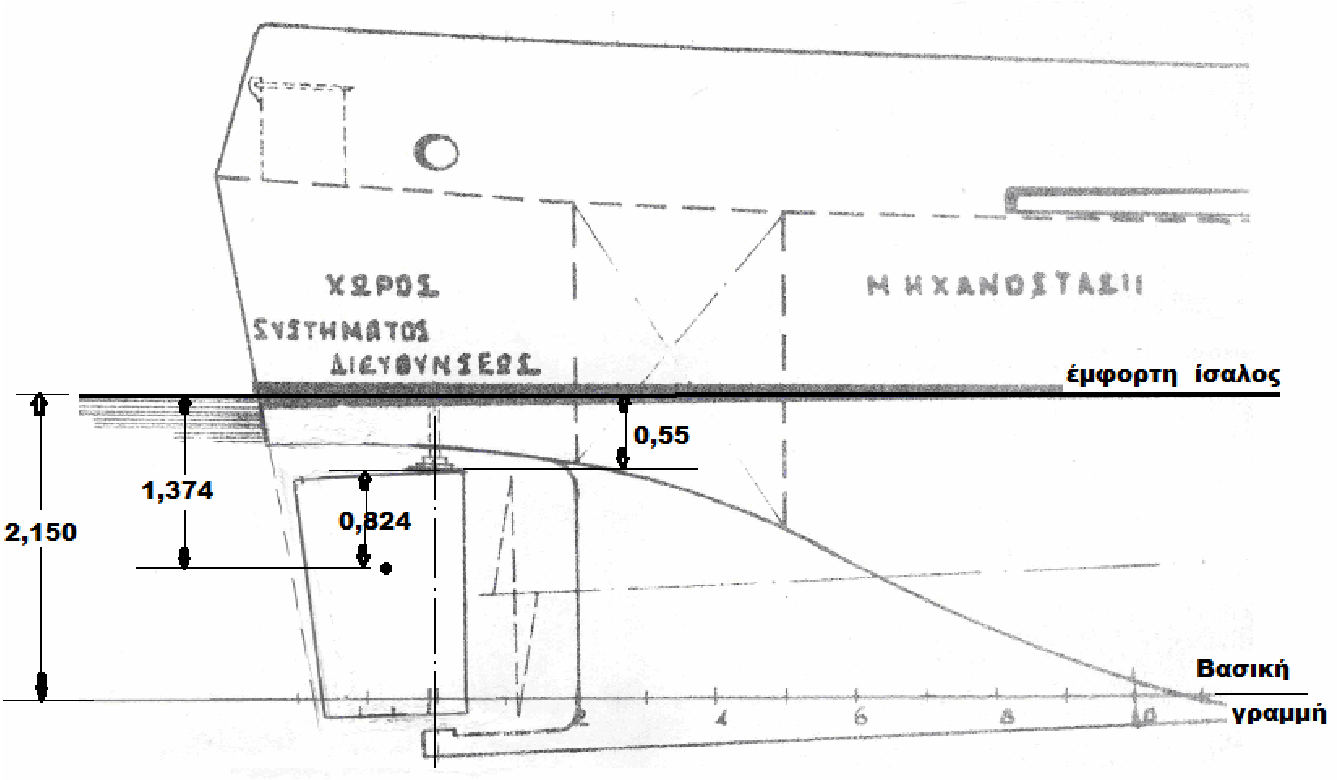
Η διόρθωση αυτή εξαρτάται από το λόγο επιμήκους AR, το λόγο ολίσθησης S_A και τη μέση βύθιση του πηδαλίου.

b = ύψος πηδαλίου = 1,700 (m)

$S_A = 1 - \frac{V_{SHIP}}{P\times n}$, όπου : P = βήμα έλικας = 1,60 , n = στροφές έλικας = $350 \left(^{\sigma\tau\rho.}\!/_{\min}\right)$, V_{SHIP} = 14 (kn)

$$S_A = 1 - \frac{V_{SHIP}}{P \times n} = 1 - \frac{14 \times 0,514}{1,60 \times 350/60} = 0,284 \Rightarrow S_A\% = 28,4$$

Ι = μέση βύθιση πηδαλίου = 1,374 (m) (επόμενο σχήμα)



Η διόρθωση γίνεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των διαγραμμάτων για AR = 1,40 και AR = 1,68 για λόγο $\frac{I}{b} = \frac{1,374}{1,700} = 0,808$ στη καμπύλη S_A = 28.

Προκύπτει :

	AR = 1,40	AR = 1,68	$C_N / C_{N(DEEP)}$
40^0	1,00	0,94	0,969
30^0	1,00	0,94	0,969
20^0	0,96	0,96	0,960
10^0	0,88	0,96	0,921

Για τη γωνία 35^0 , με γραμμική παρεμβολή στον παραπάνω πίνακα , προκύπτει $C_N / C_{N(DEEP)}$ = 0,969.

Παρατίθεται ο υπολογισμός του AR και του C_N για γωνία 10^0 και 15^0, καθώς και όλων των υδροδυναμικών συντελεστών για όλες τις γωνίες :

Γωνία 10^0

- $(AR)' = 2\times AR - \dfrac{\beta}{35}\times AR = 2\times 1,545 - \dfrac{10}{35}\times 1,545 = 2,649$

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

όπου :

$$\left(\frac{C_L}{a}\right)_{a=0} = \frac{0,9\cdot 2\pi\cdot AR}{57,3\cdot\left[\left(\cos\Lambda\cdot\sqrt{\dfrac{AR^2}{\cos^4\Lambda}+4}\right)+1,8\right]} = \frac{0,9\cdot 2\pi\cdot 2,649}{57,3\cdot\left[\left(0,99957\cdot\sqrt{\dfrac{2,649^2}{0,99828}+4}\right)+1,8\right]} = 0,0502$$

Το C_{DC} υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος 70 (σελίδα 78) με βάση το λόγο $\dfrac{c_t}{c_r} = \dfrac{1,000}{1,700} = 0,833$ και για τετραγωνισμένα άκρα προκύπτει C_{DC} = 1,44.

Οπότε :

$$C_L = \left(\frac{C_L}{a}\right)_{a=0}\cdot a + \frac{C_{DC}}{AR}\cdot\left(\frac{a}{57,3}\right)^2 = 0,0502\bullet(7,143) + \frac{1,44}{2,649}\bullet\left(\frac{7,143}{57,3}\right)^2 = 0,367$$

- $C_D = C_{d_0} + \dfrac{C_L{}^2}{0,9\cdot\pi\cdot AR} = 0,0065 + \dfrac{(0,367)^2}{0,9\cdot\pi\cdot 2,649} = 0,006836$

- $C_N = C_L\cdot\cos a + C_D\cdot sena = 0,367\times\cos(7,143) + 0,006836\times sen(7,143) = 0,365$

Σύμφωνα με όσα περιγράφησαν , ο διορθωμένος συντελεστής είναι :

$(C_N)_{διορθ.} = C_N\times 0,921 = 0,365\times 0,921 = 0,336$

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

όπου $\left(\frac{C_M}{C_L}\right)_{C_L=0} = \frac{1}{2} - \frac{1{,}11\cdot\left[\left(AR^2+4\right)^{1/2}\right]+2}{4\cdot\left(AR+2\right)} = \frac{1}{2} - \frac{1{,}11\cdot\left[\left(2{,}649^2+4\right)^{1/2}\right]+2}{4\cdot\left(2{,}649+2\right)} = 0{,}194$

Οπότε :

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

$$\left[0{,}25-\left(0{,}194\right)\right]\cdot\left(0{,}0525\right)-\frac{1}{2}\cdot\frac{1{,}44}{2{,}649}\cdot\left(\frac{7{,}143}{57{,}3}\right)^2 = -\ 0{,}0014088$$

- $\left(CP\right)_C = \left(0{,}25-\frac{C_{M_{c/4}}}{C_N}\right)\cdot C = \left(0{,}25-\left(-0{,}0014088\right)\right)\times 1{,}100 = 0{,}276$

Γωνία 15^0

- $\left(AR\right)' = 2\times AR - \frac{\beta}{35}\times AR = 2\times 1{,}545-\frac{15}{35}\times 1{,}545 = 2{,}428$

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

όπου :

$$\left(\frac{C_L}{a}\right)_{a=0} = \frac{0{,}9\cdot 2\pi\cdot AR}{57{,}3\cdot\left[\left(\cos\Lambda\cdot\sqrt{\frac{AR^2}{\cos^4\Lambda}+4}\right)+1{,}8\right]} = \frac{0{,}9\cdot 2\pi\cdot 2{,}428}{57{,}3\cdot\left[\left(0{,}99957\cdot\sqrt{\frac{2{,}428^2}{0{,}99828}+4}\right)+1{,}8\right]} = 0{,}0476$$

Το C_{DC} υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος 70 (σελίδα 78) με βάση το λόγο $\frac{c_t}{c_r} = \frac{1{,}000}{1{,}700} = 0{,}833$ και για τετραγωνισμένα άκρα προκύπτει C_{DC} = 1,44.

Οπότε :

$$C_L = \left(\frac{C_L}{a}\right)_{a=0}\cdot a + \frac{C_{DC}}{AR}\cdot\left(\frac{a}{57{,}3}\right)^2 = 0{,}0476\bullet\left(10{,}714\right)+\frac{1{,}44}{2{,}428}\bullet\left(\frac{10{,}714}{57{,}3}\right)^2 = 0{,}35307$$

- $C_D = C_{d_0} + \dfrac{C_L^{\,2}}{0,9 \cdot \pi \cdot AR} = 0,0065 + \dfrac{(0,35307)^2}{0,9 \cdot \pi \cdot 2,428} = 0,006836$

- $C_N = C_L \cdot \cos a + C_D \cdot sena = 0,5307 \times \cos(10,714) + 0,006830 \times sen(10,714) = 0,522$

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

όπου $\left(\dfrac{C_M}{C_L} \right)_{C_L = 0} = \dfrac{1}{2} - \dfrac{1,11 \cdot \left[\left(AR^2 + 4 \right)^{1/2} \right] + 2}{4 \cdot (AR + 2)} = \dfrac{1}{2} - \dfrac{1,11 \cdot \left[\left(2,428^2 + 4 \right)^{1/2} \right] + 2}{4 \cdot (2,428 + 2)} = 0,190$

Οπότε :

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

$$\left[0,25 - (0,190) \right] \cdot (0,0525) - \frac{1}{2} \cdot \frac{1,44}{2,428} \cdot \left(\frac{10,714}{57,3} \right)^2 = -\ 0,00750$$

- $(CP)_C = \left(0,25 - \dfrac{C_{M_{C/4}}}{C_N} \right) \cdot C = \left(0,25 - (-0,00750) \right) \times 1,100 = 0,283$

<u>Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται τα στοιχεία του πίνακα για τις υπόλοιπες γωνίες 20^0, 25^0, 30^0, 35^0 .</u>

<u>Η δύναμη υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση</u> (**<u>σελ. 81 , παραγρ. 13.1 ,</u>** ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017***) :

- $F = \dfrac{1}{2} \cdot C_N \cdot \rho \cdot A_T \cdot U^2$, όπου **ρ** = 104,61 $\dfrac{kp \cdot s^2}{m^4}$, A_T = 1,87 (m^2)

<u>U = ταχύτητα ροής στο πηδάλιο > ταχύτητα ροής πλοίου .</u>

Η ταχύτητα αυτή υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος 72 / σελ. 81, ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ - ΠΗΔΑΛΙΑ 2017 ,*** με το μέγεθος $S_A = 0,284$ (σελίδα 15 της παρούσης μελέτης) . Στο σημείο $S_A = 0,284$ η κάθετος τέμνει τις καμπύλες στα σημεία 1,16 και 1,10 οπότε προκύπτει (ως μέση τιμή :

$$\frac{V_r}{V_{SHIP}} = \frac{U}{V_{SHIP}} = 1{,}13 \Rightarrow U = V_{SHIP} \times 1{,}13 = 14 \times 0{,}514 \times 1{,}13 = 7{,}55 \left(m/_{\sec} \right)$$

Οπότε :

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_N \cdot \rho \cdot A_T \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot C_N \cdot 104{,}61 \cdot 1{,}87 \cdot (7{,}55)^2 = 5575{,}434 \times C_N \ (kp)$$

Όταν υπολογιστούν οι υδροδυναμικοί συντελεστές για όλες τις γωνίες κατά τον ίδιο τρόπο , συμπληρώνεται ο πίνακας της σελίδας 82 :

Οι τιμές της ροπής ***Q*** Q_M υπολογίζονται από τη σχέση $Q = F \cdot (d - CP_C)$ (σελίδα 82 ***ΠΗΔΑΛΙΟΥΧΙΑ ΠΗΔΑΛΙΑ 2017) , θεωρώντας ότι*** η απόσταση d υπολογίζεται με βάση την υπόθεση ότι η ροπή στρέψεως πρέπει να μηδενίζεται μεταξύ $(10-15)^0$, οπότε λαμβάνεται σε πρώτη εκτίμηση ως

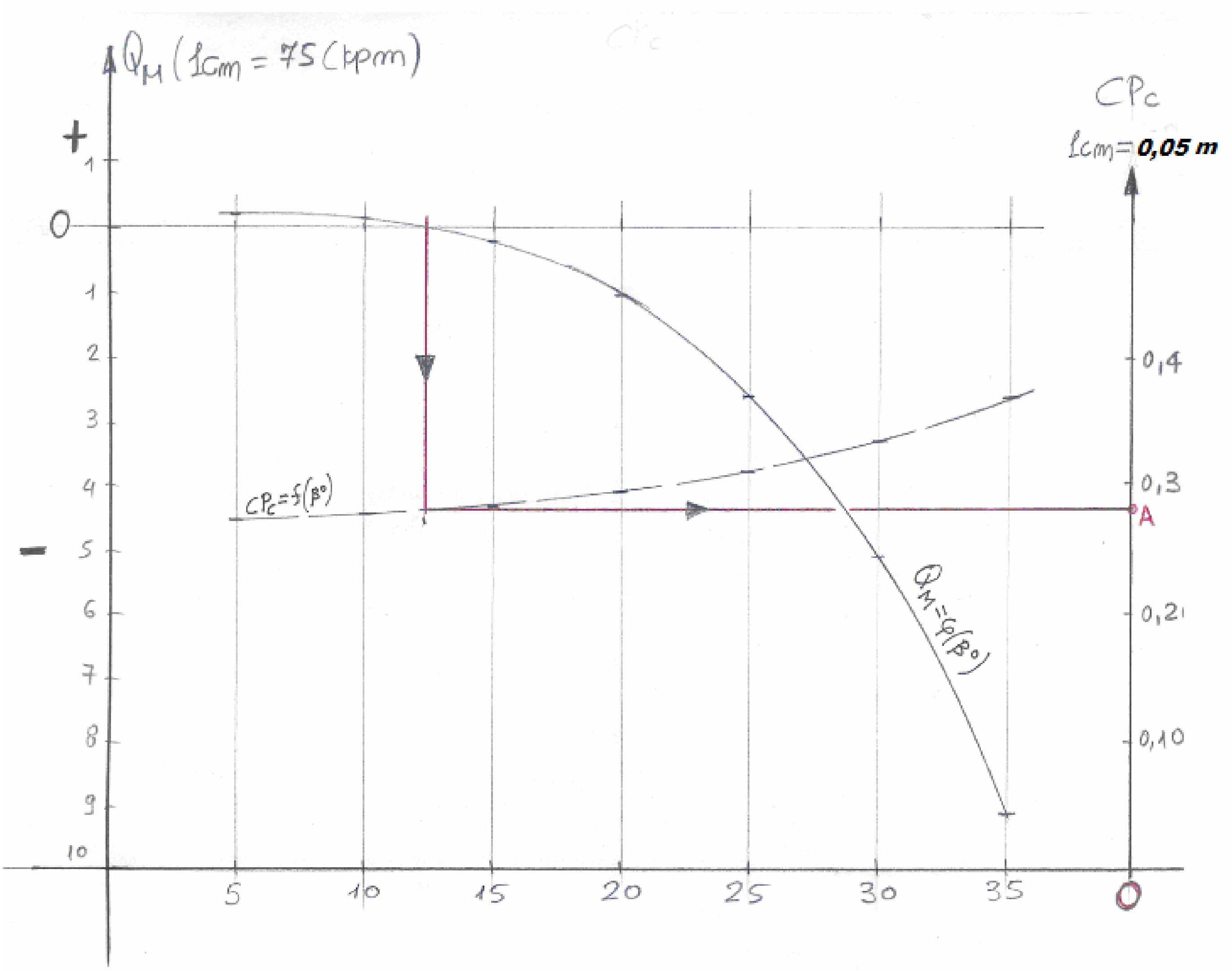
$$d = \frac{1}{2} \times \left[(CP_C)_{10^0} + (CP_C)_{15^0} \right] = 0{,}2795$$

ΠΙΝΑΚΑΣ υπολογισμού της απόστασης d

του άξονα περιστροφής από την ακμή εισόδου

β^0	α^0	C_L	C_D	C_N	$C_{Mc/4}$	CP_C	F	Q_M
5	3,571	0,1894	0,006839	0,189	0,001756	0,273	1053,757	6,850
10	7,143	0,3670	0,006836	0,336	- 0,0014088	0,276	1873,346	6,556
15	10,714	0,5307	0,006830	0,522	- 0,00750	0,283	2910,376	- 10,186
20	14,286	0,6800	0,006822	0,634	- 0,01735	0,294	3534,825	- 51,255
25	17,857	0,815	0,006809	0,777	- 0,0321	0,310	4332,112	- 132,129
30	21,428	0,954	0,006808	0,848	- 0,0539	0,334	4727,968	- 257,674
35	25,000	1,042	0,006774	0,918	- 0,0856	0,369	5118,248	- 458,083

Η ακριβής τιμή του $d = \left(CP_C\right)_{Q_M=0}$ ευρίσκεται από το παρακάτω διάγραμμα :



$$\text{Είναι: } \overline{OA} = 5.60\,(cm) \quad \text{οπότε: } 5.60(cm) \times 0.05\left(\frac{m}{cm}\right) = 0.280m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow CP_c = 0.28m \; = (d)_{Q_M} = 0$$

<u>Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει :</u>

$\left(CP_C\right)_{Q_M=0} = 0,280\ (m)$ που είναι $\cong 0,2795\ (m)$ όπως προϋπολογίστηκε προσεγγιστικά ως μέση τιμή των τιμών του CP_C μεταξύ $(10-15)^0$ και η τιμή αυτή [= **0,280**(m)] είναι η απόσταση του άξονα περιστροφής από την ακμή εισόδου.

Από την τιμή αυτή προκύπτει :

Ποσοστό ζυγοστάθμισης = $k \;=\; \dfrac{A_1}{A_{O\Lambda}} \;=\; \dfrac{0,280 \times 1,700}{1,870} \;=\; 0,254$

Το ποσοστό ζυγοστάθμισης επηρεάζει την τιμή της ροπής στρέψεως και το μέγεθος της διαμέτρου του άξονα του μηχανισμού πηδαλίου , δεδομένου ότι λαμβάνεται στον υπολογισμό του μοχλοβραχίονα :

$r = c \times (a-k)\ (m)$, η τιμή του οποίου είναι :

$r = c \times (a-k)\ (m) = 1{,}10 \times (0{,}33 - 0{,}254)(m) = 0{,}0836(m)$,

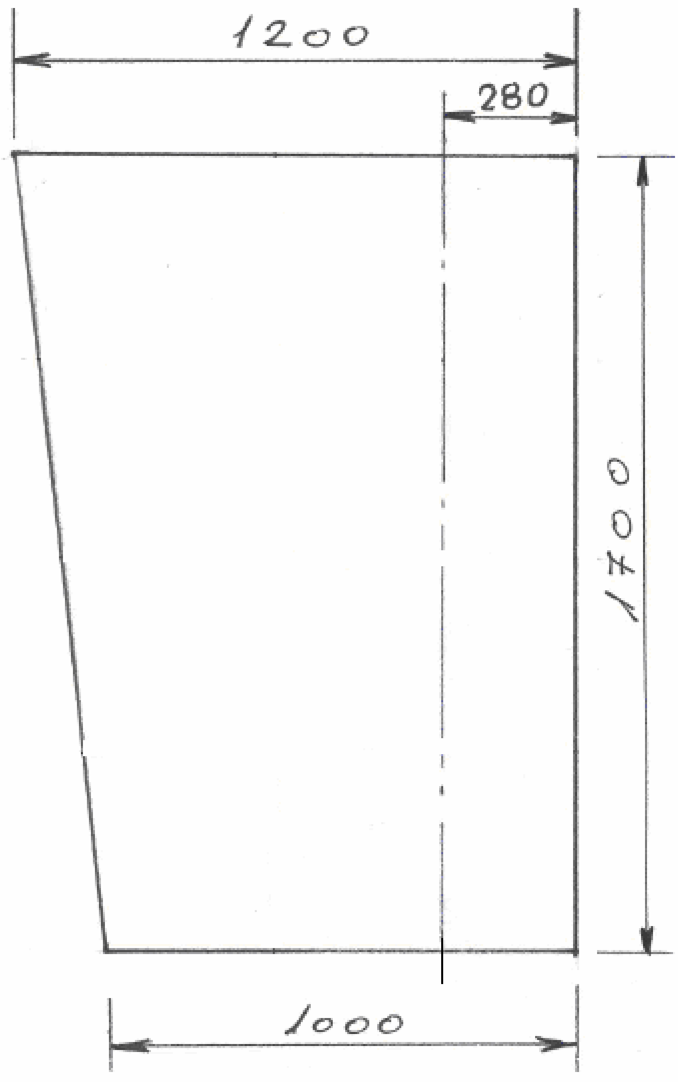
Αλλά η ελάχιστη τιμή του r είναι $r_{\min.} = 0{,}1 \times c\ (m)$ = 0,1 x 1,10 = 0,11 > 0,0836 , οπότε **<u>δεν επαναλαμβάνονται</u>** ο υπολογισμοί στο ΒΗΜΑ 4 και στο ΒΗΜΑ 5.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Μετά τους παραπάνω υπολογισμούς , προκύπτει η μορφή του πτερυγίου του πηδαλίου το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των υδροδυναμικών υπολογισμών σε συνδυασμό με το διαθέσιμο χώρο της πρύμνης του πλοίου .

ΠΤΕΡΥΓΙΟ ΠΗΔΑΛΙΟΥ

1 : 50



Στη συνέχεια της μελέτης (*2.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΗΔΑΛΙΟΥ* / ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΗΔΑΛΙΟΥ), υπολογίζονται τα πάχη των ελασμάτων και των ενισχυτικών σύμφωνα με τους Κανονισμούς ενός Νηογνώμονα , για τον έλεγχο της αντοχής του πτερυγίου του πηδαλίου .