

Διαμόρφωση αγωγού εξόδου

1. Προσδιορισμός της θέσης του δρομέα, καθ' ύψος, σε σχέση προς την κατάντη στάθμη του νερού.

Αποφυγή κινδύνου επηλυίωσης.

2. Προσδιορισμός της διατομής εξόδου F_4 .

Οι απώλειες εξόδου πρέπει να διατηρηθούν χαμηλές.

3. Υπολογισμός του μήκους του άξονα του αγωγού

$$L = \frac{D_4^* - D_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}$$

D_3 : διάμετρος κυκλικής διατομής εισόδου

D_4^* : ισοδύναμη διάμετρος ορθογωνικής διατομής εξόδου

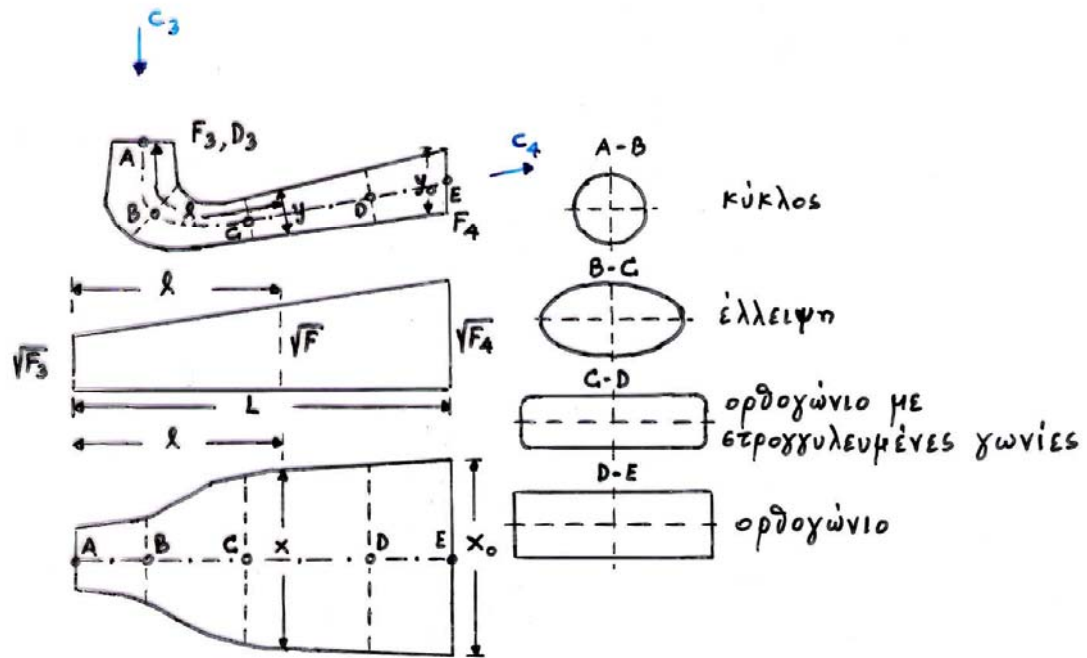
δ : γωνία διεύρυνσης του αγωγού,
κυμαίνεται από 8° έως 12°

$$D_4^* = \sqrt{\frac{4}{\pi} F_4} = 1.13 \sqrt{F_4}$$

$$L = \frac{D_4^* - D_3}{\delta} \Rightarrow \text{η γωνία } \delta \text{ εκφράζεται σε ακτίνια,} \\ \text{κυμαίνεται από } 0.14 \text{ έως } 0.21$$

- Οι απώλειες λόγω αποκόλλησης της ροής πρέπει να διατηρηθούν χαμηλές.

4. Διαμόρφωση διατομών αγωγού



$$\sqrt{F} = \sqrt{F_3} + \frac{\sqrt{F_4} - \sqrt{F_3}}{L} \ell$$

Παραδοχή γραμμικής αύξησης των διατομών μεταξύ των ακραίων F_3 και F_4 (Mosonyi)

$$x = \frac{F}{ay}$$

F : επιφάνεια διατομής

L : μήκος του άξονα του αγωγού

x : πλάτος διατομής

ℓ : τυχούσα απόσταση από την αρχή A

y : ύψος διατομής

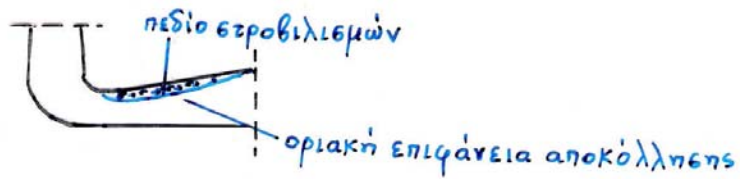
a : συντελεστής

$a = \pi/4 = 0.785$ για τα τμήματα κυκλικής και ελλειπτικής διατομής

$a = 1.0$ για το τμήμα ορθογωνικής διατομής

Αντικρουόμενες απόψεις

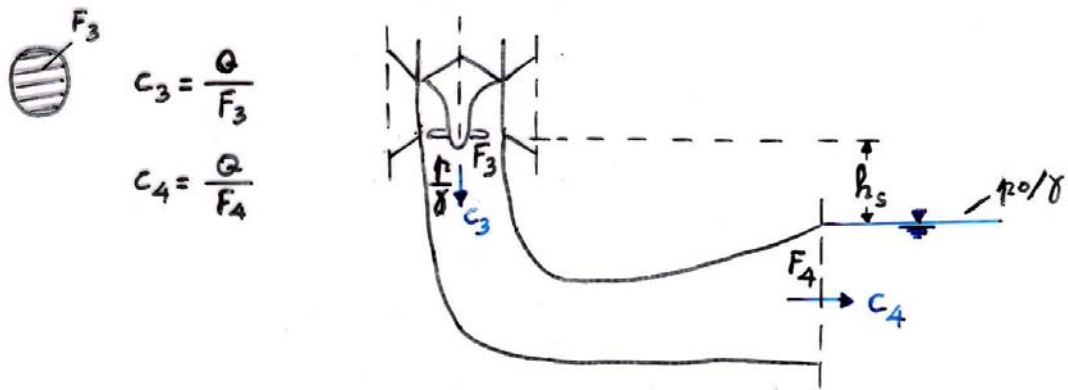
Για τη μείωση των απωλειών λόγω αποκόλλησης της ροής θα πρέπει το κατακόρυφο τμήμα του αγωγού να έχει σχετικά μεγάλο μήκος και να ακολουθείται από ένα "ήπιο" καμπύλο τμήμα. Αυτό όμως έχει ως συνέπεια ότι ο αγωγός πρέπει να τοποθετηθεί βαθιά, πράγμα που επηρεάζει δυσμενώς τη θεμελίωση.



- Η άνω πλευρά της διατομής εξόδου F_4 πρέπει να κείται λίγο βαθύτερα από την κατάντη στάθμη του νερού, διότι διαφορετικά δημιουργούνται πρόσθετες απώλειες εξόδου.

Σπηλαίωση

Η απόλυτη πίεση στην επιφάνεια επαφής νερού και πτερυγίων ή μέσα στο νερό γίνεται μικρότερη από την πίεση του κεκορεσμένου ατμού για την εκάστοτε θερμοκρασία.



$$c_3 = \frac{Q}{F_3}$$

$$c_4 = \frac{Q}{F_4}$$

Εξίσωση Βερνουλλι: $\frac{p}{\gamma} + \frac{c_3^2}{2g} + h_s = \frac{p_0}{\gamma} + \frac{c_4^2}{2g} + \Delta h$

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - h_s - h_d$$

$$h_d = \frac{c_3^2}{2g} - \frac{c_4^2}{2g} - \Delta h$$

h_d : δυναμικό ύψος αναρρόφησης

h_s : στατικό ύψος αναρρόφησης

Επιτρεπόμενο στατικό ύψος αναρρόφησης:

$$h_s \leq B - \epsilon H_n \quad (\text{Thomas})$$

B : βαρομετρικό ύψος πίεσης ($B = p_0 / \rho$)

H_n : ωφέλιμο ύψος πτώσης

ϵ : συντελεστής εξαρτώμενος από την ειδική ταχύτητα περιστροφής n_s του υδροτρόβιλου

$$B = 0.95 \left(10.3 - 1.1 \frac{S}{1000} \right)$$

S : υψόμετρο του θεωρούμενου σημείου [m]

B : [m]

$B = 10.3$ m στην επιφάνεια της θάλασσας

Αντικρουόμενες απόψεις:

Για την αποφυγή της επηλυίωσης θα πρέπει ο υδροτρόβιλος και ο αγωγός εξόδου να τοποθετηθούν βαθιά (μικρό h_s).

Αυτό όμως δημιουργεί προβλήματα στην τεχνική της θεμελίωσης και προκαλεί αύξηση των σχετικών δαπανών.

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

- Μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του νερού (κινητικής και δυναμικής) σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια (περιστροφή ενός άξονα)
- Δρομέας : πτερυχοφόρο περιστρεφόμενο τμήμα
- Σύστημα προσαγωγής και απαγωγής του νερού
- Κατηγορίες υδροτροβίλων :

α. Υδροτρόβιλοι δράσεως (Pelton)

- Μια ελεύθερη δέσμη νερού εκτοξεύεται από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει ταυτόχρονα σε δύο ή τρία πτερύγια του δρομέα.
- Ο δρομέας ενρίζεται υπό ατμοσφαιρική πίεση.

β. Υδροτρόβιλοι αντιδράσεως

- Ροή του νερού συνεχώς υπό πίεση

Είδη ροής νερού σε σχέση προς το επίπεδο περιστροφής του δρομέα :

- ακτινική ροή : επάνω στο επίπεδο περιστροφής
- αξονική ροή : κάθετη προς το επίπεδο περιστροφής
- μικτή ροή : μερικώς ακτινική και μερικώς αξονική
- διαχώνια ροή

Κατηγορίες υδροτροβίλων αντιδράσεως

- α. Υδροτροβίλοι ακτινικής ροής (τύπου Francis)
- β. Υδροτροβίλοι αξονικής ροής
 - β1. Ελικοτροβίλοι με σταθερά πτερύγια
 - β2. Ελικοτροβίλοι με ρυθμιζόμενα πτερύγια (τύπου Kaplan)
- γ. Υδροτροβίλοι μικτής ροής (τύπου Francis)
- δ. Υδροτροβίλοι διαχώνιας ροής (τύπου Detiaz)

Ταχύτητα περιστροφής υδροτροβίλου (n):

- Αριθμός πλήρων περιστροφών έ'να λεπτό της ώρας
- rpm : revolutions per minute
- Διάσταση του μεχέθους n : [1/min]

Ειδική ταχύτητα περιστροφής ενός υδροτροβίλου (n_s):

Ταχύτητα περιστροφής ενός γεωμετρικά όμοιου υδροτροβίλου, του οποίου οι διαστάσεις έχουν εκλεχεί έτσι, ώστε για ωφέλιμο ύψος πτώσης $H_n = 1 \text{ m}$ να παρέχει ισχύ $I_n = 1 \text{ HP}$

$$n_s = n \frac{\sqrt{I_n}}{H_n \sqrt{H_n}}$$

H_n : ωφέλιμο ύψος πτώσης [m]

I_n : πραγματική ισχύς υδροτροβίλου [HP]

n : [1/min]

n_s : [1/min]

Ειδική ταχύτητα περιστροφής :

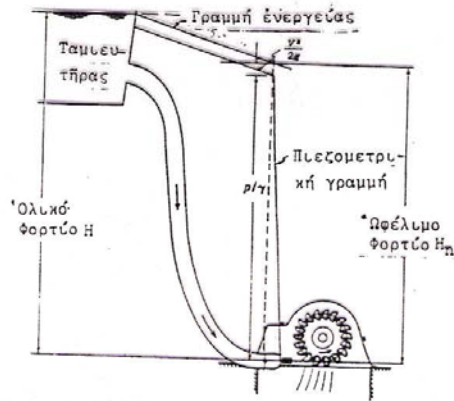
Χαρακτηριστικό (πλασματικό) μέγεθος της υδραυλικής και γεωμετρικής συμπεριφοράς του υδροτροβίλου.

Pelton $\Rightarrow \eta_s = 20$ έως 70 τ.μ.

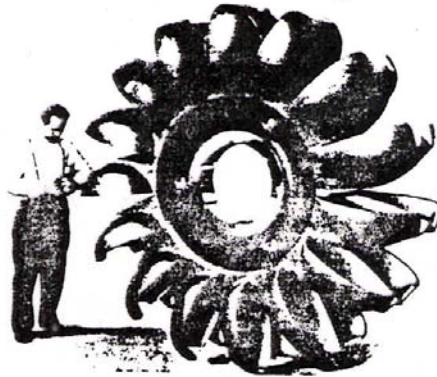
Francis $\Rightarrow \eta_s = 50$ έως 500 τ.μ.

Karlan $\Rightarrow \eta_s = 400$ έως 1000 τ.μ.

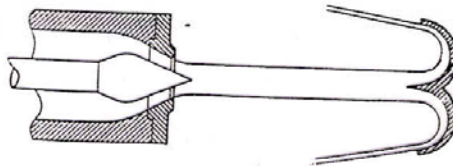
Υδροτροβίλοι δράσεως (Pelton)



Σχ. 2-1. Σχηματική παράσταση έγκαταστάσεως Υδροτροβίλου Pelton.

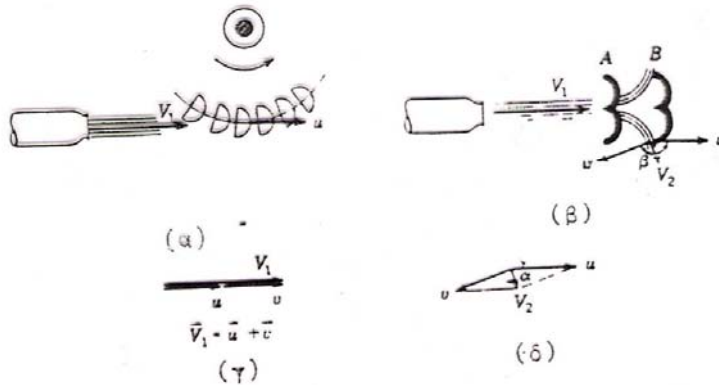


Σχ. 2-2. Όλοσωμος τροχός Pelton.



Σχ. 2-4. Τυπική διάταξη άκροφυσίου ύδροτροβίλου Pelton

Λειτουργία υδροτροβίλου δράξεως



- V_1 : ταχύτητα εισόδου της δέσμης στο σκαφίδιο
 u : γραμμική ταχύτητα περιστροφής του σκαφιδίου
 V_2 : ταχύτητα εξόδου της δέσμης από το σκαφίδιο
 v : σχετική ταχύτητα νερού ως προς το σκαφίδιο

$$F = \rho Q v (1 - \cos\beta) = \rho Q (V_1 - u) (1 - \cos\beta) \Rightarrow \text{αρχή της διατήρησης της ποσότητας κίνησης}$$

F : δύναμη που ασκεί το νερό στο σκαφίδιο κατά τη διεύθυνση της κίνησής του

$$I = F u = \rho Q u (V_1 - u) (1 - \cos\beta)$$

I : μεταφερομένη ισχύς από το νερό στον υδροτροβίλο

Q : παροχή ακροφυσείου

- Για μια ορισμένη παροχή και έναν ορισμένο υδροτροβίλο αναπτύσσεται η μέγιστη ισχύς, όταν

$$\frac{dI}{du} = \rho Q (1 - \cos\beta) (V_1 - 2u) = 0 \Rightarrow u = \frac{1}{2} V_1$$

- Λόγω τριβών, άριστη απόδοση των υδροτροβίλων όταν $u = 0.43 V_1$ έως $0.48 V_1$

- Πραγματική ισχύς (I_p) την οποία μεταδίδει ο υδροτροβίλος στον άξονα της ηλεκτρογεννήτριας :

$$I_p = 9.81 Q H_n \eta_g$$

H_n : ωφέλιμο ύψος πτώσεως [m]

Q : παροχή ακροφυσίου [m^3/s]

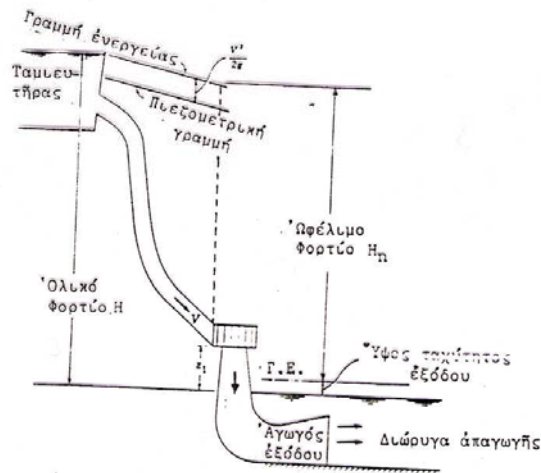
η_g : συντελεστής ολικής απόδοσης υδροτροβίλου

I_p : [kW]

$$\max \eta_g = 0.85 \text{ έως } 0.90$$

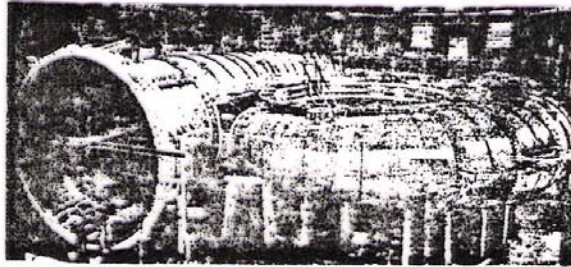
$\eta_g \Rightarrow$ απώλειες ενέργειας λόγω τριβών στο ακροφύσιο, των τριβών και του τυρβώδους στα πτερύγια, των τριβών στα έδρανα του υδροτροβίλου και της αντίστασης του αέρα.

Υδροτροβίλοι αντιδράσεως

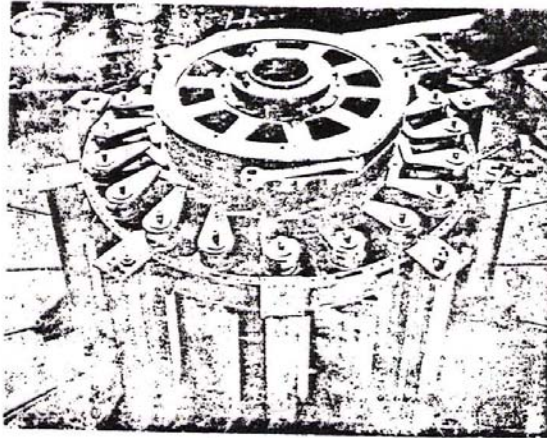


Κύρια μέρη ενός υδροτροβίλου αντιδράσεως:

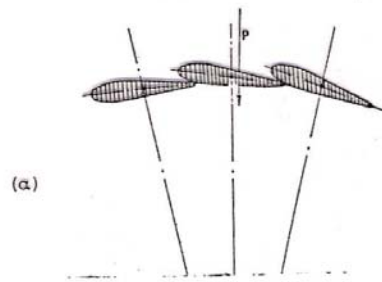
- α. Τμήμα εισόδου του νερού
 - επειροειδές κέλυφος (ή κάλυμμα)
 - οδηγία πτερύγια
 - ρυθμιστικά πτερύγια - στεγάνη ρυθμίσεως
- β. Δρομέας (ή φτερωτή)
- γ. Αγωγός εξόδου του νερού



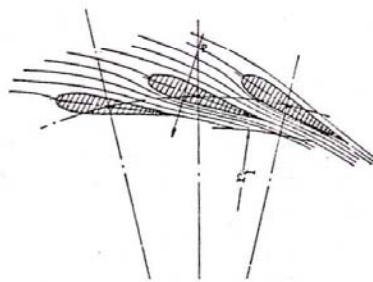
Σχ. 2-8. Σπειροειδές κέλυφος υδροτροβίλου αντίδρασης
ισχύος 84.6 MW, ύψους πτώσεως 70 m. Διάμετρος
είσοδου 5.3 m, διάμετρος κατασκευής 15 m.



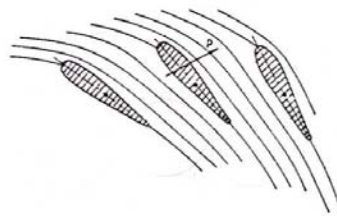
Σχ. 2-9. Ρυθμιστικά πτερύγια και μηχανισμός ρυθμίσεως αὐτῶν.



(α)

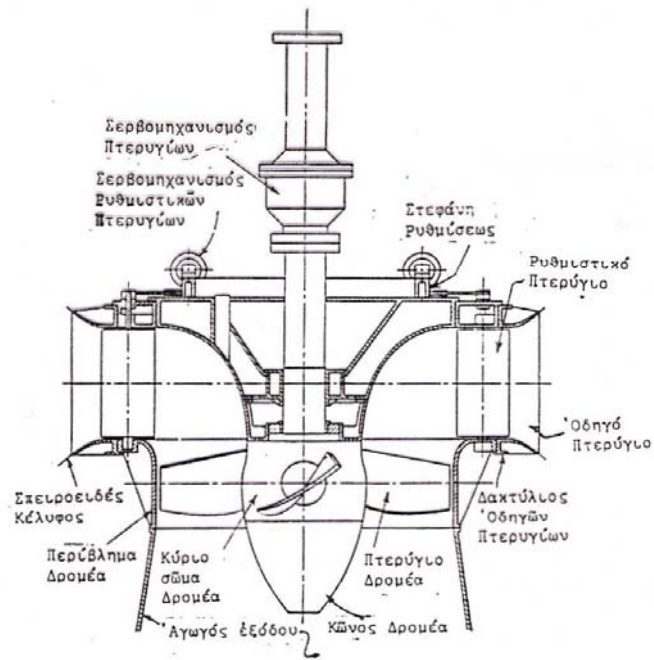


(β)



(γ)

Σχ. 2-10. Τομές των ρυθμιστικών πτερυγίων για διάφορες θέσεις ανοίγματος: (α) πλήρως κλειστά, (β) άνοιγμα 50% και (γ) θέση πέρα από τό πλήρες άνοιγμα.



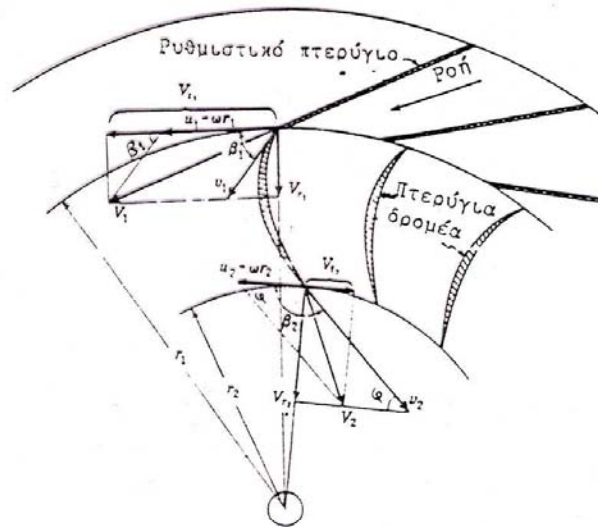
Σχ. 2-14. Άξονική τομή υδροστροβίλου αντιδράσεως τύπου Kaplan με ρυθμιζόμενα πτερύγια θρομέως ($n_s = 662$).



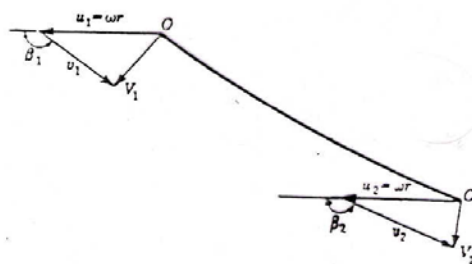
Λειτουργία του υδροτροβίλου αντιδράσεως

Διαγράμματα ταχύτητας

Francis ακτινικής ροής



Καρλαν (είσοδος και έξοδος ενός πτερυγίου σε ακτίνα r)



$$\vec{V}_1 = \vec{u}_1 + \vec{v}_1$$

$$\vec{V}_2 = \vec{u}_2 + \vec{v}_2$$

Δείκτης 1 : Εξωτερική περιφέρεια των πτερυγίων του δρομέα

Δείκτης 2 : εσωτερική " " " " "

Δείκτης τ : ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας

Δείκτης t : εφαπτομενική " " "

V : απόλυτη ταχύτητα νερού

u : γραμμική ταχύτητα περιστροφής ενός σημείου του δρομέα

v : σχετική ταχύτητα νερού ως προς τα πτερύγια του δρομέα

ω : γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα

$$V_{t1} = v_1 + v_1 \cos \beta_1$$

$$V_{\tau 1} = v_1 \sin \beta_1$$

$$V_{t2} = v_2 + v_2 \cos \beta_2$$

$$V_{\tau 2} = v_2 \sin \beta_2$$

$$\bullet \quad V_{t1} = \omega r_1 + V_{\tau 1} \cot \beta_1$$

$$u = \omega r$$

$$\bullet \quad V_{t2} = \omega r_2 + V_{\tau 2} \cot \beta_2$$

$$dm = \rho dQ$$

dm : στοιχειώδης μάζα νερού ανά μονάδα χρόνου

$$dA = 2\pi r dz$$

dA : στοιχειώδης κυλινδρική επιφάνεια

$$dM = V_t dm = \rho V_t dQ$$

dM : στοιχειώδης ποσότητα κινήσεως

$$dT = r dM = \rho r V_t dQ$$

dT : στοιχειώδης ροπή της ποσότητας κινήσεως

- $I_R = T_R \omega = \rho \theta \omega (r_1 V_{t1} - r_2 V_{t2})$

I_R : ισχύς που αναπτύσσεται στον περιστρεφόμενο δρομέα

- $\omega = \frac{2\pi\eta}{60}$ η : ταχύτητα περιστροφής [rpm]

- $Q = 2\pi r_1 B V_{T1} = 2\pi r_2 B V_{T2} \Rightarrow$ εξίσωση συνέχειας

B : ύψος του δρομέα στην είσοδο και έξοδο των πτερυγίων

- 6 εξισώσεις με 13 μεταβλητές

- $r_1, r_2, \beta_1, \beta_2, B$: γνωστές γεωμετρικές μεταβλητές

- θ, η : γνωστές μεταβλητές (δεδομένες συνθήκες λειτουργίας του υδροτροβίλου)

- $V_{t1}, V_{t2}, V_{T1}, V_{T2}, \omega, I_R$: άγνωστες μεταβλητές

$$I_R = \gamma Q H_R$$

γ : ειδικό βάρος νερού

H_R : εσωτερικό ύψος ή φορτίο του δρομέα

$$H_R = \frac{u_1 V_{t1} - u_2 V_{t2}}{g}$$

Εξίσωση Ευλετ για υδροτροβίλους και αντλίες (ετροβιλομηχανές)

$$T_1 = \rho \int_{\theta} \tau_1 V_{t1} d\theta$$

$$T_2 = \rho \int_{\theta} \tau_2 V_{t2} d\theta$$

T_1 : συνολική ροπή της ποσότητας κινήσεως της μάζας νερού, η οποία στη μονάδα του χρόνου εισέρχεται στον δρομέα

T_2 : αντίστοιχο μέγεθος για τη μάζα νερού, η οποία στη μονάδα του χρόνου εξέρχεται από τον δρομέα

ρ : πυκνότητα νερού

Q : συνολική παροχή νερού που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο και συντελεί στην παραγωγή έργου

$$T_w = T_2 - T_1$$

T_w : ροπή που ασκείται στη μάζα του νερού μέσα στον όγκο αναφοράς που ορίζεται από τις επιφάνειες εισόδου και εξόδου του δρομέα

T_R : ίση και αντίθετη ροπή που ασκείται από τη μάζα του νερού στον δρομέα

$$T_R = \rho \int_{\theta} \tau_1 V_{t1} d\theta - \rho \int_{\theta} \tau_2 V_{t2} d\theta$$

$$T_R = \rho Q (\tau_1 V_{t1} - \tau_2 V_{t2})$$

$$\eta_R = \frac{H_R}{H_T}$$

$$H_T = H_R + H_L$$

$$\eta_R = 0.90 \text{ έως } 0.96$$

η_R : συντελεστής υδραυλικής απόδοσης υδροτροβίλου

H_R : φορτίο δρομέα

H_T : ωφέλιμο ύψος πτώσεως

H_L : ύψος εσωτερικών απωλειών ενέργειας υδραυλικής φύσης

(λόγω τριβών και τύρβης στο σπειροειδές κέλυφος, στα οδηγία και ρυθμιστικά πτερύγια, στο δρομέα και στον αγωγό εξόδου, επίσης το ύψος κινητικής ενέργειας στην εκβολή του αγωγού εξόδου)

$$\eta_V = \frac{Q - Q_L}{Q}$$

$$\eta_V \geq 0.98 \text{ (συνήθως)}$$

η_V : συντελεστής ογκομετρικής απόδοσης υδροτροβίλου

Q : πραγματική παροχή που προσάχεται στον υδροτροβίλο

Q_L : παροχή που διέρχεται από τα διάκενα μεταξύ των κινητών και ακινητών τμημάτων του υδροτροβίλου χωρίς την παραγωγή έργου

$Q - Q_L$: παροχή που διέρχεται διαμέσου των πτερυγίων του δρομέα και συντελεί στην παραγωγή έργου

$$\eta_m = \frac{I_u}{I_R}$$

$$\eta_m = 0.97 \text{ έως } 0.98$$

η_m : συντελεστής μηχανικής απόδοσης υδροτροβίλου

I_u : ισχύς που αναπτύσσεται στην άτρακτο του υδροτροβίλου

$I_u < I_R$ λόγω μηχανικών τριβών στα έδρανα κ.λπ.

$$I_u = \gamma Q H \eta_m \eta_6$$

$$\eta_6 = \eta_R \eta_V \eta_m$$

η_6 : συντελεστής απόδοσης του υδροτροβίλου

$$\eta_6 = 0.85 \text{ έως } 0.93$$