

Υδραυλικές Μηχανές και Ενέργεια

- Διάλεξη 8. - Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως
- Ολοκλήρωση θεωρίας για υδροστρόβιλους δράσεως

Σκουληκάρης Χαράλαμπος

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχ. Η/Υ, MSc,

PhD

hskoulik@civil.auth.gr

Ανασκόπηση 7^{ου} μαθήματος

- Υδροστρόβιλοι δράσεως. Κύρια μέρη υδροστρόβιλου Pelton, παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας, Σχεδιασμός δρομέως υδροστροβίλου Pelton

Περιεχόμενα 6^{ου} μαθήματος

A/A	Τρόπος διδασκαλίας	Μάθημα	Περιγραφή	Ώρες
7	Διάλεξη	Υδροστρόβιλοι δράσεως	<ul style="list-style-type: none"> - Ολοκλήρωση του μαθήματος διατήρησης της ενέργειας. Επισκόπηση της αριθμητικής ανάλυσης ροών σε υδραυλικές στροβιλομηχανές. - Υδροστρόβιλοι δράσεως. Κύρια μέρη υδροστρόβιλου Pelton, παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας, Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton, Μοναδιαία ποσότητα και χαρακτηριστικά διαγράμματα - Ασκήσεις 	3
8	Διάλεξη	Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως	<ul style="list-style-type: none"> - Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής, Κύρια μέρη υδροστρόβιλου αξονικής ροής Kaplan, Τρίγωνα ταχυτήτων, - Υδροστρόβιλοι μικτής ροής, Κύρια μέρη υδροστροβίλου Francis, Βασικές εξισώσεις βαθμίδος μικτής ροής, Σπειροειδές κέλυφος, Αγωγοί φυγής - Ασκήσεις 	3

Συγγράμματα/Εκπαιδευτικό υλικό

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Υπό
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη
Αναπληρωτού Καθηγητού
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης

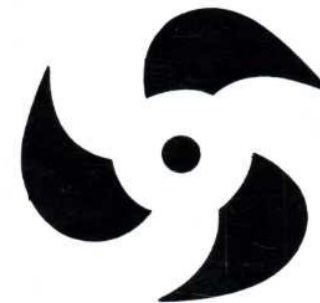


ΞΑΝΘΗ

εκδόσεις - ΑΪΒΑΖΗΣ - Θεσσαλονίκη

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΛΥΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Υπό
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη
Αναπληρωτού Καθηγητού
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ 2007

εκδόσεις: ΑΪΒΑΖΗΣ Θεσσαλονίκη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Υδροστρόβιλοι δράσεως (Μέρος 2^ο)

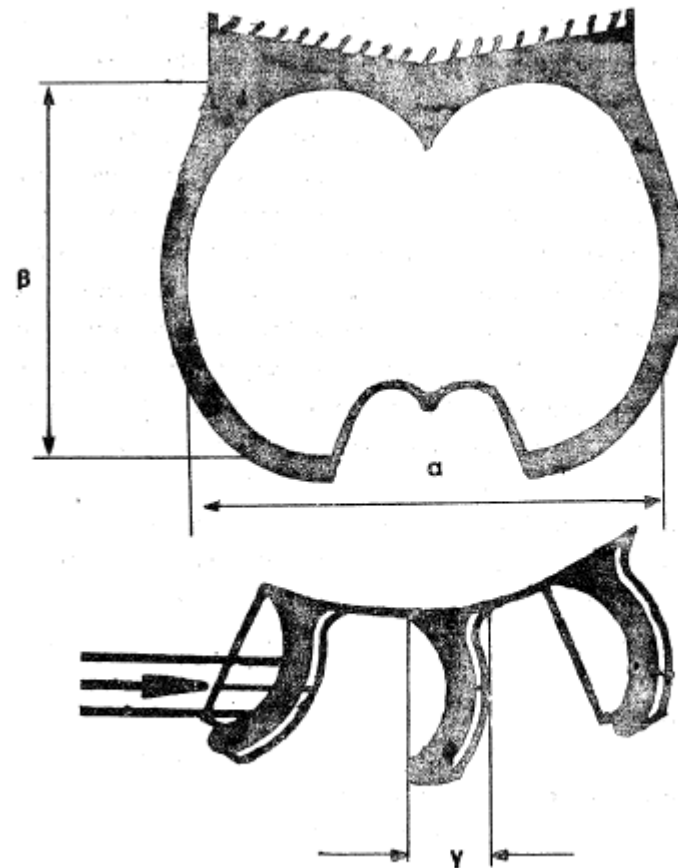
- Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Στο διπλανό Σχήμα επιδεικνύονται οι τυπικές διατάξεις της γεωμετρίας των σκαφιδίων υδροστρόβιλου Pelton. Πειραματικές μελέτες έδειξαν πως οι διαστάσεις της γεωμετρίας των σκαφιδίων εξαρτώνται από τη ακτίνα της δέσμης του ακροφυσίου και δίνονται ως:

- $\alpha = (5.6 - 7.2)r_o$
- $\beta = (5.0 - 5.6)r_o$
- $\gamma = (1.8 - 2.0)r_o$



Σχήμα 3.9 Σχηματικόν διάγραμμα υδροστροβίλου Pelton και γεωμετρία σκαφιδίων

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton

Από τις εξισώσεις 3.18 (με την ισχύ σε HP και όχι σε KW) και 3.34 προκύπτει ότι η ειδική ταχύτητα n_s δύναται να εκφραστεί σε συνάρτηση με την παροχή και το φορτίο ως:

$$n_s = \frac{3.6508 N (Q_n)^{1/2}}{H_n^{3/4}} \quad (3.37)$$

Μέσω εμπειρικού τρόπου, έχει εξαχθεί μια τιμή του ειδικού αριθμού στροφών η οποία ικανοποιεί την βέλτιστη χρήση υδροστροβίλων δράσεων κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής τους. Ο ειδικός αυτός αριθμός ονομάζεται ιδανικός αριθμός στροφών υδροστροβίλων δράσεων κα συμβολίζεται ως n'_s .

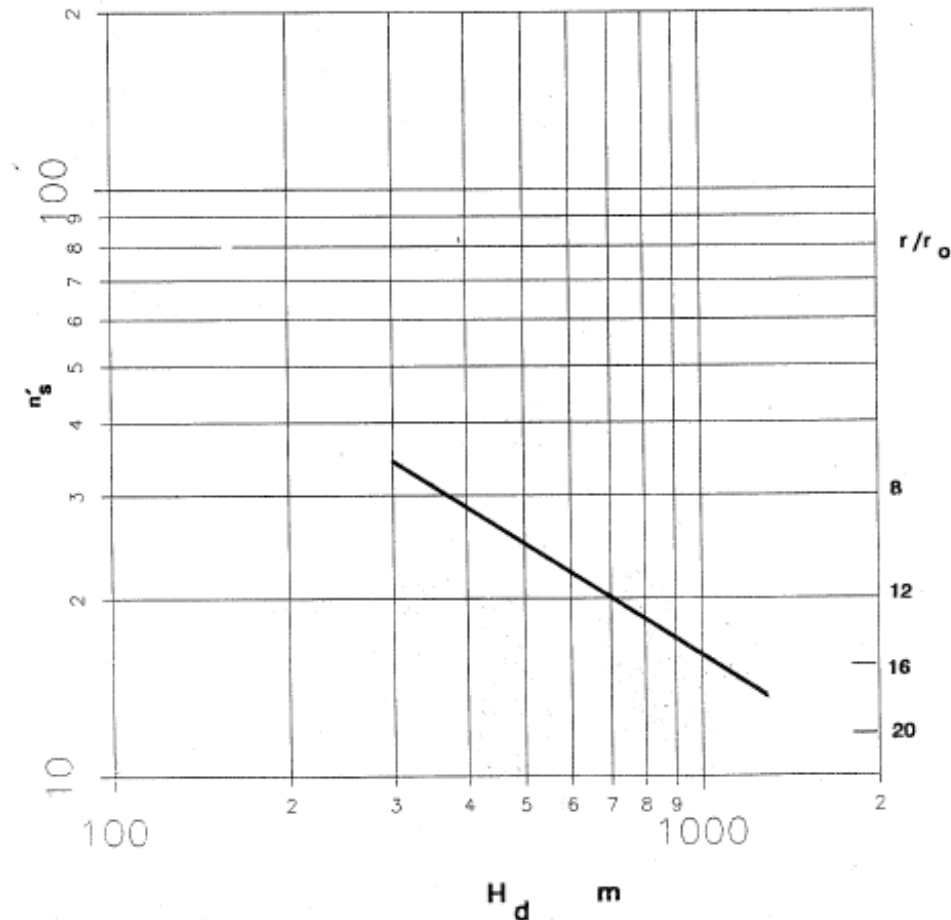
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του ιδανικού αριθμού στροφών με το ύψος πτώσης μελέτης H_d και η εξίσωση 3.34 γίνεται:

$$N' = \frac{n'_s H_n^{5/4}}{I_R^{1/2}} \quad (3.43)$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Επειδή όμως:



Σχήμα 3.10 Μεταβολή του ιδανικού ειδικού αριθμού στροφών υδροστροβίλου δράσεως μετά του ύψους πτώσεως H_d . Το διάγραμμα είναι εμπειρικών

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

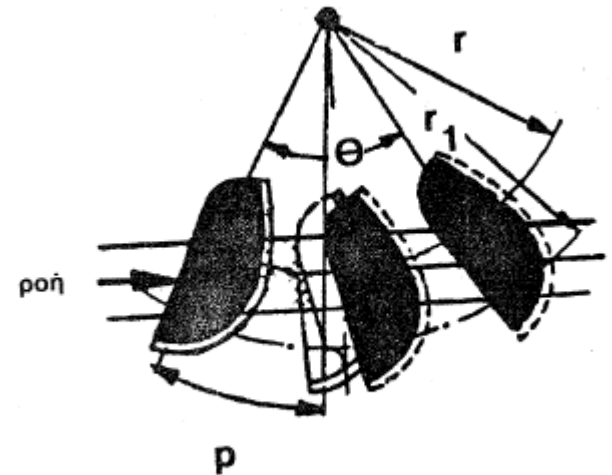
3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Τέλος ο καθορισμός του αριθμού των σκαφιδίων στο δρομέα της μηχανής είναι σημαντικός παράγοντας για την πλήρη εκμετάλλευση της υδροδυναμικής ισχύος της δέσμης ύδατος. Ο ορθός υπολογισμός της απόστασης του ενός σκαφιδίου από το άλλο αποτρέπει την μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Η ακόλουθη σχέση δίνει την απόσταση p συναρτήσει ενός εμπειρικού συντελεστή K , της γωνίας θ , της ταχύτητας της δέσμης V_1 , της γραμμικής ταχύτητας U , της ακτίνας του δρομέα r και της ακτίνας r_1 .

$$p = K \left[\theta - \frac{2.0 r_1 U \eta \mu(\theta/2.0)}{r V_1} \right] \quad (3.44)$$

Η συνήθης τιμή του συντελεστή K είναι 0.75.



Σχήμα 3.11 Γεωμετρία και ισαπόστασις των σκαφιδίων

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton

Ο Πίνακας 3.3 δίνει τον αριθμό των σκαφιδίων $N_{\text{σκαφ}}$ δρομέα υδροστροβίλου Pelton συναρτήσει του ύψους πτώσεως σχεδιασμού H_d και συναρτήσει του λόγου r/r_o .

H_d (m)	r/r_o	$N_{\text{σκαφ}}$
400.0	7.5	15
500.0	9.2	17
600.0	10.9	20
750.0	13.3	22
1000.0	17.1	26
1500.0	20.0	28

Πίναξ 3.3 Επίδρασις του ύψους πτώσεως επί του αριθμού των σκαφιδίων του δρομέως υδροστροβίλου Pelton

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Παράδειγμα: Μία μονάς υδροστροβίλου δράσεως τύπου Pelton θα πρέπει να σχεδιασθή· κατά τοιούτον τρόπον ώστε να περιλάβη δύο δρομείς μετ' οριζοντίου ατράκτου. Έκαστος των δρομέων φέρει έν ακροφύσιον. Η υδροδυναμική εγκατάστασις χρησιμοποιεί παροχήν $Q_{\mu} = 18.3 \text{ m}^3/\text{s}$ και το ύψος πτώσεως μελέτης είναι 735.0 m. Ο συντελεστής ταχύτητος C_v των ακροφυσίων ισούται με 0.97 και ο βαθμός αποδόσεως της μηχανής είναι 0.875 ενώ η εγκατάστασις θα τροφοδοτήση με ηλεκτρικόν ρεύμα συχνότητας 50.0 Hz το σύστημα του φορτίου. Ζητείται να υπολογισθούν α) ο ιδανικός ειδικός αριθμός στροφών της μονάδος, β) ο ιδανικός αριθμός στροφών μονάδος, γ) ο αριθμός των στροφών της μονάδος, και δ) τα χαρακτηριστικά των διαστάσεων του δρομέως και των σκαφιδίων.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

Λύσις: α) Ο ιδανικός ειδικός αριθμός στροφών της μονάδος $n'_{σμ}$ δύναται να υπολογισθή εκ του εμπειρικού διαγράμματος του Σχήματος 3.10 το πρώτον υπολογίζοντας τον ιδανικόν ειδικόν αριθμόν στροφών εκάστου ακροφυσίου n'_s ο οποίος συμπίπτει με τον ιδανικόν ειδικόν αριθμόν δρομέως με έν ακροφύσιον, διά $H_d = 735.0 \text{ m}$, με αριθμόν ακροφυσίων 1 και λαμβάνοντας υπ' όψιν την καμπύλην ασφαλούς λειτουργίας, Σχήμα 3.10. Ούτως, $n'_s = 19.5$. Ο αριθμός των ακροφυσίων υπολογίζεται εκ της εξισώσεως 3.39 και είναι, $m = j k = 1 \times 2 = 2$. Επομένως, ο ιδανικός ειδικός αριθμός της μονάδος υπολογίζεται εκ της εξισώσεως 3.41 και είναι,

$$n'_{σμ} = n'_s m^{1/2} = 19.5 \times 2^{1/2} = 27.58$$

β) Ο ιδανικός αριθμός στροφών N' της μονάδος υπολογίζεται εκ της εξισώσεως 3.38, με $H_n = H_d$, και είναι,

$$N' = n'_{σμ} H_d^{3/4} / [3.6508 (Q_\mu n)^{1/2}] \text{ ή}$$

$$N' = 27.58 \times 735.0^{3/4} / [3.6508 \times (18.3 \times 0.875)^{1/2}]$$

$$= 266.49 \text{ στροφαί/λεπτόν}$$

γ) Ο αριθμός των στροφών της μονάδος προσδιορίζεται εκ της εξισώσεως $N = 6000/\text{αριθμ. πόλων}$ και θα πρέπει να είναι $N < N'$. Δι' επιλογής του αριθμού πόλων ίσου με 24, ο αριθμός στροφών είναι, $N = 6000/24 = 250 \text{ στροφαί/λεπτόν}$.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

δ) Η παροχή ανά ακροφύσιον προκύπτει εκ της εξισώσεως 3.40 και είναι,

$$Q = Q_{\mu}/m = 18.3/2 = 9.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Εκ των εξισώσεων 3.22, 3.25 και 3.26 προκύπτει ότι η παροχή Q ισούται με,

$$Q = C_v (2.0 \text{ g H}_d)^{1/2} \pi r_o^2$$

και επομένως,

$$r_o = Q^{1/2} / [C_v (2.0 \text{ g H}_d)^{1/2} \pi]^{1/2}$$

Αντικαθιστώντας τας τιμάς,

$$Q = 9.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_v = 0.97$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H_d = 735.0 \text{ m}$$

η τιμή της ακτίνας της δέσμης του ακροφυσίου είναι,

$$r_o = 9.15^{1/2} / [0.97 \times (2.0 \times 9.81 \times 735.0)^{1/2} \times 3.14]^{1/2}$$

$$= 3.0249 / (0.97 \times 120.086 \times 3.14)^{1/2} = 0.158 \text{ m}$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Εκ του Σχήματος 3.10 διά την τιμήν $n'_s = 19.5$ προκύπτει ότι ο λόγος r/r_o είναι ίσος με 12.25 οπότε $r = 12.25 \times 0.158 = 1.935$ m. Εκ δε του Σχήματος 3.9 και θεωρώντας τας εμπειρικές σχέσεις: α) $\alpha = (5.6 \text{ έως } 7.2) r_o$, β) $\beta = (5.0 \text{ έως } 5.6) r_o$, γ) $\gamma = (1.8 \text{ έως } 2.0) r_o$ είναι,

$$\alpha = (5.6 \text{ έως } 7.2) \times 0.158 = 0.885 \text{ έως } 1.137 \text{ m}$$

$$\beta = (5.0 \text{ έως } 5.6) \times 0.158 = 0.790 \text{ έως } 0.885 \text{ m}$$

$$\gamma = (1.8 \text{ έως } 2.0) \times 0.158 = 0.284 \text{ έως } 0.316 \text{ m}$$

Ο αριθμός των σκαφιδίων εις τον δρομέα υπολογίζεται εκ του Πίνακος 3.3 διά $r/r_o = 12.25$ και είναι $N_{\text{σκαφ}} = 21$.

Η σπηλαιώσις δεν είναι σημαντικό πρόβλημα εις τους υδροστροβίλους Pelton λόγω του ότι δεν αναπτύσσονται ισχυραί υποπιέσεις κατά την εκροήν της δέσμης εκ των ακροφυσίων. Όμως, εντός των σκαφιδίων δεν δύναται να αποκλεισθή τελείως η ύπαρξις σπηλαιώσεως λόγω των υψηλής ταχύτητος δινών αι οποίαι πιθανόν να εμφανισθούν. Ο σημαντικώτερος παράγων διά την ικανοποιητικήν λειτουργίαν της μηχανής εξαρτάται εκ του σχηματισμού ομαλής δέσμης ύδατος εις τα ακροφύσια του υδροστροβίλου υπό οιονδήποτε άνοιγμα της βελώνης. Η διάμετρος της δέσμης έχει ανώτατον όριον περί τα 30.0 cm.

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4 Μοναδιαίες ποσότητες και χαρακτηριστικά διαγράμματα υδροστροβίλων Pelton

Η ανάλυση της απόδοσης ενός υδροστροβίλου δράσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί γνωρίζοντας τα ακόλουθα:

- Τις μοναδιαίες ποσότητες
- Τις ειδικές ταχύτητες και,
- Τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της μηχανής

Η θεωρία των μοναδιαίων ποσοτήτων για υδροστροβίλους δράσεως είναι ταυτόσημη με τη θεωρία των μοναδιαίων ποσοτήτων για υδροστροβίλους αντιδράσεως.

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

Η απόδοση ενός υδροστροβίλου μπορεί να μελετηθεί μέσω της συσχέτισης και σύγκρισης των μεγεθών της παροχής, της περιστροφικής ταχύτητας, της ισχύος κτλ.

- Προκειμένου όμως να γίνει η συσχέτιση πρέπει τα παραπάνω μεγέθη/ποσότητες να εκφράζονται υπό κοινούς όρους.
- Επειδή η παροχή, η ισχύς κτλ είναι συναρτήσεις του ύψους πτώσης, προτείνεται η μετατροπή των παραπάνω ποσοτήτων σε εκφράσεις μοναδιαίου φορτίου.
- Το ύψος πτώσης λαμβάνεται ως η κοινή ποσότητα.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

α) Μοναδιαία ισχύς: Η ισχύς που αναπτύσσεται σε ένα υδροστρόβιλο υπό ύψος πτώσης ενός μέτρου ονομάζεται μοναδιαία ισχύς.

Η ισχύς που αναπτύσσεται σε υδροστρόβιλο δίνεται ως:

$$I_R = n \rho g Q H_n \quad (3.18)$$

Επειδή όμως $Q = A \cdot V = A \cdot (2.0 g H_n)^{1/2}$ τότε

$$\begin{aligned} I_R &= n \rho g A (2.0 g H_n)^{1/2} H_n \\ &= [n \rho g A (2.0 g)^{1/2}] H_n^{3/2} \\ &= K_1 H_n^{3/2} \end{aligned} \quad (3.45)$$

Στην περίπτωση που $H_n = 1.0 \text{ m}$ τότε $K_1 = I_{R_u}$ και από την εξίσωση 3.45 έχουμε ότι:

$$I_{R_u} = \frac{I_R}{H_n^{3/2}} \quad (3.46)$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

β) Μοναδιαία περιστροφική ταχύτητα: Η περιστροφική ταχύτητα που αναπτύσσεται σε ένα υδροστρόβιλο υπό ύψος πτώσης ενός μέτρου ονομάζεται μοναδιαία περιστροφική ταχύτητα. Η γραμμική ταχύτητα συνδέεται με την ταχύτητα περιστροφής μέσω της εξίσωσης:

$$U = \frac{2.0 \pi N r}{60.0} \quad N \text{ (στροφαι/λεπτόν)} \quad (3.4)$$

ή

$$N = \frac{60.0 * U}{2.0 \pi r}$$

Επειδή όμως η μέγιστη υδραυλική ισχύς λαμβάνεται όταν η περιφερειακή ταχύτητα του δρομέα (V_1) είναι το μισό της ταχύτητας (U) της δέσμης του προσκρούμενου ύδατος, Εξ.3.17:

$$U = \frac{V_1}{2.0} \quad (3.17)$$

Επίσης η ταχύτητα $V_1 = (2.0 g H_n)^{1/2}$, τότε:

$$N = \frac{60.0 (2.0 g H_n)^{1/2}}{4.0 \pi r} = K_2 H_n^{1/2} \quad (3.47)$$

Στην περίπτωση που $H_n = 1.0$ m τότε $K_2 = N_u$ και από την εξίσωση 3.47 έχουμε ότι:

$$N_u = \frac{N}{H_n^{1/2}} \quad (3.48)$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

β) Μοναδιαία παροχή: Η παροχή ενός υδροστροβίλου σε περίπτωση ύψους πτώσης ενός μέτρου ονομάζεται μοναδιαία παροχή. Η παροχή Q ισούται με το γινόμενο $Q = A \cdot V$, οπότε:

$$Q = A (2.0 \text{ g H}_n)^{1/2} = K_3 H_n^{1/2} \quad (3.49)$$

Στην περίπτωση που $H_n = 1.0 \text{ m}$ τότε $K_3 = Q_u$ και από την εξίσωση 3.49 έχουμε ότι:

$$Q_u = \frac{Q}{H_n^{1/2}} \quad (3.50)$$

Οι μοναδιαίες ποσότητες των Εξ. 3.46, 3.48 και 3.50 χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό λειτουργίας υδροστροβίλου για διαφορετικό ύψος πτώσης. Θεωρώντας ότι ο δείκτης 1 εκφράσει τη νέα κατάσταση, τότε στην αρχική φάση η μοναδιαία ισχύς είναι:

$$I_{R_u} = \frac{I_R}{H_n^{3/2}} \quad (3.51)$$

Ενώ στη θέση 1 έχουμε:

$$I_{R_u} = \frac{I_{R_1}}{H_{n_1}^{3/2}} \quad (3.52)$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

Διαιρώντας τις 2 προηγούμενες εξισώσεις έχουμε ότι:

$$I_{R_1} = I_R \left(\frac{H_{n_1}}{H_n} \right)^{3/2} \quad (3.53)$$

Ομοίως:

$$N_1 = N \left(\frac{H_{n_1}}{H_n} \right)^{1/2} \quad (3.54)$$

$$Q_1 = Q \left(\frac{H_{n_1}}{H_n} \right)^{1/2} \quad (3.55)$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

Παράδειγμα: Εις υδροστρόβιλος δράσεως αναπτύσσει 5000.0 KW όταν το ύψος πτώσεως είναι 110.0 m. Ο αριθμός περιστροφών της μηχανής είναι 240.0 στροφαί/λεπόν και η μηχανή εργάζεται υπό την μέγιστην απόδοσίν της. Να υπολογισθούν α) η ειδική ταχύτης του υδροστροβίλου, β) η διάμετρος του δρομέως της μηχανής και γ) η ταχύτης περιστροφής και η αναπτυσσομένη ισχύς όταν το ύψος πτώσεως αυξηθή κατά 15.5%.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

Λύσις: α) Εκ της εξισώσεως 3.34 η ειδική ταχύτητα δίδεται ως,

$$n_s = N \cdot I_R^{1/2} / H_n^{5/4} \quad \text{με}$$

$$N = 240 \text{ στροφαί/λεπτόν}$$

$$I_R = 5000.0 \text{ KW}$$

$$H_n = 110.0 \text{ m}$$

$$\text{επομένως, } n_s = 240.0 \times (5000.0)^{1/2} / (110.0)^{5/4} = 47.64$$

β) Η διάμετρος του δρομέως $D = 2 \text{ r}$ υπολογίζεται εκ της εξισώσεως 3.4 με την θεώρησιν ότι πρέπει να ισχύη και η εξίσωσις 3.17. Είναι δηλαδή,

$$V_1 = 2.0 U \quad \text{με } U = 2.0 \pi N r / 60.0$$

Επομένως, $U = \pi N D / 60.0$ ή $V_1 = 2.0 \pi N D / 60.0$. Αλλά,

$$V_1 = (2.0 g H_n)^{1/2} = (2.0 \times 9.81 \times 110.0)^{1/2} = 46.456 \text{ m/s}$$

άρα, $46.456 = 2.0 \times 3.14 \times 240.0 \times D / 60.0$, επομένως, $D = 1.849 \text{ m}$.

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4.1 Μοναδιαίες ποσότητες

γ) Όταν το ύψος πτώσεως αυξηθεί κατά 15.5% δηλαδή κατά 17.05 m, τότε το νέο ύψος πτώσεως θα είναι $110.0 + 17.05 = 127.05$ m. Εκ της εξισώσεως 3.54 η νέα περιστροφική ταχύτης θα είναι $N_1 = N (H_{n_1}/H_n)^{1/2}$ άρα,

$$N_1 = 240.0 \times (127.05/120.0)^{1/2} = 246.95 \text{ στροφαί/λεπτόν}$$

Εκ της εξισώσεως 3.53 η νέα ισχύς η οποία θα αναπτυχθή υπό του υδροστροβίλου θα είναι $I_{R_1} = I_R (H_{n_1}/H_n)^{3/2}$ άρα,

$$I_{R_1} = 5000.0 \times (127.05/120.0)^{3/2} = 5447.05 \text{ KW}$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4.2 Χαρακτηριστικά διαγράμματα υδροστροβίλων Pelton

Οι χαρακτηριστικές αναπαραστάσεις των μεταβολών της ταχύτητας, της παροχής της ισχύς κτλ ενός υδροστροβίλου ονομάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας του υδροστροβίλου και κύριος σκοπός τους είναι η πρόβλεψη λειτουργίας της μηχανής σε συνθήκες λειτουργίας διαφορετικές από αυτές τις οποίες έχουν σχεδιαστεί.

Για διευκόλυνση ως προς την κατανόηση των χαρακτηριστικών διαγραμμάτων, οι γραφικές παραστάσεις που δείχνονται παρακάτω έχουν χαραχθεί με μοναδιαίες τιμές των αντίστοιχων ποσοτήτων.

Οι κύριες χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μπορούν να ταξινομηθούν ως:

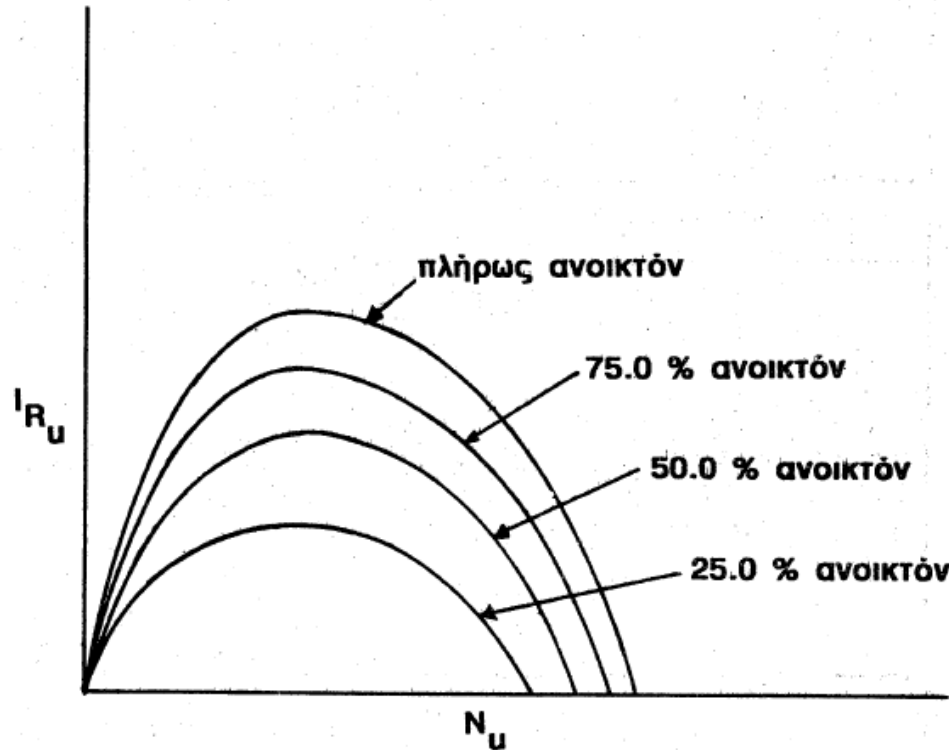
- a) Κύριες χαρακτηριστικές καμπύλες ή καμπύλες σταθερού ύψους πτώσης
- b) Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ή καμπύλες σταθερής περιστροφικής ταχύτητας
- c) Καμπύλες σταθερής απόδοσης λειτουργίας

Στα πλαίσια του μαθήματος θα παρουσιαστούν μόνο οι καμπύλες της περίπτωσης α), δηλαδή οι καμπύλες σταθερού ύψους πτώσης.

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4.2 Χαρακτηριστικά διαγράμματα υδροστροβίλων Pelton

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.12) παρουσιάζονται, πάντα υπό σταθερό φορτίο, οι μεταβολές της ισχύος του υδροστροβίλου όταν μεταβάλλεται η περιστροφική ταχύτητα για διαφορετικά ανοίγματα του μηχανισμού ελέγχου της παροχής (από πλήρες ανοικτό έως 25% του πλήρους ανοικτού).

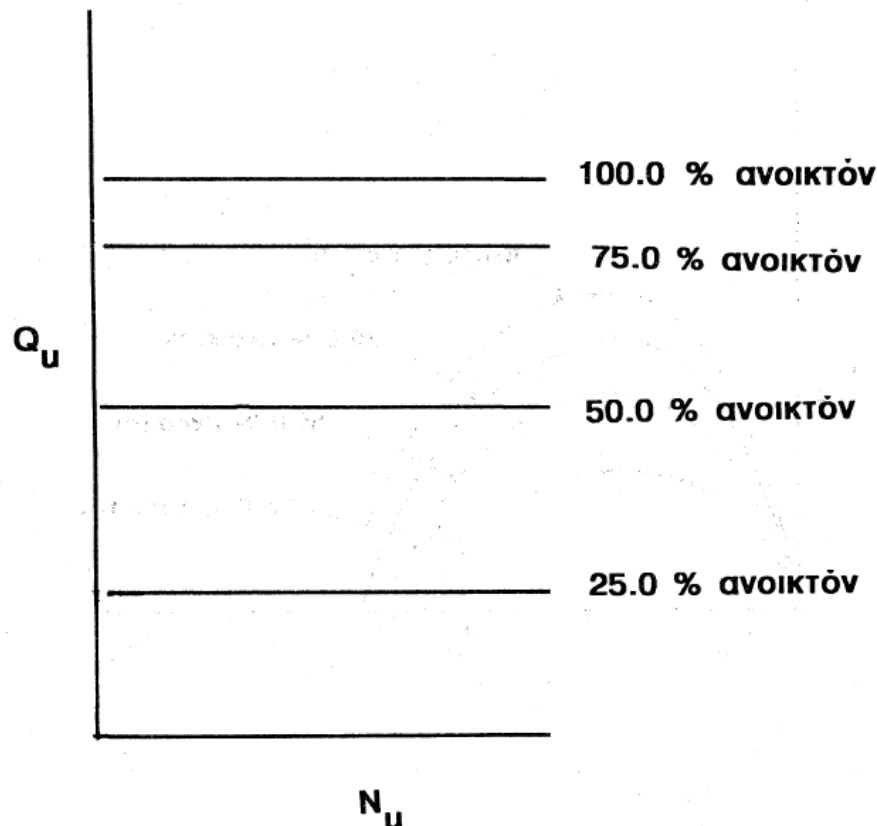


Σχήμα 3.12 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος - περιστροφικής ταχύτητας υδροστροβίλου Pelton

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

3.1.4.2 Χαρακτηριστικά διαγράμματα υδροστροβίλων Pelton

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.13) παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη παροχής – περιστροφικής ταχύτητας για διαφορετικά ανοίγματα του μηχανισμού ελέγχου

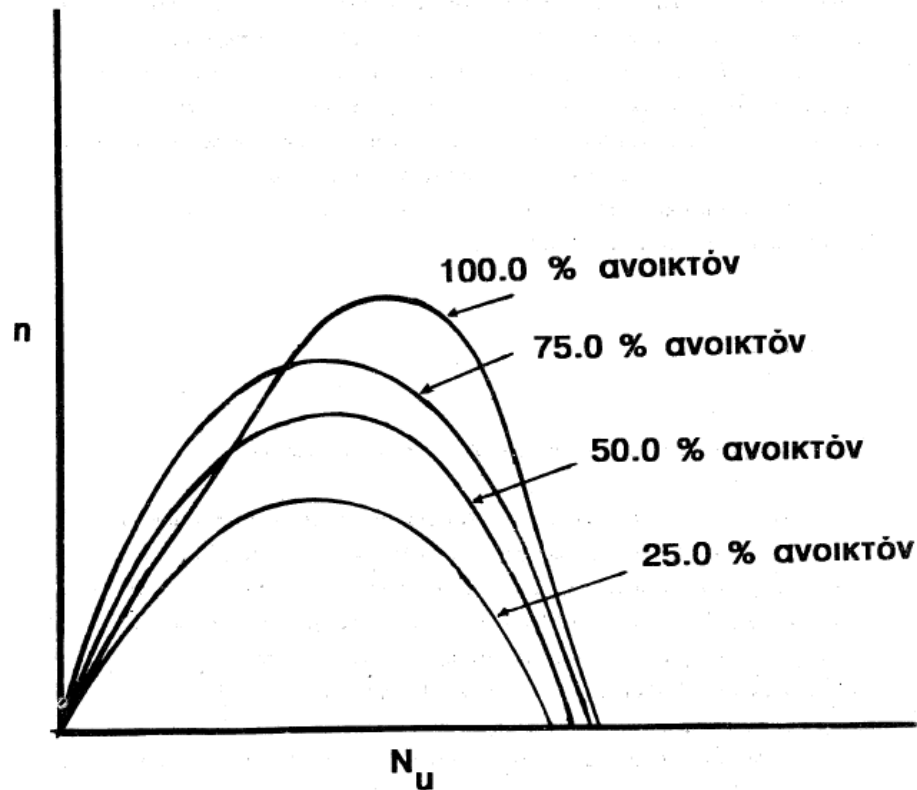


Σχήμα 3.13 Χαρακτηριστική καμπύλη παροχής – περιστροφικής ταχύτητας υδροστροβίλου Pelton

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

3.1.4.2 Χαρακτηριστικά διαγράμματα υδροστροβίλων Pelton

Το Σχήμα 3.14 δείχνει τη μεταβολή της απόδοσης λειτουργίας της μηχανής όταν μεταβάλλεται η περιστροφική ταχύτητα για διαφορετικά ανοίγματα του μηχανισμού ελέγχου



Σχήμα 3.14 Χαρακτηριστική καμπύλη αποδόσεως - περιστροφικής ταχύτητας υδροστροβίλου Pelton

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

Πρόβλημα 1.1

Οριζοντία δέσμη ύδατος εκτρέπεται κατά 140.0° υπό ακινήτου, κατακορύφως τοποθετημένου, καμπυλεμένου πτερυγίου, ιδέ Σχήμα 1. Κατά την στιγμήν της προσκρούσεως της διαμέτρου 35.0 mm δέσμης του ύδατος επί του πτερυγίου η ταχύτης του ύδατος έχει την τιμήν των 55.0 m/s. Λόγω των αναπτυσσομένων τριβών επί του πτερυγίου η ταχύτης του ύδατος εις την έξοδον εκ του πτερυγίου είναι 5.0% μικρότερα της αντιστοίχου τιμής εισόδου. Το ανά πάσαν χρονικήν στιγμήν βάρος του ύδατος εις τον υπό του πτερυγίου οριζόμενον χώρον είναι 490.5 N. Ζητείται :α) να υπολογισθή η τιμή της δρώσης δυνάμεως επί του πτερυγίου εάν ληφθούν υπ' όψιν τα φαινόμενα βαρύτητος και β) εις την περίπτωσιν καθ' ην το πτερύγιον κινείται με γραμμικήν ταχύτητα 10.5 m/s, κατά την διεύθυνσιν της αρχικής δέσμης του ύδατος, να υπολογισθή εκ νέου η νέα τιμή της δρώσης δυνάμεως επί του πτερυγίου κατά την διεύθυνσιν περιστροφής του και κατά συνέπειαν η ισχύς η αναπτυσσομένη υπό του πτερυγίου διά του ύδατος.

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως-Ασκήσεις

περίπτωσην ταύτην ως ΣF_x θεωρείται ότι είναι συνιστώσα F_x της συνισταμένης δυνάμεως F και μόνον. Αλλά η παροχή Q είναι,

$$Q = A V_1 = \frac{\pi D^2}{4.0} V_1 = \frac{\pi \times 0.035^2}{4.0} \times 55.0 = 0.0529 \text{ m}^3/\text{s}$$

Η ταχύτητα V_2 είναι 5.0% μικρότερα της V_1 άρα,

$$V_2 = (1.0 - 0.05) V_1 = 0.95 V_1 = 0.95 \times 55.0 = 52.25 \text{ m/s}$$

Επομένως,

$$\begin{aligned} F_x &= 1000.0 \times 0.0529 \times (52.25 \times \text{συν}140.0 - 55.0) \\ &= 52.9 \times (-40.026 - 55.0) = -5026.866 \text{ N} = -5.027 \text{ KN} \end{aligned}$$

Δι' εφαρμογής της θεωρίας της διατήρησης της ορμής κατά την z διεύθυνσιν, ιδέ εξίσωσιν 2.17, θα είναι,

$$\Sigma F_z = F_z - B = \rho Q (V_2 \eta\mu\beta_2' - V_1 \eta\mu 0.0)$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως-Ασκήσεις

ένθα B το βάρος του ύδατος το οριζόμενον υπό του πτερυγίου. Με θετικόν πρόσημον σημειούται η διεύθυνσις της βαρύτητος. Είναι,

$$F_z = B + \rho Q (V_2 \eta\mu\beta_2' - V_1 \eta\mu 0.0) = 490.5 + 1000.0 \times 0.0529 \\ \times (52.25 \times \eta\mu 40.0 - 0.0) = 2267.18 \text{ N} = 2.267 \text{ KN}$$

Επομένως η συνισταμένη δύναμις F θα είναι,

$$F = (F_x^2 + F_z^2)^{1/2} = (5.027^2 + 2.267^2)^{1/2} = 5.514 \text{ KN}$$

και η γωνία υπό την οποία δρα θα είναι,

$$\epsilon\varphi\theta = \frac{F_z}{F_x} = \frac{2.267}{5.027} = 0.4509 \text{ άρα } \theta = 24.27^\circ$$

Εκ του τρίτου νόμου της κινήσεως του Newton, η δύναμις ήτις εξασκείται υπό του ύδατος επί του πτερυγίου θα είναι ίση και αντίθετος προς την F .

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

β) Ας θεωρηθί ότι το περύγιον κινείται κατά την διεύθυνσιν της αρχικής δέσμης του ύδατος με ταχύτηταν $U = 10.5 \text{ m/s}$. Η ταχύτης της εισερχομένης δέσμης ύδατος, εν αναφορά προς το κινούμενον περύγιον, είναι,

$$V_{r1} = V_1 - U \quad \text{ιδέ εξίσωσιν 3.5, είναι δηλαδή,}$$

$$V_{r1} = 55.0 - 10.5 = 44.5 \text{ m/s}$$

Εις το Σχήμα 1 δεικνύεται το τρίγωνον εξόδου των ταχυτήτων εκ του πτρουγίου. Δι' εφαρμογής εκ νέου της εξισώσεως 2.16 θα είναι,

$$\Sigma F_x = \rho Q (V_2 \sigma_{\alpha_2} - V_1)$$

Εις την περίπτωσιν ταύτην ως ΣF_x θεωρείται ότι είναι μόνον η συνιστώσα F_x της συνισταμένης δυνάμεως F . Αλλά η νέα παροχή Q είναι,

$$Q = A (V_1 - U) = \frac{\pi D^2}{4.0} (V_1 - U) = \frac{\pi \times 0.035^2}{4.0} \times (55.0 - 10.5) = 0.0428 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως-Ασκήσεις

Αλλά εκ του τριγώνου ταχυτήτων εξόδου είναι,

$$V_2 \sin \alpha_2 + V_{r2} \sin(180.0 - \beta_2) = U \quad \text{ή}$$

$$V_2 \sin \alpha_2 = U - V_{r2} \sin(180.0 - \beta_2) = U - 0.95 V_{r1} \sin \beta_2 = 10.5 - 0.95 \\ \times 44.5 \times \sin(180.0 - 140.0) = -21.88 \text{ m/s}$$

Επομένως, η εξίσωση της ορμής κατά την x διεύθυνσιν γίνεται,

$$F_x = 1000.0 \times 0.0428 \times (-21.88 - 55.0) = -3290.6 \text{ N} = -3.29 \text{ KN}$$

Εκ του τρίτου νόμου της κινήσεως του Newton, η δύναμις ήτις εξασκείται υπό του ύδατος επί του περυγίου θα είναι ίση και αντίθετος προς την F_x δηλαδή 3.29 KN. Η αναπτυσσομένη ισχύς θα είναι,

$$I = F_x U = 3.29 \times 1000.0 \times 10.5 = 34551.9 \text{ W} = 34.55 \text{ KW}$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως-Ασκήσεις

Πρόβλημα 1.5

Υδροστροβίλος δράσεως λειτουργεί υπό καθαρόν ύψος πτώσεως, $H_n = 835.0$ m, και αποτελείται εξ ενός ακροφυσίου ενώ η αναπτυσσόμενη ισχύς του δρομέως I_R ισούται 18.0 MW. Η ειδική ταχύτης n_s του υδροστροβίλου ισούται προς 18.5 και η ολική απόδοσις είναι ίση προς 86.3%. Να θεωρηθή ότι ο συντελεστής ταχύτητας C_v ισούται προς 0.97 και ότι ο λόγος Φ ($= \frac{U}{v_1}$) της ταχύτητας των σκαφιδίων προς την ταχύτητα της προσπιπτούσης δέσμης είναι 0.46. Ζητείται να υπολογισθούν: α) η διάμετρος του δρομέως του υδροστροβίλου και β) η διάμετρος της δέσμης του ύδατος.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

Λύσις

α) Η ειδική ταχύτης n_s δίδεται εκ της εξισώσεως 3.34 και είναι,

$$n_s = \frac{N I_R^{1/2}}{H_n^{5/4}}$$

ένθα $n_s = 18.5$, $I_R = 18000.0 \text{ KW}$, και $H_n = 835.0 \text{ m}$. Επομένως, η περιστροφική ταχύτης N είναι,

$$N = \frac{n_s H_n^{5/4}}{I_R^{1/2}} = \frac{18.5 \times 835.0^{5/4}}{18000.0^{1/2}} = 618.9 \text{ στροφαι ανά λεπτόν}$$

Η θεωρητική ταχύτης της δέσμης είναι,

$$V_1 = (2.0 \text{ g } H_n)^{1/2}$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

και η πραγματική ταχύτης της δέσμης είναι, ιδέ εξίσωσιν 3.22,

$$V_1 = C_v (2.0 \text{ g H}_n)^{1/2} = 0.97 \times (2.0 \times 9.81 \times 835.0)^{1/2} = 124.155 \text{ m/s}$$

Επομένως η ταχύτης των σκαφιδίων του δρομέως θα είναι,

$$\phi = \frac{U}{V_1} \quad \text{άρα,}$$

$$U = \phi V_1 = 0.46 \times 124.155 = 57.11 \text{ m/s}$$

Εκ της εξισώσεως 3.4 είναι,

$$U = \frac{2.0 \pi N r}{60.0} = \frac{\pi N D}{60.0} \quad \text{άρα}$$

$$D = \frac{60.0 U}{\pi N} = \frac{60.0 \times 57.11}{3.14 \times 618.9} = 1.763 \text{ m}$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

β) Εκ της εξίσωσης 3.28 είναι,

$$r_o = \left[\frac{I_R}{n \rho g \pi (2.0 \text{ g})^{1/2} H_n^{3/2} j} \right]^{1/2}$$

ένθα r_o η ακτίς της δέσμης, j ($= 1$) ο αριθμός των ακροφυσίων του δρομέως και n ($= 86.3\%$) η ολική απόδοσις. Επομένως,

$$r_o = \left[\frac{18000000.0}{0.863 \times 1000.0 \times 9.81 \times 3.14 \times (2.0 \times 9.81)^{1/2} \times 835.0^{3/2} \times 1} \right]^{1/2}$$
$$= 0.0795 \text{ m}$$

και ως εκ τούτου η διάμετρος της δέσμης θα είναι $2.0 r_o = 2.0 \times 0.0795$
 $= 0.1592 \text{ m} = 15.92 \text{ cm}$.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

Πρόβλημα 1.8

Μονάς υδροστροβίλου Pelton αποτελείται εκ δύο δρομέων οι οποίοι συνδέονται διά κοινού άξονος προς γεννήτριαν παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το καθαρόν ύψος πτώσεως H_p είναι 350.0 m και αναφέρεται εις την έξοδον της ροής εκ των ακροφυσίων. Η γεννήτρια η οποία πρόκειται να λειτουργήση με τους υδροστροβίλους πρέπει να έχη ισχύν ίσην προς 55000.0 KW. Η απόδοσις λειτουργίας της γεννητρίας είναι ίση προς 0.965, ενώ η απόδοσις λειτουργίας του δρομέως Pelton είναι 0.823. Ο συντελεστής ταχύτητος της δέσμης είναι 0.98, ο συντελεστής ταχύτητος Φ είναι ίσος προς 0.46 και ο λόγος της διαμέτρου του δρομέως προς την διάμετρον της δέσμης του ύδατος είναι 9.0. Ζητείται να υπολογισθούν :

α) η διάμετρος της δέσμης του ύδατος, β) η διάμετρος του δρομέως, και γ) η σύγχρονος ταχύτης περιστροφής.

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

Λύσις

α) Η ισχύς των δρομέων Pelton πρέπει να είναι,

$$\frac{55000.0}{0.965} = 56994.8 \text{ KW}$$

επομένως, η ισχύς εκάστου δρομέως πρέπει να είναι,

$$\frac{56994.8}{2} = 28497.4 \text{ KW}$$

Διά να αναπτυχθή η ανωτέρω ισχύς ο δρομεύς πρέπει να εφοδιασθή με ύδωρ συνολικής ισχύος,

$$\frac{28497.4}{0.823} = 34626.28 \text{ KW}$$

Η ανωτέρω ισχύς είναι αποτέλεσμα της ροής του ύδατος υπό καθαρών ύψος πτώσεως $H_n = 350.0 \text{ m}$. Είναι,

$$I = \rho g Q H_n \quad \text{άρα,}$$

$$Q = \frac{I}{\rho g H_n} = \frac{34626280.0}{1000.0 \times 9.81 \times 350.0} = 10.085 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως-Ασκήσεις

Η ταχύτης της δέσμης του ύδατος ευρίσκεται εκ της εξισώσεως,

$$V_1 = C_v (2.0 \text{ g H}_n)^{1/2} = 0.98 \times (2.0 \times 9.81 \times 350.0)^{1/2} = 81.21 \text{ m/s}$$

Αλλά, $Q = A V_1 = \frac{\pi D_o^2}{4.0} V_1$ άρα,

$$D_o = \left(\frac{4.0 Q}{\pi V_1} \right)^{1/2} = \left(\frac{4.0 \times 10.085}{3.14 \times 81.21} \right)^{1/2} = 0.398 \text{ m}$$

β) Η διάμετρος της δρομέως είναι,

$$D = 9.0 \times D_o = 9.0 \times 0.398 = 3.579 \text{ m}$$

γ) Η σύγχρονος ταχύτης περιστροφής είναι,

$$U = \phi V_1 = 0.46 \times 81.21 = 37.357 \text{ m/s}$$

Εκ της εξισώσεως 3.4 είναι,

$$U = \frac{\pi N D}{60.0} \quad \text{άρα,}$$

$$N = \frac{U 60.0}{\pi D} = \frac{37.357 \times 60.0}{3.14 \times 3.579} = 199.45 \text{ στροφαί ανά λεπτόν}$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις

Η σύγχρονος ταχύτης είναι,

$$N = \frac{60.0 f}{p}$$

ένθα f η συχνότης εις κύκλους ανά δευτερόλεπτον (50.0 Hz) και p ο αριθμός των ζευγών πόλων. Άρα,

$$199.45 = \frac{60.0 \times 50.0}{p} \quad \text{οπότε,}$$

$$p = 15.04$$

Επειδή ο αριθμός πρέπει να είναι κατά προτίμησιν διαιρετός με 4, η πλησιεστέρα τιμή είναι 16. Χρησιμοποιώντας την τιμήν 16 η πλησιεστέρα περιστροφική ταχύτης είναι,

$$\frac{60.0 \times 50.0}{16} = 187.5 \text{ στροφαί ανά λεπτόν}$$

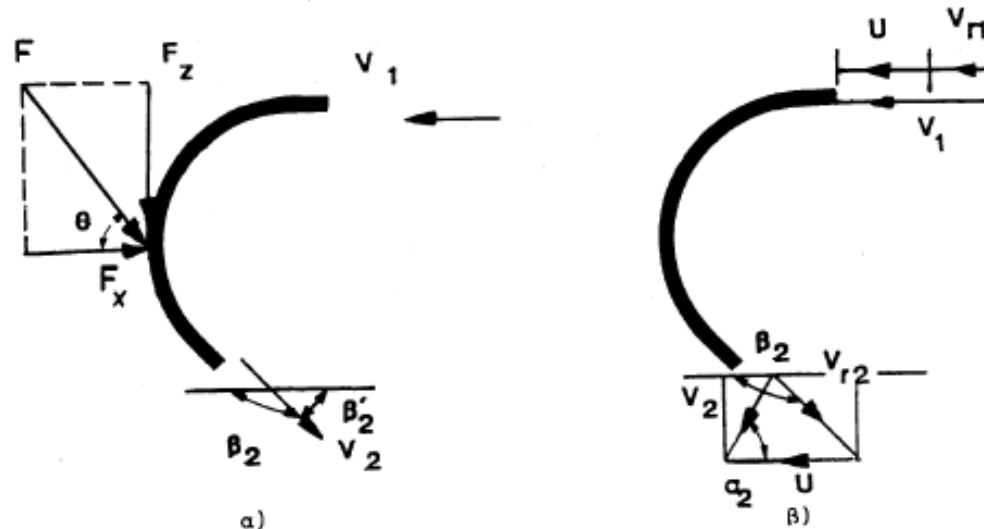
και η νέα διάμετρος του δρομέως πρέπει να είναι,

$$D = \frac{U}{\pi N} = \frac{37.357 \times 60.0}{3.14 \times 187.5} = 3.807 \text{ m}$$

ενώ η νέα διάμετρος της δέσμης του ύδατος είναι,

$$D_o = \frac{D}{9.0} = \frac{3.807}{9.0} = 0.423 \text{ m}$$

3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως-Ασκήσεις



Σχήμα 1 Δέση ύδατος προσκρούουσα επί α) ακινητού και β) κινητού πτερυγίου

Λύσις

α) Δι' εφαρμογής της θεωρίας της διατηρήσεως της ορμής κατά την x διεύθυνσιν, ιδέ εξίσωσιν 2.16, η δύναμις ήτις εξασκείται επί του ύδατος θα είναι,

$$\Sigma F_x = \rho Q (V_2 \text{ συν}\beta_2 - V_1)$$

Η γωνία εκτροπής β_2 θεωρείται ότι είναι μεγαλύτερα των 90.0° . Εις την

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα των υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι ότι

- α) μόνο ένα τμήμα του ολικού φορτίου μετατρέπεται σε κινητικό ύψος πριν την πρόσκρουση του νερού επί του δρομέα
- β) το νερό δεν προσπίπτει επί ενός ή δυο πτερυγίων/σκαφιδίων τη φορά, αλλά προσβάλλει ταυτόχρονα όλα τα διαθέσιμα πτερύγια του δρομέα.

Λόγω των παραπάνω, η στατική πίεση του ύδατος μεταβάλλεται συνεχώς καθώς αυτό ρέει διαμέσου των πτερυγίων του δρομέα.

Οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι υδροστροβίλοι, αφού είναι ικανοί να δέχονται φορτία σε ελάχιστο χρονικό διάστημα με ικανοποιητική απόδοση λειτουργίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα υψών πτώσεως.

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

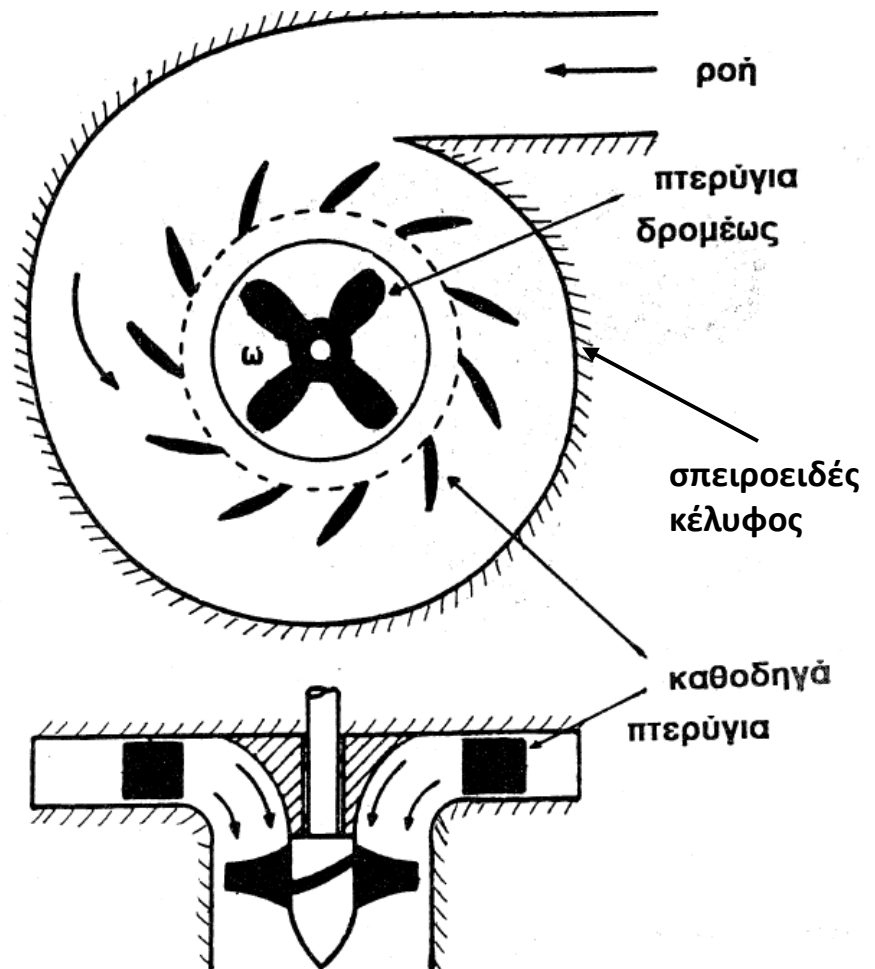
3.2.1 Υδροστροβίλοι αξονικής ροής

3.2.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου αξονικής ροής (Kaplan)

Τα κύρια μέρη ενός υδροστροβίλου αξονικής ροής είναι:

- Το σπειροειδές κέλυφος,
- Η σειρά των οδηγών πτερυγίων,
- Ο δρομέας, και
- Ο αγωγός φυγής

Όλα τα μέρη του υδροστροβίλου, εκτός από τα πτερύγια και τη διεύθυνση αυτών στο δρομέα, και μικρές διαφορές στο δρομέα, είναι κοινά με τα αντίστοιχα μέρη των υδροστροβίλων μικτής (ακτινικής) ροής.



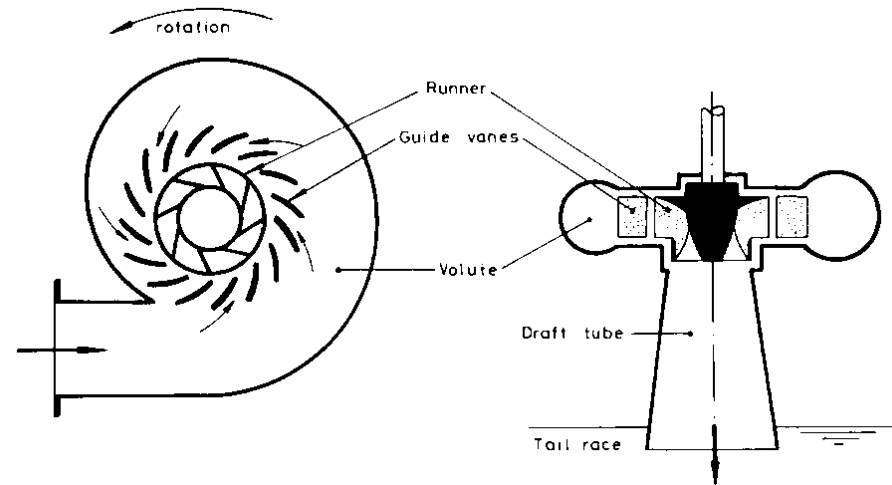
Σχήμα 3.15 Υδροστροβίλος αξονικής ροής

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι αξονικής ροής

3.2.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου αξονικής ροής (Kaplan)

Το σπειροειδές κέλυφος (Volute): Το νερό όταν εξέρχεται από οδηγό προσαγωγής εισέρχεται εντός του σπειροειδούς κελύφους το οποίο περιβάλλει πλήρως το δρομέα. Η διατομή του σπειροειδούς κελύφους μειώνεται κατά μήκος της ροής έτσι ώστε η ταχύτητα του νερού να διατηρεί, το κατά δύναμιν, σταθερή ταχύτητα. Το εμβαδό της διατομής στην είσοδο είναι το μέγιστο και στην έξοδο το ελάχιστο δυνατό.



Αγωγός φυγής (draft tube): Εξερχόμενο από το κέντρο του δρομέα, το νερό αποχωρεί από τον υδροστροβίλο κατά την αξονική κατεύθυνση μέσω του αγωγού φυγής (Σχ. 3.24). Στο Σχήμα παρουσιάζονται 2 τύποι αγωγών φυγής οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην πράξη.

α) Αγωγός φυγής τύπου κόλουρου κώνου (straight)

β) Αγωγός φυγής τύπου αγκώνα (elbow) ο οποίος στην αρχή έχει κυκλική διατομή και στη συνέχεια καταλήγει σε ορθογωνική διατομή.

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι αξονικής ροής

3.2.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου αξονικής ροής (Kaplan)

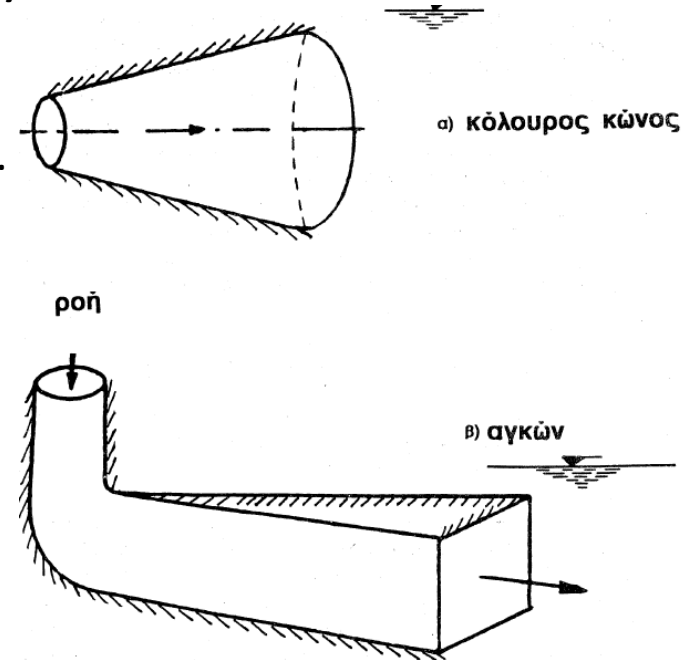
Το κατώτερο τμήμα του αγωγού φυγής, σε οποιαδήποτε λειτουργία του υδροστροβίλου, πρέπει να βρίσκεται κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού στη διώρυγα φυγής. Με αυτό τον τρόπο, δηλαδή με πλήρη κάλυψη με νερό, διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του υδροστροβίλου (αεροστεγής λειτουργία).

Ο αγωγός φυγής αποσκοπεί κυρίως στις εξής 2 λειτουργίες:

α) ενεργοποιεί τη λειτουργία αρνητικού φορτίου στην έξοδο του νερού από το δρομέα, επιτρέποντας έτσι την εγκατάσταση του υδροστροβίλου σε υψόμετρο μεγαλύτερο της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στη διώρυγα φυγής

β) Μετά την έξοδο από το δρομέα, μετατρέπει την κινητική ενέργεια που υπάρχει στο νερό σε χρήσιμη ενέργεια πίεσεως. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω αύξησης της διατομής του αγωγού φυγής και κατά συνέπεια μείωσης της ταχύτητας (εξίσωση συνέχειας της μάζας) και ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης (εξίσωση Bernoulli).

Κατά συνέπεια **αυξάνεται το διαθέσιμο ενεργό ύψος πτώσης και επομένως το καθαρό ύψος πτώσης** της υδροδυναμικής θέσης.



Σχήμα 3.24 Τυπικά γεωμετρία αγωγού φυγής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής

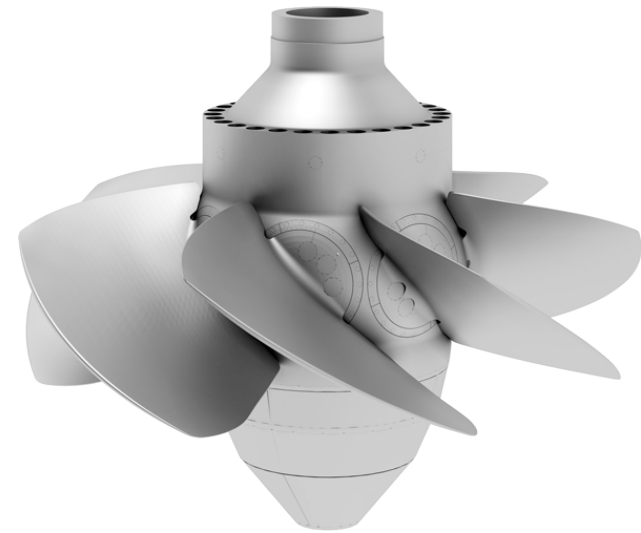
3.2.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου αξονικής ροής (Karlan)

Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ του δρομέα Karlan και του δρομέα Francis, εστιάζονται στα εξής:

- Ο δρομέας του υδροστροβίλου αντιδράσεως αξονικής ροής αποτελείται από 4 μέχρι 10 καμπυλωμένα πτερύγια τα οποία τοποθετούνται συμμετρικά επί της περιφέρειας της ατράκτου Σχ. 3.16, ενώ ο δρομέας Francis μπορεί να έχει από 16 έως 24 πτερύγια.

- Στο δρομέα Karlan τα πτερύγια μπορούν να μεταβάλλουν τη σχετική γωνία ως προς την κύρια ροή προκειμένου να ελέγχουν τη διατομή του χώρου ροής, ενώ τα πτερύγια του δρομέα Francis παραμένουν ακίνητα.

- Για δρομέα συγκεκριμένης διαμέτρου, η μέγιστη παροχή που μπορεί να περάσει είναι εκείνη της οποίας η ροή βαίνει παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής.



Σχήμα 3.16 Δρομέας υδροστροβίλου αντιδράσεως αξονικής ροής (Karlan)

Τα πτερύγια του δρομέα είναι δυνατόν να είναι ακίνητα εάν το ύψος πτώσης και η διαθέσιμη παροχή είναι σταθερή, οπότε ο υδροστροβίλος είναι **τύπου έλικα**. Στην περίπτωση που η παροχή και το ύψος μεταβάλλονται, τότε τα πτερύγια κινούνται προκειμένου να ληφθεί η μέγιστη υδραυλική απόδοση, οπότε έχουμε υδροστροβίλο τύπου Karlan.

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

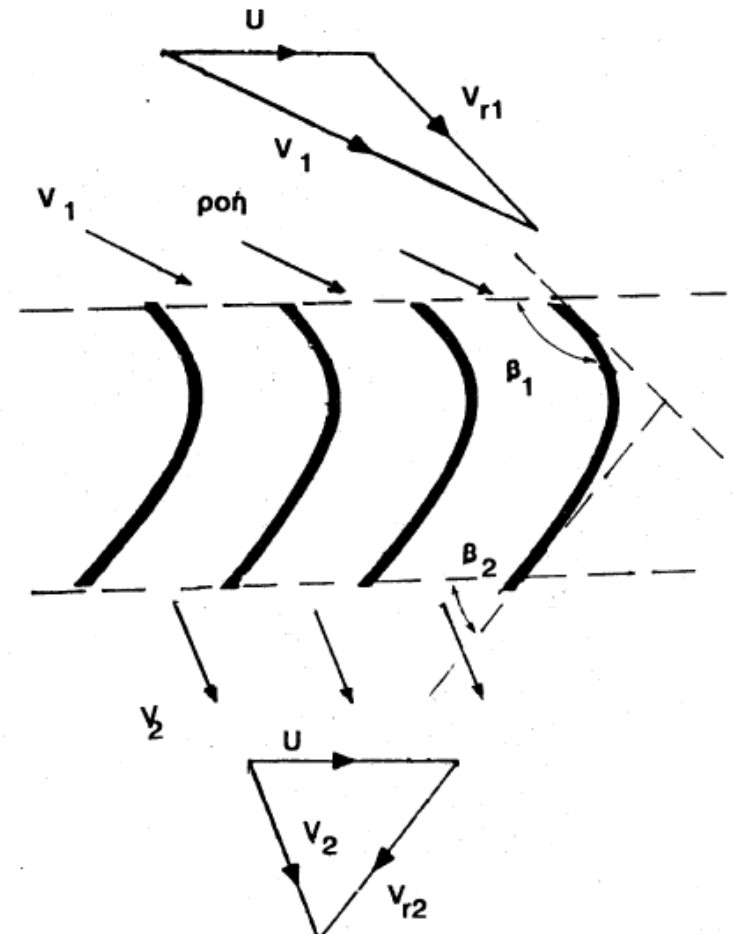
3.2.1 Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής

3.2.1.2 Τρίγωνα ταχυτήτων

Στο Σχήμα 3.18 παρουσιάζονται τα τρίγωνα των ταχυτήτων του νερού στην είσοδο και στην έξοδο ενός πτερυγίου δρομέα αξονικής ροής. Το νερό πέφτει στο πτερύγιο με απόλυτη ταχύτητα V_1 και εξέρχεται με απόλυτη ταχύτητα V_2 . Κατά τη στιγμή της εισόδου του νερού στο πτερύγιο κατέχει ήδη μια γραμμική ταχύτητα U_1 , και επομένως η σύνθεση του τριγώνου ταχυτήτων στην είσοδο δίνει τη σχετική ταχύτητα V_{r1} του νερού ως προς το πτερύγιο.

Ανάλογη είναι και η ανάπτυξη του τριγώνου ταχύτητας στην έξοδο με τη γραμμική ταχύτητα U_2 , και V_{r2} τη σχετική ταχύτητα.

Συνήθως, για μια αντιπροσωπευτική τομή, θεωρείται $U_1 = U_2 = U$, παρόλα αυτά είναι προφανές ότι η γεωμετρία της διατομής μεταβάλλεται για άλλα ύψη πτερυγίων.



Σχήμα 3.18 Τρίγωνα ταχυτήτων υδροστροβίλου αξονικής ροής.

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής

3.2.1.2 Τρίγωνα ταχυτήτων

Κατά το σχεδιασμό του υδροστροβίλου πρέπει πάντοτε η σχετική ταχύτητα εισόδου να είναι εφαπτομενική του πτερυγίου στο εμπρόσθιο άκρο αυτού.

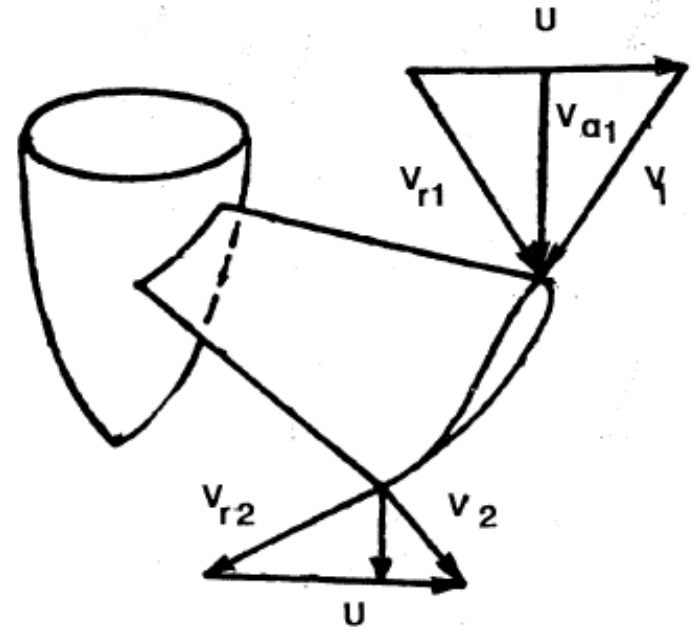
Σε μια απλοποιημένη σχετικά διατομή, Σχήμα 3.19, ισχύουν τα εξής:

Για την είσοδο:

$$\bar{V}_1 = \bar{U} + \bar{V}_{r1}$$

Και για την έξοδο:

$$\bar{V}_2 = \bar{U} + \bar{V}_{r2}$$



Σχήμα 3.19 Τα τρίγωνα ταχυτήτων εισόδου και εξόδου εις την κορυφήν του πτερυγίου υδροστροβίλου αξονικής ροής. Εις πάσαν θέσιν επί του πτερυγίου δημιουργούνται τρίγωνα ταχυτήτων τα οποία διαφέρουν μεταξύ των λόγω διαφορετικής γωνίας προσπτώσεως τής ροής επ' αυτών και λόγω διαφορετικής ταχύτητος V_1 (3D ροή)

(3.56)

(3.57)

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι αξονικής ροής

3.2.1.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Από την Εξίσωση 2.19 (το διανυσματικό άθροισμα όλων των εξωτερικών δυνάμεων (ροπών) που δρουν επί συστήματος το οποίο βρίσκεται περίξ τυχαίου άξονα A-A' είναι ίσο με τη μεταβολή της ροπής της ορμής του συστήματος περίξ του άξονα αυτού) και Εξίσωση 2.24 (Εξίσωση ενέργειας ανά μονάδα μάζας ρέοντος ρευστού, Εξίσωση Euler, για στροβίλους) είναι:

$$T = \rho Q (V_{t1} r_1 - V_{t2} r_2) \quad (3.58)$$

Επειδή όμως $r_1 = r_2 = r$, τότε η ισχύ του δρομέα δίνεται ως:

$$I_R = T \omega = \rho Q (V_{t1} r - V_{t2} r) \omega = \rho Q U (V_{t1} - V_{t2}) \quad (3.59)$$

Θέτοντας ως H_R το εσωτερικό ύψος του δρομέα τότε:

$$I_R = \rho g Q H_R \quad (3.60)$$

Από τις εξισώσεις 3.59 και 3.60 έχουμε:

$$H_R = \frac{U (V_{t1} - V_{t2})}{g} \quad (3.61)$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής

3.2.1.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Για μηδενική εφαπτομενική ταχύτητα εξόδου, δηλαδή $V_{t2} = 0.0 \text{ m/s}$, τότε έχουμε.

$$H_R = \frac{U V_{t1}}{g} \quad (3.62)$$

Παράδειγμα : Εις υδροστρόβιλος αξονικής ροής έχει ένδρομείαν διαμέτρου 5.0 m. Τα πτερύγια του δρομέως εδράζονται επί ατράκτου διαμέτρου 2.0 m. Η γωνία β_1 , η σχηματιζομένη μεταξύ του πτερυγίου και της εφαπτομενικής κατευθύνσεως εις την είσοδον, είναι $\varphi^{-1} \frac{2}{5}$ και η γωνία β_2 εις την έξοδον είναι $\varphi^{-1} \frac{1}{3}$. Ο υδροστρόβιλος πρόκειται να εργασθή υπό διαφοράν φορτίου ίσην με 15.0 m και με απόδοσιν λειτουργίας ίσην με 92.0 %. Να υπολογισθή η αποδιδόμενη υπό του υδροστροβίλου ισχύς όταν είναι γνωστόν ότι η εφαπτομενική ταχύτης εις την έξοδον είναι μηδενική.

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

Λύσις : Τα τρίγωνα λειτουργίας δεικνύονται εις το Σχήμα 3.20. Η γραμμική ταχύτης είναι U και εις την είσοδον αλλά και εις την έξοδον της ροής διά του πτερυγίου. Η αξονική ταχύτης V_a θα είναι η ίδια εις είσοδον και έξοδον δεδομένου ότι η ροή παροχετεύεται μέσω διατομής σταθερού εμβαδού. Εκ του τριγώνου της εξόδου θα είναι,



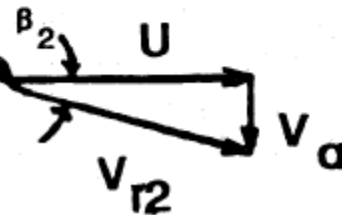
$$V_a = U \epsilon\phi \left(\epsilon\phi^{-1} \frac{1}{3} \right) = \frac{U}{3}$$

εκ δε του τριγώνου της εισόδου θα είναι,

$$V_a = \epsilon\phi \left(\epsilon\phi^{-1} \frac{2}{5} \right) (U - V_{t1}) = \frac{2}{5} (U - V_{t1})$$

Εκ των ανωτέρω δύο εξισώσεων είναι,

$$V_a = \frac{2}{5} (3 V_a - V_{t1}) \quad \text{ή} \quad V_{t1} = \frac{V_a}{2}$$



Σχήμα 3.20 Τρίγωνα λειτουργίας διά τον αξονικής ροής υδροστρόβιλον
διαμέτρου 5.0 m.

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

Εκ της εξισώσεως 3.61 είναι,

$$H_R = \frac{U (V_{t1} - V_{t2})}{g} \quad \text{αλλά } V_{t2} = 0.0 \text{ m/s εκ της εκφωνήσεως του}$$

προβλήματος ενώ το φορτίον H_R είναι το καθαρόν φορτίον το αναπτυσσόμενον υπό του δρομέως. Τούτον υπολείπεται του α φορτίου υπό του οποίου εργάζεται ο υδροστρόβιλος κατά το ποσοστόν των απωλειών φορτίου. Είναι δηλαδή,

$$H_R = 0.92 \times 15.0 = 13.8 \text{ m}$$

Επομένως, θα είναι,

$$13.8 = \frac{3.0 \times V_a \times \frac{V_a}{2}}{9.81} \quad \text{άρα θα είναι,}$$

$$V_a = 9.5 \text{ m/s}$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

Η διερχομένη διά του στροβίλου παροχή θα είναι,

$$Q = V_a \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4.0} \text{ \acute{e}\nu\theta\alpha D \ \acute{\epsilon}\iota\nu\alpha\iota \ \eta \ \delta\iota\acute{\alpha}\mu\epsilon\tau\rho\sigma \ \tau\omicron\upsilon \ \delta\rho\omicron\mu\acute{\epsilon}\omega\varsigma \ \k\alpha\iota \ d \ \eta}$$

διάμετρος της ατράκτου (βάσεως εδράσεως). Άρα είναι,

$$Q = 9.5 \times \frac{3.14 \times (5.0^2 - 2.0^2)}{4.0} = 156.607 \ \text{m}^3/\text{s}. \text{ \text{E}\pi\omicron\mu\acute{\epsilon}\nu\omega\varsigma, \ \eta \ \iota\sigma\chi\acute{\upsilon}\varsigma \ \eta}$$

αναπτυσσομένη υπό του υδροστροβίλου θα είναι,

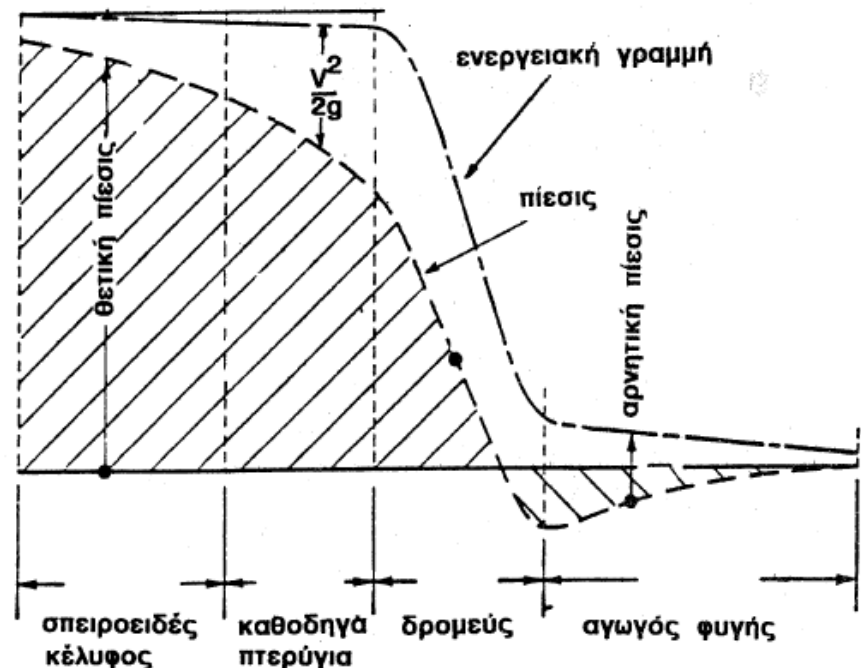
$$I = \eta \rho g Q H_n = 0.92 \times 1000.0 \times 9.81 \times 156.607 \times 15.0 = 21201.1 \ \text{kW}$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

- Η ταχύτητα του νερού είναι μεγαλύτερη στην είσοδο του δρομέα από ότι στον αγωγό προσαγωγής και ως εκ τούτου, αντίστοιχα, το στατικό φορτίο είναι μικρότερο στον αγωγό προσαγωγής.
- Κατά το ρου του νερού η στατική πίεση γίνεται όλο και μικρότερη, με αποτέλεσμα η πίεση του νερού όταν αυτό εξέρχεται από το δρομέα να είναι αρκετά μικρή και με σχεδόν μηδενική εφαιπτομενική ταχύτητα.

Το Σχήμα 3.21 δείχνει τη γραμμή ενέργειας, την πιεζομετρική γραμμή και το κινητικό ύψος, όπου παρουσιάζονται περιοχές θετικής και αρνητικής πίεσης.



Σχήμα 3.21 Γραμμή ενεργείας και γραμμή πίεσεως της ροής εντός υδροστρόβιλου αντιδράσεως

3.2 Υδροσρόβιλοι αντιδράσεως

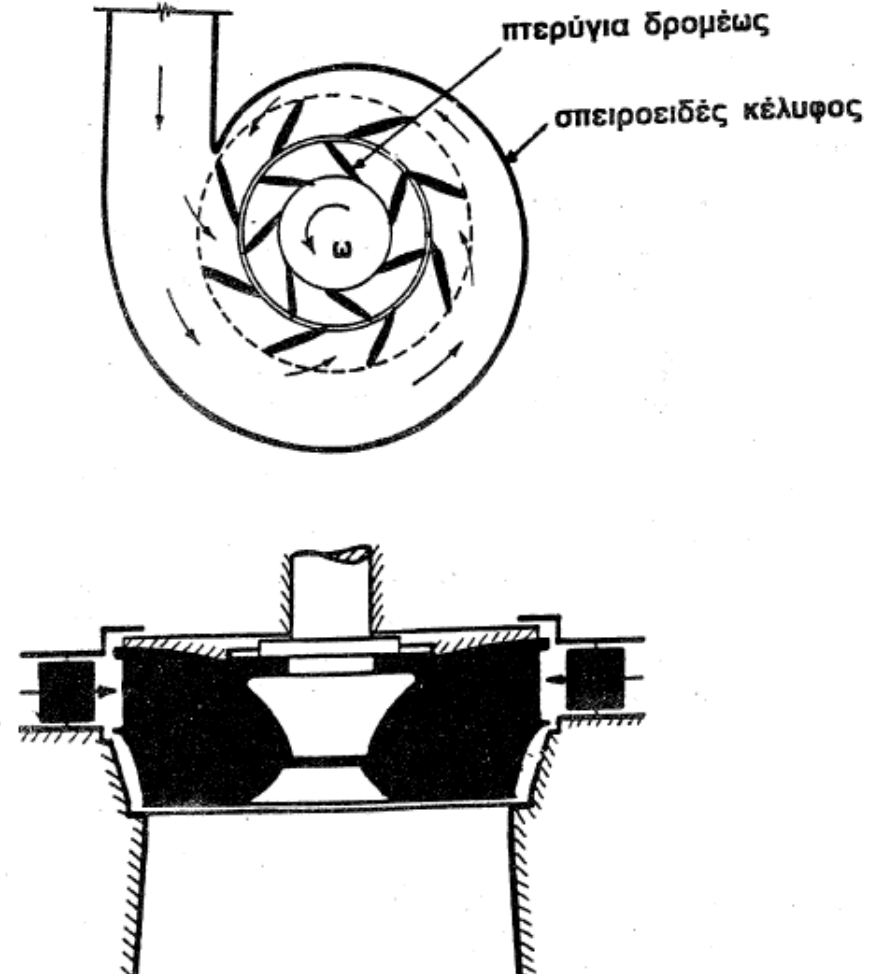
3.2.1 Υδροσρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Francis

Οι υδροσρόβιλοι μικτής ροής ή υδροσρόβιλοι Francis έχουν απόδοση λειτουργίας η οποία μπορεί να φτάσει στο 90.0%, το ύψος πτώσης κυμαίνεται μεταξύ 15.0 και 300.0m ενώ η ειδική ταχύτητα βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 60 και 300.

Η πλειοψηφία των υδροστροβίλων Francis έχουν την άτρακτο σε κατακόρυφη θέση. Σε περιπτώσεις μικρής ισχύος, είναι δυνατό η άτρακτος να βρίσκεται σε οριζόντια θέση.

Το όνομά του το φέρουν από τον μηχανικό που τα κατασκεύασε τον J.B. Francis το 1849.



Σχήμα 3.22 Υδροσρόβιλος μικτής ροής (Francis)

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Francis

Τα κύρια μέρη του υδροστροβίλου αντιδράσεως τύπου Francis είναι:

- Το σπειροειδές κέλυφος
- Τα οδηγά πτερύγια
- Ο δρομέας
- Ο αγωγός φυγής

Τα οδηγά πτερύγια (guide runners): Μέσω του σπειροειδούς κελύφους το νερό υποχρεούται να περάσει μέσα ακίνητα οδηγά πτερύγια τα οποία είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Τα οδηγά πτερύγια έχουν σκοπό να κατευθύνουν το νερό προς το δρομέα με συγκεκριμένη γωνία προσβολής, ώστε το νερό να πέφτει στα πτερύγια του δρομέα με τον ελάχιστο σχηματισμό δινών και τις ελάχιστες απώλειες λόγω τριβής.



3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Francis

Δρομέας (runner): Ο δρομέας του υδροστροβίλου Francis αποτελείται από μια σειρά καμπυλωμένων πτερυγίων τα οποία είναι συμμετρικά κατανομημένα και προσαρμοσμένα επί της περιφέρειας. \

Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να εισέρχεται στο δρομέα ακτινικά στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και να εξέρχεται κατά την αξονική διεύθυνση στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας.

Η λειτουργία του δρομέα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η απόλυτη ταχύτητα του νερού που διαφεύγει από το δρομέα να έχει σχεδόν μηδενική εφαπτομενική ταχύτητα.



3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

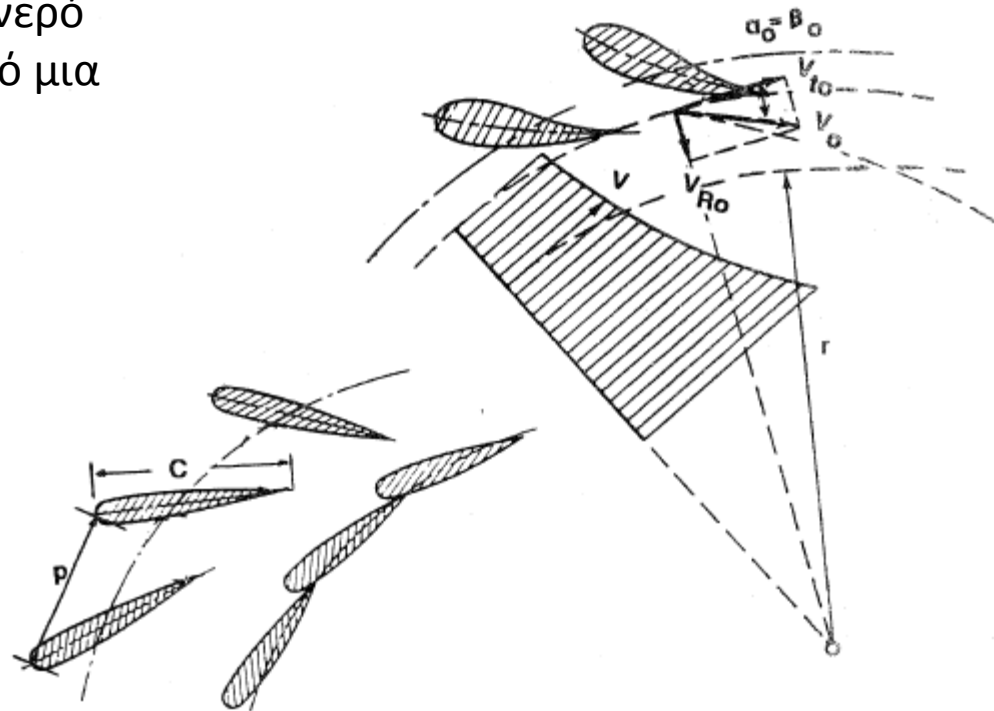
3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Σε όλες τις στροβιλομηχανές μικτής ροής το νερό προσέρχεται προς το δρομέα εξερχόμενο από μια σειρά καθοδηγών πτερυγίων.

Τα πτερύγια θεωρούνται συμμετρικά όταν η κεντρική γραμμή της διατομής είναι ευθεία γραμμή, και μη-συμμετρικά όταν η γραμμή είναι καμπύλη.

Στο σχήμα καθορίζεται η απόσταση p μεταξύ διαδοχικών πτερυγίων και το μήκος της χορδής C . Ο λόγος C/p εκφράζει την πυκνότητα των πτερυγίων σε μια σειρά. Ο λόγος αυτός είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας και συνήθως παίρνει την τιμή 1.1.



έλεγχος παροχής μέσω καθοδηγών πτερυγίων

α) συμμετρική σειρά

β) μη-συμμετρική σειρά

Σχήμα 3.25 Ροή κατάντη των οδηγών πτερυγίων

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

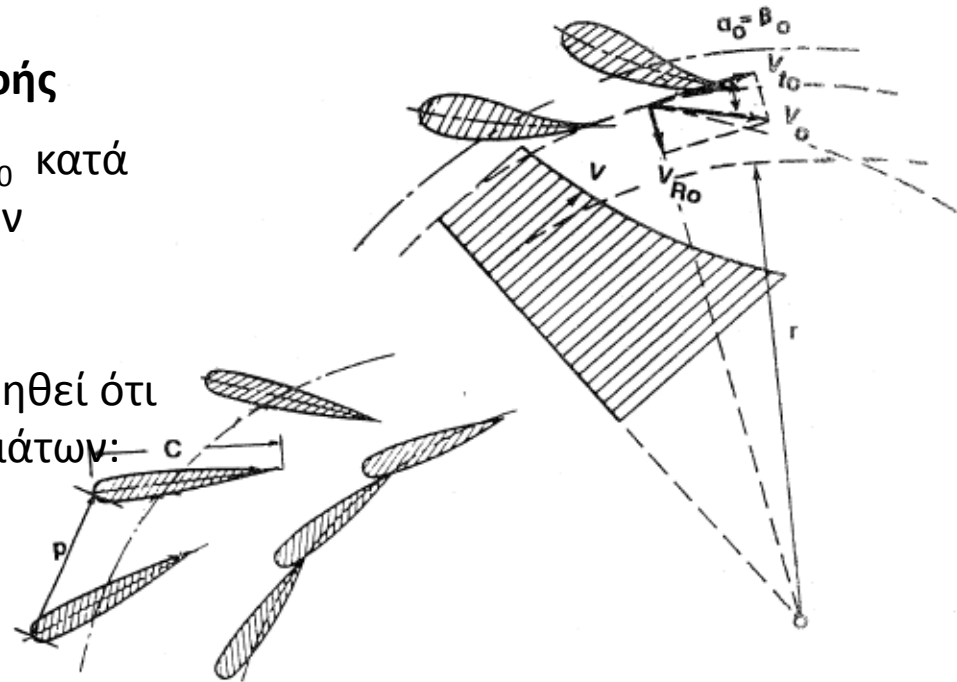
Σε πυκνή σειρά πτερυγίων, η γωνία της ροής β_0 κατά την έξοδο του νερού συμπίπτει με τη γωνία των πτερυγίων α_0 .

Το διάνυσμα της ταχύτητας \bar{V}_0 μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το άθροισμα των δυο επιμέρους διανυσμάτων:

- α) της ακτινικής συνιστώσας \bar{V}_{R0}
- β) της εφαπτομενικής συνιστώσας \bar{V}_{t0}

Δηλαδή:

$$\bar{V}_0 = \bar{V}_{R0} + \bar{V}_{t0}$$



έλεγχος παροχής μέσω καθοδηγών πτερυγίων

α) συμμετρική σειρά

β) μή-συμμετρική σειρά

(3.63)

Σχήμα 3.25 Ροή κατάντη των οδηγών πτερυγίων

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Εάν είναι γνωστές οι διαστάσεις της σειράς των οδηγών πτερυγίων καθώς και η παροχή Q που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο, τότε:

$$V_{Ro} = \frac{Q}{2.0 \pi r_o h_o} \quad (3.64)$$

όπου h_o το ύψος των οδηγών πτερυγίων

Από το Σχήμα 3.25 έχουμε ότι:

$$V_o = \frac{V_{Ro}}{\eta \mu \alpha_o} \quad (3.65)$$

$$V_{to} = V_o \sigma \nu \alpha_o \quad (3.66)$$

Η παρουσία εφαπτομενικής συνιστώσας της ταχύτητας δείχνει ότι υπάρχει περιστροφή της ροής γύρω από τον άξονα O . Αποδεικνύεται ότι για το χώρο που βρίσκεται κατάντη των οδηγών πτερυγίων και ανάντη του δρομέα, και θεωρώντας την απουσία διατμητικών δυνάμεων ότι (ελευθέρα στρέβλωση) :

$$V_t r = \text{σταθερόν} \quad (3.67)$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Η κίνηση του νερού στο δρομέα θεωρείται ότι συντίθεται από 2 επιμέρους κινήσεις: την απόλυτο και τη σχετική.

Η σχετική κίνηση εννοείται με αναφορά το κινούμενο σύστημα δηλαδή το δρομέα, ενώ η απόλυτη κίνηση είναι με αναφορά ακίνητο σύστημα (παρατηρητή).

Εάν το διάνυσμα της γραμμικής ταχύτητας του δρομέα ορισθεί ως \bar{U} , το διάνυσμα των σχετικών ταχυτήτων με \bar{V}_r , και το διάνυσμα των απόλυτων ταχυτήτων με \bar{V} τότε:

$$\bar{V} = \bar{U} + \bar{V}_r \quad (3.68)$$

Τα μέτρα των παραπάνω διανυσμάτων είναι V , U και V_r αντίστοιχα. Εάν θέσουμε δείκτη 1 στην είσοδο και δείκτη 2 στην έξοδο του νερού από τα πτερύγια του δρομέα τότε η προηγούμενη εξίσωση γράφεται:

$$\bar{V}_1 = \bar{U}_1 + \bar{V}_{r1} \quad (3.69)$$

$$\bar{V}_2 = \bar{U}_2 + \bar{V}_{r2} \quad (3.70)$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

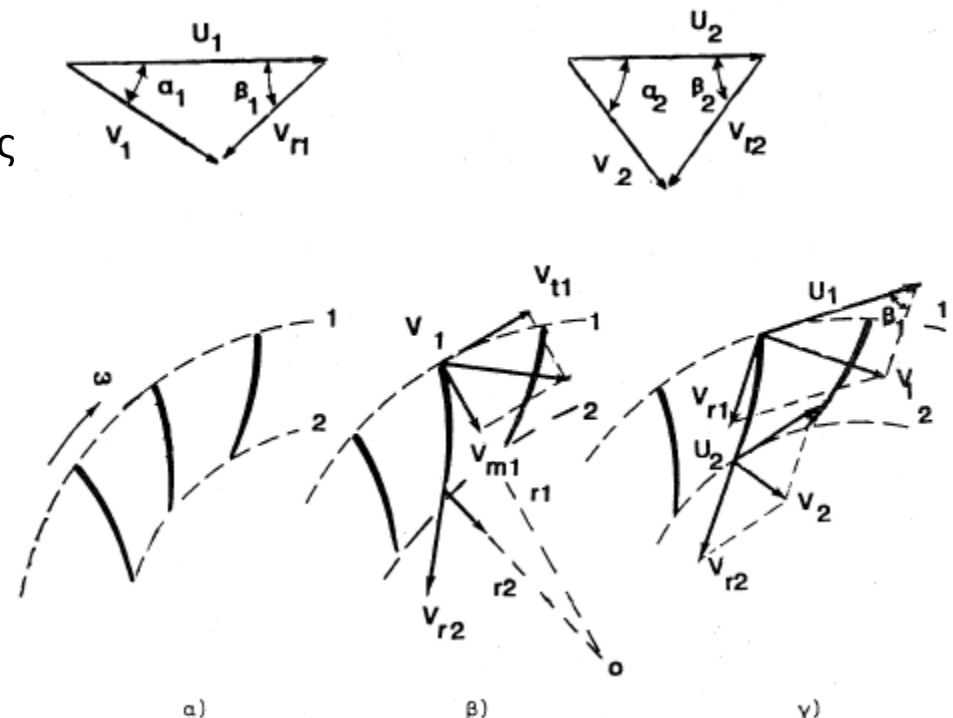
3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Οι προηγούμενες διανυσματικές εξισώσεις ισχύουν για οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται επί των πτερυγίων μεταξύ της εισόδου και εξόδου.

Αν τα πτερύγια κινούνται με γωνιακή ταχύτητα ω , τότε η αντίστοιχη γραμμική ταχύτητα στην είσοδο και την έξοδο της ροής επί των πτερυγίων θα είναι

$U_1 = \omega r_1$ και $U_2 = \omega r_2$ αντίστοιχα, με r_1 και r_2 οι αντίστοιχες ακτίνες.

Έστω ότι οι απόλυτες ταχύτητες του νερού κατά την είσοδο και έξοδο είναι V_1 και V_2 αντίστοιχα, και V_{r1} και V_{r2} οι αντίστοιχες σχετικές ταχύτητες.



Σχήμα 3.26 Τρίγωνα ταχυτήτων δρομέως μικτής ροής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

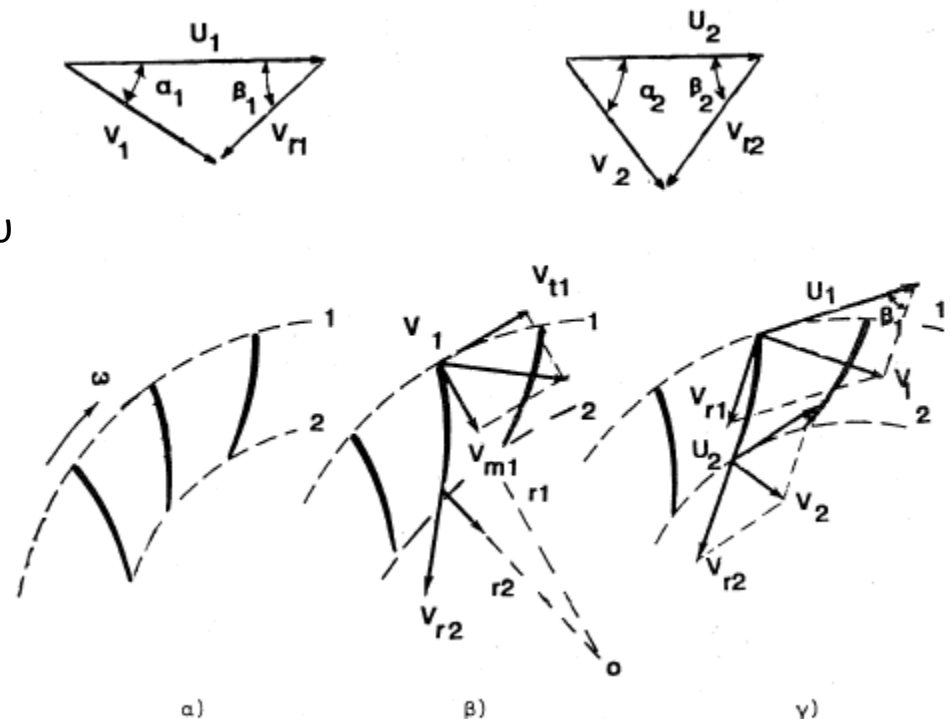
3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Τα πτερύγια έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι V_{r1} και V_{r2} να είναι εφαπτομενικές του εμπρόσθιου και οπίσθιου άκρου αντίστοιχα του εκάστοτε πτερυγίου. Επίσης, β_1 και β_2 είναι οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ της γραμμικής και σχετικής ταχύτητας, ενώ α_1 και α_2 οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ της γραμμικής και απόλυτης ταχύτητας στην είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα.

Οι συνθήκες λειτουργίας του υδροστροβίλου προκαθορίζονται από την παροχή Q και της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα.

Όταν οι διαστάσεις του δρομέα έχουν πλέον καθοριστεί είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι συνιστώσες του παραλληλόγραμμου (τριγώνου) των ταχυτήτων.



Σχήμα 3.26 Τρίγωνα ταχυτήτων δρομέως μικτής ροής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Πρώτα καθορίζεται η απόλυτη ταχύτητα εισόδου V_1 για την οποία ισχύει

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_{m1} + \bar{V}_{t1} \quad (3.71)$$

όπου \bar{V}_{m1} το διάνυσμα της ταχύτητας επί του μεσημβρινού επιπέδου.

$$V_{m1} = \frac{Q}{2.0 \pi r_1 h_1} \quad (3.72)$$

και

$$V_{t1} = \frac{V_{to} r_{o2}}{r_1} \quad (3.73)$$

όπου r_{o2} η ακτίνα στην έξοδο του οδηγού σειράς των πτερυγιών. Το τρίγωνο των ταχυτήτων είναι δυνατόν να σχηματιστεί γιατί πλέον είναι γνωστές α) η απόλυτη ταχύτητα \bar{V}_1 , β) η γραμμική ταχύτητα U_1 (Σχήμα 3.26β)

Κατά την έξοδο του νερού από τα πτερύγια του δρομέα ισχύει ανάλογη σχέση με την Εξ. 3.72

$$V_{m2} = \frac{Q}{2.0 \pi r_2 h_2} \quad (3.74)$$

και

$$V_{r2} = \frac{V_{m2}}{\eta \mu \beta_2} \quad (3.75)$$

Το τρίγωνο των ταχυτήτων κατά την έξοδο (Σχήμα 3.26γ) επιτρέπει τον υπολογισμό της απόλυτης ταχύτητας V_2 αφού πλέον είναι γνωστές οι σχετική και γραμμική ταχύτητες.

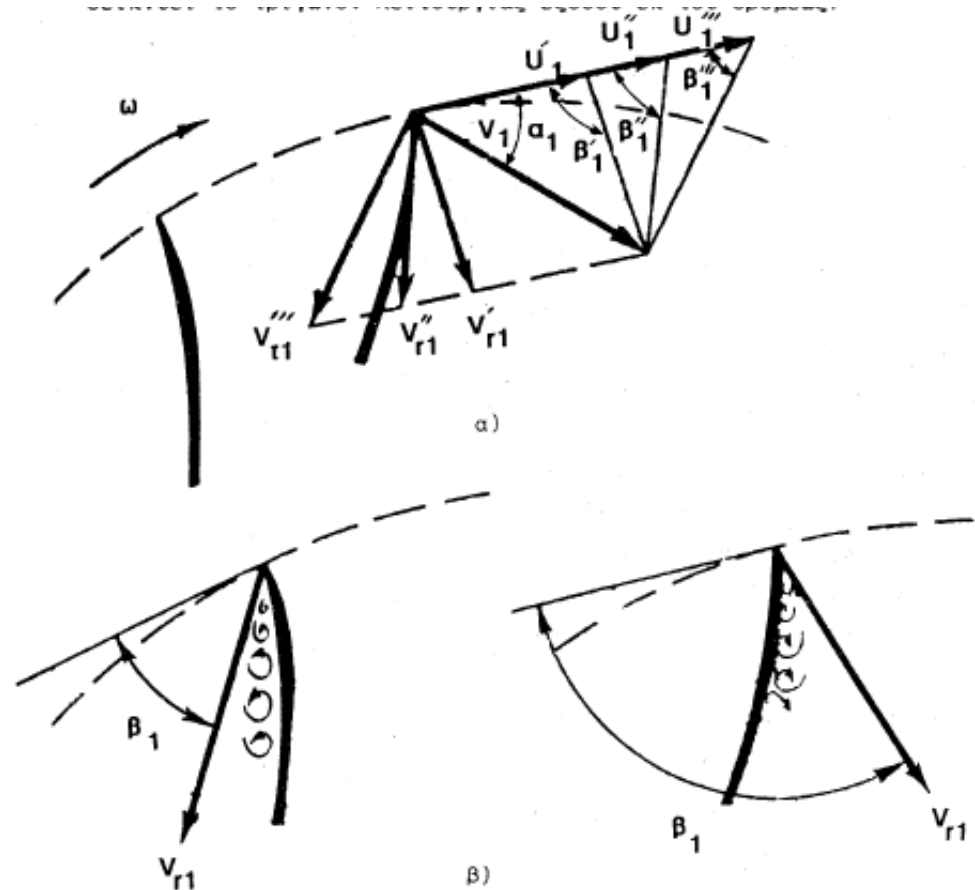
3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Στο Σχήμα 3.27α παρουσιάζονται τα τρίγωνα λειτουργίας εισόδου δρομέα υδροστροβίλου μικτής ροής για διαφορετικές τιμές της γωνίας β_1 .

Το Σχήμα 3.27β δείχνει το σχηματισμό έντονων δινών επί των πλευρών κατάθλιψης και αναρρόφησης των πτερυγίων.



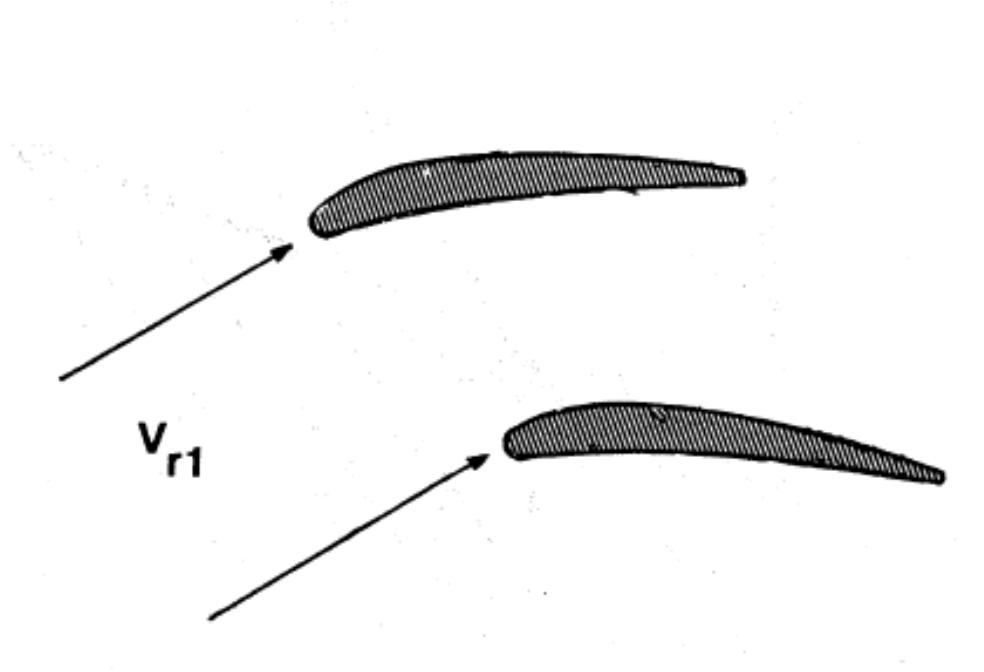
Σχήμα 3.27 Ροή περίε εμπροσθίου άκρου πτερυγίου δρομέως υδροστροβίλου μικτής ροής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

Επίσης η ταχύτητα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο εφαπτομενική επί του εμπρόσθιου άκρου του πτερυγίου, Σχήμα 3.28.



Σχήμα 3.28 Η V_{r1} πρέπει να είναι εφαπτομενική επί του εμπροσθίου άκρου του πτερυγίου του δρομέως

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.2 Βασικές εξισώσεις βαθμίδας μικτής ροής

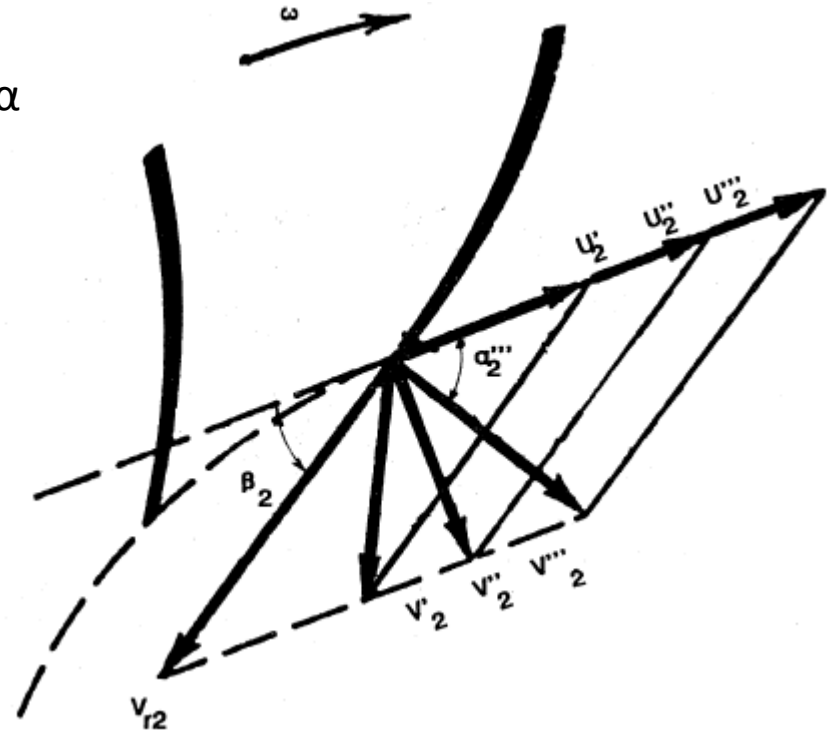
Στο Σχήμα 3.29 δείχνονται τα τρίγωνα ταχυτήτων κατά την έξοδο από το δρομέα.

Η σχετική ταχύτητα βαίνει παράλληλα προς τη γωνία β_2 , αλλά λόγω μεταβολής της γραμμικής ταχύτητας U_2 μεταβάλλεται και η απόλυτη ταχύτητα V_2 .

Εάν η γωνία α_2 είναι μικρότερη των 90.0° τότε η περιστροφή της ροής στην έξοδο ακολουθεί τη διεύθυνση περιστροφής των πτερυγίων.

Εάν η γωνία α_2 είναι μεγαλύτερη των 90.0° τότε η περιστροφή της ροής στην έξοδο ακολουθεί αντίθετη διεύθυνση σε σχέση με τη διεύθυνση περιστροφής των πτερυγίων.

Εάν η γωνία α_2 είναι 90.0° τότε δεν υπάρχει περιστροφή της ταχύτητας στην έξοδο. Αυτή η συνθήκη είναι η πλέον ευνοϊκή για τη λειτουργία του στροβίλου γιατί οι απώλειες είναι ελάχιστες, αφού $V_2 = 0.0 \text{ m/sec}$ και οι απώλειες είναι ανάλογες του τετραγώνου της απόλυτης ταχύτητας.



Σχήμα 3.29 Ροή εις το οπίσθιον άκρον πτερυγίου δρομέως

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

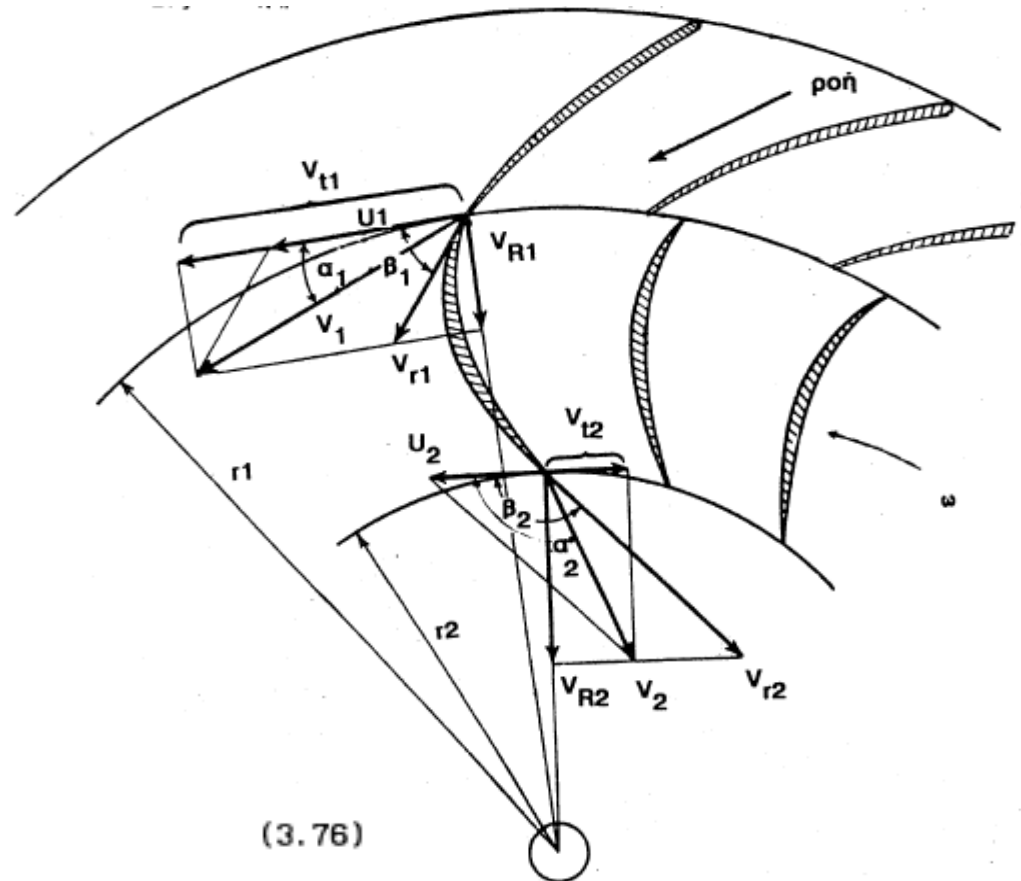
3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Στο Σχήμα 3.30 δείχνονται τα τρίγωνα ταχυτήτων εισόδου-εξόδου υδροστροβίλου αξονικής ροής.

Από την Εξίσωση 2.19 (το διανυσματικό άθροισμα όλων των εξωτερικών δυνάμεων (ροπών) που δρουν επί συστήματος το οποίο βρίσκεται πέριξ τυχαίου άξονα A-A' είναι ίσο με τη μεταβολή της ροπής της ορμής του συστήματος πέριξ του άξονα αυτού) και Εξίσωση 2.24 (Εξίσωση ενέργειας ανά μονάδα μάζας ρέοντος ρευστού, Εξίσωση Euler, για στροβίλους) η ροπή που αναπτύσσεται στο δρομέα είναι:

$$T = \rho Q (V_{t1}r_1 - V_{t2}r_2)$$



Σχήμα 3.30 Διάγραμμα τριγώνων λειτουργίας υδροστροβίλου αντιδράσεως ακτινικής ροής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Ο υπολογισμός των V_{t1} και V_{t2} γίνεται ως εξής: από το τρίγωνο εισόδου η εφαπτομενική συνιστώσα V_{t1} της απόλυτης ταχύτητας εισόδου είναι V_1 είναι:

$$V_{t1} = \omega r_1 + V_{R1} \sigma\phi\beta_1 \quad (3.77)$$

Η εφαπτομενική συνιστώσα V_{t2} της απόλυτης ταχύτητας εξόδου είναι V_2 , από το τρίγωνο εξόδου είναι:

$$V_{t2} = \omega r_2 + V_{R2} \sigma\phi\beta_2 \quad (3.78)$$

Κατά συνέπεια η αναπτυσσόμενη ισχύς I_R επί του δρομέα είναι:

$$I_R = T \omega = \rho Q [(\omega r_1 + V_{R1} \sigma\phi\beta_1) r_1 - (\omega r_2 + V_{R2} \sigma\phi\beta_2) r_2] \omega \quad (3.79)$$

Οι ταχύτητες V_{R1} και V_{R2} στην περίπτωση υδροστροβίλων ακτινικής ροής, ταυτίζονται με τις ταχύτητες V_{m1} και V_{m2} (Εξισώσεις 3.72 και 3.74).

Μια άλλη έκφραση της εξίσωσης 3.79 είναι:

$$I_R = \rho Q (V_1 \sigma\upsilon\alpha_1 r_1 - V_2 \sigma\upsilon\alpha_2 r_2) \omega \quad (3.80)$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Δύναται να τεθεί:

$$I_R = \rho g Q H_R \quad (3.81)$$

όπου H_R το εσωτερικό ύψος του δρομέα, οπότε η Εξ. 3.80 δίνει:

$$H_R = \frac{(V_1 \sigma u_{a_1} r_1 - V_2 \sigma u_{a_2} r_2) \omega}{g} \quad (3.82)$$

ή

$$H_R = \frac{U_1 V_1 \sigma u_{a_1} - U_2 V_2 \sigma u_{a_2}}{g} \quad (3.83)$$

Η παραπάνω εξίσωση **ονομάζεται εξίσωση του Euler** για τους υδροστροβίλους και αναπαριστά τη κύρια ενεργειακή εξίσωση της ροής στον δρομέα των υδροστροβίλων.

Εάν θέσουμε ως **κυκλοφορία** Γ (m^2/s) το γινόμενο $2.0 \pi r V$ τότε η εξίσωση 3.82 γράφεται:

$$H_R = \frac{(\Gamma_1 - \Gamma_2) \omega}{2.0 \pi g} \quad (3.84)$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Η παραπάνω εξίσωση ορίζει πως δημιουργείται φορτίο (ύψος) μόνο όταν τα πτερύγια διαφορά κυκλοφορίας μεταξύ εισόδου και εξόδου.

Από το Σχήμα 3.30 ισχύουν επίσης οι εξής εξισώσεις:

$$v_{r1}^2 = U_1^2 + V_1^2 - 2.0 U_1 V_1 \sigma \alpha_1 \quad (3.85)$$

$$v_{r2}^2 = U_2^2 + V_2^2 - 2.0 U_2 V_2 \sigma \alpha_2 \quad (3.86)$$

Από το συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων με την εξίσωση 3.83 προκύπτει ότι:

$$H_R = \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{v_{r1}^2 - v_{r2}^2}{2g} \quad (3.87)$$

Οι εξισώσεις 3.83 και 3.87 θεωρούνται οι πλέον βασικές εξισώσεις για τη λειτουργία των υδροστροβίλων για διάφορες τιμές των μεταβλητών ω και H_R .

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Η ολική απόδοση ή απλώς απόδοση n ενός υδροστροβίλου αντιδράσεως είναι ο λόγος της παραχθείσας ισχύος προς τη διαθέσιμη ισχύ, οπότε έχουμε:

$$n = \frac{I_R}{\rho g Q H_n} \quad (3.88)$$

όπου H_n το καθαρό ύψος πτώσης. Ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το 90.0%. Η απόδοση λειτουργίας σε υδροστροβίλους μικτής ροής συνίστανται από τις παρακάτω αποδόσεις λειτουργίας:

- α) υδραυλικές, n_h
- β) μηχανικές, n_m
- γ) ογκομετρικές, n_v

Επομένως, η ολική απόδοση είναι το γινόμενο των παραπάνω αποδόσεων:

$$n = n_h n_m n_v \quad (3.89)$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Από τους παραπάνω συντελεστές αποδόσεων, ο n_v εμφανίζεται λόγω της ύπαρξης διακένων μεταξύ των περιστρεφόμενων μερών και του περιβάλλοντος χώρου. Κατά συνέπεια ένα μικρό τμήμα της παροχής Q_v διαφεύγει και η διαθέσιμη παροχή προς το δρομέα είναι $Q - Q_v$.

Η διαφυγή γίνεται πάντοτε προς την κατεύθυνση της μειωμένης πίεσης και εξαρτάται από το εμβαδό της επιφάνειας της διατομής του διακένου, δηλαδή:

$$n_v = \frac{Q - Q_v}{Q} \quad (3.90)$$

Για να μειωθούν οι ογκομετρικές απώλειες, h_v (m), στους μεν υδροστροβίλους ακτινικής (μικτής) ροής χρησιμοποιούνται τεχνικές περιορισμού των διαρροών τύπου λαβύρινθου, στους δε υδροστροβίλους αξονικής ροής, το διάκενο που υπάρχει πρακτικά συνεισφέρει ελάχιστα στη διαρροή.

Ο συντελεστής μηχανικής αποδόσεως, ο n_m είναι ο λόγος της ισχύς που λαμβάνεται από την άτρακτο προς την ισχύ που αποδίδεται από την άτρακτο. Το γεγονός της διαφοροποίησης οφείλεται στις μηχανικές τριβές (απώλειες), h_m (m), που αναπτύσσονται στα περιστρεφόμενα μέρη λόγω της ροής. Ο συντελεστής n_m δίνεται ως:

$$n_m = \frac{I_R}{\rho g (Q - Q_v) H_R} \quad (3.91)$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Ο συντελεστής υδραυλικής απόδοσης ο n_h είναι ο λόγος της ισχύς που αναπτύσσεται από το δρομέα προς τη διαθέσιμη ισχύ, και δίδεται ως:

$$n_h = \frac{I_R}{\rho g (Q - Q_v) H_n} \quad (3.92)$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί ως:

$$n_h = \frac{H_R}{H_n} \quad (3.93)$$

Οι υδραυλικές απώλειες $h_h = H_n - H_R$ οφείλονται οφείλονται στις τριβές του ρέοντος νερού που αναπτύσσονται α) εντός του σπειροειδούς κελύφους, $h_{σκ}$ (m), β) στα οδηγία πτερύγια $h_{οπ}$ (m), γ) στα πτερύγια του δρομέα, $h_{δρ}$ (m), δ) εντός του αγωγού φυγής, $h_{αφ}$ (m), και ε) στην έξοδο από τον αγωγό φυγής (στην είσοδο της διώρυγας απαγωγής), $h_{εξ}$ (m). Είναι δηλαδή:

$$h_h = h_{σκ} + h_{οπ} + h_{δρ} + h_{αφ} + h_{εξ} \quad (3.94)$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστροβίλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας

Βάση όλων των παραπάνω η ολική απόδοση (Εξ. 3.88) μπορεί να γραφεί ως:

$$\eta = 1.0 - \frac{h_h + h_m + h_v}{H_n} \quad (3.95)$$

ή:

$$\eta = 1.0 - \frac{(h_{σκ} + h_{οπ} + h_{δρ} + h_{αφ} + h_{εξ}) + h_m + h_v}{H_n} \quad (3.96)$$

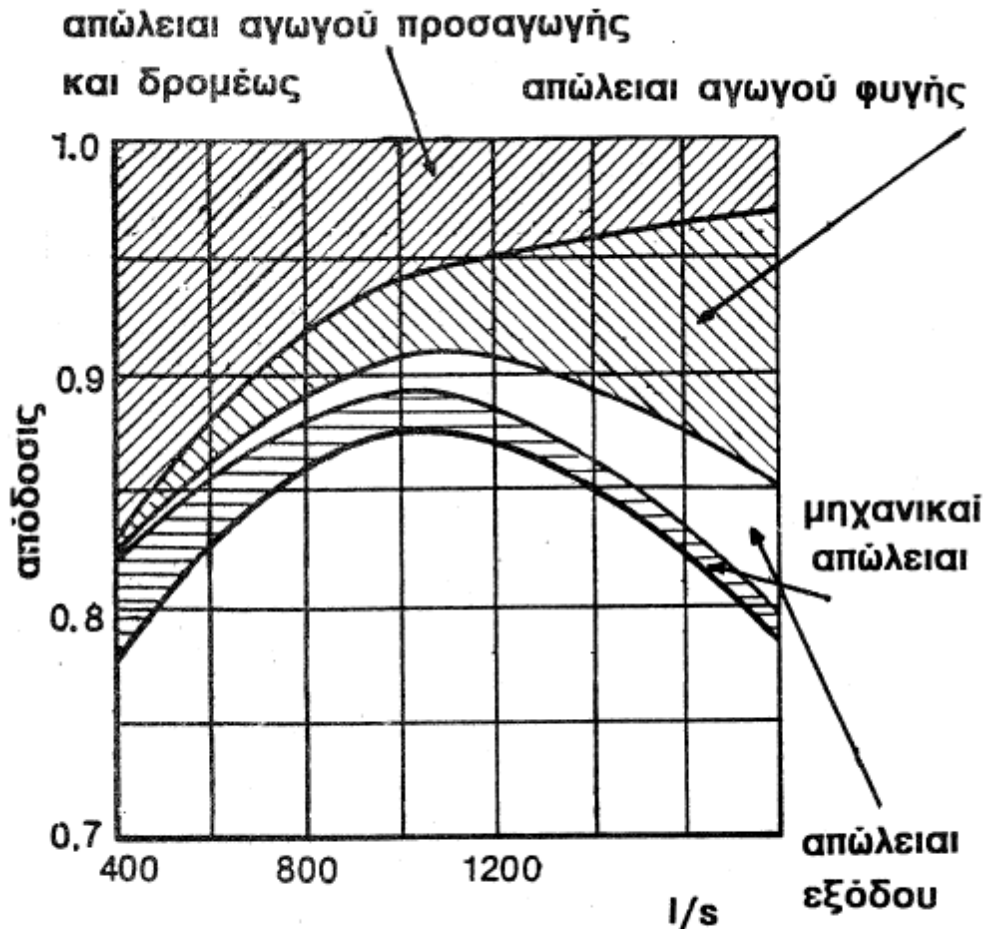
Στο Σχήμα 3.31 παρουσιάζονται οι τυπικές απώλειες σε ομοίωμα υδροστροβίλου που είναι εφοδιασμένος με κινητά πτερύγια (οδηγά και δρομέα), με μοναδιαία περιστροφική ταχύτητα, N_ϵ , ίση με 130.0 (στροφές/λεπτό).

Οι μηχανικές απώλειες είναι ελάχιστες, και οι πλέον βασικές απώλειες είναι οι υδραυλικές απώλειες οι οποίες εξαρτώνται από τη διερχόμενη παροχή μέσω του υδροστροβίλου. Στη συγκεκριμένη περιοχή σχεδιασμού οι απώλειες εντός του σπειροειδούς κελύφους ισούνται περίπου με τις απώλειες του αγωγού φυγής.

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

3.2.1 Υδροστρόβιλοι μικτής ροής

3.2.2.3 Απόδοση λειτουργίας και απώλειες ενέργειας



Σχήμα 3.31 Απόδοση εντός υδροστροβίλου αξονικής ροής με κινητά πτερύγια (οδηγά-δρομέως)

3.2 Υδροσρόβιλοι αντιδράσεως

Παράδειγμα : Εις υδροσρόβιλος αντιδράσεως τύπου Francis έχει δρομέαν εξωτερικής διαμέτρου $D_1 = 1350.0$ mm και εσωτερικής $D_2 = 675.0$ mm. Το εμβαδόν της διατομής της εισόδου της ροής εις τον δρομέαν είναι το ίδιον μετά του εμβαδού της διατομής της εξόδου της ροής εκ του δρομέως. Τα οδηγία πτερύγια είναι διευθετημένα κατά γωνίαν $\beta_0 = 20.0^\circ$ ενώ η γωνία εξόδου εκ του δρομέως είναι $\beta_2 = 30.0^\circ$, ιδέ Σχήμα 3.30. Με την παραδοχήν ότι η εφαπτομενική ταχύτης εξόδου V_{t2} είναι μηδενική και δοθέντος ότι η παροχή $Q = 7.8$ m³/s, το ολικόν φορτίον $H_n = 29.0$ m, η αναπτυσσομένη ισχύς $I = 1.9$ MW και η περιστροφική ταχύτης του δρομέως N είναι 250.0 στροφαί ανά πρώτον λεπτόν της ώρας, να υπολογισθούν :

- α) η βελτίστη τιμή της γωνίας των πτερυγίων του δρομέως β_1 ,
- β) το ύψος του κινηματικού φορτίου εις την είσοδον του αγωγού φυγής,
- γ) η μηχανική απόδοσις λειτουργίας,
- δ) η υδραυλική απόδοσις λειτουργίας και
- ε) η απόδοσις λειτουργίας του υδροστροβίλου

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

Λύσις : α) Η βελτίστη τιμή της γωνίας β_1 των πτερυγίων του δρομέως εις την είσοδον είναι εκείνη η οποία υποχρεώνει το ύδωρ να εισέρχεται εντός του δρομέως κατά διεύθυνσιν εφαπτομενικήν επί των πτερυγίων. Διά να γίνη η επίλυσις του τριγώνου των ταχυτήτων της εισόδου πλην της γωνίας β_0 και της γραμμικής ταχύτητος U_1 πρέπει να είναι γνωστή μία ακόμη τιμή ταχύτητος. Η γραμμική ταχύτης U_1 υπολογίζεται ως,

$$U_1 = 2.0 \pi r_1 N = 2.0 \times \pi \times 0.675 \times 250.0/60.0 = 17.671 \text{ m/s}$$

Εκ του τριγώνου των ταχυτήτων της εξόδου εκ των πτερυγίων του δρομέως είναι,

$$U_2 = 2.0 \pi r_2 N = 2.0 \times \pi \times 0.3375 \times 250.0/60.0 = 8.836 \text{ m/s}$$

Επειδή $V_{t2} = 0.0 \text{ m/s}$, εκ της εκφωνίσεως, θα είναι $V_2 = V_{R2}$ και επομένως,

$$V_{R2} = U_2 \epsilon\phi\beta_2 = 8.836 \times \epsilon\phi 30^\circ = 5.101 \text{ m/s}$$

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

Επειδή όμως το εμβαδόν της διατομής της εισόδου της ροής εις τον δρομέαν είναι το ίδιο μετὰ του εμβαδού της διατομής της εξόδου της ροής εκ του δρομέως θα είναι, λόγω της διατηρήσεως της συνεχείας της μάζης,

$$V_{R1} = V_{R2} = 5.101 \text{ m/s}$$

Εκ του τριγώνου ταχυτήτων εισόδου θα είναι,

$$V_{t1} = V_{R2} \sigma\phi\beta_o = 5.101 \times \sigma\phi 20^\circ = 14.015 \text{ m/s}$$

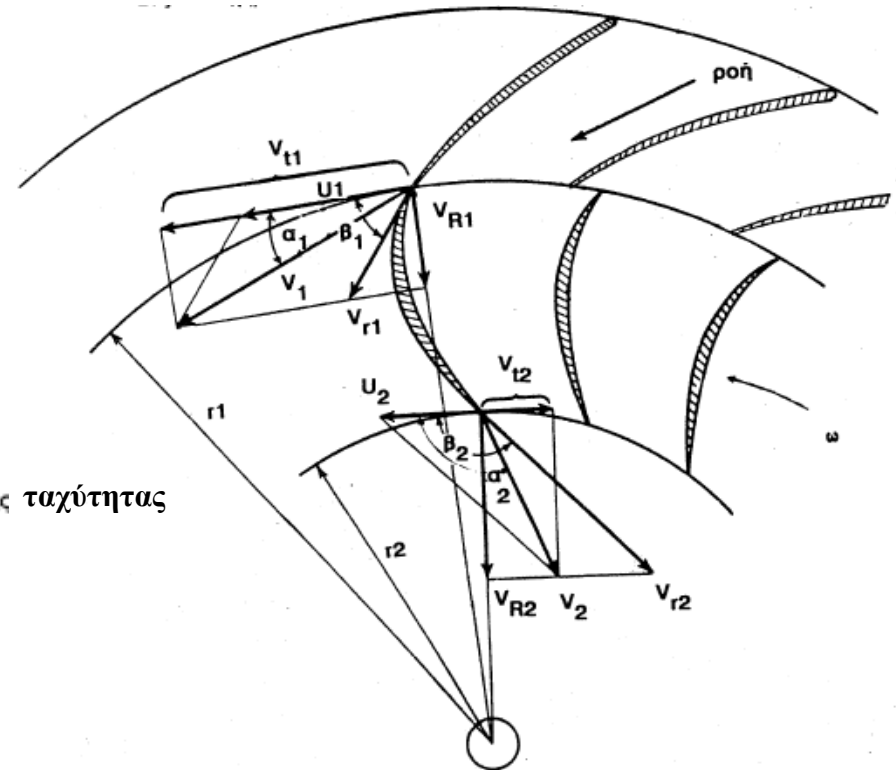
και επομένως η γωνία β_1 η σχηματιζομένη μεταξύ της σχετικής ταχύτητας

V_{r1} και της εφαπτομενικής V_{t1} θα είναι, ιδέ Σχήμα 3.30,

$$\epsilon\phi\beta_1 = V_{R1} / (U_1 - V_{t1}) = 5.101 / (17.671 - 14.015) = 1.395$$

άρα η γωνία β_1 είναι,

$$\beta_1 = \epsilon\phi^{-1} 1.395 = 54.365^\circ$$



Σχήμα 3.30 Διάγραμμα τριγώνων λειτουργίας υδροστρόβιλου αντιδράσεως ακτινικής ροής

3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

β) Η είσοδος του αγωγού φυγής έχει σχήμα κυκλικόν με διάμετρον $D_2 = 0.675 \text{ m}$. Επομένως το εμβαδόν θα είναι $A_2 = \pi D_2^2/4.0 = \pi \times 0.675^2/4.0 = 0.358 \text{ m}^2$. Η ταχύτης εις την είσοδον είναι,

$$V_2 = Q/A_2 = 7.8/0.358 = 21.797 \text{ m/s}$$

και το κινηματικόν ύψος, $V_2^2/2g$, είναι $21.797^2/(2.0 \times 9.81) = 24.215 \text{ m}$

γ) Εκ της εξισώσεως 3.76 και δεδομένου ότι $V_{t2} = 0.0 \text{ m/s}$ είναι,

$$T = \rho Q V_{t1} r_1$$

και επομένως η αναπτυσσομένη ισχύς υπό του δρομέως είναι,

$$\begin{aligned} I_R &= \rho Q V_{t1} r_1 \omega = \rho Q V_{t1} U_1 = 1000.0 \times 7.8 \times 14.015 \times 17.671 = \\ &= 1.932 \text{ MW} \end{aligned}$$

3.2 Υδροστροβίλοι αντιδράσεως

Η ισχύς όμως η παραλαμβανομένη υπό της ατράκτου είναι 1.90 MW, άρα η μηχανική απόδοσις n_m λειτουργίας είναι,

$$n_m = 1.90/1.932 = 0.983 = 98.3\%$$

δ) Η υδραυλική απόδοσις λειτουργίας n_h , ιδέ εξίσωσιν 3.92 με $Q_v = 0.0$, είναι,

$$\begin{aligned} n_h &= I_R / (\rho g Q H_n) = (1.932 \times 10^6) / (1000.0 \times 9.81 \times 7.8 \times 29.0) = \\ &= 0.8706 = 87.06\% \end{aligned}$$

ε) Η απόδοσις λειτουργίας n του υδροστροβίλου είναι,

$$n = (1.9 \times 10^6) / (1000.0 \times 9.81 \times 7.8 \times 29.0) = 0.8562 = 85.62\%$$

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!