

## Υδραυλικές Μηχανές και Ενέργεια

### Διάλεξη 7. - Υδροστρόβιλοι δράσεως - Pelton

Σκουληκάρης Χαράλαμπος  
*Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχ. Η/Υ, MSc,  
PhD*

[hskoulik@civil.auth.gr](mailto:hskoulik@civil.auth.gr)

Ξάνθη, 25 Νοεμβρίου 2016

# Ανασκόπηση 6<sup>ου</sup> μαθήματος

- Εξισώσεις διατήρησης της μάζας, ορμής και ενέργειας

# Περιεχόμενα 6<sup>ου</sup> μαθήματος

A/A	Τρόπος διδασκαλίας	Μάθημα	Περιγραφή	Ώρες
6	Διάλεξη	Εξισώσεις διατήρησης της μάζας, ορμής και ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ανασκόπηση εξισώσεων διατήρησης της μάζας, ορμής και ενέργειας για κατανόηση της ροής ύδατος εντός υδραυλικών στροβιλομηχανών.</li><li>- Ασκήσεις</li></ul>	3
7	Διάλεξη	Υδροστρόβιλοι δράσεως	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ολοκλήρωση του μαθήματος διατήρησης της ενέργειας. Επισκόπηση της αριθμητικής ανάλυσης ροών σε υδραυλικές στροβιλομηχανές.</li><li>- Υδροστρόβιλοι δράσεως. Κύρια μέρη υδροστρόβιλου Pelton, παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας, Σχεδιασμός δρομέως υδροστροβίλου Pelton, Μοναδιαία ποσότητα και χαρακτηριστικά διαγράμματα</li><li>- Ασκήσεις</li></ul>	3

# Συγγράμματα/Εκπαιδευτικό υλικό

## ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Υπό  
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη  
Αναπληρωτού Καθηγητού  
Δημοκρτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ

εκδόσεις - ΑΪΒΑΖΗΣ - Θεσσαλονίκη

## ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΛΥΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Υπό  
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη  
Αναπληρωτού Καθηγητού  
Δημοκρτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ 2007

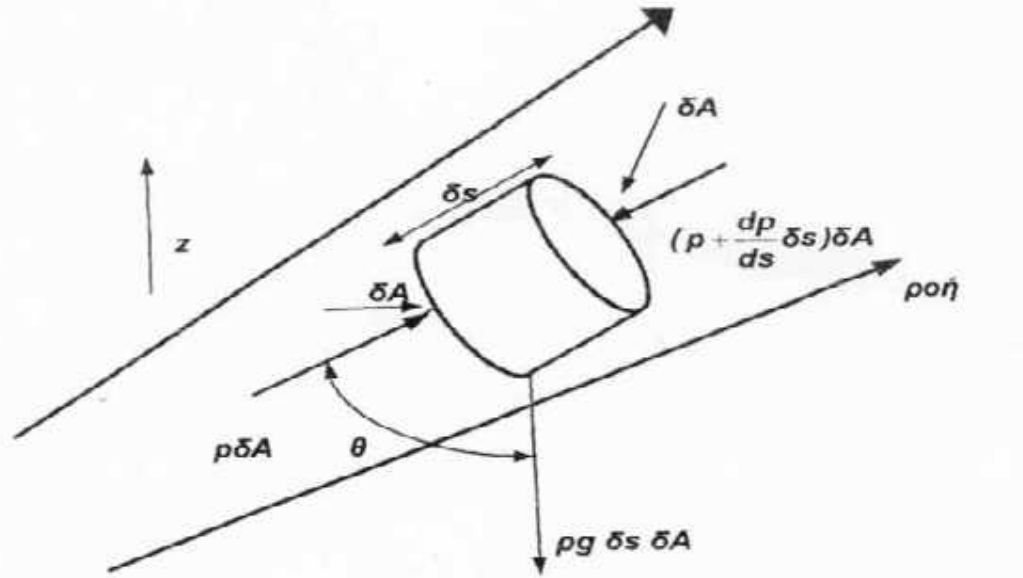
εκδόσεις: ΑΪΒΑΖΗΣ Θεσσαλονίκη

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Εξισώσεις διατήρησης της μάζας,  
ορμής και ενέργειας**  
*Ολοκλήρωση διάλεξης διατήρησης της ενέργειας*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Η διατήρηση της ενέργειας αποδεικνύεται/δίδεται μέσω της εξίσωσης του Bernoulli.



Σχήμα 2.10 Δυνάμεις δράσει επί κυλινδρικού στοιχείου

Στο Σχήμα 2.10 απεικονίζεται ένα κυλινδρικό στοιχείο του ροϊκού σωλήνα κατά μήκος μιας ροϊκής γραμμής. Το μήκος και το εμβαδόν της διατομής είναι  $\delta s$  (m) και  $\delta A$ , αντιστοίχως. Το βάρος του στοιχείου θα είναι  $\rho g \delta s \delta A$  ( $\gamma = \rho g$ ). Η δύναμη η οποία επενεργεί στο οπίσθιο τμήμα είναι  $p\delta A$  (N) ενώ στο εμπρόσθιο τμήμα είναι  $[p + (\frac{dp}{ds})\delta s] \delta A$  (N) όπου  $p$  (N/m<sup>2</sup>) η **στατική πίεση**.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Θεωρείται ότι:

- Η ροή είναι ιδεατή δηλαδή ότι το ρευστό είναι **ιδεατό ή μη - συνεκτικό και κατά συνέπεια** οι ασκούμενες διατμητικές δυνάμεις ισούται προς μηδέν.
- Το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία επομένως οι κάθετες δυνάμεις οι οποίες δρουν επί των πλευρικών τοιχωμάτων του στοιχειώδους κυλίνδρου αλληλοαναιρούνται.

Η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά μήκος της ροϊκής γραμμής (από θέση σε θέση) και ως εκ τούτου υπάρχει μία δύναμη επιταχύνσεως η οποία πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στην εξισορρόπηση των δυνάμεων των δρώντων κατά μήκος του άξονος της ροής. Από την εφαρμογή του 2<sup>ου</sup> νόμου του Νεύτωνα, ότι δηλαδή οι ασκούμενη δύναμη ισούται με το ρυθμό μεταβολής της ορμής,

$$-\gamma \delta s \delta A \sin\theta + p dA - [p + \left(\frac{dp}{ds}\right) ds] \delta A = \gamma \delta s \delta A \left(\frac{du}{dt}\right)/g \quad (2.25)$$

$$\text{ή} \quad -\gamma \sin\theta - dp/ds = \gamma \left(\frac{du}{dt}\right)/g \quad (2.26)$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Από το σχήμα 2.10 προκύπτει ότι  $\text{συν}\theta = dz/ds$ , όπου  $z$  η κατακόρυφη απόσταση. Επίσης, επειδή η ροή είναι σταθερή, το οποίο σημαίνει ότι όλες οι μεταβολές των φυσικών ποσοτήτων σε αναφορά προς τον χρόνο  $t(s)$  είναι μηδέν, θα ισχύει ότι

$$\frac{du}{dt} = u \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial t}, \text{ αλλά } \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \text{ (σταθερά ροή) και } \frac{du}{dt} = u \frac{du}{ds}, \text{ άρα,}$$

Η εξίσωση 2.26

$$-\gamma \text{ συν}\theta - dp/ds = \gamma \left( \frac{du}{dt} \right) / g \quad (2.26)$$

γράφεται ως

$$\frac{dp}{ds} + \gamma u \frac{du}{ds} / g + \gamma \frac{dz}{ds} \quad (2.27)$$

Ή

$$\frac{dp}{ds} / \gamma + u \frac{du}{ds} / g + \frac{dz}{ds} \quad (2.28)$$



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Στην περίπτωση ρευστού σταθερής πυκνότητας  $\rho$ , το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης είναι

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z = \text{σταθερόν} \quad (2.29)$$

ή

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z = \text{σταθερό} = H$$

Η παραπάνω εξίσωση ονομάζεται **εξίσωση του Bernoulli** και εκφράζει την ενεργειακή εξισορρόπηση κατά την ροή του ρευστού. Εάν κάθε όρος της εξίσωσης πολλαπλασιασθεί με το σταθερό ποσό  $\rho g Q$ , θα έχουμε,

$$(\rho g Q)z + (\rho g Q)\frac{p}{\rho g} + (\rho g Q)\frac{u^2}{2g} = \text{σταθερό}$$

Ο κάθε όρος της παραπάνω εξίσωσης έχει μονάδες ισχύος (W) (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου). Στην εξίσωση (2.29) ο κάθε όρος έχει μονάδες (m) με τον τελευταίο όρο να είναι το ύψος λόγω θέσεως του ρευστού, ο πρώτος όρος είναι το ύψος πίεσεως του ρευστού και ο τρίτος όρος το κινητικό ύψος του ρευστού. Το άθροισμα όλων των ανωτέρω όρων δίνει το ολικό ενεργειακό ύψος ή φορτίο  $H(m)$ .

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής δηλώνει ότι εφόσον δεν υπάρχουν πυρηνικές αντιδράσεις, η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να καταστραφεί αλλά ούτε να δημιουργηθεί.

Ως εκ τούτου σε οποιοδήποτε σύστημα η καθαρώς προσδιοσμένη ενέργεια θερμότητας ισούται με την αύξηση της ενέργειας του συστήματος συν το παραγόμενο έργο από το σύστημα:

$$\Delta Q = \Delta E + \Delta W \quad (2.30)$$

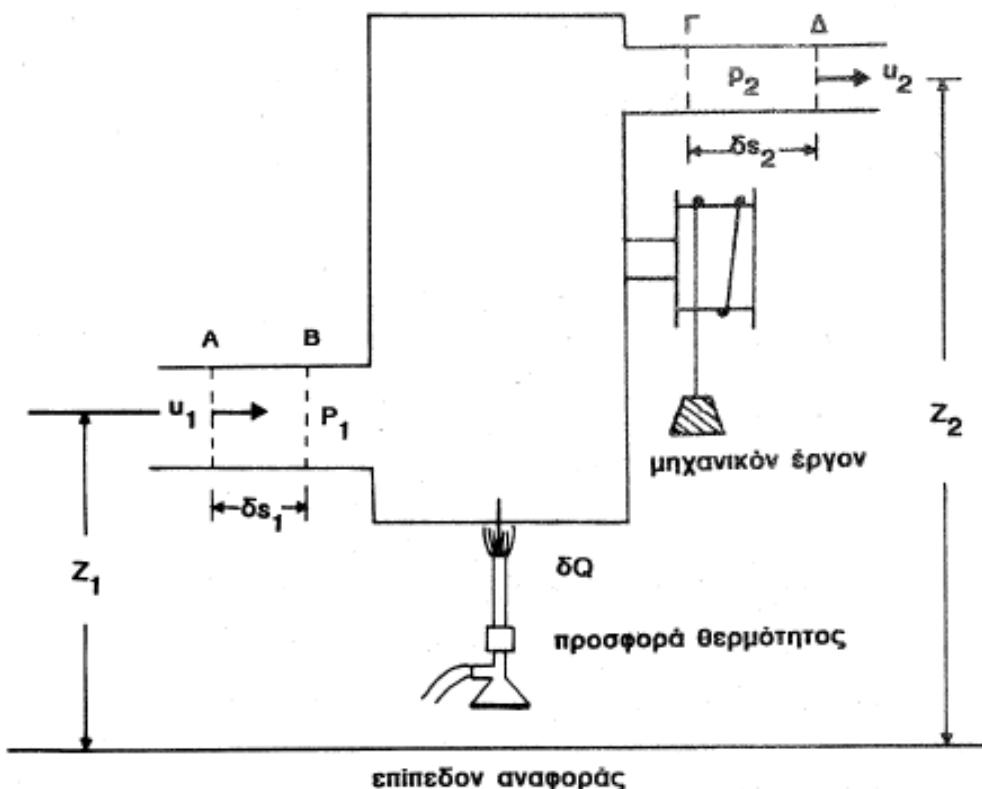
όπου  $Q$  (J) η προσδιοσμένη θερμότητα στο σύστημα,  $E$  (J) η ενέργεια του συστήματος και  $W$  (J) το παραγόμενο έργο από το σύστημα.

Η ενέργεια  $E$  του συστήματος, το οποίο θεωρείται συνεχές μέσον, συνίσταται από την κινητική ενέργεια η οποία συσχετίζεται με την κίνηση και τη δυναμική ενέργεια λόγω θέσεως.

Επιπροσθέτως ως ενέργεια του συστήματος θεωρείται η εσωτερική ενέργεια την οποία κατέχει το σύστημα λόγω της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των μορίων και ατόμων του ρευστού και η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και πυκνότητας του ρευστού.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας



Στο Σχήμα παρουσιάζεται διάταξη παραγωγής έργου υπό σταθερή ροή.

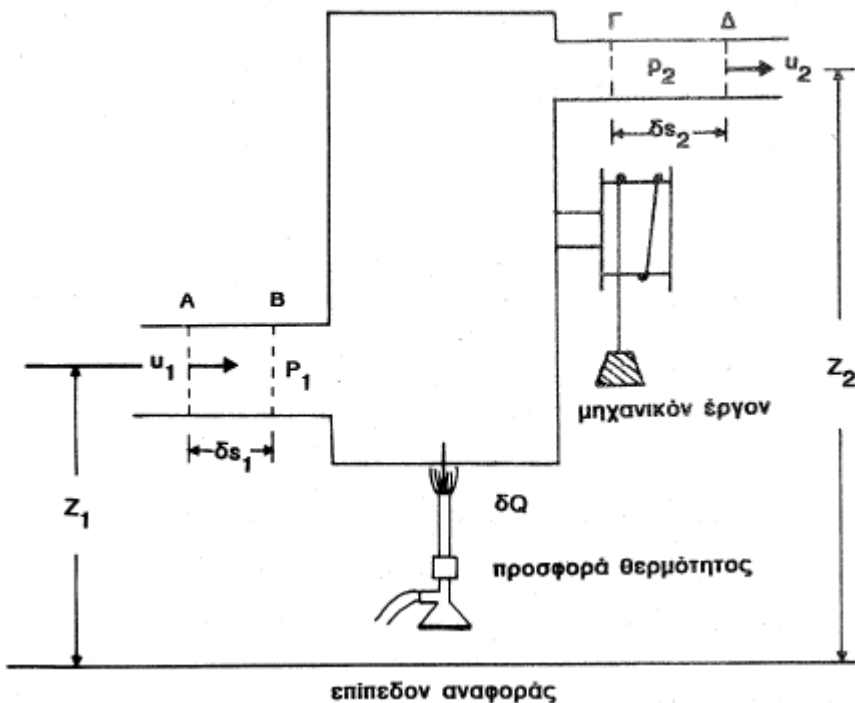
Στη θέση A το ρευστό βρίσκεται υπό πίεση  $p_1$ , ταχύτητα  $u_1$ , εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα μάζας  $e_1$  και σε υψόμετρο  $z_1$ . Αντίστοιχα, στη θέση  $\Gamma$  το ρευστό βρίσκεται υπό πίεση  $p_2$ , ταχύτητα  $u_2$ , εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα μάζας  $e_2$  και σε υψόμετρο  $z_2$ .

Σχήμα 2.11 Διάταξεις διά την παραγωγήν έργου. Η προσφερομένη θερμότης μετατρέπεται εις αύξησιν της ενεργείας του συστήματος και ταυτόχρονον παραγωγήν έργου

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Μετά από χρόνο  $\delta t$ , ρευστό μάζας  $\delta m$  κινείται προς τα εμπρός και συνεπώς βρίσκεται σε νέα θέση Β της περιοχής 1 και συνεπώς σύμφωνα με τη διατήρηση της συνέχειας της μάζας, ίση ποσότητα μάζας κινείται στη θέση Δ της περιοχής 2.



Εάν η υπάρχουσα ενέργεια μεταξύ Α και Γ είναι  $E$  τότε στον ίδιο χώρο Α-Γ η ολική ενέργεια είναι:

$$E + \delta m * (u_1^2/2 + gz_1 + e_1)$$

Μετά τη νέα θέση Β-Δ η ολική ενέργεια είναι:

$$E + \delta m * (u_2^2/2 + gz_2 + e_2)$$

Στο χρόνο όμως  $\delta t$  προστέθηκε θερμότητα  $\delta Q$  και το σύστημα παρήγαγε έργο  $\delta W$ . Το έργο ισούται με το πραγματικό έργο  $\delta W'$  συν το έργο το οποίο καταβλήθηκε για την υπερκέρωση των δυνάμεων λόγω πίεσης:

$$p_2 * A_2 * \delta s_2 - p_1 * A_1 * \delta s_1 \text{ ( έργο ίσον με τη δύναμή επί τη μετατόπιση).}$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Τότε βάση του 1<sup>ου</sup> νόμου της Θερμοδυναμικής έχουμε:

$$\delta Q = E + \delta m(u_2^2/2 + g z_2 + e_2) - [E + \delta m(u_1^2/2 + g z_1 + e_1)] + \delta W' \quad (2.31)$$

ή

$$\delta Q = \delta m [(e_2 - e_1) + (u_2^2 - u_1^2)/2 + g (z_2 - z_1)] + \delta W' + p_2 A_2 \delta s_2 - p_1 A_1 \delta s_1 \quad (2.32)$$

αλλά

$$\delta m = \rho_1 A_1 \delta s_1 = \rho_2 A_2 \delta s_2 \quad (2.33)$$

οπότε η Εξ. 2.32 γίνεται

$$q = (p_2/\rho_2 + u_2^2/2 + g z_2) - (p_1/\rho_1 + u_1^2/2 + g z_1) + w' + e_2 - e_1 \quad (2.34)$$

όπου  $q$  η προσφερθείσα θερμότητα στο σύστημα ανά μονάδα μάζας σε χρόνο  $dt$ , και  $w'$  είναι το ανά μονάδα μάζας παραγόμενο έργο στο σύστημα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Η Εξίσωση 2.34 είναι γνωστή και ως ενεργειακή εξίσωση σταθεράς ροής

$$q = (p_2/\rho_2 + u_2^2/2 + g z_2) - (p_1/\rho_1 + u_1^2/2 + g z_1) + w' + e_2 - e_1 \quad (2.34)$$

Εάν  $q = 0$ , και δεν υπάρχει εσωτερική μεταβολή της ενέργειας με μη παραγωγή υπό του συστήματος έργου, τότε  $w' = 0$ , οπότε η εξίσωση 2.34 γίνεται:

$$p_2/\rho_2 + u_2^2/2 + g z_2 = p_1/\rho_1 + u_1^2/2 + g z_1 \quad (2.35)$$

η οποία είναι ταυτόσημη με την εξίσωση 2.29 του Bernoulli.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Όταν η ροή είναι συνεκτική τότε υφίσταται απώλειες κατά τον ρου της. Μέρος των ενεργειών χάνεται προς τον περιβάλλοντα χώρο (-q) και μέρος τους καταναλώνεται για την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του ρέοντος ρευστού.

Η εξίσωση 2.34 τότε μπορεί να γραφτεί:

$$p_1/\rho_1 + u_1^2/2 + g z_1 = p_2/\rho_2 + u_2^2/2 + g z_2 + e_2 - e_1 - q \quad (2.36)$$

Και επομένως

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad (2.37)$$

δεχόμενοι ότι  $h_f = (e_2 - e_1 - q)/g$  και ότι η πυκνότητα δεν μεταβάλλεται από θέση σε θέση. Συνήθως η έκφραση του κινητικού ύψους  $u^2/2g$  στην Εξ. 2.37 μπορεί να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή διορθώσεως κινητικού ύψους  $\alpha$  ώστε να ληφθεί υπόψη η μη-ομοιόμορφος κατανομή των ταχυτήτων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Συνήθως η έκφραση του κινητικού ύψους  $u^2/2g$  στην Εξ. 2.37 μπορεί να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή διορθώσεως κινητικού ύψους  $\alpha$  ώστε να ληφθεί υπόψη η μη-ομοιόμορφος κατανομή των ταχυτήτων. Η τιμή αυτή υπολογίζεται ως:

$$\alpha = \int_A \frac{u_i^3}{u^3} dA \quad (2.38)$$

όπου  $A$  το εμβαδό της βρεχόμενης διατομής, και  $u_i$  είναι η σημειακή ταχύτητα σε σημείο  $i$  της διατομής.

Η μεταβλητή  $h_f$  (m) εκφράζει, σε μέτρα του ρευστού ύδατος, τις απώλειες ενέργειας κατά το ρου από τη θέση 1 στη θέση 2. Η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί μέσω διαφόρων εμπειρικών σχέσεων.

Συνήθως η  $h_f$  (m) περιλαμβάνει τις γραμμικές απώλειες (οι οποίες είναι και οι πιο σημαντικές) και τις τοπικές απώλειες (με μικρότερη βαρύτητα). Στην περίπτωση τοπικών απωλειών αυτές εκφράζονται ως  $h_L$  και γραμμικές ως  $h_f$ .



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Σε περίπτωση τυρβώδους ροής, οι τοπικές απώλειες εκφράζονται ως:

$$h_L = K \frac{u^2}{2g} \quad (2.39)$$

όπου  $u$  η μεγαλύτερη από τις ταχύτητες  $u_1$  και  $u_2$ , ενώ ο συντελεστής απωλειών  $K$  λαμβάνεται εκ πειραματικών δεδομένων.

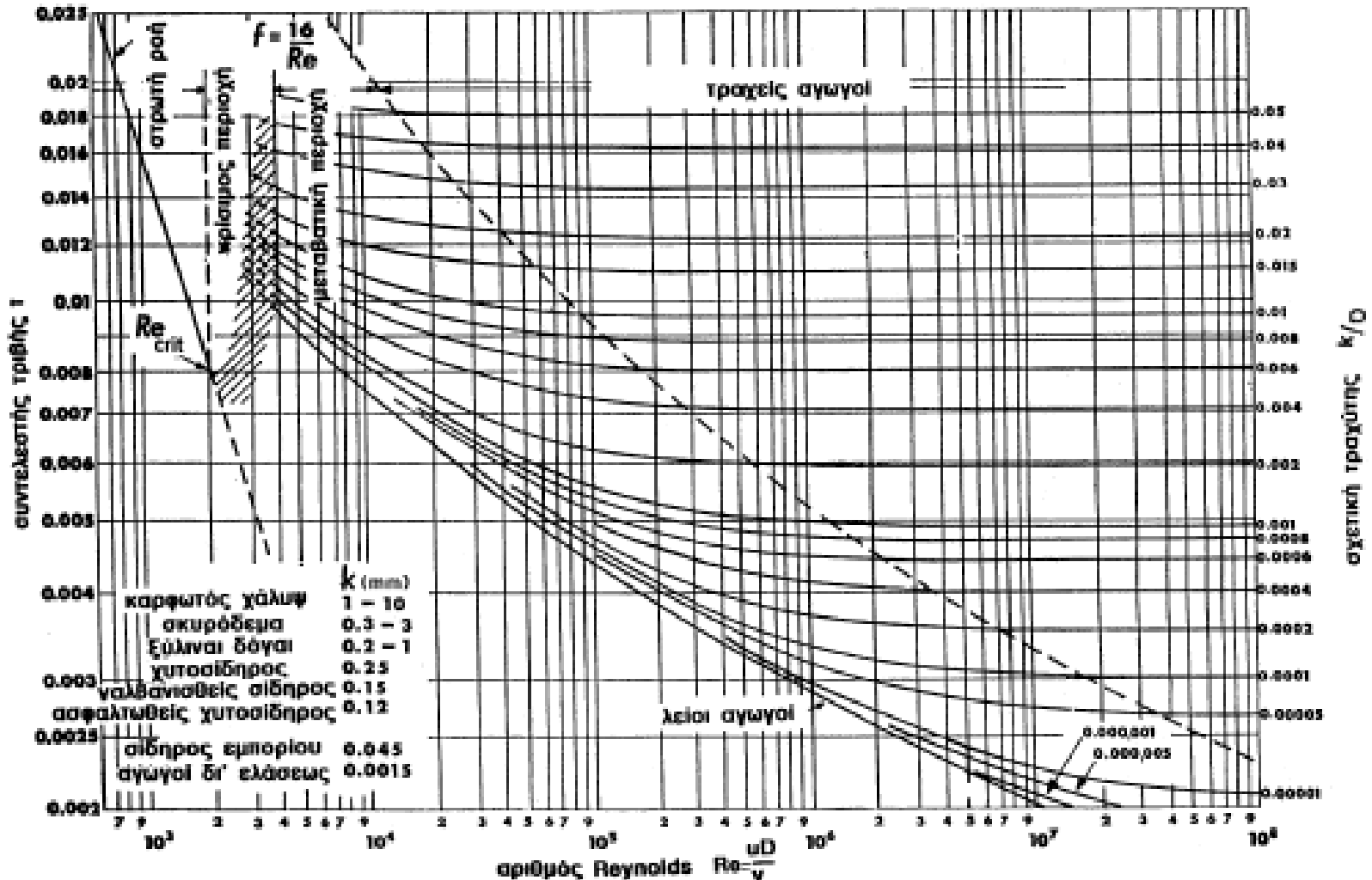
Για τις γραμμικές απώλειες γίνεται χρήση του διαγράμματος Moody και της εξίσωσης των Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} \quad (2.40)$$

όπου  $f$  ο συντελεστής τριβής,  $L$  είναι το μήκος του σωλήνα και  $D$  είναι η διάμετρος του σωλήνα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για τη τυρβώδη ροή, η συστηματοποιημένη σχέση μεταξύ των  $f$ ,  $Re$  και  $k/D$  είναι γνωστή ως διάγραμμα του Moody.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Εάν υπάρχει τοποθετημένος στρόβιλος ο οποίος παράγει ισχύ ( $= \rho g Q h_{\text{στρ}}$ , όπου  $h_{\text{στρ}}$  (m) το φορτίο του στροβίλου), τότε από τις εξισώσεις 2.34 και 2.37 έχουμε:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{στρ}} + h_{f1-2} + \Sigma h_L \quad (2.41)$$

ενώ αν υπάρχει αντλητική διάταξη η οποία καταναλώνει ισχύ ( $= \rho g Q h_{\text{αντλ}}$ , όπου  $h_{\text{αντλ}}$  (m) το φορτίο της αντλίας), τότε :

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 - h_{\text{αντλ}} + h_{f1-2} + \Sigma h_L \quad (2.42)$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Η εφαρμογή της εξίσωσης 2.37 του Bernoulli επί κινούμενου συστήματος όπως είναι ο δρομέας των υδραυλικών στροβιλομηχανών είναι κεφαλαιώδους σημασίας

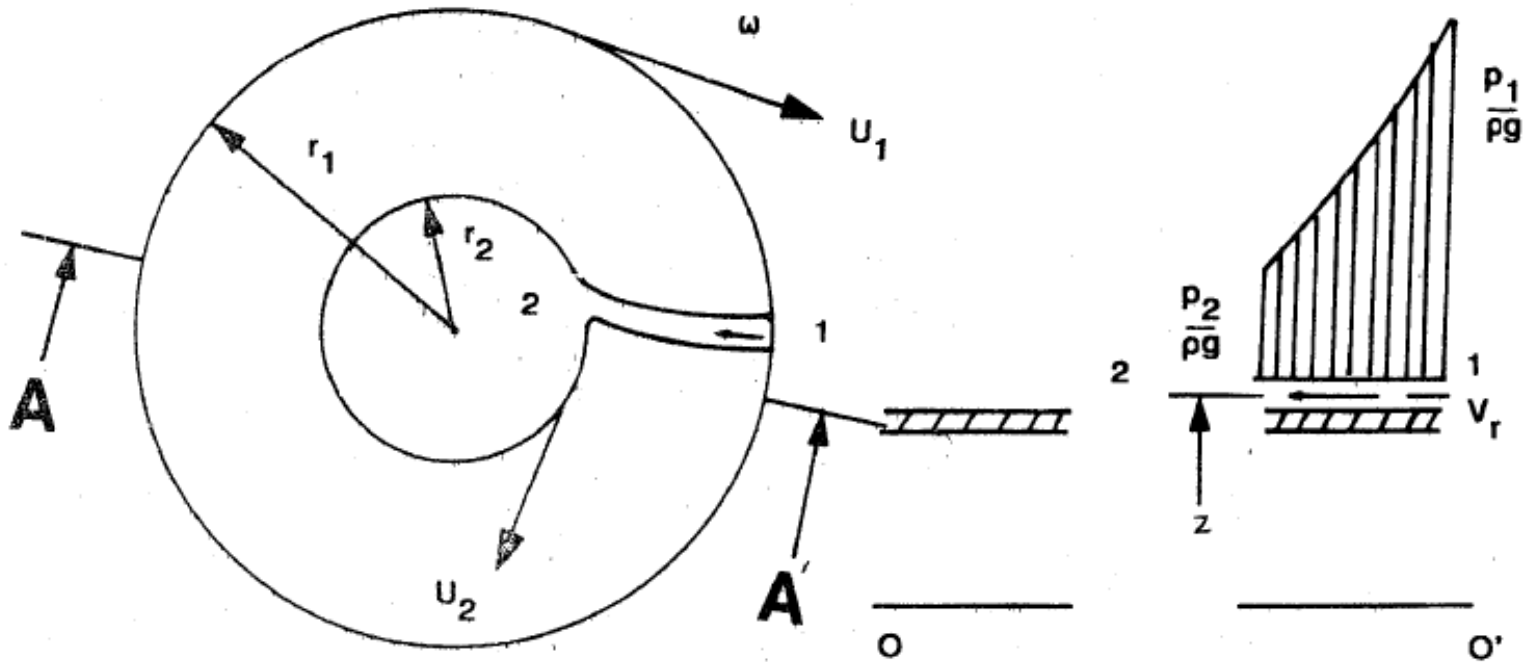
$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad (2.37)$$

Η κατανόηση του μηχανισμού μετατροπής ενέργειας στις υδραυλικές στροβιλομηχανές στηρίζεται ακριβώς στην εξίσωση του Bernoulli.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Ας θεωρηθεί περιστρεφόμενος δίσκος με γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  (ακτίνια/sec). Στο δίσκο είναι προσαρτημένος αγωγός που μεταφέρει νερό από τη θέση 1 στη θέση 2. Εάν ληφθεί ως ακίνητο σύστημα αναφοράς το επίπεδο που διέρχεται από το  $O-O'$ .



Σχήμα 2.12 Εφαρμογή της εξίσωσης του Bernoulli εις κινούμενον σύστημα αναφοράς

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Η εφαρμογή της εξίσωσης 2.37 του Bernoulli μεταξύ των σημείων 1 και 2 δίνει:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_{r1}^2}{2g} + z_1 - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_{r2}^2}{2g} + z_2 - \frac{U_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad (2.43)$$

όπου  $V_{r1}$  και  $V_{r2}$  οι σχετικές ταχύτητες του ύδατος ως προς τον περιστρεφόμενο αγωγό,  $U_1$  και  $U_2$  είναι οι γραμμικές ταχύτητες περιστροφής του δίσκου στα σημεία 1 και 2 αντιστοίχως και  $h_{f1-2}$  οι απώλειες φορτίου μεταξύ των θέσεων 1 και 2.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Παράδειγμα: Δίδεται η αντλητική διάταξις του Σχήματος 2.13 η οποία αποτελείται εκ χυτοσιδηρών αγωγών διαμέτρου  $D = 0.25 \text{ m}$  και τραχύτητας  $k = 0.00025 \text{ m}$ . Ο αγωγός AB έχει μήκος  $7.0 \text{ m}$  και ο συντελεστής τοπικών απωλειών,  $K_{\text{εισ}}$ , εις την είσοδόν του είναι  $0.5$ . Ο αγωγός ΓΔ έχει μήκος  $1000.0 \text{ m}$  και ο συντελεστής τοπικών απωλειών εις την έξοδόν του,  $K_{\text{εξ}}$ , είναι ίσος με  $1.0$ . Εάν οι ρυθμοί υποβιβάσεως της στάθμης της χαμηλωτέρας δεξαμενής και αναβιβάσεως της στάθμης της υψηλωτέρας δεξαμενής είναι αμεληταίοι να υπολογισθή η θεωρητική ισχύς την οποίαν πρέπει να έχη μία αντλία ώστε να δύναται να μεταφέρει  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$  από την μίαν δεξαμενήν εις την άλλην. Η υψομετρική διαφορά των ελευθέρων επιφανειών των δύο δεξαμενών ευρίσκεται εις τα  $40.0 \text{ m}$ . Ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους του ύδατος είναι  $\nu = 1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

Λύσις: Εκ των παραδοχών του προβλήματος είναι,

$$u_1 = 0.0 \text{ m/s}$$

$$u_2 = 0.0 \text{ m/s}$$

$$(p_1/\rho g) = 0.0 \text{ N/m}^2$$

$$(p_2/\rho g) = 0.0 \text{ N/m}^2 \text{ (λόγω ατμοσφαιρικής πιέσεως)}$$

και η εξίσωσις 2.42 γράφεται,



$$h_{\text{αντιλ}} = z_2 - z_1 + h_f + h_{\text{Λεισ}} + h_{\text{Λεξ}}$$

$$\text{αλλά, } z_2 - z_1 = 40.0 \text{ m}$$

Εκ της εξισώσεως της συνεχείας είναι,

$$u = Q/A \quad \text{ένθα,}$$

$$A = \pi D^2/4.0 = \pi \times (0.25)^2/4.0 \quad \text{άρα,}$$

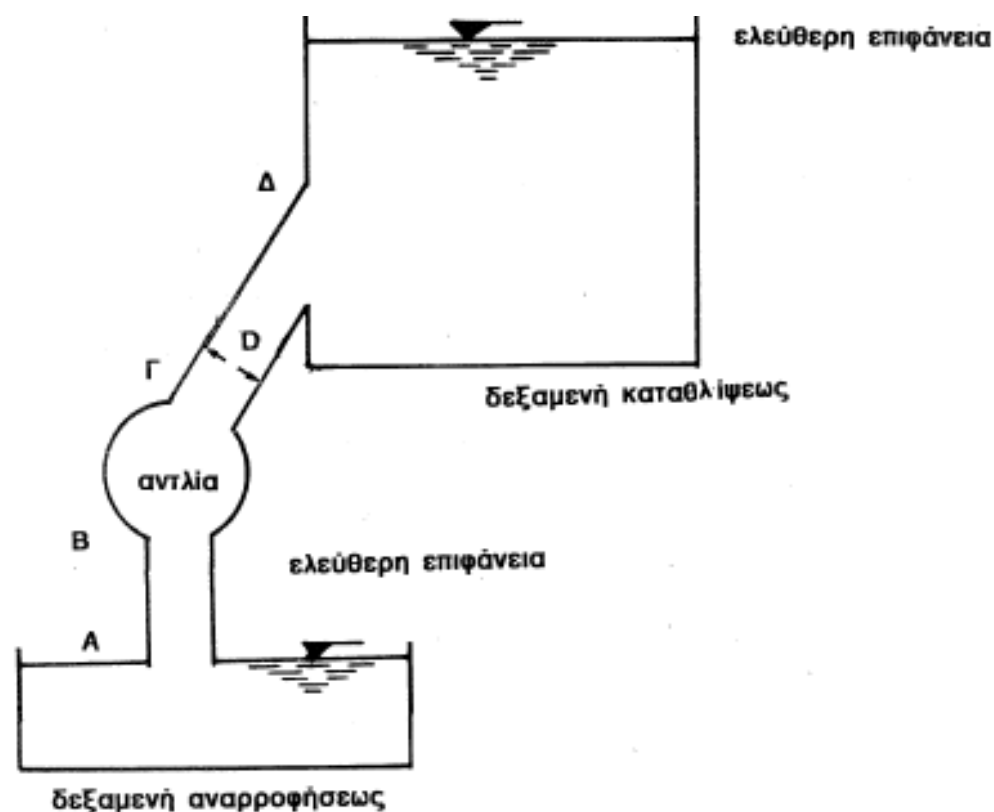
$$u = 4.0 \times 0.15/(\pi \times 0.25^2) = 3.058 \text{ m/s.}$$

Εκ του διαγράμματος του Moody, ιδέ Σχήμα 2.14, δύναται να υπολογισθή ο συντελεστής τριβών  $f$  ως συνάρτησις του αριθμού Reynolds,  $Re$ , και της σχετικής τραχύτητος  $k/D$ . Είναι λοιπόν,

$$Re = u D/\nu = 3.058 \times 0.25/(1.3 \times 10^{-6}) = 5.88 \times 10^5$$

$$k/D = 0.00025/0.25 = 0.001 \quad \text{άρα, } f = 0.02$$

Επομένως, εκ της εξισώσεως 2.40 είναι,



Σχήμα 2.13 Εφαρμογή του ενεργειακού θεωρήματος. Η αντλία μεταφέρει  $0.150 \text{ m}^3/\text{s}$  από την μίαν δεξαμενή εις την άλλην. Η υψομετρική διαφορά των δεξαμενών είναι  $40.0\text{m}$

$$h_f = f (L/D) u^2/2g = 0.02 \times (1000.0/0.25) \times 3.058^2/(2.0 \times 9.81)$$

$$= 38.130 \text{ m}$$

$$\text{Επίσης, } h_{L_{\epsilon\iota\sigma}} = K_{\epsilon\iota\sigma} u^2/2g = 0.5 \times 3.058^2/(2 \times 9.81) = 0.238 \text{ m}$$

$$\text{και } h_{L_{\epsilon\zeta}} = K_{\epsilon\zeta} u^2/2g = 1.0 \times 3.058^2/(2.0 \times 9.81) = 0.476 \text{ m} \quad \text{άρα,}$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ, ΟΡΜΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.4 Διατήρηση της ενέργειας

$$h_{\text{αντλ}} = 40.0 + 38.130 + 0.238 + 0.476 = 78.844 \text{ m}$$

επομένως η θεωρητική ισχύς της αντλίας πρέπει να είναι,

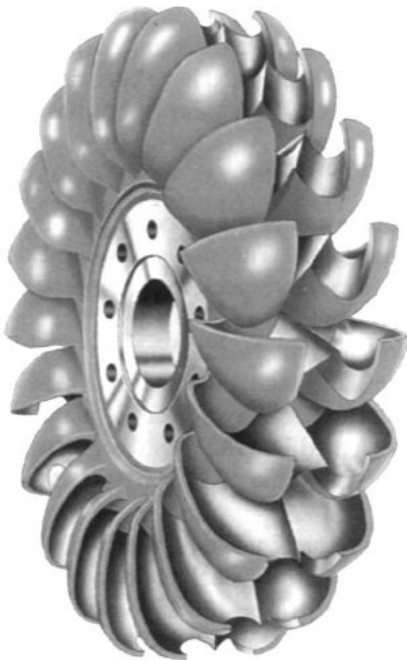
$$I_{\text{αντλ}} = \rho g Q h_{\text{αντλ}} = 1000.0 \times 9.81 \times 0.15 \times 78.844 = 116.018 \text{ KW}$$

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

## 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Ο υδροστροβίλος Pelton είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος τύπος υδροστροβίλου δράσεως. Ο υδροστροβίλος Turgo, είναι επίσης υδροστροβίλος δράσεως, χωρίς όμως ευρεία εφαρμογή.



Υδροστροβίλος δράσεως τύπου Pelton

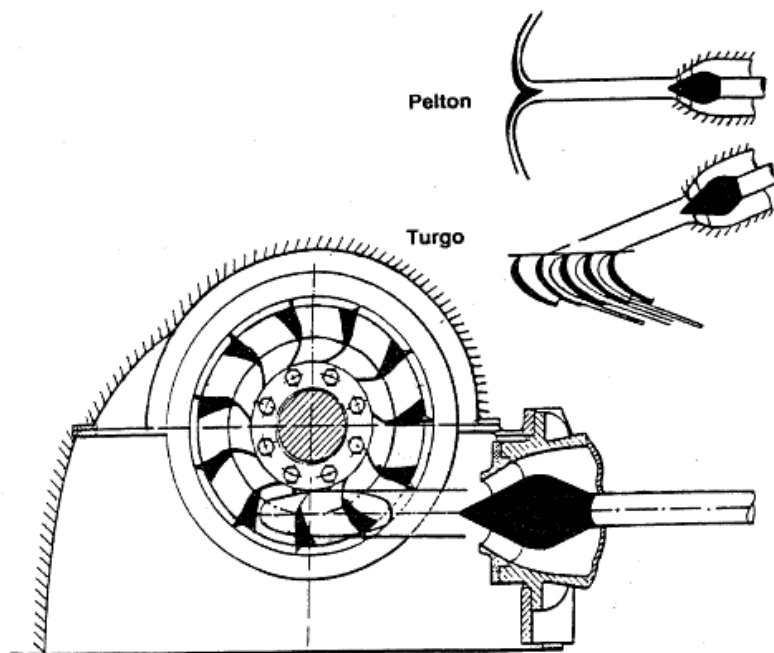


Υδροστροβίλος δράσεως τύπου Turgo 29

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

## 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

Ο υδροστρόβιλος Turgo είναι παρόμοιος του σχεδιασμού του Pelton, με τη διαφορά 1) ότι η εκροή του ύδατος από τα ακροφύσια προσκρούει σε σειρά πτερυγίων και όχι σε σκαφίδια και 2) η έξοδος του νερού, από τα πτερύγια δεν εμποδίζεται όπως γίνεται στα σκαφίδια του Pelton.



Ο υδροστρόβιλος Pelton έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιείται για μεγάλα ύψη πτώσεως του νερού, δηλαδή για  $> 130.0\text{m}$  η οποία μπορεί να λειτουργήσει και για ύψη πτώσης μεγαλύτερα των  $500.0\text{m}$ .

Το όνομά της το φέρει προς τιμή του L.A. Pelton ο οποίος έκανε την εφεύρεση το 1889. Η απόδοση της μηχανής είναι περίπου 90%.

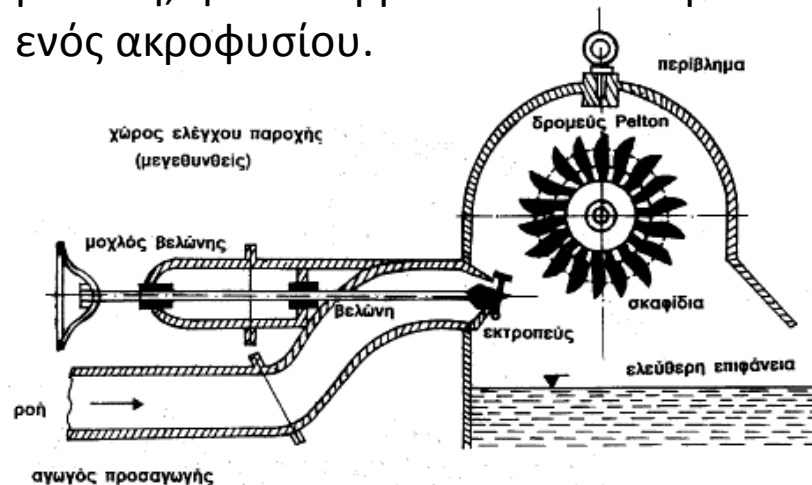
# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

Τα κύρια μέρη του υδροστροβίλου Pelton είναι:

1. Μηχανισμός ελέγχου παροχής
2. Δρομέας και σκαφίδια
3. Περίβλημα
4. Υδραυλική πέδη
5. Αυτόματος έλεγχος υδροστροβίλου

**α) Μηχανισμός ελέγχου παροχής:** Ο μηχανισμός αυτός ελέγχει την παροχή του νερού που πέφτει στο δρομέα του υδροστροβίλου και αποτελείται από 2 επιμέρους μηχανισμούς: α1) τη βελώνη, η οποία βρίσκεται στο άκρο ενός μεταλλικού εμβόλου και δύναται να κινείται εντός ενός ακροφυσίου.



Σχήμα 3.3 Μηχανισμός ελέγχου παροχής

Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η υγρή διατομή του ακροφυσίου μέσω της οποίας διέρχεται το νερό για να προσκρούσει στο δρομέα.

α2) μια μεταλλική επιφάνεια η οποία δύναται να εισέρχεται εντός της δέσμης νερού που παρέχει το ακροφύσιο, προκειμένου να μεταβάλλεται η κατεύθυνση (εκτροπέας) της δέσμης νερού προκειμένου να ελαττωθεί η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα.

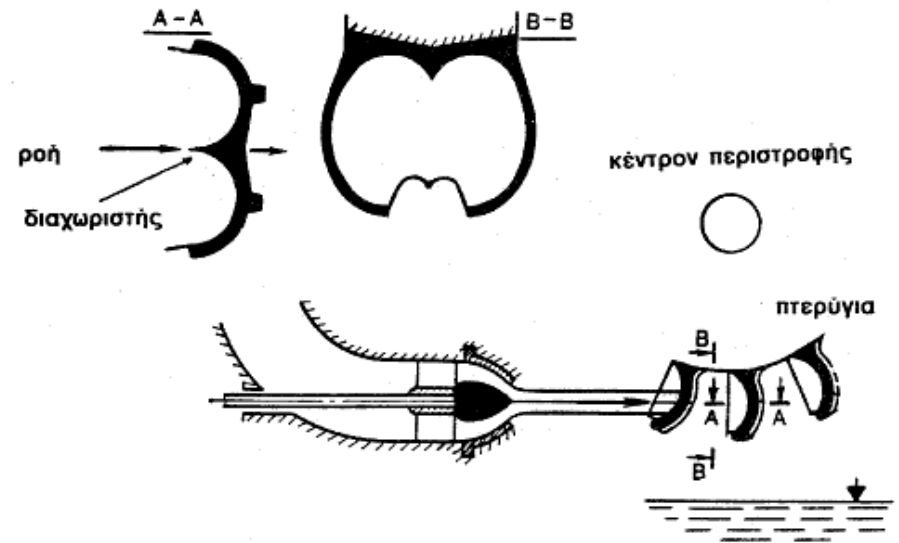
# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

**β) Δρομέας και σκαφίδια:** Ο δρομέας αποτελείται από ένα κυκλικό δίσκο στην περιφέρεια του οποίου βρίσκονται τοποθετημένα συμμετρικά τα σκαφίδια. Η διατομή ενός σκαφιδίου δείχνεται στο Σχήμα. Κάθε σκαφίδιο αποτελείται από 2 ημικυκλικά κύπελα τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα μεταλλικό διαχωριστή (splitter), ο οποίος αποτελεί την τομή συνένωσης των 2 κυπέλλων.

Η δέσμη του νερού προσκρούει στο διαχωριστή και διαμοιράζεται στα δυο. Σε κάθε τμήμα το νερό ρέει επί της λείας επιφάνειας των κυπέλλων και αλλάζοντας κατεύθυνση αναπτύσσει δύναμή πάνω στα κύπελλα.

Για αυτό το λόγο, τα κύπελα είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε οι δέσμες του νερού να εξέρχονται από τα σκαφίδια με τη μεγαλύτερη δυνατή μεταβολή της κατεύθυνσής τους, η οποία είναι της τάξης των  $165^\circ$ . Η χρήση των  $15^\circ$  αφορά την αποτροπή της δέσμης του νερού να προσκρούσει στο αμέσως επόμενο σκαφίδιο.



Σχήμα 3.4 Τυπική γεωμετρία σκαφιδίων δρομέως υδροστροβίλου Pelton



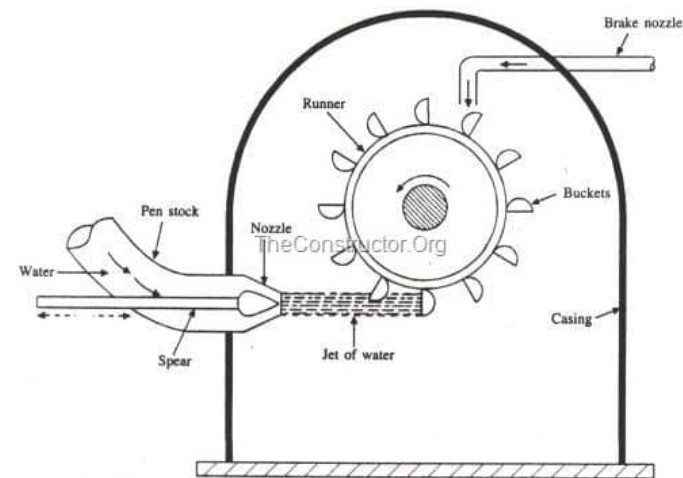
# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

Η χρήση των κυπέλλων επί του σκαφιδίου, δηλαδή το γεγονός ότι το σκαφίδιο αποτελείται από 2 κύπελλα, γίνεται για λόγους εξισορρόπησης των αναπτυσσόμενων επί των κυπέλλων δυνάμεων. Για την ανάπτυξη μεγαλύτερης ταχύτητας και ισχύος είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός ακροφύσια και επομένως δέσμες νερού που προσπίπτουν στο δρομέα

**γ) Περίβλημα:** Το περίβλημα του δρομέα δεν συμμετέχει στη υδραυλική μηχανική συμπεριφορά του ύδατος, απλώς αποτρέπει τη διάχυση του νερού στον περιβάλλοντα χώρο, προστατεύει τις λοιπές διατάξεις και οδηγεί το νερό στη διώρυγα φυγής.

**δ) Υδραυλική πέδη:** Στην περίπτωση που χρειαστεί να σταματήσει να παράγει ισχύ ο υδροστρόβιλος Pelton, τότε κλείνει η βαλβίδα εισόδου και τα ακροφύσια σταματούν να ρίχνουν νερό. Παρόλα αυτά, ο δρομέας διατηρεί την κεκτημένη ταχύτητα του, και ο ρόλος της υδραυλικής πέδης είναι να υποβοηθήσει στο σταμάτημα της περιστροφής του δρομέα. Η υδραυλική πέδη δηλαδή είναι μια διάταξη όπου μια δέσμη ύδατος η οποία εξέρχεται από ένα μικρό ακροφύσιο προσκρούει στην πίσω επιφάνεια των σκαφιδίων επιβραδύνοντας την περιστροφική κίνηση του δρομέα.



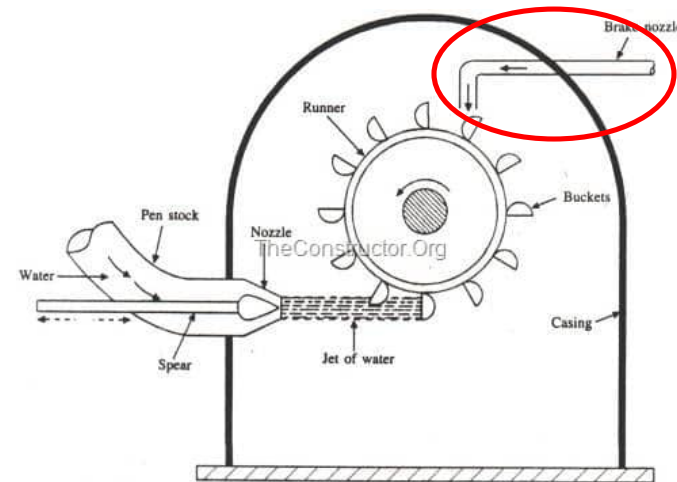
# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

Η χρήση των κυπέλλων επί του σκαφιδίου, δηλαδή το γεγονός ότι το σκαφίδιο αποτελείται από 2 κύπελλα, γίνεται για λόγους εξισορρόπησης των αναπτυσσόμενων επί των κυπέλλων δυνάμεων. Για την ανάπτυξη μεγαλύτερης ταχύτητας και ισχύος είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα του ενός ακροφύσια και επομένως δέσμες νερού που προσπίπτουν στο δρομέα

**γ) Περίβλημα:** Το περίβλημα του δρομέα δεν συμμετέχει στη υδραυλική μηχανική συμπεριφορά του ύδατος, απλώς αποτρέπει τη διάχυση του νερού στον περιβάλλοντα χώρο, προστατεύει τις λοιπές διατάξεις και οδηγεί το νερό στη διώρυγα φυγής.

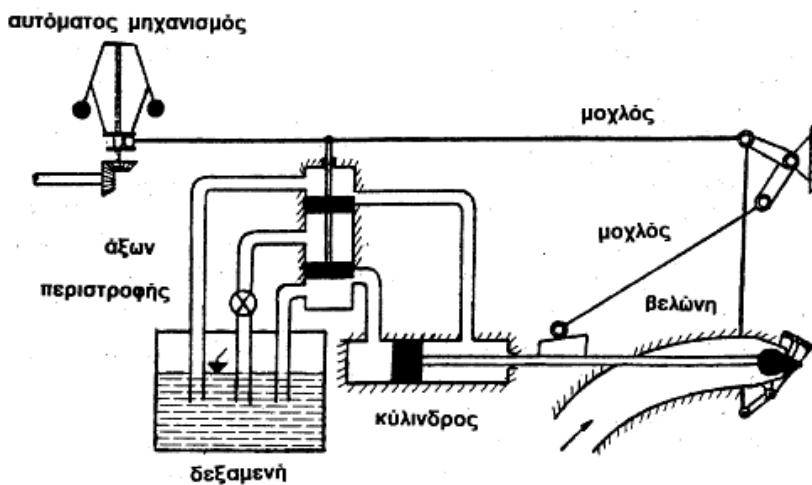
**δ) Υδραυλική πέδη:** Στην περίπτωση που χρειαστεί να σταματήσει να παράγει ισχύ ο υδροστρόβιλος Pelton, τότε κλείνει η βαλβίδα εισόδου και τα ακροφύσια σταματούν να ρίχνουν νερό. Παρόλα αυτά, ο δρομέας διατηρεί την κεκτημένη ταχύτητα του, και ο ρόλος της υδραυλικής πέδης είναι να υποβοηθήσει στο σταμάτημα της περιστροφής του δρομέα. Η υδραυλική πέδη δηλαδή είναι μια διάταξη όπου μια δέσμη ύδατος η οποία εξέρχεται από ενά μικρό ακροφύσιο προσκρούει στην πίσω επιφάνεια των σκαφιδίων επιβραδύνοντας την περιστροφική κίνηση του δρομέα.



# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

**ε) Αυτόματος έλεγχος υδροστροβίλου:** Η λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού σταθμού απαιτεί την έναρξη/παύση λειτουργίας της μονάδας καθώς επίσης και τη μεταβολή της ισχύος σύμφωνα με την παροχή ή το ύψος πτώσεως. Όλες αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του συστήματος αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ).



Σχήμα 3.5 Μηχανισμός ελέγχου υδροστροβίλου Pelton

Σκοπός του ΣΑΕ είναι η ορθή λειτουργία της μηχανής για οποιοδήποτε φορτίο. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω διατήρησης σταθερής περιστροφικής ταχύτητας του δρομέα της μηχανής και διατηρώντας την ταχύτητα ίση με την ταχύτητα σχεδιασμού.

Επίσης το ΣΑΕ περιλαμβάνει την κατανομή του φορτίου στις μηχανές, και επιτρέπει την παύση λειτουργίας σε περίπτωση υπερθέρμανσης των στροφείων ή ελαττωματικής λειτουργίας του συστήματος λίπανσης της μηχανής.

Σε περίπτωση που το φορτίο επί της γεννήτριας αυξηθεί τότε η ταχύτητα του δρομέα αυξάνει. Τότε το ΣΑΕ λειτουργεί για τη μείωση της περιστροφικής ταχύτητας μέσω της μείωσης της παροχής. Το αντίστροφο ισχύει σε περίπτωση που έχουμε μείωση του φορτίου. Σε κάθε περίπτωση το ΣΑΕ διατηρεί σταθερή τη περιστροφική ταχύτητα.

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.1 Κύρια μέρη υδροστροβίλου Pelton

Τέλος, οι υδροστροβίλοι Pelton διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

1. Υδροστροβίλοι με οριζόντια άτρακτο.
2. Υδροστροβίλοι με κατακόρυφη άτρακτο.

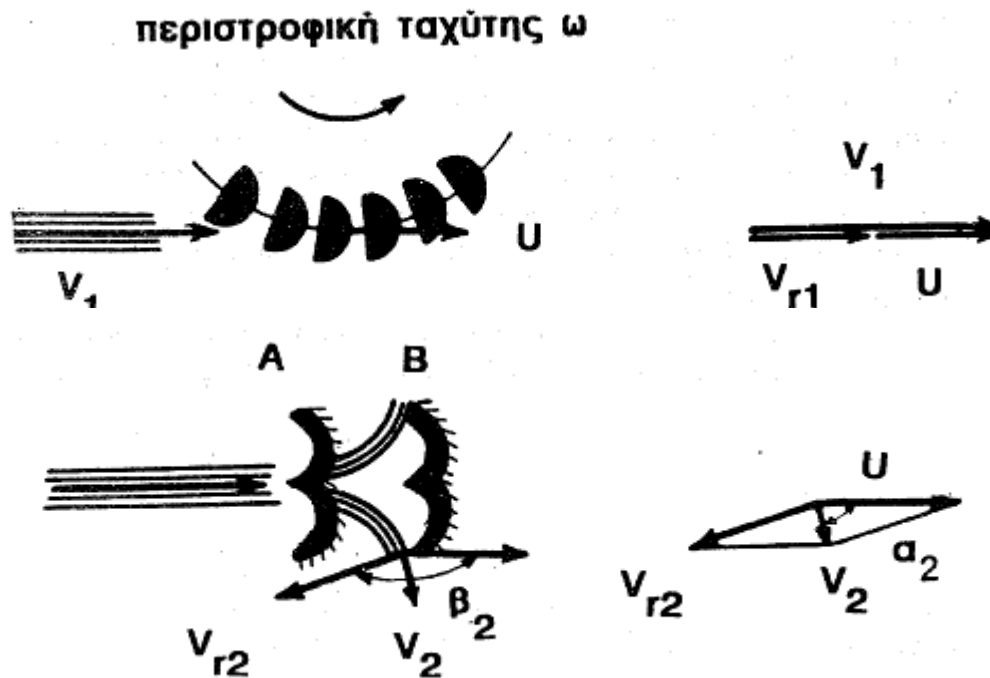
Υδροστροβίλοι Pelton με οριζόντια άτρακτο: Στην περίπτωση αυτή συνήθως υπάρχουν 2 δρομείς εκατέρωθεν της γεννήτριας, και κάθε δρομέας μπορεί να δέχεται το πολύ 2 δέσμες ύδατος.

Υδροστροβίλοι Pelton με κατακόρυφη άτρακτο: Επιλέγονται για λόγους οικονομίας χώρου και για εκμετάλλευση του μεγάλου ύψους πτώσης του νερού. Μέσω της αύξησης του αριθμού δεσμών εκροής ύδατος είναι δυνατόν να αυξηθεί η ταχύτητα του δρομέα. Σε ένα και μόνο δρομέα μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως και 6 δέσμες εκροής ύδατος (ακροφύσια).

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Το Σχήμα 3.6 δείχνει τη δέσμη ύδατος η οποία εξέρχεται από το ακροφύσιο και προσπίπτει στα σκαφίδια του δρομέα. Η δέσμη αφού διαχωριστεί σε 2 ίσα τμήματα ακολουθεί την πορεία που διαγράφουν τα κύπελλα.



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα τριγώνων λειτουργίας υδροστρόβιλου Pelton

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Έστω ότι η απόλυτη ταχύτητα της δέσμης πριν την πρόσκρουση επί των σκαφιδίων είναι  $V_1$ . Η γραμμική ταχύτητα του δρομέα θεωρείται ότι είναι  $U$  και δίνεται από την εξίσωση:

$$U = \omega r \quad (3.1)$$

Όπου  $\omega$  (ακτίνια/δευτερόλεπτο) η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής και  $r$  η ακτίνα του κύκλου περιστροφής των σκαφιδίων του δρομέως. Επειδή όμως η γωνιακή ταχύτητα ορίζεται ως

$$\omega = 2.0 \pi N \quad (3.2)$$

όπου  $N$  (στροφές/δευτερόλεπτο) επίσης η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής. Τότε η Εξίσωση 3.1 να γράφεται ως

$$U = 2.0 \pi N r \quad (3.3)$$

Και επειδή συνήθως οι στροφές ( ή περιστροφές) δίνονται σε κύκλους ανά λεπτό, τότε η Εξίσωση 3.3 λαμβάνει τη μορφή:

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

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Η σχετική ταχύτητα  $V_{r1}$  προ της πρόσκρουσης (δηλαδή στην είσοδο) είναι

$$V_{r1} = V_1 - U \quad (3.5)$$

διότι η γωνία  $\alpha_1$  της απόλυτου ταχύτητας  $V_1$  της δέσμης ύδατος με τη γραμμική ταχύτητα  $U_1$  είναι  $0^\circ$ . Στην περίπτωση αυτή το τρίγωνο λειτουργίας έχει εκφυλιστεί σε ευθεία γραμμή.

Η δέσμη εκτρέπεται από το σκαφίδιο συμμετρικά και υπό γωνία  $\beta_2$  ως προς το άξονα του σκαφιδίου, Σχήμα 3.6. Η γραμμική ταχύτητα του υδροστροβίλου στην είσοδο 1 και στην έξοδο 2 είναι σχεδόν ίδια, για αυτό το λόγο θεωρούμε ότι

$$U_1 = U_2 \quad (3.6)$$

Η γωνία εξόδου της απόλυτου ταχύτητας της δέσμης  $V_2$  με τη γραμμική ταχύτητα  $U_2$  είναι η  $\alpha_2$ . Με εφαρμογή των αρχών διατήρησης της ορμής και αγνοώντας της αναπτυσσόμενες τριβές της δέσμης του ύδατος με τη μεταλλική επιφάνεια των σκαφιδίων, η δύναμη  $F$  η οποία ασκείται από το νερό στα σκαφίδια κατά τη διεύθυνση της κίνησης είναι

$$F = \rho Q (V_1 - V_2 \cos \alpha_2) \quad (3.7)$$

όπου  $Q$  η παροχή της δέσμης.



# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Η εξίσωση 3.7

$$F = \rho Q (V_1 - V_2 \cos\alpha_2) \quad (3.7)$$

αν εκφραστεί με όρους σχετικών ταχυτήτων τότε γράφεται ως:

$$F = \rho Q (V_{r1} - V_{r2} \cos\beta_2) \quad (3.8)$$

ή

$$F = \rho Q V_{r1} (1.0 - \cos\beta_2) \quad (3.9)$$

και αυτό διότι η σχετική ταχύτητα εντός των σκαφιδίων αλλάζει ελάχιστα κατά μέγεθος, είναι δηλαδή  $V_{r1} = V_{r2}$ .

Η εξίσωση 3.9, λόγω της εξίσωσης 3.5 μπορεί να γραφεί ως:

$$F = \rho Q (V_1 - U) (1.0 - \cos\beta_2) \quad (3.10)$$



# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Θεωρώντας ότι έχουμε μόνιμη ροή, η αναπτυσσόμενη ροπή στρέψεως  $T_R$  (N m) είναι:

$$T_R = F r \quad (3.11)$$

Και η ισχύς  $I_R$  είναι

$$I_R = T_R \omega \quad (3.12)$$

Λόγω των εξισώσεων 3.1, 3.10 και 3.11 η ανωτέρα εξίσωση γίνεται:

$$I_R = \rho Q U (V_1 - U) (1.0 - \cos\beta_2) \quad (3.13)$$

Επίσης το εσωτερικό ύψος του δρομέα  $H_R$  μπορεί να υπολογισθεί ως (Εξίσωση Euler):

$$H_R = \frac{U_1 V_1 \cos\alpha_1 - U_2 V_2 \cos\alpha_2}{g} \quad (3.14)$$

ή

$$H_R = \frac{U (V_1 - V_2 \cos\alpha_2)}{g} \quad (3.15)$$

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Προφανώς, όταν  $V_1 = U$  ή όταν  $U = 0.0$  m/s ουδεμία ισχύς αναπτύσσεται στη μηχανή. Για δοθέντα υδροστρόβιλο και δοθείσα δέσμη, η μέγιστη ισχύς εμφανίζεται στις ενδιάμεσες τιμές της γραμμικής ταχύτητας  $U$ .

Διαφορίζοντας την Εξίσωση 3.13 και θέτοντας ίσο με μηδέν έχουμε:

$$\frac{dI_R}{dU} = \rho Q (1.0 - \text{συν}\beta_2) (V_1 - 2.0 U) = 0.0 \quad (3.16)$$

από την οποία προκύπτει ότι

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

Κατά συνέπεια, η μέγιστη υδραυλική ισχύς λαμβάνεται όταν η περιφερειακή ταχύτητα του δρομέα είναι το μισό της ταχύτητας της δέσμης του προσκρούμενου ύδατος.

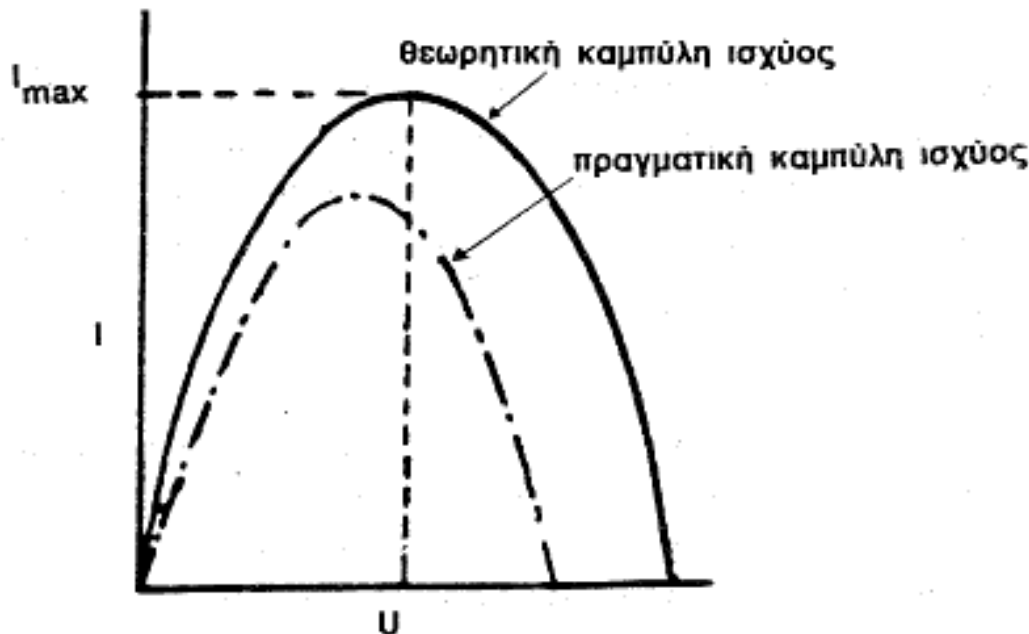
Μετρήσεις σε υδροστροβίλους δράσεως έδειξαν ότι η τιμή αυτή δεν είναι το 50% της ταχύτητας της δέσμης αλλά κυμαίνεται μεταξύ του 43.0 και 48.0% αυτής.

Στο Σχήμα 3.7 δείχνονται οι θεωρητικές και πραγματικές καμπύλες ισχύος του υδροστρόβιλου Pelton για διάφορες τιμές της γραμμικής ταχύτητας.

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Η πραγματική ισχύς η οποία αποδίδεται από τον υδροστρόβιλο είναι μικρότερη της θεωρητικής λόγω των μερικών μετατροπών τμημάτων ενέργειας σε θερμική λόγω τριβών. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι η μείωση της απόδοσης λειτουργίας στο 90.0% περίπου και μείωση της περιστροφικής ταχύτητας στο 0.46 της προσιπτούσας ταχύτητας από τη δέσμη ύδατος.



Σχήμα 3.7 Θεωρητικάί και πραγματικάί καμπύλαι ισχύος του υδροστροβίλου Pelton διά διαφόρους τιμάς της γραμμικής ταχύτητος  $U$

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Επειδή το ακροφύσιο θεωρείται τμήμα του υδροστρόβιλου Pelton το καθαρό ύψος  $H_n$  το οποίο δρα επί της μηχανής είναι το άθροισμα των:

- Φορτίου λόγω πίεσης  $p/\rho h$  και του
- Κινητικού ύψους  $V_1^2/2g$ , στην είσοδο του ακροφυσίου.

Η ισχύς  $I_R$  που αποδίδει ο υδροστρόβιλος στη γεννήτρια ισούται με:

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

όπου  $\eta$  η ολική απόδοση της μονάδας.

Στις απώλειες ενέργειας περιλαμβάνονται οι:

- Απώλειες ροής μέσω του ακροφυσίου,
- Απώλειες λόγω τριβών της ροής στα σκαφίδια,
- Η κινητική ενέργεια του νερού που αποχωρεί από τα σκαφίδια, και
- Η αντίσταση του αέρα λόγω περιστροφής του δρομέα σε περιβάλλον ατμοσφαιρικής πίεσης.

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Στην περίπτωση που έχουμε καθαρό φορτίο  $H_n$  και η μέγιστη θεωρητική ισχύς είναι  $I_{max}$  που μπορεί να αναπτυχθεί στον υδροστρόβιλο, τότε ο συνδυασμός των εξισώσεων 3.13 και 3.17 μας δίνει:

$$I_{max} = \frac{\rho Q V_1 (V_1 - \frac{V_1}{2.0})(1.0 - \sigma\upsilon\nu\beta_2)}{2.0} \quad (3.19)$$

ή

$$I_{max} = \frac{\rho Q (1.0 - \sigma\upsilon\nu\beta_2) V_1^2}{4.0} \quad (3.20)$$

Η μέγιστη λοιπόν απόδοση  $\eta_{max}$  είναι ο λόγος της μέγιστης ισχύς  $I_{max}$  που μπορεί να αναπτυχθεί στον υδροστρόβιλο προς την ισχύ που παράγει το ακροφύσιο  $\rho g Q H_n$ :

$$\eta_{max} = \frac{(1.0 - \sigma\upsilon\nu\beta_2) V_1^2}{4.0 H_n g} \quad (3.21)$$

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.2 Παραγόμενο έργο και απόδοση λειτουργίας

Επειδή όμως:

$$V_1 = C_v (2.0 \text{ g H}_n)^{1/2} \quad (3.22)$$

Όπου  $C_v$  ο συντελεστής ταχύτητας, με τιμή για καλά σχεδιασμένο ακροφύσιο ίση με 1.0, η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$n_{\max} = \frac{(1.0 - \sin\beta_2)}{2.0} \quad (3.23)$$

Από την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να καταλάβουμε πως αν  $\beta_2 = 180^\circ.0$ , τότε θα είχαμε  $n_{\max} = 100.0\%$ , γεγονός όμως που δεν ισχύει γιατί τότε η απομάκρυνση της δέσμης από το σκαφίδιο θα προσέκρουε στην πίσω πλευρά του σκαφιδίου που θα ακολουθούσε.

Με  $\beta_2 = 165^\circ.0$ , τότε η τυπική τιμή της μέγιστης απόδοσης είναι  $n_{\max} = 98.3\%$ .

## 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Παράδειγμα: Εις σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι εφοδιασμένος με υδροστροβίλον τύπου Pelton. Η ελεύθερα επιφάνεια του ταμιευτήρος ευρίσκεται 405.0 m υπεράνω του υδροστροβίλου. Ο αγωγός προσαγωγής του ύδατος εις την μηχανήν είναι μήκους 5.8 Km, εσωτερικής διαμέτρου 500.0 mm και ο συντελεστής απωλειών ενέργειας λόγω τριβών κατά την ροήν του ύδατος είναι  $f = 0.005$ . Η εσωτερική διάμετρος του ακροφυσίου του υδροστροβίλου είναι 100.0 mm. Τα κύπελλα του δρομέως είναι τοποθετημένα επί περιφέρειας κύκλου διαμέτρου 1.70 m και εκτρέπουν την προσπίπτουσαν δέσμη κατά  $165^{\circ}.0$ . Κατά την ροήν του ύδατος επί των κυπέλλων η τριβή έχει ως αποτέλεσμα την μείωσιν της ταχύτητος του ύδατος κατά 8.5%. Να υπολογισθή η υδραυλική και η ολική απόδοσις του υδροστροβίλου εάν αι μηχανικαί απώλειαι εκτιμηθούν εις το 10.0% της αποδιδομένης υπό του υδροστροβίλου ισχύος, ενώ η περιστροφική ταχύτης του δρομέως είναι 400.0 στροφαί/λεπτόν. Επίσης, ζητείται να υπολογισθή η περιστροφική ταχύτης του δρομέως διά της οποίας θα ληφθή η μεγίστη δυνατή απόδοσις λειτουργίας.

## 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Λύσις: Το διαθέσιμον φορτίον του ύδατος των 405.0 m πρέπει πρώτον να μειωθεί κατά το ποσόν των απωλειών φορτίου λόγω τριβής του ύδατος εις τον αγωγόν προσαγωγής. Μετά ταύτα μετατρέπεται εντός του ακροφυσίου εις κινητικήν ενέργειαν με ταχύτητα  $V_1$ . Οι απώλειαι φορτίου  $h_f$  εντός του αγωγού προσαγωγής είναι,

$$h_f = f L/D V^2/2g$$

και επειδή,

$$f = 0.005$$

$$L = 5800.0 \text{ m}$$

$$D = 0.5 \text{ m και}$$

$$V = Q/(\pi D^2/4.0) = Q/(3.14 \times 0.5^2/4.0) = Q/0.19625$$

η ανωτέρω εξίσωσις γράφεται,

$$h_f = 0.005 \times 5800.0 / 0.5 \times [Q^2/(0.19625^2 \times 2.0 \times 9.81)] = 76.755 Q^2$$



# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

άρα, το διαθέσιμον καθαρόν φορτίον προ της εισόδου του ύδατος εις το ακροφύσιον είναι,  $405.0 - 76.755 Q^2$  και τούτο μετατρέπεται εις κινητικόν ύψος,  $V_1^2/2g$ . Αλλά,

$$V_1 = Q/A_{\text{ακρ}} = Q/(\pi D_{\text{ακρ}}^2/4.0) = Q/(3.14 \times 0.1^2/4.0) = 127.39 Q$$

ένθα  $A_{\text{ακρ}}$  και  $D_{\text{ακρ}}$  το εμβαδόν της διατομής και η διάμετρος του ακροφυσίου, αντιστοίχως. Είναι λοιπόν,

$$405.0 - 76.755 Q^2 = V_1^2/2g = 127.39^2 Q^2/(2.0 \times 9.81)$$

και επομένως,

$$405.0 - 76.755 Q^2 = 827.126 Q^2 \text{ ή } Q = 0.6694 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{και } V_1 = Q/A_{\text{ακρ}} = 0.6694/(3.14 \times 0.1^2/4.0) = 85.273 \text{ m/s}$$

Η γραμμική ταχύτης των κυπέλλων, ιδέ εξίσωσιν 3.4, είναι,

$$U = 3.14 \times 400.0 \times 1.7/60.0 = 35.59 \text{ m/s}$$

Επομένως, η σχετική ταχύτης του ύδατος κατά την είσοδον επί των κυπέλλων είναι,

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

$$V_{r1} = V_1 - U = 85.273 - 35.59 = 49.686 \text{ m/s}$$

Η ταχύτης αυτή του ύδατος μειούται κατά 8.5 % κατά την διέλευσιν της δέσμης εκ των κυπέλλων. Άρα η ταχύτης του ύδατος κατά την έξοδον εκ των κυπέλλων θα είναι  $V_{r2} = 49.686 - 0.085 \times 49.686 = 42.233 \text{ m/s}$ . Επίσης, η δέση του ύδατος έχει εκτραπεί κατά  $165^\circ$ . Οι αναπτυσσόμεναι δυνάμεις επί των κυπέλλων είναι αποτέλεσμα της μεταβολής της ορμής κατά την επαπτομενικήν διεύθυνσιν επί του επιπέδου περιστροφής του δρομέως. Συνιστώσαι ορμής κάθετοι επί του επιπέδου περιστροφής δεν φέρουν αποτελέσματα επί της αναπτυσσομένης ισχύος του υδροστροβίλου. Λόγω της εξισώσεως 3.8 είναι,

$$F = \rho Q (V_{r1} - V_{r2} \text{ συν}\beta_2)$$
$$= 1000.0 \times 0.6694 \times (49.686 - 42.233 \times \text{συν}165^\circ) = 60567.28 \text{ N}$$

Και λόγω των εξισώσεων 3.11 και 3.12 η αναπτυσσομένη ισχύς επί του δρομέως είναι,

$$I_R = F U = 60567.28 \times 35.59 = 2155589.3 \text{ W} = 2.1556 \text{ MW}$$

Οι μηχανικαί απώλειαι είναι 10.0 % και επομένως η πραγματική ισχύς η λαμβανομένη εκ του υδροστροβίλου είναι 1.94 MW. Διά τον υπολογισμόν των αποδόσεων λειτουργίας του υδροστροβίλου πρέπει να είναι γνωστή η ισχύς η αναπτυσσομένη υπό της δέσμης του ύδατος του ακροφυσίου προτού αυτή προσπέση επί των κυπέλλων του δρομέως. Η ισχύς αυτή δίδεται διά του πολλαπλασιασμού του κινητικού ύψους της δέσμης  $V_1^2/2g$  με το γινόμενον  $\rho g Q$ . Είναι λοιπόν,

## 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

$$\rho g Q V_1^2/2g = \rho Q V_1^2/2 = 1000.0 \times 0.6694 \times 85.273^2 = 4.867 \text{ MW}$$

και επομένως η υδραυλική απόδοσις είναι  $2.1556/4.867 = 44.29 \%$  ενώ η ολική απόδοσις είναι  $1.94/4.867 = 20.546 \%$ . Εκ της εξισώσεως 3.17 η μεγίστη υδραυλική ισχύς λαμβάνεται όταν η περιφερειακή ταχύτης του δρομέως  $U$  είναι το ήμισυ της ταχύτητος της δέσμης του προσκρούοντος ύδατος  $V_1$ . Άρα,

$$U = V_1/2.0 = 85.273/2.0 = 42.636 \text{ m/s}$$

$$\text{Επειδή δε, } U = 2.0 \pi N r/60.0 = 2.0 \times 3.14 \times N \times (1.7/2.0)/60.0$$

$$= 0.08896 \times N$$

συμπεραίνεται ότι  $N = 479.23$  στροφαι ανά πρώτον λεπτόν της ώρας.

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Έστω ότι απαιτείται να σχεδιαστεί ο δρομέας ενός υδροστρόβιλου Pelton ο οποίος θα χρησιμοποιεί  $j$  ακροφύσια, θα αναπτύσσει ισχύ  $I_R$  υπό καθαρό φορτίο  $H_n$ , με  $N$  αριθμό περιστροφών ανά πρώτο λεπτό, με παροχή  $Q$  και συντελεστή απόδοσης λειτουργίας  $\eta$ . Τότε:

$$I_R = \eta \rho g Q H_n j \quad (3.24)$$

Αλλά:

$$Q = A_{\text{ακρ}} V_1 \quad (3.25)$$

και στην περίπτωση κυκλικής διατομής δέσμης, ακτίνας  $r_o$  τότε:

$$A_{\text{ακρ}} = \pi r_o^2 \quad (3.26)$$

και λόγω της εξίσωσης 3.22, η εξίσωση 3.24 γίνεται:

$$I_R = \eta \rho g \pi r_o^2 (2.0 g H_n)^{1/2} H_n j \quad (3.27)$$

Και επομένως η ακτίνα της δέσμης ακροφυσίου ορίζεται από την εξίσωση:

$$r_o = \left[ \frac{I_R}{\eta \rho g \pi (2.0 g)^{1/2} H_n^{3/2} j} \right]^{1/2} \quad (3.28)$$

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το μέγεθος της γεωμετρίας της δέσμης των ακροφυσίων εξαρτάται από την ισχύ που απαιτείται να αναπτύξει η μηχανή και από το διαθέσιμο καθαρό ύψος πτώσης.

Από τις Εξισώσεις 3.4 και 3.22, και θεωρώντας ότι ο δρομέας θα περιστρέφεται με ταχύτητα η οποία αποδίδει στη μηχανή τη μέγιστη απόδοση λειτουργίας, δηλαδή  $U = 0.46V_1$ , είναι:

$$r = \frac{0.46 \times 30.0 \times (2.0 \times 9.81)^{1/2} \times H_n^{1/2}}{\pi \times N} \quad (3.29)$$

Επομένως η ακτίνα  $r$  του δρομέα εξαρτάται από το διαθέσιμο καθαρό ύψος πτώσης και την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής του δρομεά.

Ο σχεδιασμός του υδροστρόβιλου μπορεί να επικεντρωθεί στο λόγο  $r_o/r$  και στον αριθμό των διαθέσιμων ακροφυσίων. Για γωνία εκτροπής  $165^\circ.0$  και με λειτουργία της μηχανής στη μέγιστη απόδοση έχουμε ότι:

$$\frac{r_o}{r} = \frac{0.0765 (N I_R^{1/2} / H_n^{5/4})}{n^{1/2} \rho^{1/2} g^{5/4} j^{1/2}} \quad (3.30)$$

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton

Από τα παραπάνω εξίσωση (Εξ. 3.30) και δεδομένου του γεγονότος ότι η απόδοση λειτουργίας της μηχανής κυμαίνεται σταθερά μεταξύ 0.85-0.90, το γινόμενο  $n^{1/2} \rho^{1/2} g^{5/4}$  παραμένει σταθερό και για  $\rho=1000.0 \text{Kg/m}^3$ ,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  είναι.

$$\frac{r_o}{r} = \frac{0.000149 N I_R^{1/2} / H_n^{5/4}}{J^{1/2}} \quad (3.31)$$

ή

$$\frac{N I_R^{1/2}}{H_n^{5/4}} = \frac{6711.4 J^{1/2} r_o}{r} \quad (3.32)$$

Και θέτοντας την ισχύ σε KW, είναι:

$$\frac{N I_R^{1/2}}{H_n^{5/4}} = \frac{212.23 J^{1/2} r_o}{r} \quad (3.33)$$

Το γινόμενο  $N I_R^{1/2} / H_n^{5/4}$  ονομάζεται ειδική ταχύτητα  $n_s$  του υδροστροβίλου,

$$n_s = \frac{N I_R^{1/2}}{H_n^{5/4}} \quad (3.34)$$

Και δηλώνει τον τρόπο ομαδοποίησης των μεταβλητών  $N$ ,  $I_R$  και  $H_n$  ώστε να υπολογισθεί ο λόγος  $r_o/r$  προκειμένου να σχεδιαστεί ο υδροστροβίλος.

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton

Προσεκτική μελέτη των μονάδων της ειδικής ταχύτητας, μας αποκαλύπτει ότι οι διαστάσεις της ειδικής ταχύτητας δεν είναι μονάδες ταχύτητας (γραμμικής ή περιστροφικής).

Η αριθμητική τιμή  $n_s$  ενός υδροστροβίλου δηλώνει την περιστροφική ταχύτητα που πρέπει να έχει μια άλλη μηχανή ομοίου σχήματος αλλά διαφορετικών διαστάσεων προκειμένου να αναπτύξει ισχύ 1.0 KW υπό φορτίο ενός μέτρου. Φυσικά και οι 2 υδροστροβίλοι πρέπει να έχουν την ίδια απόδοση λειτουργίας.

Ο μέγιστος λόγος  $r_o/r$  που μπορεί να ληφθεί στην πράξη είναι 1.0/9.0, επομένως η Εξίσωση 3.33, γράφεται ως:

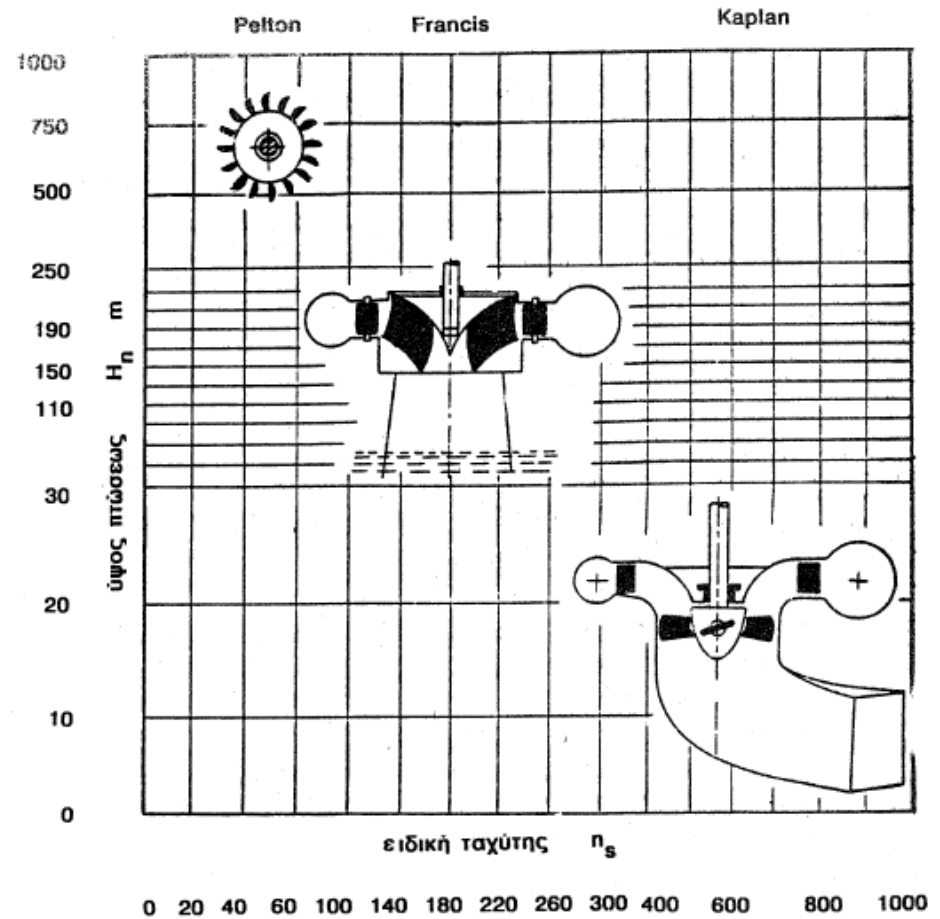
$$\frac{N I_R^{1/2}}{H_n^{5/4}} = 23.58 J^{1/2} \quad (3.35)$$

Η ειδική ταχύτητα αποτελεί τη βάση για την επιλογή ενός υδροστροβίλου. Ο Πίνακας 3.1 δείχνει το είδος του υδροστροβίλου που πρέπει να επιλεγεί σύμφωνα με την ειδική ταχύτητα, και το Σχήμα 3.8 δείχνει με γραφικό τρόπο τα στοιχεία του Πίνακα.

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Είδος υδροστροβίλου	Ειδική ταχύτης $n_s$	Ύψος πτώσεως $H_n$ (m)
α) Pelton ενός ακροφυσίου	10.0-30.0	300.0 και άνω
Pelton πολλαπλών ακροφυσίων	30.0-60.0	300.0 και άνω
β) Francis	60.0-300.0	50.0-300.0
γ) Kaplan	300.0-1000.0	50.0 και κάτω

Πίναξ 3.1 Επιλογή υδροστροβίλου με χρήση ειδικής ταχύτητας



Σχήμα 3.8 Επιλογή υδροστροβίλου με χρήση της ειδικής ταχύτητας



## 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

Παράδειγμα: Διά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εγκατεστημένης ισχύος 25000.0 KW και διά τα κατωτέρω ύψη πτώσεως: 1) 750.0 m, 2) 545.0 m, 3) 434.0 m, 4) 259.0 m, 5) 169.0 m, 6) 90.0 m, 7) 30.0 m και 8) 13.0 m να υπολογισθούν αι ακτίνας της δέσμης του ακροφυσίου και του δρομέως υδροστροβίλου τύπου Pelton ο οποίος περιλαμβάνει μόνον έν ακροφύσιον. Η επιλογή να βασισθή εις τον λόγον  $r_o/r = 1.0/9.0$  ο οποίος αντιστοιχεί εις τον πλέον συμπαγήν τύπον μηχανής Pelton. Το ύδωρ θεωρείται ότι είναι το ρέον ρευστόν και δι' όλα τα ύψη πτώσεως η απόδοσις λειτουργίας θεωρείται ότι είναι η ίδια και ίση με 0.875.

# 3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Λύσις: Εκ της εξισώσεως 3.35 και επειδή ο αριθμός των ακροφυσίων  $j$  είναι μόνον 1, η ειδική ταχύτης  $n_s$  είναι,

$$n_s = N I_R^{1/2} / H_n^{5/4} = 23.58 j^{1/2} = 23.58$$

και άρα  $N = 0.1491 H_n^{5/4}$  με  $r = 9.0 r_o$ . Επίσης, εκ της εξισώσεως 3.28 με

$$I_R = 25000.0 \text{ KW},$$

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

$$n = 0.875,$$

$$\rho = 1000.0 \text{ Kg/m}^3 \text{ με}$$

$$j = 1, \text{ είναι,}$$

$$r_o = 4.106/H_n^{3/4}$$

Ούτως δημιουργείται ο κάτωθι Πίναξ 3.2,

$H_n$	$N = 0.1491 H_n^{5/4}$	$r_o = 4.106/H_n^{3/4}$	$r = 9.0 r_o$
m	στροφαί/λεπτόν	cm	cm
750.0	585.33	2.865	25.785
545.0	392.71	3.640	32.760
434.0	295.42	4.318	38.862
259.0	154.96	6.360	57.240
169.0	90.87	8.760	78.840
90.0	41.34	14.051	126.459
30.0	10.47	32.031	288.279
13.0	3.68	59.973	539.757

Πίναξ 3.2 Υπολογισμός διαστάσεων δομέως υδροστροβίλου Pelton

# 3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

Από τον παραπάνω πίνακα είναι προφανές ότι από μικρό ύψος πτώσης ο αριθμός των περιστροφών του δρομέα είναι αρκετά χαμηλός και δεν ικανοποιεί τις ανάγκες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, διότι απαιτείται περιστροφική ταχύτητα της τάξης των 50 στροφών ανά πρώτο λεπτό της ώρας.

Επιπλέον, τόσο αργοκίνητες μονάδες είναι δύσκολο να ελεγχθούν ώστε να διατηρηθεί σταθερή ταχύτητα περιστροφής σε περίπτωση μεταβολής του φορτίου.

Η προσαρμογή της περιστροφικής ταχύτητας πρέπει να γίνει σε σχέση και με τη περιστροφική ταχύτητα της γεννήτριας, η οποία υπολογίζεται ως  $N=120 \cdot f /$  αριθμό πόλων, με  $f$  (Hz) η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (για την Ελλάδα  $f = 50$  Hz), άρα  $N=6000 /$  αριθμό πόλων.

Ο αριθμός των πόλων πρέπει να είναι διαιρεταίος του 2 ή προτιμότερα του 4.

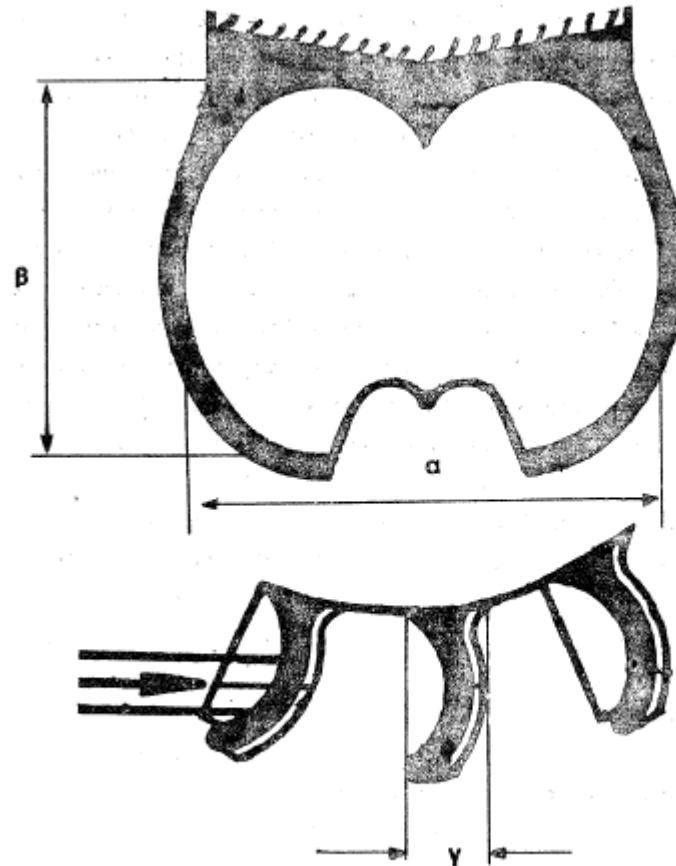
Με βάση τα παραπάνω, ο Πίνακας 3.2 υποδεικνύει πως η επιλογή ενός υδροστροβίλου πρέπει να στηρίζεται σε ύψη πτώσης της τάξης των 150.0m και άνω.

# 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 και συμβολίζεται ως  $n'_s$ .

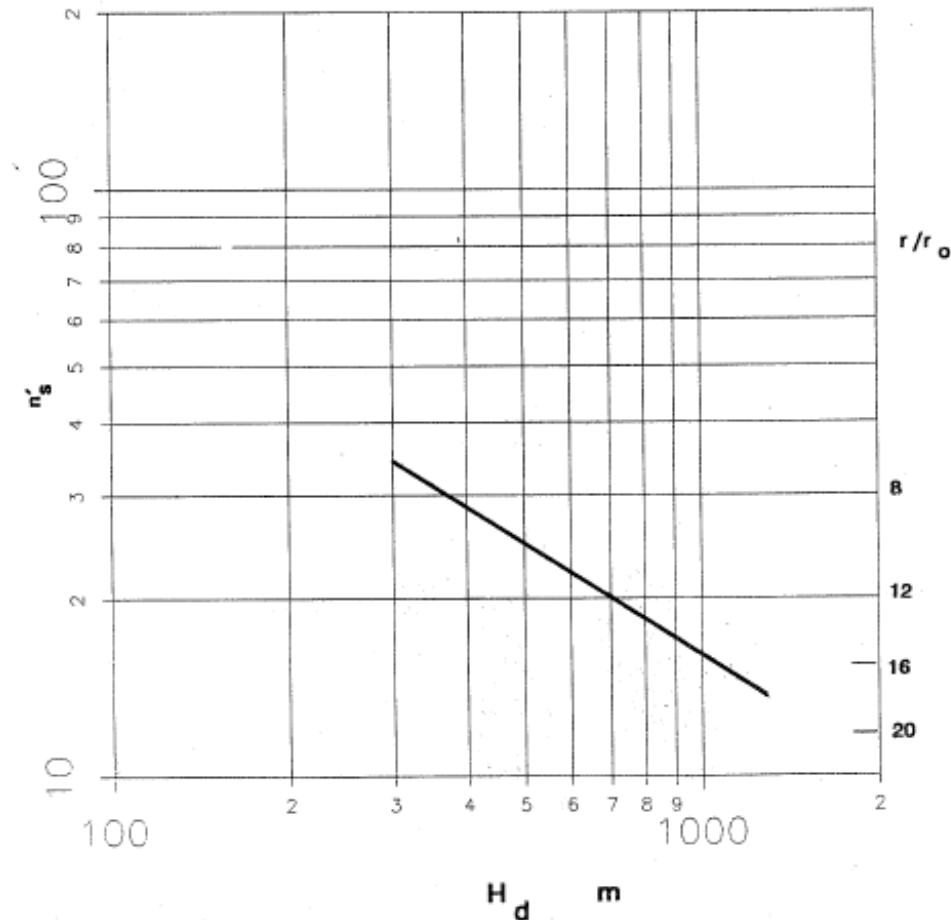
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του ιδανικού αριθμού στροφών με το ύψος πτώσης μελέτης  $H_d$  και η εξίσωση 3.34 γίνεται:

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

# 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

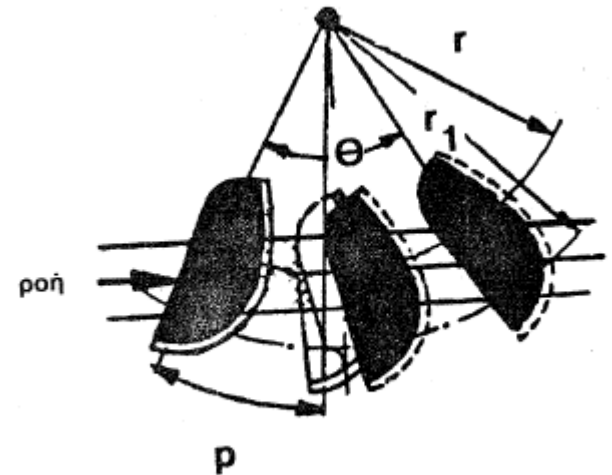
## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστρόβιλου Pelton

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  $\theta$ , 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 ικανοποιητική 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

## 3.1.3 Σχεδιασμός δρομέα υδροστροβίλου Pelton

Επειδή όμως:

$$\frac{N_m I_{R_m}^{1/2}}{H_{n_m}^{5/4}} = \frac{N_p I_{R_p}^{1/2}}{H_{n_p}^{5/4}} \quad (3.36)$$

$I_{R_p}$

$$n_{s\mu} = \frac{3.6508 N (Q_{\mu n})^{1/2}}{H_n^{3/4}} \quad (3.38)$$

$H_{n_p}$

$H_{n_m}$

$$m = j k \quad (3.39)$$

$I_{R_m}$

$$Q_{\mu} = m Q \quad (3.40)$$

$$n_{s\mu} = n_s m^{1/2} \quad (3.41)$$

$$n_s = \frac{3.6508 N (Q_{\mu n})^{1/2}}{H_n^{3/4} m^{1/2}} \quad (3.42)$$

***Ευχαριστώ για την προσοχή σας!***