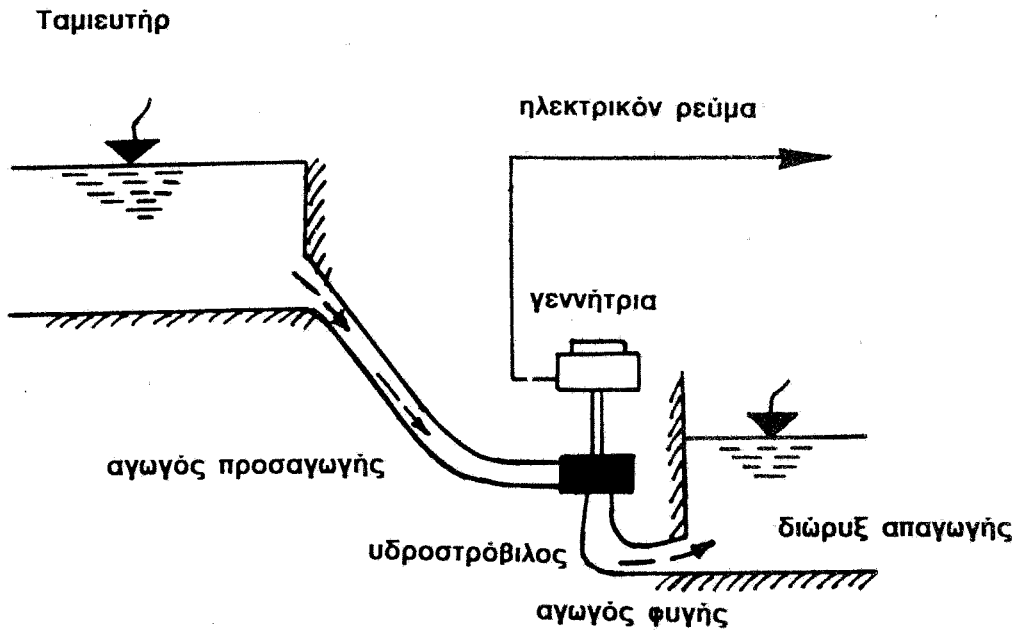


ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 1 ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

1.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Η πλέον ουσιώδης λειτουργία μιάς υδραυλικής μηχανής είναι η πραγματοποίησις της εναλλαγής ενεργείας μεταξύ ενός μηχανικού συστήματος και ενός υδραυλικού τοιούτου. Όταν η ενέργεια λαμβάνεται εκ του ρέοντος ρευστού (ύδατος) και η ολική ενέργεια του ρευστού εις την είσοδον είναι μεγαλύτερα της ενεργείας του ρευστού εις την έξοδον της μηχανής τότε αι υδραυλικαί αύται μηχαναί χαρακτηρίζονται ως υδροστρόβιλοι. Η βασικωτέρα λειτουργία ενός υδροστρόβιλου είναι η παραγωγή ενεργείας διά της ροής ύδατος εις χαμηλότερον ύψος. Εις το Σχήμα 1.1 δεικνύεται το σχηματικόν διάγραμμα ενός υδροστρόβιλου μετά

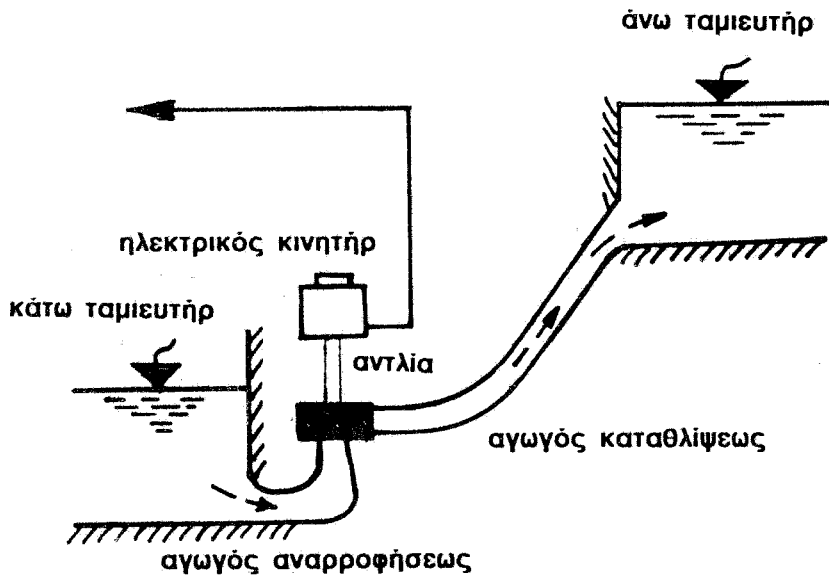


Σχήμα 1.1 Σχηματικόν διάγραμμα υδροστρόβιλου-υδροηλεκτρικού έργου

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

των κυρίων μερών ενός υδροηλεκτρικού έργου.

Υδραυλικά μηχαναί εις τας οποίας η ενέργεια μεταδίδεται εκ του κινουμένου τμήματος της μηχανής προς το ρέον ρευστόν (ύδωρ) και η ολική ενέργεια εις την είσοδον είναι μικροτέρα της ολικής ενεργείας εις την έξοδον της μηχανής χαρακτηρίζονται ως αντλίας. Η βασικότερα λειτουργία μιάς αντλίας είναι η διά καταναλώσεως ενεργείας αύξησις του ύψους του ρευστού. Το Σχήμα 1.2 δείχνει το σχηματικόν διάγραμμα ενός τυπικού



Σχήμα 1.2 Σχηματικόν διάγραμμα αντλιοστασίου

αντλιοστασίου.

Αν και υπάρχει μεγάλη ποικιλία υδραυλικών μηχανών, κάθε μηχανή δύναται να υπαχθή εις μίαν εκ των κατωτέρω δύο κυρίων ομάδων,

- α) την ομάδα μηχανών θετικής μετατοπίσεως (positive-displacement machines) και
- β) την ομάδα μηχανών περιστρεφόμενου τύπου (rotodynamic machines) ή ομάδαν στροβιλομηχανών (turbomachines).

Η ομάς μηχανών θετικής μετατοπίσεως χαρακτηρίζεται υπό μεταβολών του χώρου ο οποίος καταλαμβάνεται υπό του ρέοντος ρευστού εντός της μηχανής. Παραδείγματα τοιούτων μηχανών είναι αι εμβολοφόροι αντλίες και αι μηχαναί εσωτερικής καύσεως, εις τας οποίας το έμβολον παλινδρομεί εντός κυλίνδρου. Εις την ιδίαν ταύτην κατηγορίαν υπάγονται και αι αντλίες διαφράγματος εις τας οποίας η αλλαγή του χώρου ροής προέρχεται εξ ευκάμπτων οριακών επιφανειών (λειτουργία καρδίας) και εξ αντλιών τύπου κοχλίου εις τας οποίας δύο περιστροφείς (παρόμοιοι με οδοντωτούς τροχούς) αλληλοεμπλέκονται εντός κοινού πλαισίου.

Όλαι αι υδραυλικαί στροβιλομηχαναί της ομάδος του περιστρεφόμενου τύπου έχουν έν δρομέα, δηλαδή έν κινούμενον μηχανικόν στοιχείον. Ο δρομέυς είναι εφοδιασμένος με πτερύγια τοποθετημένα καθ'όλον το μήκος της περιφερείας. Διαμέσου του χώρου μεταξύ των πτερυγίων διέρχεται το ρευστόν. Το ρευστόν έχει, μίαν συνιστώσαν της ταχύτητος εφαπτομένην επί του δρομέως ως εκ τούτου φέρει ορμήν επ' αυτού. Η μεταβολή της εφαπτομενικής ορμής επί του δρομέως, μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του ρευστού, αντιστοιχεί εις εφαπτομενικήν δύναμιν επί του δρομέως. Εις τον στρόβιλον η εφαπτομενική ορμή του ρευστού επί του δρομέως μειώνεται εις την διεύθυνσιν κινήσεως αυτού και ως εκ τούτου η ενέργεια μεταφέρεται εκ του ρευστού προς τον δρομέα και κατά συνέπειαν επί του άξονος περιστροφής, άτρακτον. Εις την αντλίαν η εφαπτομενική ορμή του ρευστού επί του δρομέως αυξάνεται εις την διεύθυνσιν κινήσεως αυτού και ως εκ τούτου η ενέργεια μεταφέρεται εκ του άξονος περιστροφής επί του

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

οποίου εδράζεται ο δρομέας, άτρακτος, προς το ρευστόν.

Όλη η ακολουθώσα ανάλυσις εις το ανά χείρας έργον αφορά αποκλειστικώς τας υδραυλικάς μηχανάς περιστρεφομένου τύπου ή υδροδυναμικάς μηχανάς, ήτοι τας στροβιλομηχανάς είτε αύται είναι υδροστρόβιλοι είτε αντλίας. Τούτο δε γίνεται διότι αι μηχαναί αύται ευρίσκουν ευρυτάτας εφαρμογάς εις τον κύκλον των έργων Πολιτικού Μηχανικού και το παρόν σύγγραμμα απευθύνεται κυρίως προς φοιτητάς Τμημάτων Πολιτικών Μηχανικών κατευθύνσεως Υδραυλικής Μηχανικής. Του λοιπού με τον όρον στροβιλομηχαναί υπονοούνται, αδιακρίτως, είτε οι υδροστρόβιλοι είτε αι αντλίας. Κατά κύριον λόγον το χρησιμοποιούμενον ρευστόν υποτίθεται ότι είναι το ύδωρ. Βεβαίως, η ανάλυσις διά ρευστά αντιστοίχου πυκνότητος με αύτην του ύδατος είναι ανάλογος. Η ανάλυσις επί της ροής των συμπιεστών ρευστών (αερίων) θεωρείται ότι είναι πέραν των αντικειμενικών σκοπών του παρόντος συγγράματος και επομένως δεν θα αναπτυχθή μολονότι αι πλείσται των εννοιών είναι κοιναί με τας αντιστοίχους εννοίας της ροής ασυμπίεστων ρευστών (ύδωρ). Του λοιπού ο όρος ρευστόν θα υπονοεί είτε αυτό τούτον το ύδωρ είτε ρευστόν αναλόγου πυκνότητος με αύτην του ύδατος π.χ. ορυκτέλαιον, θαλάσσιον ύδωρ, υγρά αποχετεύσεων κ.λ.π.

Είτε το ρευστόν επιτελεί έργον επί του δρομέως ως τούτο συμβαίνει εις τους υδροστρόβιλους, είτε ο δρομέας επιτελεί έργον επί του ρευστού ως εις τας αντλίας, ο τύπος της υδραυλικής μηχανής δύναται να χαρακτηρισθή συμφώνως με την διεύθυνσιν της κυρίας ροής διά του δρομέως. Ούτως, εις την ακτινικής ροής ή φυγοκεντρικήν υδραυλικήν μηχανήν η κυρίως ροή λαμβάνει χώραν επί του επιπέδου περιστροφής καθέτου προς τον άξονα περιστροφής του δρομέως το ρευστόν εισέρχεται εντός του δρομέως εις το ύψος μιάς ακτίνος και παραλλήλως προς τον άξονα περιστροφής και διαφεύγει εκ του δρομέως εις το ύψος μιάς άλλης ακτίνος και καθέτως προς τον άξονα περιστροφής. Εάν όμως η διεύθυνσις της ροής εξακολουθεί να είναι παράλληλος προς τον άξονα περιστροφής τότε η υδραυλική μηχανή χαρακτηρίζεται ως αξονικής ροής. Τέλος, εάν η ροή είναι μερικώς ακτινική και μερικώς αξονική τότε η υδραυλική μηχανή

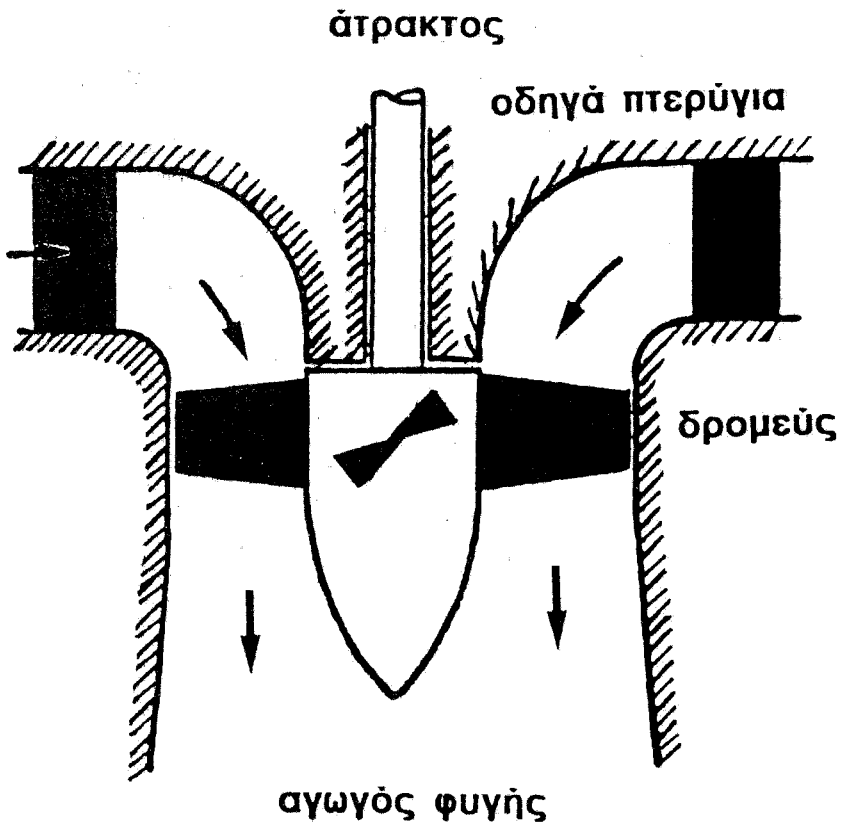
χαρακτηρίζεται ως μικτής ροής.

Ειδικώς διά τους υδροστροβίλους υπάρχουν δύο κύριαι κατηγορίαι,

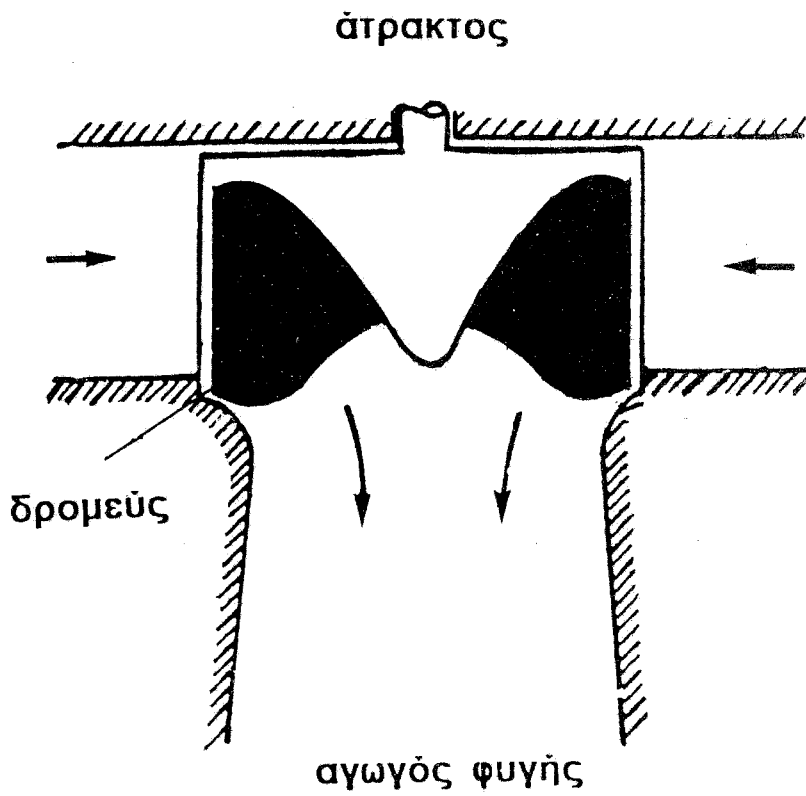
- α) οι υδροστρόβιλοι δράσεως (impulse turbines) και
- β) οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως (reaction turbines)

Ο υδροστρόβιλος δράσεως μετατρέπει όλην την διαθέσιμον ενέργειαν, λόγω πίεσεως, εις κινητικήν πρίν το ύδωρ προσπέσει επί των περιστρεφόμενων σκαφιδίων του δρομέως προσκρούει δε επί τμήματος της περιφερείας του δρομέως και μόνον, ούτως ώστε δεν υφίσταται ουδεμία μεταβολή της στατικής πίεσεως επί του δρομέως. Την σήμερον ημέραν σχεδόν καθ' ολοκληρίαν οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι τύπου Pelton. Χρησιμοποιούνται, κυρίως διά μεγάλα ύψη πτώσεως. Εις τους υδροστροβίλους αντιδράσεως η στατική πίεσις μειούται κατά την διέλευσιν του ύδατος διά των πτερυγίων του δρομέως. Το ύδωρ εισέρχεται εντός του δρομέως καθ' όλον το μήκος της περιφερείας του και όλαι αι διελεύσεις επί του δρομέως είναι πληρωμένοι δι' ύδατος. Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι είτε τύπου Francis, διά υδατοπτώσεις μέσου και χαμηλού ύψους πτώσεως, είτε τύπου Kaplan (έλικος) διά υδατοπτώσεις χαμηλού ύψους πτώσεως.

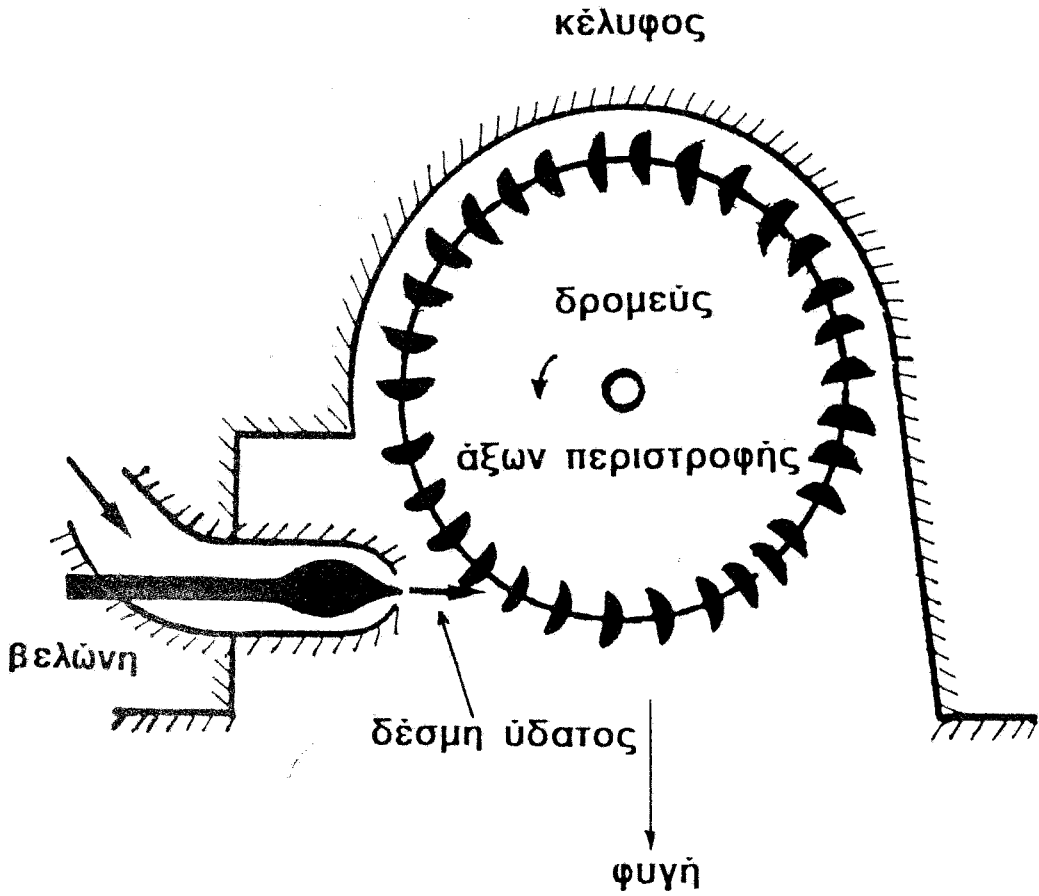
Τα Σχήματα 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 και 1.7 δεικνύουν του τύπους των υδροστροβίλων αξονικής ροής, υδροστροβίλων ακτινικής ροής, υδροστροβίλων δράσεως καθώς και τους τύπους αντλιών αξονικής και ακτινικής ροής, αντιστοίχως, οι οποίοι θα αναπτυχθούν εις το παρόν σύγγραμμα.



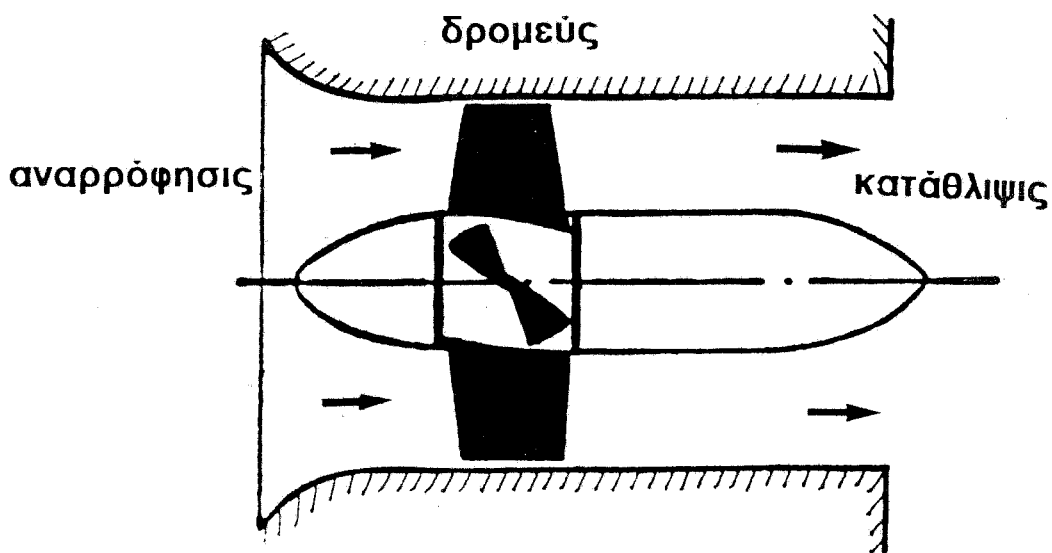
Σχήμα 1.3 Διαγραμματική αναπαράσταση υδροστροβίλου αξονικής ροής (Kaplan)



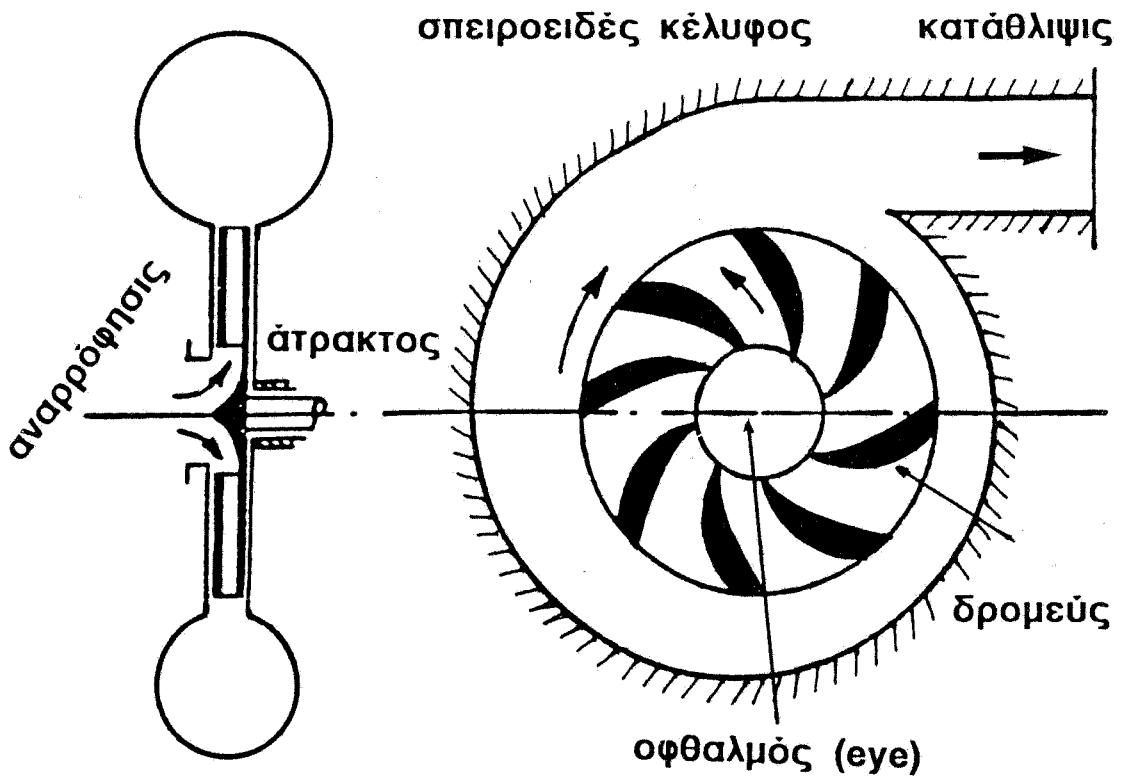
Σχήμα 1.4 Διαγραμματική αναπαράσταση υδροστροβίλου ακτινικής ροής (Francis)



Σχήμα 1.5 Διαγραμματική αναπαράσταση υδροστροβίλου δράσεως (Pelton)



Σχήμα 1.6 Διαγραμματική αναπαράσταση αντλίας αξονικής ροής (τύπου έλικος)



Σχήμα 1.7 Διαγραμματική αναπαράσταση αντλίας ακτινικής ροής (κεντρόφυγος)

1.2 ΒΑΣΙΚΑΙ ΕΝΝΟΙΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Τα ρευστά, όπως και το όνομα δηλοί, χαρακτηρίζονται εκ της ικανότητός των προς ροήν. Τα ρευστά δύνανται να διαιρεθούν εις υγρά και αέρια. Τα υγρά είναι μόνον ελαφρώς συμπιεστά και εμφανίζουν ελευθέραν επιφανείαν όταν τοποθετηθούν εις δοχείον (μερική πλήρωσις). Αντιθέτως, τα αέρια τείνουν να καταλάβουν όλον τον διαθέσιμον χώρον του δοχείου. Τα αέρια είναι συμπιεστά. Η συμπιεστότης των αερίων διά την περιοχὴν των ταχυτήτων την μεγαλύτεραν των 60.0 m/s δεν είναι αμελητέα. Παραδοσιακῶς, τα ρευστά τα οποία αφορούν τον κύκλον των εφαρμογῶν Πολιτικού Μηχανικού είναι πρωτευόντως το ὕδωρ και δευτερευόντως ο αήρ. Το ὕδωρ δύναται να περιέχη διαλελυμένον αέρα εις ποσοστόν μέχρι και 3.0 τοις εκατόν. Ἄ αήρ οὔτος τείνει να απελευθερωθῆ ὁποτεδήποτε η πίεσις του ὕδατος αρχίζει να λαμβάνη τιμάς αισθητῶς κατωτέρας της ατμοσφαιρικής πιέσεως.

Ἡ πυκνότης ενός ρευστοῦ ορίζεται ὡς ὁ λόγος της μάζης του ρευστοῦ προς την μονάδαν ὄγκου. Εάν m (Kg) εἶναι ἡ μάζα και V (m^3) εἶναι ὁ ὄγκος τον οποίον καταλαμβάνει ἡ δοθείσα μάζα, τότε ἡ πυκνότης ρ (Kg/m^3) εἶναι,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

Διά το καθαρὸν ὕδωρ ἡ πυκνότης ρ ἰσοῦται με $1000.0 \text{ Kg}/m^3$ εἰς τοὺς 4.0° C. Προφανῶς, ἡ πυκνότης μεταβάλλεται μετὰ της θερμοκρασίας. Το εἰδικὸν βάρος γ (N/m^3) ενός ρευστοῦ εἶναι τὸ βάρος του ρευστοῦ B (N) ἀνά μονάδαν ὄγκου,

$$\gamma = \frac{B}{V} \quad (1.2)$$

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Επειδή η μάζα και το βάρος της συνδέονται με την επιτάχυνση της βαρύτητας g ($= 9.81 \text{ m/s}^2$, γεωγραφικόν πλάτος Ελληνικών χωρών) με την σχέση,

$$B = m g \quad (1.3)$$

τότε είναι,

$$\gamma = \rho g \quad (1.4)$$

Υπό κανονικής θερμοκρασίας το ειδικόν βάρος του ύδατος είναι 9810.0 N/m^3 . Η πίεσις p (N/m^2) η οποία εξασκείται υπό του ύδατος επί των διαφόρων τμημάτων του χώρου ροής μιάς στροβιλομηχανής είναι μεγάλης σημασίας προκειμένου να εκτιμηθή η ενέργεια καθώς και τα άλλα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των στροβιλομηχανών. Η πίεσις καθορίζεται ως ο λόγος της ασκουμένης δυνάμεως προς την μονάδα επιφανείας. Είναι,

$$p = \frac{F}{A} \quad (1.5)$$

ένθα F (N) η ασκουμένη δύναμις και A (m^2) το εμβαδόν της επιφανείας επί της οποίας εφαρμόζεται η δύναμις. Η απόλυτος πίεσις p_α (N/m^2) και η πίεσις p η οποία λαμβάνεται διά μετρήσεων (gauge) διαφοροποιούνται ως,

$$p_\alpha = p_{\text{ατμ}} + p \quad (1.5)$$

ένθα $p_{\text{ατμ}}$ (N/m^2) η ατμοσφαιρική πίεσις. Επί της επιφανείας της θαλάσσης και υπό κανονικήν θερμοκρασίαν, η $p_{\text{ατμ}}$ ισούται με 101325.0 N/m^2 ή με 1.0132 bar ή με 10.33 μέτρα στήλης ύδατος ή με 76.0 εκατοστά στήλης υδραργύρου. Η πίεσις p συνδέεται με το ύψος h (m) στήλης ύδατος με την σχέσιν,

$$p = \rho g h \quad (1.6)$$

Το πιεζομετρικόν ύψος h ή φορτίον μετρείται εις m στήλης ύδατος. Εάν η απόλυτος πίεσις εις δοθέν σημείον της στροβιλομηχανής είναι κάτωθεν της ατμοσφαιρικής πίεσεως (υποπίεσις), το πιεζομετρικόν ύψος ή φορτίον h είναι αρνητικόν ($h = p/\rho g < 0.0$). Ο όγκος του ύδατος ΔV (m^3) ο ρέων, ανά μονάδαν χρόνου Δt (sec), διά μέσου μιάς διατομής ονομάζεται παροχή Q (m^3/s). Η παροχή Q είναι,

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1.7)$$

Εάν u (m/s) είναι η μέση ταχύτης του ύδατος εις θέσιν τινάν με εμβαδόν διατομής A , τότε ο ρέων όγκος, ανά μονάδαν χρόνου, είναι $A u$. Άρα,

$$Q = A u \quad (1.8)$$

Ως ενέργεια ορίζεται η ικανότης προς παραγωγήν έργου. Το ύδωρ εν κινήσει είναι ικανόν προς παραγωγήν έργου και ως εκ τούτου φέρει ενέργειαν. Το εν κινήσει ύδωρ δύναται να κατέχει μίαν ή περισσοτέρας μορφάς ενεργείας όπως αναφέρονται κατωτέρω,

α) ενέργεια λόγω θέσεως, z (m)

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

β) ενέργεια λόγω κινήσεως, $u^2/2g$ (m)

γ) ενέργεια λόγω πίεσεως, $p/\rho g$ (m)

Αι ενέργειαι αύται δύνανται να μεταβάλλονται από μίαν μορφήν εις μίαν άλλην. Ως ολική ενέργεια ή ολικόν φορτίον H_o (m) θεωρείται το άθροισμα των επί μέρους ενεργειών. Είναι,

$$H_o = z + \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \quad (1.9)$$

Έκαστος όρος της ανωτέρω εξισώσεως παριστά την διαθέσιμον ενέργειαν ανά μονάδαν βάρους του ύδατος ($\rho = 1000.0 \text{ Kg/m}^3$). Η ισχύς I (W), ενέργεια ανά μονάδαν χρόνου, δύνανται να υπολογισθή εκ της εξισώσεως 1.9 διά πολλαπλασιασμού εκάστου των μελών της εξισώσεως επί του γινομένου $\rho g Q$.

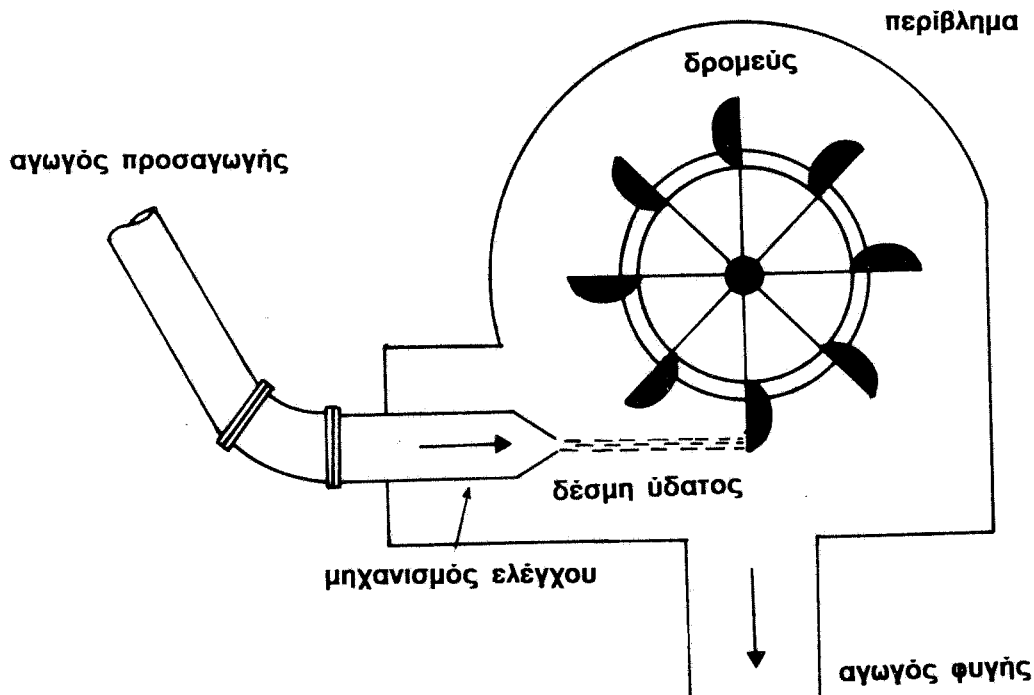
Εις υδροστρόβιλος είναι μία μηχανή η οποία χρησιμοποιείται διά να μετατρέψη την ενέργειαν λόγω πίεσεως και την κινητικήν ενέργειαν του ύδατος εις μηχανικήν ενέργειαν. Όταν ο υδροστρόβιλος συζευχθή με γεννήτριαν παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος τότε το όλον συγκρότημα ονομάζεται υδροηλεκτρικόν έργον. Ως καθαρόν ύψος ή φορτίον H_n (m) ενός υδροστρόβιλου ορίζεται το διαθέσιμον ύψος προς παραγωγήν έργου. Είναι δηλαδή η διαφορά μεταξύ των ολικών φορτίων μεταξύ της εισόδου και εξόδου. Εις το Σχήμα 1.8 δεικνύονται τα κύρια μέρη ενός υδροστρόβιλου. Αύτα είναι:

- α) Αγωγός προσαγωγής. Είναι ο αγωγός διά μέσω του οποίου προσέρχεται το ύδωρ εις τον υδροστρόβιλον.
- β) Μηχανισμός ελέγχου. Είναι έν ακροφύσιον (υδροστρόβιλος Pelton) ή οδηγά πτερύγια (υδροστρόβιλοι Kaplan - Francis) σκοπός των οποίων είναι η προσαγωγή του ύδατος προς τα πτερύγια του δρομέως υπό ελεγχομένας συνθήκας.

- γ) Δρομέυς. Είναι εις τροχός επί του οποίου εδράζονται τα σκαφίδια (Pelton) ή τα πτερύγια (Kaplan - Francis). Ο δρομέυς περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτηταν. Ο άξων περιστροφής του δρομέως είναι συζευγμένος μετά του άξονος περιστροφής της γεννητριάς.
- δ) Περίβλημα. Είναι το κάλυμμα του δρομέως.
- ε) Αγωγός φυγής. Είναι ο αγωγός διά μέσω του οποίου το ύδωρ απωθείται εκ του περιβλήματος - δρομέως προς την τελικήν έξοδον εκ του υδροστροβίλου.

Η ολική απόδοσις ή απλώς απόδοσις η ενός στροβίλου είναι ο λόγος της χρησίμου ισχύος της λαμβανομένης εκ της μηχανής προς την προσφερθείσαν ισχύν. Είναι δηλαδή,

$$\eta = \frac{I}{\rho g Q H_n} \quad (1.10)$$



Σχήμα 1.8 Κύρια μέρη ενός υδροστροβίλου

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

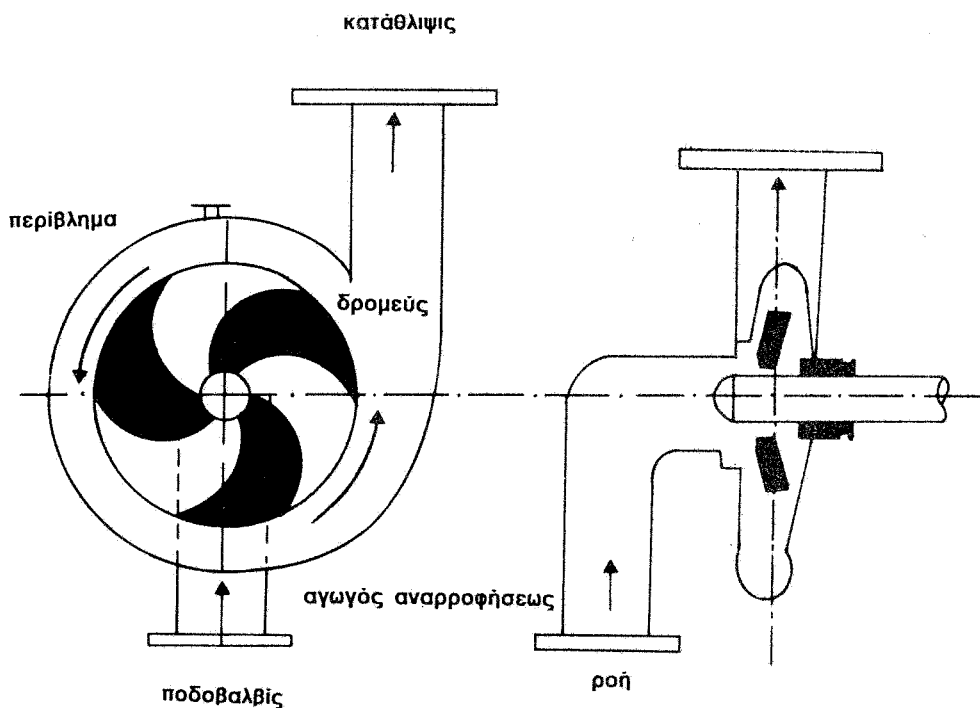
Η μελέτη της αποδόσεως λειτουργίας επιτυγχάνεται μέσω επακριβών εργαστηριακών μελετών επί ομοιωμάτων υδροστροβίλων μεταβάλλοντας την περιστροφική ταχύτητα και την γωνίαν ανοίγματος των θυροφραγμάτων των υδροστροβίλων. Η εκ του υδροστροβίλου παραγομένη ισχύς δέον όπως μεταβάλλεται προκειμένου να ικανοποιησθαι τις απαιτήσεις της καταναλώσεως του φορτίου. Η μέγιστη απόδοσις λειτουργίας του υδροστροβίλου έχει σχεδιασθεί να ευρίσκεται εις την περιοχὴν την κειμένην εις τα τρία τέταρτα του πλήρους φορτίου το οποίον δύναται να καλύψη ο υδροστροβίλος. Η απόδοσις και η ισχύς παρουσιάζονται εις γραφικὰς παραστάσεις, γνωσταί ως χαρακτηριστικά καμπύλαι λειτουργίας, συναρτήσκει της περιστροφικής ταχύτητος του υδροστροβίλου υπό σταθερόν φορτίον. Υπάρχει διαφοροποίησις των καμπύλων λειτουργίας μεταξύ των υδροστροβίλων δράσεως και των τοιούτων αντιδράσεως. Είναι αρκετά χρησιμον να δύναται να συγκριθούν διαφορετικά είδη υδροστροβίλων ανεξαρτήτως του μεγέθους των. Η παράμετρος η ονομαζομένη ειδική ταχύτης έχει εισαχθεί διά τούτον ακριβώς τον λόγον. Ορίζεται λοιπόν ως ειδική ταχύτης n_s ενός υδροστροβίλου η ταχύτης ενός γεωμετρικώς ομοίου υδροστροβίλου μεγέθους τοιούτου ώστε να αναπτύσσει ισχύν ενός KW υπό φορτίον ενός μέτρου. Είναι,

$$n_s = \frac{N I^{1/2}}{H_n^{5/4}} \quad (1.11)$$

ένθα N (στροφαί/λεπτόν) η γωνιακή ταχύτης περιστροφής του υδροστροβίλου. Όλοι οι υδροστροβίλοι του ιδίου σχήματος έχουν την αυτήν ειδικήν ταχύτητα.

Μία αντλία είναι μία μηχανή η οποία χρησιμοποιείται διά να μετατρέψη την μηχανικήν ενέργειαν εις υδραυλικήν ενέργειαν. Η υδραυλική ενέργεια η λαμβανομένη υπό της αντλίας είναι με την μορφήν ενεργείας λόγω πίεσεως η οποία δύναται να μετατραπή εις ενέργειαν λόγω θέσεως ανυψώνοντας την υπό πίεσιν μάζαν του ύδατος από χαμηλόν ύψος εις υψηλόν

τοιούτον. Ύψος αναρροφήσεως είναι το ύψος του άξονος περιστροφής του δρομέως υπεράνω της υπό άντλησιν ελευθέρως επιφανείας του ύδατος. Το ύψος τούτον δέον όπως μη υπερβαίνει τα 7.5 m. Ύψος καταθλίψεως είναι το ύψος υπεράνω του άξονος περιστροφής του δρομέως εις το οποίον ανυψούται το ύδωρ. Στατικόν ύψος είναι το άθροισμα του ύψους αναρροφήσεως και του ύψους καταθλίψεως. Μανομετρικόν ύψος είναι το στατικόν ύψος συν το ύψος των απωλειών φορτίου λόγω τριβών, στροφών, συγκλίσεων, αποκλίσεων κ.λ.π. και είναι το πραγματικόν ύψος το οποίον καταβάλλεται υπό της αντλίας. Εις το Σχήμα 1.9 δεικνύονται τα κύρια μέρη μιάς αντλίας



Σχήμα 1.9 Κύρια μέρη αντλίας ακτινικής ροής

ΡΩΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

ακτινικής ροής. Αύτα είναι:

- α) Αγωγός αναρροφήσεως. Είναι ο αγωγός ο συνδέων την δεξαμενήν, εκ της οποίας αναρροφάται το ύδωρ, μετά του οφθαλμού (eye) του δρομέως.
- β) Ποδοβαλβίς. Είναι μία βαλβίς τοποθετημένη εις την είσοδον του αγωγού αναρροφήσεως. Το ύδωρ δύναται να διέλθῃ μόνον κατά την φοράν: κωδωνοειδής είσοδος αγωγού αναρροφήσεως προς τον δρομέαν, και ουχί αντιστρόφως. Σκοπός της βαλβίδος είναι η συγκράτησις του ύδατος εις περίπτωσιν μῆ-λειτουργίας της αντλίας. Προ πάσης εκκινήσεως η αντλία δέον ὅπως πληρούται δι' ύδατος.
- γ) Δρομεύς.
- δ) Περίβλημα.
- ε) Αγωγός καταθλίψεως. Είναι ο αγωγός ο συνδέων την έξοδον της αντλίας μετά του χώρου εις τον οποίον καταθλίπεται το ύδωρ.

Η ολική απόδοσις ἢ ἀπλῶς ἀπόδοσις μίας αντλίας είναι ο λόγος της χρησίμου ισχύος της λαμβανομένης εκ της μηχανῆς προς την προσφερθείσαν ισχύν. Είναι δηλαδή,

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{W_I} \quad (1.12)$$

ἐνθα W_I (W) το προσφερόμενον εις την αντλίαν ἔργον. Επειδὴ ἡ παροχὴ είναι, σχεδόν πάντοτε, ο κύριος παράγων λειτουργίας μίας αντλίας είναι σύνθητες φαινόμενον αι χαρακτηριστικαί καμπύλαι λειτουργίας να αποτελούνται εκ τριῶν γραφικῶν παραστάσεων ἤτοι,

- α) ὕψους
- β) ισχύος
- γ) αποδόσεως

αι οποίαι ἔχουν ὡς ἄξονα των τεταγμένων την παροχὴν Q . Συνήθως ἡ ταχύτης περιστροφῆς είναι σταθερά και ὅλαι αι χαρακτηριστικαί καμπύλαι

αναφέρονται εις σταθεράν περιστροφικήν ταχύτηταν ήτις είναι και η ταχύτης λειτουργίας ή σχεδιασμού της αντλίας. Αι χαρακτηριστικά καμπύλαι λειτουργίας αντλιών αξονικής ροής διαφοροποιούνται εντόνως από τας αντιστοίχους καμπύλας λειτουργίας αντλιών ακτινικής ροής. Ορίζεται ως ειδική ταχύτης n_s μίας αντλίας η ταχύτης μίας γεωμετρικώς ομοίας αντλίας μεγέθους τοιούτου ώστε να καταθλίπη έν κυβικόν μέτρον ανά δευτερόλεπτον κάτω υπό φορτίον ενός μέτρου. Είναι,

$$n_s = \frac{N Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1.13)$$

Όλαι αι αντλίας του ίδιου σχήματος έχουν την αυτήν ειδικήν ταχύτητα.

Σπηλαιώσεις είναι το φαινόμενον σχηματισμού και καταστροφής απειραρίθμων φυσαλίδων επί των εσωτερικών επιφανειών των στροβιλομηχανών. Η σπηλαιώσεις είναι ανεπιθύμητον φαινόμενον διότι διαβρώνει τας στερεάς επιφανείας των στροβιλομηχανών και έχει ως αποτέλεσμα μηχανικά ταλαντώσεις και απωλείας ενεργείας. Έχει παρατηρηθεί ότι εις περιοχάς μεγάλης ταχύτητος του ύδατος όπως π.χ. εις στροφάς ή κυρτάς επιφανείας πτερυγίων στροβιλομηχανών η πίεσις του ύδατος πίπτει κάτωθι ενός συγκεκριμένου ορίου. Αύτη η κατάστασις ευνοεί τον σχηματισμόν ατμών ύδατος ακόμη και εις κανονικάς θερμοκρασίας π.χ. 15^ο.0. Αύται αι φυσαλλίδαι όταν κατά τον ρούν των συναντήσουν ηυξημένην πίεσιν εκρύννυνται. Το περιβάλλον αυτάς ύδωρ τείνει να καταλάβη τον υπό τας φυσαλλίδας καταλαμβάνόμενον όγκον. Συνεπεία των ανωτέρω αναπτύσσονται υψηλαί δυνάμεις (πιέσεις) και δημιουργούνται συνεχείς ταλαντώσεις του ύδατος. Πλησίον των στερεών επιφανειών το ύδωρ προσκρούει επί των μεταλλικών επιφανειών και αργά αλλά σταθερά τας καταστρέφει. Εις τους υδροστροβίλους αντιδράσεως κρίσιμος παράγων εις την εγκατάστασίν των και επί σκοπόν αποφυγής του φαινομένου της σπηλαιώσεως, είναι η κάθετος απόστασις μεταξύ του κέντρον του δρομέως και της ελευθέρας επιφανείας του ύδατος της διώρυγος φυγής. Εις την

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

εγκατάστασιν των αντλιών και προς αποφυγήν της σπηλαιώσεως πρέπει να εξασφαλισθή το ότι η πίεσις εις την είσοδον του δρομέως δεν πίπτει κάτωθεν ενός ορισμένου ορίου. Ορίζεται το καθαρόν θετικόν ύψος αναρροφήσεως ή NPSH (Net Positive Suction Head) το οποίον αναπαριστά το απαιτούμενον ύψος προς εξαναγκασμόν του ύδατος να κινηθή εκ της δεξαμενής προς τον δρομέα. Διά λόγους σχεδιασμού εισάγεται η παράμετρος σπηλαιώσεως γνωστή ως κρίσιμος αριθμός σίγμα σ_c . Πίνακες ορίζουν ασφαλείς ή μή-ασφαλείς περιοχάς λειτουργίας εν αναφορά με την σπηλαίωσιν.

1.3 ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

1.3.1 Ιδεατόν και πραγματικόν ρευστόν

Διά την κατανόησιν της ροής των ασυμπίεστων ρευστών (ύδατος) εντός των υδραυλικών στροβιλομηχανών είναι αναγκαίον κατά το πρώτον να καταστή δυνατή η διαφοροποίησις μεταξύ ιδεατών και πραγματικών ρευστών και κατά το δεύτερον η ροή των πραγματικών ρευστών να επικεντρωθή εις σειράν πτερυγίων είτε οδηγών τοιούτων είτε πτερυγίων του κινουμένου τμήματος της μηχανής (δρομέως). Εις πάρα πολλά εφηρμοσμένα προβλήματα μηχανικής τα αποτελέσματα της συνεκτικότητος του ρευστού επί της ροής είναι μικρά και ως εκ τούτου είναι δυνατόν να αγνοηθούν. Το ρευστόν εις την περίπτωσιν ταύτην περιγράφεται ως μή-συνεκτικόν ή ιδεατόν ρευστόν και ο συντελεστής του κινηματικού ιξώδους λαμβάνεται ως ίσος με μηδέν. Εάν όμως χρησιμοποιηθή ο όρος πραγματικόν ρευστόν τότε εκλαμβάνεται ότι η συνεκτικότης του ρευστού δεν πρέπει να αγνοηθή. Η ανάλυσις των ιδεατών ρευστών δεν είναι ο σκοπός του συγγράμματος τούτου, μολονότι σχεδόν καθ' ολοκληρίαν η ροή, από θέσεως εις θέσιν, θεωρείται ότι είναι ιδεατή και η μετατροπή της εις πραγματικήν ροήν προκύπτει διά της χρήσεως εμπειρικών εξισώσεων. Η πραγματική ροή εντός των υδραυλικών στροβιλομηχανών είναι αρκετά σύνθετος δεδομένου ότι εντός περιορισμένου σχετικά χώρου πρέπει να επιτευχθή ο λειτουργικός σκοπός της μηχανής.

Επομένως, η ροή πρέπει να πραγματοποιηθή εντός εσωτερικού χώρου η γεωμετρία του οποίου υποχρεούται όπως μεταβληθή εντόνως. Η ανάλυσις η οποία θα ακολουθήση αναφέρεται κατ' αρχάς επί απλών γεωμετριών και σταδιακώς θα αναφέρεται επί πολυπλόκων γεωμετριών όπως αύται της σειράς πτερυγίων. Τα πτερύγια αποτελούν το σημαντικώτερον στοιχείον λειτουργίας των στροβιλομηχανών. Η ορθή ανάλυσις της ροής εντός των σειρών των πτερυγίων των στροβιλομηχανών είναι κεφαλαίωδους σημασίας διά την ικανοποιητικήν απόδοσιν λειτουργίας της μηχανής. Η επί αιώνας καθυστέρησις της αναπτύξεως των στροβιλομηχανών οφείλετο εις την μη - επιστημονικήν γνώσιν της ροής πραγματικού ρευστού διά των σειρών πτερυγίων.

1.3.2 Ροή εντός αγωγών

Η πραγματική ροή εντός αγωγών ή πέριξ υδραυλικών κατασκευών δύναται να χαρακτηρισθή ως στρωτή ή τυρβώδης και ο αριθμός Reynolds, Re , είναι το μέτρον του χαρακτηρισμού τούτου. Εις κυκλικούς αγωγούς η έκφρασις του αριθμού τούτου είναι,

$$Re = \frac{u D \rho}{\mu} \quad (1.14)$$

ένθα u η μέση ταχύτης του ρευστού εις την υπό μελέτην διατομήν, D (m) η διάμετρος του κύκλου της διατομής και μ (Ns/m^2) ο συντελεστής του ιξώδους του ρευστού. Επειδή δε ο συντελεστής του κινηματικού ιξώδους του ρευστού ν (m^2/s) συνδέεται με τον συντελεστήν ιξώδους με την εξίσωσιν,

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.15)$$

η εξίσωση 1.14 γίνεται,

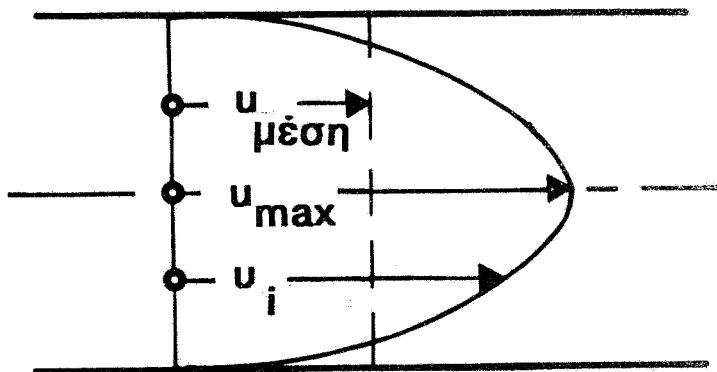
$$Re = \frac{u D}{\nu} \quad (1.16)$$

Εις χαμηλούς αριθμούς Re , και κατά συνέπειαν εις στρωτήν ροήν, αι δυνάμεις αδρανείας είναι μικρότεροι των δυνάμεων λόγω ιξώδους δράσεως του ρευστού. Ούτως, η στρωτή ροή εμφανίζει σημαντικές διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των στρωμάτων του ρέοντος ρευστού. Εις την περίπτωσιν αὐτήν τα σωματῖα του ρευστού ακολουθοῦν παραλλήλως την κυρίως ροήν του ρευστού και κατά συνέπειαν ἔχουν την τάσιν να μην μετακινούνται καθέτως προς την κυρίως ροήν. Με την τυρβώδη ροήν, ἥτις εμφανίζεται εις σχετικῶς υψηλούς αριθμούς Re , αι δυνάμεις αδρανείας ἢ ταχύτητος κυριαρχοῦν ἐπὶ των συνεκτικῶν δυνάμεων. Τα σωματῖα του ρέοντος ρευστού ἔχουν μικράς κυμαινομένης συνιστώσας της ταχύτητος καθέτους προς την κυρίως κατεύθυνσιν της ροῆς. Σωματῖα του ρευστού διασχίζουσι καθέτως την κυρίως ροήν του ρευστού. Αὐταὶ αι μικραὶ διαταραχαὶ της ταχύτητος, συμποσθόμεναι εις ολίγας εκατοστιαίας μονάδας της κυρίως ροῆς, ονομάζονται τυρβῶδεις ταχύτηται. Αν και αι δυνάμεις αδρανείας κυριαρχοῦν ἐπὶ των συνεκτικῶν δυνάμεων εν τούτοις αι συνεκτικαὶ δυνάμεις εἶναι παρούσαι και ἐπιδρoύν σημαντικῶς ἐπὶ της ροῆς του ρευστού. Βεβαίως, αι ἐπιδράσεις των συνεκτικῶν δυνάμεων τυρβώδους ροῆς εἶναι μικρότεροι των ἀντιστοιχῶν ἐπιδράσεων της στρωτῆς ροῆς. Εἶναι πρόσφορον να γίνῃ η διαφοροποιήσῖς της ροῆς εις εσωτερικούς χώρους ἀπὸ την ροήν εις ἐξωτερικούς τοιούτους. Η ροή εντός αγωγῶν εἶναι εσωτερικῆ διότι η γεωμετρία (στερεόν τοίχωμα) περιβάλλει τον χώρο ροῆς. Ἀντιθέτως, ὅταν η ροή περιβάλλῃ την γεωμετρίαν ἢ κατασκευὴν η ροή χαρακτηρίζεται ὡς ἐξωτερικῆ. Αι υδραυλικαὶ στροβιλομηχαναὶ εἶναι παραδείγματα εις τα οποία συνυπάρχουσι εσωτερικαὶ και ἐξωτερικαὶ ροαὶ και οι ερευνηταὶ εἶναι υποχρεωμένοι να ἐφαρμόζουσι διαφορετικούς τρόπους ἀναλύσεως δι' ἕκαστον τύπον ροῆς, προκειμένου βέβαια να πραγματοποιηθῇ ὀρθή μελέτη.

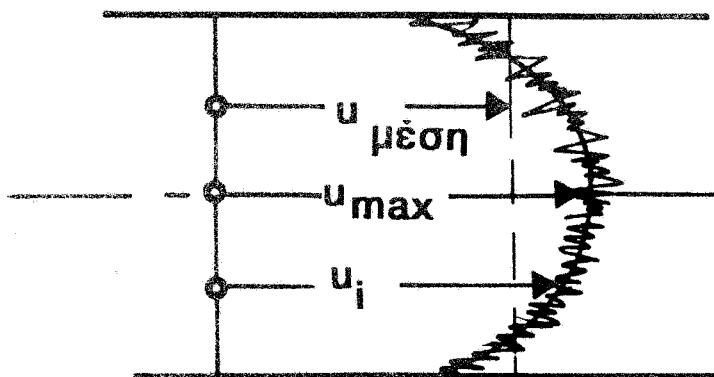
Εις τα Σχήματα 1.10 και 1.11 δεικνύονται αι κατανομαί ταχυτήτων εντός κυκλικής διατομής κλειστών αγωγών διά τας περιπτώσεις στρωτής και τυρβώδους ροής, αντιστοίχως. Στρωτή ροή σπανίως εμφανίζεται εντός των κυκλικής διατομής τμημάτων των υδραυλικών στροβιλομηχανών πλην των περιπτώσεων ροής ρευστών με υψηλόν συντελεστήν ιξώδους όπως επί παραδείγματι ελαίου. Ο κρίσιμος αριθμός Re διά την μετατροπήν της ροής εκ στρωτής συμπεριφοράς προς τυρβώδην τοιαύτην, εις κυκλικής διατομής αγωγούς, είναι 2100. Ο συντελεστής τριβής f είναι μεγαλύτερος εις την στρωτήν ροήν απ' ότι εις την τυρβώδην, και δίδεται εκ του τύπου,

$$f = \frac{64.0}{Re} \quad (1.17)$$

Διά την περίπτωσιν της τυρβώδους ροής δεν δύναται να υπάρξη απλή σχέσις μεταξύ των f και Re . Αι μεταξύ των σχέσεις εξαρτώνται κατά περίπτωσιν και εκ της τραχύτητος των τοιχωμάτων των αγωγών. Η συστηματοποιμένη σχέσις μεταξύ των f , Re και k/D είναι γνωστή ως διάγραμμα του Moody δεικνύεται δε εις το Σχήμα 2.14 του Κεφαλαίου 2. Η περιοχή η κειμένη πλησίον των στερεών ορίων και μέχρι της θέσεως εις ην η ταχύτης του



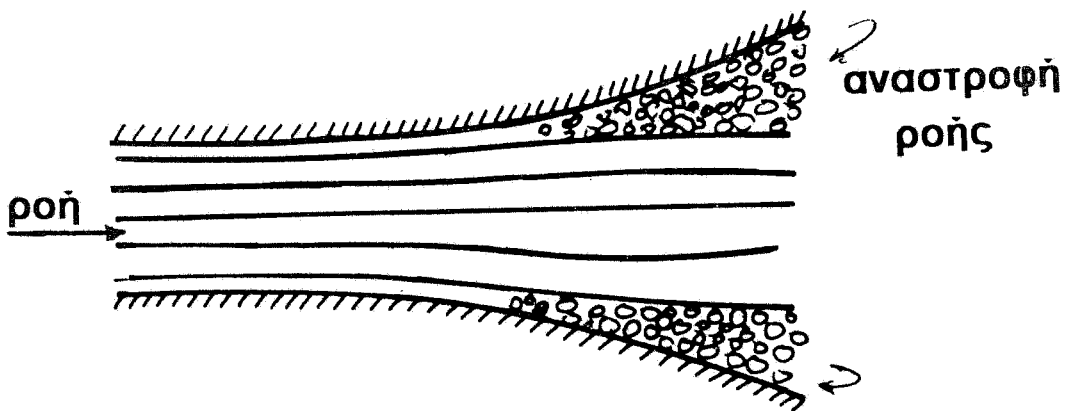
Σχήμα 1.10 Κατανομή της μέσης ταχύτητος εις αγωγούς κυκλικής διατομής διά την περίπτωσιν στρωτής ροής



Σχήμα 1.11 Κατανομή της μέσης ταχύτητας εις αγωγούς κυκλικής διατομής διά την περίπτωσιν τυρβώδους ροής

ρυστού λαμβάνει το 99.0% της μέσης ταχύτητας του ρυστού εις την υπό μελέτην διατομήν ονομάζεται οριακή στοιβάς. Ακόμη και εις την περίπτωσιν της τυρβώδους ροής και πολύ πλησίον των στερεών ορίων υπάρχει μία περιοχή στρωτής ροής η οποία ονομάζεται στρωτή υποστοιβάς. Εν σημαντικόν χαρακτηριστικόν των οριακών στοιβάδων είναι ότι εις μερικές περιπτώσεις το αργώς κινούμενον ρυστόν είναι δυνατόν να αναστρέψη την κατεύθυνσιν ροής του και ως εκ τούτου να προκαλέση δίνας και μεγάλης κλίμακος τύρβην η οποία συντελεί τα μέγιστα εις απώλειαν

ενεργείας του ρέοντος ρευστού. Το αποτέλεσμα της αναστροφής της ροής προκαλείται εκ της αναστρόφου κλίσεως της πίεσεως η οποία είναι αποτέλεσμα των διαφοροποιήσεων των κατανομών των πιέσεων λόγω εντόνου μεταβολής της γεωμετρίας, ιδέ Σχήμα 1.12. Ενώ δηλαδή διά την κίνησιν ρευστού εις τινάν κατεύθυνσιν απαιτείται να είναι πάντοτε $dp/ds > 0.0$, ένθα p η πίεσις ρευστού και s (m) η απόστασις, εις την περίπτωσιν της αναστροφής της ροής είναι $dp/ds < 0.0$. Εάν η κλίσις της πίεσεως είναι αρκετά έντονος, τότε είναι δυνατόν το ρευστόν της οριακής στοιβάδος να αποχωρίση πλήρως εκ της στερεάς επιφανείας με δημιουργίαν απειραρίθμων δινών. Το φαινόμενον τούτον ονομάζεται αποκόλλησις της οριακής στοιβάδος.



Σχήμα 1.12 Αναστροφή ροής

ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Η αύξησης της στατικής πίεσεως p ή του φορτίου $h = p/\rho g$ (m), διάχυσις του λοιπού ονομαζομένης, είναι μία ουσιώδης λειτουργία ορισμένων τμημάτων (διαχύται) πολλών υδραυλικών στροβιλομηχανών. Τοιαύτα τμήματα είναι το περιβάλλον κέλυφος του δρομέως των ακτινικής ροής αντλιών, ο αγωγός φυγής των υδροστροβίλων, και οι χώροι ροής οι σχηματιζόμενοι μεταξύ των ακινήτων πτερυγίων και των πτερυγίων του δρομέως αξονικών αντλιών. Λόγω του φαινομένου της αποκολλήσεως της οριακής στοιβάδος η μεταβολή της γεωμετρίας πρέπει να είναι όσον το δυνατόν ηπία. Η απόδοσις της διαχύσεως κατά την ροήν ρευστού εκ της θέσεως 1, με μέσην τιμήν φορτίου h_1 , προς την θέσιν 2, με μέσον ιδεατόν φορτίον h_2 , δίδεται εκ της εξισώσεως,

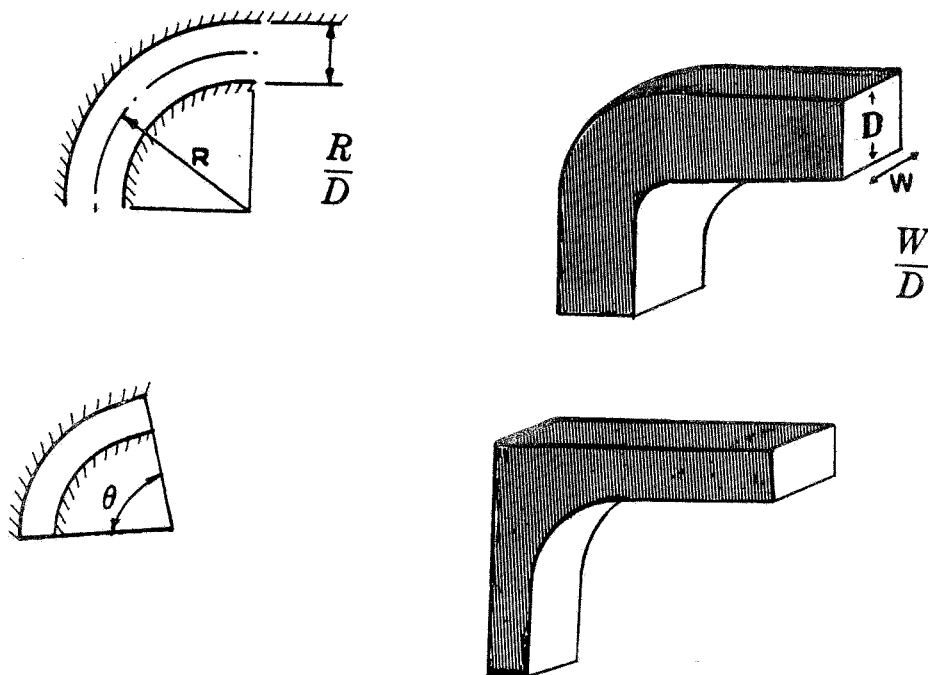
$$\eta_d = \frac{h'_2 - h_1}{h_2 - h_1} \quad (1.18)$$

ένθα h'_2 η πραγματική μέση τιμή του φορτίου εις την θέσιν 2. Η απόδοσις λειτουργίας του διαχύτου εξαρτάται εκ του ολικού ποσού διαχύσεως, εκ της γεωμετρίας του αγωγού και εκ του λόγου των διατομών εισόδου προς έξοδον. Πίνακες δίδουν ακριβείς τιμάς ικανοποιητικής αποδόσεως λειτουργίας διαχυτών. Η ακριβής απόδοσις λειτουργίας των διαχυτών εις τας υδραυλικάς στροβιλομηχανάς είναι δύσκολον να υπολογισθή δεδομένου ότι οι πλείστοι των αναφερομένων πινάκων ισχύουν δι' ομοιόμορφον κατανομήν της πίεσεως εις τον ανάντη χώρον ροής, γεγονός το οποίον είναι δύσκολον να σχηματισθή κατά την πραγματικήν λειτουργίαν της υδραυλικής στροβιλομηχανής.

Εν αντιθέσει με τους διαχύτας, τα ακροφύσια είναι κατασκευαί δυνάμεναι να επιταχύνουν την ταχύτητα του ρευστού δι' ελαττώσεως της πίεσεως. Λόγω του γεγονότος ότι υπάρχει πτώσις πίεσεως κατά μήκος του ακροφυσίου είναι πολύ δύσκολον να δημιουργηθή αποκόλλησις της οριακής στοιβάδος. Ως εκ τούτου τα ακροφύσια είναι αποτελεσματικώτερα των διαχυτών διά την επίτευξιν του σκοπού λειτουργίας των. Η απόδοσις

λειτουργίας των είναι ακούντως υψηλή. Εις τας υδραυλικάς στροβιλομηχανάς τα ακροφύσια σχηματίζονται εκ σφρείας περυγίων κειμένων του ενός παραπλεύρως του άλλου. Λεπτομερής περιγραφή της σειράς αυτής των περυγίων θα γίνη εις το Κεφάλαιον 5. Η απόδοσις λειτουργίας ενός ακροφυσίου η συσχετίζουσα τας κινητικές ενεργείας του ρευστού εισόδου και εξόδου είναι μεγαλυτέρα του 96.0%.

Τα φαινόμενα της ροής ρευστού εντός αγωγών (στροφών) π.χ. σπειροειδές κέλυφος ή αγωγός εξόδου στροβίλου ή σπειροειδές κέλυφος αντλίας κ.λ.π., είναι προφανώς ουσιαστικά, προκειμένου βέβαιως, να γίνη ορθή ανάλυσις. Τα φαινόμενα γίνονται ακόμη πολυπλοκότερα εις πολυβαθμίους μηχανάς. Η ανάπτυξις δευτερευουσών ροών, ιδέ και άλλας σχετικές παραγράφους, και η αποκόλλησις των οριακών στοιβάδων εξαρτώνται πλήρως εκ της ακτίνοσ καμπυλότητος και του είδους του σχήματος του αγωγού. Αι αναπτυσσόμεναι απώλειαι εκφράζονται εις όρους κινητικού ύψους $u^2/2g$ και εξαρτώνται εκ του συντελεστού απωλειών K , ιδέ Παράγραφον 2.4 εξίσωσις 2.39. Ο συντελεστής K , ιδέ Σχήμα 1.13, εξαρτάται εκ των λόγων R/D , W/D , της γωνίας θ , και της μορφής της στροφής. Πίνακες δίδουν ακριβείς τιμάς διά τον συντελεστήν K .



Σχήμα 1.13 Γεωμετρία αγωγών (στροφών)

1.3.3 Ροή περίξ υδραυλικών κατασκευών

Εις εξωτερικούς σχηματισμούς η απώλεια του φορτίου δεν είναι ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος διά τον υπολογισμόν της αποδόσεως λειτουργίας. Εις την περίπτωσιν ταύτην είναι πλέον πρόσφορον η εισαγωγή της εννοίας της δυναμικής αντιστάσεως D (N) και του συντελεστού αντιστάσεως C_d . Κατ' αυτήν είναι,

$$C_d = \frac{D}{A \gamma (u^2/2g)} \quad (1.19)$$

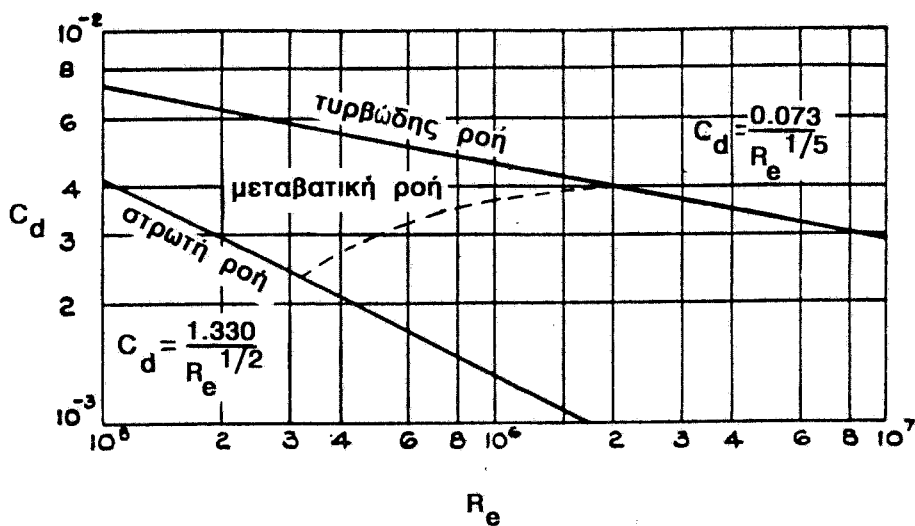
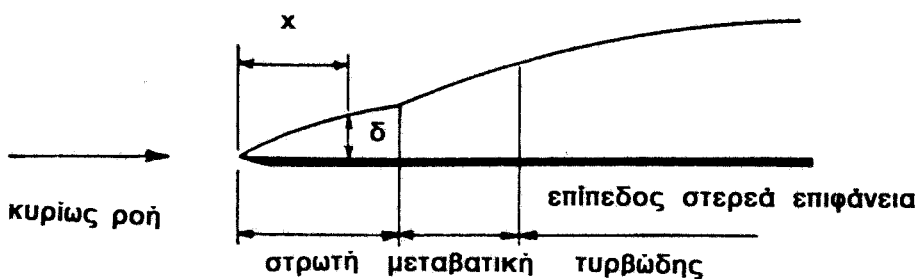
ένθα A το εμβαδόν της ενεργού διατομής της υδραυλικής κατασκευής και u η μέση τιμή της προσπιτούσης ταχύτητος. Ως ενεργός διατομή A εννοείται η προβληθείσα επιφάνεια της κατασκευής επί επιπέδου καθέτου εις την διεύθυνσιν ροής. Η δυναμική αντίστασις D συντίθεται εκ δυνάμεων τριβών, οφειλομένων κυρίως εις την αλληλεπίδρασιν στερεών επιφανειών και ροής και δυνάμεων αντιστάσεως οφειλομένων εις την μή-συμμετρικήν κατανομήν των πιέσεων περίξ της κατασκευής. Αισθητά παραδείγματα είναι η ροή επί επιπέδου επιφανείας η οποία εις την πρώτην περίπτωσιν είναι παράλληλος προς την ροήν, ιδέ Σχήμα 1.14, και εις την δευτέραν περίπτωσιν κάθετος προς αυτήν, ιδέ Σχήμα 1.15. Επί του Σχήματος 1.14 ο συντελεστής δυναμικής αντιστάσεως εις την περίπτωσιν στρωτής ροής είναι,

$$C_d = \frac{1.33}{Re^{1/2}} \quad (1.20)$$

ενώ εις την περίπτωσιν τυρβώδους ροής είναι,

$$C_d = \frac{0.073}{Re^{1/5}} \quad (1.21)$$

Τα όρια μεταξύ της στρωτής και της τυρβώδους ροής ορίζουν την μεταβατικήν περιοχόν της ροής. Εις την περίπτωσιν ροής περίξ σφαίρας, το Σχήμα 1.16 δεικνύει τας περιπτώσεις στρωτής και τυρβώδους ροής με εμφανήν την μετάθεσιν προς τα κατάντη της περιοχής αποκολλήσεως της οριακής στοιβάδος εις την περίπτωσιν τυρβώδους ροής. Το Σχήμα 1.17 δεικνύει την κατανομήν του C_d ως συνάρτησιν του αριθμού Re διά την περίπτωσιν της σφαίρας. Η τυρβώδης ροή προκαλεί αισθητήν πτώσιν της τιμής της δυναμικής αντιστάσεως.



Σχήμα 1.14 Ανάπτυξης της οριακής στοιβάδας επί επιπέδου στερεάς επιφάνειας. Κατανομή του συντελεστού δυναμικής αντιστάσεως ως συνάρτησις του αριθμού Reynolds