Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου
Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή στην Υδραυλική ανοικτών αγωγών

Φώτιος ΜΑΡΗΣ
Αναπλ. Καθηγητής

1.1 Γενικά

Ως **ανοικτός αγωγός εννοείται ο αγωγός μέσα από τον οποίο το νερό ρέει με ελεύθερη την επιφάνειά του.** Σε αντίθεση προς τους κλειστούς αγωγούς, όπου η διατομή της ροής καθορίζεται πλήρως από τη στερεή επιφάνεια, **η διατομή της ροής των ανοικτών αγωγών είναι δυνατόν να μεταβάλλεται ελεύθερα.** Ως αποτέλεσμα, οι συνθήκες οι οποίες ελέγχουν την ροή είναι διαφορετικές εκείνων οι οποίοι κυβερνούν την ροή μέσα στους κλειστούς αγωγούς. Σε γενικές γραμμές η ροή του ύδατος με ελεύθερη επιφάνεια είναι πολυπλοκότερη της ροής μέσα στους κλειστούς αγωγούς. Ροή με ελεύθερη επιφάνεια εμφανίζεται σε ανοικτούς αγωγούς όπου η ελεύθερη αύτη επιφάνεια υπόκειται συνήθως (μόνιμη ροή) μόνο σε ατμοσφαιρική πίεση. Επειδή λοιπόν η πίεση είναι σταθερή, η ροή προκαλείται από το ίδιο βάρος του ρευστού.

Παραδείγματα ανοικτών αγωγών αποτελούν οι ποταμοί, οι τεχνητές διώρυγες (channels), οι κλειστοί αγωγοί οι οποίοι δεν είναι γεμάτοι με υγρό κλπ. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ροή των υγρών των ανοικτών αγωγών αναφέρεται ως ροή ύδατος. Όλα τα διαθέσιμα πειραματικά

δεδομένα σε ανοικτούς αγωγούς αναφέρονται στο νερό με κανονική θερμοκρασία και πίεση.

Ακόμη και εάν θεωρηθεί ότι η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη και πάλι η λύση των προβλημάτων των ανοικτών αγωγών είναι δυσκολότερη απ' ότι η λύση των προβλημάτων των κλειστών αγωγών.

Ενώ οι περισσότεροι κλειστοί αγωγοί είναι κυκλικής διατομής, στους ανοικτούς αγωγούς οι διατομές ποικίλλουν από τα πιο απλά γεωμετρικά σχήματα μέχρι τα τελείως ακανόνιστα σχήματα διατομών των ποταμών.

Επίσης, υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία στις στερεές επιφάνειες των ανοικτών αγωγών οι οποίες ποικίλλουν από τη λεία επιφάνεια των ξύλινων κατασκευών μέχρι την πετρώδη και ανώμαλη επιφάνεια του πυθμένα των ποταμών. Έτσι, η εκλογή ενός καταλλήλου συντελεστή τριβής στην περίπτωση των ανοικτών αγωγών είναι αρκετά δύσκολη, σε σύγκριση βέβαια με την αντίστοιχη εκλογή με τους κλειστούς αγωγούς. Επίσης και λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του ύδατος, είναι δυνατόν να εμφανισθούν και άλλα φυσικά φαινόμενα τα οποία μπορούν να διαφοροποιήσουν την όλη συμπεριφορά της ροής.

1.2 Ορισμοί

Τα ρευστά είναι υλικά σώματα χωρίς δικό τους σχήμα και υπόκεινται σε μεγάλες παραμορφώσεις της γεωμετρίας τους όταν βρίσκονται υπό την επίδραση δυνάμεων. Ρευστά είναι τα υγρά και τα αέρια. Η κίνηση τους γνωστή ως ροή μελετάται από την επιστήμη της Μηχανικής των Ρευστών.

Τα υγρά καταλαμβάνουν καθορισμένο όγκο και σχετικά είναι *ασυμπίεστα.* Τα αέρια καταλαμβάνουν τον μέγιστο διαθέσιμο προς αυτούς όγκο και είναι *συμπιεστά.* Όταν όμως η ταχύτητα των αερίων είναι σχετικά μικρή (< 60.0 m/s) η ροή αυτών είναι ασυμπίεστη και οι εξισώσεις που διέπουν την ροή είναι ίδιες με αυτές των υγρών.

Σε όλο το παρόν σύγγραμμα χρησιμοποιείται το Διεθνές Σύστημα μονάδων SI (Systeme International). Οι βασικές μονάδες που αφορούν την Υδραυλική Ανοικτών αγωγών είναι:

μήκος μέτρο *(m)*
μάζα χιλιόγραμμο *(kg)*
χρόνος δευτερόλεπτο *(s)*
θερμοκρασία Κέλβιν *°K*

Η σχέση μεταξύ βαθμών *Κέλβιν* (^oK) και *Κελσίου* (*°C*) δίνει,

$$^oK = {}^oC + 273.15 \qquad (1.1)$$

Μεταξύ της ***μάζας m (kg)*** και του ***βάρους*** *B (N)* ενός σώματος ρευστού υφίσταται η εξίσωση,

$$B = mg \qquad (1.2)$$

όπου $g(m/s^2)$ είναι η ***επιτάχυνση της βαρύτητας.*** Συνήθης τιμή αυτής κατά τα Ελληνικά γεωγραφικά πλάτη είναι $9.807\ (m/s^2)$.

Πυκνότητα $p(kg/m^3)$ είναι η μάζα του ρευστού η περιεχόμενη στην μονάδα του όγκου του $V(m^3)$. Είναι,

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1.3)$$

Η πυκνότητα του καθαρού ύδατος στους *4°C* είναι *1000.0 kg/m³*, ενώ στους *20 °C* είναι *998.2 kg/m³*. ***Ειδικό βάρος γ (N/m³)*** **είναι η δύναμη η οποία δρα επί της μάζας του υλικού του περιεχομένου στην μονάδα όγκου.** Είναι,

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

Ιξώδες *μ (kg/ms)* **είναι η παράμετρος η οποία παριστάνει την ύπαρξη εφαπτομενικών δυνάμεων επί του ρευστού κατά την κίνησή του.** Σε στρωτή ροή, βλέπε και Κεφάλαιο 2, ισχύει,

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \qquad (1.5)$$

ή

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} = \frac{\text{δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας}}{\text{παραμόρφωση ανά μονάδα χρόνου}} \qquad (1.6)$$

όπου $\tau\ (N/m^2)$ η ***διατμητική τάση*** και du/dy η ***κλίση των ταχυτήτων*** **(μεταβολή της ταχύτητας προς την απόσταση *y (m)*). Τα ρευστά τα οποία υπακούουν στην εξίσωση (1.5) ονομάζονται *Νευτώνια ρευστά.* Εάν το ιξώδες του ρευστού είναι συνάρτηση της ταχύτητας του τότε η εξίσωση της διατρητικής τάσης στην οποία υπακούουν τα ρευστά είναι μη γραμμική και τα ρευστά αυτά ονομάζοντα *μη Νευτώνια ρευστά.*** Στους 10°C και από ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του ιξώδες του καθαρού ύδατος $\mu\ (kg/ms)$ είναι $1315x10^{-6}$ ενώ στους 20^0C και επίσης από την ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του ιξώδους του καθαρού ύδατος πέφτει στους $1010x10^{-6}\ (kg/ms)$. *Το* ***κινηματικό ιξώδες*** $\nu\ (m^2/s)$ **είναι ο λόγος του ιξώδους του ρευστού προς την πυκνότητά του.** Είναι,

$$\neg = \frac{\ll}{\circ} \qquad (1.7)$$

Στους 10^0C και στους 2^0C από ατμοσφαιρική πίεση η τιμή του κινηματικού ιξώδους του καθαρού ύδατος $\nu\ (m^2/s)$ είναι $1.31x10^{-6}$ και $1.01x10^{-6}$, αντιστοίχως. Το κινηματικό ιξώδες

μεταβάλλεται έντονα μετά τη θερμοκρασία. Αναλυτικοί πίνακες, βλέπε Lencastre (1987) δίνουν τις φυσικές ιδιότητες του καθαρού ύδατος και του αέρα. Παρουσιάζονται επίσης πίνακες διαφορετικής αλατότητας ύδατος.

Η ***δύναμη*** *F(N)* περιγράφεται από τον δεύτερο νόμο της κινήσεως του Νεύτωνα και συνοψίζεται ως,

$$F = my \qquad (1.8)$$

όπου *y* (m/s^2) **η *επιτάχυνση του ρευστού***. ***Στατική πίεση ή πίεση*** *p*(N/m^2) είναι η δύναμη ασκούμενη στη μονάδα επιφανείας *A*. Είναι,

$$p = \frac{F}{A} \qquad (1.9)$$

Η πίεση μετριέται σε N/m^2 ή σε *bar* και είναι *1.0 bar = 100000.0* N/m^2. Η πίεση αναφέρεται ως προς μεν την ατμοσφαιρική πίεση οπότε ονομάζεται ***σχετική πίεση,*** ως προς δε το απόλυτο κενό οπότε ονομάζεται ***απόλυτος πίεση.*** Στην Υδραυλική Μηχανική η πίεση μετριέται σε μονάδες ύψους στήλης ύδατος. Εάν θεωρηθεί ύδωρ σε ακινησία ύψους *h (m)* τότε η ασκούμενη πίεση p είναι,

$$p = \circ g h \qquad (1.10)$$

$$\acute{\alpha} \circ \sim ,$$

$$h = \frac{p}{\circ g} \qquad (1.11)$$

Παράδειγμα πίεσης *4000.0 N/m²* ισούται προς *0.4079 m ύδατος*, διότι *ρ=1000.0 kg/m³* και *g=9.807 m/s².* Να αναφερθεί ότι η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι,

$$p_{\sim^2\ll} 10132 N/m^2 = 760 mmHg = 10.33 mm\acute{\upsilon}\text{¢}\sim^2\text{-s} \qquad (1.12)$$

Στα *340.0 m* υψόμετρο η ατμοσφαιρική πίεση πίπτει στα *97320.0 N/m² (=9.92 m ύδατος)* και στα *1045.0 m* η ατμοσφαιρική πίεση δίνει *89370.0 N/m² (=9.11 m ύδατος).*