



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

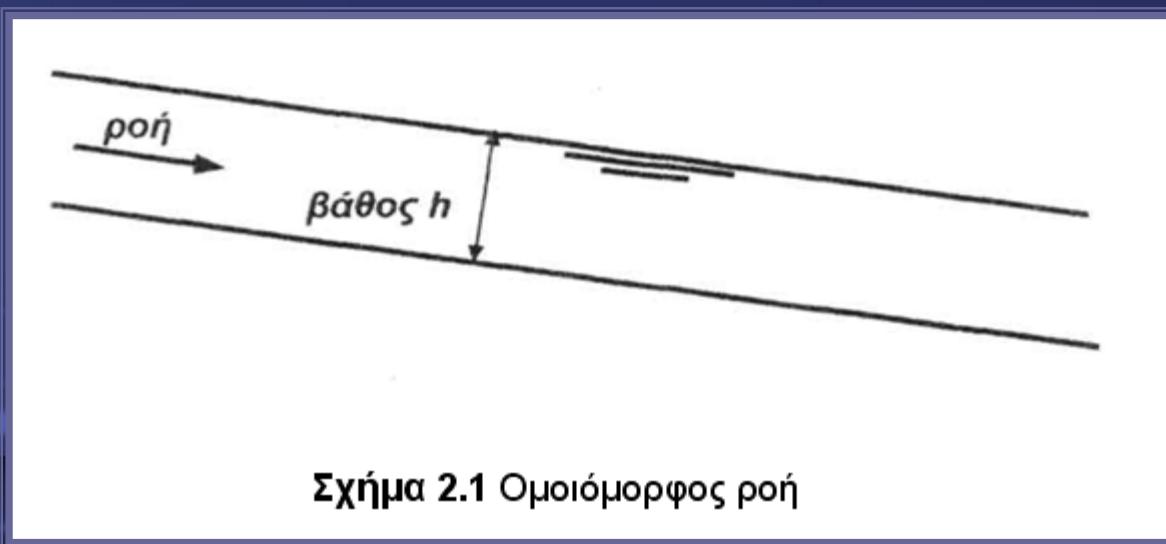
Μάθημα: ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

2^ο Κεφάλαιο : **Είδη ροής εντός
ανοικτών αγωγών**

Καθηγητής **Φώτιος Π. Μάρης**

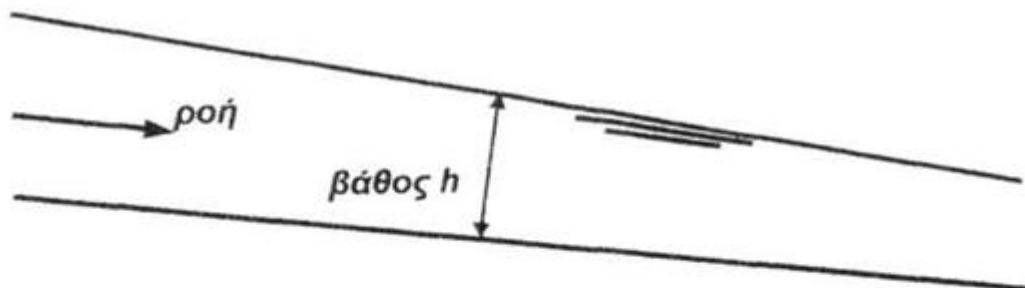
Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς είναι δυνατόν να είναι ομοιόμορφη ή μη - ομοιόμορφη, σταθερή ή μη - σταθερή. Η ροή θεωρείται ότι είναι **ομοιόμορφη** εάν η ταχύτητα του υγρού δεν αλλάζει είτε ως προς το μέγεθος είτε ως προς την διεύθυνση από μία διατομή στην επόμενη, στο υπό θεώρηση τμήμα του ανοικτού αγωγού.

Αυτή όμως η συνθήκη είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί μόνο όταν η υγρή διατομή του ρευστού παραμένει αμετάβλητη κατά μήκος του αγωγού. Ως αποτέλεσμα, το βάθος του υγρού πρέπει επίσης να παραμείνει αμετάβλητο. Συνεπώς, η ομοιόμορφη ροή χαρακτηρίζεται από μία υγρή επιφάνεια η οποία είναι παράλληλη προς τον πυθμένα του ανοικτού αγωγού, βλέπε Σχήμα 2.1. Σε κάθε μία διατομή η ταχύτητα του υγρού είναι δυνατόν να μεταβάλλεται λόγω π.χ. ιξωδών τάσεων, αλλά για να χαρακτηρισθεί η ροή ως ομοιόμορφη πρέπει η ταχύτητα στα αντίστοιχα σημεία των διαφόρων διατομών να είναι η ίδια.



Ροή της οποίας η υγρή επιφάνεια δεν είναι παράλληλη προς τον πυθμένα του ανοικτού αγωγού χαρακτηρίζεται ως **ανομοιόμορφη ή μεταβαλλόμενη, βλέπε Σχήμα 2.2.** Η αλλαγή του βάθους είναι δυνατόν να πραγματοποιείται είτε βαθμιαίως είτε ταχέως και γι' αυτό είναι πλέον σύνηθες φαινόμενο να μιλάμε για **ταχέως μεταβαλλόμενη ροή** και για **βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή**.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω χαρακτηρισμοί αναφέρονται σε τυχαίες μεταβολές από μια διατομή σε μια άλλην και όχι σε μεταβολές ως προς το χρόνο. Είναι δυνατόν σε τμήμα του ανοικτού αγωγού να εμφανισθεί ομοιόμορφη ροή και σε ένα άλλο τμήμα του ίδιου αγωγού να εμφανισθεί ανομοιόμορφη ροή, βλέπε Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.2 Μή-ομοιόμορφος ή μεταβαλλόμενη ή ανομοιόμορφος ροή

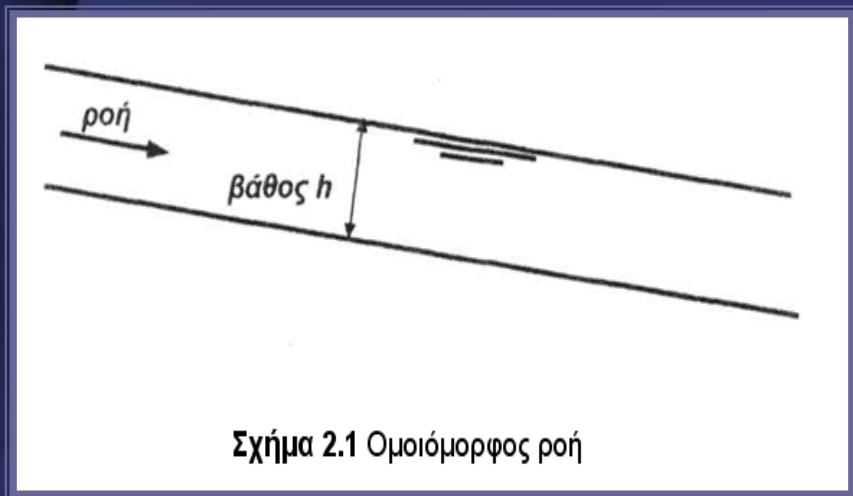
Η ροή είναι δυνατόν να χαρακτηρισθεί ως σταθερή ή μή σταθερή με το αν η ταχύτητα και κατά συνέπεια το βάθος ροής σε επί μέρους σημείο του ανοικτού αγωγού μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Στα περισσότερα προβλήματα ροής εντός των ανοικτών αγωγών η ροή θεωρείται ότι είναι προσεγγιστικά σταθερή. Φυσικά υπάρχουν και προβλήματα μη σταθερής ροής, όπως π.χ. στην περίπτωση των κυμάτων εμβολισμού (surge waves) όπου το βάθος ροής στο επί μέρους σημείο του ανοικτού αγωγού μεταβάλλεται αιφνίδια καθώς το κύμα περνά από κοντά του.

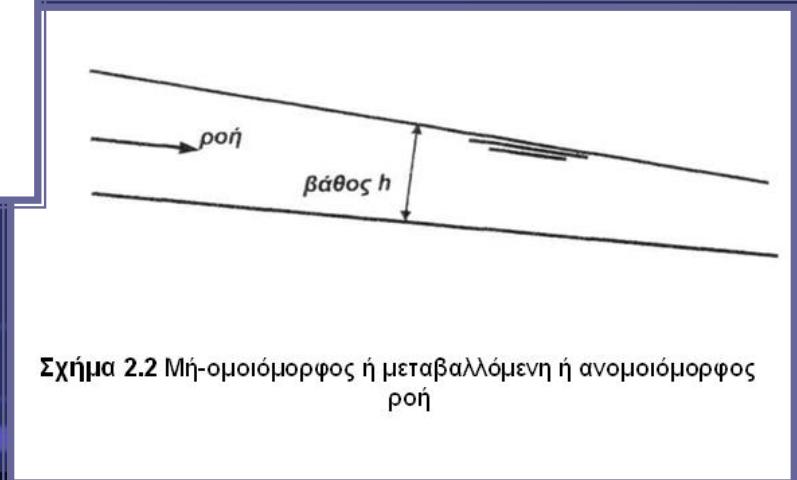
Μετά από μια σειρά μελετών η πλέον πρόσφορη περίπτωση είναι η σταθερή ομοιόμορφη ροή στην οποία το βάθος του υγρού παραμένει αμετάβλητο και κατά μήκος του ανοικτού αγωγού αλλά και σχετικό προς τον χρόνο.

Στα Σχήματα 2.1 και 2.2. η κλίση της επιφάνειας του πυθμένα έχει υπερεκτιμηθεί. Στην πραγματικότητα η κλίση των ανοικτών αγωγών είναι πολύ μικρή της τάξης του 0.001.

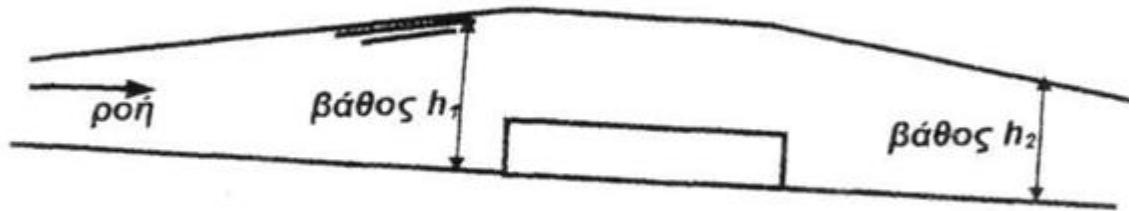
Στην πράξη το είδος της συχνότερης εμφανιζόμενης ροής είναι η ανομοιόμορφη παρά η ομοιόμορφη ροή. Αυτό είναι πλέον αληθοφανές στους μικρού μήκους ανοικτούς αγωγούς, διότι για να αναπτυχθεί η ροή σε ομοιόμορφη ροή χρειάζεται να προηγηθεί αρκετό μήκος ανοικτού αγωγού όπου η ροή είναι ανομοιόμορφη.



Σχήμα 2.1 Ομοιόμορφος ροή



Σχήμα 2.2 Μή-ομοιόμορφος ή μεταβαλλόμενη ή ανομοιόμορφος ροή



Σχήμα 2.3 Διάφορα είδη ροής εντός ανοικτών αγωγών

Επιπλέον των όσων αναφέρθηκαν η ροή εντός των ανοικτών αγωγών, όπως ακριβώς και στους κλειστούς αγωγούς, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι **είτε στρωτή είτε τυρβώδης**. Το είδος ροής το οποίο εμφανίζεται στην πραγματικότητα εξαρτάται κυρίως από το σχετικό μέγεθος των δυνάμεων αδρανείας (δηλ. της ταχύτητας) προς τις δυνάμεις ιξώδους δράσεως. Ο αριθμός **Reynolds** χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το είδος της εμφανιζόμενης ροής. Ο αριθμός αυτός, Re , ισούται προς,

$$Re = \frac{u \bar{h} \rho}{\mu} \quad (2.1)$$

όπου **u** η ταχύτητα του υγρού (m/s), **p** το ιξώδες του υγρού (kg/ms), **ρ** η πυκνότητα του υγρού (kg/m^3) και **h** είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος (m) το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι το υδραυλικό μέσο βάθος έτσι το πηλίκο,

$$\bar{h} = \frac{A}{B} \quad (2.2)$$

όπου **A** η υγρά διατομή (m^2) και **B** το πλάτος της υγρής επιφανείας (m). Αριθμοί Reynolds μικρότεροι του 600.0 δείχνουν ότι η ροή είναι στρωτή. Το 600.0 λοιπόν είναι η χαμηλότερη κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds.

Τα προβλήματα των ανοικτών αγωγών που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον και στα οποία η ροή είναι στρωτή είναι ελάχιστα. Τα περισσότερα προβλήματα με μηχανικές εφαρμογές έχουν μια πλήρως αναπτυγμένη τυρβώδη ροή. Το γεγονός ότι μερικές φορές η επιφάνεια του κινουμένου υγρού εμφανίζεται ως ομαλή δεν πρέπει να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ροή είναι στρωτή και ότι δεν υπάρχει τυρβώδης ζώνη κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Είναι σύνηθες φαινόμενο οι δυνάμεις αδρανείας να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες των ιξωδών δυνάμεων.

Ένας άλλος σημαντικός χαρακτηρισμός της ροής των ανοικτών αγωγών δίνεται και από το μέγεθος του αριθμού **Froude** της ροής,

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gh}} \quad (2.3)$$

όπου u (m/s^2) η επιτάχυνση της βαρύτητας και h (m) το βάθος ροής.

Αν και γίνεται συστηματική μελέτη του αριθμού Froude στα παρακάτω Κεφάλαια, πρέπει να αναφερθεί ότι όταν η ταχύτητα της ροής του υγρού είναι μικρή τότε είναι δυνατόν μια μικρή διαταραχή η οποία εισάγεται οπουδήποτε στον χώρο ροής να κατευθυνθεί και προς την αντίθετη κατεύθυνση της ροής δηλαδή προς τα ανάντη και αυτό να επιδράσει στις συνθήκες ροής στην ανάντη περιοχή. Τότε ο αριθμός Froude είναι μικρότερος της μονάδος και η ροή ονομάζεται **ήρεμος** ή **ποτάμια**. Εάν όμως η ταχύτητα ροής είναι τόσο μεγάλη ώστε μία μικρή διαταραχή να μην είναι δυνατόν να μεταδοθεί προς τα ανάντη, τότε συμπαρασύρεται μέσο του ύδατος προς τα κατάντη. Τότε ο αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος της μονάδος και η ροή ονομάζεται **ταχεία** ή **χειμαρρώδης**.

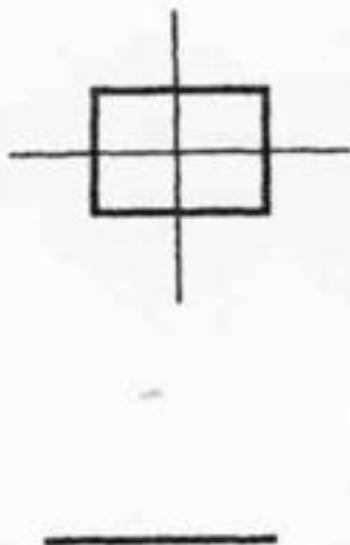
Όταν ο αριθμός Froude είναι ίσος προς την μονάδα τότε η ροή ονομάζεται **κρίσιμος**. Στην περίπτωση όπου ο αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος της μονάδος η ροή χαρακτηρίζεται ως **υπερκρίσιμος**, ενώ όταν είναι μικρότερος της μονάδος η ροή χαρακτηρίζεται ως **υποκρίσιμος**.

Η ροή μπορεί να είναι **στροβιλή** ή **αστρόβιλος**. Ως στροβιλή θεωρείται η ροή εάν κάθε σωματίδιο του ρευστού έχει μία γωνιακή ταχύτητα γύρω από το ίδιο το κέντρο της μάζης του. Το Σχήμα 2.4. απεικονίζεται η τυπική κατανομή ταχύτητας με τυρβώδη ροή. Η ροή είναι στροβιλή.

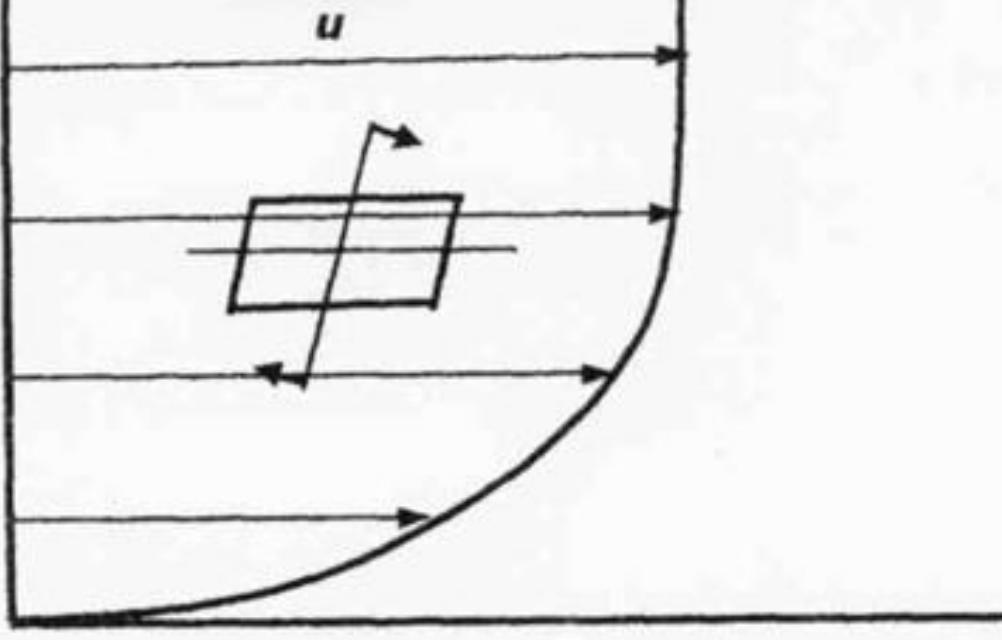
Προς ανακεφαλαίωση των παραπάνω η ροή μπορεί να είναι:

- α) είτε ομοιόμορφη είτε ανομοιόμορφη ή μεταβαλλόμενη,
- β) είτε σταθερή είτε μή-σταθερή ή μή-μόνιμη ή ασταθής,
- γ) είτε στρωτή είτε τυρβώδης,
- δ) είτε ήρεμος ή ποτάμια είτε ταχεία ή χειμαρρώδης και
- ετο) είτε στροβιλή είτε αστρόβιλος.

αδιατάρακτος ροή
αστροβίλος ροή



ροή εντός οριακού στρώματος
στροβιλή ροή



πυθμένας (στερεό δριό)

Σχήμα 2.4 Στροβιλή ροή