



UNIVERSITY OF
PATRAS
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Σημειώσεις διαλέξεων «Εφαρμοσμένη Υδραυλική»

Διάλεξη 5
22/11/2022

Λευθεριώτης Γεώργιος
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Πατρών

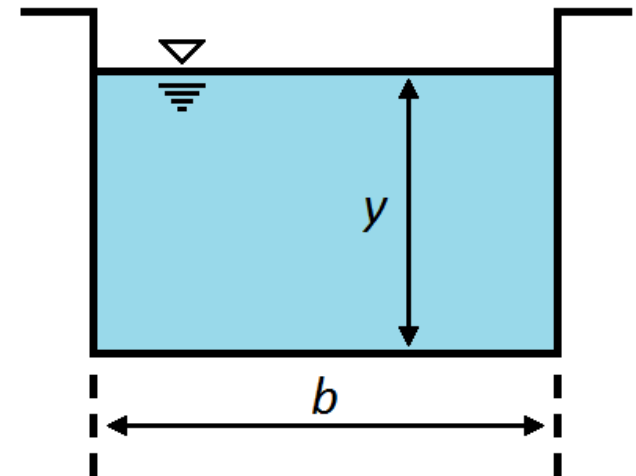
Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

2/11

- Επιφάνεια του υγρού σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα
- Ονομάζεται και ροή με ελεύθερη επιφάνεια
- Η πίεση στην επιφάνεια του υγρού είναι σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική πίεση
- Η θέση της ελεύθερης επιφάνειας σε σχέση με το βάθος μπορεί να μεταβάλλεται, άρα η διατομή της ροής δεν είναι προκαθορισμένη
- Το βάθος ροής, η παροχή και οι κλίσεις πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας αλληλοεξαρτώνται

Σημείωση:

Είναι δυνατόν να έχουμε ροή με ελεύθερη επιφάνεια όταν η διατομή του αγωγού είναι κλειστή αλλά ο αγωγός δεν είναι γεμάτος



Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

3/11

Κατηγορίες Αγωγών

Φυσικοί Αγωγοί

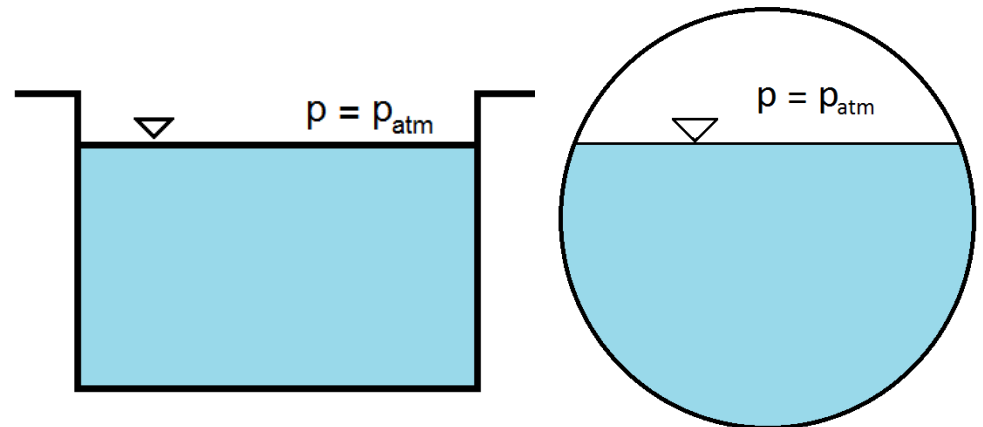
Ποταμοί, χείμαρροι, ρυάκια, ρέματα κλπ. Συνήθως είναι χωμάτινοι.



<https://www.governmenteuropa.eu/river-biodiversity-analysed/93961/>

Τεχνητοί Αγωγοί

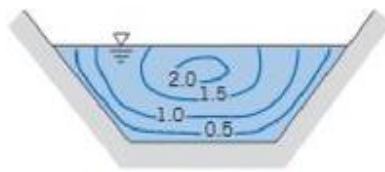
Σωλήνες (αγωγοί), αποχέτευσης λυμάτων και όμβριων νερών, κανάλια άρδευσης και αποστράγγισης, διώρυγες κλπ.



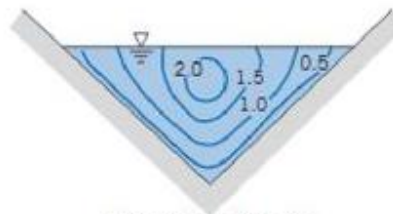
Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

4/11

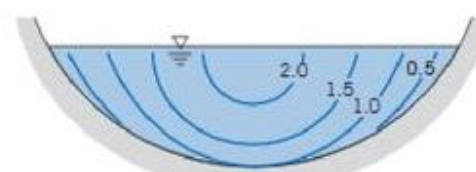
- Ονομάζεται και ροή με ελεύθερη επιφάνεια.
- Η διαμήκης ταχύτητα σε τυχαία διατομή είναι μεταβλητή. Σε αγωγούς ορθογωνικής διατομής η μέγιστη ταχύτητα παρατηρείται σε απόσταση 5% έως 20% του βάρους, μετρούμενη από την ελεύθερη επιφάνεια.
- Όσο στενότερη η διατομή, τόσο πιο χαμηλά παρατηρείται η μέγιστη ταχύτητα.



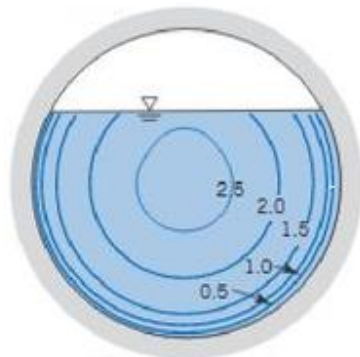
Trapezoidal channel



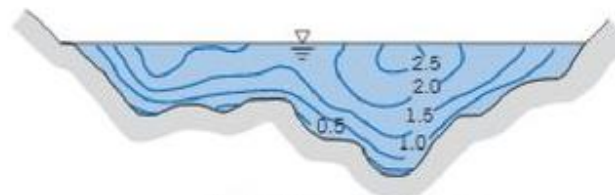
Triangular channel



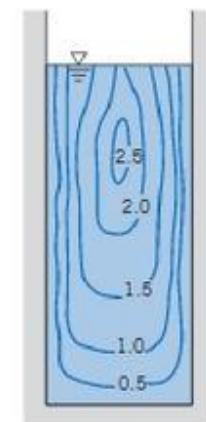
Shallow ditch



Circular channel



Natural irregular channel



Narrow rectangular section

Τυπικές καμπύλες διαμήκης ταχύτητας σε διαφορετικές διατομές

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

- Σε “υδραυλικώς ευρείες” διατομές (πλάτος \gg βάθος) οι μεταβολές της ταχύτητας είναι σημαντικές μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.
- Στα περισσότερα προβλήματα (πλάτος, μήκος \gg βάθος) οι διαμήκεις μεταβολές της διατομής του αγωγού γίνονται σταδιακά.
- Επομένως, η κύρια συνιστώσα της ταχύτητας είναι κατά τη διαμήκη διεύθυνση, οι ταχύτητες και οι επιταχύνσεις σε εγκάρσιο επίπεδο είναι αμελητέες, άρα οι γραμμές ροής είναι παράλληλες ή έχουν πολύ μικρή καμπυλότητα.
- Με βάση τα παραπάνω, υιοθετούμε μονοδιάστατη ανάλυση της ροής (όπως στους κλειστούς αγωγούς) με χρήση της μέσης διαμήκου ταχύτητας της διατομής.

$$V = \frac{Q}{A}$$

όπου Q = παροχή και A = εμβαδόν διατομής

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

6/11

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά της Διατομής ενός Αγωγού

- Η διατομή των τεχνητών αγωγών έχει συνήθως κανονικό σχήμα (ορθογώνιο, τρίγωνο, τραπέζιο, κύκλος).
- Ένας αγωγός με σταθερή κλίση πυθμένα ($S_o = \text{σταθερή}$) και σταθερό εμβαδό διατομής ονομάζεται **πρισματικός**

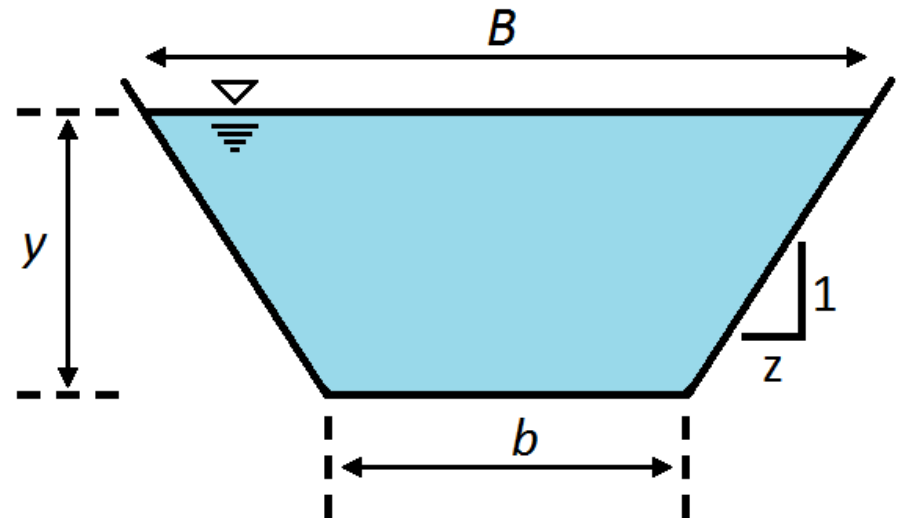
Τα κύρια χαρακτηριστικά της διατομής ενός αγωγού είναι τα εξής:

- Το εμβαδόν της διατομής (**A**)
- Η βρεχόμενη περίμετρος (**P**)
- Το πλάτος της υδάτινης επιφάνειας (**B** ή **T**)

Από αυτά τα μεγέθη υπολογίζονται:

- Η υδραυλική ακτίνα (**R_h**)
- Το υδραυλικό βάθος (**D_h**)

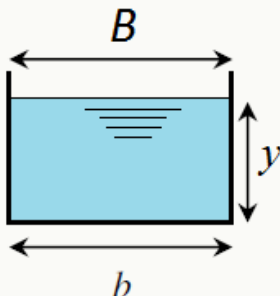
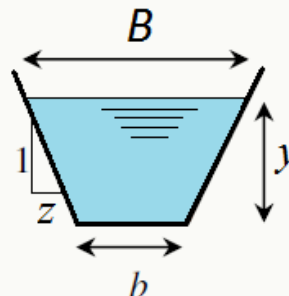
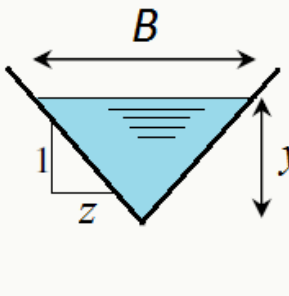
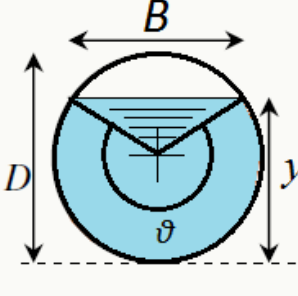
$$R_h = \frac{A}{P} \quad D_h = \frac{A}{B}$$



Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

7/11

Γεωμετρικά και Υδραυλικά Χαρακτηριστικά Διατομών

	ορθογωνική	τραπεζοειδής	τριγωνική	κυκλική
				
Επιφάνεια A	by	$(b + zy)y$	zy^2	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)D^2$
Βρεχόμενη Περίμετρος P	$b + 2y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{1}{2}\theta D$
Υδραυλική Ακτίνα R_h	$\frac{by}{b + 2y}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{1}{4}\left[1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right]D$
Πλάτος Υδάτινης Επιφάνειας B	b	$b + 2zy$	$2zy$	or $\frac{(\sin \theta / 2)D}{2\sqrt{y(D - y)}}$
Υδραυλικό Βάθος D_h	y	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{1}{2}y$	$\left[\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \theta / 2}\right] \frac{D}{8}$

Είδη Ροής

- **Μόνιμη Ροή:**
Τα χαρακτηριστικά της ροής (παροχή, βάθος, ταχύτητα) δεν μεταβάλλονται στο χρόνο
- **Μη Μόνιμη Ροή:**
Τα χαρακτηριστικά της ροής μεταβάλλονται με το χρόνο
- **Ομοιόμορφη Ροή:**
Το βάθος και η μέση ταχύτητα ροής δεν μεταβάλλονται κατά μήκος του αγωγού
- **Ανομοιόμορφη ή Μεταβαλλόμενη Ροή:**
Το βάθος και η μέση ταχύτητα ροής μεταβάλλονται κατά μήκος του αγωγού

Διακρίνουμε δύο είδη μεταβαλλόμενης ροής

a) Βαθμιαία ή σταδιακά μεταβαλλόμενη:

Οι μεταβολές επέρχονται μεταξύ διατομών σε σχετικά μεγάλη απόσταση

b) Ταχέως μεταβαλλόμενη

Οι μεταβολές είναι απότομες επέρχονται μεταξύ διατομών σε μικρή απόσταση

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

9/11

Στρωτή / Τυρβώδης και Υπερκρίσιμη / Υποκρίσιμη Ροή

Για το χαρακτηρισμό της ροής από δυναμική άποψη χρησιμοποιούνται οι αδιάστατοι αριθμοί Reynolds (Re) και Froude (Fr)

$$Re = \frac{V \cdot 4R_h}{\nu} \qquad Fr = \frac{V}{c} = \frac{V}{\sqrt{gD_h}}$$

όπου c (celerity) είναι η ταχύτητα μετάδοσης μικρής διαταραχής

Τυρβώδης Ροή \longrightarrow $Re > 4000$

Στρωτή Ροή \longrightarrow $Re < 2000$

Μεταβατική Ροή \longrightarrow $2000 < Re < 4000$

Κρίσιμη Ροή \longrightarrow $Fr = 1$

Υποκρίσιμη Ροή \longrightarrow $Fr < 1$

Υπερκρίσιμη Ροή \longrightarrow $Fr > 1$

Υπερκρίσιμη / Υποκρίσιμη Ροή

Σχόλια

Υπερκρίσιμη Ροή

- $Fr > 1$
- Μεγάλες ταχύτητες ροής (χειμαρρώδης ροή), μικρά βάθη ροής
- Μεγάλες κλίσεις πυθμένα
- Η ροή ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά της μόνο προς τα κατάντη

Υποκρίσιμη Ροή

- $Fr < 1$
- Μικρές ταχύτητες ροής (ποτάμια ροή), μεγάλα βάθη ροής
- Μικρές κλίσεις πυθμένα
- Η ροή ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά της και προς τα ανάντη

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

11/11

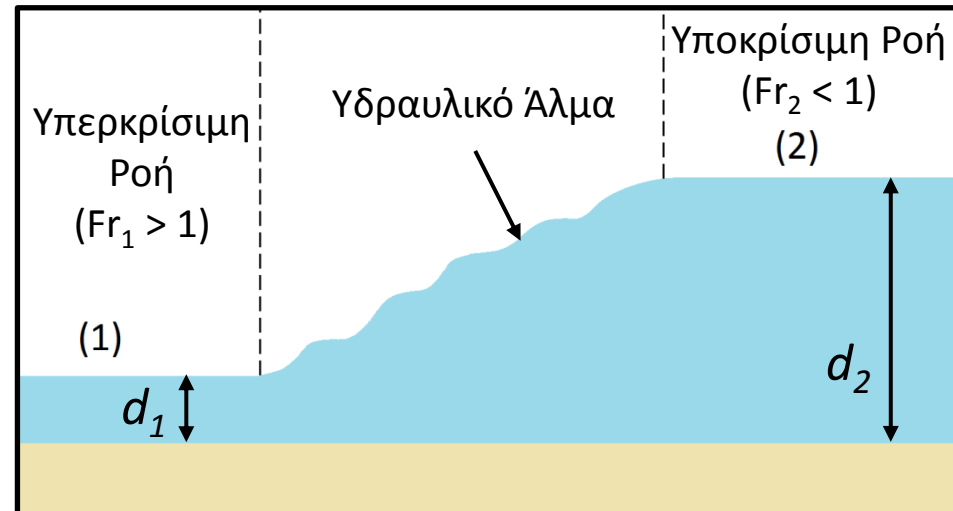
Υπερκρίσιμη / Υποκρίσιμη Ροή

Σχόλια

Η μετάβαση της ροής από **Υποκρίσιμη** σε **Υπερκρίσιμη** πραγματοποιείται με σταδιακή μείωση του βάθους ροής και αντίστοιχη πτώση της ελεύθερης επιφάνειας, δηλαδή η ροή είναι μεταβαλλόμενη.

Η μετάβαση της ροής από **Υπερκρίσιμη** σε **Υποκρίσιμη** γίνεται απότομα (ταχέως μεταβαλλόμενη ροή) δημιουργώντας ένα εντυπωσιακό φαινόμενο ροής που ονομάζεται **Υδραυλικό Άλμα**.

Το βάθος ροής αυξάνεται απότομα με τη μορφή άλματος με έντονους στροβίλους και σημαντικές (τοπικές) απώλειες.



Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Βιβλιογραφία

- Δημητρακόπουλος Α. **Στοιχεία υδραυλικής κλειστών και ανοικτών αγωγών**, Εκδόσεις Gotsis, 2018.
- Λιακόπουλος Α. **Υδραυλική**, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2020,
- Στάμου Α. **Εφαρμοσμένη Υδραυλική**, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2016.