

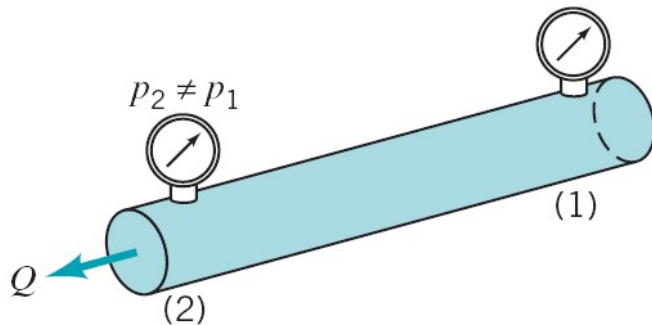
Από τη μηχανική ρευστών στην Υδραυλική και βασικές έννοιες

Μ Γ ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ

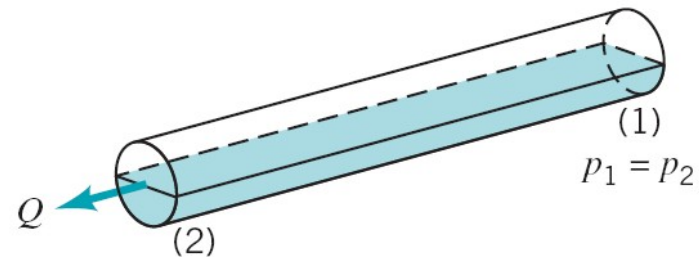
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΠΘ

Αγωγοί

- Υπό πίεση
- Με ελεύθερη επιφάνεια
- Στους κλειστούς αγωγούς κυριαρχεί η ίση της πίεσης ενώ στους ανοικτούς αγωγούς καθαρυστική είναι η δύναμη βαρύτητας και συνεπώς η κλίση του αγωγού



Pipe flow



Υδροστατική κατανομή της πίεσης-για
ομοιόμορφη ροή ($y_1=y_2$) $\rightarrow p_1=p_2$

open-channel flow

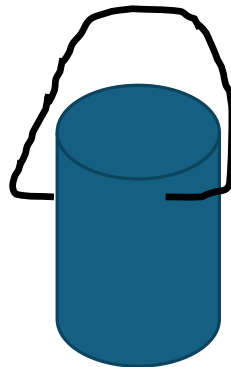
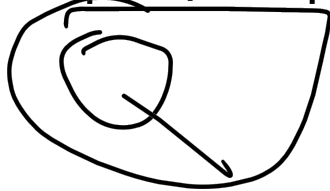
(Ουγκομετρική παροχή)

- Όγκος στη μονάδα του χρόνου
- Πόσο γρήγορα γεμίζει ένας κουβάς?
- Παροχή = όγκος κουβά (που πληρώθηκε με νερό) / χρόνος για να γεμίσει

(m³/s)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$



Παροχή

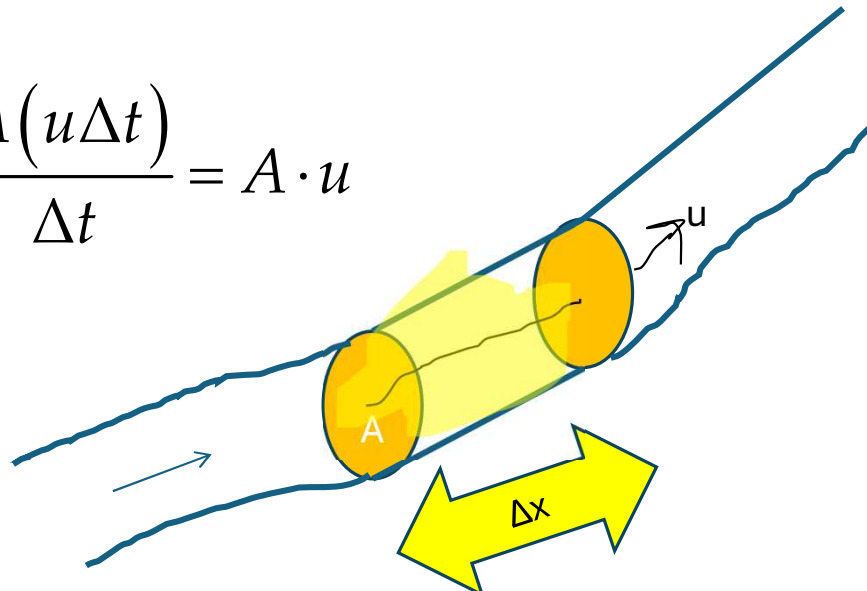
(ογκομετρική, σωληνοειδής ροή)/φυσική
ερμηνεία

- Αν η διατομή του ρευστού σε ένα σημείο είναι A και η ταχύτητα u , τότε σε μικρό χρόνο Δt , τότε ο όγκος το κυλίνδρου είναι

$$\Delta V = (u \cdot \Delta t)A, \quad \Delta x = (u \cdot \Delta t)$$

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A(u \Delta t)}{\Delta t} = A \cdot u$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} u$$

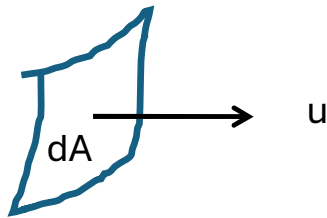


Μέση ταχύτητα γιατί υπάρχει μη ενιαία ταχύτητα σε όλη τη διατομή

- Ορισμός με βάση την παροχή

$\bar{V}$: Μέση ταχύτητα είναι η παροχή που διέρχεται ανά μονάδα επιφανείας

διατομής $\bar{V} = Q/A = \frac{1}{A} \iint_A u \, dA$ όπου u σημειακή ταχύτητα



$$Q = \iint_A u \cdot dA$$

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

ΟΡΙΣΜΟΣ

Αλλά...μεταβολής της ταχύτητας καθ' ύψος και μονοδιάστατη ομοιόμορφη ροή

- Με βάση τις οριακές συνθήκες η ταχύτητα στα τοιχώματα των αγωγών είναι μηδέν, επομένως το προφίλ ταχυτήτων αλλάζει καθ' ύψος ακόμη και στην ομοιόμορφη ροή

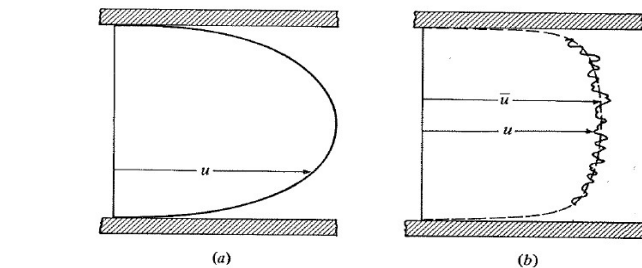
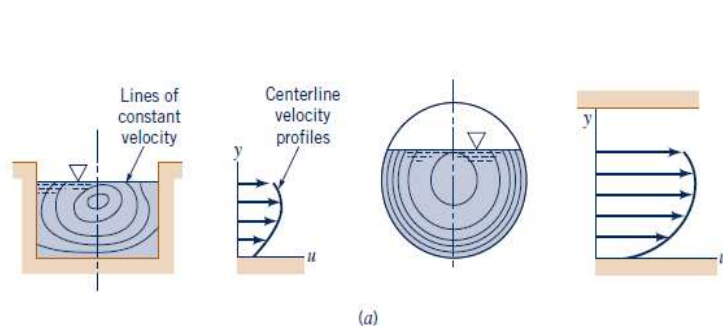


FIGURE 4-4 Laminar and turbulent flow in a pipe. (a) Laminar flow, (b) Turbulent flow.

- απλοποίηση, θεωρούμενο προφίλ ταχυτήτων (μη πραγματικό)



Μόνιμη ροή

Για το σχεδιασμό των υδραυλικών έργων τις περισσότερες φορές γίνεται η υπόθεση της μόνιμης ροής μολονότι στην πράξη η ροή δεν είναι μόνιμη. Για το σχεδιασμό των υδραυλικών έργων η μόνιμη (στατική) κατάσταση στην οποία εδράζεται η επίλυση είναι συνήθως η δυσμενέστερη.

Στη μόνιμη ροή ισχύει:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = 0$$

Όπου α οποιαδήποτε μέγεθος της ροής.

Πρακτικά η παραπάνω εξίσωση σημαίνει ότι ο χρόνος δεν εμφανίζεται πουθενά ως μεταβλητή. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στην τυρβώδη ροή, που συνήθως συναντάται σε πραγματικά προβλήματα, ακόμη και όταν προσεγγίζεται ως μόνιμη ροή στην πραγματικότητα συμβαίνουν μικρές σύντομες διακυμάνσεις για όλα τα μεγέθη της ροής εκατέρωθεν της μέσης τιμής.

Σωληνοειδής ροή: Ο κύριος άξονας της ροής είναι σημαντικά μεγαλύτερος από την εγκάρσια διατομή. **Εφαρμογές:** Κλειστοί ανοικτοί και Ανοικτοί αγωγοί

Διαστασιολόγηση έργων: (demand driven)

Δυσμενέστερη περίπτωση, π.χ. υδρεύσεις στο εσωτερικό υδραγωγείο διαστασιολογώ με βάση τη μέγιστη ωριαία παροχή, προφανώς όμως η παροχή δεν είναι μόνιμη



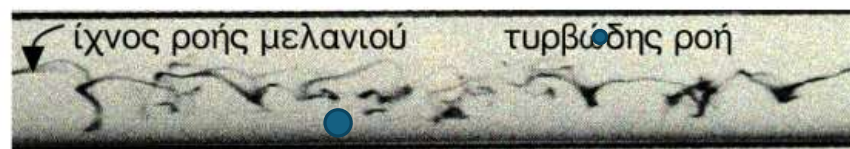
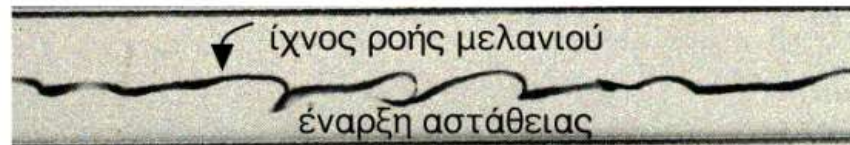
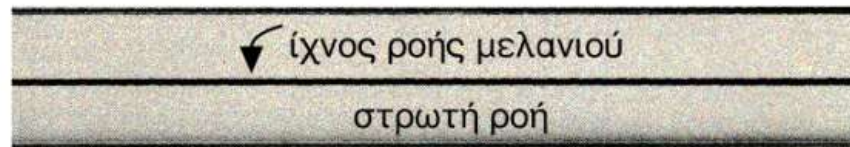
ΣΤΡΩΤΗ ΚΑΙ ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΡΟΗ

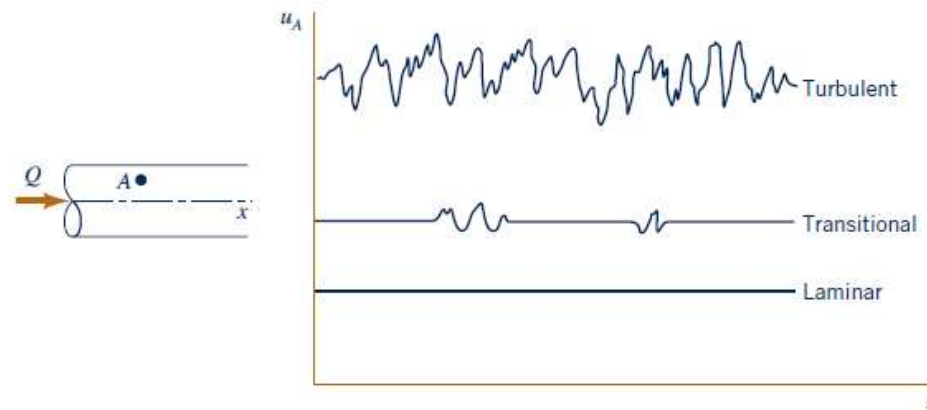
Φωτογραφία των πειραμάτων της διοχέτευσης από λεπτό ακροφύσιο μελάνης μέσα σε γυάλινο κυλινδρικό σωλήνα.

Η **στρωτή ροή** (laminar flow) χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι το μελάνι εμφανίζεται σαν τεντωμένο νήμα.

Με την αύξηση της παροχής και την εμφάνιση αριθμού Reynolds πάνω από 2000, εμφανίζεται αστάθεια και μετάπτωση της ροής σε **τυρβώδη**

Στην τυρβώδη ροή μπορεί να υπάρξει μόνιμη ροή???





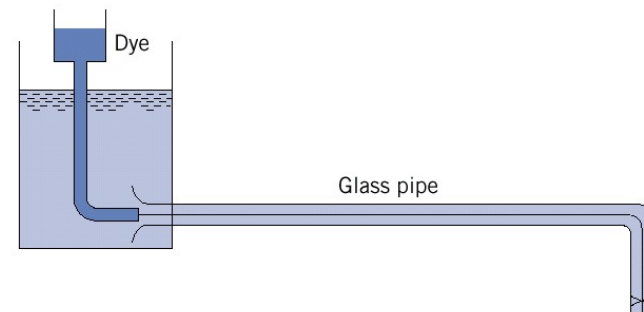
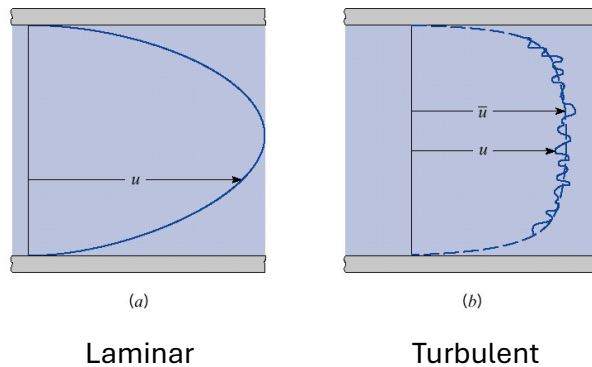
■ **Figure 8.4** Time dependence of fluid velocity at a point.

Στη τυρβώδη ροή υπάρχει μόνιμη τιμή ενός μεγέθους κατά μέσο όρο, υπάρχει σίγουρα διακύμανση των τιμών της ταχύτητας από στιγμή σε στιγμή. Η θεώρηση μόνιμης ροής για τυρβώδη ροή οδηγεί στη συνακόλουθη θεώρηση τάσεων τύρβης.

Πείραμα Reynolds

- $Re = \frac{\text{δυνάμεις αδράνειας}}{\text{δυνάμεις ιξώδους}} = \frac{\rho V D}{\mu}$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \begin{cases} < 2000 & \text{Laminar flow} & h_f \propto V \\ 2000 - 4000 & \text{Transition flow} & \\ > 4000 & \text{Turbulent flow} & h_f \propto V^2 \end{cases}$$

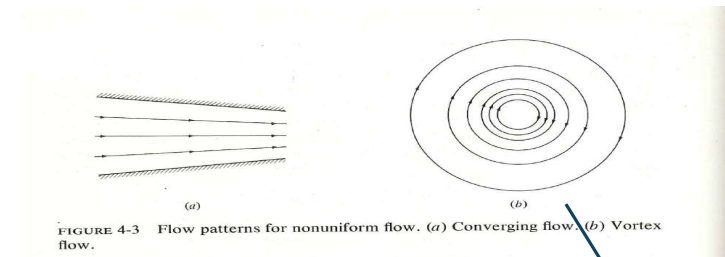
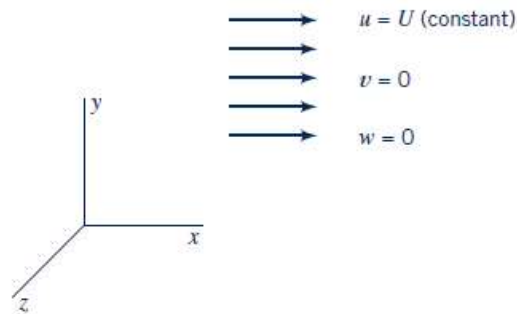


Πίνακας Π-10 Ιδιότητες νερού σε πίεση 1 atm

$T (^{\circ}\text{C})$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\mu \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$	$\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$
0	999,9	$1,787 \times 10^{-3}$	$1,787 \times 10^{-6}$
5	1000,0	$1,519 \times 10^{-3}$	$1,519 \times 10^{-6}$
10	999,7	$1,307 \times 10^{-3}$	$1,307 \times 10^{-6}$
20	998,2	$1,002 \times 10^{-3}$	$1,004 \times 10^{-6}$
30	995,7	$7,975 \times 10^{-4}$	$8,009 \times 10^{-7}$
40	992,2	$6,529 \times 10^{-4}$	$6,580 \times 10^{-7}$
50	988,1	$5,468 \times 10^{-4}$	$5,534 \times 10^{-7}$
60	983,2	$4,665 \times 10^{-4}$	$4,745 \times 10^{-7}$
70	977,8	$4,042 \times 10^{-4}$	$4,134 \times 10^{-7}$
80	971,8	$3,547 \times 10^{-4}$	$3,650 \times 10^{-7}$
90	965,3	$3,147 \times 10^{-4}$	$3,260 \times 10^{-7}$
100	958,4	$2,818 \times 10^{-4}$	$2,940 \times 10^{-7}$

Παπαϊωάννου, 2009

Ομοιόμορφη ροή



Μη ομοιόμορφη ροή

Ομοιόμορφη ροή: όταν η μεταβολή της ταχύτητας ίδια σε οποιαδήποτε επιλεγθείσα διεύθυνση, s

$$\frac{\partial U}{\partial s} = 0$$

Στους αγωγούς (επαφή με στερεά τοιχώματα) μπορεί να επεκταθεί θεωρώντας μόνο αν η **μέση ταχύτητα** για ίδιες διατομές παραμένει η ίδια .
(Streeter et al., 2010)



Θεμελίωση

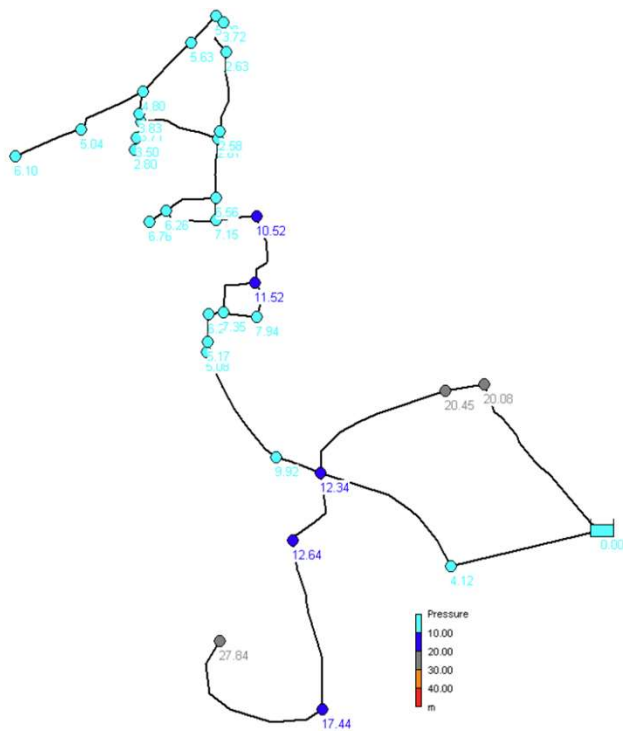
Βασικές εξισώσεις διατήρησης

- Μάζας (συνέχειας)
- Ποσότητας κίνησης
- Ενέργειας

Ημί-εμπειρικές σχέσεις-πειράματα

- Πειραματικές σχέσεις (π.χ. τοπικές απώλειες ενέργειας)
- Εξισώσεις για την τύρβη ->
- Ημιεμπειρικές σχέσεις για τις γραμμικές απώλειες ενέργειας κ.α
- Κ.α

Χαρακτηριστικά κλειστών αγωγών



Κυκλικοί αγωγοί εμπορίου

Ομοιόμορφη ροή

Σχεδιαστική απαίτησή για ταχύτητα
 $0.5 \leq V \leq 1.5-2 \text{ m/s}$

Αρχική ενέργεια: στάθμη ε.ε.

Πίεση μεταβλητή: Από ΑΔΕ (μεγάλος
άγνωστος)

Δυνατότητα αντλίας

ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

από ΡΕ 3ης γενιάς/ Εμπορίου

Πίεση λειτουργίας : 10 atm (1000 hPa)

Ονομαστική διάμετρος Dn (mm)	32	40	50	63	75	90	110
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	28	35.2	44	55.4	66	79.2	96.8
Ονομαστική διάμετρος Dn (mm)	125	140	160	180	200	225	250
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	110.2	123.4	141	158.6	176.2	198.2	220.4
Ονομαστική διάμετρος Dn (mm)	280	315	355	400	450	500	560
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	246.8	277.6	312.8	352.6	396.6	440.6	493.6
Ονομαστική διάμετρος Dn (mm)	630						
Εσωτερική διάμετρος D (mm)	555.2						