

Ρευστομηχανική

18^η Διάλεξη

Ροή σε σωληνώσεις – Βασικές έννοιες

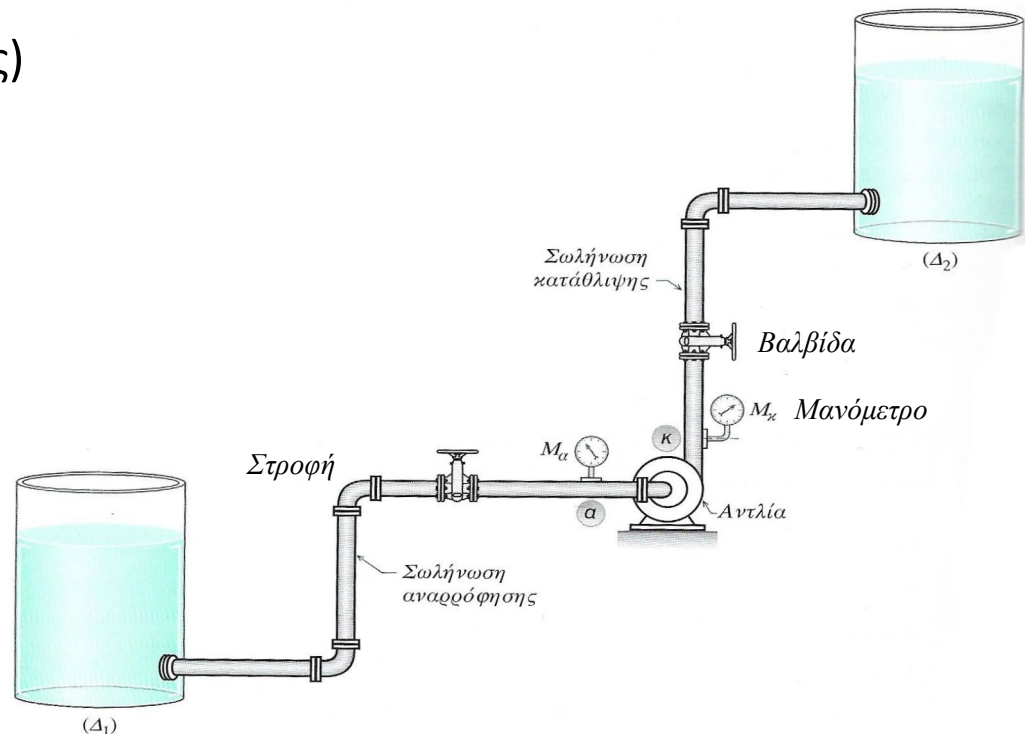
Γεώργιος Αραμπατζής

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Πολυτεχνείο Κρήτης
Ακαδημαϊκό Έτος 2019-2020

Στοιχεία σωληνώσεων

- Σωλήνωση (σωληνογραμμή)
- Αγωγοί
 - Κυκλικής διατομής (σωλήνες)
 - Μη-κυκλικής διατομής (ορθογωνικής, ελλειπτικής)
- Εξαρτήματα
 - Καμπύλες, διακλαδώσεις
 - Συστολές, διαστολές
 - Βαλβίδες (ρύθμιση ροής)
- Συσκευές προσαγωγής / απαγωγής ενέργειας
 - Αντλίες
 - Στρόβιλοι

Σύνολο αγωγών που τοποθετούνται διαδοχικά για τη μεταφορά ενός ρευστού από ένα σημείο (παραγωγή, αποθήκευση) σε ένα άλλο σημείο (κατανάλωση, αποθήκευση)



Κινούσα δύναμη

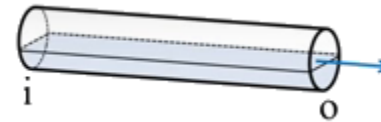
Ροή σε αγωγό



$$p_i > p_o$$

- Ο αγωγός καλύπτεται από το ρευστό (πλήρης ρευστού)
- Για οριζόντιους ή αγωγούς με ανωφέρεια, μόνη κινούσα δύναμη είναι η **διαφορά πίεσης**
- Για αγωγούς με κατωφέρεια, κινούσες δυνάμεις είναι η διαφορά πίεσης και η **βαρύτητα**

Ροή με ελεύθερη επιφάνεια (π.χ. σε ανοικτό κανάλι)

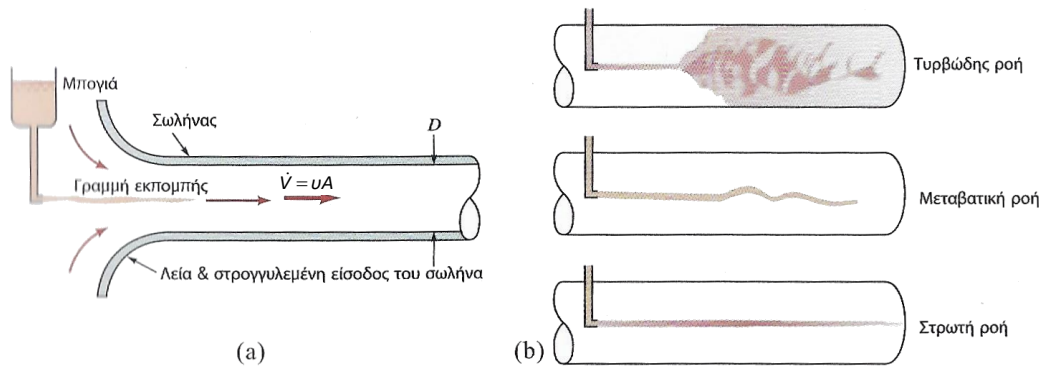


$$p_i \approx p_o$$

- Ο αγωγός καλύπτεται μερικώς από το ρευστό
- Το ρευστό ρέει από μεγαλύτερα σε μικρότερα ύψη
- Η μόνη κινούσα δύναμη είναι η βαρύτητα

Στρωτή και τυρβώδης ροή

- Το πείραμα του Reynolds

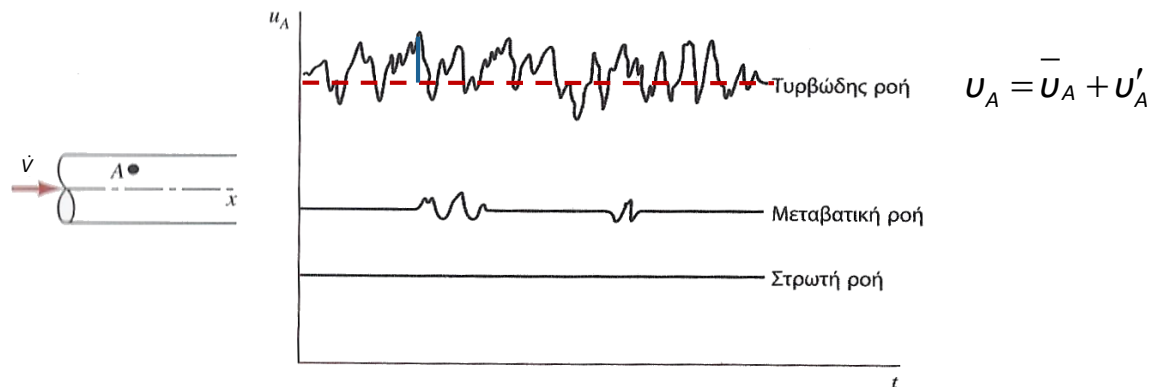


Video



<https://www.youtube.com/watch?v=6OzAx1bPGD4>

- Διακύμανση ταχύτητας



Αριθμός Reynolds

$$Re_D = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu}$$

Μέση ταχύτητα: $u(=\bar{u}) = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\pi R^2}$



$$Re_D > 4000$$



$$2100 < Re_D < 4000$$



$$Re_D < 2100$$

Παράδειγμα 1

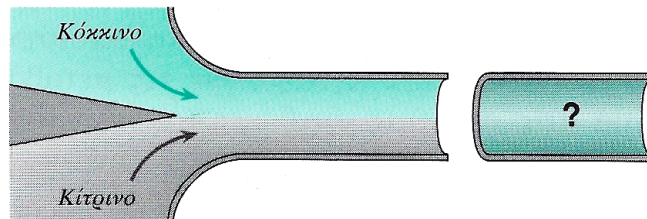
Χαρακτηρισμός ροής ως στρωτής ή τυρβώδους

Δύο ρεύματα χρωμάτων, το ένα κίτρινο και το άλλο κόκκινο, εισέρχονται σε αγωγό κυκλικής διατομής μήκους 1 m και διαμέτρου 2 cm.

Τι χρώμα έχει το ρευστό που εξέρχεται από τον αγωγό αν τα δύο χρώματα έχουν ιξώδες $0.01 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, πυκνότητα 1000 kg/m^3 και η ταχύτητα ροής είναι:

(α) 0.1 m/s

(β) 10 m/s



$$L = 1 \text{ m} \quad D = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

$$\mu = 0.01 \text{ Pa}\cdot\text{s} \quad \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$u_1 = 0.1 \text{ m/s} \quad u_2 = 10 \text{ m/s}$$

Παράδειγμα 1 – Λύση

$$\alpha. \quad Re_{D,1} = \frac{\rho u_1 D}{\mu} = \frac{1000 \times 0.1 \times 0.02}{0.01} = 200$$

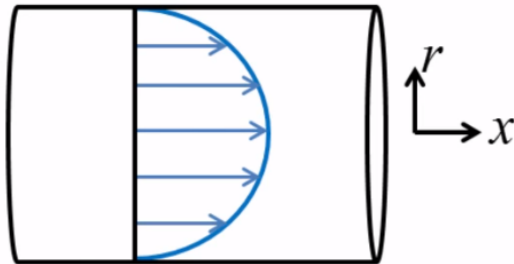
Στρωτή ροή -> Καμία ανάμιξη -> Δύο διακριτά ημικυκλικά ρεύματα

$$\beta. \quad Re_{D,2} = \frac{\rho u_2 D}{\mu} = \frac{1000 \times 10 \times 0.02}{0.01} = 20000$$

Τυρβώδης ροή -> Πλήρης ανάμιξη -> Πορτοκαλί ρεύμα

Προφίλ ταχύτητας

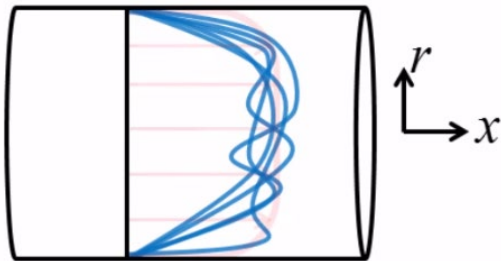
A. Στρωτή ροή



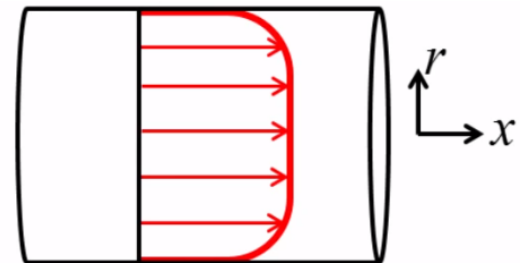
Παραβολικό
προφίλ

B. Τυρβώδης ροή

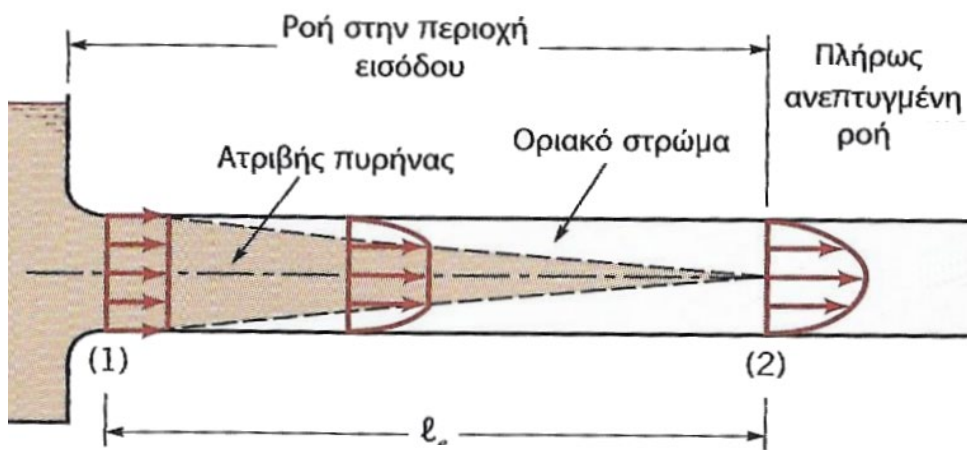
Στιγμιαία προφίλ



Χρονικά μέσο προφίλ



Περιοχή εισόδου και πλήρως ανεπτυγμένη ροή



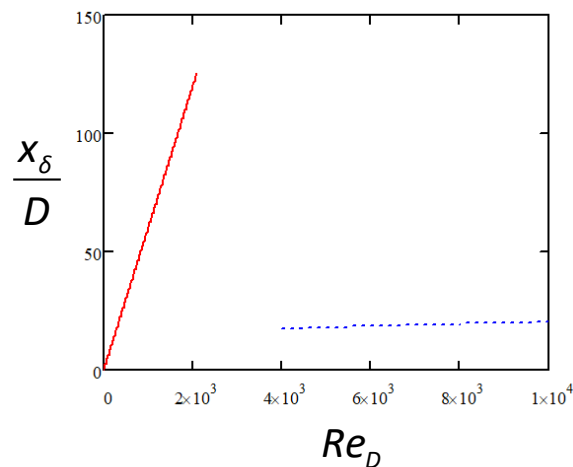
Μεταβατικό μήκος

Στρωτή ροή

Τυρβώδης ροή

$$\frac{x_\delta}{D} = 0.06 Re_D$$

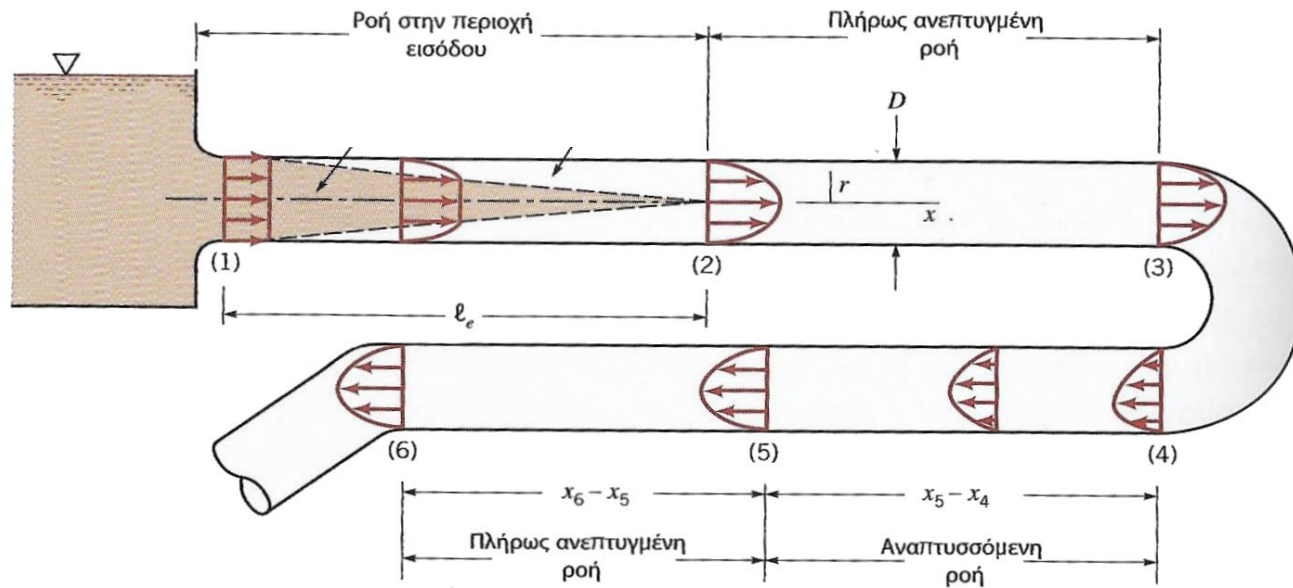
$$\frac{x_\delta}{D} = 4.4 (Re_D)^{1/6}$$



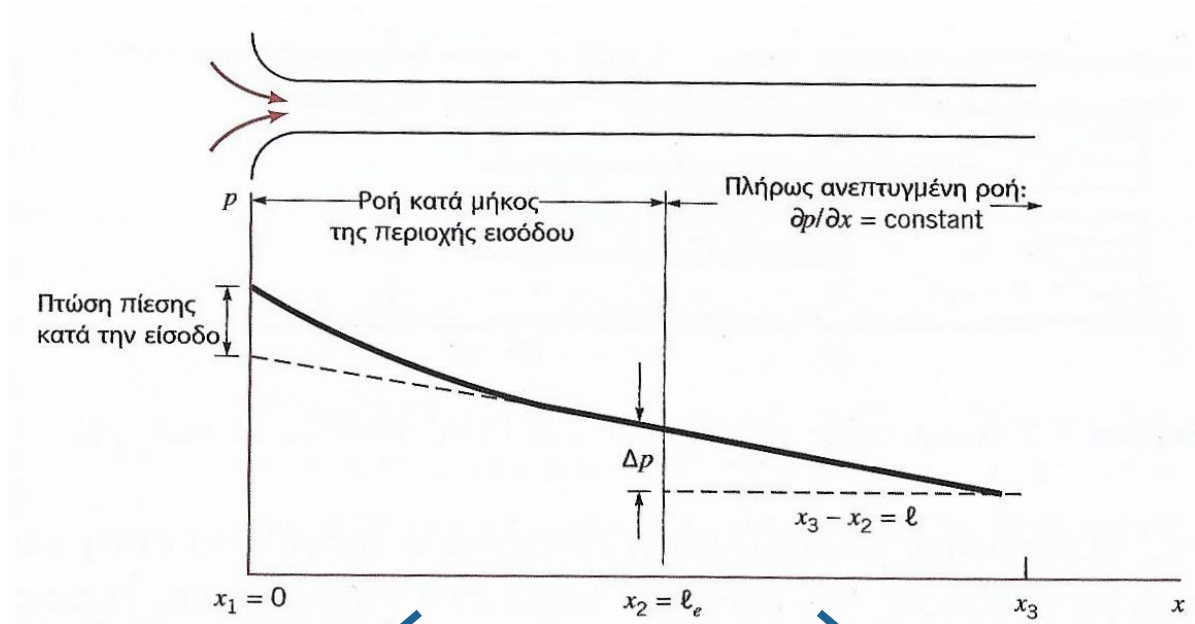
Στα περισσότερα τεχνικά προβλήματα

$$10000 \leq Re_D \leq 100000 \Rightarrow 20D \leq x_\delta \leq 30D$$

Ανάπτυξη ροής σε σωληνώσεις



Πτώση πίεσης κατά μήκος σωλήνα



- Μεταβαλλόμενες διατμητικές δυνάμεις
- Δυνάμεις αδράνειας



- Μεγάλες δυνάμεις πίεσης
- Μεγάλη πτώση πίεσης



- Σταθερές διατμητικές δυνάμεις
- Μηδενικές δυνάμεις αδράνειας

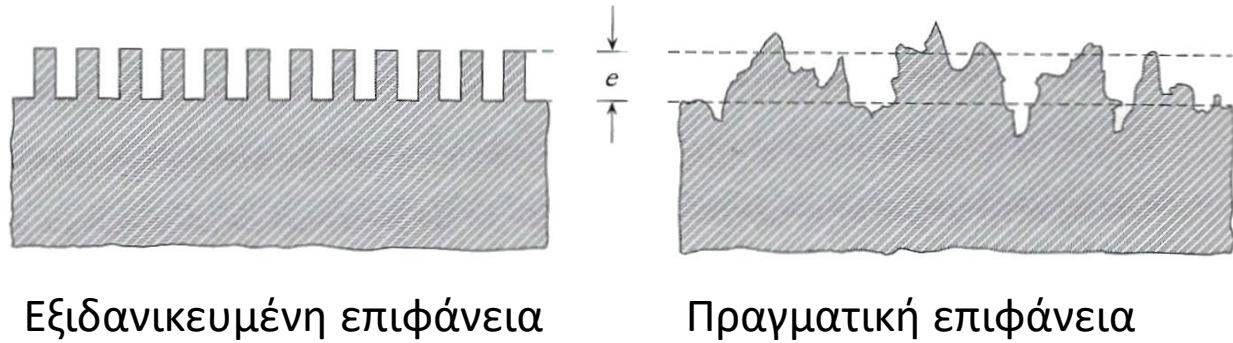


- Σταθερές δυνάμεις πίεσης
- Γραμμική κατανομή πίεσης



Τραχύτητα αγωγού

- Απόλυτη τραχύτητα



- Σχετική τραχύτητα

$$e_s = \frac{e}{D}$$

