



ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Υδραυλική κλειστών αγωγών υπό πίεση

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ
ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

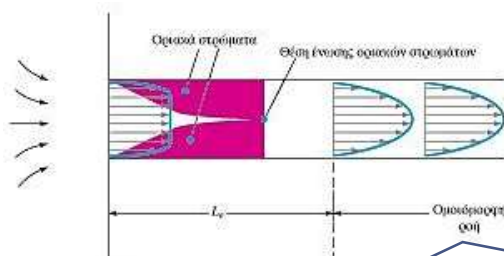
1



ΜΗΚΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

2

Είσοδος σε σωλήνα – Μήκος εισόδου



Πείραμα Reynolds και ορισμός της ομοιόμορφης ροής: Στα στερεά όρια του σωλήνα αναπτύσσεται ένα οριακό στρώμα, στο οποίο παρατηρείται μια σχετικά σημαντική πτώση της πίεσης και κατά συνέπεια απώλεια ενέργειας. Εξαιτίας του οριακού στρώματος η ροή δεν είναι ομοιόμορφη στην αρχή του σωλήνα και γίνεται ομοιόμορφη μετά από μια απόσταση L_e , η οποία καλείται **μήκος ανάπτυξης της ροής** ή **μήκος εισόδου**.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-GIANNPOY

3

3

Υπολογισμός μήκους εισόδου L_e σε σωλήνα (1)

- Μέθοδος της διαστατικής ανάλυσης:

$$L_e = f(\rho, \mu, V, D) \Rightarrow F(L_e, \rho, \mu, V, D) = 0$$

- Εφαρμόζοντας διαστατική ανάλυση:

$$F\left(\frac{L_e}{D}, Re\right) = 0 \Rightarrow \frac{L_e}{D} = F(Re), \quad Re = \frac{VD}{\mu / \rho}$$

- Συνεπώς: Το μήκος ανάπτυξης εξαρτάται μόνο από τον αριθμό Re .

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-GIANNPOY

4

4

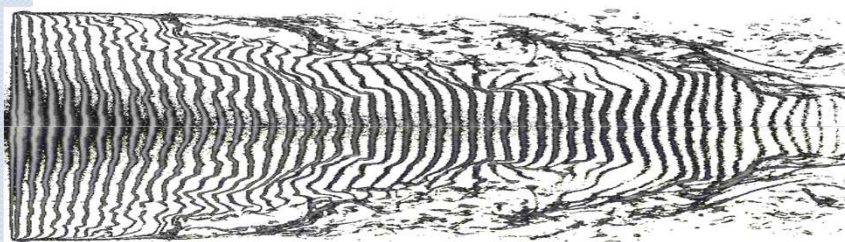
Υπολογισμός μήκους εισόδου L_e σε σωλήνα (2)

Πειραματικά βρέθηκε:

- Για στρωτή ροή ($Re < 2300$)
- Για τυρβώδη ροή

$$\frac{L_e}{D} = 0.06 Re$$

$$\frac{L_e}{D} = 4.4 Re^{1/6}$$



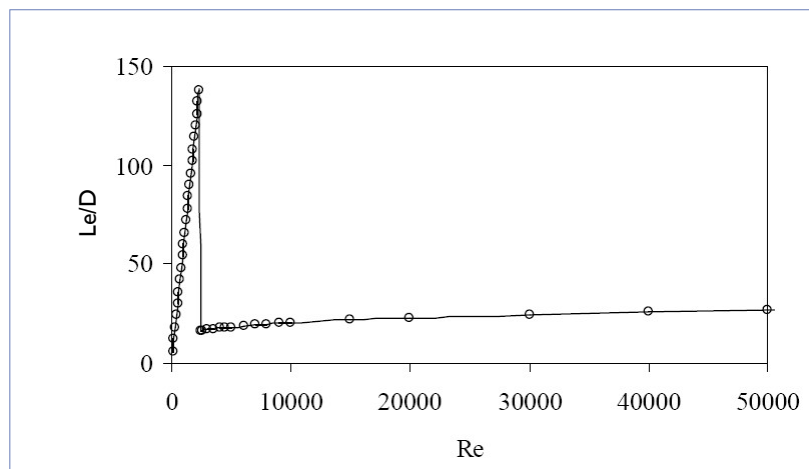
Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟΥ

5

5

Εξάρτηση του μήκους εισόδου από τον αριθμό Reynolds (α)

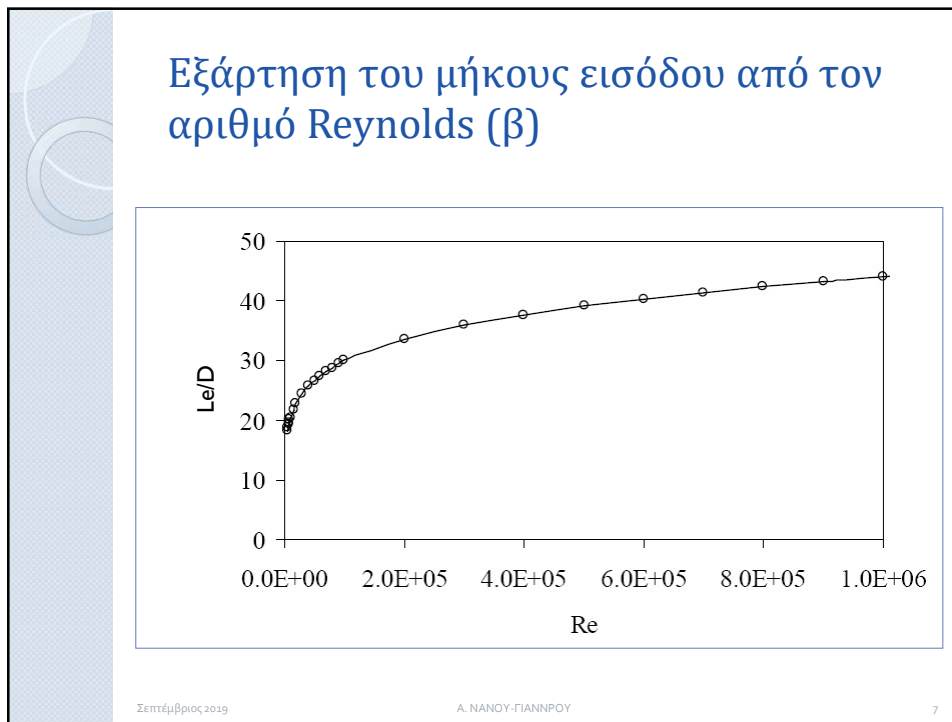


Σεπτέμβριος 2019

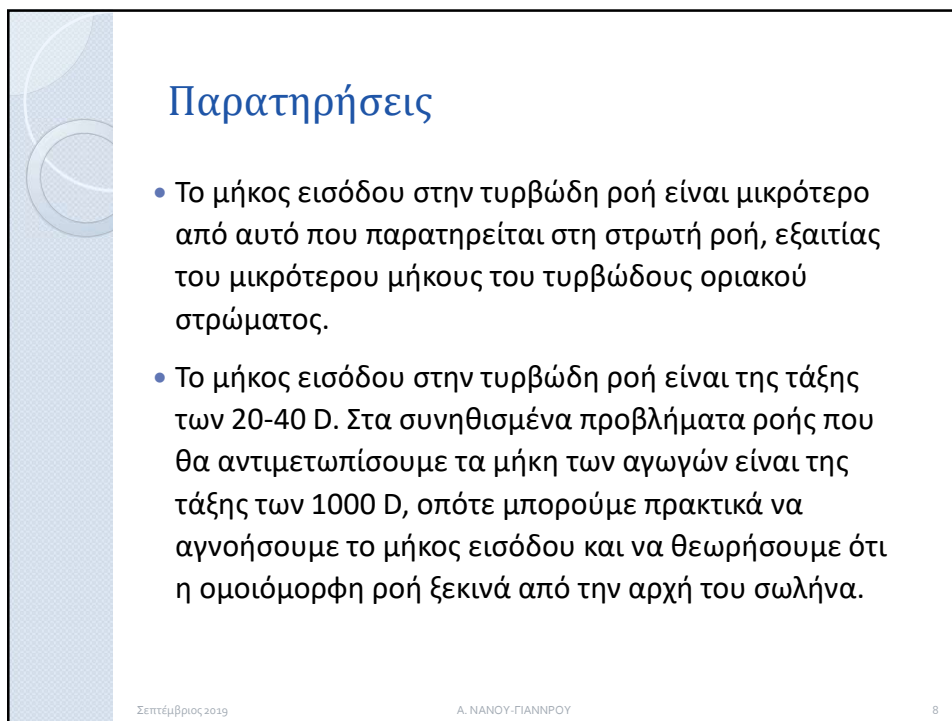
A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟΥ

6

6



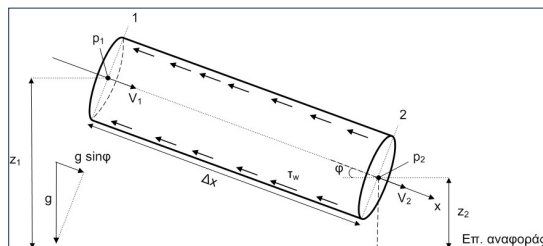
7



8

Ροή σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση

$$D = \text{σταθ.} \Rightarrow H_1 - H_2 = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right)$$



- Για σταθερή διατομή, η ροή μπορεί να γίνεται είτε εξ αιτίας της διαφοράς πίεσης $\Delta p = p_1 - p_2$ είτε εξ αιτίας της διαφοράς στάθμης $\Delta z = z_1 - z_2$ μεταξύ των διατομών 1 και 2.
- Υπάρχουν απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών κατά τη διεύθυνση της ροής, που λαμβάνονται πάντα υπ' όψιν.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

11

11

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (1)

Στόχος της παρούσας ανάλυσης της ροής είναι ο προσδιορισμός της εξίσωσης υπολογισμού των γραμμικών απωλειών h_f στο μήκος Δx του σωλήνα, μεταξύ των διατομών 1 και 2. Η ανάλυση θα γίνει σε δυο στάδια.

- Στο **πρώτο στάδιο** θα προσδιοριστεί η εξίσωση που συνδέει την h_f με τη διατμητική τάση ορίου τ_w χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του όγκου αναφοράς (μονοδιάστατη ανάλυση).
- Στο **δεύτερο στάδιο** θα συσχετίσουμε την τ_w με τα χαρακτηριστικά του ρευστού, της ροής και του σωλήνα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διαστατικής ανάλυσης, ώστε τελικά η εξίσωση υπολογισμού του h_f να περιέχει μόνο τα χαρακτηριστικά του ρευστού, της ροής και του σωλήνα.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

12

12

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (2)

- Στάδιο 1^ο, εξίσωση συνέχειας:

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 = Q \\ A_1 = A_2 = A = \frac{\pi D^2}{4} \end{array} \right\} \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 = AV \Rightarrow V_1 = V_2 = V$$

- Επομένως:

➢ Η ταχύτητα ροής σε σωλήνα σταθερής διατομής είναι σταθερή στο χώρο και η ροή είναι ομοιόμορφη.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

13

13

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (3)

- Στάδιο 1^ο, εξίσωση ενέργειας:

$$H_1 = H_2 + h_f \Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \Rightarrow$$

$$h_f = z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = \Delta z + \frac{\Delta p}{\gamma} + \Delta \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right)$$

$$V_1 = V_2 = V \Rightarrow h_f = z_1 - z_2 + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \Delta z + \frac{\Delta p}{\gamma} = \Delta \left(z + \frac{p}{\gamma} \right)$$

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

14

14

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (4)

- Στάδιο 1^ο, εξίσωση ποσότητας κίνησης:

$$\boxed{Fp_x + F\tau_x + Fg_x = \rho(V_1Q_1 - V_2Q_2) = \rho(VQ - VQ) = 0}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Δύναμη πίεσης: } Fp_x &= p_1 \frac{\pi D^2}{4} - p_2 \frac{\pi D^2}{4} = p_1 \frac{\pi D^2}{4} - (p_1 - \Delta p) \frac{\pi D^2}{4} = \Delta p \frac{\pi D^2}{4} \\ \text{Δύναμη τριβών: } F\tau_x &= -\tau_w \pi D \Delta x \\ \text{Δύναμη βαρύτητας: } Fg_x &= mg \sin \varphi = \rho V g \sin \varphi = \gamma \frac{\pi D^2}{4} \Delta x \sin \varphi \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta p \frac{\pi D^2}{4} - \tau_w \pi D \Delta x + \gamma \frac{\pi D^2}{4} \Delta x \sin \varphi = 0}$$

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

15

15

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (5)

$$\boxed{\Delta p \frac{\pi D^2}{4} - \tau_w \pi D \Delta x + \gamma \frac{\pi D^2}{4} \Delta x \sin \varphi = 0}$$

$$\Delta z = \Delta x \sin \varphi \Rightarrow \frac{4\tau_w \Delta x}{\gamma D} = \Delta \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \Rightarrow \tau_w = \frac{D}{4} \frac{\Delta(p + \gamma z)}{\Delta x} \Rightarrow$$

$$\boxed{\tau_w = \gamma \frac{D}{4} \frac{h_f}{\Delta x}} = \gamma \frac{D}{4} \frac{\Delta \left(z + \frac{p}{\gamma} \right)}{\Delta x} \Rightarrow \boxed{h_f = \frac{4\tau_w \Delta x}{\gamma D}}$$

$\tau_w =$ διατμητική τάση του ορίου

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

16

16

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (6)

- **Στάδιο 2^ο:** Συσχετισμός της τ_w με τα χαρακτηριστικά του ρευστού (ρ και ν), της ροής (V) και του σωλήνα (D και k_s) (βλ. Παράδειγμα 1.5-3)

- **Διαστατική ανάλυση:** $\tau_w = F(\rho, \nu, V, D, k_s)$

$$\frac{\tau_w}{\rho V^2} = \frac{f}{8} = F\left(\text{Re} = \frac{VD}{\nu}, \frac{k_s}{D}\right) \Rightarrow \tau_w = \frac{1}{8} f \rho V^2$$

$$f = \text{συντελεστής τριβών} = \text{συνάρτηση}(\text{Re}, k_s / D)$$

$$k_s / D = \text{σχετική τραχύτητα}$$

(Henry Darcy 1857, πειράματα ροής σε σωλήνες, επίδραση της τραχύτητας στη ροή)

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

17

17

Εξίσωση Darcy-Weisbach Απώλειες ενέργειας εξ αιτίας τριβών (7)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Στάδιο 1}^\circ \quad h_f = \frac{4\tau_w \Delta x}{\gamma D} \\ \text{Στάδιο 2}^\circ \quad \tau_w = \frac{1}{8} f \rho V^2 \end{array} \right\} \Rightarrow h_f = f \frac{\Delta x}{D} \frac{V^2}{2g} \xrightarrow{\Delta x=L} h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Εξίσωση Darcy-Weisbach (Weisbach 1945)

- Προέκυψε από τις 3 βασικές εξισώσεις της ροής, καθώς και τη μέθοδο της διαστατικής ανάλυσης, χωρίς να διακρίνουμε αν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης.
- Επομένως, η εξίσωση Darcy-Weisbach ισχύει για στρωτή και τυρβώδη ροή υπό πίεση σε κλειστούς αγωγούς οιασδήποτε σταθερής διατομής.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

18

18

Από τα προηγούμενα έχουν προκύψει οι ακόλουθες σημαντικές σχέσεις (Τυπολόγιο)

Εξίσωση συνέχειας

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 = Q \\ A_1 = A_2 = A = \frac{\pi D^2}{4} \end{array} \right\} \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2 = AV \Rightarrow V_1 = V_2 = V$$

Εξίσωση ενέργειας $\rightarrow H = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} \Rightarrow H_1 = H_2 + h_f$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}^*$

* Υπάρχουν και εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών.

Διατμητική τάση ορίου $\rightarrow \tau_w = \rho g \frac{D}{4} \frac{h_f}{L} = \gamma \frac{D}{4} J_E$ ή $\tau_w = \frac{f}{8} \rho V^2$

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY

19

19

Επίλυση προβλημάτων ροής σε σωλήνες Υπολογισμός του f

Αριθμός Reynolds $\rightarrow Re = \frac{VD}{\mu/\rho} = \frac{4Q}{\pi Dv}$

Εξίσωση παροχής $\rightarrow Q = V \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ ή $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = J_E L = f \frac{L V^2}{D 2g}, J_E = f \frac{1 V^2}{D 2g}$

Συντελεστές τριβών για σωλήνες

Για στρωτή ροή ($Re < 2000$) $\rightarrow f = \frac{64}{Re}$

Για τυρβώδη ροή $\rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ Colebrook-White

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY

20

20

Εξίσωση Colebrook-White για τυρβώδη ροή ($Re \geq 4000$)

- Υδραυλικά λεία περιοχή: $f = F(Re)$, $k_s \rightarrow 0$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

- Μεταβατική περιοχή: $f = F(Re, k_s/D)$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

- Πλήρως τραχεία περιοχή: $f = F(Re, k_s/D)$, $Re \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/D}{3.7} \right)$$

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

21

21

Άλλες σχέσεις υπολογισμού του f

Προσεγγιστικές σχέσεις

Εξίσωση των Swamee and Jain $\rightarrow f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7} \frac{k_s}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$

Εξίσωση Haaland $\rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{k_s/D}{3.7} \right)^{1.11} \right)$

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

22

22

Διάγραμμα Moody

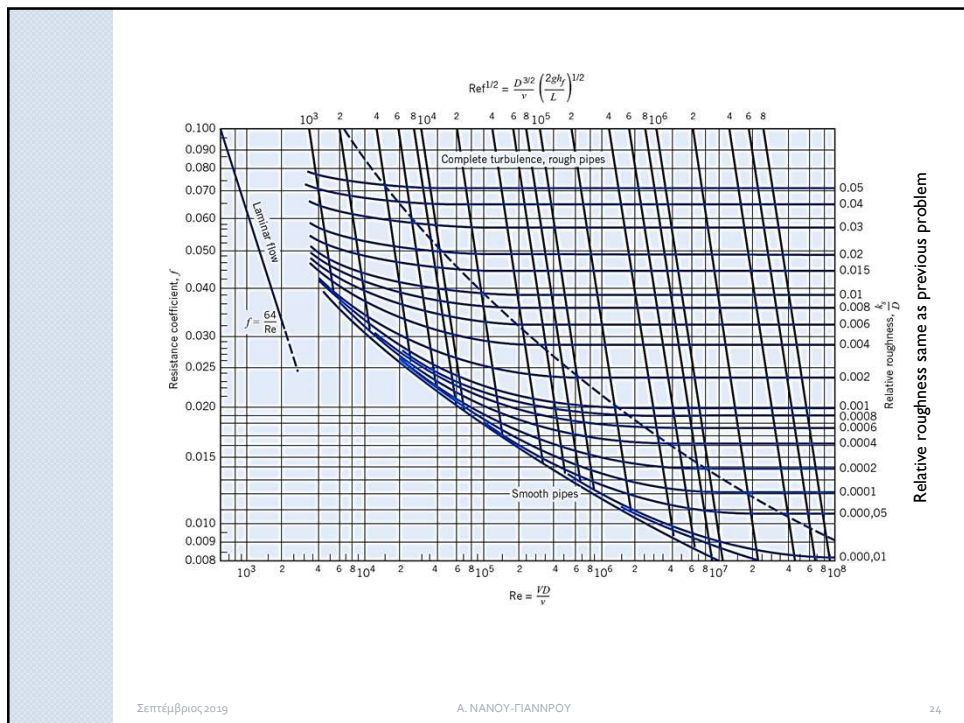
- Αποτελεί γραφικό τρόπο επίλυσης της εξίσωσης Colebrook – White και υπολογισμού του f (ακρίβεια $\pm 15\%$).
- Νομογράφημα, συνδυάζει 4 παραμέτρους:
 - Συντελεστής τριβών f
 - Αριθμός Reynolds Re
 - Σχετική τραχύτητα k_s/D
 - Παράμετρος $Re\sqrt{f}$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D\nu}$$

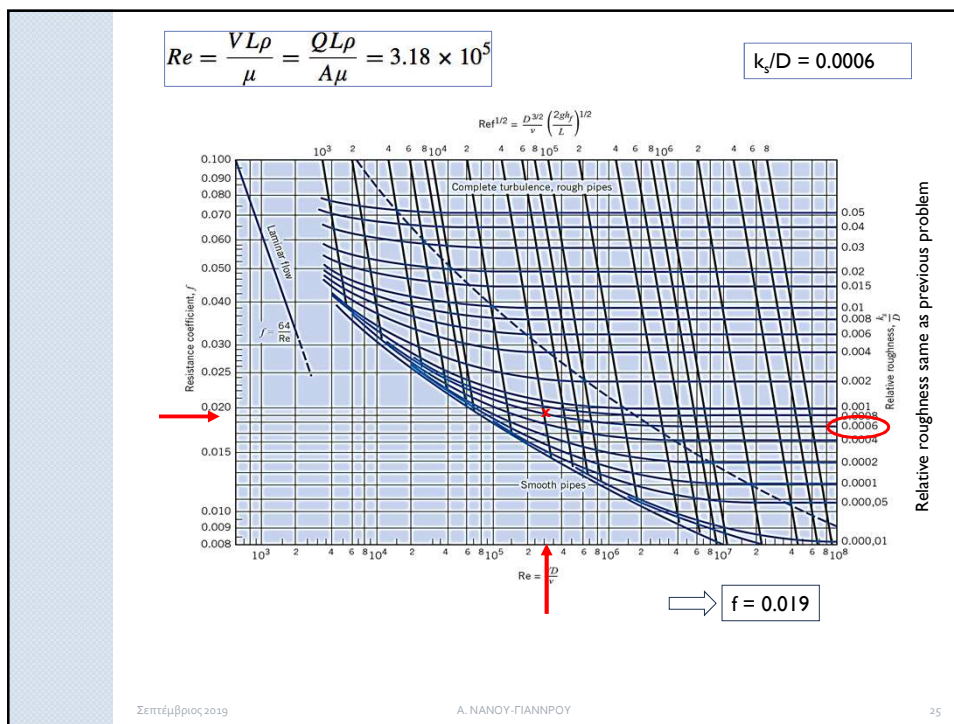
$$Re\sqrt{f} = \frac{D^{3/2}}{\nu} \left(\frac{2gh_f}{L} \right)^{1/2}$$

Σεπτέμβριος 2019
A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ
23

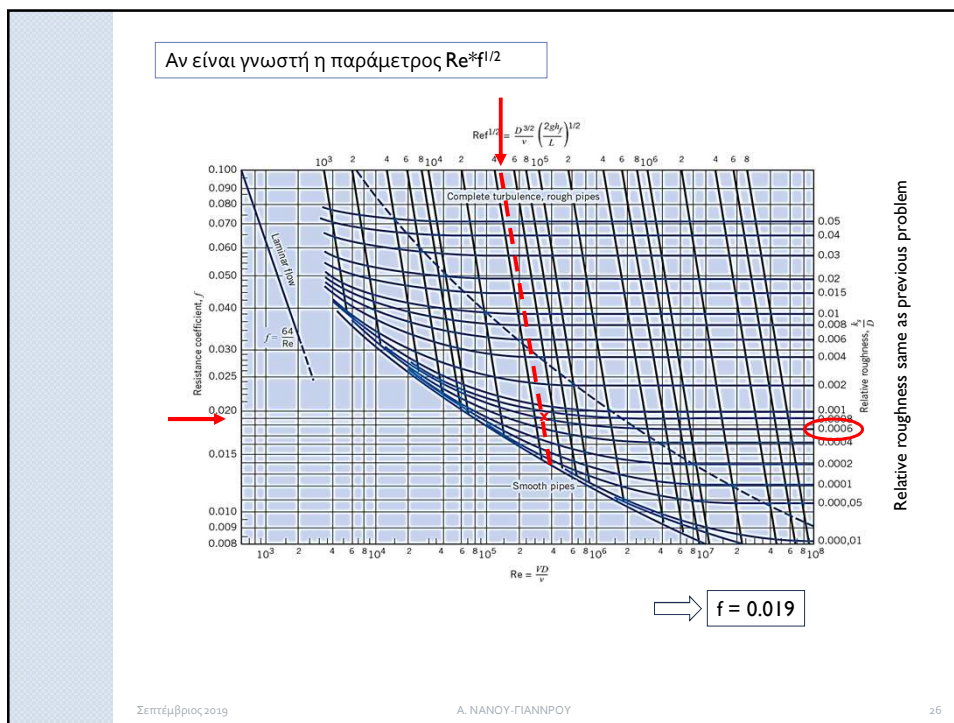
23



24



25



26

Επίλυση της εξίσωσης Darcy-Weisbach Τυπικά προβλήματα

- Μεταβλητές που υπεισέρχονται: h_f , L , D , k_s , v , Q (ή V), f
- Έχουμε:
 - Γνωστό υγρό κινηματικής συνεκτικότητας v .
 - Γνωστά μήκος σωλήνα L και ισοδ. τραχύτητα k_s .
 - Μεταβλητές προς διερεύνηση: h_f , D , Q (ή V)
- Ανάλογα με το ζητούμενο μέγεθος, διατυπώνονται τα ακόλουθα βασικά προβλήματα:
 - 1^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το h_f . Γνωστά τα D , Q (ή V).
 - 2^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το Q (ή V). Γνωστά τα h_f , D .
 - 3^ο Πρόβλημα: Άγνωστο το D . Γνωστά τα h_f , Q (ή V).

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

27

27

1^ο τυπικό πρόβλημα

Δεδομένα: D , Q , L , k_s , v

Ζητούμενο: h_f → Άμεση επίλυση

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \rightarrow Re = \frac{VD}{v} \left. \begin{array}{l} \\ \frac{k_s}{D} \end{array} \right\} \rightarrow$$

→ f (Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody) ⇒

$$\Rightarrow h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

28

28

2^ο τυπικό πρόβλημα

Δεδομένα: h_f, D, L, k_s, v
Ζητούμενο: $Q \rightarrow$ Άμεση επίλυση

Λύνουμε ως προς $V \rightarrow V = \left[2gh_f \frac{D}{L} \right]^{1/2} \frac{1}{\sqrt{f}} \Rightarrow$

$$\Rightarrow Re = \frac{VD}{v} = \left[2gh_f \frac{D}{L} \right]^{1/2} \frac{1}{\sqrt{f}} \frac{D}{v} \Rightarrow Re\sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gh_f D^{3/2}}{L v}}$$

$Re\sqrt{f}, \frac{k_s}{D} \rightarrow f$ (Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody) $\rightarrow V \rightarrow Q$

Εναλλακτικά, εξίσωση Swamee & Jain ($Re > 2000$) \rightarrow

$$Q = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_f}{L} \right)^{1/2} \ln \left[\frac{k_s/D}{3.7} + \left(\frac{3.17v^2 L}{gD^3 h_f} \right)^{1/2} \right]$$

Έχει την ίδια ακρίβεια υπολογισμού με αυτή του διαγράμματος Moody.

Σεπτέμβριος 2019 A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY 29

29

3^ο τυπικό πρόβλημα -1

Δεδομένα: h_f, Q, L, k_s, v
Ζητούμενο: $D \rightarrow$ Δοκιμές (Μπορούν να επιλεγούν το f ή το D)

Διαδικασία υπολογισμού \rightarrow Υποθέτουμε μία τιμή του f

Λύνουμε ως προς $D \rightarrow D = \left[\frac{8LQ^2}{\pi^2 gh_f} \right]^{1/5} f^{1/5} \xrightarrow{\text{υπολογίζεται}} Re\sqrt{f} = \sqrt{\frac{2gh_f D^{3/2}}{L v}}$

Γνωρίζουμε το $\frac{k_s}{D} \xrightarrow[\text{(Από Colebrook-White ή διάγραμμα Moody)}]{(Re\sqrt{f}, k_s/D)}$ νέα τιμή του f

Εναλλακτικά, εξίσωση Swamee & Jain ($3 \cdot 10^8 > Re > 5000, 0.01 > k_s/D > 10^{-6}$)

$$\rightarrow D = 0.66 \left[k_s^{1.25} \left(\frac{LQ^2}{gh_f} \right) + \frac{v}{Q} \left(\frac{LQ^2}{gh_f} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad (\text{ακρίβεια } 2\%)$$

Χρησιμοποιούμε πάντα διαμέτρους σωλήνων του εμπορίου.

Σεπτέμβριος 2019 A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY 30

30

3^ο τυπικό πρόβλημα -2

- Εάν η διάμετρος που προκύπτει από τον υπολογισμό δεν συμπίπτει με διάμετρο του εμπορίου, υπολογίζουμε τα απαιτούμενα μήκη, θεωρώντας την αμέσως μεγαλύτερη και την αμέσως μικρότερη διάμετρο, ώστε να διέρχεται η επιθυμητή παροχή.

$$\text{Επιλέονται } D_1 > D > D_2 \Rightarrow Q = V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$Q = \text{γνωστό} \Rightarrow V_1, V_2$ υπολογίζονται.

$$k_s / D_1, k_s / D_2 \Rightarrow f_1, f_2$$

$$h_f = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g}, \quad L_1 + L_2 = L$$

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΨΥ

31

31

Σωλήνες εμπορίου

- Είναι οι σωλήνες που χρησιμοποιούμε στην πράξη.
- Οι σωλήνες του εμπορίου χαρακτηρίζονται από:
 - i. την ονομαστική διάμετρο
 - ii. την ονομαστική πίεση
 - iii. το υλικό κατασκευής τους (συντελεστής τραχύτητας k_s)
- Η **ονομαστική διάμετρος DN (Diameter Nominal)** είναι η κατά προσέγγιση εγκάρσια διάμετρος τους σε mm.
- Ανάλογα με το υλικό τους, οι σωλήνες εμπορίου ονομάζονται χαλυβδοσωλήνες, σιδηροσωλήνες, χαλκοσωλήνες, μολυβδοσωλήνες, πλαστικοί σωλήνες κλπ.

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΨΥ

32

32

Σωλήνες εμπορίου

- Για τις ανάγκες του παρόντος μαθήματος, θεωρούμε ότι οι σωλήνες του εμπορίου έχουν τις ακόλουθες τιμές εσωτερικής διαμέτρου D σε [mm]:

100	125	150	175	200	250
300	350	400	500	600	

- Στα πραγματικά προβλήματα η εσωτερική διάμετρος δίδεται από τον κατασκευαστή.

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

33

33

Συνήθεις τιμές τραχύτητας για σωλήνες του εμπορίου

ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΟΥ	Ισοδύναμη τραχύτητα k_s
PVC ή HDPE (Πλαστικοί)	0.1 mm
Χυτοσιδηροί σωλήνες	0.25 mm
Χαλύβδινοι σωλήνες	1.00 mm
Αμιαντοσιμεντοσωλήνες	0.50 mm

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

34

34

° ΓΗΡΑΝΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ

Σεπτέμβριος 2019 Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ 35

35

Γήρανση σωλήνων

- Οι σωλήνες εμπορίου με την πάροδο του χρόνου **γηράσκουν** (λόγω οξειδωσης, διάβρωσης ή και εναπόθεσης αλάτων στην εσωτερική τους επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το νερό).
- Το αποτέλεσμα της γήρανσης είναι η **αύξηση της τραχύτητάς τους** και η συνεπαγόμενη **μείωση της παροχетеυόμενης παροχής**.
- Για λόγους υπολογιστικούς θεωρείται:

$$k_s(t) = k_{s,0} + a_g \cdot t, \quad a_g = \text{συντελεστής}$$

Τυπικές τιμές : $6 \cdot 10^{-5} < a_g < 2 \cdot 10^{-3} \text{ (mm / έτος)}$

Σεπτέμβριος 2019 Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ 36

36

Γήρανση σωλήνων



Αγωγός ύδρευσης από την πόλη Grand Haven της πολιτείας Michigan των ΗΠΑ μετά από μερικές δεκαετίες λειτουργίας.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY

37

37

Τρόποι αντιμετώπισης της γήρανσης

- Αυξάνοντας την διατιθέμενη ενέργεια στη ροή του σωλήνα
 - Αύξηση της στάθμης της ανάντη δεξαμενής τροφοδότησης
 - Χρήση αντλίας
- Αντικαθιστώντας τον παλιό σωλήνα από νέο.
- Προσθέτοντας νέο σωλήνα, παράλληλα στον υφιστάμενο (βλ. Κεφ. 4.4.3 και εφαρμογές).

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΟY

38

38

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

39

39

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

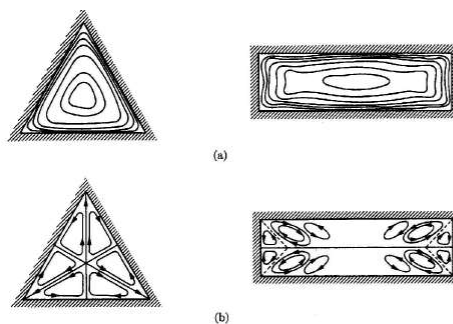


FIG. 13-3. Velocity contours and diagrams of secondary motions for fully developed flow in noncircular ducts: (a) velocity contours; (b) secondary circulation patterns [2].

Ισοταχείς καμπύλες - δευτερεύουσα ροή σε μη κυκλικούς αγωγούς (Daily, JW, and Harleman, DRF, 1966, Fig.13.3, σελ. 262).

Σεπτέμβριος 2019

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΟΥ

40

40

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

- Τα προβλήματα ροής σε μη κυκλικούς αγωγούς επιλύονται όπως αυτά σε σωλήνες, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται η **υδραυλική διάμετρος** αντί για τη διάμετρο του σωλήνα.

Υδραυλική ακτίνα R_h , υδραυλική διάμετρος $D_h \rightarrow R_h = \frac{A}{P} = \frac{D_h}{4}$

A = Εμβαδόν υγρής διατομής

P = Βρεχόμενη περίμετρος

- Η **ακρίβεια** στον υπολογισμό του f , χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα των σωλήνων, είναι σημαντικά **μικρότερη**.

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

41

41

Αγωγοί μη κυκλικής διατομής

Υδραυλική ακτίνα R_h , υδραυλική διάμετρος $D_h \rightarrow R_h = \frac{A}{P} = \frac{D_h}{4}$

Αριθμός Reynolds $\rightarrow Re = \frac{V \cdot 4R_h}{\nu}$

Εξίσωση παροχής $\rightarrow Q = V \cdot A \text{ ή } V = \frac{Q}{A}$

Εξίσωση Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = J_E L = f \frac{L}{4R_h} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$


Διατμητική τάση ορίου $\tau_w \rightarrow \tau_w = \rho g R_h J_E, R_h = \frac{A}{P}$

Σεπτέμβριος 2019

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΠΟΥ

42

42


**ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ
ΑΠΩΛΕΙΩΝ**

Σεπτέμβριος 2019
A. NANOY-GIANNPOY
43

43

Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού

Darcy-Weisbach $\rightarrow h_f = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{4R_h} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{h_f}{L} = f \frac{1}{4R_h} \frac{V^2}{2g} = \frac{f}{8g} \frac{1}{R_h} V^2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow J_E = \frac{f}{8g} \frac{1}{R_h} V^2$, $J_E =$ κλίση της Γ.Ε. $\Rightarrow V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R_h J_E}$

Θέτοντας $\rightarrow C_h = \sqrt{\frac{8g}{f}}$ = συντελ. Chezy [$L^{1/2}, T^{-1}$] $\Rightarrow V = C_h \sqrt{R_h J_E} =$ εξίσωση Chezy

Θέτοντας $\rightarrow C_h = \frac{R_h^{1/6}}{n} \Rightarrow n = \frac{R_h^{1/6}}{C_h} =$ συντελ. Manning, διαστάσεις [$L^{-1/3}, T$]
 $\Rightarrow V = \frac{R_h^{1/6}}{n} \sqrt{R_h J_E} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J_E^{1/2} =$ εξίσωση Manning

Είναι η σημαντικότερη εξίσωση για προβλήματα ροής σε ανοικτούς αγωγούς.

Μεταξύ f και $n \rightarrow f = \frac{8gn^2}{R_h} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{fR_h^{1/3}}{8g}}$

Σεπτέμβριος 2019
A. NANOY-GIANNPOY
44

44

Παρατηρήσεις

- Ο συντελεστής Manning δεν είναι αδιάστατο μέγεθος, αλλά έχει μονάδες ($s/m^{1/3}$).
- Στην πράξη έχει επικρατήσει χάριν απλότητας να μη χρησιμοποιούμε μονάδες για τον συντελεστή Manning. Έτσι, συχνά ένας μηχανικός αναφέρει ότι ο συντελεστής Manning είναι ίσος με 0.0125.
- Οι τιμές του n εκτιμώνται από πίνακες, ανάλογα με την τραχύτητα του αγωγού ή δίνονται από τον κατασκευαστή.
- Επίσης, αρκετές φορές χρησιμοποιείται και η αντίστροφη τιμή $1/n$ που καλείται **συντελεστής Strickler**, δηλ. $1/0.0125=80.0$.