

## Υδραυλική των υπονόμων

Δημήτρης Κουτσογιάννης  
Τομέας Υδατικών Πόρων  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

### Εισαγωγή

- ◆ Ποιο είναι το ποσοστό στερεών ουσιών στα λύματα;
  - Περίπου 1‰.
- ◆ Έχουν επίπτωση οι στερεές ουσίες στην υδραυλική των υπονόμων;
  - Πρακτικά όχι ως προς τις ιδιότητες του ρευστού (νερού)
  - Ναι ως προς τα φαινόμενα που δημιουργούν (βιοχημικές αντιδράσεις, διάβρωση, αποθέσεις)
- ◆ Ποιες είναι οι συνθήκες ροής στους υπονόμους
  - Κατά κανόνα: Ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μη μόνιμη, ανομοιόμορφη.
  - Απλούστευση: Ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μόνιμη, ομοιόμορφη.
- ◆ Ποιος τύπος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου στους υπονόμους;
  - Ο τύπος του Manning:  $V = (1/n) R^{2/3} i^{1/2}$ 
    - όπου  $V$  = ταχύτητα ροής
    - $n$  = συντελεστής τραχύτητας
    - $R$  = υδραυλική ακτίνα
    - $i$  = κλίση τριβών (= κλίση ενέργειας για μόνιμη ροή,  
= κλίση πυθμένα για ομοιόμορφη ροή)

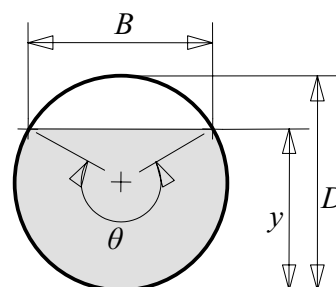
## Εισαγωγή 2

- ◆ Από τι εξαρτάται ο συντελεστής τραχύτητας στους υπονόμους;
  - Όχι μόνο από το υλικό αλλά και – κυρίως – από κατασκευαστικούς παράγοντες (αρμοί, πλευρικές συνδέσεις, κακές ευθυγραμμίσεις), τις μεταφερόμενες στερεές ουσίες (ποσότητα και διαστάσεις, αποθέσεις) και τις τυχόν ρίζες δέντρων.
- ◆ Ποιες είναι οι τυπικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας;
  - Πειραματικά αποτελέσματα στις ΗΠΑ:  $n = 0.011-0.016$  για αγωγούς σε καλή κατάσταση μέχρι  $0.020$  για αγωγούς σε κακή κατάσταση.
  - Σύσταση WPCF & ASCE:  $0.011-0.015$  (για συνήθη υλικά σωληνώσεων).
  - Σύσταση για το μάθημα  $n = 0.015$  όταν δεν γίνεται διάκριση γραμμικών και τοπικών απωλειών και  $0.013$  όταν οι τοπικές απώλειες υπολογίζονται ξεχωριστά.

## Υδραυλικοί υπολογισμοί σε κυκλικούς αγωγούς

### ◆ Γεωμετρία

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση ( $y < D$ )	Ολική πλήρωση ( $y = y_0 = D$ )
Λόγος πλήρωσης, $y/D$	$\frac{y}{D} = \frac{1 - \cos(\theta/2)}{2}$	$\frac{y}{D} = 1$
Γωνία, $\theta$	$\theta = 2 \arccos(1 - 2y/D)$	$\theta_0 = 2\pi$
Εμβαδό υγρής διατομής, $A$	$A = (\theta - \sin\theta) D^2/8$	$A_0 = \pi D^2/4$
Βρεχόμενη περίμετρος, $P$	$P = \theta D/2$	$P_0 = \pi D$
Υδραυλική ακτίνα, $R$	$R = (1 - \sin\theta/\theta) D/4$	$R_0 = D/4$
Πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια, $B$	$B = D \sin(\theta/2) = 2\sqrt{y(D-y)}$	0
Λόγος $A/A_0$	$A/A_0 = (\theta - \sin\theta) / 2\pi$	1
Λόγος $R/R_0$	$R/R_0 = 1 - \sin\theta/\theta$	1



## Υδραυλικοί υπολογισμοί σε κυκλικούς αγωγούς 2

### ◆ Γενική μεθοδολογία

$$V = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{2/3} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} J^{1/2}$$

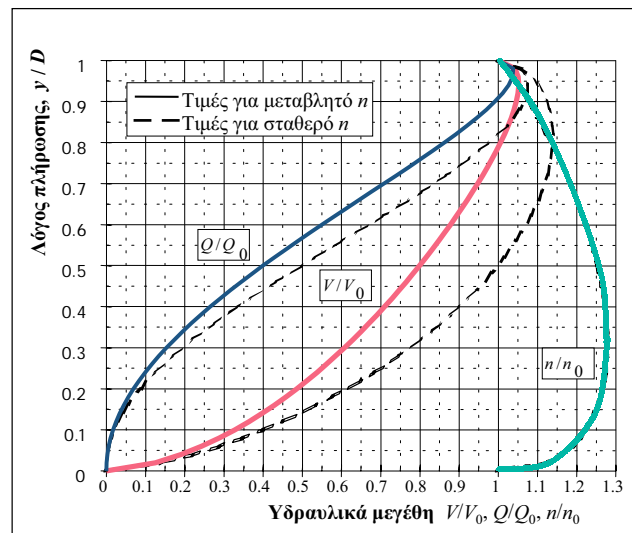
$$V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} J^{1/2}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{n_0}{n} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

$$Q = \frac{1}{2 \cdot 4^{5/3}} \frac{1}{n} \theta \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{5/3} D^{8/3} J^{1/2}$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} J^{1/2}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n_0}{n} \frac{\theta}{2\pi} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)^{5/3}$$



Δ. Κουτσογιάννης, Υδραυλική των υπονόμων 4

## Προδιαγραφές

- ◆ Ποιά είναι η σκοπιμότητα καθορισμού ελάχιστων διαμέτρων;
  - Αποφυγή κινδύνου εμφράξεων.
- ◆ Ποιες είναι οι ελάχιστες διάμετροι σε αγωγούς αποχέτευσης;
  - 20 cm για αγωγούς ακαθάρτων και 40 cm για αγωγούς ομβρίων.
- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα καθορισμού μέγιστων ποσοστών πλήρωσης;
  - Αποφυγή κινδύνου λειτουργίας των αγωγών υπό πίεση.
  - Αποφυγή ασταθειών ροής
  - Εξασφάλιση επαρκούς αερισμού των λυμάτων.

- ◆ Ποια είναι τα μέγιστα ποσοστά πλήρωσης;

Κατηγορία αγωγών	Μέγιστος λόγος πλήρωσης y/D
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 20 cm έως 40 cm	0.50
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 50 cm έως 60 cm	0.60
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου > 60 cm	0.70
● Νέοι αγωγοί ομβρίων γενικά	0.70
● Παλιοί αγωγοί αποχέτευσης	0.80

Δ. Κουτσογιάννης, Υδραυλική των υπονόμων 5

## Προδιαγραφές 2

- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα επιβολής μέγιστων ορίων στην ταχύτητα;
  - Αποφυγή διάβρωσης των τοιχωμάτων των αγωγών και φρεατίων.
  - Αποφυγή μεγάλου ύψους κινητικής ενέργειας (Μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας  $\Rightarrow$  Πιθανότητα γραμμής ενέργειας πάνω από το οδόστρωμα  $\Rightarrow$  Πιθανή έξοδος λυμάτων στο δρόμο ή στα υπόγεια).
  - Αποφυγή υπερκρίσιμων ροών (Σε περίπτωση υπερκρίσιμης ροής  $\Rightarrow$  Πιθανή εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων, ασταθειών ροής, στάσιμων κυμάτων – μη προβλέψιμες συνθήκες ροής).
- ◆ Ποια όρια επιβάλλουν οι προδιαγραφές;
  - Ελληνικές προδιαγραφές:  $V_{\max} = 6 \text{ m/s}$
  - Διεθνείς προδιαγραφές:  $V_{\max} = 3 \text{ m/s}$
  - Σύσταση για το μάθημα:  $V_{\max} = 6 \text{ m/s}$  για αγωγούς ομβρίων και  $3 \text{ m/s}$  για αγωγούς ακαθάρτων
- ◆ Σε ποια παροχή αναφέρονται τα όρια της μέγιστης ταχύτητας;
  - Στην παροχή σχεδιασμού.

## Προδιαγραφές 3

- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα επιβολής ελάχιστων ορίων στην ταχύτητα;
  - Αποφυγή αποθέσεων φερτών στους αγωγούς και τα φρεάτια.
  - Εξασφάλιση καλού αερισμού των λυμάτων (Κακός αερισμός των λυμάτων  $\Rightarrow$  Δημιουργία αναερόβιων συνθηκών  $\Rightarrow$  Πιθανότητα παραγωγής υδροθείου  $\Rightarrow$  Πιθανή διάβρωση των τοιχωμάτων αγωγών και φρεατίων).
- ◆ Ποια όρια επιβάλλουν οι ελληνικές προδιαγραφές;
  - $V_{\min} = 0.6 \text{ m/s}$  για αγωγούς ομβρίων και  $V_{\min} = 0.3 \text{ m/s}$  για αγωγούς ακαθάρτων
- ◆ Σε ποια παροχή αναφέρονται τα όρια της ελάχιστης ταχύτητας;
  - Στο 10% της παροχетеυτικότητας  $Q_0$  (όχι στην παροχή σχεδιασμού).
- ◆ Ποιες είναι οι αντίστοιχες ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής;
  - Για  $Q/Q_0 = 0.10 \Rightarrow V/V_0 = 0.54 \Rightarrow V_{0,\min} = 1.11 \text{ m/s}$  για αγωγούς ομβρίων και  $0.56 \text{ m/s}$  για αγωγούς ακαθάρτων.

## Προδιαγραφές 4

- ◆ Σε ποια ελάχιστη κλίση αντιστοιχούν οι ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής;

$$V_{0,\min} = \frac{1}{n} \left( \frac{D}{4} \right)^{2/3} J_{\min}^{1/2} \Leftrightarrow J_{\min} = \frac{4^{4/3} n^2 V_{0,\min}^2}{D^{4/3}}$$

- Παράδειγμα:  $n = 0.015$ ,  $D = 40 \text{ cm} \Rightarrow J_{\min} = 1.5 \text{ m/km}$  για αγωγούς ακαθάρτων και  $6.0 \text{ m/km}$  για αγωγούς ομβρίων
- Πλήρης πινακοποίηση ελάχιστων κλίσεων: στον Πίνακα 4.4.