

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)

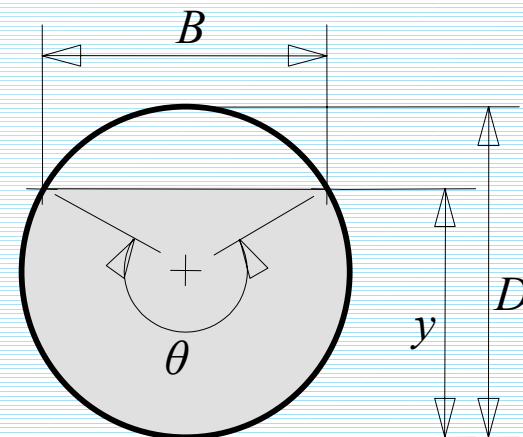
Εισαγωγή 2

- ◆ 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, θ	$\theta = 2 \arccos(1 - 2y/D)$	$\theta_0 = 2\pi$
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

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

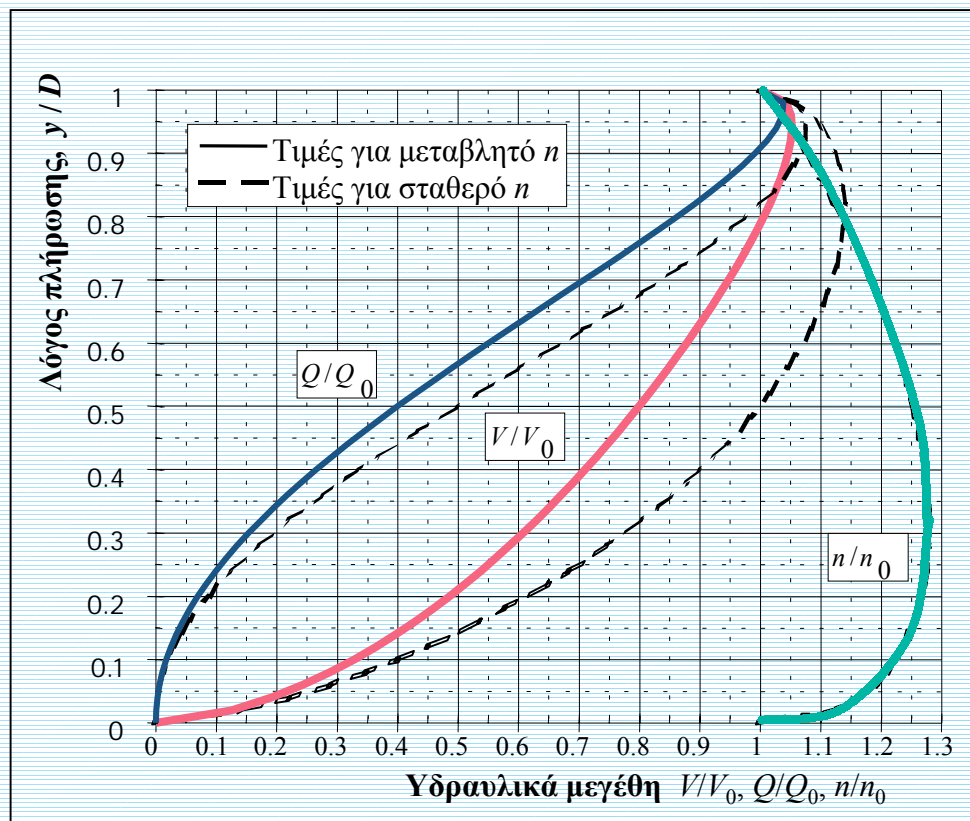
$$V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} J^{1/2}$$

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

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

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

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



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

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 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;
 - $V_{\min} = 0.6$ m/s για αγωγούς ομβρίων και $V_{\min} = 0.3$ m/s για αγωγούς ακαθάρτων
- ◆ Σε ποια παροχή αναφέρονται τα όρια της ελάχιστης ταχύτητας;
 - Στο 10% της παροχετευτικότητας Q_0 (όχι στην παροχή σχεδιασμού).
- ◆ Ποιες είναι οι αντίστοιχες ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής;
 - Για $Q/Q_0 = 0.10 \Rightarrow V/V_0 = 0.54 \Rightarrow V_{0,\min} = 1.11$ m/s για αγωγούς ομβρίων και 0.56 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 m/km για αγωγούς ομβρίων
- Πλήρης πινακοποίηση ελάχιστων κλίσεων: στον Πίνακα 4.4.