



Μ. ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ

Εισαγωγή στην υδραυλική των
αποχετεύσεων

(Βιβλιογραφία: Τσακίρης, Αστικά
υδραυλικά έργα και κουτσογιάννης)

Κυκλική Διατομή

- Γεμίτος κατά το ήμισυ:

$$V_{0.5} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{\rho D^2 / 4 / \kappa}{\rho D / \kappa} \right)^{2/3} S_0^{1/2} =$$

$$= \frac{1}{\eta} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S_0^{1/2}$$

Οπότε

$$Q_{0.5} = \frac{1}{2} \frac{\rho D^5}{4} \cdot V_{0.5} = \frac{\rho D^2}{4} \frac{1}{2\eta} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S_0^{1/2} \quad \text{①}$$

• Γεωμετρική κωδ' ομοσφαιρική

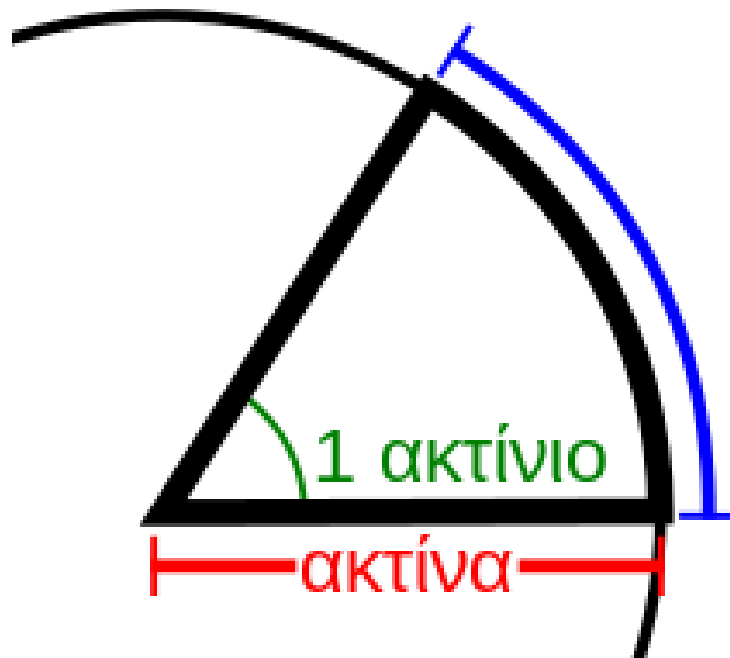
$$\left. \begin{array}{l}
 V_{\text{οξ}} = \frac{1}{n} \left(\frac{\pi D^2/4}{\pi D} \right) S_0^{1/2} = \frac{1}{2n} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S_0^{1/2} \\
 Q_{\text{οξ}} = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{n} \left(\frac{\pi D^2/4}{\pi D} \right) S_0^{1/2} = \frac{\pi^2 D^3}{16n} S_0^{1/2}
 \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{οξ}} \cdot 5 &= V_{\text{οξ}} \\
 Q_{\text{οξ}} &= 2Q_0
 \end{aligned}$$

Ακτίνιο

- Ο Αρχιμήδης ανακάλυψε πως αν διαιρέσουμε το μήκος οποιουδήποτε κύκλου με τη διάμετρο του, το πηλίκο είναι ένας μη ρητός αριθμός : $\pi = 3.14\dots$
- **Ακτίνιο** ορίζει τόξο κύκλου, του οποίου το μήκος είναι ίσο με την ακτίνα του κύκλου, r
- **Μήκος τόξου κύκλου**: $\phi * r$, ϕ σε *rad*
- **Μήκος κύκλου**: $\pi D = 2\pi r$, αντιστοιχεί σε γωνία 2π (σε *rad*)

Μήκος τόξου=ακτίνα



Από μοίρες

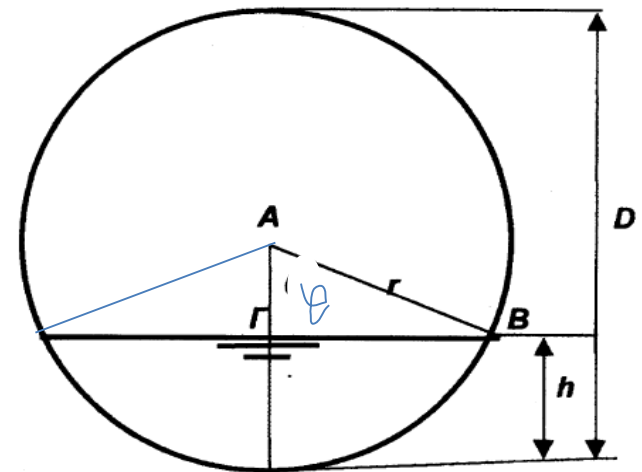
- Στις 360 μοίρες μήκος τόξου $2\pi r$
 - x μοίρες $? = r * 2\pi * x / 360$
-

Εμβαδό

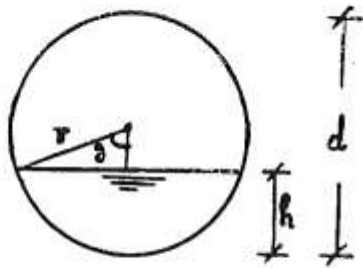
2π	πr^2
φ^{rad}	$?\ = \pi r^2 \varphi / (2\pi) =$ $\pi r^2 \varphi / (2\pi) =$ $r^2 \varphi / 2$

$$P = 2r\theta$$

(8.3)



Εμβαδόν – περίμετρος ως συνάρτηση της γωνίας θ



Κυκλική διατομή

$$A = r^2 \theta - 2 \left(\frac{1}{2} r \eta \mu \theta \sigma \nu \theta \right) =$$

$$= r^2 \left(\theta - \eta \mu \theta \sigma \nu \theta \right) = r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2 \theta \right)$$

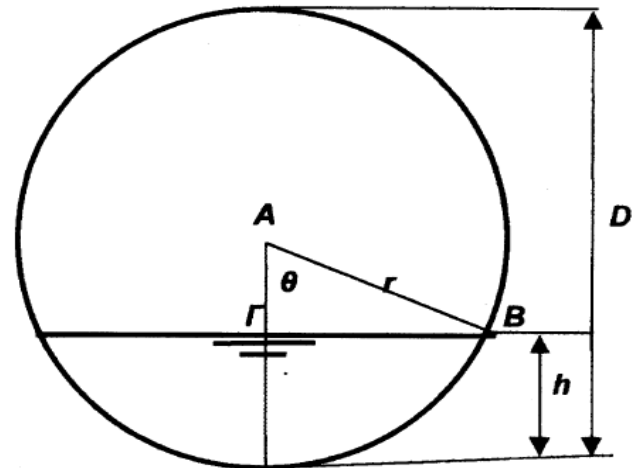
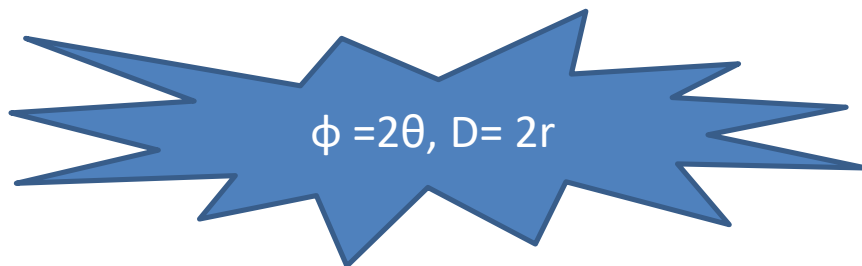
$$P = 2r\theta$$

(8.3)

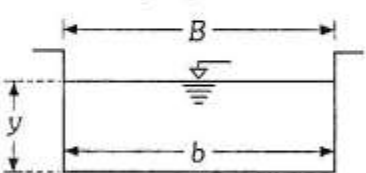
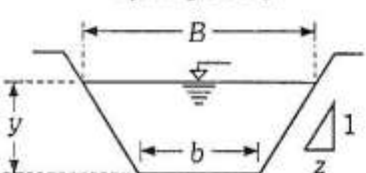
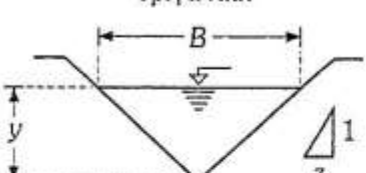
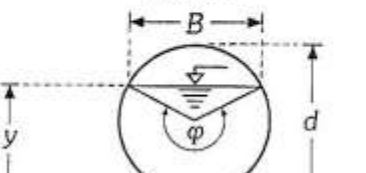
$$P = 2\theta r$$

θ : σε ακτίνια

Χρυσάνθου, 2014

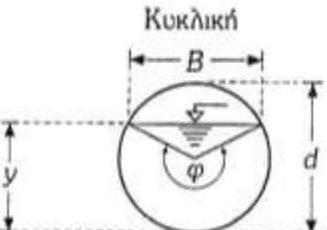


Πίν. 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών

Διατομή	Επιφάνεια A	Βρεχ. περίμετρος P	Υδραυλική ακτίνα $R = A/P$	Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας B	Υδραυλικό βάθος $y_p = A/B$	Αριθμός Froude F
<p>Ορθογωνική</p> 	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y	$\sqrt{\frac{Q^2}{b^2y^3g}}$
<p>Τραπεζοειδής</p> 	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\sqrt{\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\sqrt{\frac{(b+2zy)Q^2}{(b+zy)^3y^3g}}$
<p>Τριγωνική</p> 	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\sqrt{\frac{2Q^2}{z^2y^5g}}$
<p>Κυκλική</p> 	$\frac{d^2}{8}(\varphi - \sin\varphi)$	$d\frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4}\left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)$	$d\left(\sin\frac{\varphi}{2}\right)$ \acute{n} $2\sqrt{y(d-y)}$	$\frac{d}{8}\left\{\frac{\varphi - \sin\varphi}{\sin\frac{\varphi}{2}}\right\}$	$\sqrt{\frac{512Q^2\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi - \sin\varphi)^3}}$

Κυκλική διατομή μερικής πλήρωσης (αποχετεύσεις) ελεύθερη επιφάνεια, ανοικτός αγωγός Manning για ομοιόμορφη ροή

Πίν. 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών

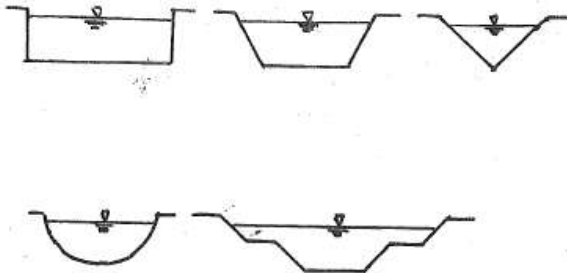
Διατομή	Επιφάνεια A	Βρεχ. περίμετρος P	Υδραυλική ακτίνα $R = A/P$	Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας B	Υδραυλικό βάθος $y_p = A/B$	Αριθμός Froude F
	$\frac{d^2}{8} (\varphi - \sin\varphi)$	$d \frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)$	$d \left(\sin \frac{\varphi}{2}\right)$ ή $2\sqrt{y(d-y)}$	$\frac{d}{8} \left\{ \frac{\varphi - \sin\varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right\}$	$\sqrt{\frac{512Q^2 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi - \sin\varphi)^3}}$

$\phi = 2\theta, D = 2r$

Δύο ειδών διατομές

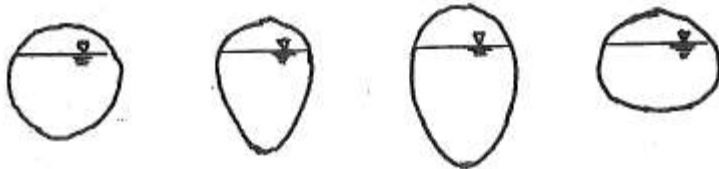
Τύπου α μία βάθους ροής για δεδομένη παροχή, όσο αυξάνει το βάθος ροής αυξάνει η υδραυλική διοχετευτικότητα και η παροχή

Αγωγοί ανοιχτής διατομής

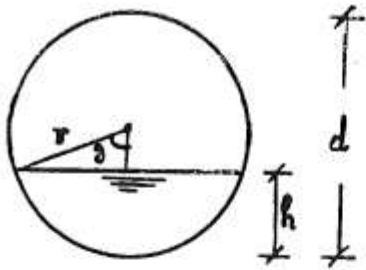


Τύπου β συχνά δύο λύσεις βάθους ροής για δεδομένη παροχή

Αγωγοί κλειστής διατομής



τύπου α: όσο πιο γεμάτος ο αγωγός τόσο περισσότερο παροχή μεταφέρει



Κυκλική διατομή

$$A = r^2 \theta - 2 \left(\frac{1}{2} r \eta \mu \theta \sin \theta \right) =$$

$$= r^2 \left(\theta - \eta \mu \theta \sin \theta \right) = r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right)$$

$$P = 2\theta r$$

θ : σε ακίνια

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1}{n} \left[\frac{r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right)}{2\theta r} \right]^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$Q = u A$$

$$Q = \frac{1}{n} \left[\frac{r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right)}{2\theta r} \right]^{2/3} S_0^{1/2} r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right)$$

$$Q \rightarrow \max \quad \text{για } \theta = 151.2^\circ \quad \text{ή} \quad \text{για } h/d = 0.938$$

$$u \rightarrow \max \quad \text{για } h/d = 0.81$$

ταθερό η
Επομένως δεν
ισχύει όσο πιο
γεμάτος ο αγωγός
τόσο μεγαλύτερη
παροχή

Μετά από αυτό το
λόγο η βρεχόμενη
περίμετρος
αυξάνεται πιο
γρήγορα από την
επιφάνεια

Πίνακας 4.2 Σχέσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση ($y < D$)	Ολική πλήρωση ($y = y_0 = D$)
Λόγος πλήρωσης, y/D	$\frac{y}{D} = \frac{1 - \cos(\vartheta/2)}{2}$	$\frac{y_0}{D} = 1$
Γωνία, ϑ	$\vartheta = 2 \arccos(1 - 2y/D)$	$\vartheta_0 = 2\pi$
Εμβαδό υγρής διατομής, A	$A = (\vartheta - \sin\vartheta)D^2/8$	$A_0 = \pi D^2/4$
Βρεχόμενη περίμετρος, P	$P = \vartheta D/2$	$P_0 = \pi D$
Υδραυλική ακτίνα, R	$R = (1 - \sin\vartheta/\vartheta)D/4$	$R_0 = D/4$
Πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια, B	$B = D \sin(\vartheta/2) = 2\sqrt{y(D-y)}$	0
Λόγος A/A_0	$A/A_0 = (\vartheta - \sin\vartheta) / 2\pi$	1
Λόγος R/R_0	$R/R_0 = 1 - \sin\vartheta/\vartheta$	1

Από νομογράφημα των WPCF & ASCE (1976) βασισμένο σε 824 πειράματα, το οποίο δίνεται και σε πινακοποιημένη μορφή από τους Fair et al. (1954), καταρτίσαμε τις ακόλουθες προσεγγιστικές σχέσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις αριθμητικές εφαρμογές αντί της σχετικής καμπύλης του Σχήματος 4.3:

$$n/n_0 = 1 + 0.62(y/D)^{0.4}(1-y/D)^{0.9} \quad (4.30)$$

$$n/n_0 = 1 + 2.31(\vartheta/2\pi)^{1.2}(1-\vartheta/2\pi)^2 \quad (4.31)$$

εισαγωγή στην υδραυλική των
αποχετεύσεων

εισαγωγή στην υδραυλική των αποχετεύσεων

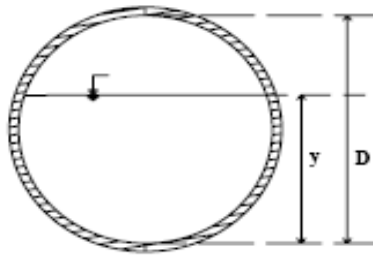
- Κυκλικοί αγωγοί μερικής πλήρωσης
- Ομοιόμορφη ροή
- Διαγραμματική επίλυση
- Διάκριση σε αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων (σήμερα προτιμάται ξεχωριστό σύστημα όχι μεικτό (παντοροϊκό))
- Περιοριστικές διατάξεις
- Θεωρούμε ότι το n μεταβάλλεται με το βάθος ροής!

Αγωγοί αποχέτευσης

- Κυκλικοί αγωγοί μερικής πλήρωσης (ανοικτοί αγωγοί, δηλ με ελεύθερη επιφάνεια)
- Ομοιόμορφη ροή
 - Αγωγοί αποχέτευσης ακαθάρτων
 - Αγωγοί αποχέτευσης ομβρίων (μη συνεχής παροχή)
 - Παντοροϊκό σύστημα αποχέτευσης (παλαιότερη επιλογή)

Πλήρης διατομή

➤ Λόγος πλήρωσης y/D



➤ Εξισώσεις ολικής πλήρωσης

Για ολική πλήρωση του αγωγού ισχύει:

$$\text{Εμβαδόν της υγρής διατομής: } A_0 = \pi \frac{D^2}{4}$$

Περίμετρος της υγρής διατομής: $P_0 = \pi D$

$$\text{Υδραυλική ακτίνα της υγρής διατομής: } R_0 = \frac{A_0}{P_0} = \frac{D}{4} \quad D = 4R_0$$

Συνεπώς από την εφαρμογή της εξίσωσης του Manning για ολική πλήρωση αγωγού προκύπτει:

α) Ταχύτητα ολικής πλήρωσης

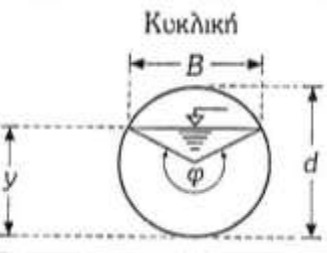
$$V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S^{1/2}$$

β) Παροχή ολικής πλήρωσης

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

Σχόλιο: Η πλήρης διατομή είναι ανεπιθύμητη, χρησιμοποιείται για την διαγραμματική επίλυση

Πίνακας 1: Σχέσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής μερικής πλήρωσης.

	Εμβαδόν	βρ περίμετρος	υδρ ακτίνα			Fr
	$\frac{d^2}{8} (\varphi - \sin \varphi)$	$d \frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right)$	$\frac{d \left(\sin \frac{\varphi}{2}\right)}{2 \sqrt{y(d-y)}}$	$\frac{d}{8} \left\{ \frac{\varphi - \sin \varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right\}$	$\sqrt{\frac{512 Q^2 \sin \left(\frac{\varphi}{2}\right)}{g d^5 (\varphi - \sin \varphi)^3}}$

είναι,

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right)}{2r\theta} \right)^{2/3} S_o^{1/2} r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \eta \mu 2\theta \right) \quad (8.7)$$

$\phi = 2\theta, D = 2r$

Βασική ιδέα διαγραμματικής επίλυσης: Για διάφορες γωνίες προσδιορίζω τους αδιάστατους λόγους $y/D, V/V_0, Q/Q_0$ (που αντιστοιχούν σε κοινή θ)

Βασική ιδέα: αδιάστατες συναρτήσεις μόνο της γωνίας θ

$$V = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{\sin \vartheta}{\vartheta}\right)^{2/3} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} J^{1/2} \quad (4.24)$$

$$V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} J^{1/2} \quad (4.25)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{n_0}{n} \left(1 - \frac{\sin \vartheta}{\vartheta}\right)^{2/3} \quad (4.26)$$

$$Q = \frac{1}{2 \times 4^{5/3}} \frac{1}{n} \vartheta \left(1 - \frac{\sin \vartheta}{\vartheta}\right)^{5/3} D^{8/3} J^{1/2} \quad (4.27)$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} J^{1/2} \quad (4.28)$$

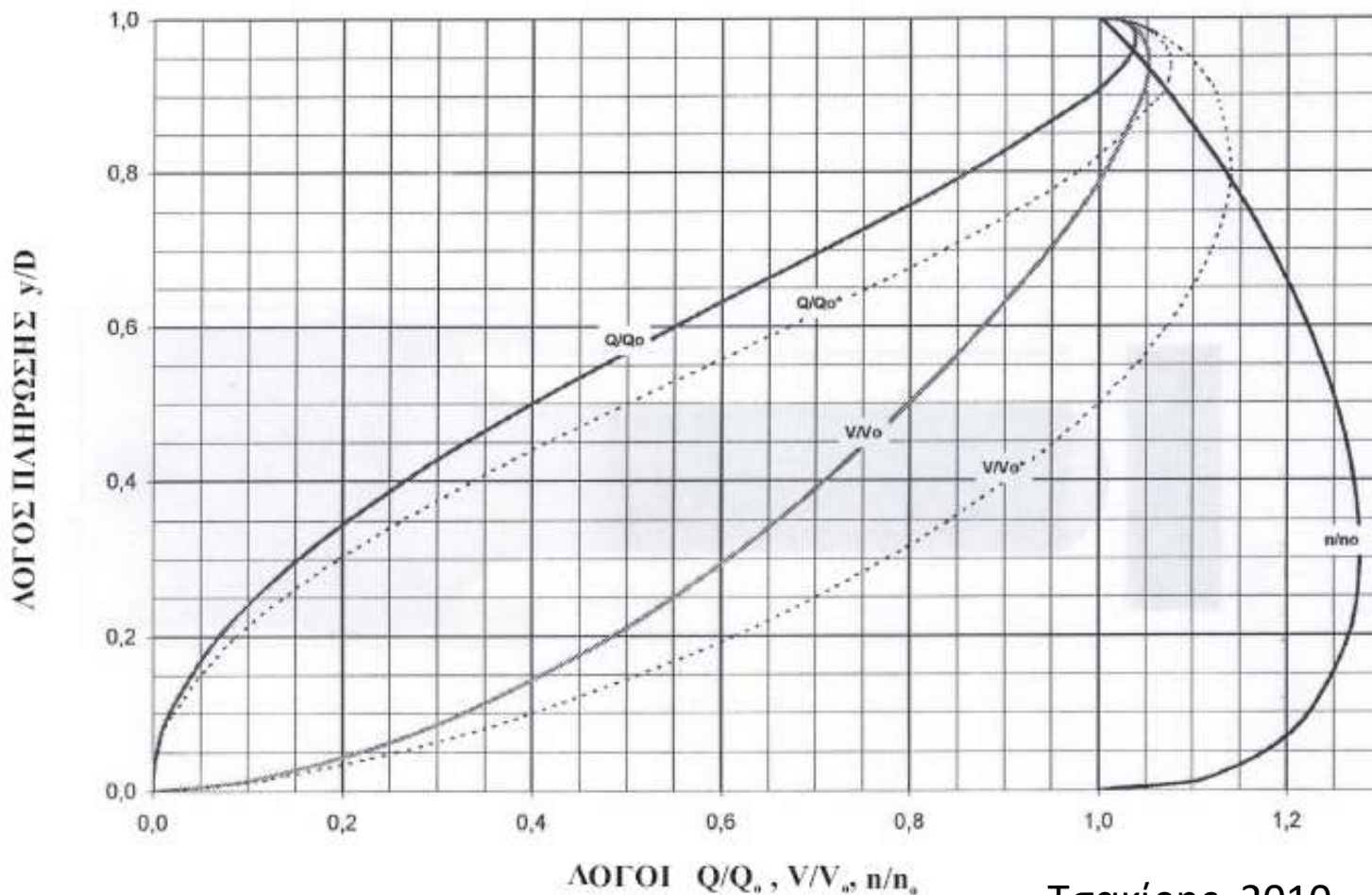
$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n_0}{n} \frac{\vartheta}{2\pi} \left(1 - \frac{\sin \vartheta}{\vartheta}\right)^{5/3} \quad (4.29)$$

Διαγραμματική επίλυση για αγωγούς μερικής πλήρωσης

Υδραυλικά στοιχεία με μερική πλήρωση

Διαγράμματα αδιάστατων μεγεθών

$$\frac{V}{V_0} = f_1\left(\frac{y}{D}\right), \quad \frac{Q}{Q_0} = f_2\left(\frac{y}{D}\right), \quad \frac{n}{n_0} = f_3\left(\frac{y}{D}\right)$$



Για μερική πλήρωση, επίλυση με διάγραμμα αντί της εφαρμογής της
εξ. Manning (κατά προτίμηση με μεταβλητό n)

- Τα αποτελέσματα ενός αριθμού πραγματικών μετρήσεων σε αγωγούς αποχέτευσης στις ΗΠΑ έδωσαν τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning n που κυμαίνονται από 0.011 μέχρι 0.016 για αγωγούς σε καλή κατάσταση, και φτάνουν μέχρι 0.020 για αγωγούς με κακή ευθυγράμμιση και αποθέσεις.
- Οι Αμερικανικές ενώσεις WPCF & ASCE (1976) συνιστούν τιμές του n στα όρια 0.011 - 0.015 για τα συνήθη υλικά σωληνώσεων αποχέτευσης (σωλήνες από σκυρόδεμα, αμιαντοτσιμέντο, πλαστικοί ή αργιλοπυριτικοί). Για την επιλογή της τελικής τιμής θα πρέπει να συνεκτιμώνται και οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα, όπως αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας.
- **Οι Greely et al. (1969) συνιστούν την τιμή $n = 0.015$ για κάλυψη όλων των υδραυλικών απωλειών στις σωληνώσεις**, και την τιμή $n = 0.013$ εάν υπολογίζονται ξεχωριστά οι τοπικές απώλειες στα φρεάτια, τις καμπύλες και τους κόμβους. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν, σύμφωνα με τη σχέση (4.19), σε ισοδύναμη τραχύτητα $\epsilon = 3.5$ και 1.5 mm αντίστοιχα
- (Κουτσογιάννης, 993)

Μεταβλητό n

Ο συντελεστής τριβής κατά μήκος n παραμένει ανεξάρτητος του βάθους ροής. Εις την πραγματικότητα ο n δύναται να αυξηθή μέχρι και 25.0 % καθώς το βάθος της ροής μειούται εκ της τιμής του πλήρους βάθους d προς το $d/4$ και ούτως τα βάρη διά την μέγιστη ταχύτητα και παροχή υποεκτιμώνται ελαφρώς με την προηγουμένως αναφερθείσαν απλήν ανάλυσιν.

Σούλης, 2014

Μεταβλητό n

<https://www.itia.ntua.gr/getfile/123/3/documents/SxediasmosAstikwnDiktywnApoxyteyshs.pdf>

Από νομογράφημα των WPCF & ASCE (1976) βασισμένο σε 824 πειράματα, το οποίο δίνεται και σε πινακοποιημένη μορφή από τους Fair et al. (1954), καταρτίσαμε τις ακόλουθες προσεγγιστικές σχέσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις αριθμητικές εφαρμογές αντί της σχετικής καμπύλης του Σχήματος 4.3:

$$n/n_0 = 1 + 0.62(y/D)^{0.4}(1-y/D)^{0.9} \quad (4.30)$$

$$n/n_0 = 1 + 2.31(\theta/2\pi)^{1.2}(1-\theta/2\pi)^2 \quad (4.31)$$

Ας σημειωθεί ότι οι παραπάνω σχέσεις δεν είναι πλήρως ισοδύναμες, αλλά αποτελούν εξίσου καλές προσεγγίσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά κατά περίπτωση.

Στο Σχήμα 4.3 έχουν απεικονιστεί επίσης τα μεγέθη V/V_0 και Q/Q_0 συναρτήσει του y/D . Με συνεχείς γραμμές έχουν χαραχτεί οι καμπύλες που αντιστοιχούν σε μεταβλητό n , ενώ για σύγκριση έχουν σχεδιαστεί με διακεκομμένες γραμμές οι αντίστοιχες για σταθερό n . Παρατηρούμε ότι για δεδομένα χαρακτηριστικά n_0 , D , J , (άρα δεδομένο Q_0) τα μέγιστα της παροχής και της ταχύτητας δεν εμφανίζονται όταν το βάθος είναι μέγιστο ($y = D$), αλλά στις θέσεις $y/D = 0.94$ και $y/D = 0.81$ αντίστοιχα για σταθερό n και στις θέσεις $y/D = 0.97$ και $y/D = 0.94$ αντίστοιχα για μεταβλητό n .

συντελεστής n συνδέεται μονοσήμαντα με την τραχύτητα ε . Για ροή στην πλήρως τραχεία περιοχή, η σχέση ανάμεσα στην παράμετρο n του Manning και την τραχύτητα ε γίνεται αυστηρά αμφιμονοσήμαντη, ανεπηρέαστη από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά. Η σχέση αυτή, γνωστή ως σχέση του Müller (Meyer-Peter & Müller, 1948· Revell, 1969· Henderson, 1984) έχει την έκφραση:

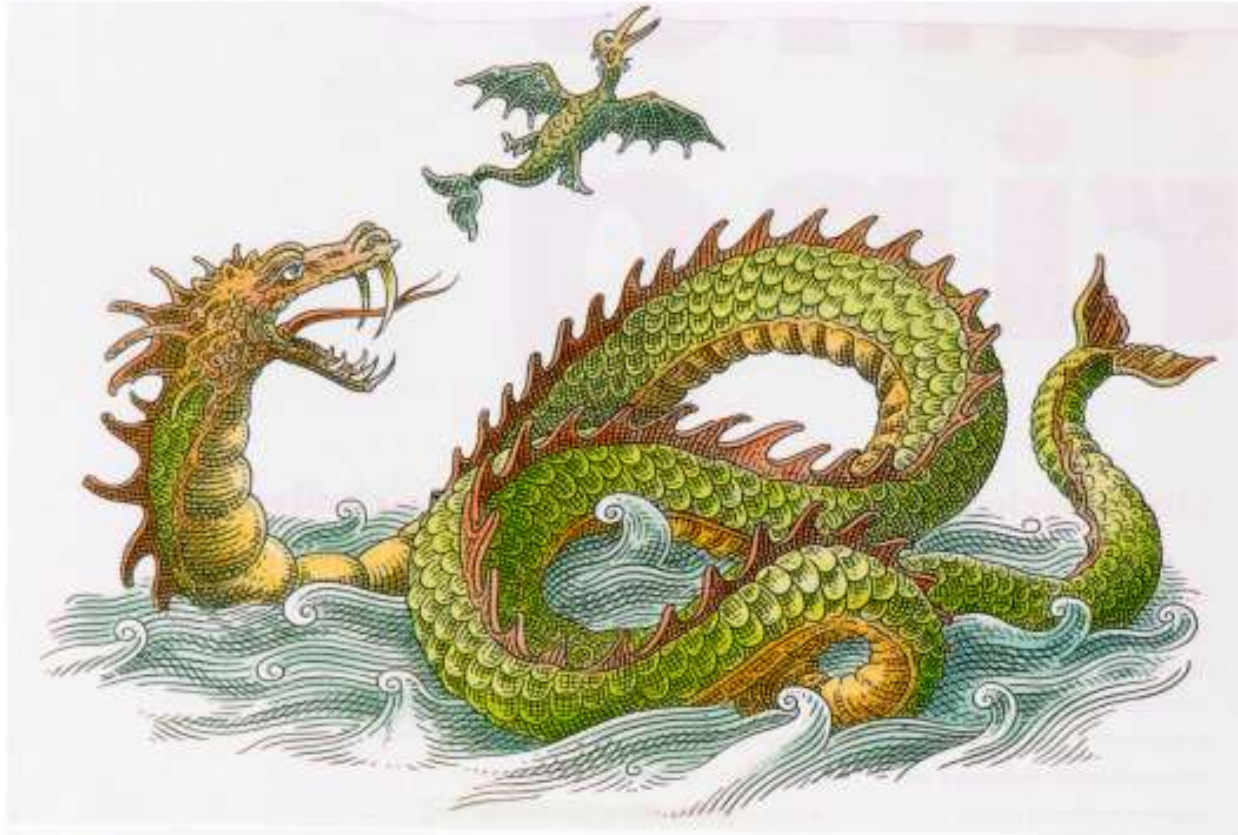
$$n \approx \varepsilon^{1/6} / 26 \quad (4.19)$$

όπου το ε εκφράζεται σε m. Η τελευταία σχέση δίνει ικανοποιητική προσέγγιση για πλήρως τυρβώδη ροή στην περιοχή $Re > 50\,000$ και για σχετική τραχύτητα $\varepsilon/4R$ στην περιοχή 0.001 μέχρι 0.1.

Παραπλανητικό συμπέρασμα γιατί και η ισοδύναμη τραχύτητα αλλάζει με τη μεταβολή της υδραυλικής ακτίνας, άρα ούτε από μόνες τους οι εξισώσεις Darcy Weisbach αποτελούν λύση.

<https://www.itia.ntua.gr/getfile/123/3/documents/SxediasmosAstikwnDiktywnApoxeteyshs.pdf>

Αβεβαιότητα



Τραχύτητα σε έργα αποχέτευσης

- Δίκτυα συλλογής
- Περιπλοκότητα, πολλαπλοί αγωγοί συνδέσεις, φρεάτια, αρμοί κλπ
- Δυσχερής ο αναλυτικός υπολογισμός της σχετικής τραχύτητας, επομένως προσυξάνεται η τραχύτητα
- $n = 0.015$
- Προσοχή αύξηση τραχύτητας κατά της ασφαλείας για το κρίσιμο βάθος...

Περιοριστικές διατάξεις

- Εντός ύλης:
 - $\gamma/D \leq 0.7$, τουλάχιστον ή 0.8 για παλιά δίκτυα
 - $D \geq 0.2\text{m}$ για ακάθαρτα (0.25m κατά ΕΥΑΘ) , 0.4 όμβρια (εσ. Διάμετρος)
 - $0.6 \leq v \leq 3$ (m/s) ταχύτητα
 - Περιορισμοί ελάχιστης κλίσης
 - **Εφόσον $\gamma/D \leq 0.7$ από το διάγραμμα προκύπτει πως για αυτές τις τιμές υπάρχει μόνο μία λύση βάθους ροής για δεδομένη παροχή**

Έλεγχος ελάχιστων Διαμέτρων

- Η ελάχιστη διάμετρος για αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων είναι 400mm.
- Η ελάχιστη διάμετρος για αγωγούς αποχέτευσης ακαθάρτων είναι 200mm.

*Μικρότερες διαμέτροι δημιουργούν κινδύνους
αποφράξεων*

Έλεγχος μέγιστου ποσοστού πλήρωσης

*Για την αποφυγή λειτουργίας υπό πίεση, ασταθειών ροής
και ικανοποιητικού αερισμού στα ακάθαρτα*

Για σχεδιασμό νέων δικτύων ακάθαρτων

- $D = 200 - 400 \text{ mm}$ $y/D < 0.5$
 - $D = 500 - 600 \text{ mm}$ $y/D < 0.6$
 - $D \geq 600 \text{ mm}$ $y/D < 0.7$
-
- Για τον σχεδιασμό νέων δικτύων ομβρίων $y/D \leq 0.7$.
 - Για υφιστάμενους αγωγούς λαμβάνεται μέγιστος λόγος πλήρωσης $y/D \leq 0.8$.

Έλεγχος μέγιστων ταχυτήτων ροής

Αποφυγή διαβρώσεων και κρίσιμων συνθηκών ροής

- Το ανώτατο όριο ταχύτητας είναι 3m/s για αγωγούς ακαθάρτων
- Το ανώτατο όριο ταχύτητας είναι 6m/s για αγωγούς ομβρίων (αν και ταχύτητες άνω των 3m/s χρειάζονται επιπλέον μελέτη).

Έλεγχος της ελάχιστης ταχύτητας ροής

Αποφυγή αποθέσεων φερτών στο πυθμένα και εξασφάλιση ικανοποιητικού αερισμού

- Ο περιορισμός της ελάχιστης ταχύτητας ροής στοχεύει στην αποφυγή της καθίζησης των στερεών υλικών στον πυθμένα και την σταδιακή έτσι δημιουργία αποθέσεων στο πυθμένα.
- *Τυπικές τιμές της ελάχιστης ταχύτητας εφαρμογής κυμαίνονται από 0.45-0.8m/s. Λαμβάνεται*
 $v \geq 0.6 \text{ m/s}$

Έλεγχος ελάχιστων ταχυτήτων ροής

Προβλέπονται ελάχιστες κλίσεις προκειμένου να μπορούν οι αγωγοί να αυτοκαθαρίζονται. Επίσης για τα ακάθαρτα συντελείται έτσι και ο ικανοποιητικός αερισμός

- Για μεταβλητό συντελεστή τραχύτητας σε αγωγούς ακαθάρτων προκύπτει ταχύτητα ολικής πλήρωσης $V_0=0.56$ m/s με βάση τους ελληνικούς κανονισμούς
- Για μεταβλητό συντελεστή τραχύτητας σε αγωγούς ομβρίων προκύπτει ταχύτητα ολικής πλήρωσης $V_0=1.11$ m/s με βάση τους ελληνικούς κανονισμούς
- Εναλλακτικά οι Αμερικανικοί κανονισμοί προτείνουν $V_0=0.6$ m/s (για δίκτυα ακαθάρτων και ομβρίων) ως βάση για τον υπολογισμό της ελάχιστης κλίσης.
- Σε κάθε περίπτωση η ελάχιστη κλίση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1m/km. Προσπάθεια να ακολουθηθεί η κλίση του εδάφους όπου είναι επιτρεπτό.

3^ο Βασικό πρόβλημα:

(D, $\gamma/D = \gamma v$, Q = ζητούμενο)

D = γv , γ/D (για παλιούς αγωγούς 0.8)
οπότε προσδιορίζονται

Οπότε

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} S^{1/2} \quad V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} S^{1/2}$$

$\gamma/D = \gamma v \rightarrow Q/Q_0$ (από νομογράφημα) = γv .

$\rightarrow Q = \gamma v \cdot Q_0$, εφόσον $Q_0 = \gamma v$

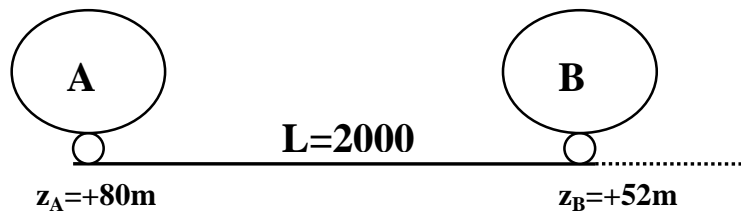
Σε πραγματικά προβλήματα για
συνήθεις περιπτώσεις αποχετεύσεων-
υδρεύσεων τοποθετώ διαμέτρους του
εμπορίου (αποχετεύσεις, υδρεύσεις)

Μεγαλύτερη ευκαμψία σε ανοικτούς
αγωγούς

Εφαρμογή 2

Ζητείται να εκτιμηθεί η παροχή που μπορεί με ασφάλεια να διοχετευτεί από το τμήμα του παλαιού συλλεκτήριου αγωγού ακαθάρτων AB, όπου A αρχή του αγωγού. Η διάμετρος του αγωγού είναι 0,2m. Η κλίση του αγωγού ακαθάρτων ακολουθεί την κλίση του εδάφους. Θεωρείστε συντελεστή Manning για πλήρη πλήρωση του αγωγού 0,014 ($n_o = 0,014$). Επαρκεί ο αγωγός αυτός αν στο φρεάτιο A αντιστοιχούν σήμερα 1500 κάτοικοι; ($Q_{AB}^{σχεδ} = 15,47 L / s$)

(εκτός ύλης: Η μέση ημερήσια κατανάλωση για τον οικισμό είναι 235 L/κατ./ημ και ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής $\lambda_1=1,5$. Η ευρύτερη περιοχή είναι περιοχή μέσης και κατώτερης εισοδηματικής τάξης που καλύπτεται από δίκτυο της ΕΥΔΑΠ με χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα)



Λύση

Η κλίση του αγωγού είναι ίση με την κλίση του εδάφους επομένως:

$$S_{AB} = \frac{z_A - z_B}{L_{AB}} \rightarrow S_{AB} = \frac{80 - 52}{2000} \rightarrow S_{AB} = 0,014$$

Επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστεί η παροχεταιυτικότητα Q του αγωγού ακαθάρτων

Πρόκειται παλιό αγωγό και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί λόγος πλήρωσης $y/D=0,8$. Το πρόβλημα πλέον διατυπώνεται ως εξής: Έχοντας ως δεδομένη τη διατομή του αγωγού D, το λόγο πλήρωσης y/D και την κλίση S του αγωγού ζητείται ο προσδιορισμός της παροχής που μπορεί με ασφάλεια να παροχετεύσει ο αγωγός (1^ο βασικό πρόβλημα υδραυλικής αποχετεύσεων).

Δεδομένα	Ζητούμενα
$S_{AB}= 0,014$ $y/D=0,8$ $D=0,2m$	Q λειτουργίας

Βήμα 1^ο : Υπολογισμός παροχής και ταχύτητας ολικής πλήρωσης Q_o, V_o

$$Q_o = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_o} D^{8/3} S^{1/2} \rightarrow Q_o = \frac{\pi}{4^{5/3}} \cdot \frac{1}{0,014} \cdot 0,2^{8/3} \cdot 0,014^{1/2} \rightarrow Q_o = 0,036 m^3 / s$$

$$V_o = \frac{4Q_o}{\pi D^2} \rightarrow V_o = \frac{4 \cdot 0,036}{\pi \cdot 0,2^2} \rightarrow V_o = 1,15 m / s \text{ (ο τύπος ισχύει μόνο για ολική πλήρωση)}$$

Βήμα 2^ο : Υπολογισμός λόγων Q/Q_0 και V/V_0

Από νομογράφημα (σελ 73, Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Δ. Κουτσογιάννης) και για μεταβλητό n προσδιορίζονται οι λόγοι Q/Q_0 και V/V_0 .

$$\text{Για } \frac{y}{D} = 0,8 \rightarrow \frac{Q}{Q_0} = 0,87 \text{ και για } \frac{y}{D} = 0,8 \rightarrow \frac{V}{V_0} = 1,01$$

Βήμα 3^ο : Υπολογισμός παροχής Q και ταχύτητας V συνθηκών λειτουργίας

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,87 \rightarrow Q = 0,87 \cdot Q_0 \rightarrow Q = 0,87 \cdot 0,036 \rightarrow Q = 0,031 \text{m}^3 / \text{s} \text{ ή } Q = 31 \text{ L/s}$$

$$\frac{V}{V_0} = 1,01 \rightarrow V = 1,01 \cdot V_0 \rightarrow V = 1,01 \cdot 1,15 \rightarrow V = 1,16 \text{m/s}$$

Έλεγχος 1: Έλεγχος για την ελάχιστη διάμετρο

Με βάση το Π.Δ. 696/74 προκύπτει για αγωγό ακαθάρτων ελάχιστη διάμετρος η $\Phi 200$ ($D \geq 0$). Εδώ ισχύει $D=200\text{mm}$ και συνεπώς η προτεινόμενη διατομή ικανοποιεί τον παραπάνω έλεγχο.

Έλεγχος 2: Έλεγχος για τα μέγιστα ποσοστά πλήρωσης.

Εφόσον ο αγωγός είναι παλιός μπορεί να θεωρηθεί $y/D=0,8$

Εδώ έχουμε $y/D = 0,8$ και συνεπώς ισχύει ο περιορισμός.

Έλεγχος 3: Έλεγχος για τις μέγιστες ταχύτητες ροής.

Δεχόμαστε ως μέγιστο όριο ταχύτητας 3m/s :

Εδώ έχουμε $V = 1,16\text{m/s} < 3\text{m/s} = V_{\max}$ και συνεπώς ισχύει ο περιορισμός.

Έλεγχος 4: Έλεγχος για τις ελάχιστες ταχύτητες ροής

Οι τυπικές τιμές της ελάχιστης ταχύτητας εφαρμογής κυμαίνονται από $0,45-0,8\text{m/s}$.

Δεχόμαστε ως ελάχιστο όριο ταχύτητας $0,6\text{m/s}$:

Εδώ έχουμε $V = 1,16\text{m/s} > 0,6\text{m/s} = V_{\min}$ και συνεπώς ισχύει ο περιορισμός.

Έλεγχος 5: Έλεγχος για τις ελάχιστες κλίσεις.

Με βάση τους Ελληνικούς κανονισμούς για τους περιορισμούς για την ελάχιστη κλίση προκύπτει ελάχιστη ταχύτητα ολικής πλήρωσης $V_{o,\min} = 0,56 \text{ m/s}$.

Πράγματι: $V_o = 1,15\text{m/s} > 0,56 = V_{o,\min}$ και συνεπώς ισχύει ο περιορισμός.

Παρατήρηση: Οι Αμερικάνικοι κανονισμοί προτείνουν $V_{o,\min} = 0,6 \text{ m/s}$ αλλά και με αυτή τη θεώρηση ικανοποιείται ο περιορισμός των ελάχιστων κλίσεων.

Συνεπώς η παροχή που μπορεί να παροχетеύσει ο αγωγός με ασφάλεια είναι $Q_{\text{λειτ}} = 31$



Εκτός
ύλης

Σε πραγματικά προβλήματα για
συνήθεις περιπτώσεις αποχετεύσεων-
υδρεύσεων τοποθετώ διαμέτρους του
εμπορίου (αποχετεύσεις, υδρεύσεις)

Μεγαλύτερη ευκαμψία σε ανοικτούς
αγωγούς

Παραδοχές κατά το σχεδιασμό

- Μόνιμη ροή
- Χωρικά σταθερή ροή (ομοιόμορφη ροή)
- Διαστασιολόγηση με βάση την παροχή αιχμής
- Επίλυση της ομοιόμορφης ροής με βάση την εξίσωση του Manning (γιατί με βάση αυτή την εξίσωση υπάρχει εμπειρία) για μεταβλητό

n_{MANNING}

Παροχή σχεδιασμού ακαθάρτων

- Εκτός ύλης
- Ένα μέρος της υδρευτικής κατανάλωσης οδηγείτε στο δίκτυο ακαθάρτων, 80%
- Διασταλογηση με βάση τη μέγιστη ωριαία παροχή.
- Δεν αθροίζεται η παροχή από φρεάτιο σε φρεάτιο.
- Επιπρόσθετα, αθροίζω τις παρασιτικές εισροές

Εκτός ύλης

Προσδιορισμός παροχής ακαθάρτων

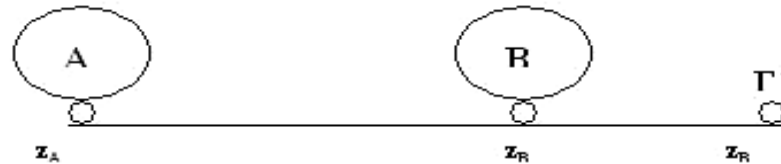
- $\lambda_1 = 1.5$
- $\lambda_2 = \Phi$, όχι μεγαλύτερο του 3

$$\Phi = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{\max Q^{\alpha\kappa}_{\text{H}}}}$$

- $\text{mean}Q^{\alpha\kappa}_{\text{HM}} = \rho \text{mean}Q_{\text{HM}}$
- $\max Q^{\alpha\kappa}_{\text{HM}} = \lambda_1 \text{mean}Q^{\alpha\kappa}_{\text{HM}}$
- $\max Q^{\alpha\kappa}_{\omega\rho} = \Phi \max Q^{\alpha\kappa}_{\text{HM}}$

Εκτός ύλης

Προσδιορισμός παροχής ακαθάρτων



Εκτός ύλης

Η μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων στον αγωγό ΒΓ είναι

$$\max Q_{H,B\Gamma}^{\alpha\kappa} = \max Q_{H,A}^{\alpha\kappa} + \max Q_{H,B}^{\alpha\kappa}$$

Ο συντελεστής ωριαίας αιχμής είναι: $\lambda_2 = \Phi = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{\max Q_{H,B\Gamma}^{\alpha\kappa}}} \leq 3$

Η μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων δίνεται από τη σχέση:

$$\max Q_{\omega\rho,B\Gamma}^{\alpha\kappa} = \Phi \cdot \max Q_{H,B\Gamma}^{\alpha\kappa}$$

Προσοχή: Η προσέγγιση $\max Q_{\omega\rho,B\Gamma}^{\alpha\kappa} = \max Q_{\omega\rho,A}^{\alpha\kappa} + \max Q_{\omega\rho,B}^{\alpha\kappa}$

Οδηγεί σε υπερδιαστασιολόγηση εφόσον αυξάνοντας το μέγεθος του οικισμού ομαλοποιείται η κατανάλωση νερού συνεπώς και η παροχή αποχέτευσης.

Συνοπλοποιώντας και τις πρόσθετες εισροές προκύπτει ότι η συνολική παροχή σχεδιασμού στο τμήμα ΒΓ είναι:

$$Q_{B\Gamma}^{\sigma\chi\epsilon\delta} = \max Q_{\omega\rho,B\Gamma}^{\alpha\kappa} + \sum_{AB+B\Gamma} q_{\text{εισροών}}$$

Πρόσθετες Εισροές (σε δίκτυα ακαθάρτων)

Προσδιορίζονται διακριτά από την παροχή ακαθάρτων του εξυπηρετούμενου οικισμού

Εξαρτώνται από (Τσακίρης, 2005):

- ✚ Έκταση επιφάνειας που αποχετεύεται
- ✚ Παλαιότητα δικτύου
- ✚ Βάθος αγωγού, ύψος υδροφόρου ορίζοντα
- ✚ Συγκεντρωτικό άθροισμα πρόσθετων παροχών

Εκτός ύλης

Πρόσθετες Εισροές (Κουτσογιάννης, 1993)

1985).

- Περιστερί - Αιγάλεω $166 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{km}$
- Πειραιάς $216 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{km}$
- Νέα Ιωνία - Ηράκλειο $176 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{km}$
- Μέση τιμή $175 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{km}$

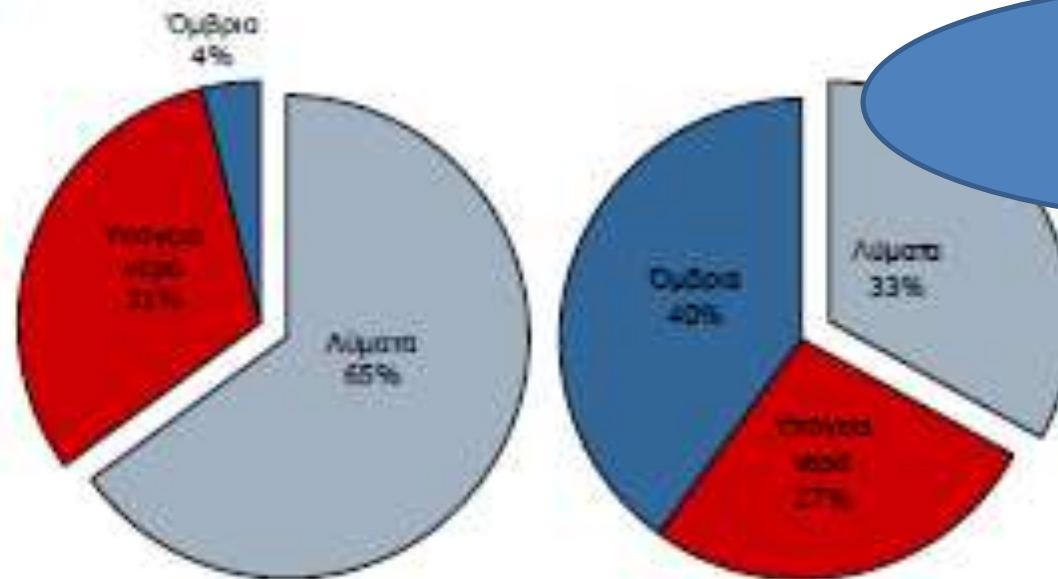
Εκτός ύλης

Συγκρίνοντας τις παραπάνω τιμές με αυτές της διεθνούς βιβλιογραφίας παρατηρούμε ότι είναι πολύ υψηλές, κοντά στα ανώτατα όρια. Καθοδηγητικές τιμές για το σχεδιασμό έργων έχει δώσει μόνο η ΕΥΔΑΠ (1985) για την περιοχή της Αθήνας. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στο σύνολο των πρόσθετων εισροών και είναι

- Για περιοχές υψηλού υδροφόρου ορίζοντα: 0.30 l/s/ha ($25.9 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{ha}$)
- Για περιοχές χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα: 0.25 l/s/ha ($21.6 \text{ m}^3/\eta\mu/\text{ha}$)

Για την περίπτωση που οι πρόσθετες εισροές εκτιμώνται ως ποσοστό της παροχής αιχμής ακαθάρτων η ΕΥΔΑΠ (1985) δίνει τις τιμές 30% για περιοχές υψηλού υδροφόρου ορίζοντα και 20% για περιοχές χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα.

πρόσφατη έρευνα των Ζαλαχώρη κ.ά. (2007) στο δίκτυο ακαθάρτων των Ιωαννίνων οι ποσότητες των παρασιτικών εισροών βρέθηκαν να είναι εξαιρετικά σημαντικές. Συγκεκριμένα, σε μέση ετήσια βάση, οι παρασιτικές εκροές αποτελούν το 35% του συνολικού όγκου που ρέει στο δίκτυο ακαθάρτων, ενώ στη διάρκεια των υψηλών παραχών (στο 5% του χρόνου που αντιστοιχεί στις μεγαλύτερες παροχές) η συμβολή των παρασιτικών εισροών στο σύνολο είναι 67% και των λυμάτων 33% (Σχήμα 2.2). Αυτό σημαίνει ότι η παροχή των παρασιτικών εισροών είναι διπλάσια από την παροχή ακαθάρτων. Όμοια παρόμοια έρευνα για το δίκτυο της Καρδίτσας έδειξε αρκετά μικρότερη συμβολή των παρασιτικών εισροών (38% έναντι 62% των λυμάτων για τις υψηλές παροχές).



Σχήμα 2.2 Συνιστώσες της παροχής του δικτύου ακαθάρτων των Ιωαννίνων: (αριστερά) σε μέση ετήσια κλίμακα, και (δεξιά) για την περίοδο που εμφανίζεται το μέγιστο 5% των τιμών της παροχής (Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2005).

Εκτός ύλης

Κρίσιμο βάθος εκτός ύλης

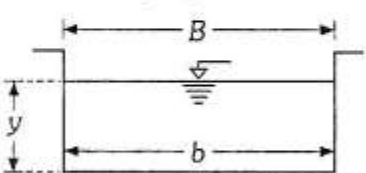
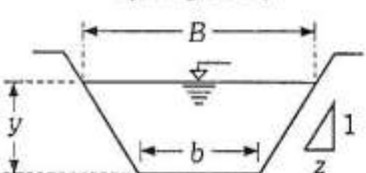
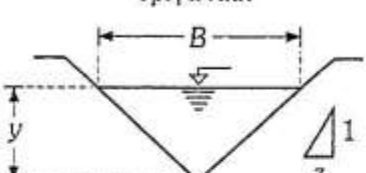
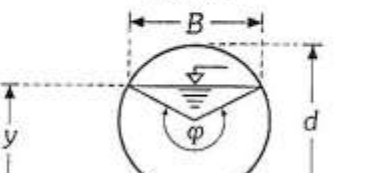
Αριθμός Froude

Αριθμός Froude και έλεγχος κρίσιμης ροής

Ο αριθμός Froude μπορεί να ερμηνευθεί ως ο αδιάστατος αριθμός που υποδηλώνει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας:

$$F = \frac{\text{δυν.αδράνειας}}{\text{δυν.βαρύτητας}} = \frac{V}{\sqrt{gy_\mu}} \left(= \frac{Q}{\sqrt{g \frac{A^3}{B}}} \right), y_\mu = \frac{A}{B}$$

Πίν. 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών

Διατομή	Επιφάνεια A	Βρεχ. περίμετρος P	Υδραυλική ακτίνα $R = A/P$	Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας B	Υδραυλικό βάθος $y_p = A/B$	Αριθμός Froude F
<p>Ορθογωνική</p> 	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$\sqrt{\frac{Q^2}{b^2 y^3 g}}$
<p>Τραπεζοειδής</p> 	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\sqrt{\frac{(b + 2zy)Q^2}{(b + zy)^3 y^3 g}}$
<p>Τριγωνική</p> 	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\sqrt{\frac{2Q^2}{z^2 y^5 g}}$
<p>Κυκλική</p> 	$\frac{d^2}{8}(\varphi - \sin\varphi)$	$d \frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)$	$d \left(\sin \frac{\varphi}{2}\right)$ ή $2\sqrt{y(d-y)}$	$\frac{d}{8} \left[\frac{\varphi - \sin\varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right]$	$\sqrt{\frac{512Q^2 \sin \left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi - \sin\varphi)^3}}$

Έλεγχος κρίσιμου βάθους

$$\sqrt{\frac{512Q^2 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi - \sin\varphi)^3}} = 1 \text{ (δοκιμές...)}$$

Προτιμώ υποκρίσιμη ροή...

Στα τυπικά δίκτυα αποχέτευσης επιδιώκεται να σχεδιάζονται οι αγωγοί με υποκρίσιμη ροή ή το πολύ με αριθμούς Froude λίγο μεγαλύτερους από 1 (πρακτικά $\gamma/H_0 > 0.5$). Αυτό γίνεται για αποφυγή των προβλημάτων που παρουσιάζει η υπερκρίσιμη ροή, που ανακεφαλαιωτικά είναι:

- μεγάλες ταχύτητες ροής με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των αγωγών,
- μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας με κίνδυνο εμφάνισης ανάστροφων ροών, στις συμβολές δευτερευόντων αγωγών και τις ιδιωτικές συνδέσεις,
- εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων όταν μικραίνει η κλίση των αγωγών με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης των αγωγών και να εμφανίζονται σημαντικές τοπικές απώλειες ενέργειας,

Προσεγγιστικός έλεγχος υποκρίσιμης ροής

Για να διαπιστωθεί αν ροή με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι υποκρίσιμη ή όχι, αρκεί να ελεγχθεί μια από τις παραπάνω ανισώσεις. Επειδή στους αγωγούς κυκλικής διατομής οι υπολογισμοί των κρίσιμων χαρακτηριστικών ροής απαιτούν κάποιο χρόνο, για πρώτη εκτίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση

$$y > 0.75E = 0.75 \left(y + \frac{V^2}{2g} \right) \quad (4.64)$$

που εξασφαλίζει πάντα υποκρίσιμες συνθήκες ροής (βλ. Πίνακα 4.5). Επισημαίνεται ότι η αντίστροφη ανίσωση δεν εξασφαλίζει συνθήκες υπερκρίσιμης ροής. Η πιο πάνω σχέση για ορθογωνική διατομή γίνεται

Ακριβής για ορθ
διατομή

$$y > \frac{2}{3}E = \frac{2}{3} \left(y + \frac{V^2}{2g} \right) \quad (4.65)$$

που η ισχύς της είναι αυστηρή.

Αριθμός Re

Ορισμός: ως $l = 4 R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)
Κριτήριο στρωτής ροής

$$Re = \frac{V 4R}{\nu} \leq 2000$$

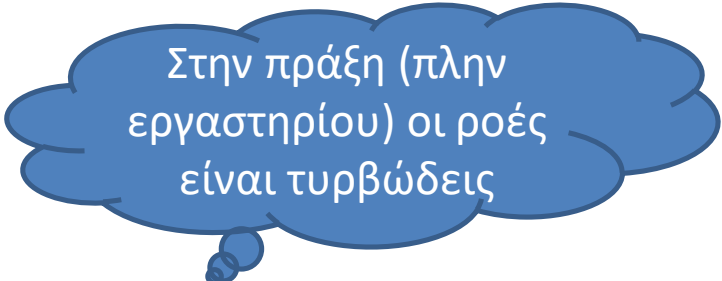
Ορισμός: ως $l = R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)
Κριτήριο στρωτής ροής

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \leq 500 \text{ (Elger et al., 2014), (600 για άλλους συγγρ)}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Ορισμός: ως $l = R$ (συμβατό με Darcy –Weisbach)
Κριτήριο τυρβώδους ροής ροής

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \geq 750,$$



Στην πράξη (πλην εργαστηρίου) οι ροές είναι τυρβώδεις