

Επαναληπτικό μάθημα

Βασικές παραδοχές

- Μονοδιάστατη ροή (ενιαία ταχύτητα σε όλη τη διατομή)
- Πίεση:
 - Υδροστατική πίεση για μη καμπύλους αγωγούς (ανοικτοί αγωγοί)
 - Σταθερή πίεση σε διατομή (που καθορίζεται από τη γραμμή ενέργειας και το υψόμετρο του άξονα του αγωγού) σε κλειστούς αγωγούς

Βασικές αρχές

- Αρχή διατήρησης της μάζας
- Αρχή διατήρησης της ποσότητας κίνησης (π.χ. θυρόφραγμα, υδραυλικό άλμα)
- Αρχή διατήρησης της ενέργειας

Ομοιόμορφη ροή

- Ταχύτητα σταθερή για τις διατομές με ομοιόμορφη ροή
- Ισορροπία δυνάμεων
- Σε κλειστούς αγωγούς επιτυγχάνεται για σταθερή διατομή, στους ανοικτούς πιο δύσκολα, για σταθερή κλίση, χωρίς εμπόδια για μεγάλα μήκη
- Η γραμμή ενέργειας είναι παράλληλη με την ελεύθερη επιφάνεια και την κλίση του πυθμένα μόνο για ομοιόμορφη ροή σε **ανοικτούς αγωγούς**

Ομοιόμορφη ροή

- Εξ. Manning για ανοικτούς αγωγούς
- Darcy-Weisbach σε κλειστούς αγωγούς. Πιο ακριβής η Darcy-Weisbach, λόγω του f , ωστόσο δύσχρηστη σε ανοικτούς που είναι κατά κανόνα πιο δύσκολος ο σχεδιασμός.

Ανοικτοί αγωγοί και ομοιόμορφη ροή

- Ομοιόμορφη ροή: βάθος ροής σταθερό
- $S_0 = S_f$
- Manning

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}, \quad R = \frac{A}{P}$$

Θεωρία κρίσιμου βάθους και βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή

- Μόνο σε ανοικτούς αγωγούς που τα **μεταβατικά τμήματα** καταλαμβάνουν σημαντικά μήκη.
- Θεωρία κρίσιμου βάθους: Μας δίνει το **προφίλ της ελεύθερης επιφανείας** στα μεταβατικά τμήματα.
- Βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή: $|dy/dx| < 1$

Αριθμός Froude

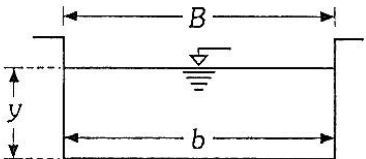
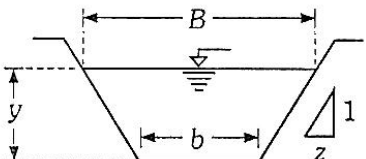
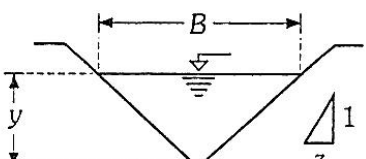
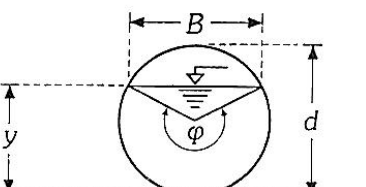
Αριθμός Froude και έλεγχος κρίσιμης ροής

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

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

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}, \text{ μόνο σε ορθογωνικές διατομές}$$

Πίν. 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών

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

Πίν. 3.2: Συντελεστές Manning n για διάφορα υλικά

Μέταλλο λείο	0.011 - 0.015
Μέταλλο, αυλακωτό	0.023 - 0.025
Ξύλο, κατεργασμένο	0.010 - 0.015
Ξύλο, ακατέργαστο	0.011 - 0.015
Τσιμέντο λείο	0.010 - 0.013
Σκυρόδεμα	0.014 - 0.016
Τσιμεντοχάλικο	0.017 - 0.030
Γρασίδι	$0 > 0.020$

Κρίσιμο βάθος, αντί σύγκρισης με το Fr προτιμάτε η σύγκριση με το κρίσιμο βάθος

Κρίσιμη ροή :

$$\left. \begin{array}{l} y > y_c \rightarrow \text{ροή υποκρίσιμη.} \\ y < y_c \rightarrow \text{ροή υπερκρίσιμη} \\ y = y_c \rightarrow \text{ροή κρίσιμη.} \end{array} \right\}$$

y_c : Βάθος ομοιόμορφης ροής ($y = \text{σταθ}$)
 $v = \text{σταθ}$.

Μπορεί να είναι κρίσιμο, υπερκρίσιμο ή υποκρίσιμο,
 y_c καθορίζεται από την κλίση.

Προσδιορισμούς κρίσιμου βάθους

Μεθοδολογικές παρατηρήσεις

Κρίσιμο βάθος ($Fr = 1$)

θεωρία

- Για να ελεχθεί αν η ροή είναι υπερκρίσημη ή υποκρίσημη ροή αρκεί να προσδιορισθεί ο αριθμός **Froude** και να συγκριθεί με τη μονάδα.
- Προκειμένου να προσδιορισθεί το κρίσιμο βάθος (βάθος ροής όταν η ροή είναι κρίσιμη) εξισώνω τον αριθμό *Froude* με τη μονάδα και με **δοκιμές** προσδιορίζω το συνακόλουθο κρίσιμο βάθος ροής y_c .

- (με εξαίρεση την ορθογωνική διατομή, όπου $q = Q/b$, παροχή ανά μονάδα πλάτους, μέγεθος που ορίζεται σε ορθογωνικούς αγωγούς)

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

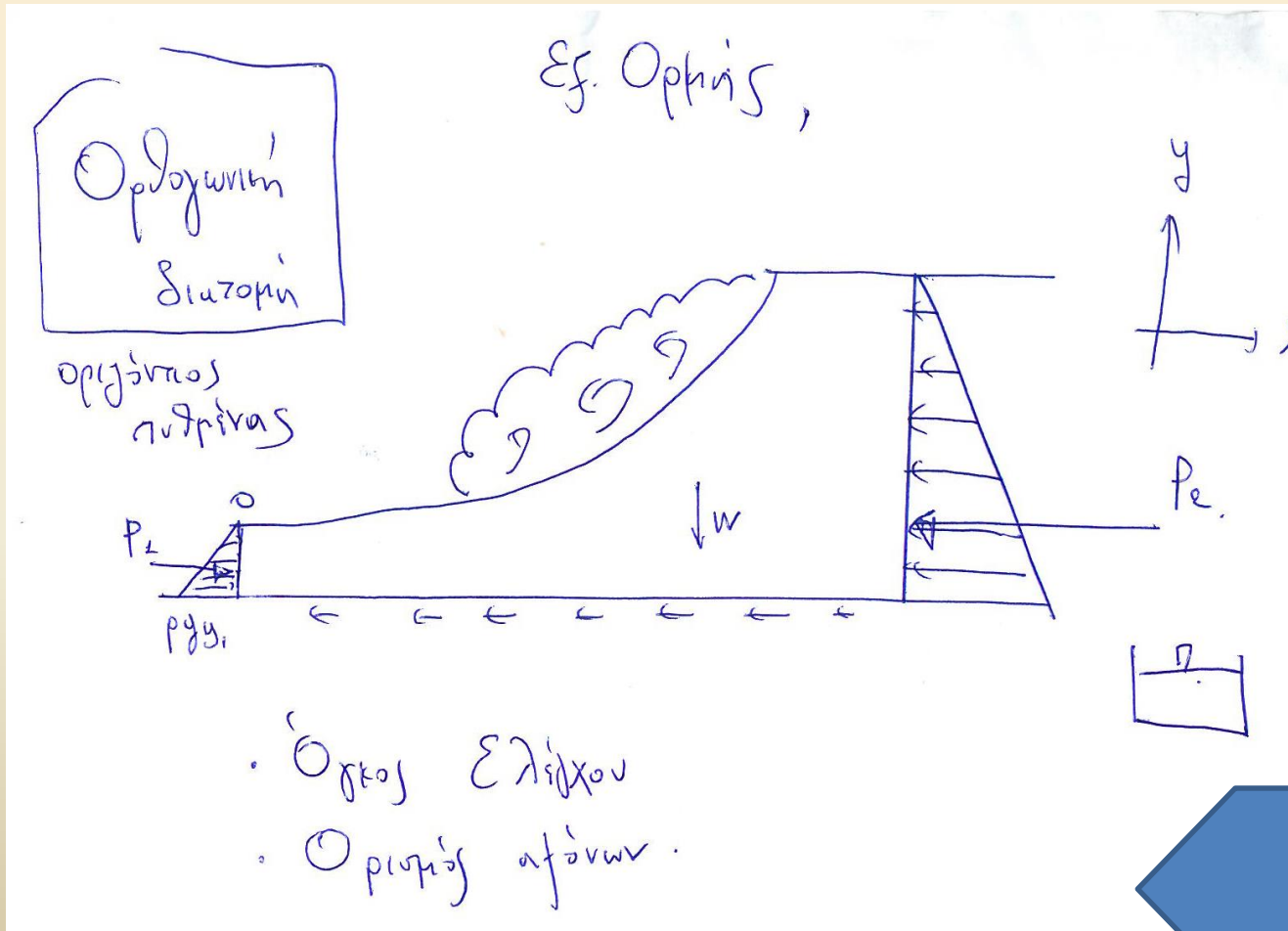
Υδραυλικό άλμα



- Χρησιμοποιείται για καταστροφή ενέργειας
- ΠΑΝΤΑ συμβαίνει όταν: ροή από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη
 - υπερχειλιστής
 - Από απότομη κλίση σε ήπια
- Δαπάνη ενέργειας λόγω τύρβης



Όγκος ελέγχου, εξίσωση ορμής



Διατήρηση της ορμής

θεωρία

- Όγκος ελέγχου
- Διατομές κάθετες στην ταχύτητα
- Δυνάμεις λόγω πίεσης πάντα θλιπτικές, κάθετες στην επιφάνεια
- Σχεδιάζω τις δυνάμεις και ελέγχω τη φορά τους με βάση το θεωρούμενο σύστημα αξόνων
- **Η συνισταμένη των δυνάμεων εξισορροπεί τη (καθαρή) διαφορά ορμής εκροής- εισροής για μόνιμη ροή**
- Οι ταχύτητες ελέγχονται ως προς τη φορά με το θεωρούμενο σύστημα αξόνων

$$\Sigma F_x = \rho Q \left(\begin{array}{c} V_x \text{ εκροής} - V_x \text{ εισροής} \\ \text{V εκροής} \quad \text{V εισροής} \\ \text{σύγκριση φοράς} \quad \text{σύγκριση φοράς} \\ \text{με άξονες} \quad \text{με άξονες} \end{array} \right)$$

Μόνιμη
μονοδιάστατη
ροή χωρίς
διακλαδώσεις

Η εξ. (8.2-6) στην περίπτωση του ορθογωνικού αγωγού, βλ. εξ. (8.2-8), γράφεται ως εξής

$$\frac{Q^2}{gby_1} + \frac{1}{2}by_1^2 = \frac{Q^2}{gby_2} + \frac{1}{2}by_2^2 \quad \text{ή} \quad \frac{(V_1by_1)^2}{gby_1} + \frac{1}{2}by_1^2 = \frac{(V_2by_2)^2}{gby_2} + \frac{1}{2}by_2^2 \quad \text{ή}$$

$$\frac{V_1^2}{gy_1} + \frac{1}{2} = \frac{V_2^2}{gy_1 \left(\frac{y_2}{y_1}\right)} + \frac{1}{2} \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 \quad \text{ή} \quad F_1^2 + \frac{1}{2} = \frac{F_2^2}{\left(\frac{y_2}{y_1}\right)} + \frac{1}{2} \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 \quad \text{ή}$$

$$-\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 - \left(\frac{y_2}{y_1}\right) + 2F_1^2 = 0$$

$$\text{όπου } F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$$

είναι ο αριθμός Froude στην ανάντη διατομή 1, όπου η ροή είναι υπερκρίσιμη. Λύνοντας την εξ. (8.4-1) προκύπτει η εξ. (8.4-3)

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (8.4-3)$$

Η εξ. (8.4-3) μπορεί να γραφτεί και με την ακόλουθη μορφή

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right) \quad (8.4-4)$$

$$\text{όπου } F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gy_2}} \quad (8.4-5)$$

είναι ο αριθμός Froude στην κατάντη διατομή 2, όπου η ροή είναι υποκρίσιμη.

Οι απώλειες ενέργειας μπορεί να υπολογιστούν από την εξ. (6.3-2) που γράφεται για περίπου οριζόντιο αγωγό με την ακόλουθη μορφή

$$\Delta H_{1-2} = y_1 - y_2 + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2} \quad (8.3-6)$$

θεωρία

Μόνο για
οριζόντια
άλματα,
ορθογωνική
διατομή

Απόδειξη:
δευτεροβάθμια
εξίσωση με
μεταβλητή y_2/y_1

Στάμου, 2014

Μήκος υδραυλικού άλματος

Το μήκος του υδραυλικού άλματος μπορεί να προσδιοριστεί μόνο με βάση την πειραματική εμπειρία.

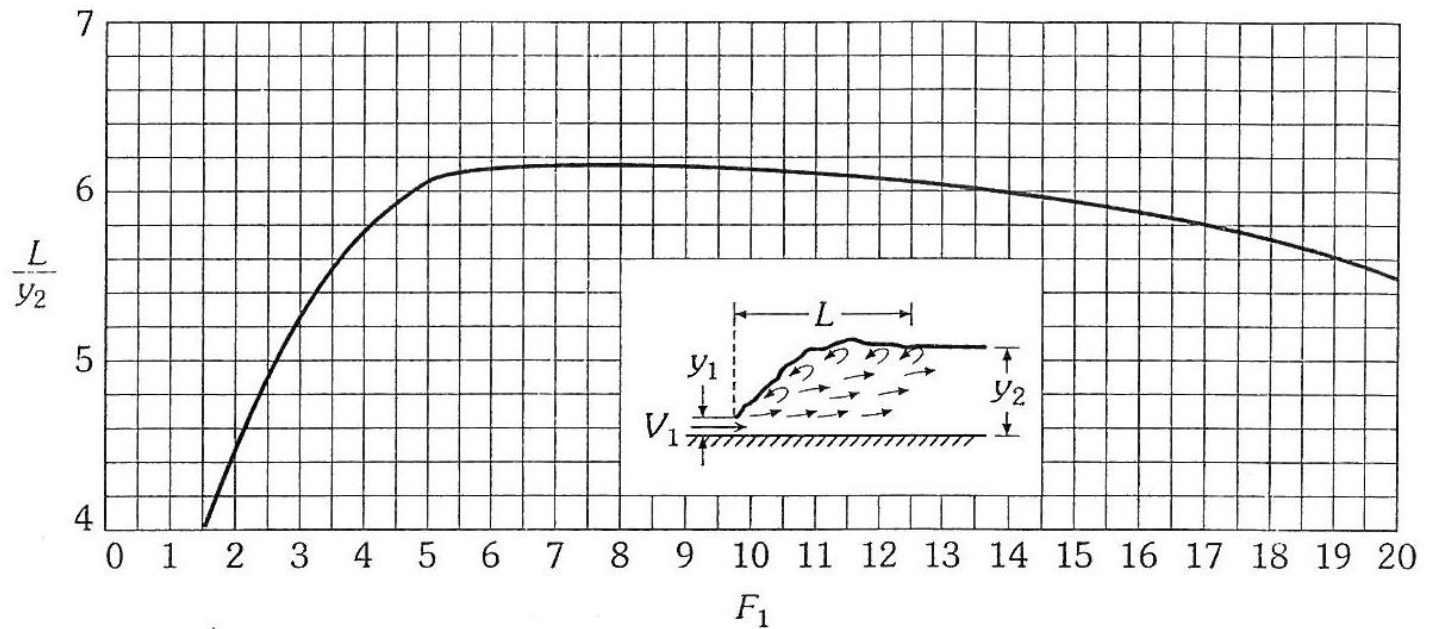
→ Ισχύει περίπου ο κανόνας:

$$L_{u.a.} \approx 6 \cdot y = 6 \times 3.05 \text{ m. σχετικά ασφαλ.}$$

Σχετικά
περιορισμένο
μήκος

× 1.1 για ασφάλεια

Για το μήκος, L , του υδραυλικού άλματος σε ορθογωνικό αγωγό έχουν συνταχθεί διαγράμματα με άξονες το λόγο L/y_2 και F_1 . Για εύρος του αριθμού F_1 μεταξύ των τιμών 4.5 και 13.0 το μήκος του υδραυλικού άλματος προκύπτει περίπου σταθερό και ίσο με $L = 6 y_2$. Επίσης έχει προταθεί και η σχέση $L = y_1 220 \tan h [(F_1 - 1)/22]$.



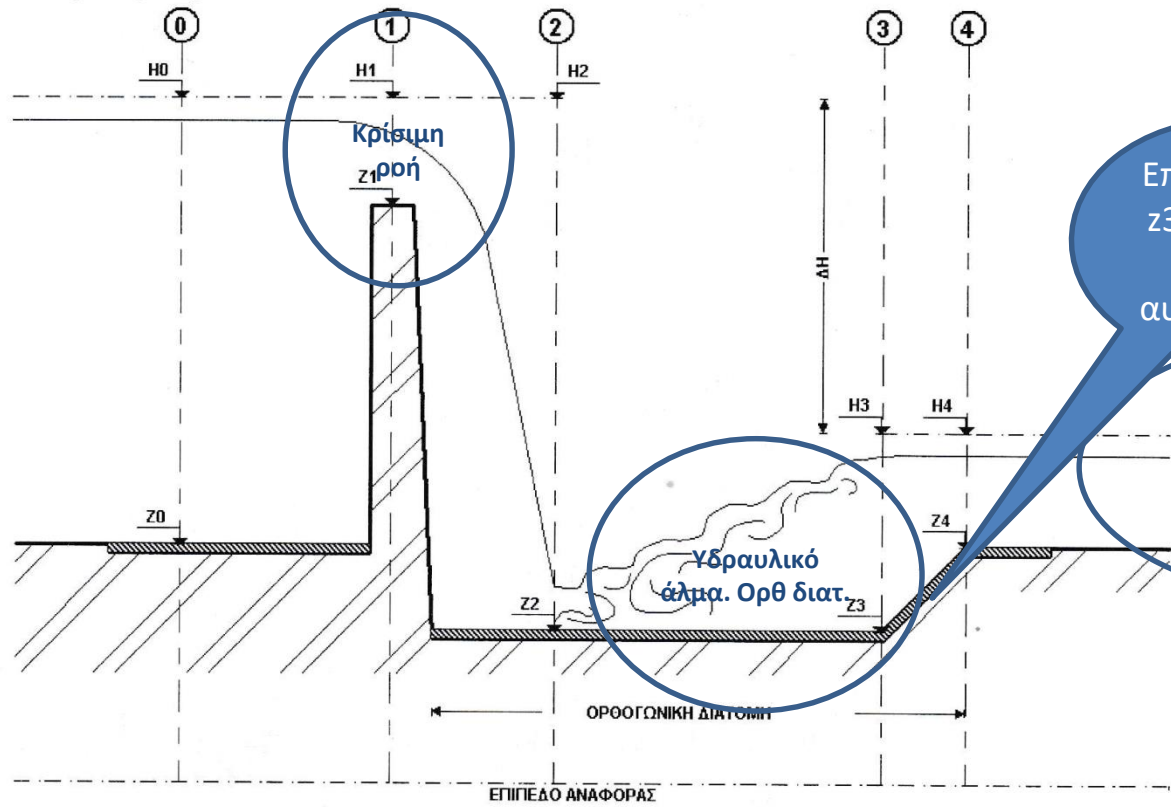
Σχ. 3.8: Μήκος του υδραυλικού άλματος.

Ανοικτοί αγωγοί, ύψος ενέργειας

$$H = y + \frac{V^2}{2g} + z \text{ (ενέργεια)}$$

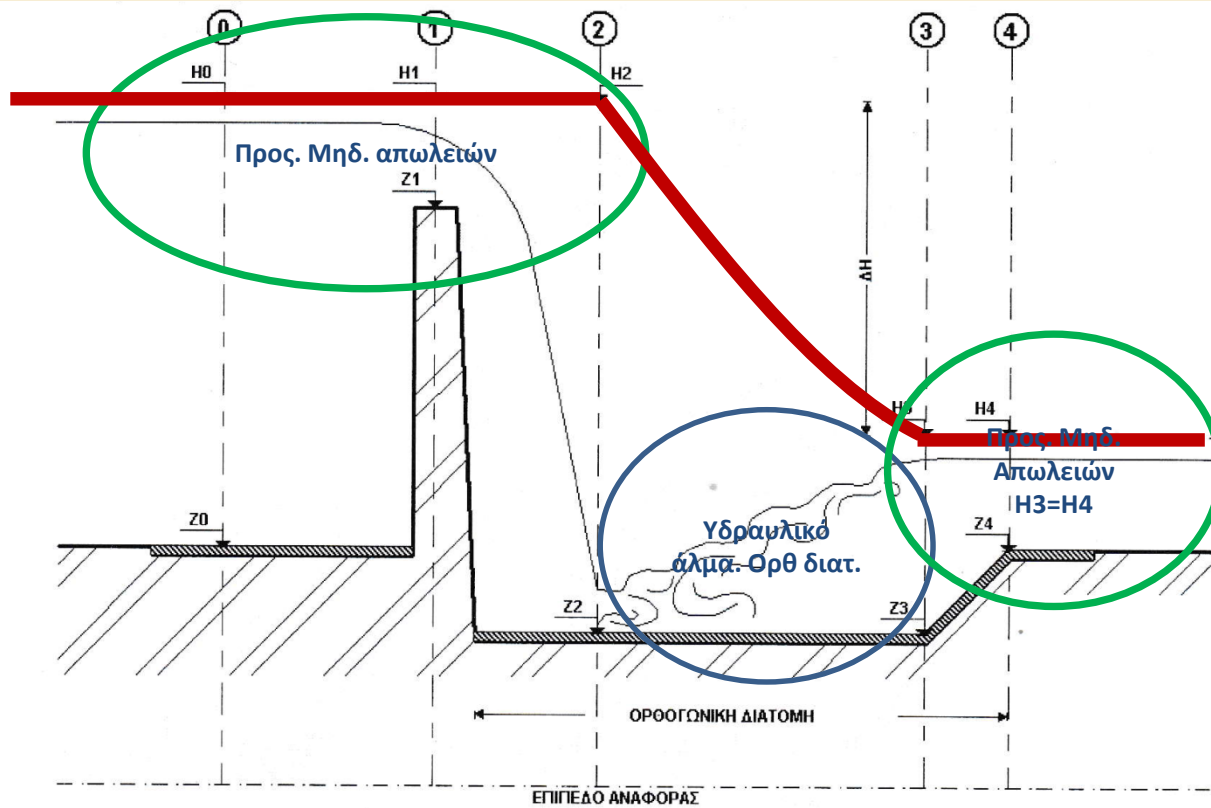
$$E = y + \frac{V^2}{2g} \text{ (ειδική ενέργεια)}$$

είναι αρνητικός.



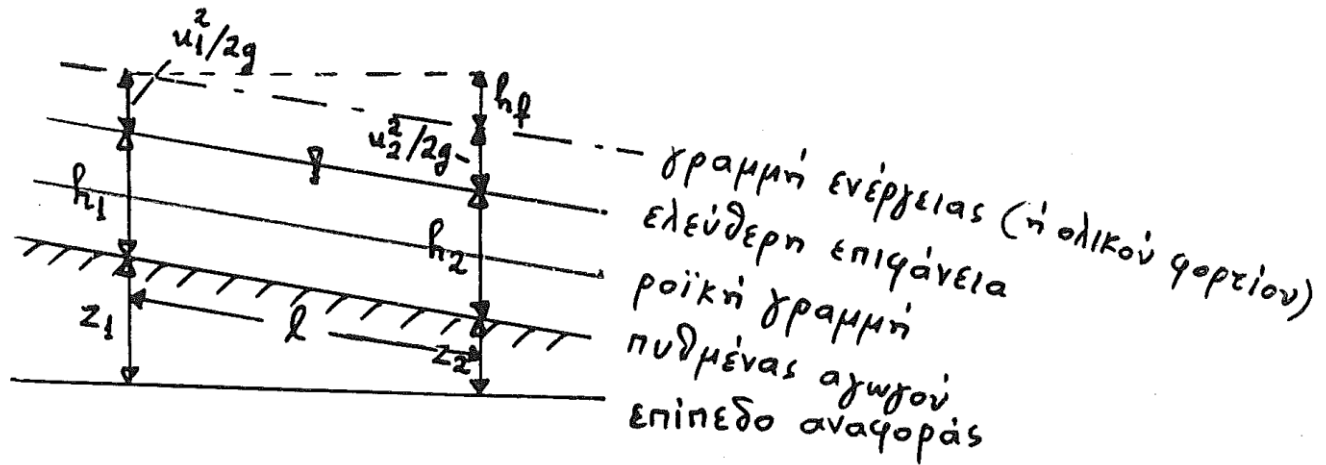
Επιλογή $z_4 - z_3$ ώστε να έχουμε αυτό το Υ.Α.

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΡΩΗ



9

Απώλειες λόγω τριβών (πραγματικά ρευστά):



$$\frac{u_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + h_f$$

Κλειστοί αγωγοί, ύψος ενέργειας

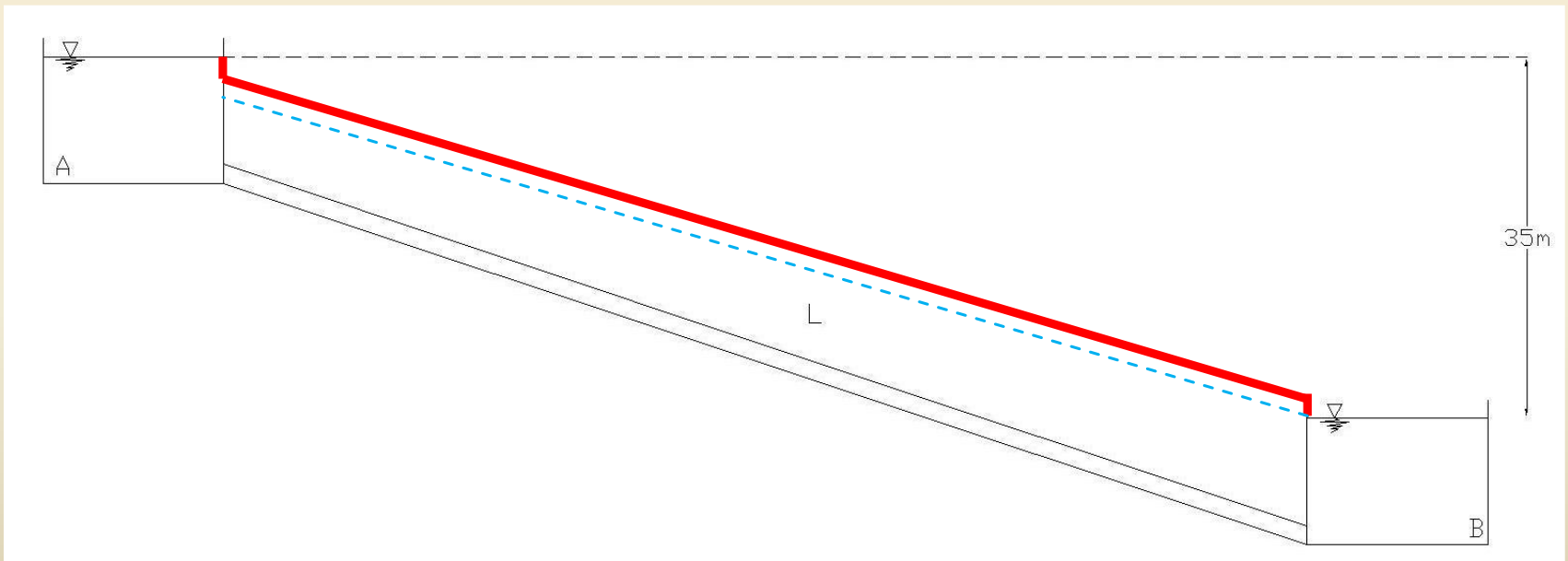
$$H = \frac{p}{\rho g} + z + \frac{V^2}{2g} \text{ (ενέργεια)}$$

$$\text{Π.Γ.} = \frac{p}{\rho g} + z \text{ (πιεζομετρική γραμμή)}$$

- Έστω δύο δεξαμενές που συνδέονται με αγωγό διαμέτρους D . Να γραφεί η εξίσωση της ενέργειας:

$$z_A + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + \underbrace{h_f}_{\text{γραμμικές απώλειες}} + \underbrace{h_f'}_{\text{τοπικές απώλειες}} \left. \vphantom{z_A} \right\} \rightarrow \Delta z = \underbrace{h_f}_{\text{γραμμικές απώλειες}} + \underbrace{h_f'}_{\text{τοπικές απώλειες}}$$

- Να σχεδιαστεί η γραμμή ενέργειας:



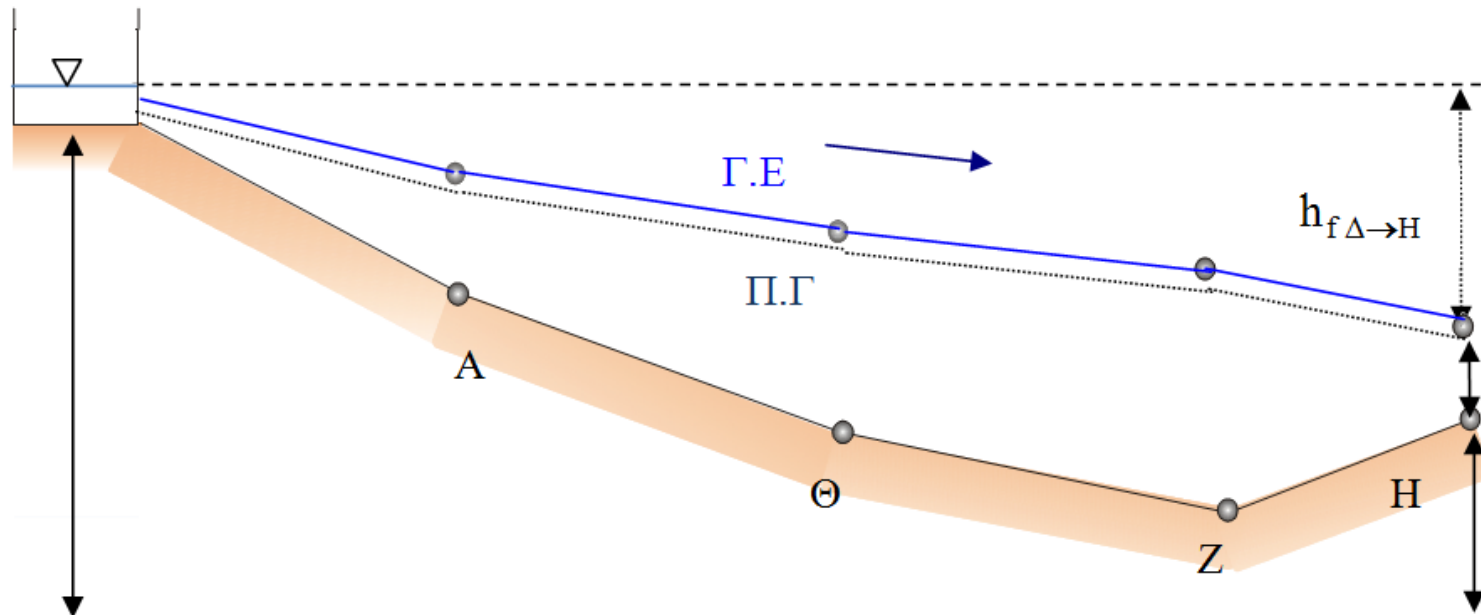
(απώλειες ενέργειας: $0.5v^2/2g + \text{γραμμικές} + v^2/2g$)

- Σχέση γραμμής ενέργειας και πιεζομετρικής γραμμής
(απλά αφαιρώ το ύψος κινητικής ενέργειας, βλ διακεκομμένη γραμμή)

$$\Gamma E = H = \frac{V^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} \rightarrow \left(z + \frac{p}{\rho g} \underset{\text{ορισμός}}{=} \text{Π.Γ.} \right) \rightarrow \text{Π.Γ.} = \Gamma E - \frac{V^2}{2g}$$

Γραμμή ενέργειας σε ένα αγωγό (χωρίς αντλία)

- Γραμμή ενεργείας: ο γεωμετρικός τόπος του ύψους θέσης, του ύψους πίεσης και του ύψους κινητικής ενέργειας
- **Πάντοτε πτωτική από τη διατήρηση της ενέργειας**
- Δεν ισχύει πάντα το ίδιο για την Π.Γ.



Σχ. Ενεργειακή διαδρομή από την υψομετρική θέση της δεξαμενής, στο H

DARCY-WEISBACH

Συντελεστής τριβής

- Εξίσωση Darcy –Weisbach, για τις γραμμικές απώλειες ενέργειας σε μονάδες μήκους

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

- Για κυκλικούς αγωγούς ενσωματώνει το είδος της ροής και τη τραχύτητα του υλικού:
 $f = f(\text{Re}, k/D)$
- Προέρχεται από την ανάλυση της ροής σε συνδυασμό με πειραματικά αποτελέσματα

Προσαύξηση τραχύτητας για υδραυλικό δίκτυο (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2014)

Τιμές της τραχύτητας σχεδιασμού

- Δεδομένου ότι τα δίκτυα διανομής σχεδιάζονται με ορίζοντα 40 ετών, οι τιμές εφαρμογής των συντελεστών τραχύτητας πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη γήρανση των αγωγών.
- Κατά κανόνα οι τιμές εφαρμογής λαμβάνονται προσαυξημένες (ισοδύναμη τραχύτητα) προκειμένου να συμπεριληφθούν και τοπικές απώλειες (βλ. επόμενη σελίδα).
- Η ελάχιστη αποδεκτή ισοδύναμη τραχύτητα, με την προϋπόθεση νερού που δεν προκαλεί διάβρωση ή επικαθήσεις αλάτων, λαμβάνεται $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$ ($\varepsilon_* = 2$).
- Στη συνήθη περίπτωση πλαστικών αγωγών, με την υπόθεση ότι αναμένονται φαινόμενα διάβρωσης ή επικαθήσεων αλάτων, συστήνεται $\varepsilon = 1.0\text{-}2.0 \text{ mm}$ ($\varepsilon_* = 20\text{-}40$).

Ενδεικτικός πίνακας
εργαστηριακών τιμών
ισοδύναμης τραχύτητας τυπικών
υλικών (Δεν συστήνεται η χρήση
τους σε μελέτες δικτύων)

Υλικό	ε (mm)
Ορείχαλκος, χαλκός	0.0015
Χάλυβας εμπορίου ή σφυρήλατος σίδηρος	0.045
Χυτοσίδηρος με ασφαλική επάλειψη	0.12
Γαλβανισμένος σίδηρος	0.15
Χυτοσίδηρος χωρίς επάλειψη	0.26
Σκυρόδεμα	0.3 – 3.0
Πλαστικό (λείοι σωλήνες εργοστασίου)	< 0.01
Πλαστικό, μετά από χρήση	> 0.10

Ρητή σχέση απωλειών ενέργειας-παροχής, ένας αγωγός, μία διάμετρος μόνο γραμμικές απώλειες

B' τρόπος (προτεινόμενη ρητή εξίσωση)

Σε τυρβώδη ροή με γνωστές τις γραμμικές απώλειες, αγνοώντας τις τοπικές απώλειες, μπορεί άμεσα να προσδιοριστεί η ταχύτητα από την παρακάτω αναλυτική εξίσωση:

$$V = -2 \sqrt{\frac{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}{L}} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D} \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)^* \quad (2.35)$$

* Από την εξίσωση των Darcy - Weisbach ισχύει

$$h_{f(i-1) \rightarrow i} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}}$$

Απλοποίηση f

Από την εξίσωση των Colebrook - White $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$, προκύπτει:

$$V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{VD/v} V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)$$

$$V = -2 \sqrt{\frac{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}{L}} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D} \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)$$

όπου $H_{i-1} - H_i = h_{f(i-1) \rightarrow i}$.

Άρα είναι μία ακριβής και όχι προσεγγιστική εξίσωση

B' τρόπος (προτεινόμενη ρητή εξίσωση)

Σε τυρβώδη ροή με γνωστές τις γραμμικές απώλειες, αγνοώντας τις τοπικές απώλειες, μπορεί άμεσα να προσδιοριστεί η ταχύτητα από την παρακάτω αναλυτική εξίσωση:

$$V = -2 \sqrt{\frac{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}{L}} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D} \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)^* \quad (2.35)$$

* Από την εξίσωση των Darcy-Weisbach ισχύει

$$h_{f(i-1) \rightarrow i} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}}$$

Από την εξίσωση των Colebrook-White $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$, προκύπτει:

$$V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{VD/v} V \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)$$

$$V = -2 \sqrt{\frac{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}{L}} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D} \sqrt{\frac{L}{2gh_{f(i-1) \rightarrow i} D}} \right)$$

όπου $H_{i-1} - H_i = h_{f(i-1) \rightarrow i}$.

Οι απώλειες ενέργειας είναι γνωστές π.χ. σε πρόβλημα δύο δεξαμενών θεωρώντας αμελητέες τοπικές απώλειες (για μεγάλα μήκη και προσαύξηση της τραχύτητας), οι γραμμικές απώλειες ίσες με την υψομετρική διαφορά και για αγωγό ενιαίας διαμέτρου και υλικού

2.4.5 Τοπικές Απώλειες Φορτίου

Οι τοπικές απώλειες οφείλονται στα τοπικά εμπόδια τα οποία συναντά η ροή. Οι κυριότερες αιτίες τοπικών απωλειών είναι οι παρακάτω:

- Απότομη διαστολή ή συστολή της διατομής του αγωγού
- Βαθμιαία διαστολή ή συστολή της διατομής του αγωγού
- Αλλαγή κατεύθυνσης του αγωγού
- Τοπικές απώλειες σε δικλείδες και άλλες συσκευές που παρεμβάλλονται στη ροή
- Μη ευθύγραμμη τοποθέτηση του αγωγού.

Στην πράξη η διαταραχή αυτής της ροής για τις παραπάνω αιτίες δεν περιορίζεται σε ένα σημείο και το φαινόμενο συνοδεύεται από την ανάπτυξη στροβίλων και αποκλίνουσας ροής (Νουτσόπουλος και Χριστοδούλου, 1996). Ωστόσο, για απλοποίηση θεωρείται ότι οι τοπικές απώλειες σημειώνονται σημειακά μετατοπίζοντας τη γραμμή ενέργειας κατακόρυφα. Οι τοπικές απώλειες προσδιορίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

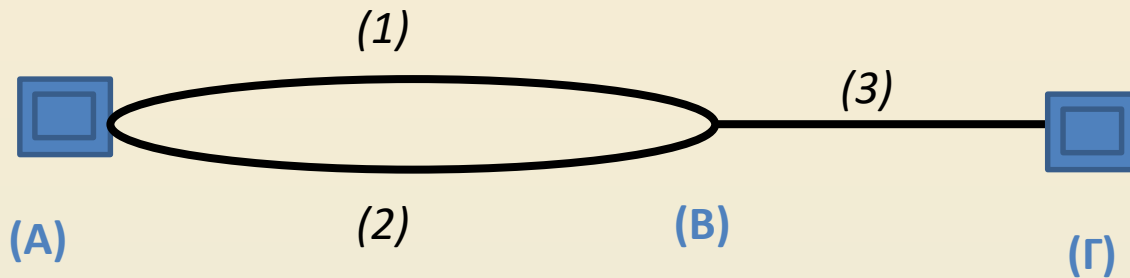
$$h'_f = K \frac{V^2}{2g}$$

Κλειστοί αγωγοί

- Σύνδεση σε σειρά: κοινή παροχή, άθροισμα γραμμικών απωλειών
- Σύνδεση παράλληλα: διακλάδωση παροχές, οι απώλειες ενέργειας σε αγωγούς συνδεδεμένους παράλληλα είναι ίσες, ενεργειακός έλεγχος ακολουθώντας τη «διαδρομή» του νερού.
 - Όταν λέμε ότι οι απώλειες ενέργειας σε ένα βρόχο είναι μηδέ, αυτό είναι ένα τεχνικό σχήμα για να περιγράψουμε ότι οι απώλειες ενέργειας σε αγωγούς συνδεδεμένους παράλληλα είναι ίσες, είναι προφανές ότι οι απώλειες πάντοτε αφαιρούν ενέργεια.

Προσοχή, εξίσωση ενέργειας, ακολουθώντας την κίνηση του ρευστού

- Η εξίσωση ενέργειας ισχύει κατά μήκος μιας γραμμής ροής
- Σε μόνιμη ροή, γραμμή ροής και τροχιά συμπίπτουν
- Ακολουθώ την λοιπόν, την κίνηση του ρευστού



Παράλληλη σύνδεση(1),(2):

$$h_{f,1} = h_{f,2}$$

Εξ. ενέργειας(A) \rightarrow (B):

$$1) z_A + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2} = z_B + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2} + h_{f,1} + h_{f,3}$$

ή

$$1) z_A + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2} = z_B + \frac{p_{atm}}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2} + h_{f,2} + h_{f,3}$$

Αποχετεύσεις

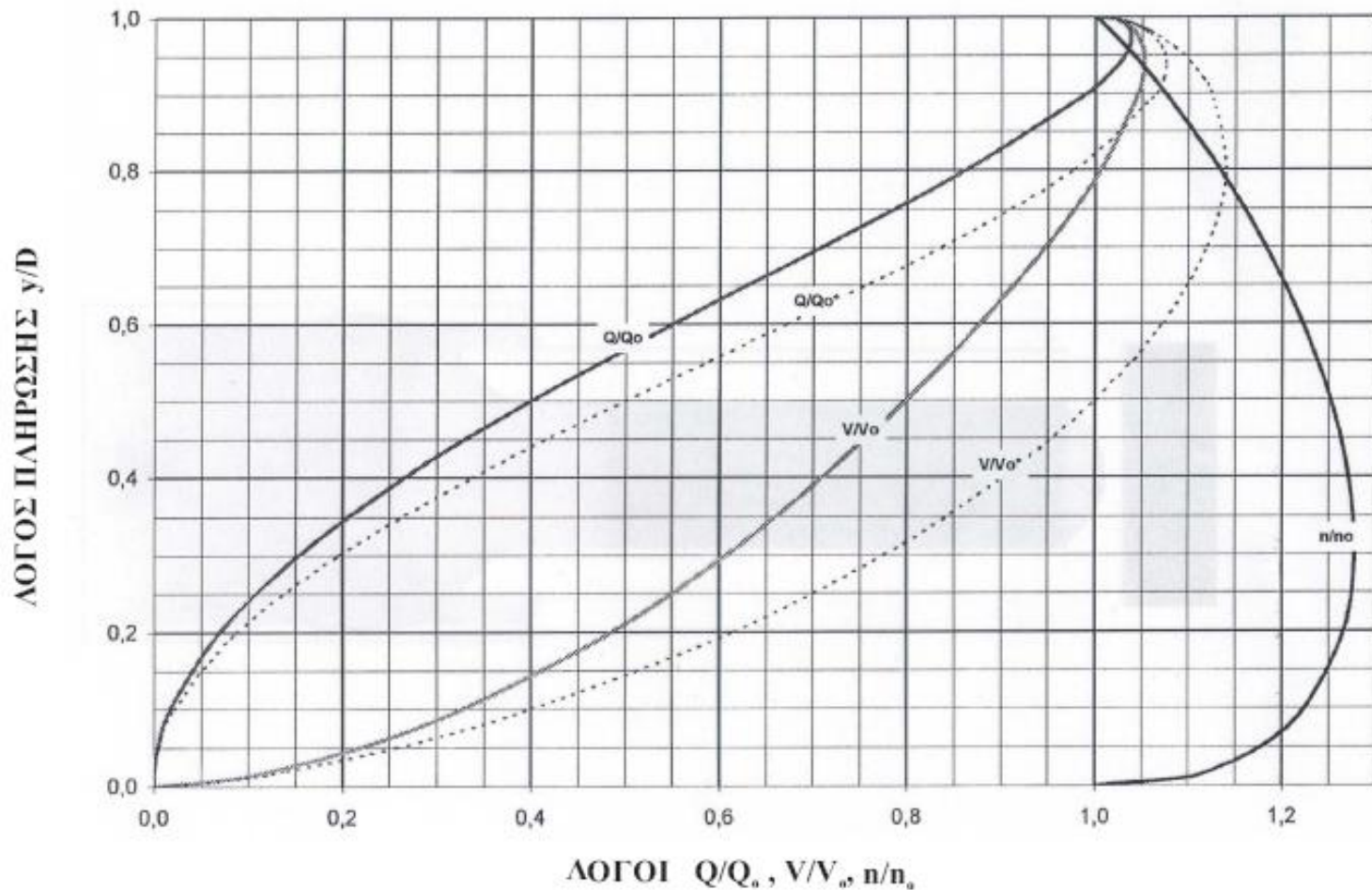
- Ροή με ελεύθερη επιφάνεια (ανοικτοί αγωγοί)
- Εξ. Manning (επίλυση για ομοιόμορφη ροή)
- Διάγραμμα με βάση τις εξ. Manning
- Περιοριστικές διατάξεις
- Διατομές του εμπορίου

Διαγραμματική επίλυση για αγωγούς μερικής πλήρωσης

Υδραυλικά στοιχεία με μερική πλήρωση

Διαγράμματα αδιάστατων μεγεθών

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



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

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

Περιοριστικές διατάξεις

- Εντός ύλης:
 - $\gamma/D \leq 0.7$, τουλάχιστον ή 0.8 για παλιά δίκτυα
 - $D \geq 0.2\text{m}$ για ακάθαρτα, 0.4 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