

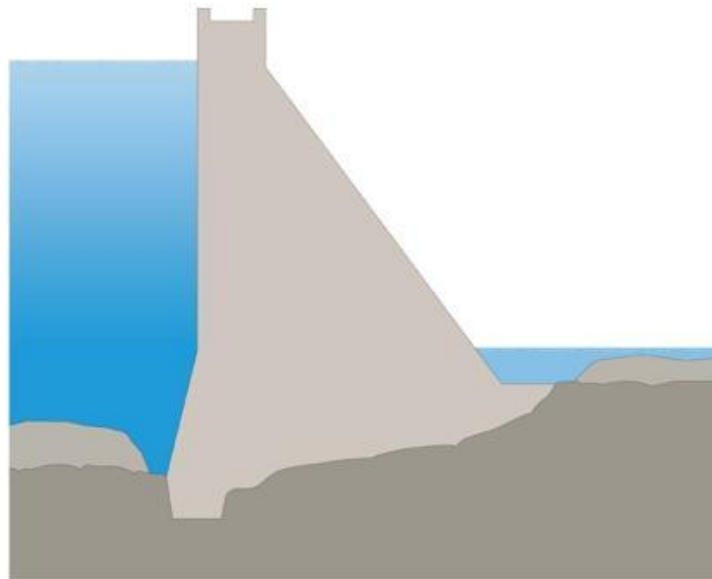
Βασικές Υδραυλικές Έννοιες

Χρήστος Α. Μουρούτογλου,
Λέκτορας Εφαρμογών

Ορισμοί υδροστατικής

Τι γίνεται όταν το νερό είναι σε κατάσταση ηρεμίας;

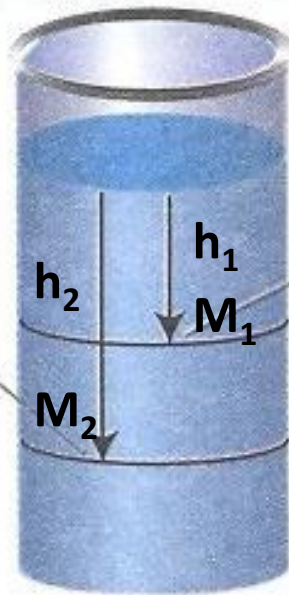
Υδροστατική πίεση



Γιατί είναι παχύτερα τα τοιχώματα στη βάση του φράγματος;

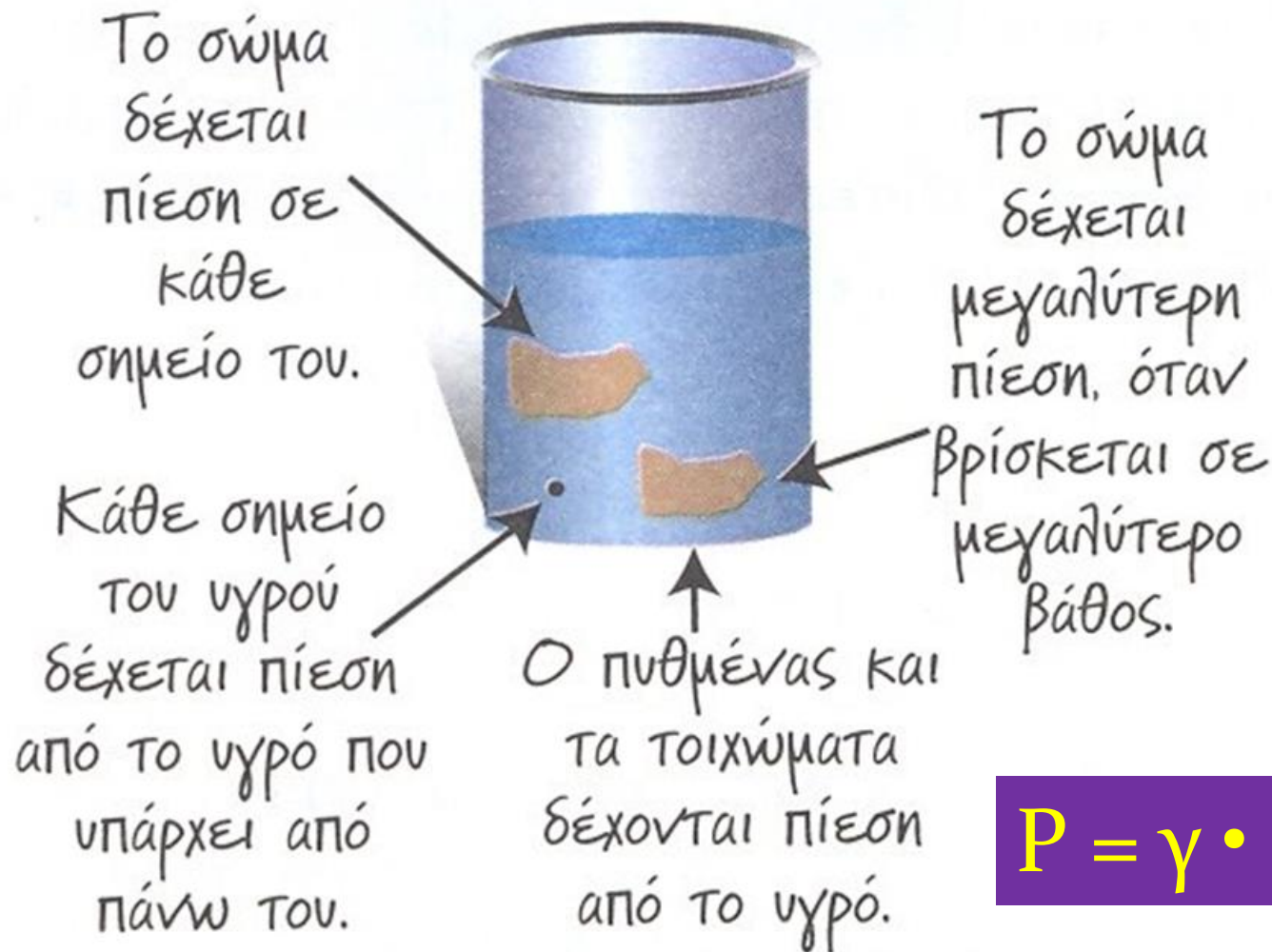
Υδροστατική πίεση

Η πίεση εδώ
οφείλεται
στο βάρος του
υγρού από
το σημείο αυτό
και πάνω.



Η πίεση εδώ
οφείλεται
στο βάρος του
υγρού από το
σημείο αυτό
και πάνω.

Υδροστατική πίεση



$$P = \gamma \cdot h$$

Ορολογία - Μονάδες πίεσης

- Η υδροστατική πίεση περιγράφεται από τον τύπο $\underline{P = h \cdot \gamma}$
- h η απόσταση του συγκεκριμένου σημείου στο νερό από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού και γ το ειδικό βάρος του νερού.

Στις αρδεύσεις το νερό που διαχειριζόμαστε θεωρούμε το $\gamma = 1$ gr / cm³ άρα $P = h$

- **Μετρικό σύστημα μονάδων (SI):** Η πίεση εκφράζεται σε μέτρα στήλης νερού (m) ή χιλιόγραμμα βάρους ανά τετραγωνικό εκατοστό (kgr/cm²) ή σε τόνους ανά τετραγωνικό μέτρο (t/m²).
- **Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων:** pounds per square inch (=psi)

Μονάδες - μετατροπές

- 1m^3 νερού = 1.000lt και ζυγίζει 1.000 kgr = 1t
- 1 at (τεχνική ατμόσφαιρα) = 1 kg/cm²
- 1atm (φυσική ατμόσφαιρα) = 1,033 kg/cm²
- 1kg/cm² = 0,98 bar = 14,223 psi
- 1 at = 100 kPa
- Αφού η $P = h$, όταν η πίεση δημιουργείται (με φυσικό τρόπο) από το βάρος του νερού αυτό συνδέεται άμεσα με το ύψος της στήλης νερού. Έτσι υπάρχει και η εξής έκφραση:

$$10\text{m} = 1\text{at} = 1\text{kg/cm}^2 = 10\text{t/m}^2$$

10 t =



Η Porsche Cayenne ζυγίζει περίπου 2,16 t.

Φανταστείτε λοιπόν 4,6 τέτοια αυτοκίνητα να συγκεντρώνουν το βάρος τους σε 1 m².

Αυτό θα είναι ίσο με τους 10 t / m² που είναι το βάρος που ασκεί μια στήλη νερού ύψους 10 m επιφάνειας 1m² από την επιφάνεια του εδάφους, ή 1 τεχνική ατμόσφαιρα (1at).

Υδραυλικές έννοιες

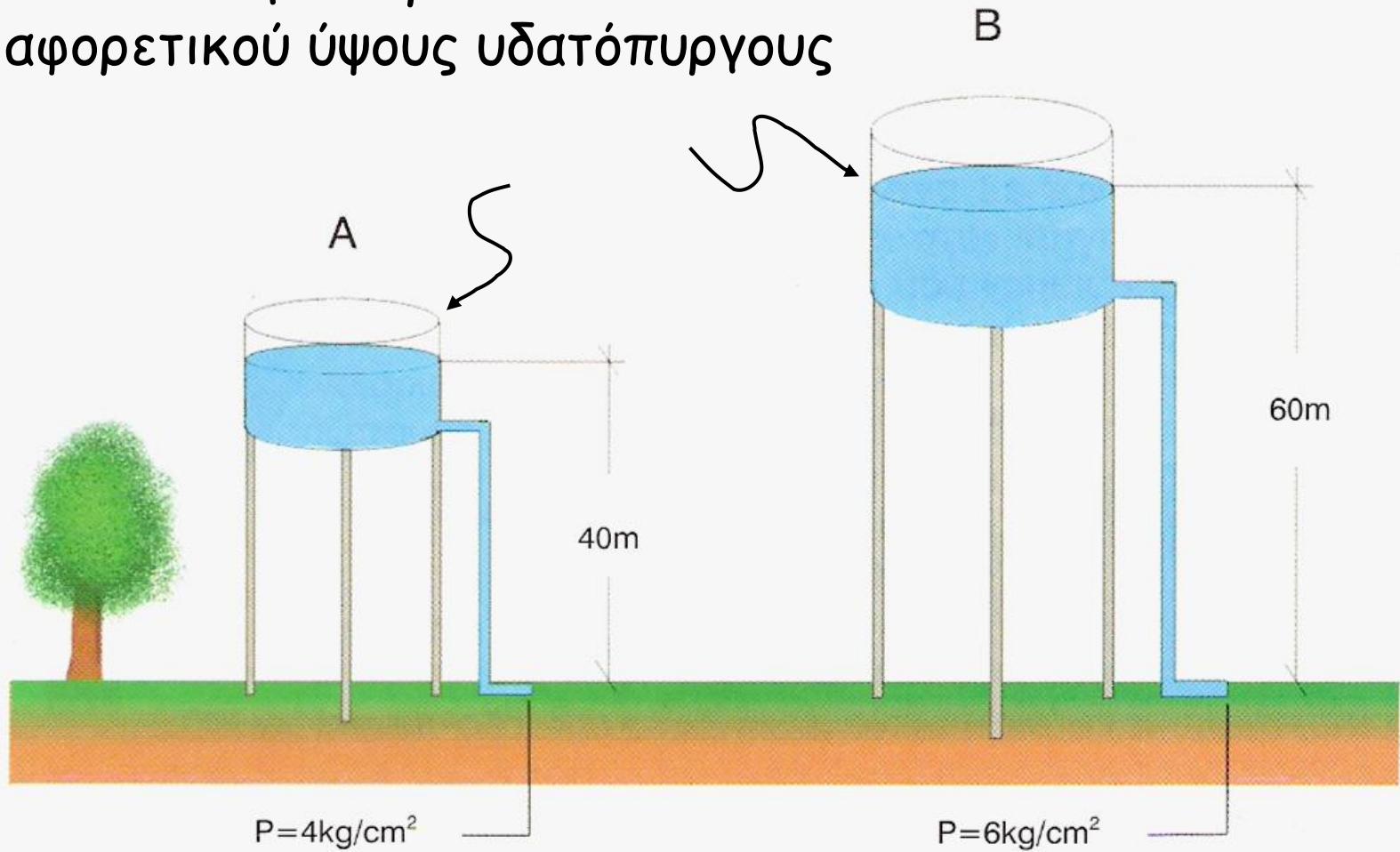
- Υδραυλική είναι η επιστήμη που μελετά τη συμπεριφορά του νερού, είτε αυτό **κινείται** είτε είναι **στάσιμο** (σε ηρεμία).
- Το νερό που κινείται μέσα στους σωλήνες (κλειστοί αγωγοί υπό πίεση) έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτό που κινείται σε ανοικτά αυλάκια ή παραμένει ακίνητο.

Στην υδροδυναμική, πίεση ή φορτίο πίεσης, είναι η δύναμη η οποία ωθεί το νερό να κινείται μέσα στους σωλήνες.

Υδραυλικές έννοιες

- Η πίεση μπορεί να δημιουργηθεί με α . Με τη βαρύτητα και β . Με τη χρήση αντλίας
- Ο υδατόπυργος είναι ένα παράδειγμα για τον τρόπο λειτουργίας της πίεσης. Προκαλείται από το βάρος του νερού και επηρεάζεται από το ύψος.

Ίδια ποσότητα νερού σε
διαφορετικού ύψους υδατόπυργους



Δημιουργία πίεσης από τη βαρύτητα (υδατόπυργος)

Ορολογία

- Η έννοια της στατικής πίεσης →
- Η έννοια της δυναμικής πίεσης

Η στατική πίεση του νερού μέσα σε σωλήνα υπολογίζεται όταν το νερό παραμένει ακίνητο. Η **στατική πίεση** σημαίνει καμία ροή, καμία τριβή και συνεπώς καμιά απώλεια πίεσης!

↓

Είναι η δύναμη που ασκείται από το νερό σε ένα σημείο όταν αυτό (το νερό) κινείται και καταλαμβάνει ολόκληρη διατομή ενός σωλήνα.

Ένα “μοναδικό” γνώρισμα του νερού

- Καθώς το νερό είναι ουσιαστικά ασυμπίεστο υγρό, παρουσιάζει το μοναδικό γνώρισμα να **μεταφέρει την πίεση** που δέχεται όταν βρίσκεται σε κλειστό χώρο (π.χ. δοχείο, δεξαμενή, κλειστό αγωγό κ.λ.π.)

Στατική πίεση

Μόλις γεμίσει ο αγωγός, δεν έχουμε καμία ροή, η μετρούμενη πίεση στην αρχή και στο τέλος του αγωγού (1 και 2 αντίστοιχα) θα είναι η ίδια.

$$H_2 = 30 \text{ m}$$

$$P_2 = 3 \text{ at}$$



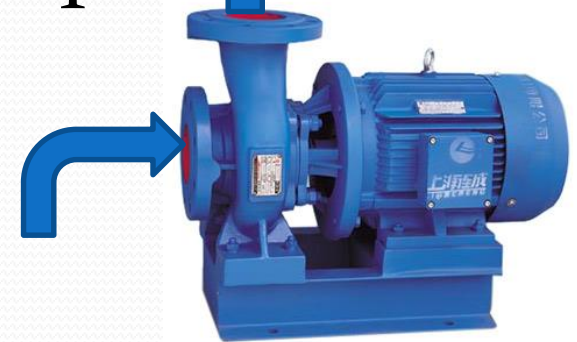
2



1

$$H_1 = 30 \text{ m}$$

$$P_1 = 3 \text{ at}$$



Στατική
πίεση

Κι εδώ έχουμε στατικό
το νερό. Γιατί αυξήθηκε
όμως η πίεσή του;

$$H_1 = 30 \text{ m}$$
$$P_1 = 3 \text{ at}$$

$$H_2 = 33 \text{ m}$$
$$P_2 = 3,3 \text{ at}$$



2



3m



Στατική
πίεση;

ΠΡΟΣΤΕΘΗΚΕ ΤΟ
ΒΑΡΟΣ ΤΟΥ!
Η ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ
ΑΝΥΨΩΣΗ...

$H_1 = 30 \text{ m}$
 $P_1 = 3 \text{ at}$ 1

$H_2 = 33 \text{ m}$
 $P_2 = 3,3 \text{ at}$



3m



Στατική
πίεση;

Είναι η υψομετρική
πίεση... θα τη δούμε
παρακάτω...

$H_1 = 30 \text{ m}$
 $P_1 = 3 \text{ at}$

$H_2 = 33 \text{ m}$
 $P_2 = 3,3 \text{ at}$



3m



Υψομετρική πίεση

Το νερό σε κάποιο ύψος

Η υψομετρική πίεση

- Η υψομετρική πίεση δίνεται από την εξής σχέση:

$$P_u = \rho \cdot g \cdot h$$

Όπου:

$$\rho = 1000 \text{ Kg/ m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$$

h = ανύψωση του εξεταζόμενου σημείου (m)

- Σχετίζεται με το ύψος h του σημείου από κάποιο επίπεδο αναφοράς.
- Εμφανίζεται σε σωλήνες τοποθετημένους πλάγια, οπότε δεν είναι όλα τα σημεία του στο ίδιο ύψος.

Η υψομετρική πίεση

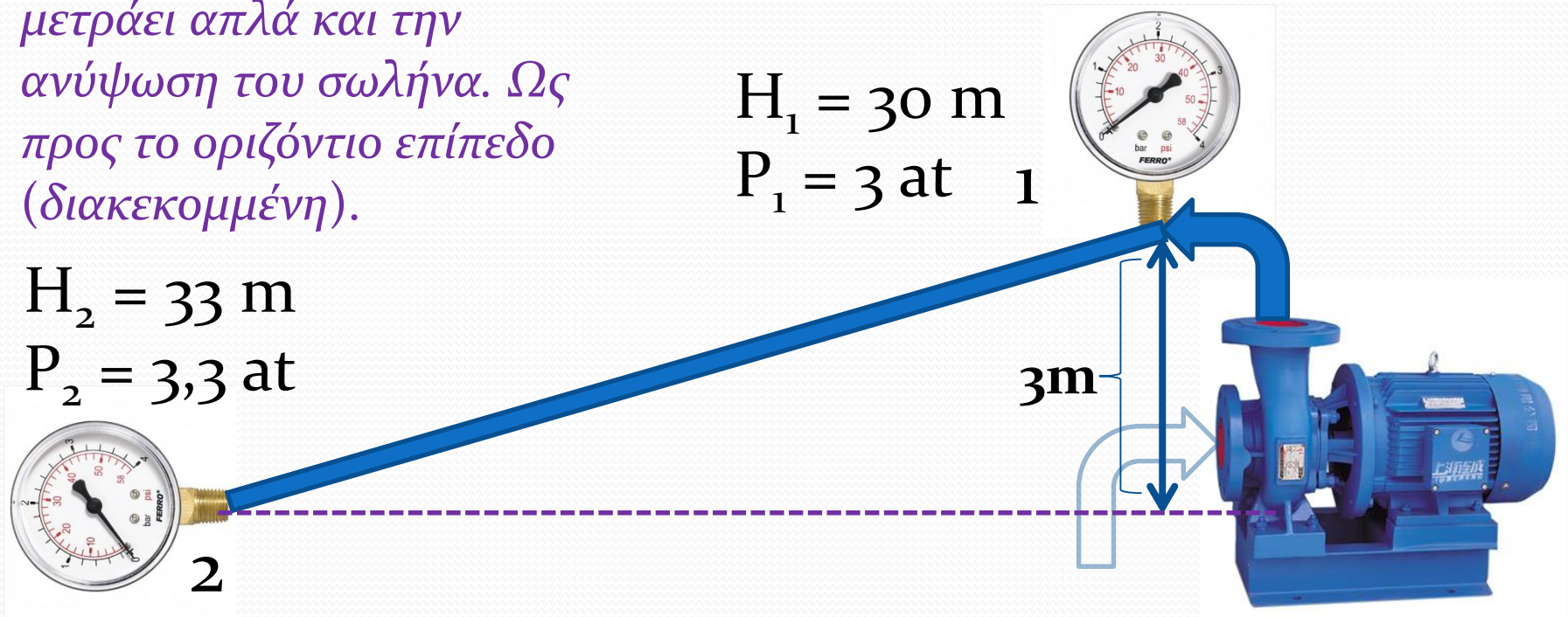
Το μανόμετρο δεν τρελάθηκε,
μετράει απλά και την
ανύψωση του σωλήνα. Ως
προς το οριζόντιο επίπεδο
(διακεκομμένη).

$$H_2 = 33 \text{ m}$$

$$P_2 = 3,3 \text{ at}$$

$$H_1 = 30 \text{ m}$$

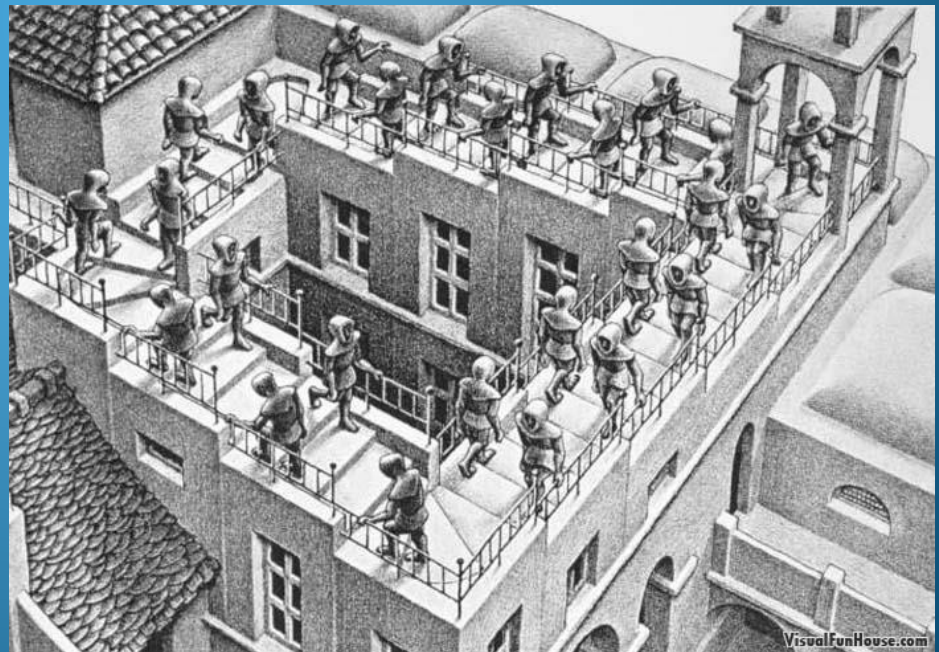
$$P_1 = 3 \text{ at} \quad 1$$



- 
- <https://www.youtube.com/watch?v=CoujLqKPWew>

Δυναμική πίεση / παροχή κι άλλοι ορισμοί...

Τι γίνεται όταν το νερό ρέει;



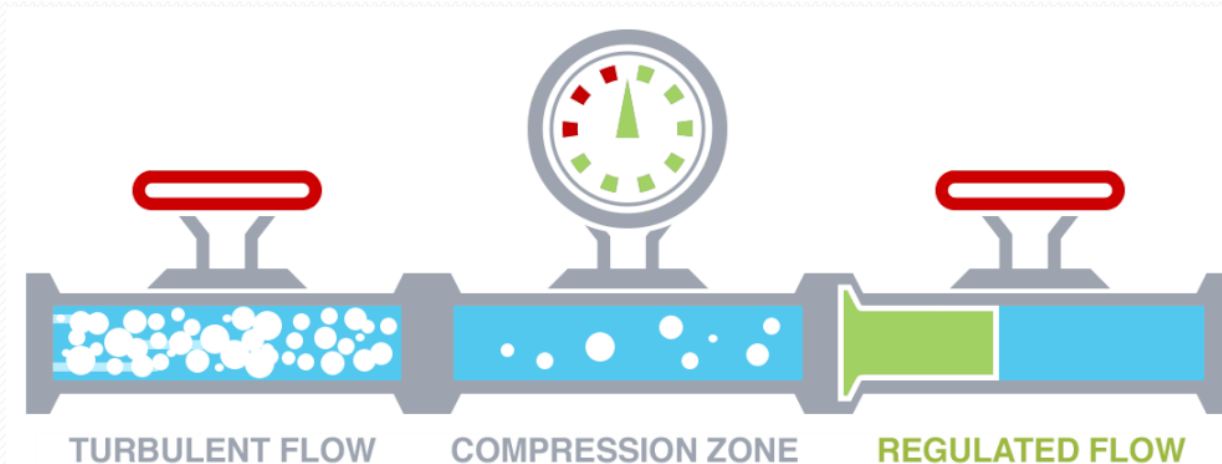
‘Ascending and Descending’
M.C. Escher

Ορισμοί

- Τροχιά υγρού σωματιδίου είναι το σύνολο των διαδοχικών θέσεων αυτού στο χώρο κατά τη διάρκεια της κινήσεώς του
- Γραμμή ροής ονομάζουμε την τροχιά η οποία σε κάθε σημείο της και σε κάθε χρονική στιγμή δέχεται ως εφαπτόμενη την διεύθυνση της ταχύτητας

Ορισμοί

- Παράλληλη ροή ονομάζουμε τη ροή όπου οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους
- Στροβιλώδη ροή ονομάζουμε τη ροή όπου οι γραμμές ροής δεν είναι παράλληλες και τα υγρά σωματίδια κινούνται ακανόνιστα και αλληλοσυγκρούονται



Ορισμοί

- Ομοιόμορφη ροή ονομάζουμε τη ροή όπου τα ανύσματα των ταχυτήτων είναι παράλληλα μεταξύ τους και δε μεταβάλλονται κατά μήκος της κατεύθυνσεως της ροής. *Κατά συνέπεια η καμπύλη κατανομής των ταχυτήτων (προφίλ) παραμένει η ίδια από διατομή σε διατομή*
- Βρεχόμενη επιφάνεια ή υγρή διατομή (S) ονομάζεται η κάθετος προς την κατεύθυνση της ροής επιφάνεια, η οποία καταλαμβάνεται από νερό.

Ορισμοί

- Βρεχόμενη περίμετρος (P) ονομάζεται το μήκος της γραμμής επαφής του υγρού με τα τοιχώματα του αγωγού όπου πραγματοποιείται η ροή.
- Υδραυλική ακτίνα (R) ονομάζεται ο λόγος της βρεχόμενης επιφάνειας S προς τη βρεχόμενη περίμετρο

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

Ορισμοί

- **Παροχή** ονομάζουμε τον όγκο του νερού που περνά από δεδομένη υγρή διατομή στη μονάδα του χρόνου

Συνήθεις χρησιμοποιούμενες
μονάδες παροχής: m^3/h ή lt/sec

- Μέση ταχύτητα (\bar{U} ή U) ονομάζουμε το λόγο της παροχής (Q) προς τη βρεχόμενη επιφάνεια:

$$U = \frac{Q}{S}$$

Ορισμοί και έννοιες

- Λοιπόν τροφοδοτούμε ένα δίκτυο με σταθερή παροχή, τότε **για διάφορες διατομές**, έχουμε την εξίσωση της συνέχειας:

$$S_1 \cdot U_1 = S_2 \cdot U_2 = \dots = S_n \cdot U_n$$

Δηλαδή αυξάνοντας την διατομή, θα μειώνεται η ταχύτητα και το αντίθετο...

Σταθερή παροχή

- Τι αλλάζει;
- - **Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ**



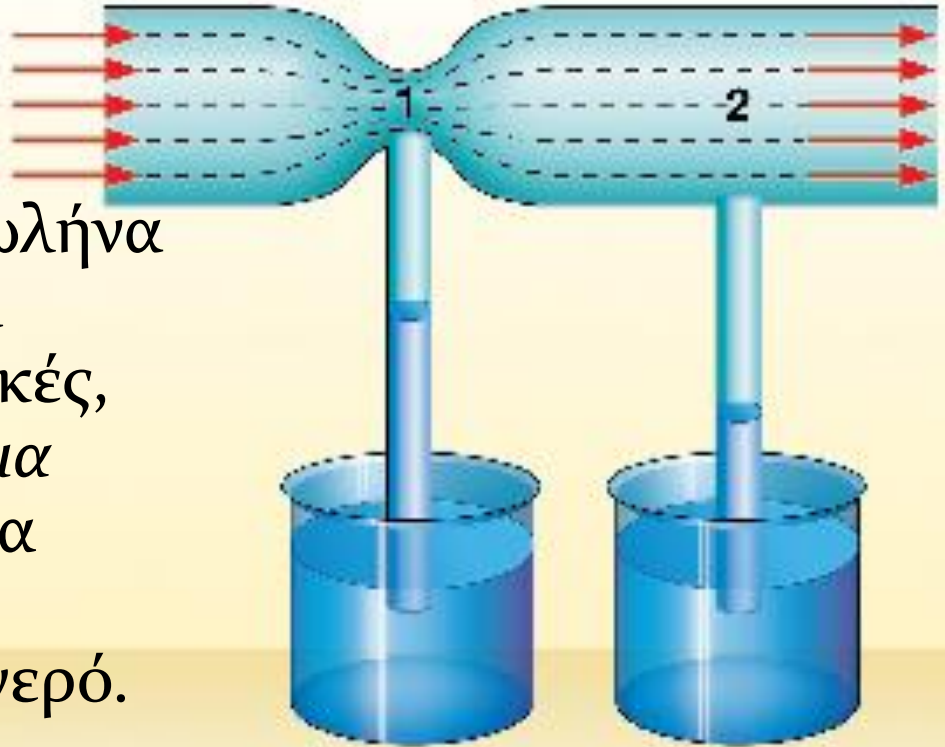
... Και η πίεση;
- Θα δούμε τι γίνεται, παρακάτω...

Ο νόμος του Bernoulli και εφαρμογές του

- Με τον νόμο της συνέχειας υπολογίζουμε την ταχύτητα σε κάθε σημείο του υγρού, αν μετρήσουμε τη διατομή A του σωλήνα που αντιστοιχεί στο σημείο.
- Έχουμε όμως παραμελήσει το βασικό μέγεθος για την συμπεριφορά των ρευστών: ΤΗΝ ΠΙΕΣΗ

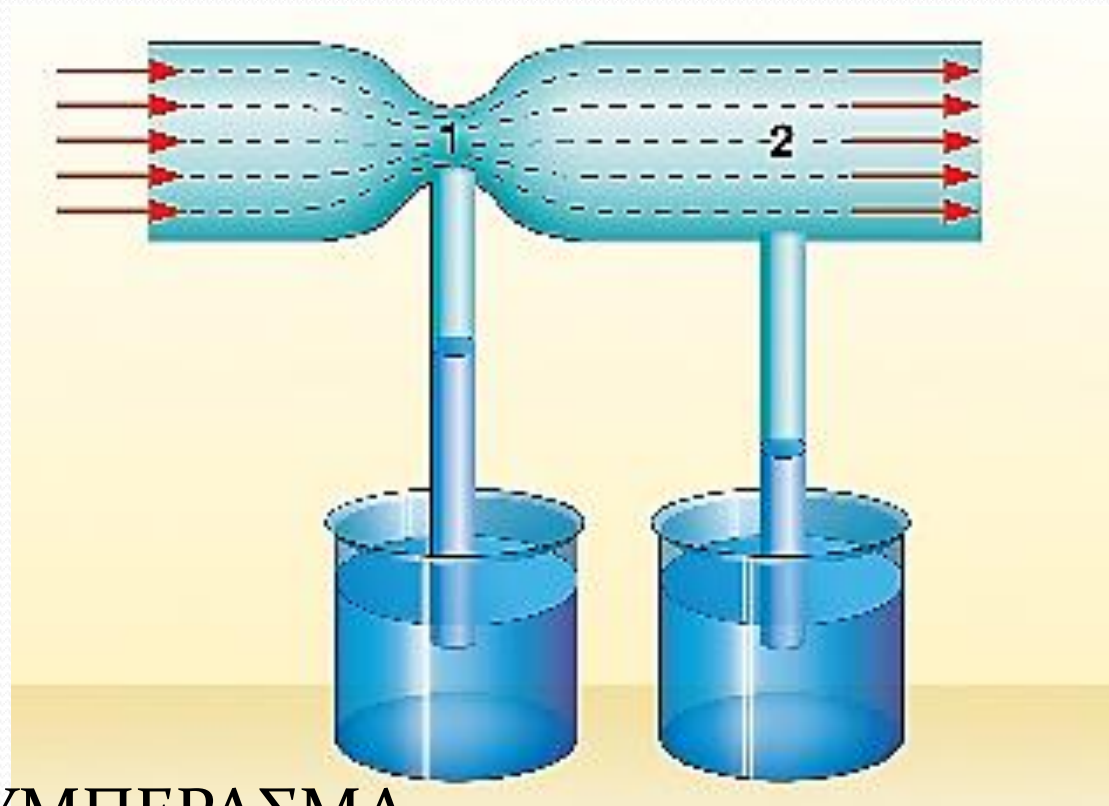
Πείραμα 1^ο

Στα σημεία 1 και 2 του σωλήνα με νερό που ρέει, όπου οι διατομές είναι διαφορετικές, συνδέονται δύο σωληνάκια ίδιας διατομής με τα άλλα άκρα τους βυθισμένα σε ποτήρια με χρωματιστό νερό.



Το αποτέλεσμα είναι να έχουν διαφορετικό ύψος ($1 > 2$) δείχνοντας ότι η πίεση στο σημείο 1 είναι **μικρότερη** απ' το σημείο 2 . Δηλ. : $P_1 < P_2$
Η ταχύτητα ροής U όμως στο 1 είναι μεγαλύτερη απ' το 2 ...

Πείραμα 1^ο

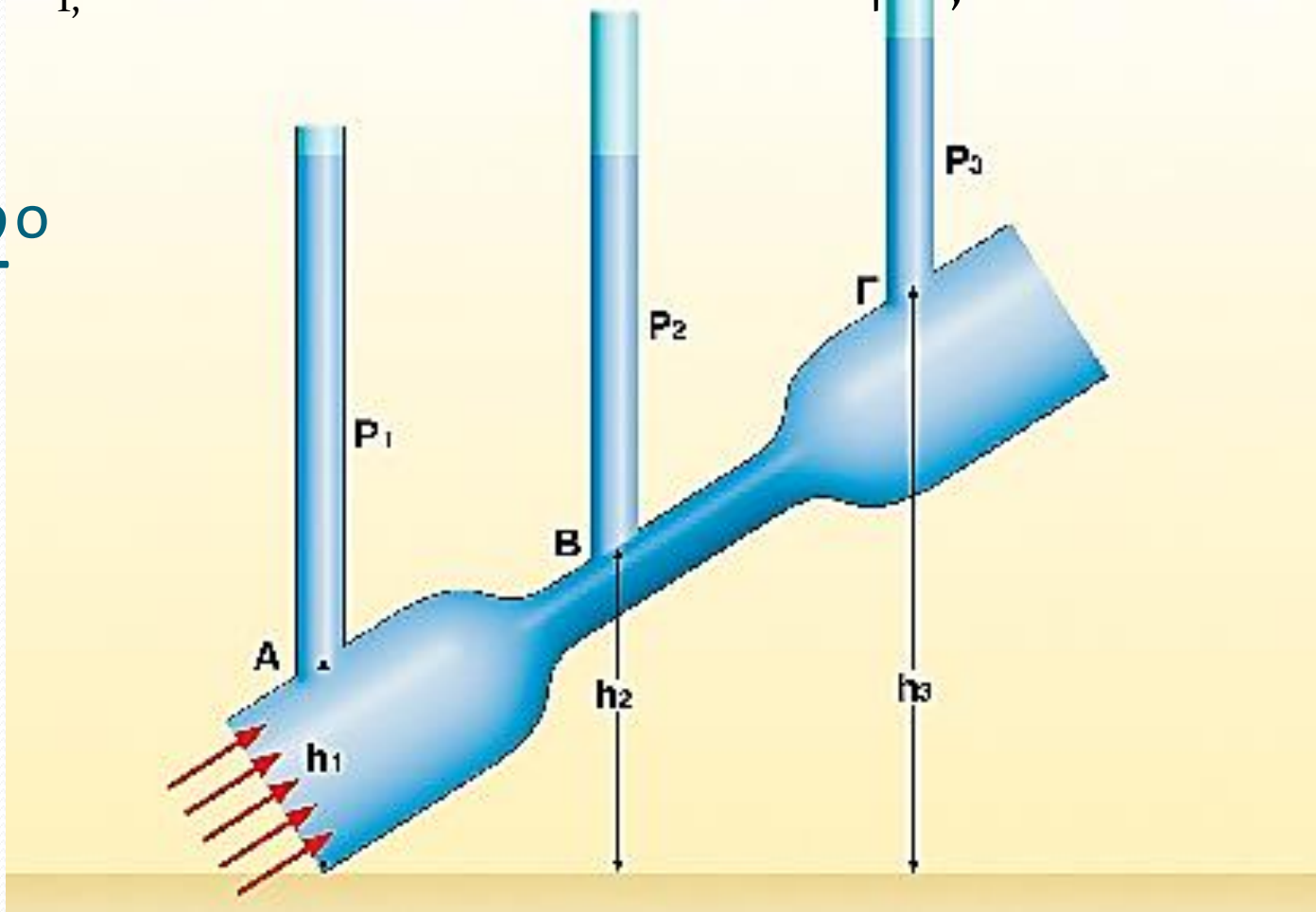


ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σε υγρό που ρέει μέσα σε σωλήνα, η πίεση που επικρατεί σε σημείο του ρευστού είναι **μικρή** εκεί που η ταχύτητα του υγρού είναι **μεγάλη** (και αντίστροφα).
Πρόκειται για την **στατική πίεση**

Αυτή τη φορά σηκώνουμε το σωλήνα σε πλάγια θέση.
Θέλουμε να δούμε την επίδραση του ύψους από επίπεδο αναφοράς (π.χ. έδαφος) στην στατική πίεση του υγρού.
Διακόπτουμε τη ροή στο δεξί άκρο. Άλλαξε το ύψος με μεγαλύτερο το P_1 , που είναι πιο κοντά στο έδαφος.

Πείραμα 2^ο



Δυναμική πίεση

- Η δυναμική πίεση δίνεται από τον εξής ορισμό:

$$P_{\delta} = \frac{1}{2} \rho U^2$$

Όπου: $\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$ η πυκνότητα του νερού

U η ταχύτητα ροής m/sec

Το θεώρημα Bernoulli

- Ο Bernoulli απέδειξε:
- Κατά μήκος δοθέντος αγωγού με σταθερή παροχή ($Q =$ σταθ.) και χωρίς απώλειες ενέργειας, το άθροισμα:
 - Της κινητικής ενέργειας (ροή / δυναμική πίεση)
 - Της ενέργειας πίεσεως (στατική πίεση)
 - Της ενέργειας θέσεως (υψόμετρο)

Παραμένει σταθερό

Το Θεώρημα Bernoulli

- Έστω S_1 και S_2 δύο τυχαίες διατομές του αγωγού. Τότε:

$$\frac{U_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{U_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 = \text{σταθερό}$$

- Όπου:

$\frac{U_1^2}{2g}, \frac{U_2^2}{2g}$ Τα ύψη κινητικής ενέργειας

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$ Τα ύψη ενέργειας πίεσεως

Z_1, Z_2 Τα ύψη θέσεως (απόσταση της εκάστοτε διατομής από το επίπεδο αναφοράς)

g η επιτάχυνση της βαρύτητας

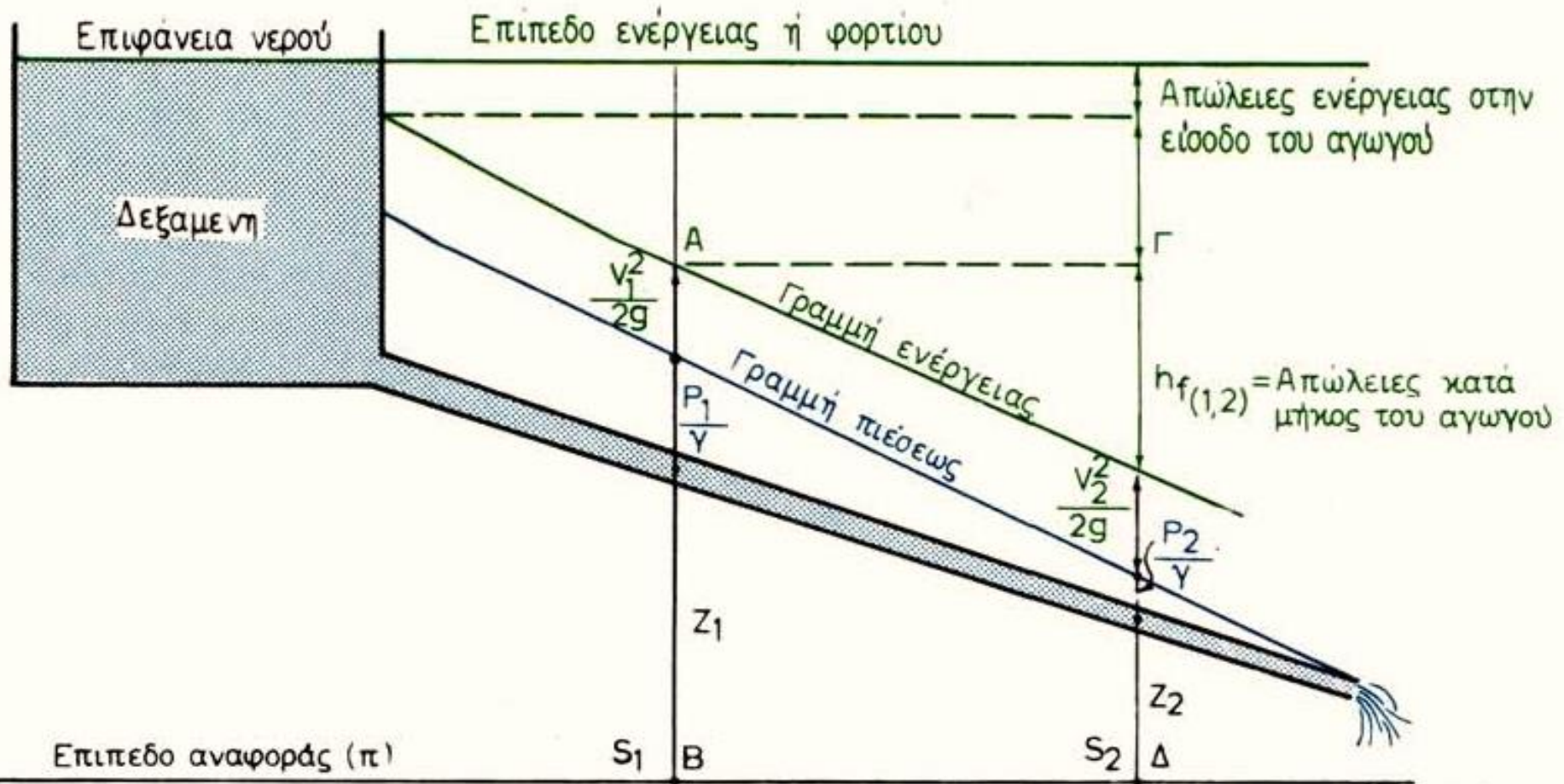
Και εάν έχουμε
απώλειες
ενέργειας;

Το Θεώρημα Bernoulli

- Αν οι απώλειες ενέργειας συμβολισθούν με το $h_{f(1,2)}$ τότε:

$$\frac{U_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{U_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \mathbf{h}_{f(1,2)}$$

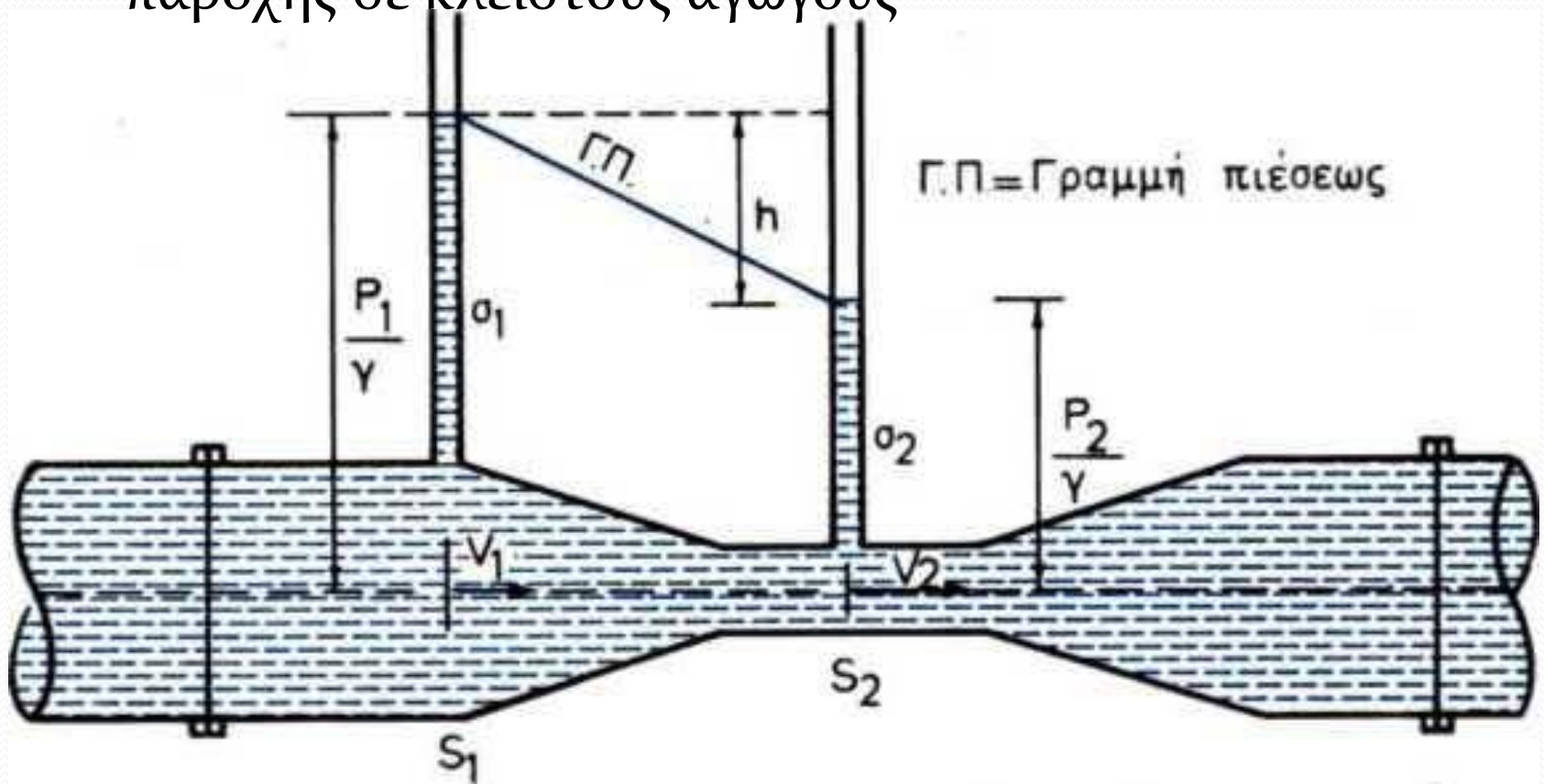
Το θεώρημα Bernoulli



Σχηματική παράσταση του θεωρήματος Bernoulli.

Εφαρμογές Bernoulli

- *Μετρητής Venturi*
 - Το όργανο αυτό χρησιμοποιείται για την μέτρηση της παροχής σε κλειστούς αγωγούς



Μετρητής Venturi

- Η παροχή δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{S_1 \cdot S_2}{\sqrt{S_1^2 - S_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = K \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

ή

$$Q = \lambda \cdot K \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$\text{Με } K = \frac{S_1 \cdot S_2}{\sqrt{S_1^2 - S_2^2}}$$

λ = διορθωτικός συντελεστής και

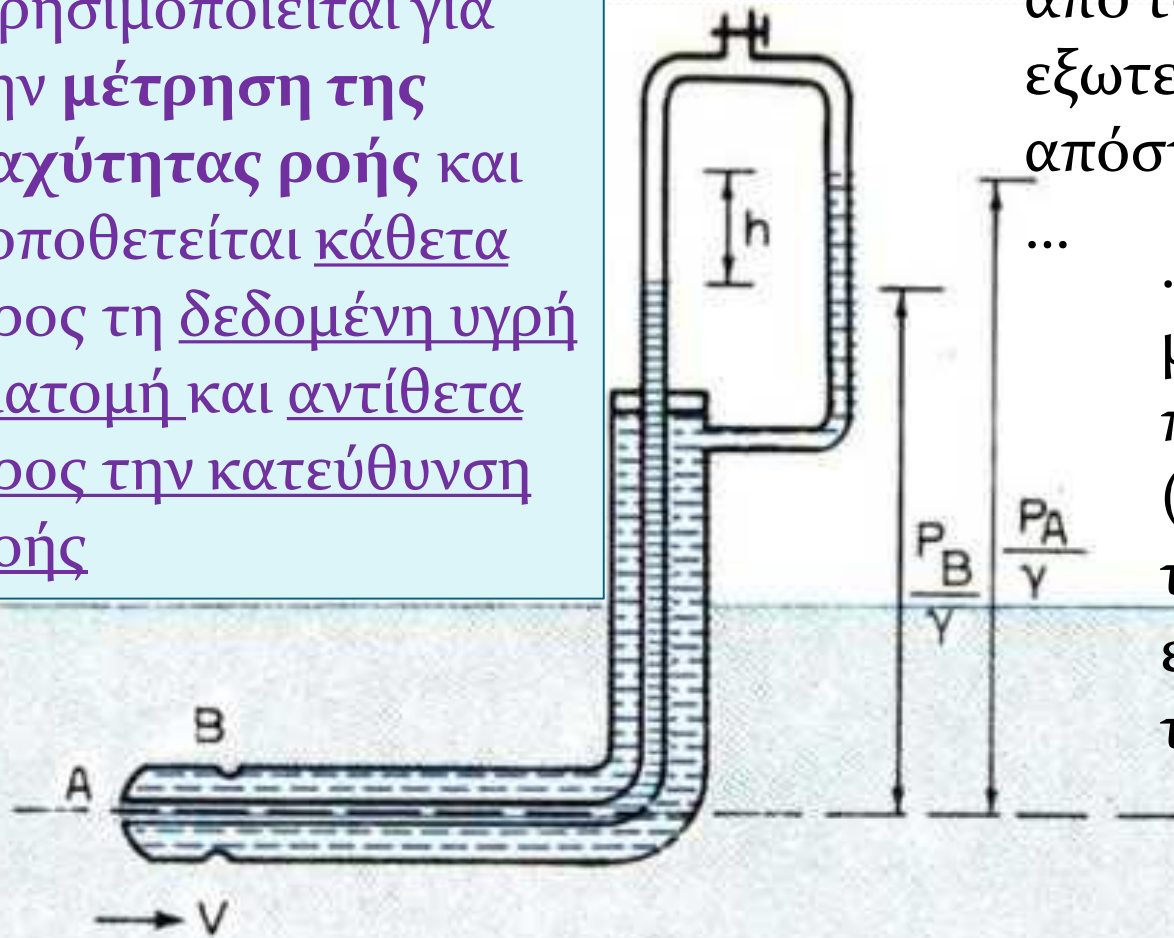
$$h = \eta \text{ διαφορά: } \left(\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + Z_2 \right) = h$$

Αν ο μετρητής τοποθετηθεί σε **οριζόντια** θέση, $Z_1 = Z_2$ κι έτσι,

$$h = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$$

Σωλήνας Pitot

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ταχύτητας ροής και τοποθετείται κάθετα προς τη δεδομένη υγρή διατομή και αντίθετα προς την κατεύθυνση ροής



Αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλίνδρους από τους οποίους ο εξωτερικός είναι σε μικρή απόσταση από το σημείο A,

...όπου η ταχύτητα μηδενίζεται, φέρει περιμετρικά οπές (θέση B) όπου η ταχύτητα, πρακτικά, είναι ίση με την ταχύτητα της ροής

Σωλήνας Pitot

Η ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$$U = U_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{ή}$$

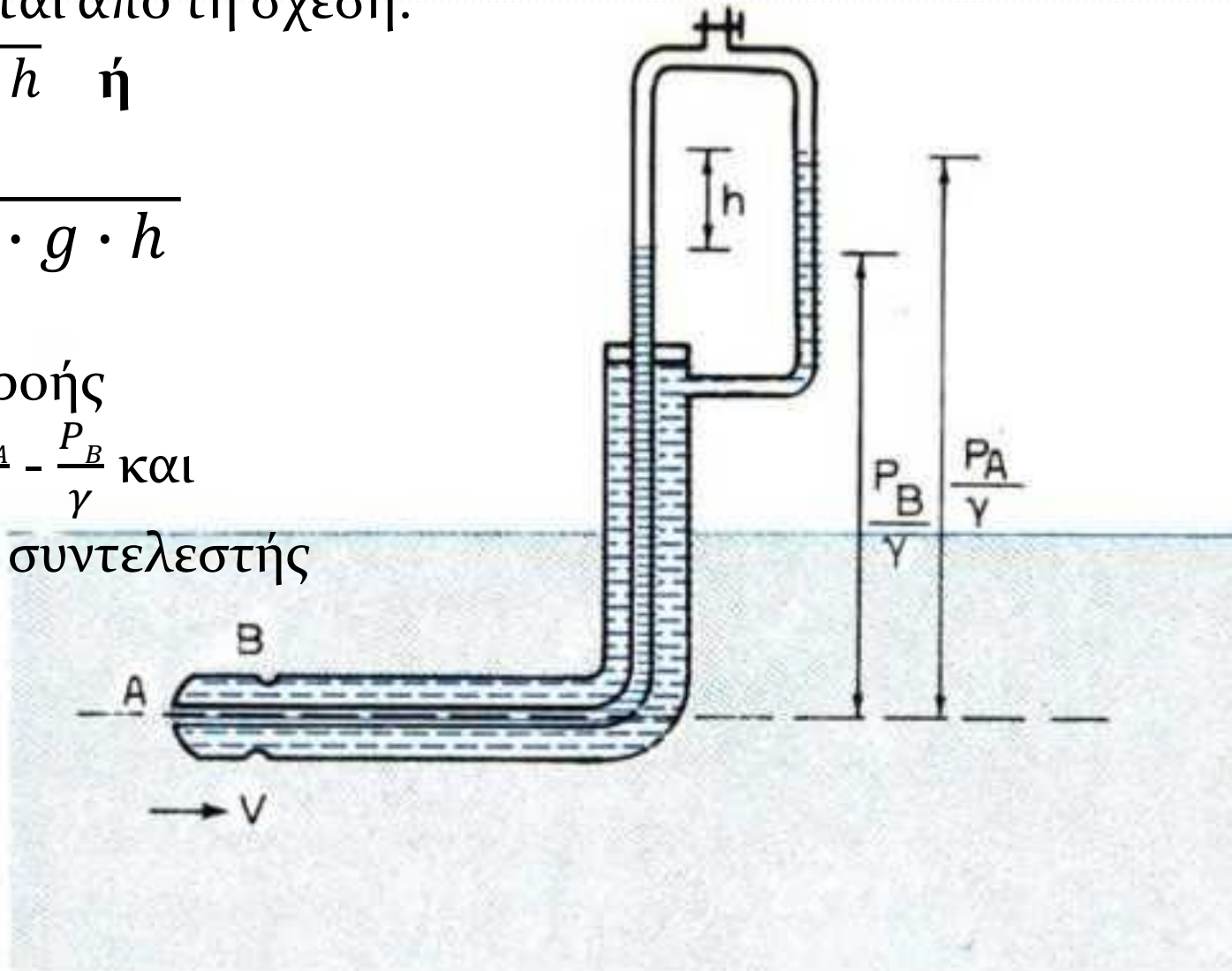
$$U = \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$


Όπου:

U = η ταχύτητα ροής

h = η διαφορά $\frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma}$ και

λ = διορθωτικός συντελεστής



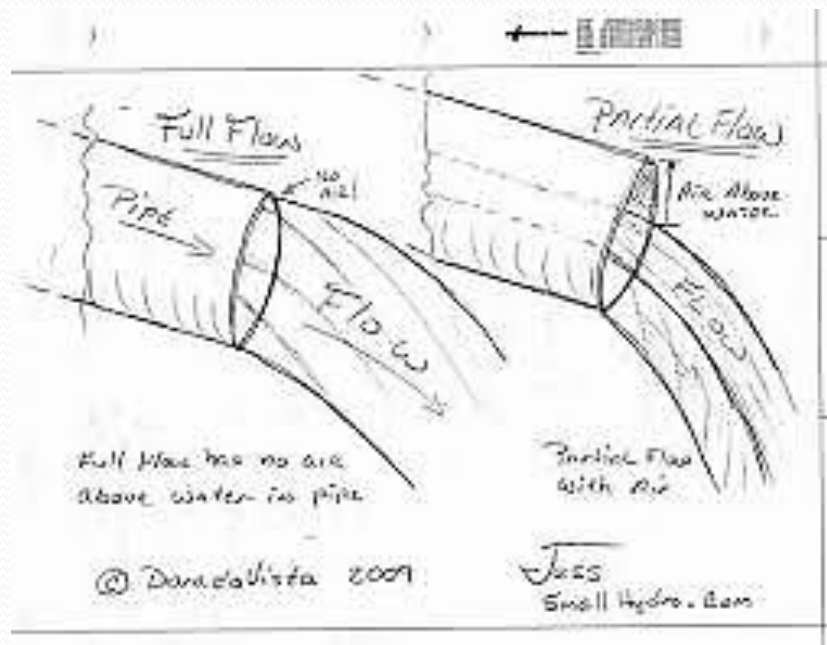
- 
- <https://www.youtube.com/watch?v=ytCuHh5PwwY>
 - <https://phet.colorado.edu/en/simulation/fluid-pressure-and-flow>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Qz1g6kqvUG8>

Ροή

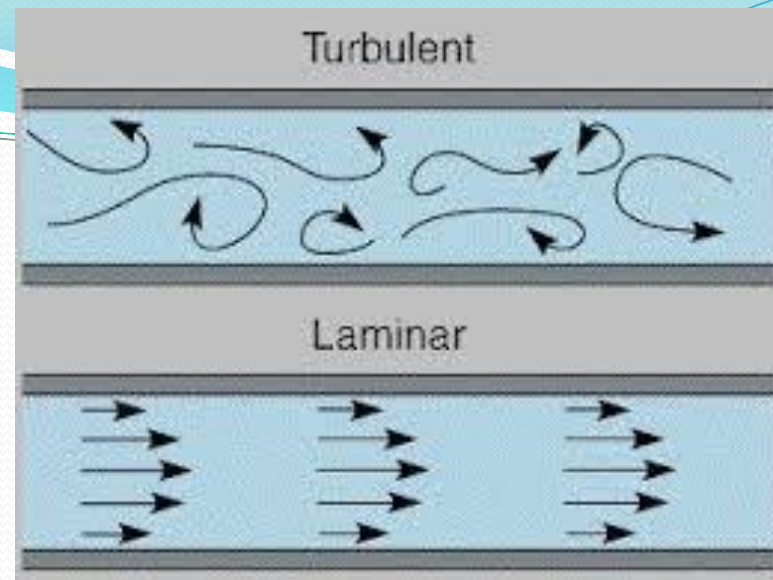
Τρέχει, τρέχει το νερό...

Ροή σε κλειστούς αγωγούς

- Όταν το νερό καταλαμβάνει ολόκληρη τη διατομή του κλειστού αγωγού, τότε έχουμε **ροή υπό πίεση**
- Αν δεν καταλαμβάνει ολόκληρη τη διατομή του αγωγού, έχουμε αγωγό **ελεύθερης ροής**



Ροή σε κλειστούς αγωγούς



- Παράλληλη: η ροή γίνεται κατά παράλληλες στρώσεις (στρωτή ροή) [Laminar flow] χωρίς ανάμιξη των υγρών σωματιδίων
- Στροβιλώδης [Turbulent flow] : Η ροή γίνεται ακανόνιστα και υπάρχει έντονη ανάμιξη των υγρών σωματιδίων κατά την κίνησή τους.

1883: Reynolds

- Μελέτησε τη ροή μέσα σε αγωγούς χρησιμοποιώντας γυάλινους σωλήνες διαφόρων διαμέτρων μέσα στους οποίους έτρεχε νερό.
- Στην είσοδο των σωλήνων άφηνε να τρέξει έγχρωμο υγρό, το οποίο για μικρές ταχύτητες ροής του νερού σχημάτιζε μία ευδιάκριτη ευθεία γραμμή σε όλο το μήκος του σωλήνα (στρωτή ροή).

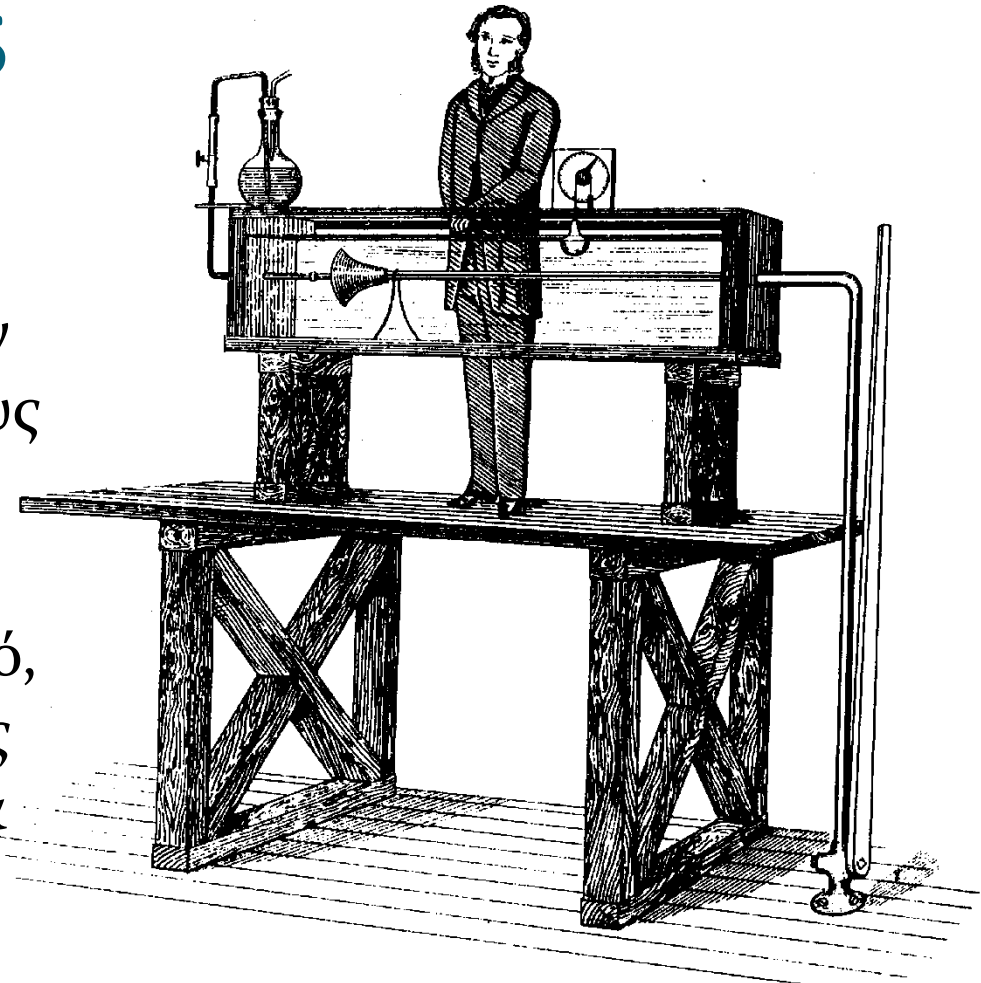
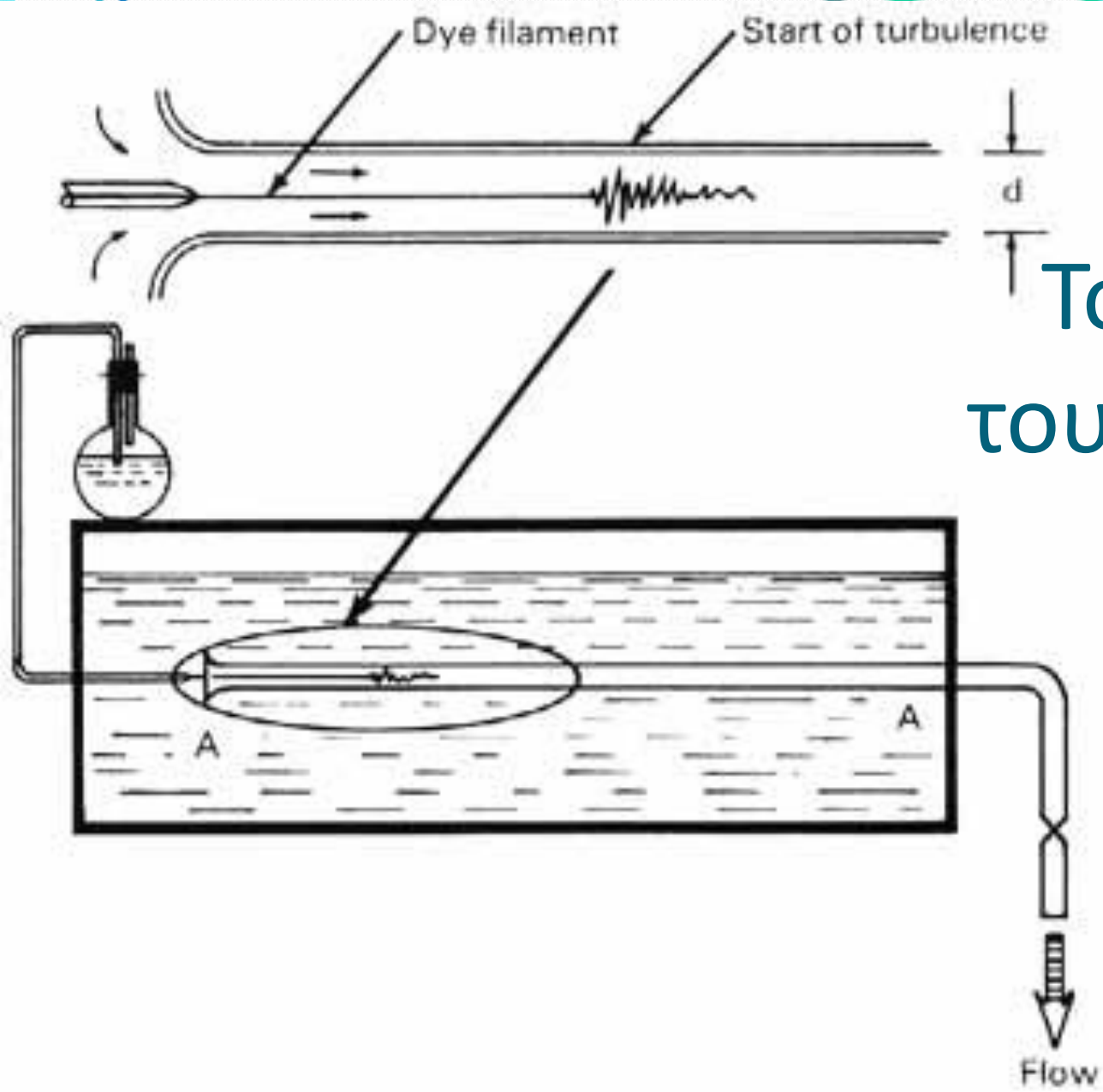


Fig. 9.1. Sketch of Reynolds's dye experiment, taken from his 1883 paper



Το πείραμα του Reynolds

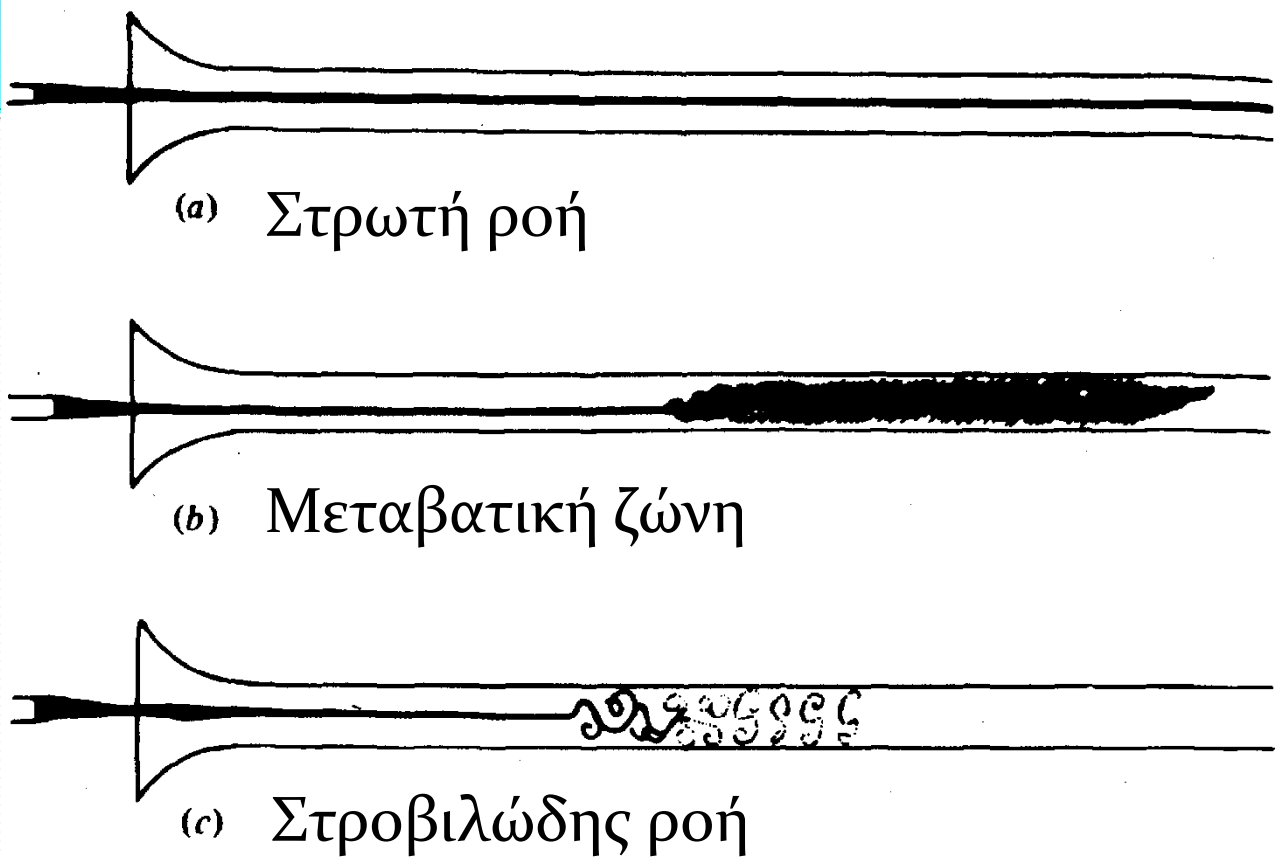


Fig. 9.2. Reynolds's drawings of the flow in his dye experiment.

Αυξάνοντας συνεχώς την ταχύτητα ροής, με την αύξηση φυσικά της παροχής, η αρχικά έγχρωμη ευθεία γραμμή γινόταν κυματοειδής (μεταβατική ζώνη) και για ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα κατέληγε σε πλήρη διάσπαση σε τρόπο, ώστε ολόκληρη η ροή μέσα στο σωλήνα να γίνεται έγχρωμη (στροβιλώδης ροή)

Το πείραμα του Reynolds

- Σε κάθε περίπτωση ο Reynolds σχημάτιζε τον **αδιάστατο** λόγο της ταχύτητας (U) επί τη διάμετρο (D) του σωλήνα προς το συντελεστή του κινηματικού ιξώδους (ν)

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Και τι είναι ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους;

Το κινηματικό ιξώδες (ν)

$$\nu = \mu / \rho$$

Όπου :

μ = το ιξώδες του νερού και

ρ = η πυκνότητά του

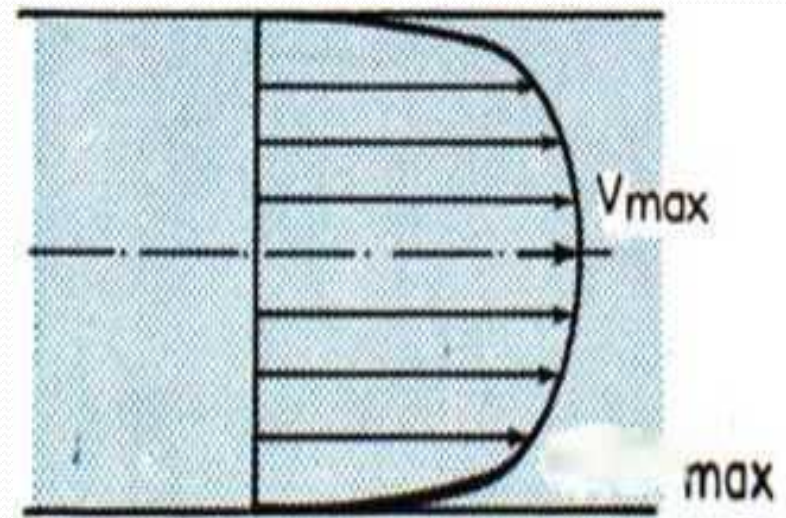
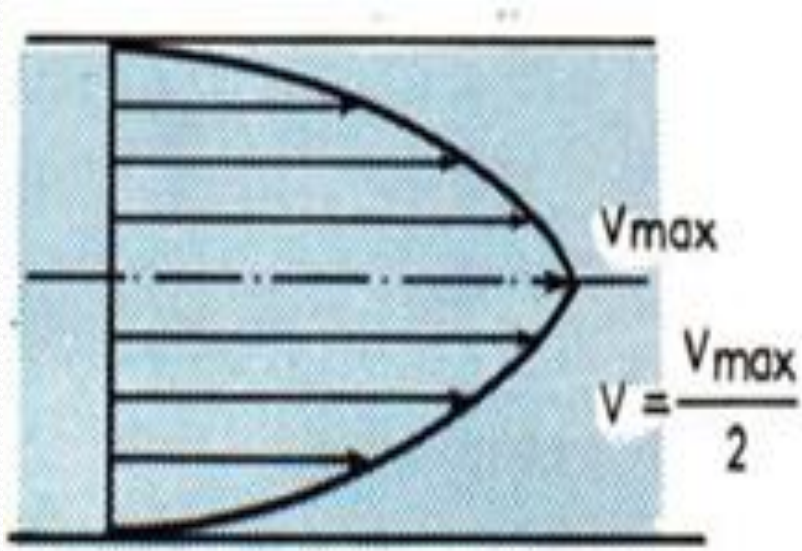
Το ιξώδες (μ), που εκφράζει την αντίδραση του υγρού, λόγω της συνεκτικότητάς του σε κάθε κίνηση ή παραμόρφωσή του εκφράζεται στο σύστημα C.G.S. σε Poise ($1 \text{ Po} = 1 \text{ gr} / \text{cm} \cdot \text{sec}$).

Μεγάλο ιξώδες έχουν τα παχύρευστα υγρά όπως τα έλαια, το μέλι κ.α.

Το πείραμα του Reynolds

- Διαπιστώθηκε ότι για μικρές τιμές του αριθμού Re ($Re < 2000$), \rightarrow στρωτή ροή.
- Για τιμές του αριθμού Re στην περιοχή του 2000 παρατηρείται και δεν μπορεί κανείς να καθορίσει ευδιάκριτα όρια του αριθμού Re (2000 — 2300) \rightarrow η μεταβατική ροή η οποία είναι ασταθής ροή.
- Για τιμές $R > 2300$ έχουμε πλήρη ανάμιξη των υγρών μορίων, τα οποία κινούνται ακανόνιστα. \rightarrow στροβιλώδης ροή.

Ενδεικτική παράσταση κατανομής ταχυτήτων



$$\bar{U} = 0,80 \cdot U_{max}$$
$$Mε 0,85 \cdot U_{max}$$

Απώλειες ενέργειας (πίεσης)

- Γραμμικές απώλειες:

Οι απώλειες που προκαλούνται κατά μήκος του σωλήνα και οφείλονται στις τριβές που αναπτύσσονται τόσο μεταξύ του κινούμενου υγρού και των τοιχωμάτων του αγωγού όσο και μεταξύ των κινουμένων υγρών μορίων.

- Τοπικές απώλειες ενέργειας:

Οι απώλειες ενέργειας που οφείλονται σε τοπικά αίτια, όπως π.χ. μία διεύρυνση, μια στένωση, μια κάμψη, μία διακλάδωση του αγωγού κ.ά.

- Υπολογίζονται με διάφορες μεθόδους, όπως θα αναλυθεί στο εργαστήριο

Υπολογισμός απωλειών πίεσης

- Στις περισσότερες περιπτώσεις, κατά τον σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων, μετρούμε την στατική πίεση και στη συνέχεια χρησιμοποιούμε διάφορες μεθόδους υπολογισμού των απωλειών πίεσης (γραμμικών & τοπικών).
- Στη συνέχεια οι απώλειες αφαιρούνται από τη μετρούμενη στατική πίεση για να υπολογιστεί η δυναμική πίεση.

Η δυναμική πίεση πρακτικά...

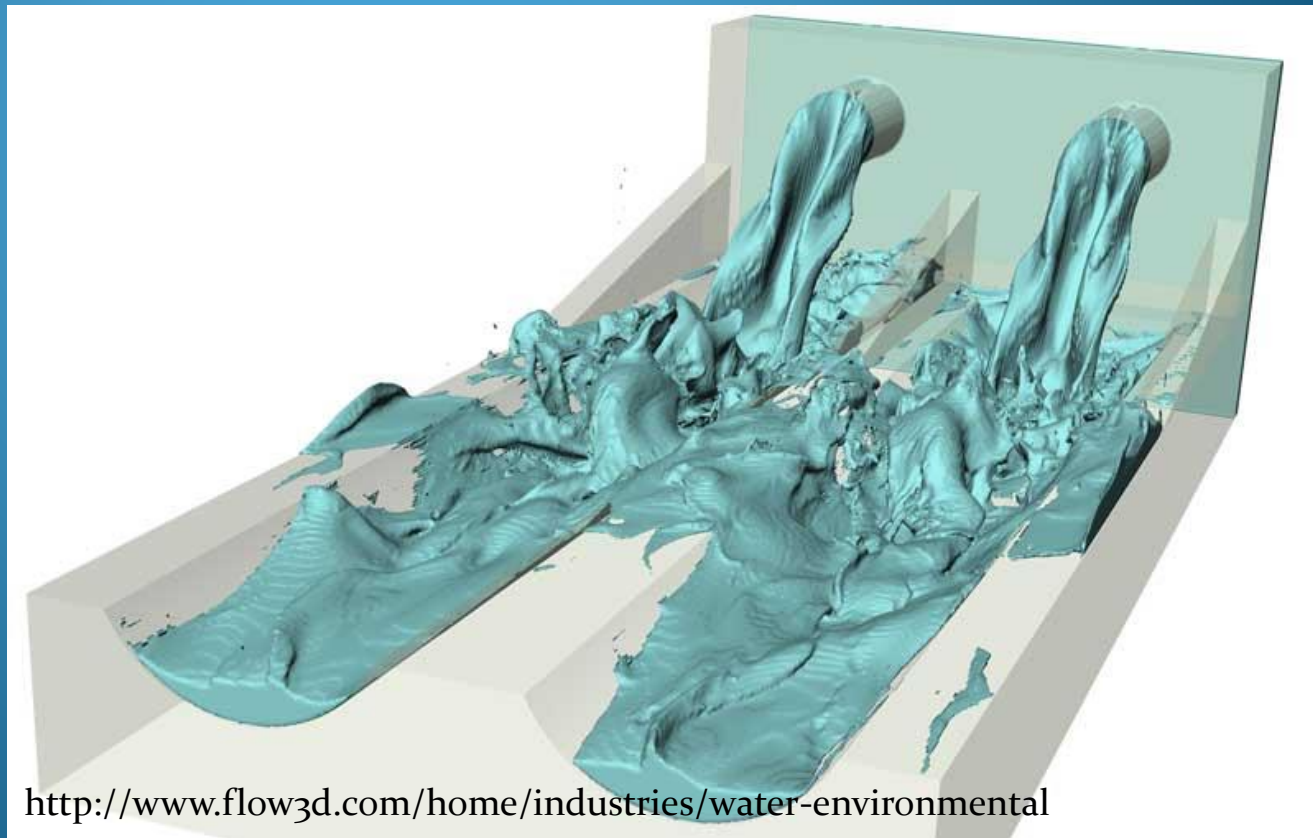


Με ένα απλό “άνοιγμα” της βρύσης θα μπορούσαμε να μετρήσουμε τη δυναμική πίεση?

-Η δυναμική πίεση είναι μια δύσκολα μετρούμενη ποσότητα. Θα πρέπει να έχουμε ρυθμίσει τη **ροή του νερού**, και να τη διατηρήσουμε σε γνωστή τιμή, για τουλάχιστο 1 με 2 λεπτά, ενώ η πίεση θα σταθεροποιηθεί.

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Η ελεύθερη ροή



Ροή μέσα σε ανοικτούς αγωγούς (ελεύθερη ροή)

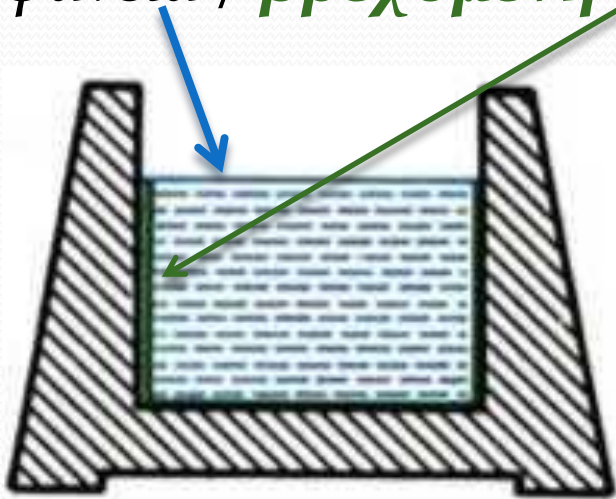
- Ως ανοικτοί αγωγοί χαρακτηρίζονται οι αγωγοί μέσα στους οποίους η ροή παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια (ελεύθερη ροή) η οποία βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα.
- Διακρίνονται σε:
 - **Φυσικούς** (η κοίτη φυσικών υδατορευμάτων)
 - **Τεχνητούς** (διώρυγες, τάφροι, καθώς και κάθε κλειστός γεωμετρικά αγωγός μέσα στον οποίο η ροή παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια)

Φυσικοί – τεχνητοί αγωγοί



Πως χαρακτηρίζεται η ροή στους ανοικτούς αγωγούς;

- Με τη βοήθεια του αριθμού Reynolds, μόνο που τώρα στη σχέση: $Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$ αντικαθίσταται η διάμετρος με την υδραυλική ακτίνα (θυμάστε; $R = S / P$ βρεχόμενη επιφάνεια / βρεχόμενη περίμετρο)



Δηλαδή:

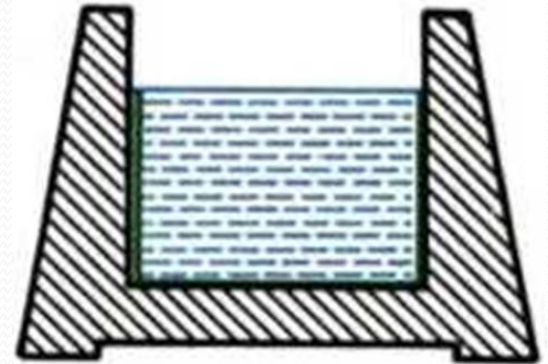
$$Re = \frac{U \cdot R}{\nu}$$

Τα όρια του Re

- Αφού λοιπόν $\text{Re} = \frac{U \cdot R}{\nu}$,
- Για $\text{Re} < 500$, η ροή χαρακτηρίζεται ως στρωτή,
- Για $\text{Re} > 500$, και έως 4.000 η ροή χαρακτηρίζεται ως μεταβατική
- Για $\text{Re} > 4.000$ τυρβώδης

Μόνιμη ροή

- Η ροή σε μια συγκεκριμένη εγκάρσια διατομή (διατομή κάθετη προς τη γενική διεύθυνση ροής) όπου:
 - Το ύψος ροής,
 - ταχύτητες,
 - υδραυλική ακτίνα,
 - βρεχόμενη επιφάνεια κλπ.



παραμένουν σταθερές στο χρόνο

Όταν αλλάζει κάτι, αλλάζει σε μεταβαλλόμενη

Ομοιόμορφη ροή

- Οι υδραυλικές παράμετροι παραμένουν σταθερές και είναι οι ίδιες σε κάθε διατομή του αγωγού
- Χρειάζεται αγωγός ομοιόμορφης διατομής

Οι υδραυλικές παράμετροι

Το ύψος ροής,

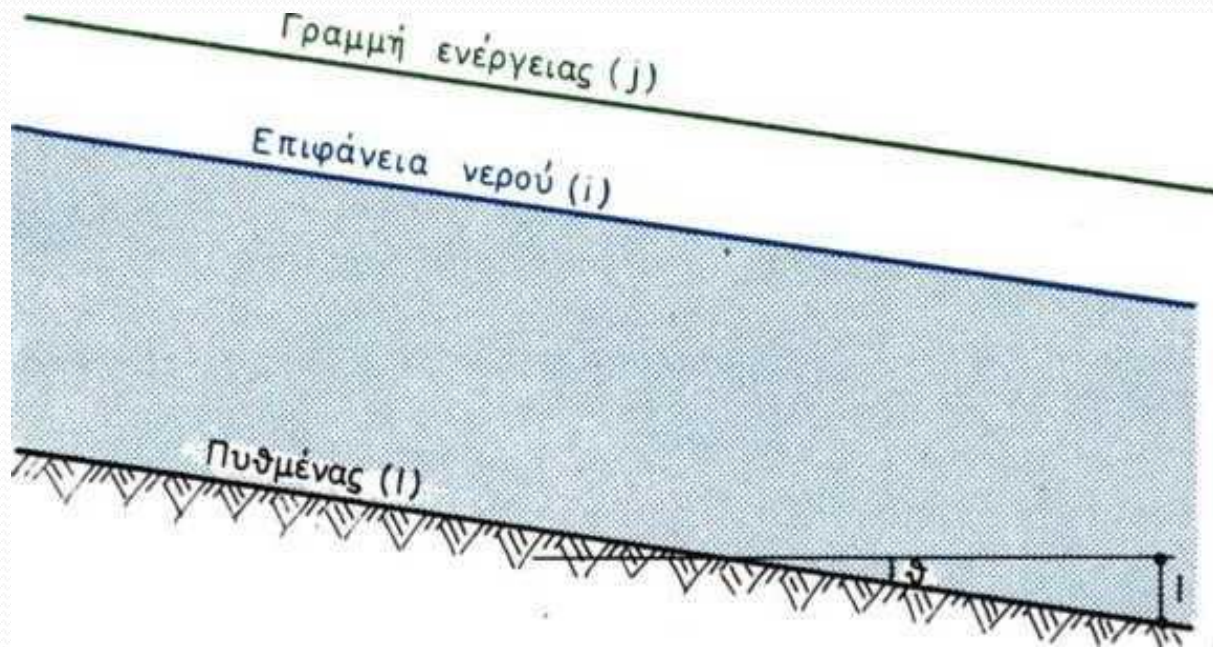
ταχύτητες,

υδραυλική ακτίνα,

βρεχόμενη επιφάνεια κλπ.

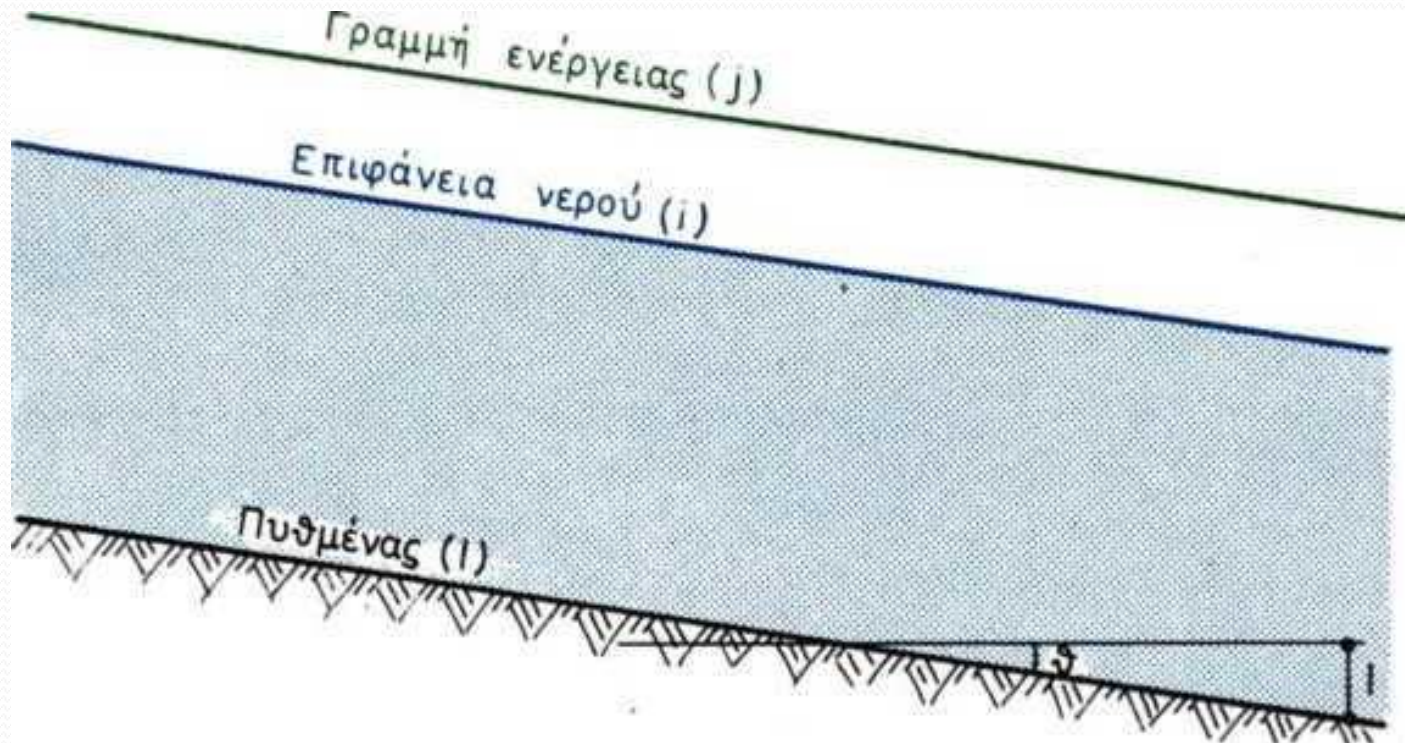
Ομοιόμορφη ροή

- Οι κλίσεις των γραμμών ενέργειας (j) και επιφάνειας (i) του νερού είναι παράλληλες προς την κλίση I του πυθμένα του αγωγού



Ομοιόμορφη ροή

- Ενδεικτική παράσταση της παραλληλίας των κλίσεων της γραμμής ενέργειας, της γραμμής επιφάνειας του νερού και της κλίσεως του πυθμένα (I) που ορίζεται ως το ημίτονο της γωνίας θ , δηλαδή $I = \eta\mu\theta$. Επειδή η γωνία θ είναι πολύ μικρή, αντί για το ημίτονό της μπορεί να ληφθεί η εφαπτομένη της οπότε $I = \epsilon\phi\theta$.



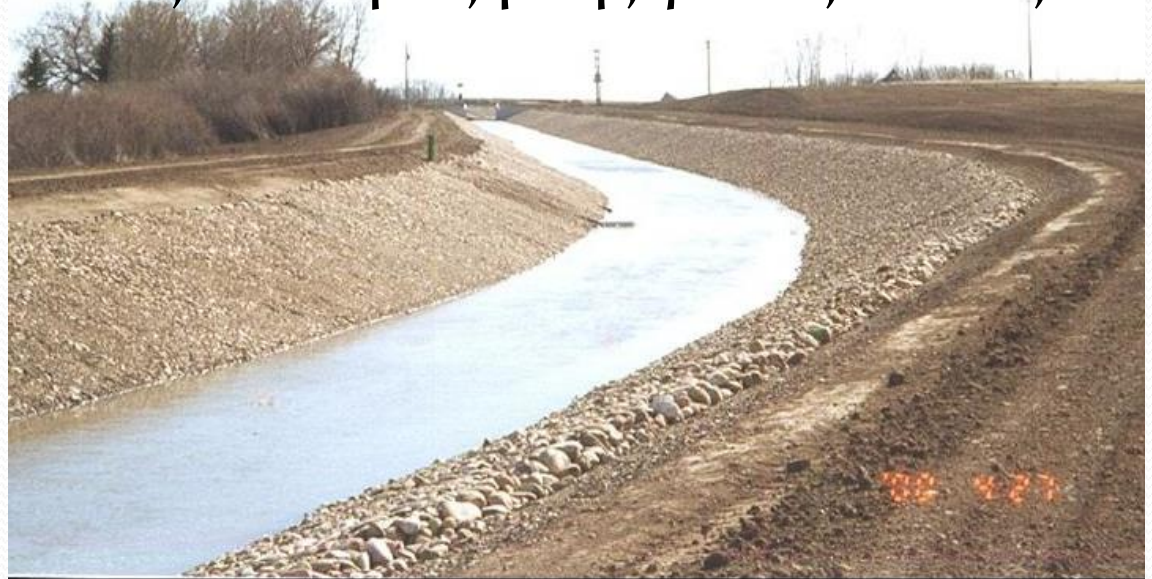
Επενδεδυμένοι αγωγοί

- Οι συνήθεις ανοικτοί αγωγοί μεταφοράς και διανομής του νερού στα αρδευτικά δίκτυα μελετώνται για **ομοιόμορφη ροή**
- Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να είναι ανεπένδυτοι ή επενδεδυμένοι με οπλισμένο σκυρόδεμα ή ολόκληροι από οπλισμένο σκυρόδεμα (επιφανειακές διώρυγες).



Ανεπένδυτοι αγωγοί

- Έχουν τραπεζοειδή διατομή, με κλίση πρανών ανάλογη με τον τύπο του εδάφους,
- Ιδιαίτερη προσοχή στην ταχύτητα του νερού μέσα σ' αυτούς, γιατί υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διαβρώσεώς τους ή προσχώσεώς τους, με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνονται στις συνθήκες ροής για τις οποίες μελετήθηκαν



Ανεπένδυτοι αγωγοί ;

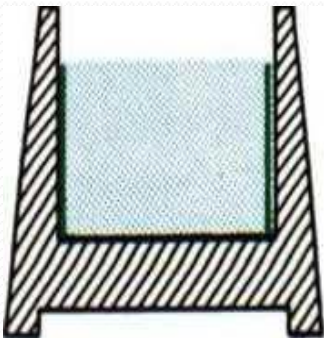
- Κίνδυνος διαβρώσεως
- Κίνδυνος προσχώσέως τους
- Πλευρική και κατακόρυφη διήθηση από τα πρανή και τον πυθμένα αντιστοίχως →

οι αγωγοί μεταφοράς του νερού κατασκευάζονται επενδεδυμένοι

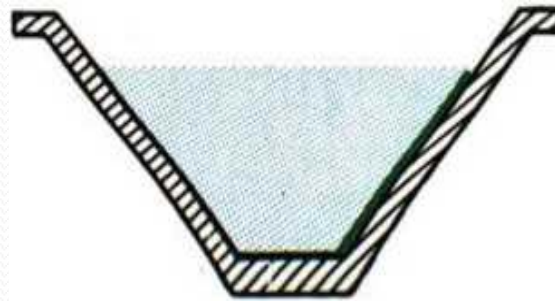


Συνήθεις μορφές διατομών ανοικτών αγωγών

- Ορθογωνική (1)
- Τραπεζοειδής (2)
- Ημικυκλική (3)



(1)

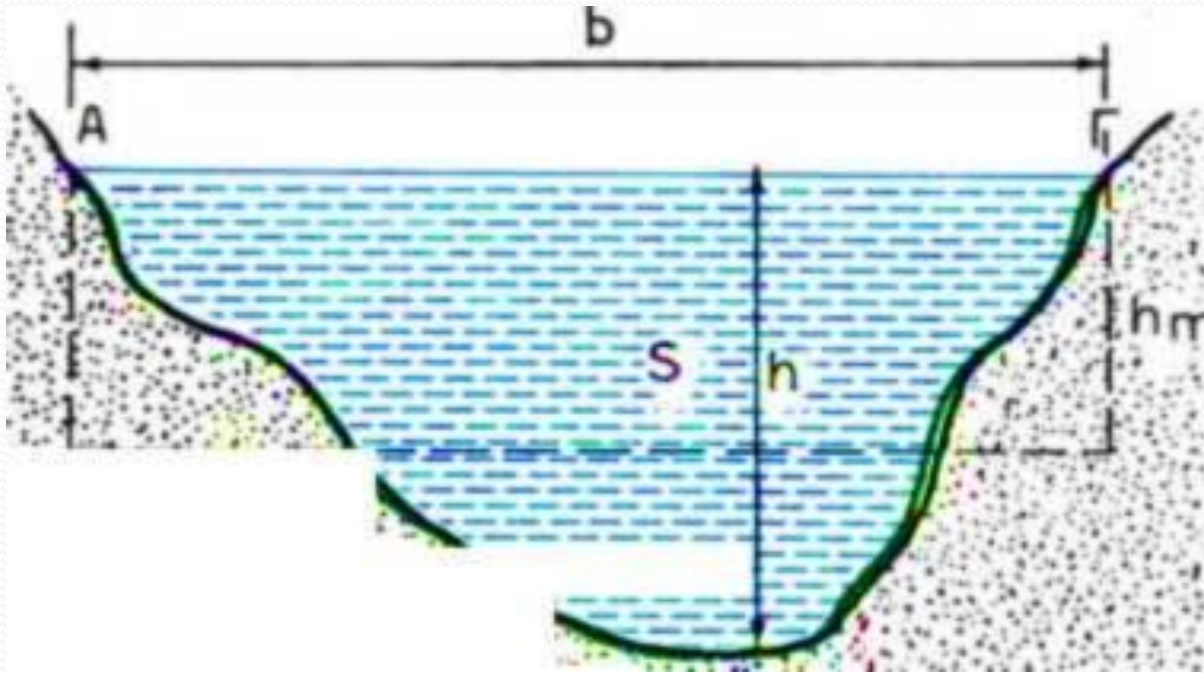


(2)



(3)

Συνήθεις υδραυλικές παράμετροι



- Βρεχόμενη επιφάνεια S ($AB\Gamma$).
- Βρεχόμενη περίμετρος P ($AB\Gamma$).
- Πλάτος του αγωγού b (ευθεία $A\Gamma$).

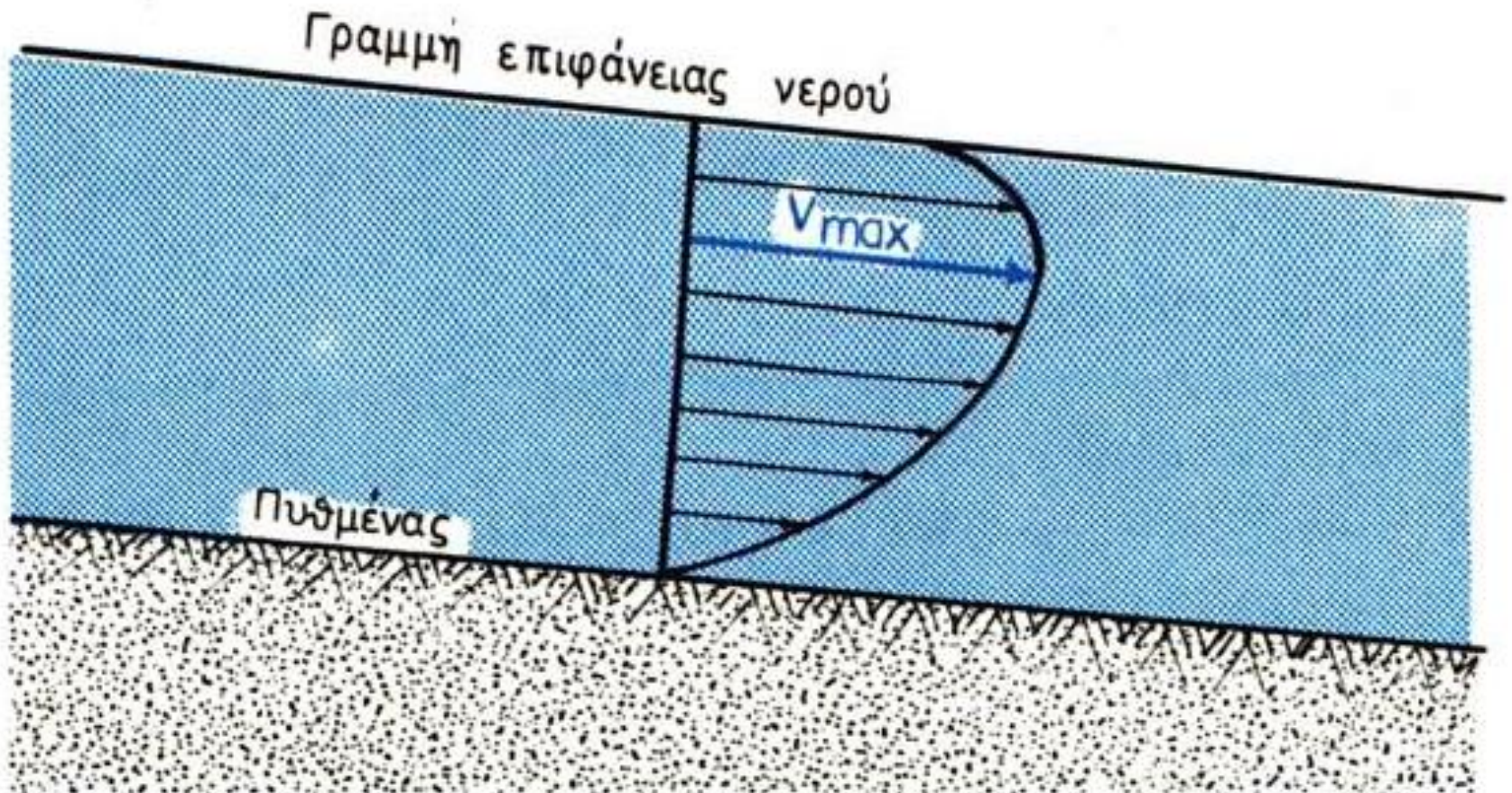
B

- Μέγιστο βάθος του αγωγού h .
- Μέσο βάθος h_m του αγωγού ($h_m \cdot b = S$).
- Υδραυλική ακτίνα $R = S/P$

Σχηματική παράσταση κατανομής των ταχυτήτων σε ανοικτό αγωγό

- Τα μόρια του νερού στον πυθμένα, λόγω των δυνάμεων συνάφειας με τα τοιχώματα του αγωγού, προσκολλώνται κατά κάποιο τρόπο σ' αυτά και έχουν ταχύτητα μηδενική
- Οι ταχύτητες βαίνουν αυξανόμενες για να σημειωθεί η μέγιστη ταχύτητα **λίγο πιο κάτω (*γιατί;)** από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού
- **Γιατί** η επιφανειακή τάση, **επιβραδύνει** την κίνηση των επιφανειακών μορίων του υγρού.

Σχηματική παράσταση κατανομής των ταχυτήτων σε ανοικτό αγωγό



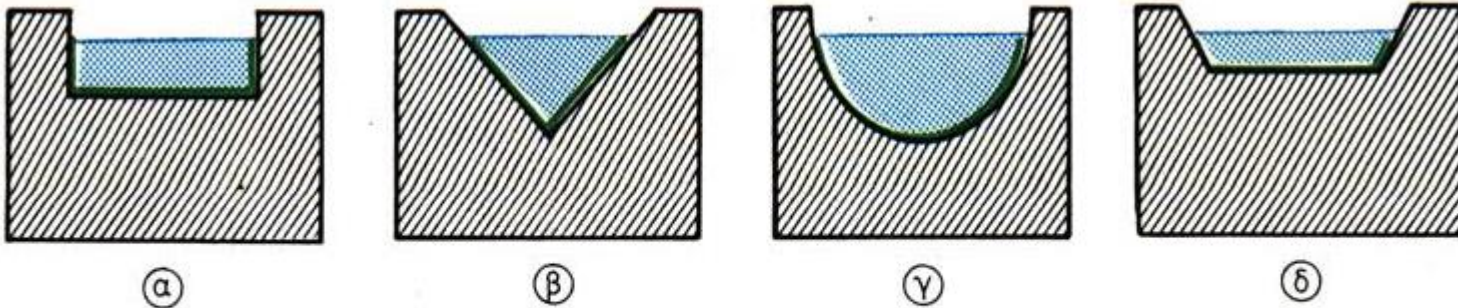
Εκχειλιστές

- είναι ειδικές κατασκευές πάνω από τις οποίες η ροή γίνεται με υπερχείλιση
- Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της στάθμης του νερού σε μια τεχνητή λίμνη που σχηματίσθηκε ύστερα από την κατασκευή ενός φράγματος για:
 - τη ρύθμιση της στάθμης του νερού στο σύστημα διωρύγων ενός επιφανειακού δικτύου αρδεύσεως,
 - για τη μέτρηση της παροχής μέσα σε διώρυγες κ.ά.

Διάκριση εκχειλιστών

Ανάλογα με το σχήμα τους:

- Ορθογωνικοί,
- Τριγωνικοί,
- Ημικυκλικοί,
- Τραπεζοειδείς,
- Παραβολικοί

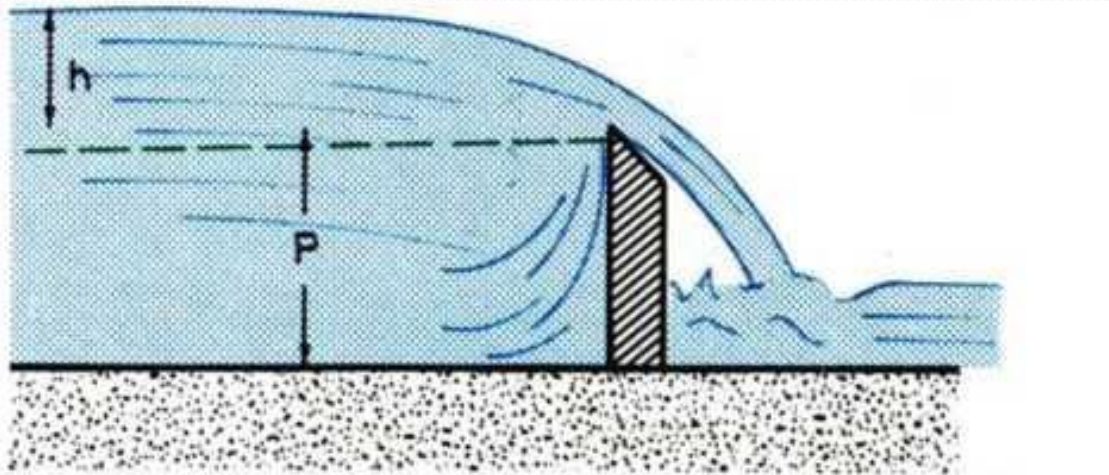


Διάφοροι τύποι εκχειλιστών. α) Ορθογωνικός. β) Τριγωνικός. γ) Ημικυκλικός. δ) Τραπεζοειδής.

- Αν η υπερχείλιση γίνεται από όλο το πλάτος του εκχειλιστή, τότε ο εκχειλιστής ονομάζεται **καθολικός** ή **χωρίς πλευρική συστολή**. Αν η υπερχείλιση γίνεται από ένα τμήμα του πλάτους του εκχειλιστή, τότε ονομάζεται **εκχειλιστής με πλευρική συστολή**

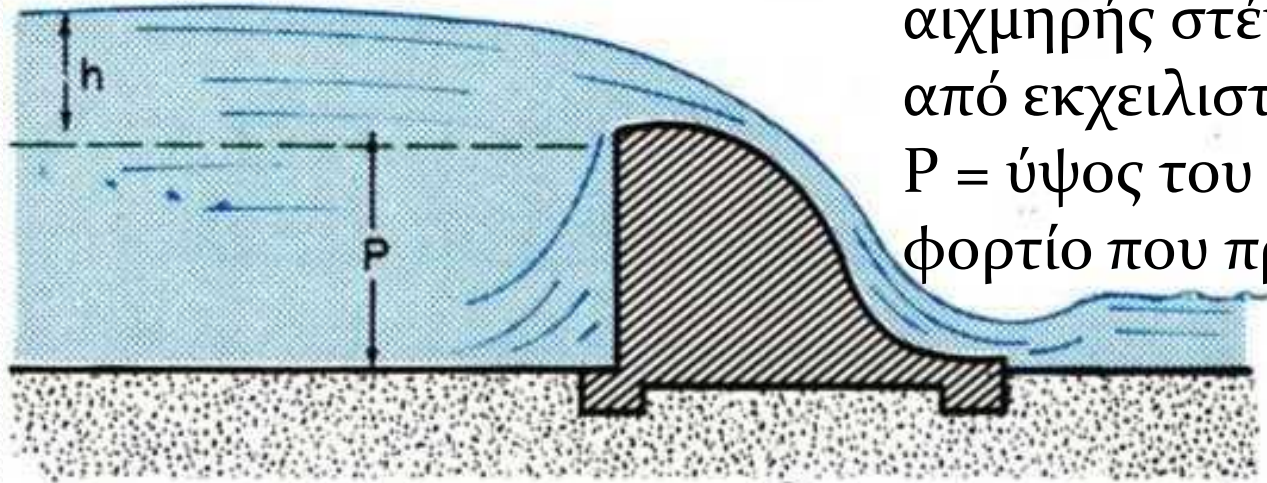


1. Εκχειλιστής με πλευρική συστολή, 2. Εκχειλιστής χωρίς πλευρική συστολή ή καθολικός εκχειλιστής.



α)

Ροή πάνω από εκχειλιστή αιχμηρής στέψεως, β) Ροή πάνω από εκχειλιστή ευρείας στέψεως. P = ύψος του εκχειλιστή. h = φορτίο που προκαλεί τη ροή.



β)



Ευχαριστώ για την υπομονή
σας