



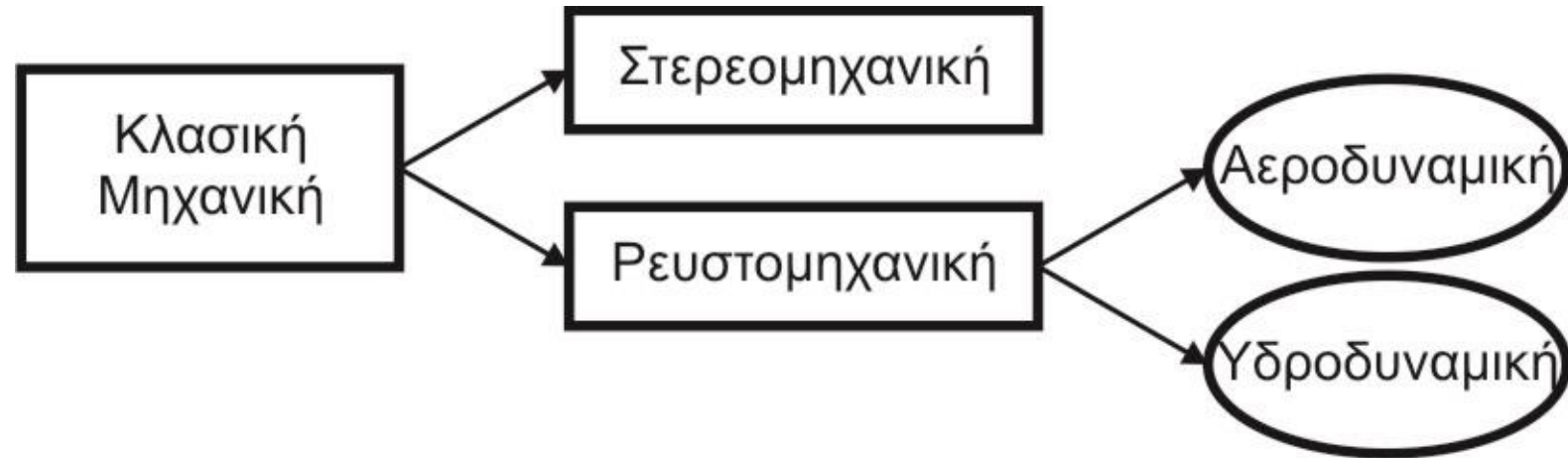
Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

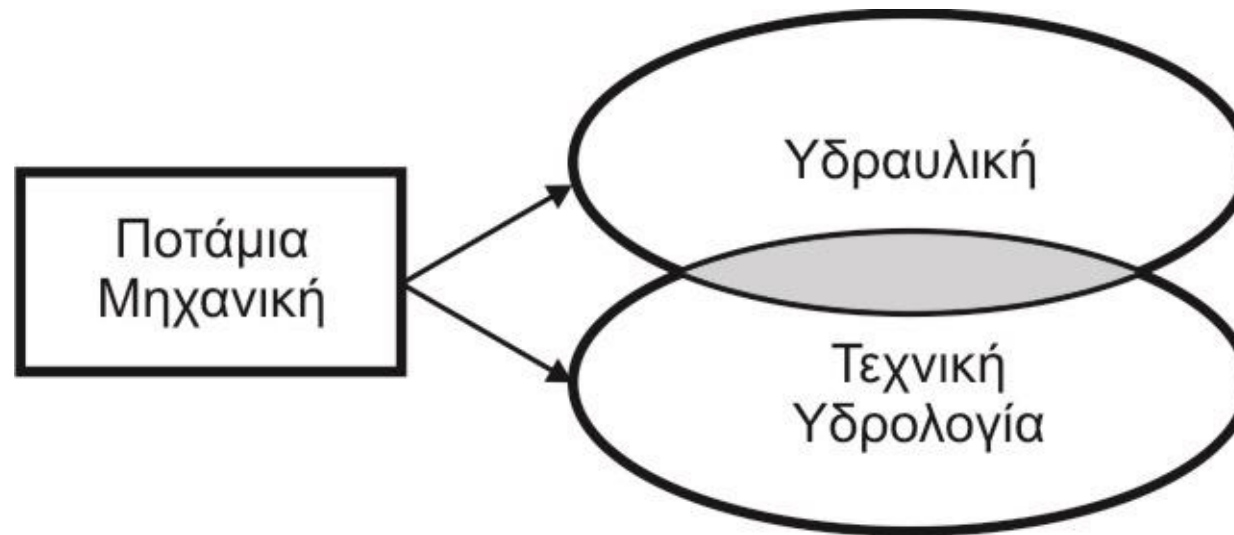
Βασικές αρχές υδραυλικής μηχανικής και εργαστηριακές πρακτικές

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

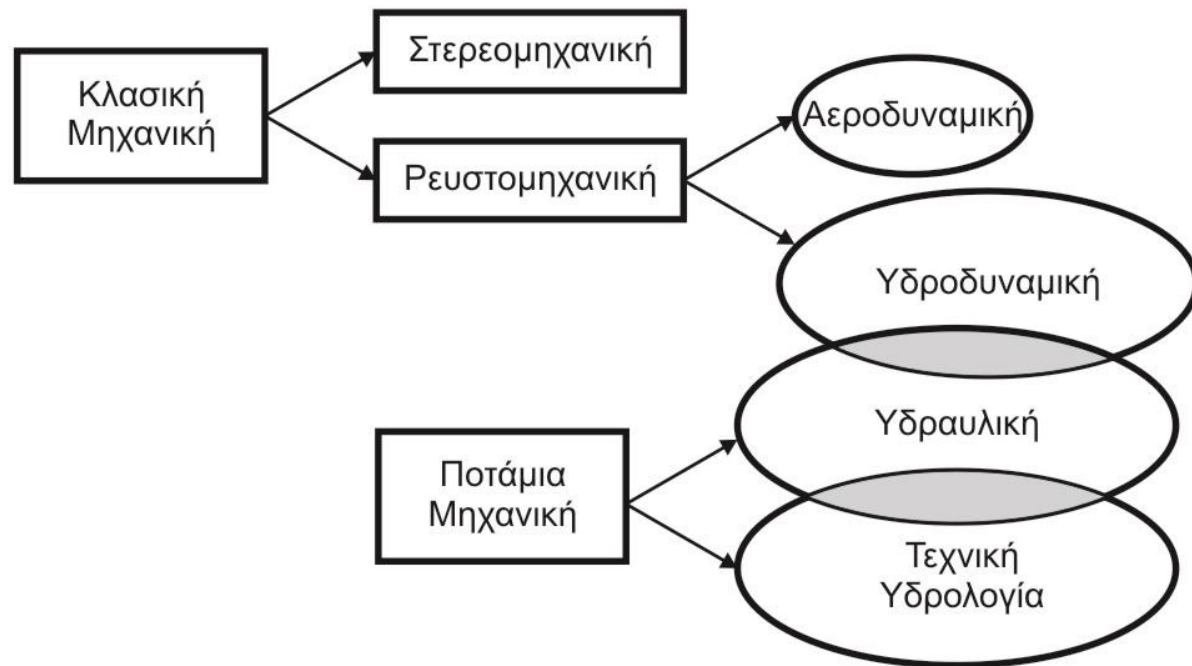
Επιστημονικά πεδία



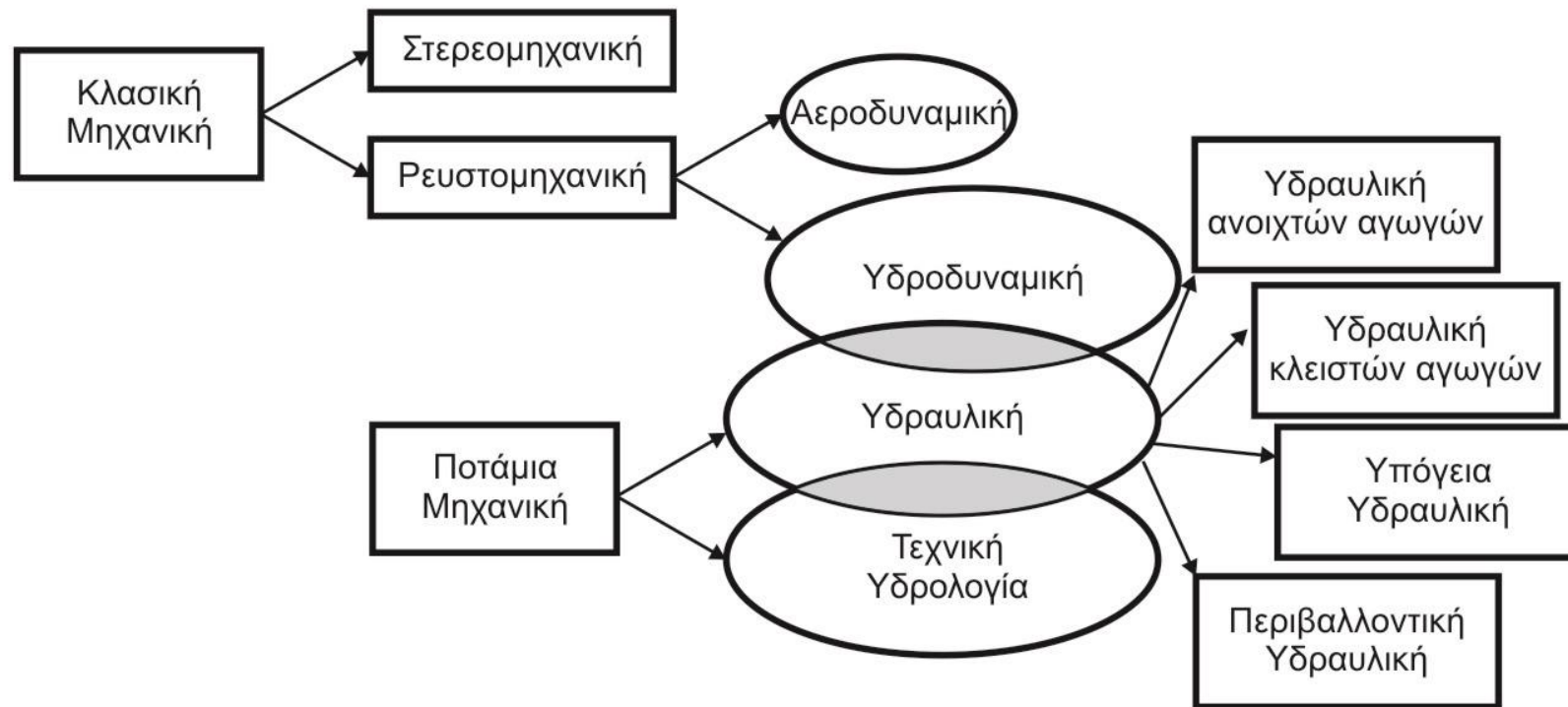
Επιστημονικά πεδία



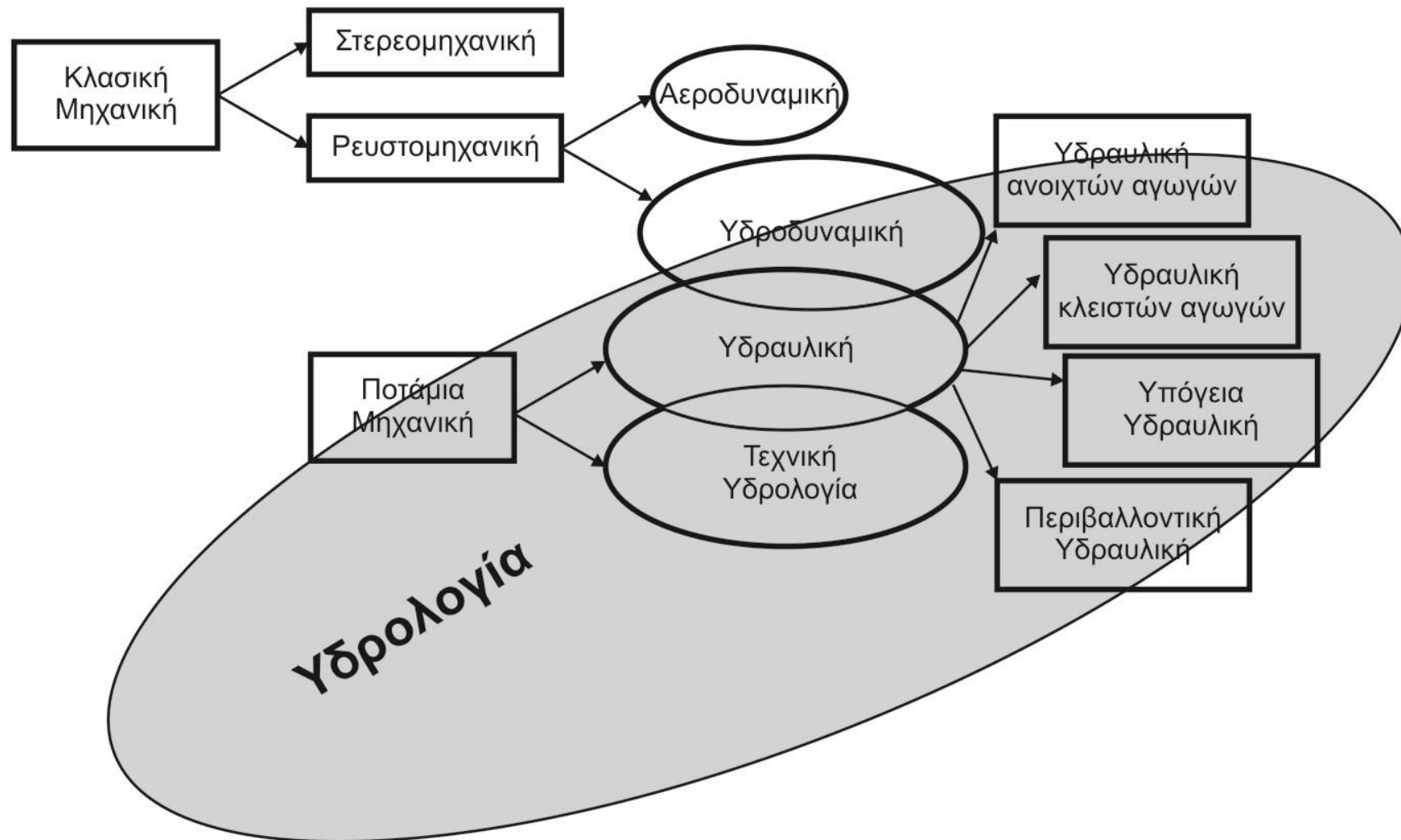
Επιστημονικά πεδία



Επιστημονικά πεδία



Επιστημονικά πεδία



Ανοιχτοί αγωγοί

- **Ροή με ελεύθερη επιφάνεια**
 - Διευθέτηση ρέματος
 - Αντιπλημμυρικά έργα
 - Εγγειοβελτιωτικά έργα
 - Φράγμα
 - Αποχετευτικά δίκτυα

Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα

- Διευθέτησ
- Αντιπλημ
- Εγγειοβελ
- Φράγμα
- Αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- Διευθέτησ
- Αντιπλημ
- Εγγειοβελ
- Φράγμα
- Αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- Διευθέτησ
- Αντιπλημ
- Εγγειοβελ
- Φράγμα
- Αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- Διευθέτησ
- Αντιπλημ
- Εγγειοβελ
- Φράγμα
- Αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- Διευθέτησ
- Αντιπλημ
- Εγγειοβελ
- Φράγμα
- Αποχετευτικά



Κλειστοί αγωγοί

- **Ροή υπό πίεση**
 - Δίκτυο ύδρευσης
 - Εγγειοβελτιωτικά έργα
 - Υδροδυναμικά έργα

Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση
- Δίκτυο ύδρευσης
- Εγγειοβελτιώσεις
- Υδροδυναμική



Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση

- Δίκτυο ύδρευσης
- Εγγειοβελτιώσεις
- Υδροδυναμική



Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση

- Δίκτυο ύδρευσης
- Εγγειοβελτιώσεις
- Υδροδυναμική



Υπόγεια υδραυλική

- **Ροή σε πορώδες μέσο**
 - Εγγειοβελτιωτικά έργα → διήθηση
 - Διαχείριση υπόγειου υδατικού δυναμικού
 - Γεωτρήσεις/πηγάδια
 - Υφαλμύριση
 - Υπόγειες διαφυγές
 - Φράγματα
 - Δεξαμενές

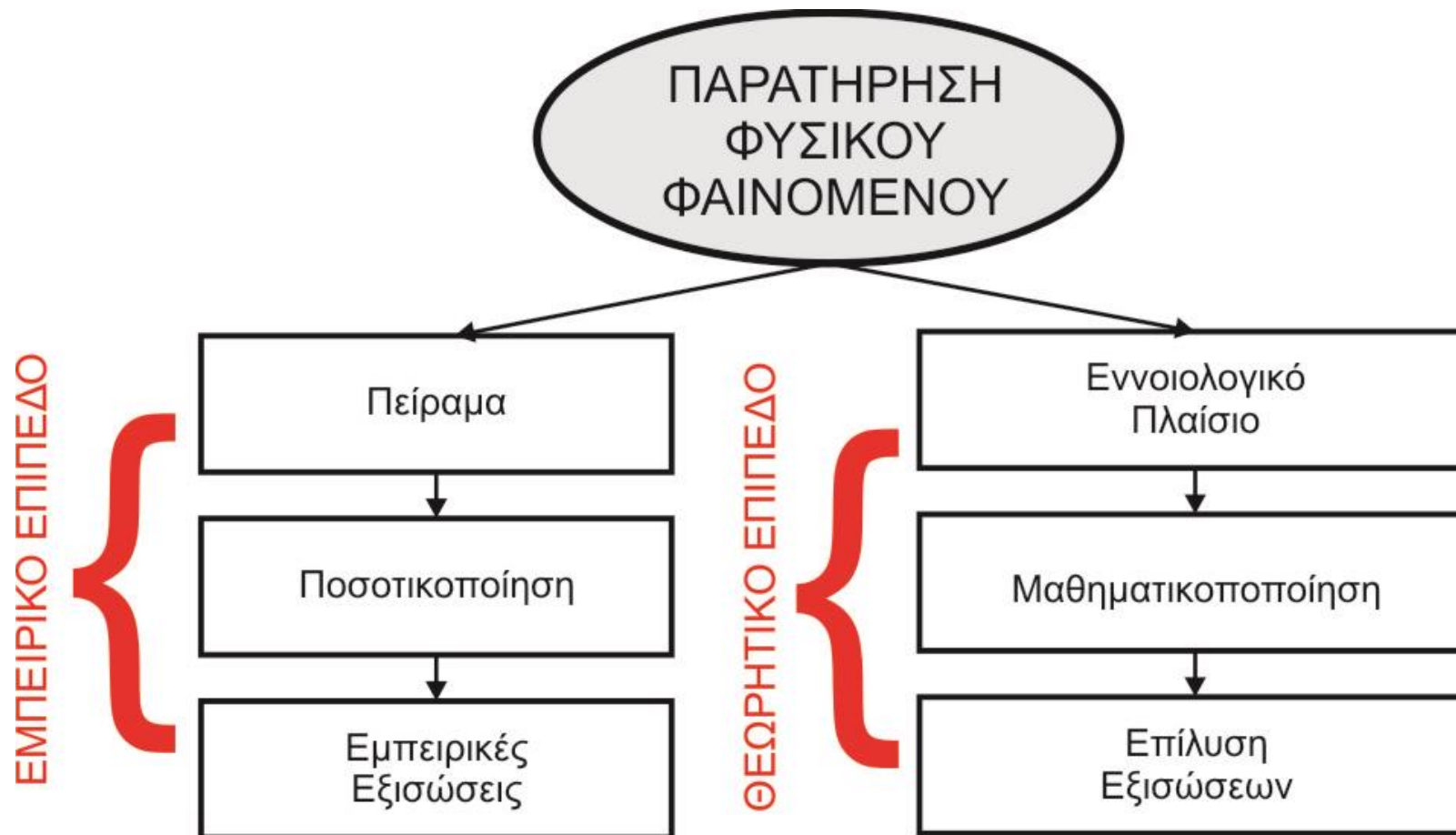
Περιβαλλοντική υδραυλική

- **Διάχυση/διασπορά ρύπου**
 - Ποιότητα νερού
 - «Καλή» κατάσταση των υδάτων
 - Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα νερά 2000/60
- **Οικολογική παροχή**
- **Ιχθυοδιάδρομοι**

Σχεδιασμός έργων

- **Προσομοίωση/Πρόβλεψη μεταβλητών**
 - Πείραμα
 - Αριθμητικό μοντέλο
- **Χρήση αριθμητικών μοντέλων**
 - Μικρό κόστος
 - Ασφαλή αποτελέσματα
- **Πείραμα**
 - Σημαντικό κόστος
 - Εγκυρότερα αποτελέσματα;

Φυσικά φαινόμενα



Φυσικά φαινόμενα



Πειραματική Υδραυλική

- Γιατί σήμερα;

Πειραματική Υδραυλική

- Γιατί σήμερα;
- Εκπαιδευτικοί σκοποί

Πειραματική Υδραυλική

- Γιατί σήμερα;
- Εκπαιδευτικοί σκοποί
- Επαλήθευση αριθμητικών μοντέλων (verification)

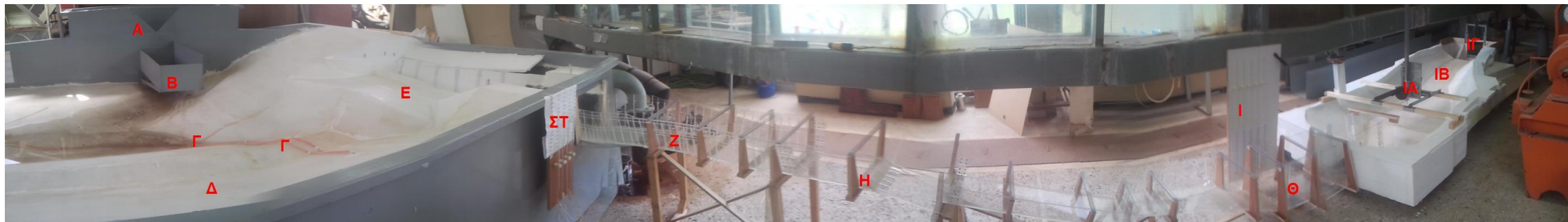
Πειραματική Υδραυλική

- Γιατί σήμερα;
- Εκπαιδευτικοί σκοποί
- Επαλήθευση αριθμητικών μοντέλων (verification)
- Αδυναμία χρήσης αριθμητικών μοντέλων

Πειραματική Υδραυλική

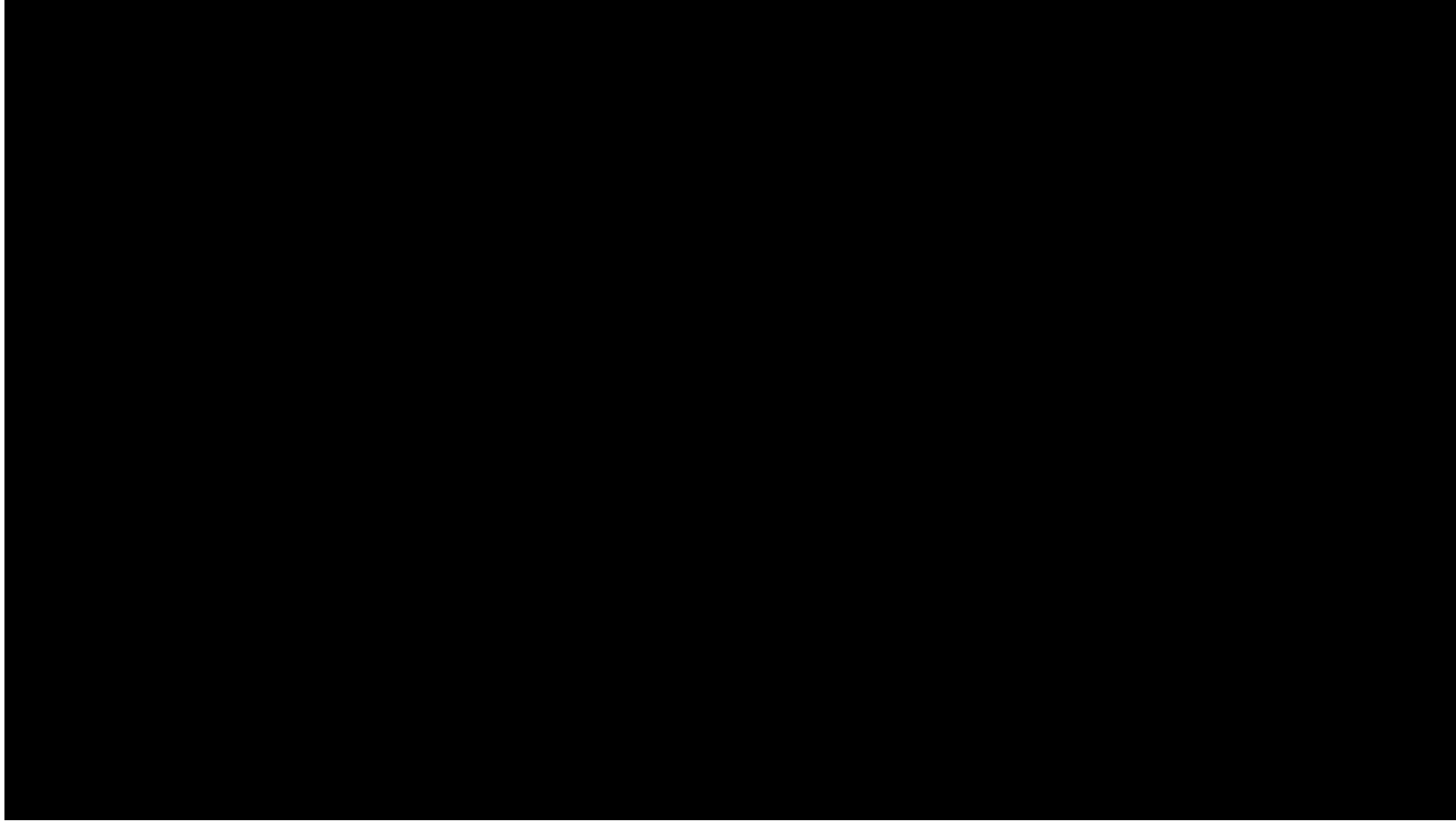
- Γιατί σήμερα;
- Εκπαιδευτικοί σκοποί
- Επαλήθευση αριθμητικών μοντέλων (verification)
- Αδυναμία χρήσης αριθμητικών μοντέλων
- Συνδυαστική χρήση αριθμητικών μοντέλων-πειράματος

Υπερχειλιστής φράγματος



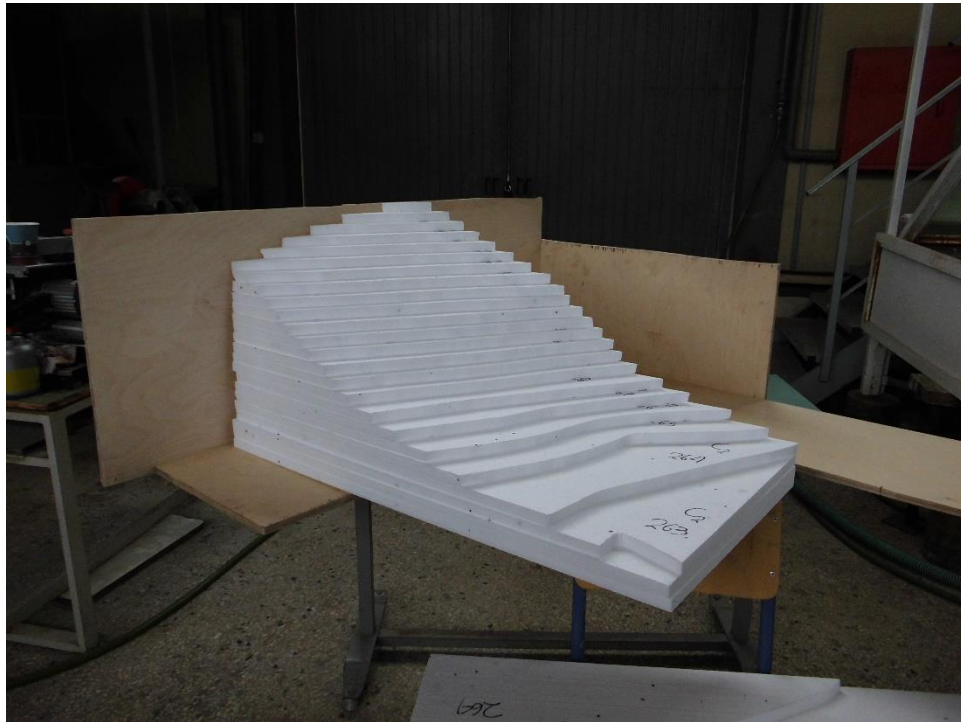
Θέση	Περιγραφή
A	Τριγωνικός εκχειλιστής
B	Διάταξη απόσβεσης κυματισμών
Γ	Εύκαμπτοι πεζομετρικοί σωλήνες μέτρησης στάθμης
Δ	Φράγμα
Ε	Υπερχειλιστής
ΣΤ	Πίνακας μέτρησης πεζομετρικών υψών στην ράχη του υπερχειλιστή
Ζ	Διώρυγα απαγωγής
Η	Κατόφλι
Θ	Λεκάνη ηρεμίας
Ι	Πίνακας μέτρησης πεζομετρικών υψών στην λεκάνη ηρεμίας
ΙΑ	Σταθμήμετρο
ΙΒ	Διώρυγα φυγής
ΙΓ	Ρυθμιζόμενος εκχειλιστής λεπτής στέψης

Υπερχειλιστής φράγματος



Υπερχειλιστής φράγματος

φάση κατασκευής



Υπερχειλιστής φράγματος

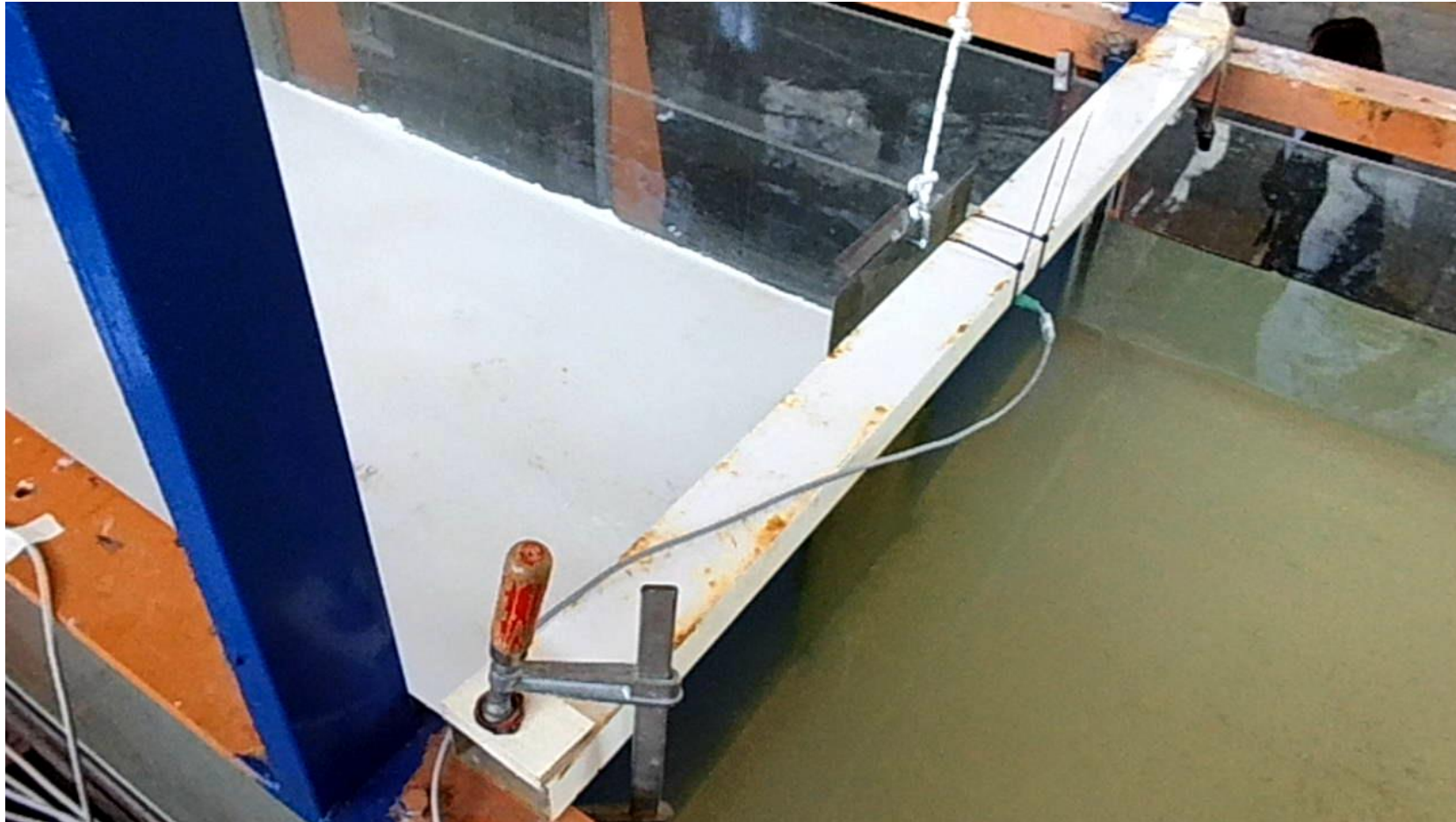
φάση κατασκευής



Δομημένο περιβάλλον σε θραύση φράγματος

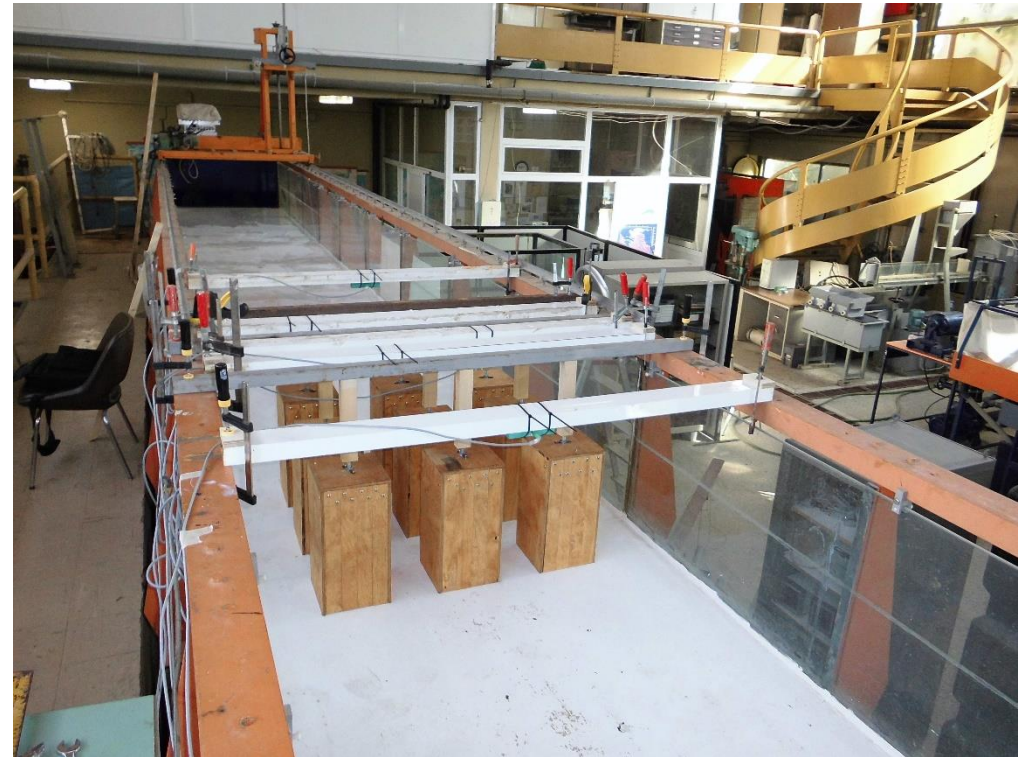
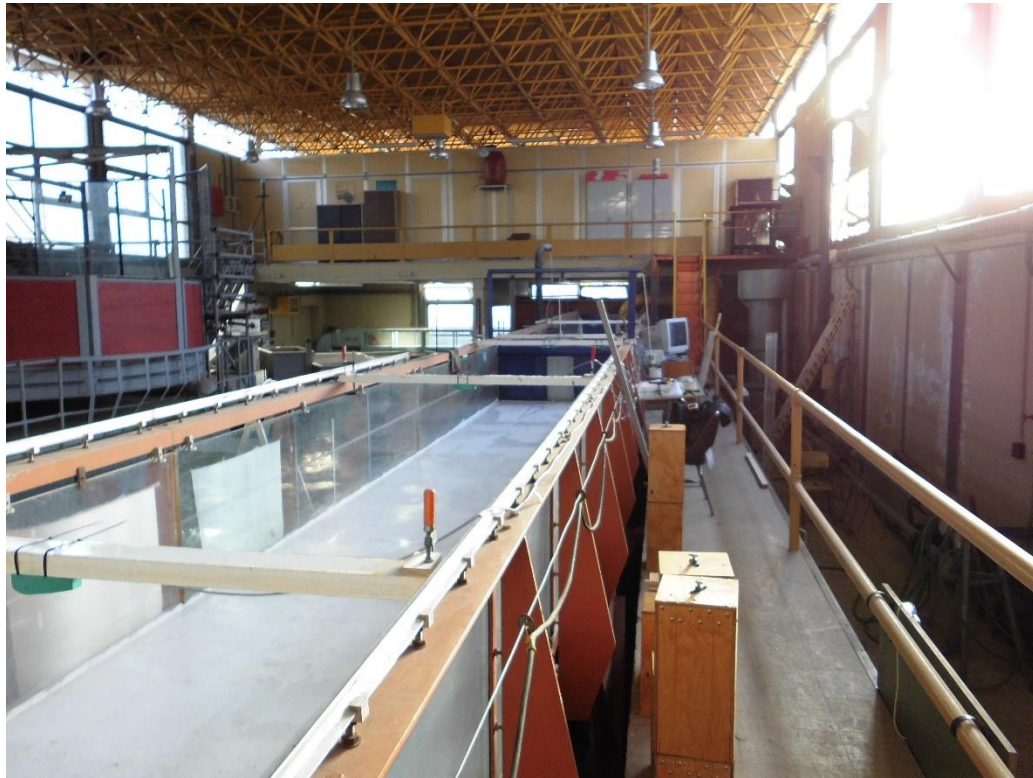


Δομημένο περιβάλλον σε θραύση φράγματος



Δομημένο περιβάλλον σε θραύση φράγματος

φάση κατασκευής



Δομημένο περιβάλλον σε πλημμύρα λόγω άμεσης βροχόπτωσης



Δομημένο περιβάλλον σε πλημμύρα λόγω άμεσης βροχόπτωσης



Εργαστηριακές πρακτικές

- **Μετρήσεις**
 - Μονάδες
 - Ακρίβεια
 - Σφάλματα
- **Διαστατική Ανάλυση**
 - Μέθοδος Rayleigh
 - Θεώρημα Π (Buckingham)
- **Φυσική ομοιότητα**
 - Γεωμετρική
 - Κινηματική
 - Δυναμική

Μονάδες

- Μέτρηση είναι η σύγκριση ενός μεγέθους με ένα σταθερό μέγεθος → **μονάδα**
- Συστήματα μονάδων μετρήσεων
 - Αυτοκρατορικό Σύστημα (**Imperial System**)
 - Διεθνές Σύστημα Μονάδων (**System International**)
- **System International (SI)**
 - Μάζα ***M*** (χιλιόγραμμα ***kg***)
 - Μήκος ***L*** (μέτρα ***m***)
 - Χρόνος ***T*** (δευτερόλεπτα ***s***)
 - Θερμοκρασία ***θ*** (Kelvin ***K***)
 - Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος ***A*** (Ampere ***A***)
 - Ένταση φωτισμού ***I*** (κηρίο ***cd***)

Μονάδες

- Μέτρηση είναι η σύγκριση ενός μεγέθους με ένα σταθερό μέγεθος → **μονάδα**
- Συστήματα μονάδων μετρήσεων
 - Αυτοκρατορικό Σύστημα (**Imperial System**)
 - Διεθνές Σύστημα Μονάδων (**System International**)
- **System International (SI)**
 - Μάζα M (χιλιόγραμμα kg)
 - Μήκος L (μέτρα m)
 - Χρόνος T (δευτερόλεπτα s)
 - Θερμοκρασία θ (Kelvin K)
 - Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος A (Ampere A)
 - Ένταση φωτισμού I (κηρίο cd)

$$[M^a L^b T^c \theta^d] \text{ ή } [M^a L^b T^c]$$

Ακρίβεια μετρήσεων

- **Ακρίβεια**

- Το τελευταίο ψηφίο του αριθμού

- **Ακρίβεια αλγεβρικού αθροίσματος**

- Ίσο με την ακρίβεια του όρου με τη μικρότερη ακρίβεια

- **Σημαντικά ψηφία μέτρησης**

- Αριθμός των ψηφίων του αποτελέσματος της μέτρησης μέχρι το τελευταίο μετρηθέν με ακρίβεια ψηφίο

Ακρίβεια μετρήσεων

- Ακρίβεια

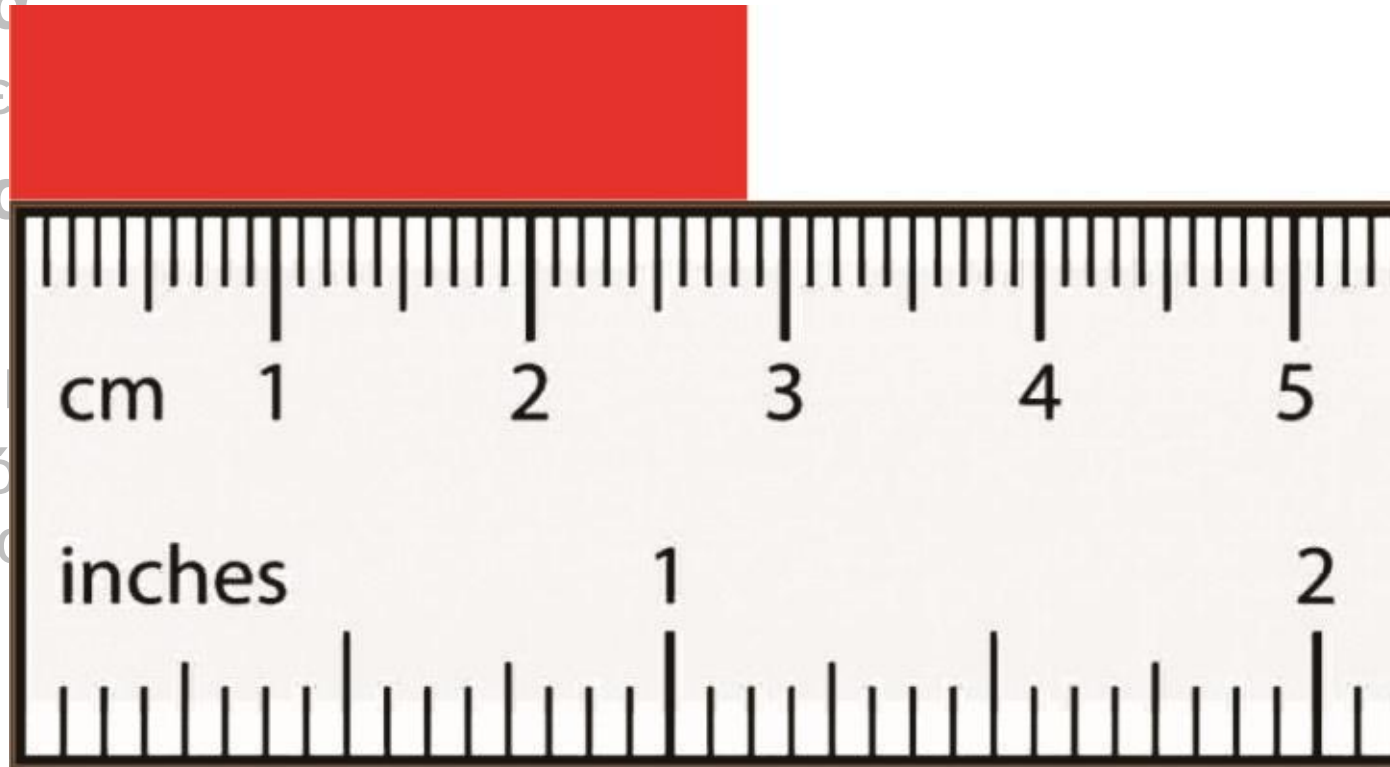
- το τελε

- Ακρίβεια

- ίσο με

- Σημαντι

- αριθμό
- τελευτ



μέχρι το

Σφάλματα μετρήσεων

- **Παρατηρητή**
 - Δύο ή παραπάνω παρατηρητές
- **Συστηματικά**
 - Σφάλμα οργάνου
- **Τυχαία**
 - Άγνωστα και μη προβλέψιμα αίτια

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Μέση τιμή

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Μέση απόκλιση

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

- Τυπική απόκλιση

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Μέση τιμή

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Μέση απόκλιση

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

- Τυπική απόκλιση

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$x \pm d$ ή $x \pm \sigma$

Διάδοση σφάλματος

- Αν μία μέτρηση είναι της μορφής $x+\delta x$
- Απόλυτο σφάλμα
 - δx
- Σχετικό σφάλμα
 - $\delta x/x$

Διάδοση σφάλματος

- Αν μία μέτρηση είναι της μορφής $x+\delta x$
- Απόλυτο σφάλμα
 - δx
- Σχετικό σφάλμα
 - $\delta x/x$

- **Συνάρτηση $f(x,y)$**

$$\delta f = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta x\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta y\right]^2}$$

$$\frac{\delta f}{f} = \frac{1}{f} \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta x\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta y\right]^2}$$

Διαστατική Ανάλυση

- Συνδυασμός μεταβλητών για την ορθή μορφή μίας εξίσωσης
- Μέθοδος Rayleigh
- Μέθοδος Buckingham (θεώρημα Π)

Μέθοδος Rayleigh

- Εύρεση ανεξάρτητων μεταβλητών R_1, R_2, \dots, R_n που επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή R
- $R=f(R_1, R_2, \dots, R_n)$
- $R = C \cdot R_1^a \cdot R_2^b \cdot R_n^m$
- Βασικές μονάδες σε κάθε μεταβλητή
- Με βάση τη διαστατική ομοιογένεια \rightarrow σύστημα εξισώσεων
- Επίλυση συστήματος εξισώσεων
- Αντικατάσταση των τιμών \rightarrow αδιάστατες μεταβλητές

Παράδειγμα

- Μεταβολή πίεσης ανά μονάδα μήκος αγωγού (απώλειες τριβών λόγω πυθμένα) $\Delta p/L$
 - Διάμετρος σωλήνα D
 - Μέση ταχύτητα ροής u
 - Δυναμική συνεκτικότητα μ
 - Πυκνότητα ρ

$$\frac{\Delta p}{L} = f(D, u, \mu, \rho) \Rightarrow \frac{\Delta p}{L} = D^a u^b \mu^c \rho^d$$

Παράδειγμα

- $\Delta p/L \rightarrow \text{Pa/m} \rightarrow \text{N/m}^3 \rightarrow \text{kg/m}^2\text{s}^2 \rightarrow [\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}]$
- $D \rightarrow \text{m} \rightarrow [\text{M}^0\text{L}^1\text{T}^0]$
- $u \rightarrow \text{m/s} \rightarrow [\text{M}^0\text{L}^1\text{T}^{-1}]$
- $\mu \rightarrow \text{kg/ms} \rightarrow [\text{M}^1\text{L}^{-1}\text{T}^{-1}]$
- $\rho \rightarrow \text{kg/m}^3 \rightarrow [\text{M}^1\text{L}^{-3}\text{T}^0]$

$$\frac{\Delta p}{L} = D^a u^b \mu^c \rho^d$$

$$[\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}] = [\text{M}^{c+d}\text{L}^{a+b-c-3d}\text{T}^{-b-c}] \quad \left\{ \begin{array}{l} c + d = 1 \\ a + b - c - 3d = -2 \\ -b - c = -2 \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \alpha = -1 - c \\ b = 2 - c \\ d = 1 - c \end{array} \right.$$

Παράδειγμα

$$\frac{\Delta p}{L} = D^{-1-c} u^{2-c} \mu^c \rho^{1-c} = \frac{\rho u^2}{D} \frac{\mu^c}{\rho^c u^c D^c} = \frac{\rho u^2}{D} \frac{1}{Re^c}$$

Φυσική ομοιότητα

- **Γεωμετρική ομοιότητα**
 - Ομοιότητα σχήματος
- **Κινηματική ομοιότητα**
 - Ομοιότητα κίνησης (μήκος και χρόνος)
- **Δυναμική ομοιότητα** $L_r = L_u / L_v$
 - Ομοιότητα δυνάμεων
 - Αριθμός Froude
 - Αριθμός Reynolds
 - ...

Φυσική ομοιότητα

γεωμετρική ομοιότητα

$$L_r = \frac{L_m}{L_p}$$

αριθμός Froude

$$\frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} \Rightarrow \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{L_r}$$

χρόνος

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{L_m/V_m}{L_p/V_p} \Rightarrow \frac{V_m}{V_p} = \sqrt{L_r}$$

παροχή

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{V_m A_m}{V_p A_p} = L_r^{5/2}$$

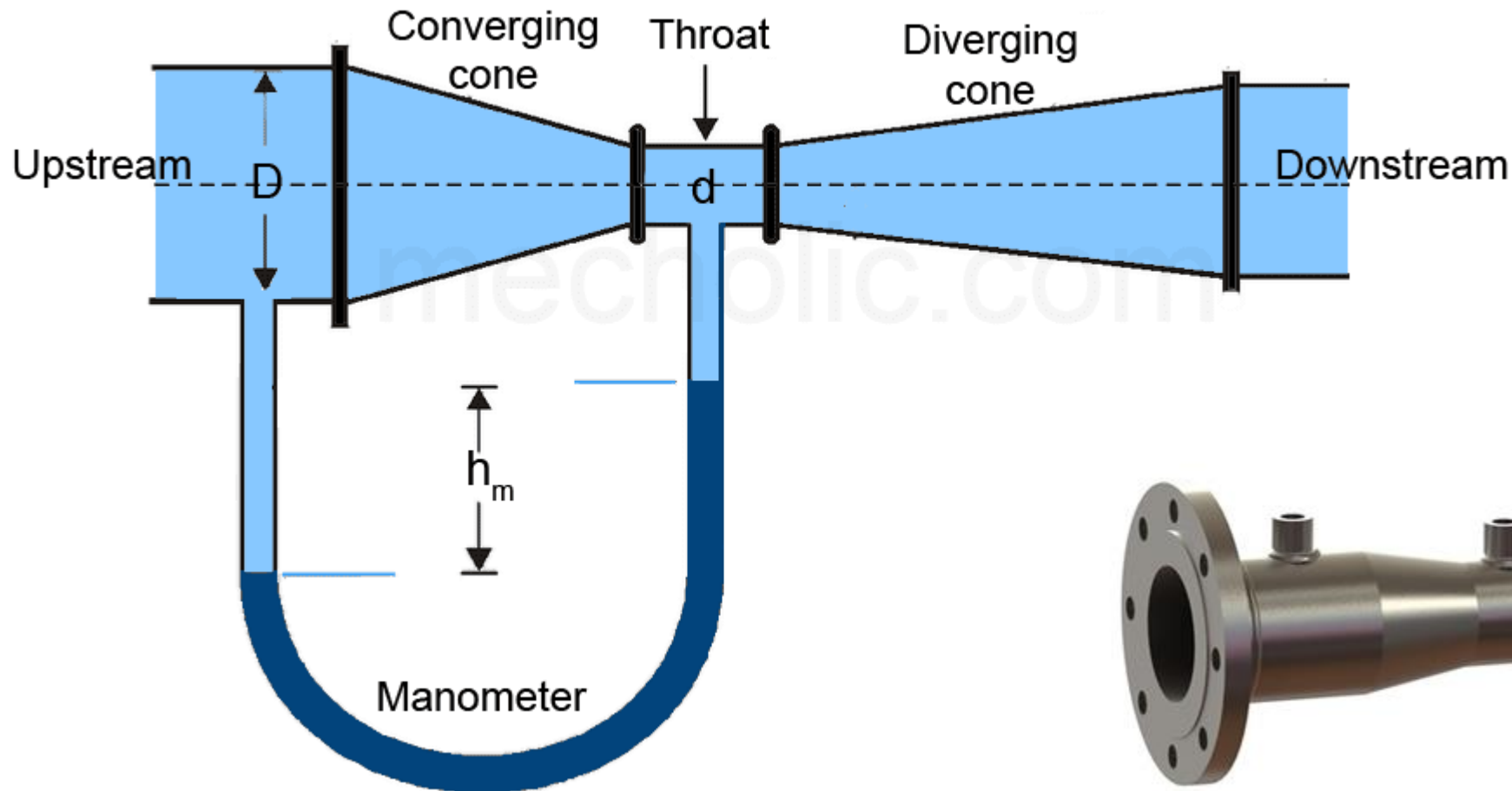
Πειραματικές διατάξεις

ανοιχτός αγωγός



Πειραματικές διατάξεις

ροή υπό πίεση



Πειραματικές διατάξεις

υδραυλική τράπεζα



VOLUME FLOW RATE
L.s⁻¹ 0.552 33.1 L.min⁻¹

