



ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Θεωρία και Εφαρμογές για Πολιτικούς Μηχανικούς

Εξάμηνο: 4^ο

Κωδικός: **TMB111**

Μάθημα: **Κορμού**

Διάλεξη **Δ.3. Υδροστατική (1^ο Μέρος)**

Διδάσκων υπεύθυνος μαθήματος:

Χρήστος Β. Μακρής

Επίκουρος Καθηγητής (επί θητεία)

ΔΠΘ

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

ΜΔΕ Τεχνολογία Υδατικών Πόρων ΕΜΠ

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ

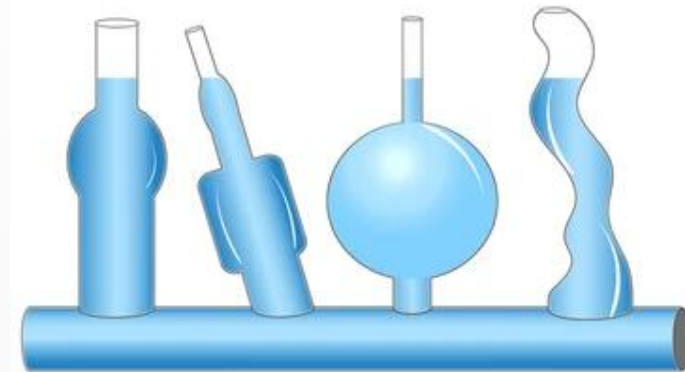
Ειδίκευση: Υδραυλική & Περιβαλλοντική Τεχνική

Ειδίκευση: Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης

Ειδίκευση: Υπολογιστική Ρευστοδυναμική - Κυματομηχανική

Δ.3. Διάρθρωση Παρουσίασης

1. Πίεση σε ένα σημείο
2. Βασική εξίσωση για πεδίο πίεσης
3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό
 - Ασυμπίεστο ρευστό
 - Συμπιεστό ρευστό
4. Ατμοσφαιρική πίεση
5. Μέτρηση πίεσης
6. Μανόμετρα
 - Πιεζομετρικός σωλήνας
 - Μανόμετρο τύπου U
 - Κεκλιμένο μανόμετρο
7. Μηχανικά και ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης πίεσης
8. Υδροστατική δύναμη σε επίπεδη επιφάνεια
9. Πρίσμα πίεσης
10. Υδροστατική δύναμη σε καμπύλη επιφάνεια
11. Υδροστατική δύναμη σε στρωματωμένα ρευστά



Δ.3. Διάρθρωση Παρουσίασης

12. Άνωση – επίπλευση – ευστάθεια

- Αρχή του Αρχιμήδη
- Ευστάθεια

13. Μεταβολή πίεσης σε ρευστό με κίνηση στερεού σώματος

- Γραμμική κίνηση
- Περιστροφή στερεού σώματος

14. Ασκήσεις

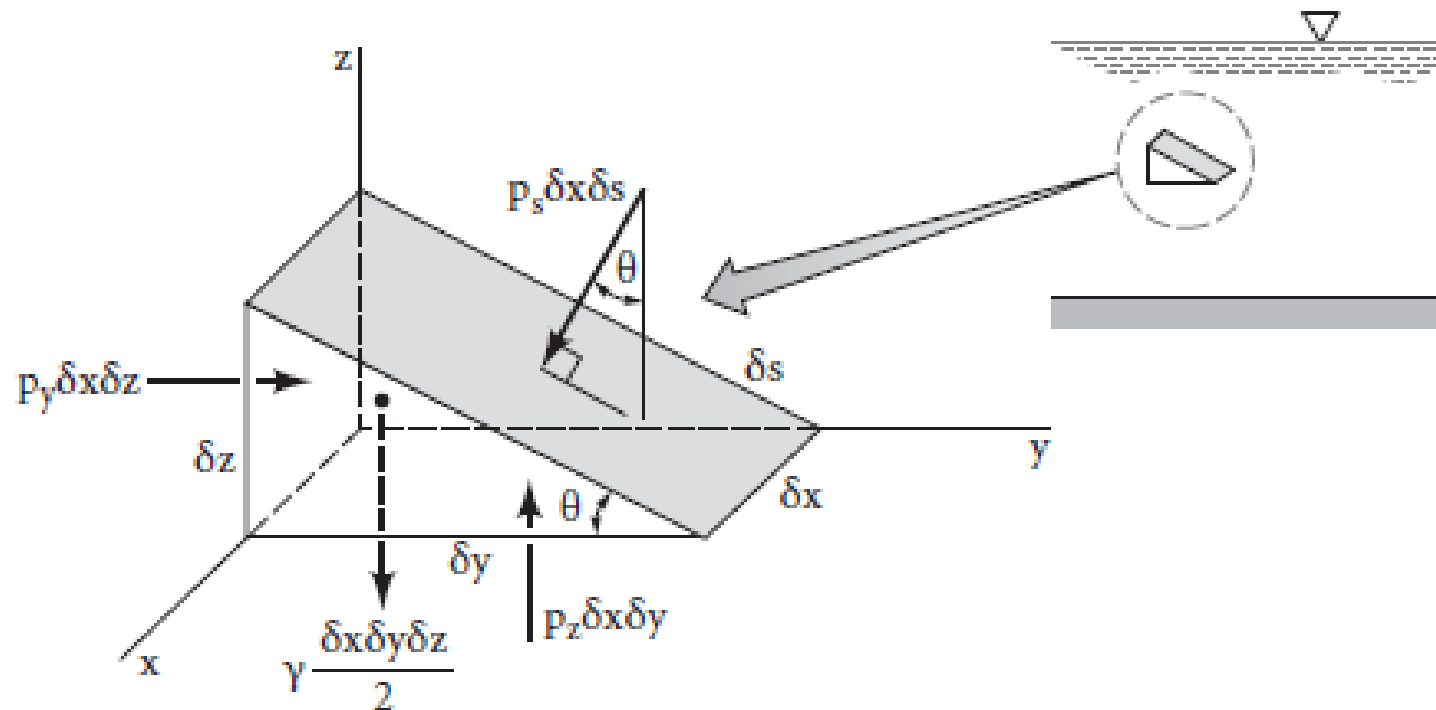


Δ.3.1. Πίεση σε ένα σημείο

Θεματολογία

Πίεση: Κάθετη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας σε ένα σημείο ενός δεδομένου επιπέδου μέσα στη μάζα του ρευστού

Εξαρτάται η πίεση σε ένα σημείο από τη διεύθυνση (προσανατολισμό) επιπέδου που διέρχεται από το σημείο??



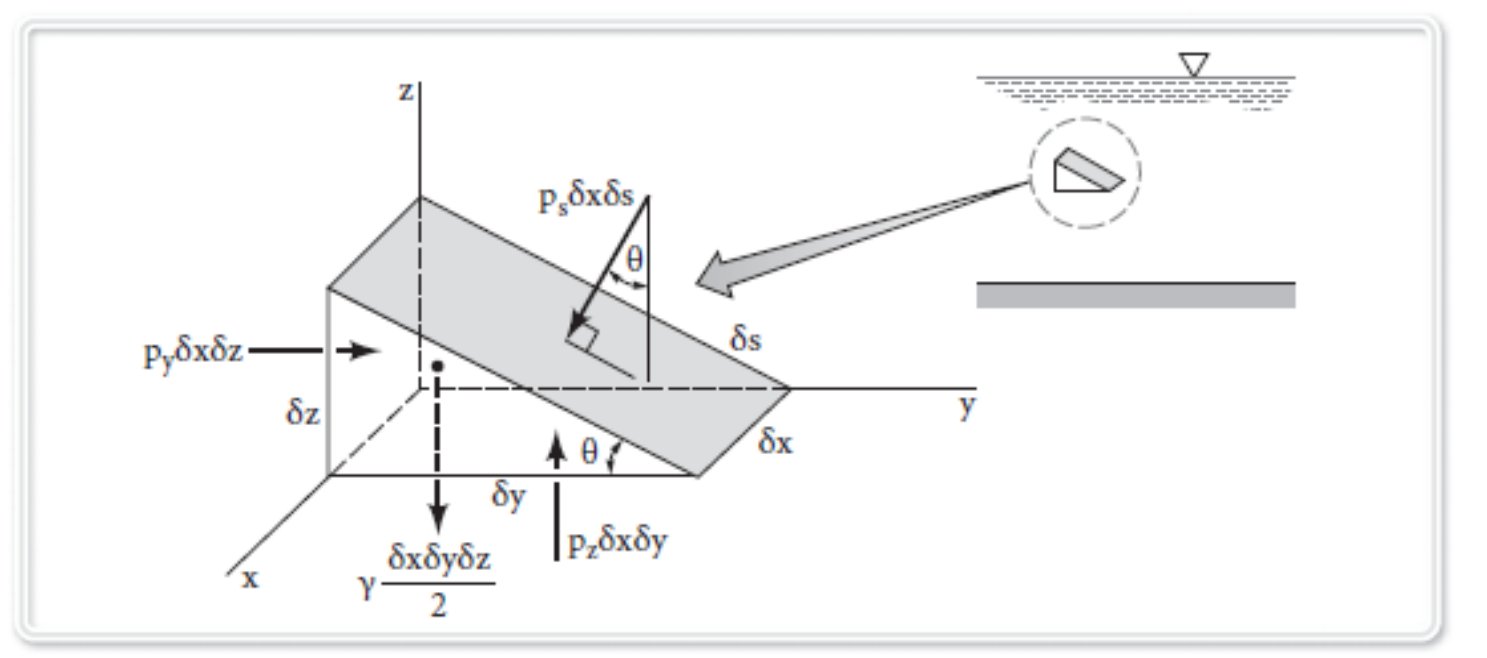
Δ.3.1. Πίεση σε ένα σημείο

Στοιχειώδες τμήμα ρευστού

Πίεση: Κάθετη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας σε ένα σημείο ενός δεδομένου επιπέδου μέσα στη μάζα του ρευστού

$$F = ma \Rightarrow p_y = p_s$$

$$p_z = p_s$$



Η πίεση σ' ένα σημείο του ρευστού (ακίνητου ή σε κίνηση) είναι ανεξάρτητη της διεύθυνσης (απουσία δατημητικών τάσεων) (Νόμος Pascal)

Δ.3.2. Βασική εξίσωση για πεδίο πίεσης

2 τύποι δυνάμεων:

Επιφανειακές δυνάμεις λόγω πίεσης + Δύναμη σώματος λόγω βάρους στοιχείου

ντρο του στοιχείου για την προσέγγιση των πιέσεων σε μικρή απόσταση θεωρώντας αμελητέους όρους υψηλότερης τάξης που θα απαλειφούν όταν τα δx , δy και δz τείνουν στο μηδέν. Για λόγους απλότητας δεν δείχνονται οι επιφανειακές δυνάμεις στη διεύθυνση x . Η συνισταμένη δύναμη επιφάνειας στη διεύθυνση y είναι

$$\delta F_y = \left(p - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\delta y}{2} \right) \delta x \delta z \quad \text{ή} \quad \delta F_y = -\frac{\partial p}{\partial y} \delta x \delta y \delta z.$$

Ομοίως, για τις διευθύνσεις x και z οι προκύπτουσες δυνάμεις επιφάνειας είναι

$$\delta F_x = -\frac{\partial p}{\partial x} \delta x \delta y \delta z, \quad \delta F_z = -\frac{\partial p}{\partial z} \delta x \delta y \delta z.$$

Η συνισταμένη δύναμη που ενεργεί στο στοιχείο μπορεί να εκφραστεί σε διασυσματική μορφή όπως

$$\delta \vec{F}_s = \delta F_x \hat{i} + \delta F_y \hat{j} + \delta F_z \hat{k}$$

Δ.3.2. Βασική εξίσωση για πεδίο πίεσης

$$\delta \vec{F}_s = - \left(\frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{k} \right) \delta x \delta y \delta z$$

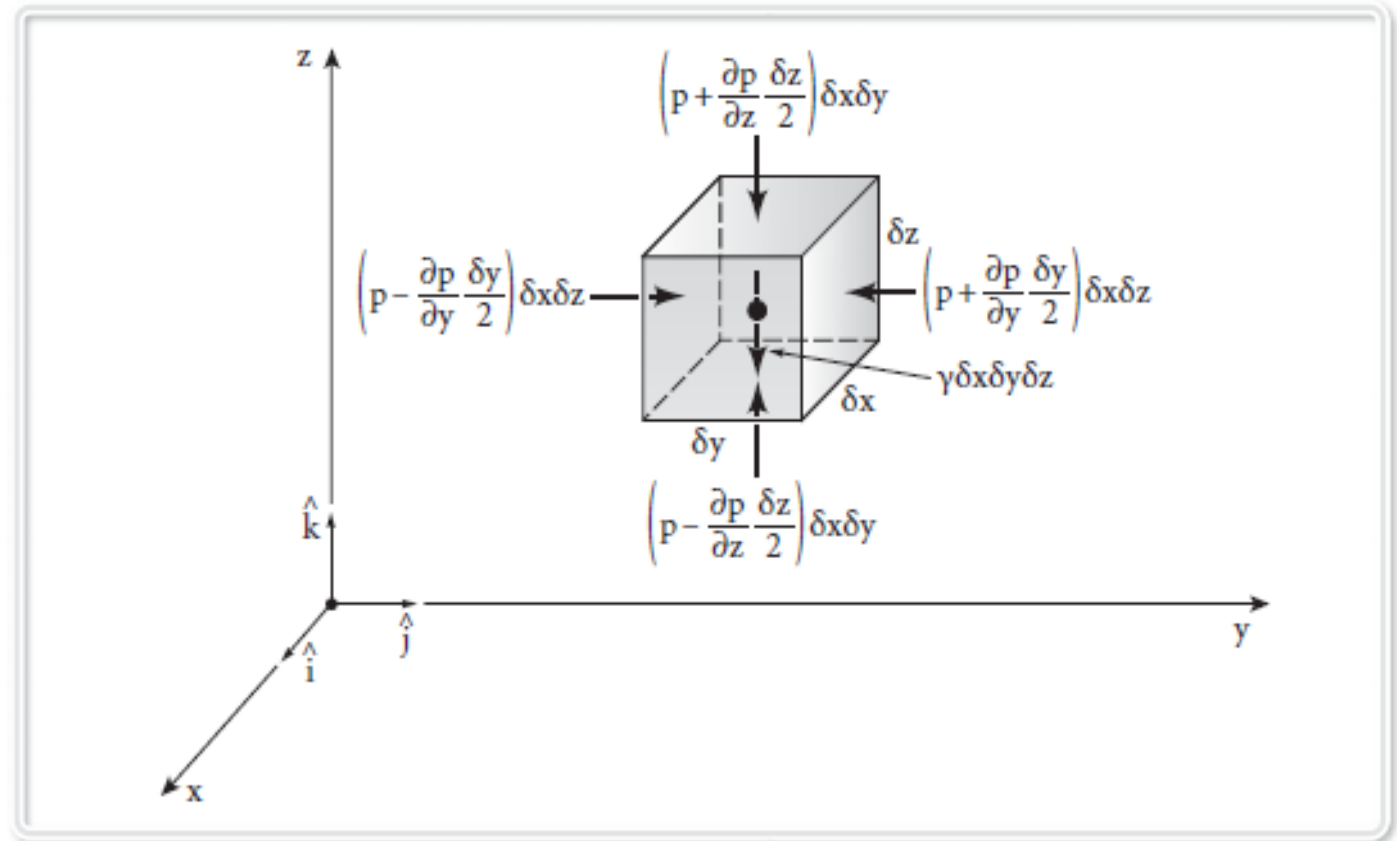
όπου $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ είναι τα μοναδιαία διανύσματα

νύσματος τη διαφορά πίεσης και μπορεί να

$$\frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \hat{k} = \nabla p$$

και το σύμβολο ∇ είναι η βαθμίδα (κλίση).

Στοιχειώδες τμήμα
ρευστού



Δ.3.2. Βασική εξίσωση για πεδίο πίεσης

Γενική εξίσωση κίνησης για ρευστό χωρίς την επίδραση διατμητικών τάσεων

$$\sum \delta \vec{F} = \delta m \vec{a}$$

όπου

$\sum \delta \vec{F}$ είναι η συνισταμένη δύναμη που δρα στο στοιχείο,
 $\vec{a}$ είναι η επιτάχυνση του στοιχείου, και δm είναι η μάζα του στοιχείου, που μπορεί να γραφεί όπως ρδxdydz.

Συνάγεται ότι

$$\sum \delta \vec{F} = \delta \vec{F}_s - \delta W \hat{k} = \delta m \vec{a}$$

$$\text{ή } -\nabla p \delta x \delta y \delta z - \gamma \delta x \delta y \delta z \hat{k} = \rho \delta x \delta y \delta z \vec{a}$$

και, κατά συνέπεια,

$$-\nabla p - \gamma \hat{k} = \rho \vec{a}$$

$$\Delta(\rho \vec{a}) + \text{βάρος} = (\text{επιταχυντική κίνηση}) \rho \delta x \delta y \delta z \quad (2.2)$$

Η εξίσωση (2.2) είναι η γενική εξίσωση της κίνησης για ένα ρευστό στο οποίο δεν υπάρχουν διατμητικές τάσεις.

Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Μεταβολή της πίεσης

Επιφανειακές δυνάμεις (λόγω πίεσης)

Δυνάμεις σώματος (π.χ. βάρος)

Πώς μεταβάλλεται η πίεση από σημείο σε σημείο???

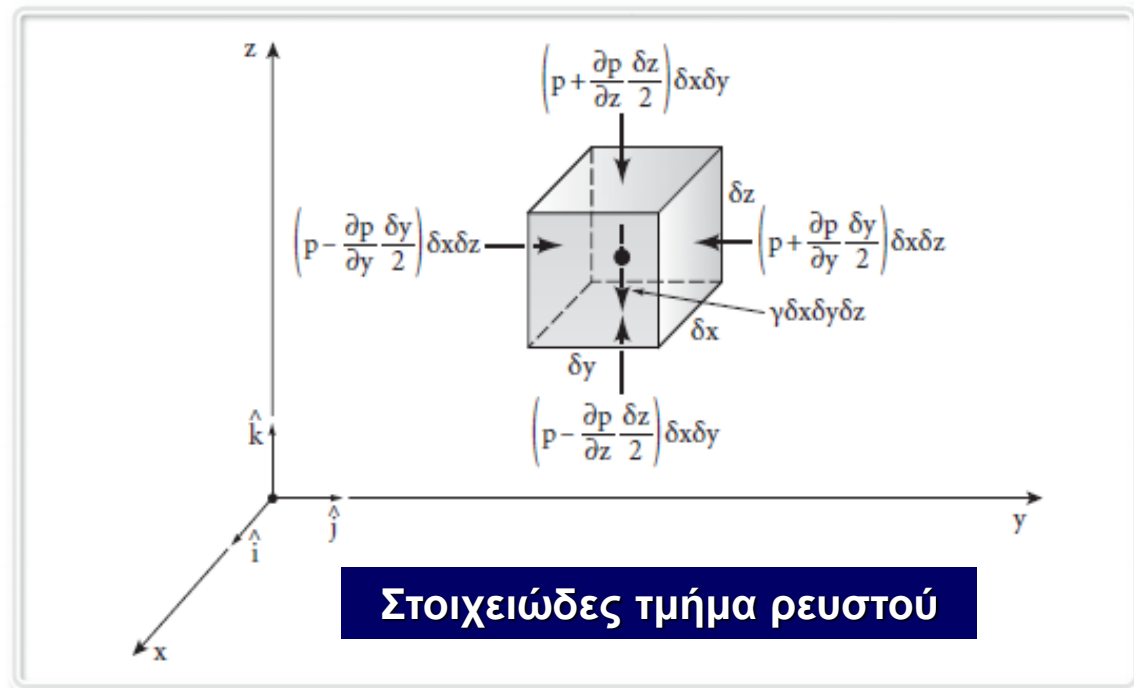
**Θεμελιώδης εξίσωση
(προσδιορισμός πιέσεων κατά z)**

• *Για ακίνητο ρευστό:*

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \frac{\partial p}{\partial z} = -\gamma$$



$$\frac{dp}{dz} = -\gamma = -\rho g$$



Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Ασυμπίεστο ρευστό

Στις περισσότερες περιπτώσεις: ύπαρξη **Ελεύθερης Επιφάνειας (Ε.Ε.)**

Η **Ε.Ε.** λαμβάνεται ως **επιφάνεια αναφοράς**

Έστω p_0 η πίεση στην **Ε.Ε.** (ίση με την ατμοσφαιρική πίεση)

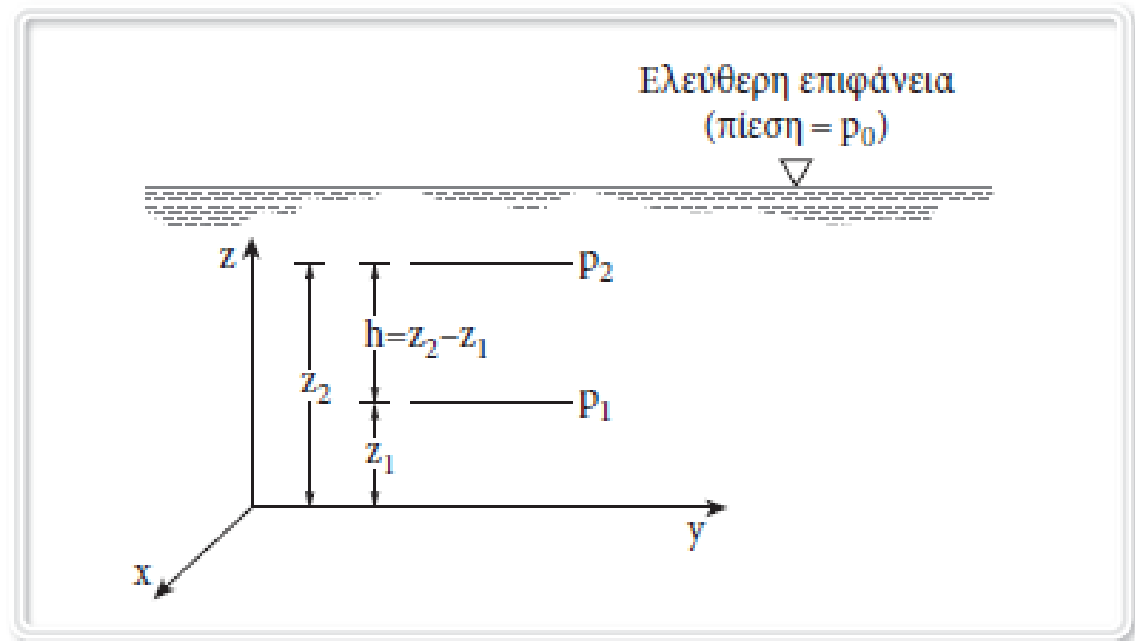
Η πίεση σε ένα οποιοδήποτε σημείο μέσα στο ρευστό:

$$p = \gamma h + p_0$$

Ασυμπίεστο ρευστό
($\gamma = \rho g = \text{σταθερό}$)

$$p_1 - p_2 = \gamma h \Rightarrow p_1 = \gamma h + p_2$$

- h : **πιεζομετρικό ύψος**
- Κατανομή πιέσεων:
Υδροστατική κατανομή



Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

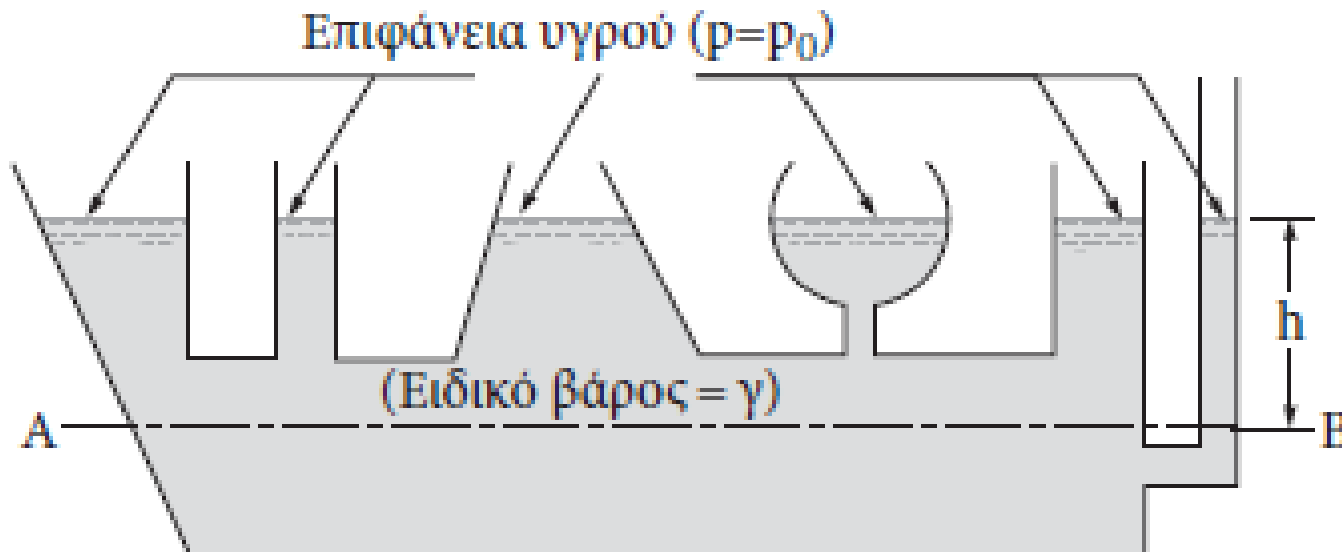
Ασυμπίεστο ρευστό

Εξάρτηση της πίεσης από p_0 , γ , h

$$p = \gamma h + p_0$$

ΟΧΙ ΑΠΟ ΤΟ ΣΧΗΜΑ του δοχείου (υδατοδεξαμενής, σωλήνα, αγωγού κ.λπ.)

Συγκοινωνούντα δοχεία



Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

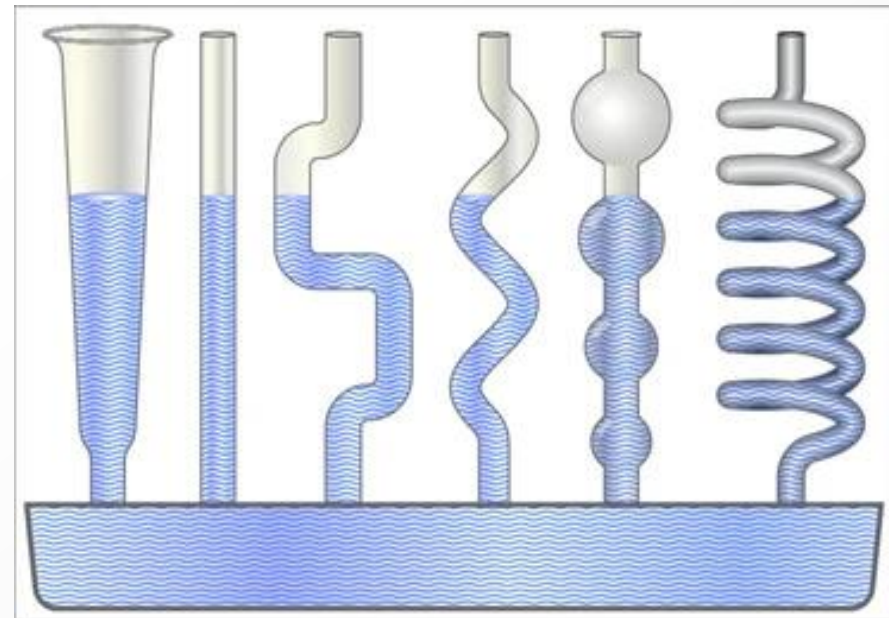
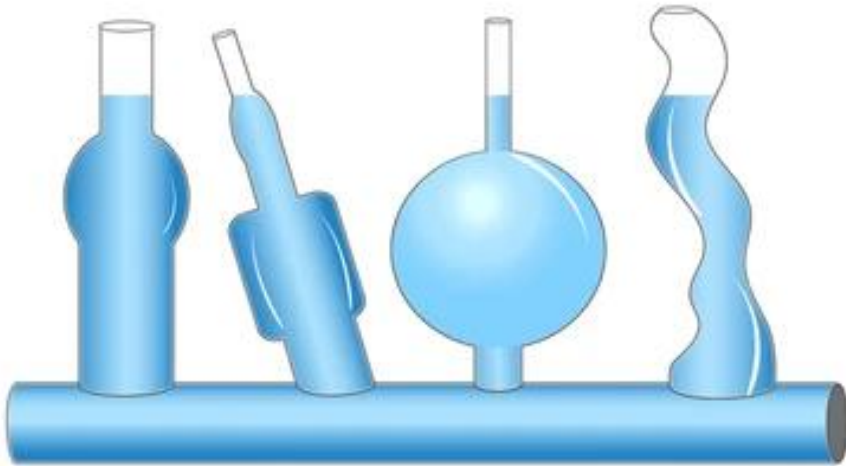
Ασυμπίεστο ρευστό

Εξάρτηση της πίεσης από p_0 , γ , h

ΟΧΙ ΑΠΟ ΤΟ ΣΧΗΜΑ του δοχείου (υδατοδεξαμενής, σωλήνα, αγωγού κ.λπ.)

Συγκοινωνούντα δοχεία

$$p = \gamma h + p_0$$



Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Το υδροστατικό παράδοξο

Ας θεωρήσουμε τα δοχεία του σχήματος και ας εξετάσουμε ποια είναι η δύναμη F η οποία ασκείται στον πυθμένα τους.

Υποθέτουμε ότι όλα τα δοχεία περιέχουν το ίδιο υγρό πυκνότητας ρ , ότι η απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας κάθε δοχείου από τον αντίστοιχο πυθμένα είναι H , και ότι το εμβαδόν του πυθμένα κάθε δοχείου είναι S .

Το βάρος του υγρού σε κάθε ένα

δοχείο διαφέρει σημαντικά

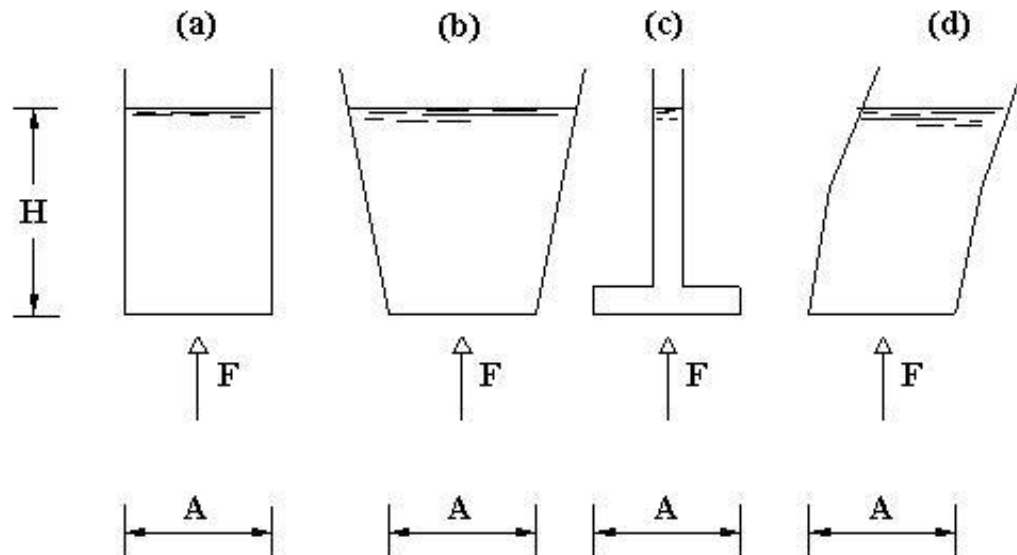
Η πίεση στον πυθμένα κάθε

δοχείου είναι $P = \rho g H$

Η δύναμη στον πυθμένα κάθε

δοχείου είναι ίδια και ίση με:

$F = \rho g H S$



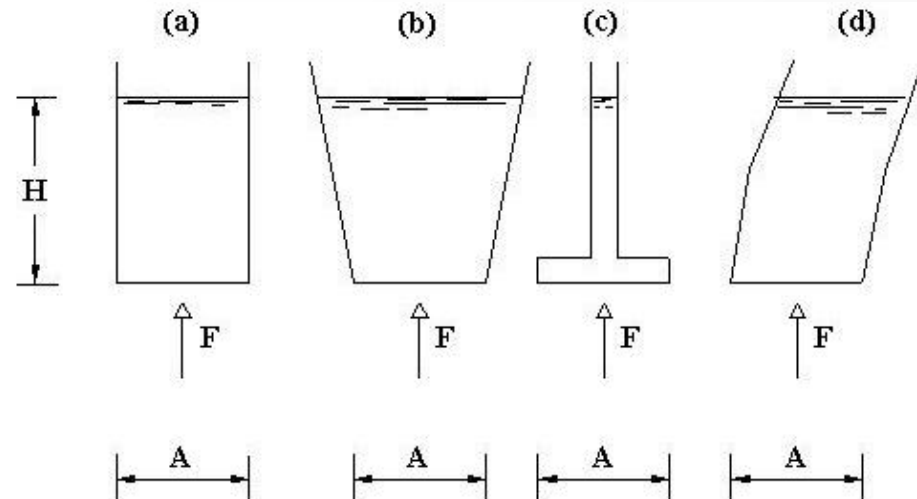
Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Το υδροστατικό παράδοξο

<https://www.youtube.com/watch?v=J7ymn6f2Bl8>

Κατά συνέπεια η δύναμη η οποία εξασκείται στον οριζόντιο πυθμένα όλων των δοχείων του σχήματος είναι ανεξάρτητη από τις μορφές των δοχείων και εξαρτάται μόνο από το εμβαδόν του πυθμένα, την απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια και το ειδικό βάρος του υγρού.

Το γεγονός ότι η δύναμη που εξασκείται στον πυθμένα ενός δοχείου είναι ανεξάρτητη από το σχήμα του δοχείου και για μερικά δοχεία πολύ μεγαλύτερη από το βάρος του υγρού που περιέχει το δοχείο, είναι γνωστό σαν “υδροστατικό παράδοξο”.

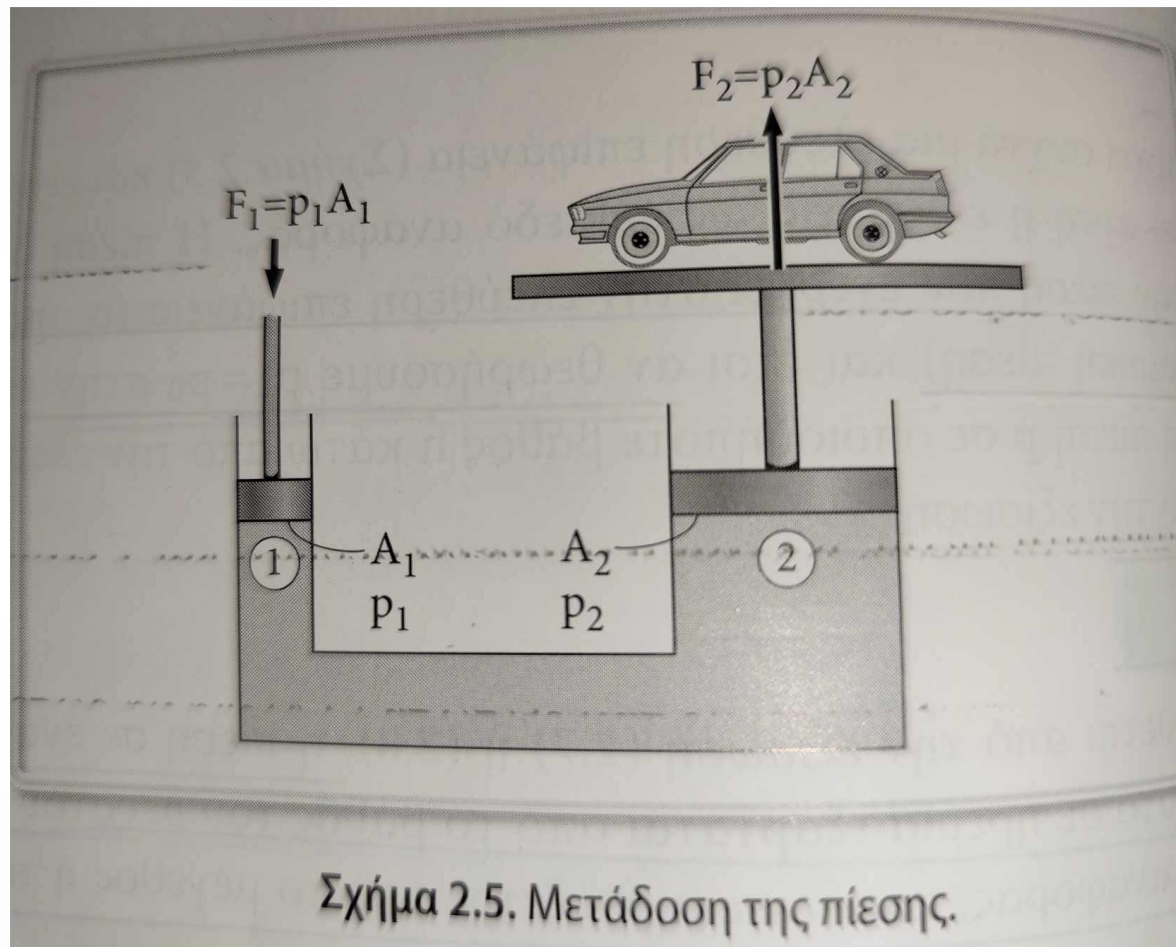
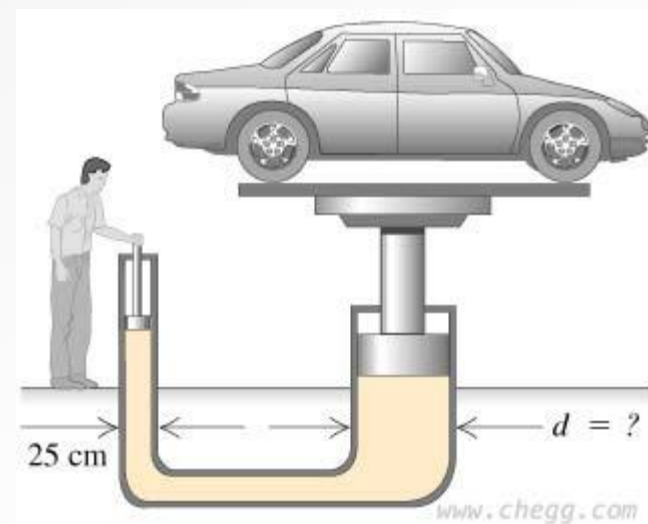


Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Ασυμπίεστο ρευστό

Μετάδοση πίεσης με υδραυλικό σύστημα

$$F_2 = (A_2/A_1) F_1$$



Δ.3.3. Μεταβολή πίεσης σε ακίνητο ρευστό

Συμπιεστό ρευστό

Αέρια (οξυγόνο, άζωτο, μίξη – αέρας, κ.λπ.)

$$p = \rho RT$$

$$dp/dz = -gp/(RT)$$

Με διαχωρισμό μεταβλητών προκύπτει:

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = \ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{g}{R} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{T}$$

Σχέση μεταξύ πίεσης υψομέτρου για ισοθερμικές συνθήκες

$$p_2 = p_1 \cdot e^{\left[-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0}\right]}$$

Δ.3.4. Ατμοσφαιρική πίεση

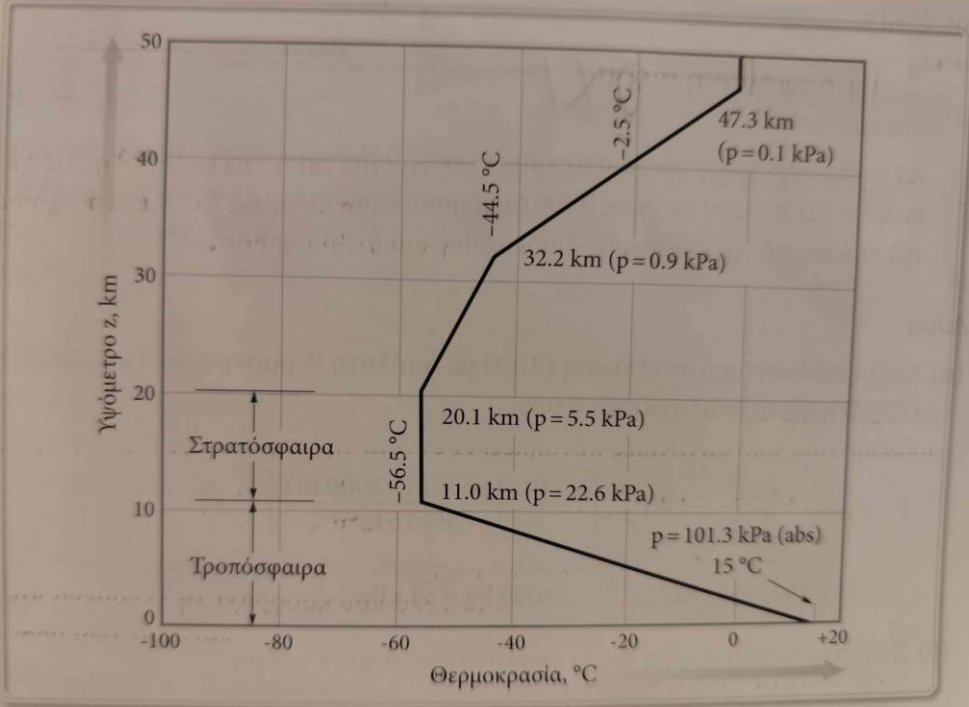
Πρότυπη ατμόσφαιρα

Θερμοβαθμίδα β:

$$T = T_{\alpha} - \beta z$$

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες της ατμόσφαιρας στο επίπεδο της θάλασσας.

Ιδιότητα	Μονάδες στο SI
Θερμοκρασία, T	288.15 K (15 °C)
Πίεση, p	101.33 kPa (απόλυτη)
Πυκνότητα, ρ	1.225 kg/m ³
Ειδικό βάρος, γ	12.014 N/m ³
Ιξώδες, μ	1.789 · 10 ⁻⁵ Ns/m ²



$$p_2 = p_0 \left[1 - \frac{\beta z}{T_0} \right]^{g/R\beta}$$

Σχήμα 2.6. Μεταβολή της θερμοκρασίας με το υψόμετρο στην ατμόσφαιρα

Δ.3.5. Μέτρηση πίεσης

Properties of the U.S. Standard Atmosphere (SI Units)^a

Altitude (m)	Temperature (°C)	Acceleration of Gravity, g (m/s ²)	Pressure, <i>p</i> [N/m ² (abs)]	Density, ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)
-1,000	21.50	9.810	1.139 E + 5	1.347 E + 0	1.821 E - 5
0	15.00	9.807	1.013 E + 5	1.225 E + 0	1.789 E - 5
1,000	8.50	9.804	8.988 E + 4	1.112 E + 0	1.758 E - 5
2,000	2.00	9.801	7.950 E + 4	1.007 E + 0	1.726 E - 5
3,000	-4.49	9.797	7.012 E + 4	9.093 E - 1	1.694 E - 5
4,000	-10.98	9.794	6.166 E + 4	8.194 E - 1	1.661 E - 5
5,000	-17.47	9.791	5.405 E + 4	7.364 E - 1	1.628 E - 5
6,000	-23.96	9.788	4.722 E + 4	6.601 E - 1	1.595 E - 5
7,000	-30.45	9.785	4.111 E + 4	5.900 E - 1	1.561 E - 5
8,000	-36.94	9.782	3.565 E + 4	5.258 E - 1	1.527 E - 5
9,000	-43.42	9.779	3.080 E + 4	4.671 E - 1	1.493 E - 5
10,000	-49.90	9.776	2.650 E + 4	4.135 E - 1	1.458 E - 5
15,000	-56.50	9.761	1.211 E + 4	1.948 E - 1	1.422 E - 5
20,000	-56.50	9.745	5.529 E + 3	8.891 E - 2	1.422 E - 5
25,000	-51.60	9.730	2.549 E + 3	4.008 E - 2	1.448 E - 5
30,000	-46.64	9.715	1.197 E + 3	1.841 E - 2	1.475 E - 5
40,000	-22.80	9.684	2.871 E + 2	3.996 E - 3	1.601 E - 5
50,000	-2.50	9.654	7.978 E + 1	1.027 E - 3	1.704 E - 5
60,000	-26.13	9.624	2.196 E + 1	3.097 E - 4	1.584 E - 5
70,000	-53.57	9.594	5.221 E + 0	8.283 E - 5	1.438 E - 5
80,000	-74.51	9.564	1.052 E + 0	1.846 E - 5	1.321 E - 5

^aData abridged from *U.S. Standard Atmosphere*, 1976, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Standard Atmosphere:

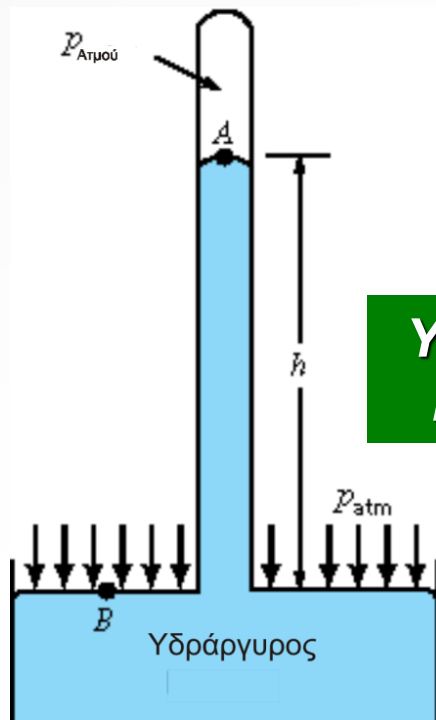
- Μέση πίεση, πυκνότητα, θερμοκρασία κ.λ.π. ατμοσφαιρικού αέρα για διάφορα υψόμετρα (υψόμετρα σε σχέση με μέση στάθμη θάλασσας)
- Μέση συμπεριφορά της ατμόσφαιρας σε διάφορα ύψη

Δ.3.5. Μέτρηση πίεσης

Απόλυτη και Σχετική Πίεση

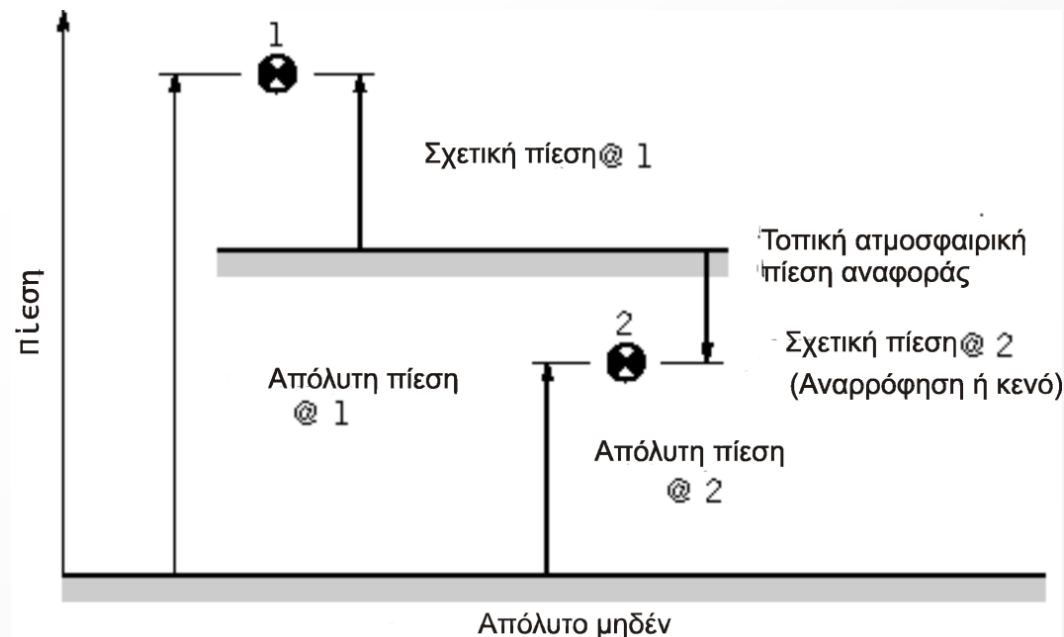
ΑΠΟΛΥΤΗ Ή ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

$$p_{\text{σχετ.}} + p_{\text{atm, τοπική}} = p_{\text{απόλυτη}}$$



Υδραργυρικό Βαρόμετρο

- **Μέτρηση Ατμοσφαιρικής Πίεσης:**
 - Υδραργυρικό βαρόμετρο
 - $p_{\text{atm}} = \gamma h + p_{\text{vapor}}$ ($p_v=0$ πρακτικά)
- $p_{\text{vapor}} = 0.000023 \text{ lb/in}^2 \approx 0.15 \text{ Pa}$ (20°C)



Δ.3.5. Μέτρηση πίεσης

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.2

Κατανομή πυκνότητας νερού σε λίμνη (υπό την επίδραση του ήλιου)

$$\rho = \rho_0 \sqrt{1 + \tan^2 \left(\frac{\pi z}{4 H} \right)}$$

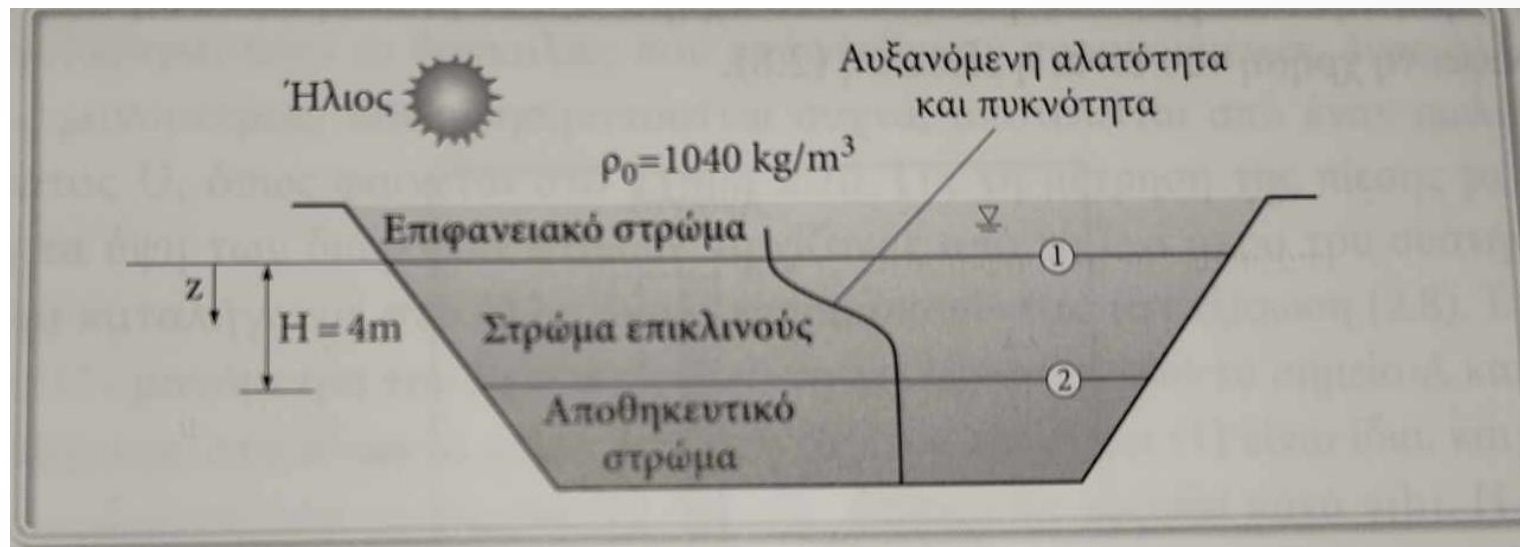
ρ_0 πυκνότητα στην ΕΕ

z κάθετη απόσταση νερού από την επιφάνεια (1) προς τα κάτω

H πάχος στρώματος επικλινούς της χαρακτηριστικής παραμέτρου (πυκνοκλινούς)

Να υπολογισθεί η **πίεση στο επίπεδο (2)** για $\rho_0 = 1040 \text{ kg/m}^3$, $H = 4\text{m}$

και πάχος επιφανειακού στρώματος $h_1 = 0.8\text{m}$



Δ.3.6. Μανόμετρα

Τύποι Μανομέτρων

Συνήθης τεχνική μέτρησης πίεσης: Χρήση στήλης υγρών μέσα σε κατακόρυφους ή κεκλιμένους σωλήνες

Μανόμετρα: Διατάξεις μέτρησης πίεσης με τον παραπάνω τρόπο



Διάφοροι τύποι μανομέτρων:

Πιεζομετρικός σωλήνας, Μανόμετρο τύπου U και κεκλιμένο μανόμετρο



Δ.3.6. Μανόμετρα

Πιεζομετρικός σωλήνας

Ρευστό ακίνητο:

$$p = \gamma h + p_0$$

Ανοικτός σωλήνας επάνω:

$p_0 = 0$ (χρησιμοποιούμε την
έννοια της σχετικής πίεσης)

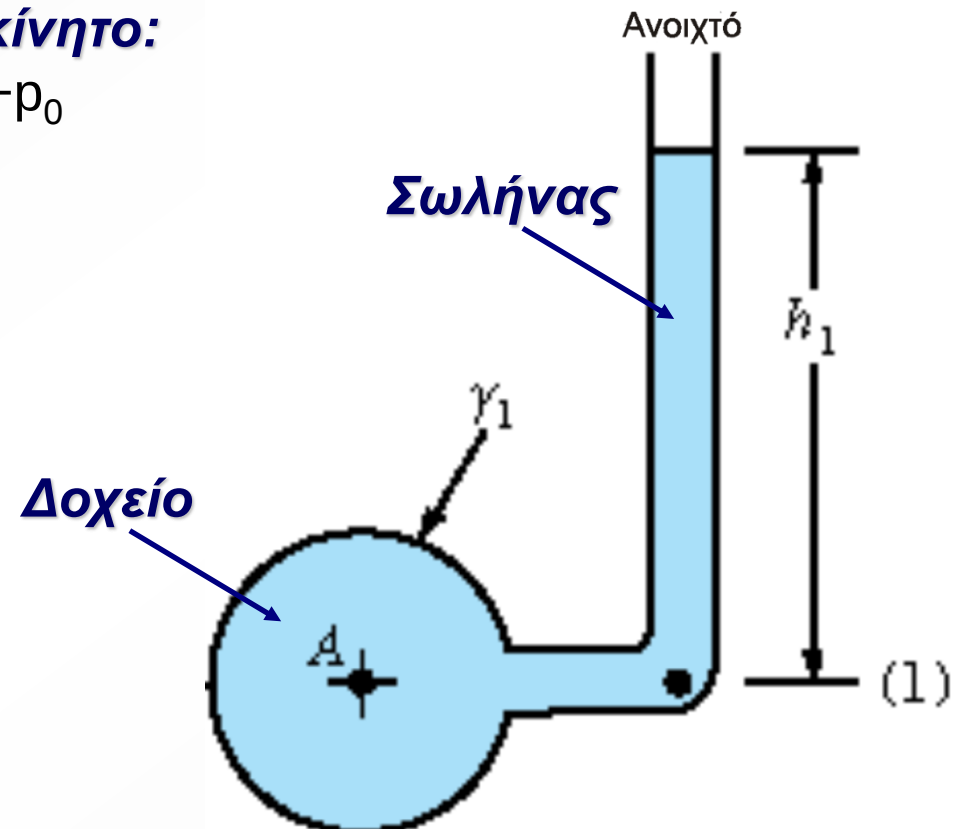
$$p_A = \gamma_1 h_1$$

$$p_A = p_1$$

Μειονεκτήματα:

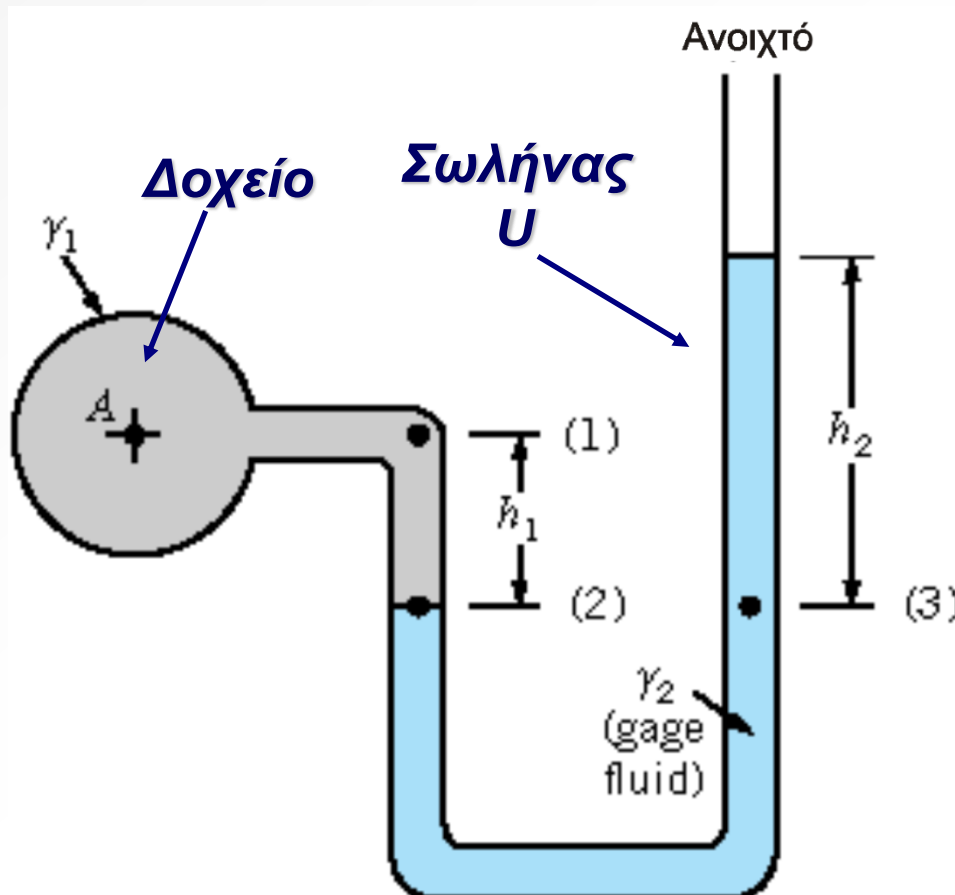
α) Πρέπει: $p_A > p_{\text{atm}}$

β) Σχετικά μεγάλη πίεση για την ακριβή μέτρηση του h_1 (όχι όμως πολύ μεγάλη, ώστε το ύψος του σωλήνα να είναι λογικό)



Δ.3.6. Μανόμετρα

Μανόμετρο τύπου U



*Το ρευστό του δοχείου
διαφορετικό από το
ρευστό μέτρησης
(ρευστό μανομέτρου)*

$$p_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 = 0 \Rightarrow$$

$$p_A = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1$$

Δ.3.6. Μανόμετρα

Παραδείγματα: Μανόμετρο τύπου U

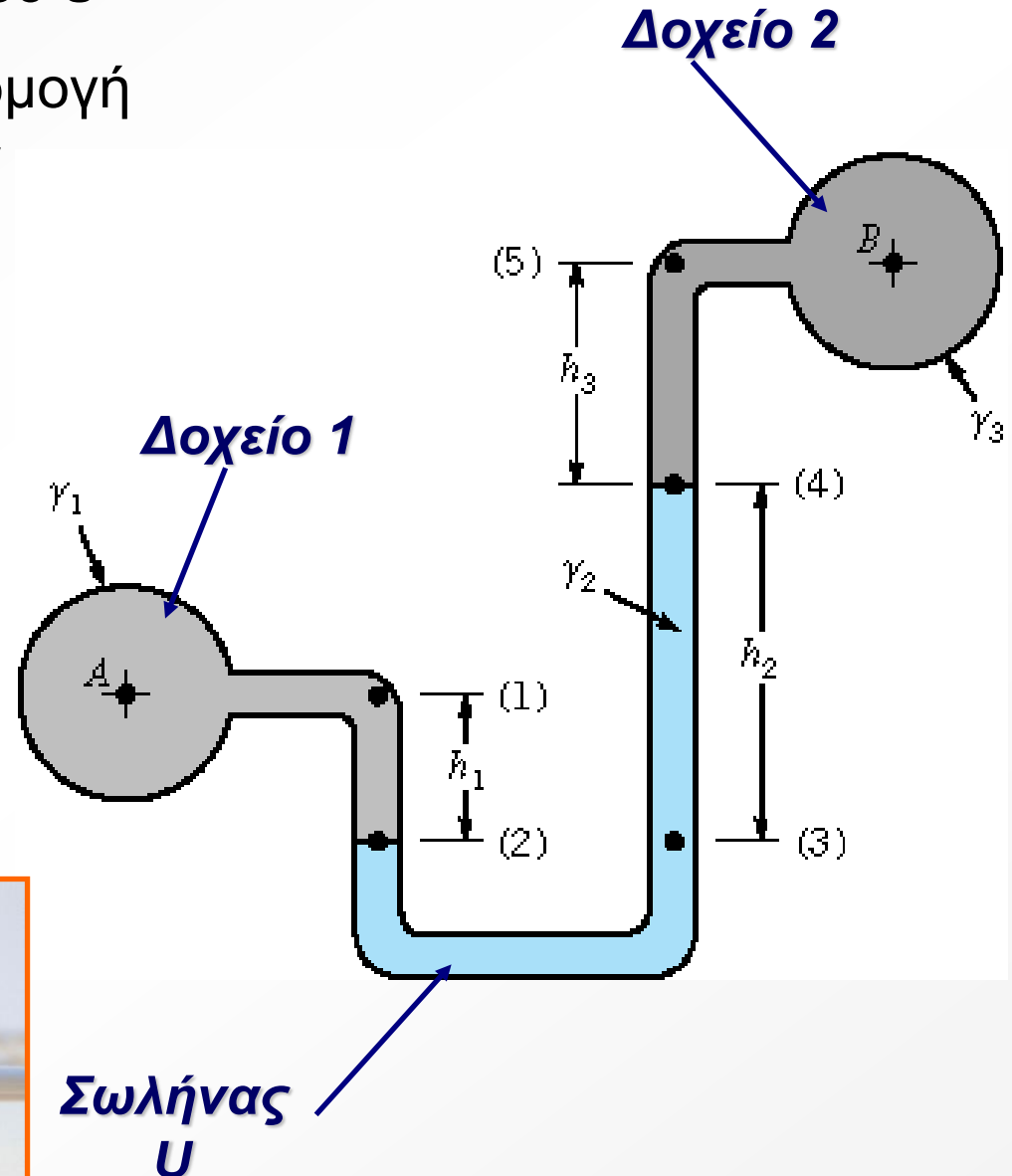
Μανόμετρα τύπου U: Εφαρμογή για εύρεση διαφοράς πίεσης μεταξύ δύο σημείων

Μέτρηση διαφοράς πίεσης μεταξύ A και B

$$p_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 - \gamma_3 h_3 = p_B$$

$$p_A - p_B = \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 - \gamma_1 h_1$$

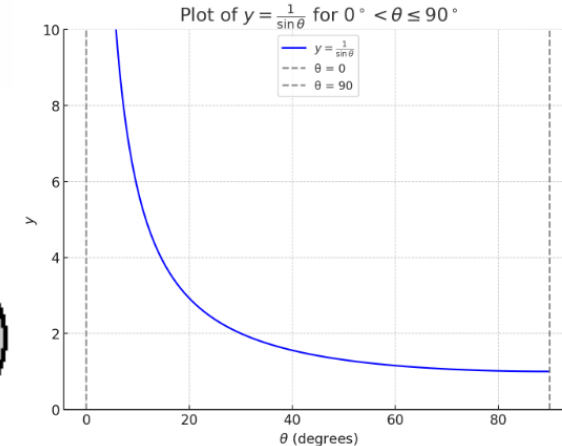
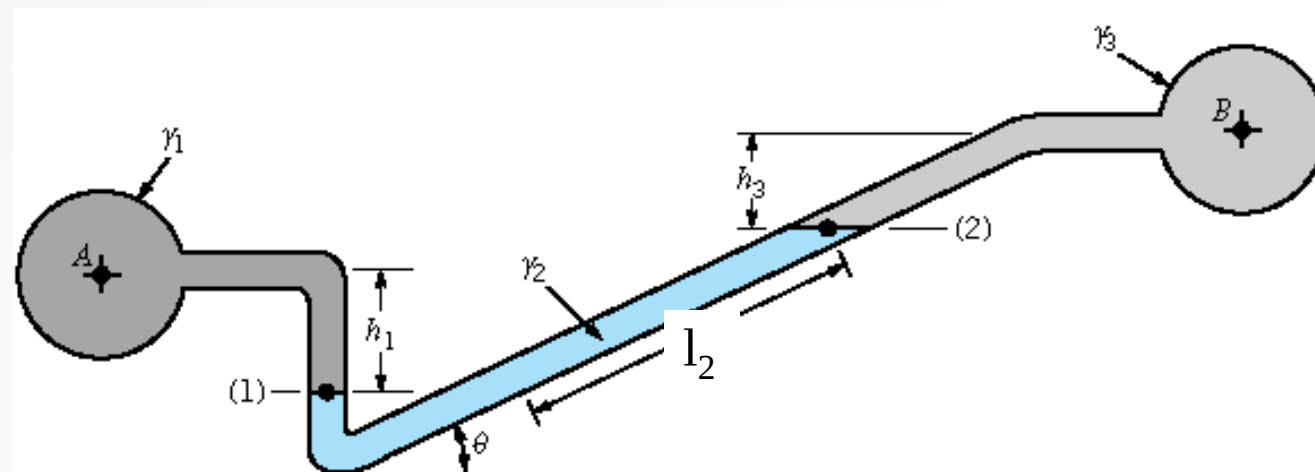
*** Επίδραση του μηνίσκου που δημιουργείται στη διεπιφάνεια υγρού – αερίου στη μέτρηση**



Δ.3.6. Μανόμετρα

Κεκλιμένο μανόμετρο

- Για **ακριβή** μέτρηση μικρών διαφορών πιέσεων



- Για αέρια:

$$\gamma_1 h_1 \rightarrow 0 \text{ και } \gamma_3 h_3 \rightarrow 0$$

$$p_A - p_B = \gamma_2 l_2 \sin \theta$$

$$l_2 = \frac{p_A - p_B}{\gamma_2 \sin \theta}$$

αύξηση του l_2 ανάλογα του $\frac{1}{\sin \theta}$

- Για υγρά:

$$p_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 l_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3 = p_B \Rightarrow$$

$$p_A - p_B = \gamma_2 l_2 \sin \theta + \gamma_3 h_3 - \gamma_1 h_1$$

Δ.3.6. Μανόμετρα

Παραδείγματα

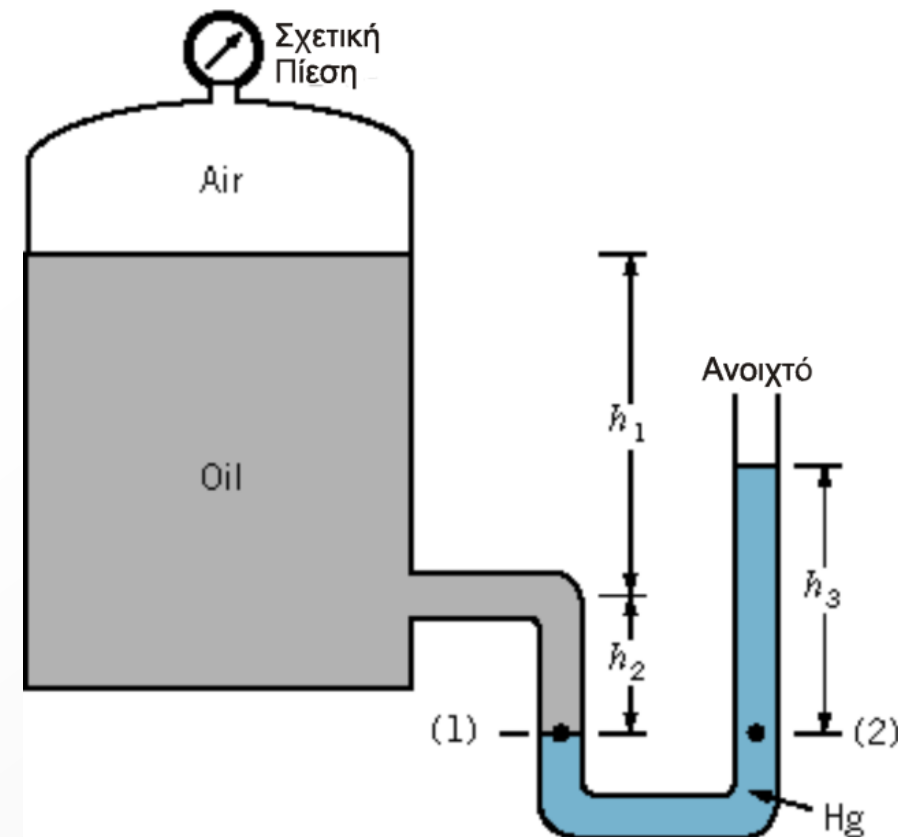
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1- Μανόμετρο

Ένα κλειστό δοχείο περιέχει αέρα υπό πίεση και υγρό με πυκνότητα 900 kg/m^3 . Ένα υδραργυρικό μανόμετρο τύπου U συνδέεται στο δοχείο όπως φαίνεται στο σχήμα.

Για $h_1=0.914\text{m}$, $h_2=0.152\text{m}$ και $h_3=0.228\text{m}$, να υπολογισθεί η πίεση του αέρα.

Λογική ακολουθία λύσης

Μαρκάρουμε το επίπεδο/σημείο εφαρμογής πίεσης υψηλότερου σημείου (περιοχή αέρα) και «ταξιδεύουμε» από «γνωστή» στάθμη σε στάθμη μέχρι κάθε διεπιφάνεια ρευστών υπολογίζοντας την αντίστοιχη ποσότητα $P=\gamma h$ και προσθέτοντας τις αλγεβρικά μέχρι το ανοιχτό στόμιο

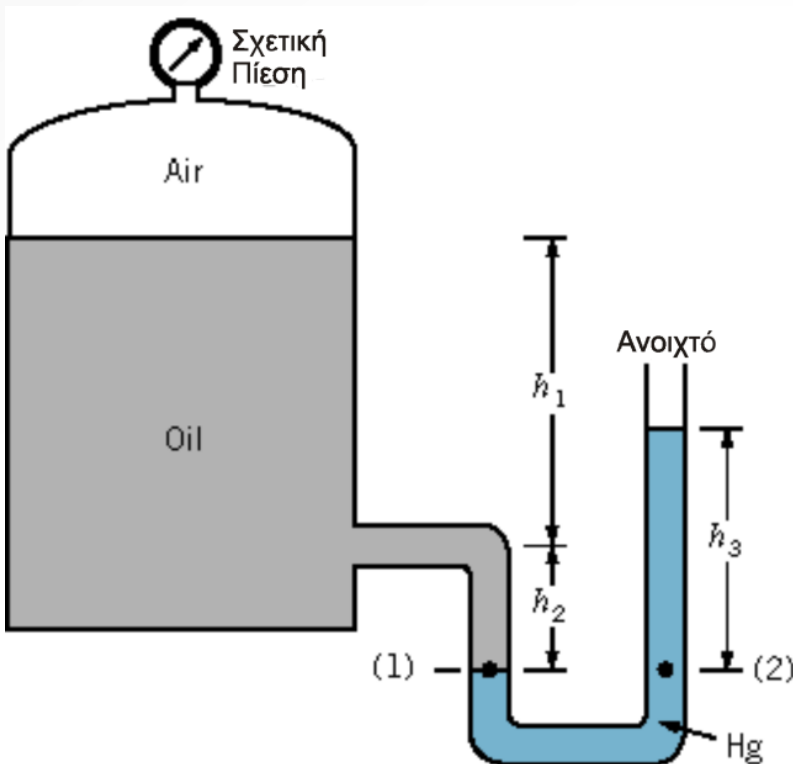


Δ.3.6. Μανόμετρα

Παραδείγματα

Λύση

Ακολουθώντας τη γενική μεθοδολογία των μανομέτρων, αρχίζουμε από την διεπιφάνεια αέρα-υγρού και καταλήγουμε στο ανοικτό άκρο του μανομέτρου.



$$p_{\text{αέρα}} + \gamma_{\text{υγρού}} (h_1 + h_2) - \gamma_{\text{υδραρ.}} h_3 = 0$$

$$p_{\text{αέρα}} + \rho_{\text{υγρού}} g (h_1 + h_2) - \rho_{\text{υδραρ.}} g h_3 = 0$$

$$p_{\text{αέρα}} + 900 * 9.81 * (0.914 + 0.152)$$

$$- 13600 * 9.81 * 0.228 = 0$$

$$p_{\text{αέρα}} = 21007 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)}$$

$$p_{\text{αέρα}} \approx 21 \text{ kPa}$$

Δ.3.6. Μανόμετρα

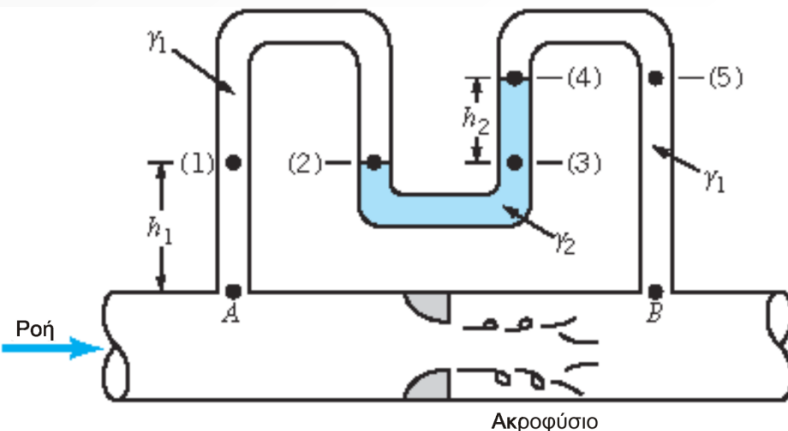
Παραδείγματα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - Μανόμετρο

Σε ένα σωλήνα η παροχή όγκου Q (m^3/s) μπορεί να προσδιορισθεί μέσω ενός ακροφυσίου όπως φαίνεται στο σχήμα. Το ακροφύσιο δημιουργεί μία πτώση πίεσης στο σωλήνα $p_A - p_B$ και η παροχή μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση $Q = K(p_A - p_B)^{0.5}$ ($K = \text{σταθερά}$). Η μέτρηση της πτώσης πίεσης γίνεται μέσω ενός μανόμετρου τύπου U. Να προσδιορισθεί η εξίσωση για την $p_A - p_B$ σαν συνάρτηση των γ_1 , γ_2 και h_2 .

Ξεκινάμε από σημείο A και καταλήγουμε στο σημείο B.

Λύση



$$p_A - \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 + \gamma_1 (h_1 + h_2) = p_B$$

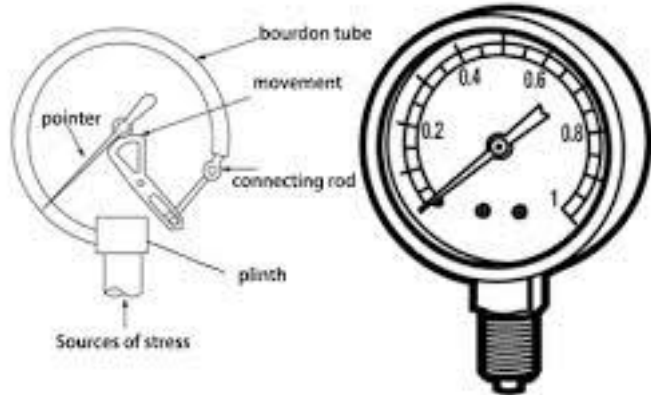
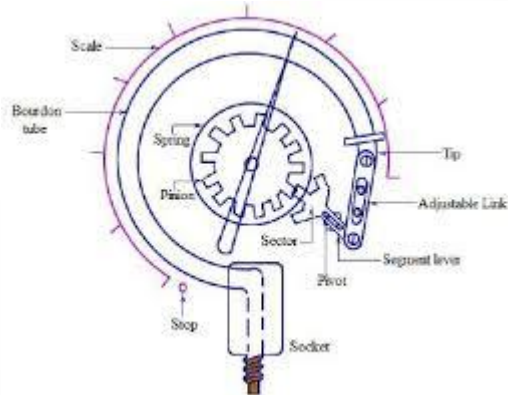
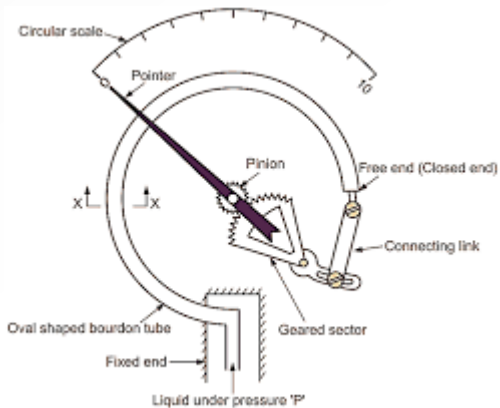
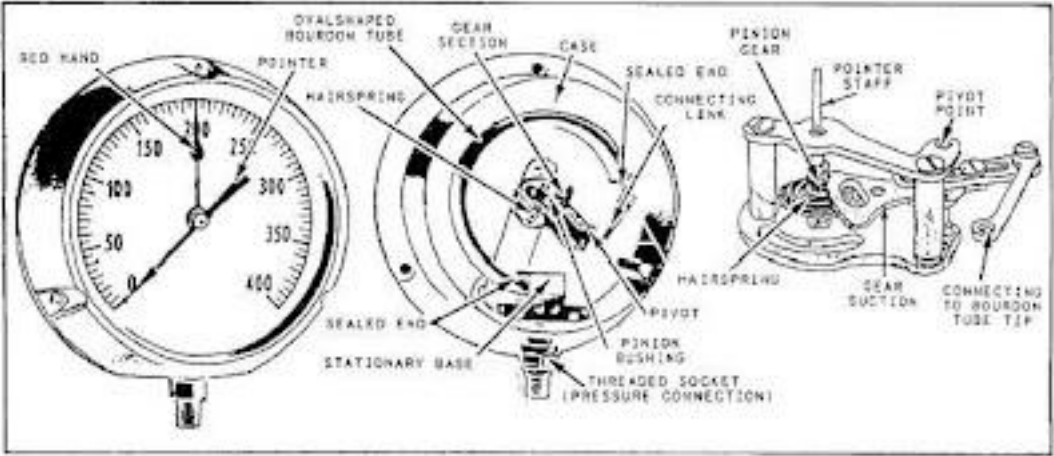
$$p_A - p_B = h_2 (\gamma_2 - \gamma_1)$$

* Όπως φαίνεται η πτώση πίεσης εξαρτάται **μόνο** από το ύψος h_2 και όχι από το h_1 . Όσο ψηλά και να τοποθετήσουμε το μανόμετρο ($h_1 = 0.5\text{m}$ ή $h_1 = 5\text{m}$) η ένδειξη h_2 παραμένει η ίδια.

Δ.3.7. Όργανα μέτρησης πίεσης

Μηχανικά και ηλεκτρονικά όργανα

Μετρητής πίεσης Bourdon



Δ.3.14. Ασκήσεις

Πρίνος Π. «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-419-4.

Βιβλίο [41963463]

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

2.2 σελ. 55-56

2.3 σελ. 60

2.4 σελ. 60-61

2.5 σελ. 62-63

Δ.3. Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 1

1. Πρίνος Π. «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2014, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-419-4. Βιβλίο [41963463]
2. Κωτσοβίνος Ν. «ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ», 2008, Εκδόσεις ΣΠΑΝΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ, ISBN 978-960-6653-34-6. Βιβλίο [833]
3. Γκανούλης Ι. «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ», 2007, ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ, ISBN 978-960-8731-8-6. Βιβλίο [14945]

Μεταφρασμένη στα ελληνικά Βιβλιογραφία διαθέσιμη από ΕΥΔΟΞΟ

4. Elger F. Donald - Williams C. Barbara - Crowe T. Clayton - Roberson A. John. Μηχανική Ρευστών. Επιμέλεια στα Ελληνικά: Μιχάλης Σπηλιώτης Βιβλίο [77106811]

