



Παράκτια Τεχνικά Έργα

ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ
ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ
Ενότητα 2^η: Αρχική Διάλυση

Γιάννης Ν. Κρεστενίτης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ

Ενότητα 2^η: Αρχική Διάλυση



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Υπολογισμός της διάλυσης στο γειτονικό πεδίο-αρχική αραίωση

1. Πλούμιο σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.
2. Πλούμιο σε στρωματωμένο και ακίνητο περιβάλλον.
3. Πλούμιο σε ομογενές και κινούμενο περιβάλλον.

Αναλυτικές λύσεις

UNEP: “Guidelines for the computations concerning marine outfall systems for liquid effluents”
UNEP/WG.125/8/2-11-85

4. Πλούμιο σε στρωματωμένο και κινούμενο περιβάλλον.
- Δεν υπάρχει αναλυτική λύση.



Οριζόντια Εκροή από μια οπή σε ομογενή και ακίνητο αποδέκτη

Εξισώσεις Gederwell

$$S_c = 0.54 F_o (0.38 \frac{z}{D F_o} + 0.66)^{5/3} \quad \text{για } z/D \geq 0.5 F_o$$

$$S_c = 0.54 F_o^{9/16} (z/D)^{7/16} \quad \text{για } z/D < 0.5 F_o$$

$$F = [u / [g * D * (\rho_a - \rho_o) / \rho_o]]^{1/2}$$

y : το βάθος που βρίσκεται η θυρίδα εκροής

F : πυκνομετρικός αριθμός Froude

D : η διάμετρος εκροής

ρ_a : η πυκνότητα του αποδέκτη

ρ_o : η πυκνότητα των λυμάτων

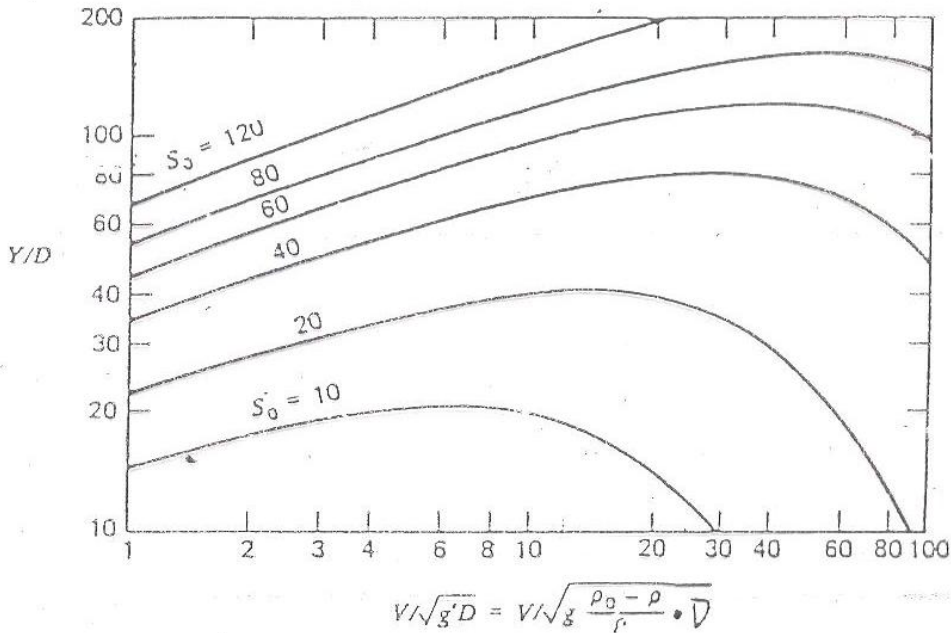
Γραφική απεικόνιση \equiv Διάγραμμα Abraham

$$S_o = \sigma(y/D, F)$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Το διάγραμμα Abraham ισχύει **μόνον** για ακίνητο και ομογενή αποδέκτη και εφόσον ο άξονας εκροής είναι παράλληλος στην ελεύθερη επιφάνεια



Διάγραμμα Abraham



Ισαριθμικές καμπύλες επιφανειακής διάλυσης

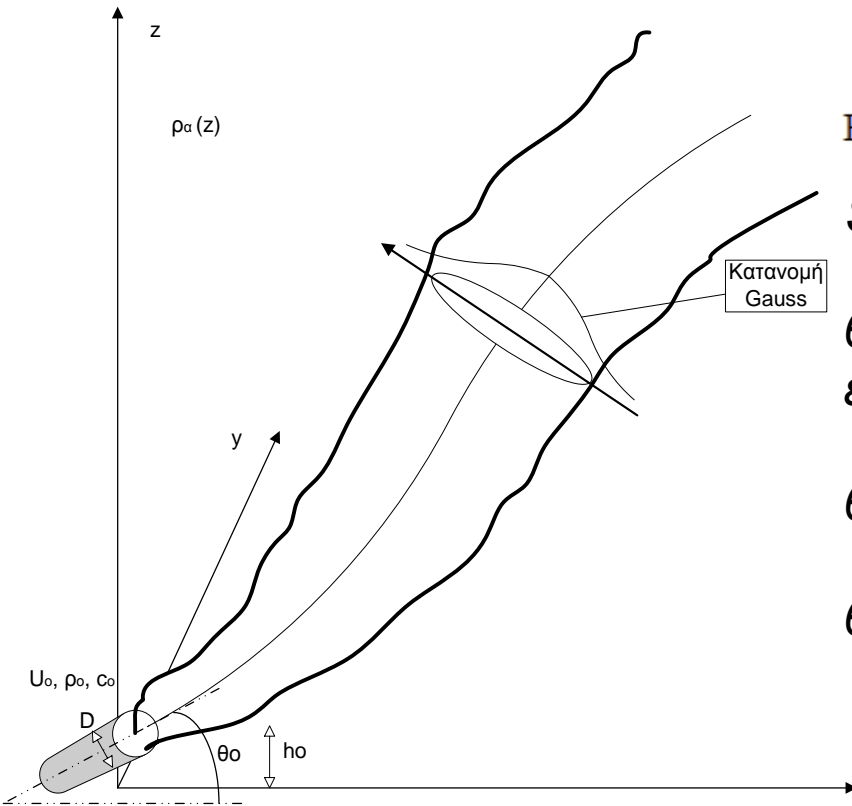
Αύξηση του F ➔ μείωση S_0

Αύξηση y ➔ αύξηση S_0

Μείωση D ➔ αύξηση S_0 (και αλλαγή F)



Εκροή από μια οπή



$$F_0 = U_0 / \sqrt{g'D}$$

$$S_c = S_m = f(z/D, g', F)$$

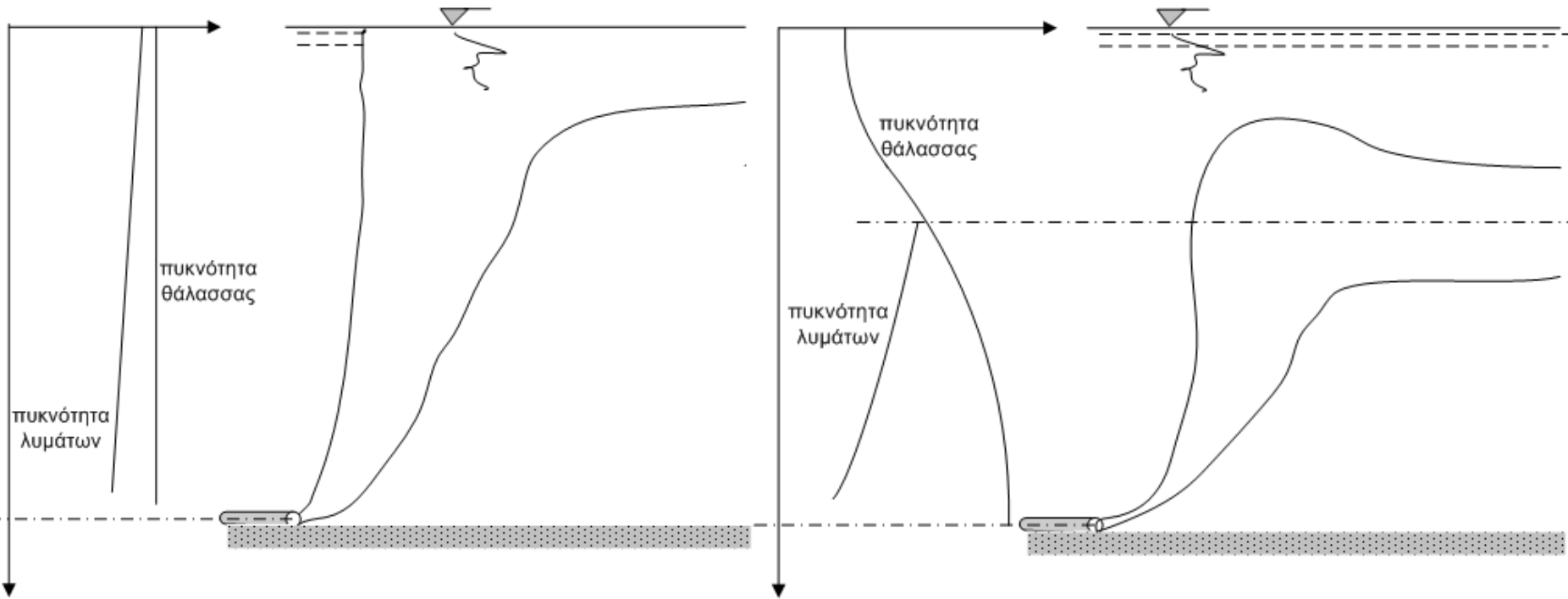
θ = γωνία άξονα εκροής ως προς την ελεύθερη επιφάνεια

$$\theta = 90^\circ, \quad S_c = 0.11(z/D)^{5/3} F_0^{-2/3} = 0.11J^{1/3} z^{5/3} / Q$$

$$\theta = 0^\circ, \quad S_c = 0.54F_0 \left(0.38 \frac{z}{DF_0} + 0.66\right)^{5/3} \quad \text{για } z/D \geq 0.5F_0$$



Ελεύθερο και παγιδευμένο πλούμιο



Ελεύθερο πλούμιο (αριστερά) σε ομογενή θάλασσα (σταθερή στο βάθος πυκνότητα).
Παγιδευμένο πλούμιο (δεξιά) σε θάλασσα με μεταβλητή στο βάθος κατανομή της πυκνότητας.



Πλούμιο σε στρωματωμένο και ακίνητο περιβάλλον

$$d\rho_\alpha/d_z = \text{σταθερή}$$

$$z_{\max} = 3.98J^{1/4} \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_\alpha}{dz} \right)^{-3/8}$$

$$S_c = 0.071 \frac{J^{1/3} z_{\max}}{Q}$$

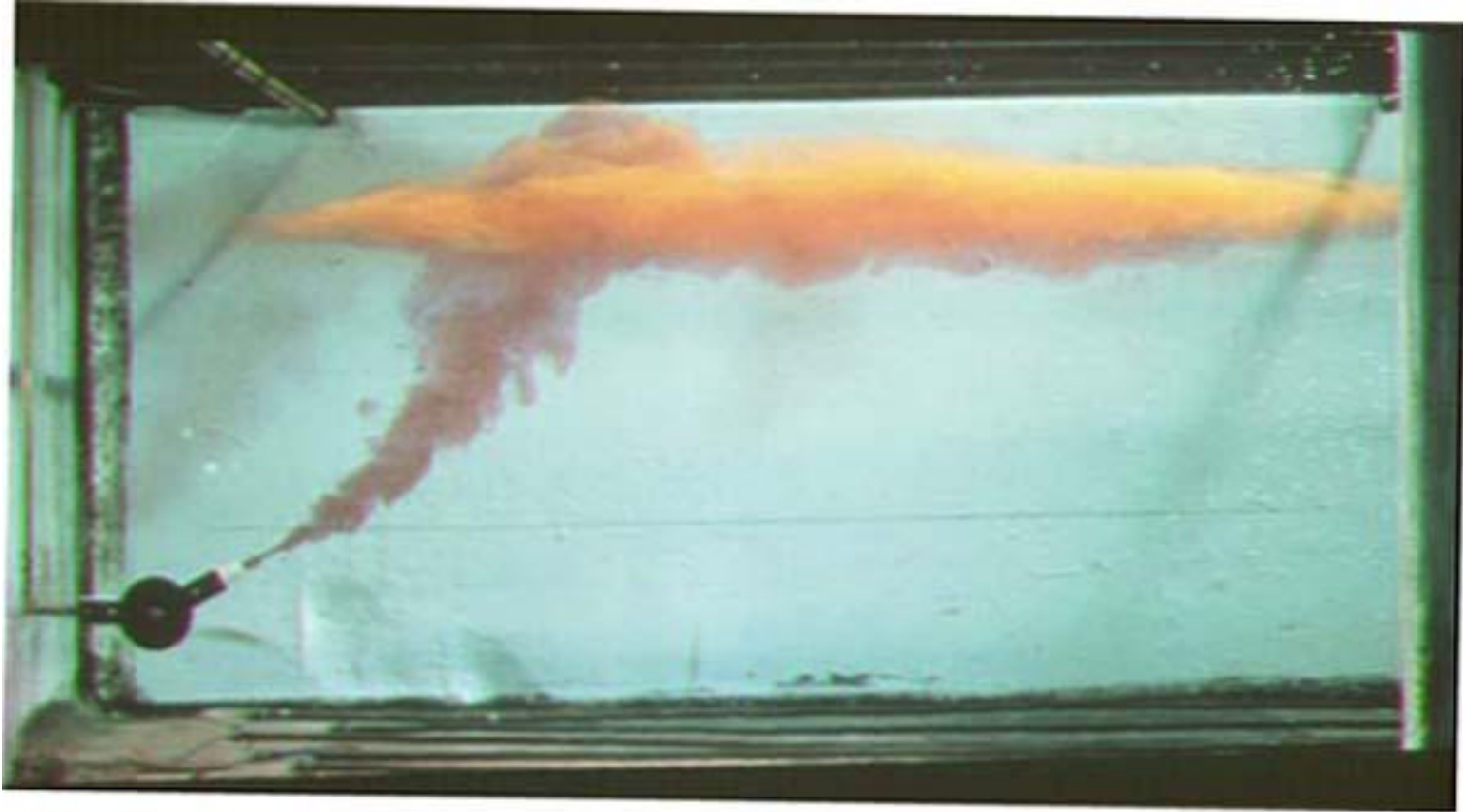
z_{\max} : το ύψος τ... έση του στομίου εκροής)
 ρ_1 = η πυκνότητα του αποδέκτη στη θέση εκροής

$\frac{d\rho_\alpha}{dz}$ = γραμμική μεταβολή της πυκνότητας του αποδέκτη

$$J = g' \cdot Q = g' \cdot U_o \pi D^2 / 4$$



Πλούμιο σε κινούμενο περιβάλλον (1/2)



Πειραματική διάταξη πλουμίου, από μια οπή, σε κινούμενο περιβάλλον



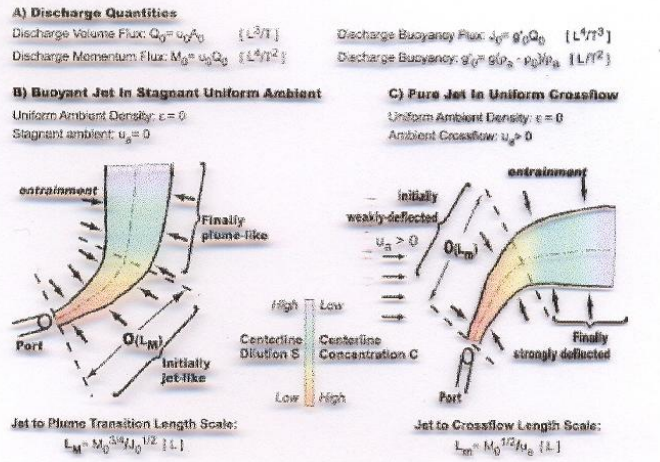
Πλούμιο σε κινούμενο περιβάλλον (2/2)



Επιφανειακό αποτύπωμα πλουμίου, από μια οπή, σε κινούμενο περιβάλλον



Κυλινδρική δέσμη



$$\theta = 90^\circ$$

$$S_c = 0.27 \frac{J^{1/3} z^{5/3}}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{z u_\alpha^3}{J} < 1$$

και

$$S_c = 0.40 \frac{u_\alpha z^2}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{z u_\alpha^3}{J} > 1$$

$$\theta = 0^\circ, z = H \text{ (επιφάνεια)}$$

$$S_m = 0.31 \frac{J^{1/3} H^{5/3}}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{H u_\alpha^3}{J} < 5$$

και

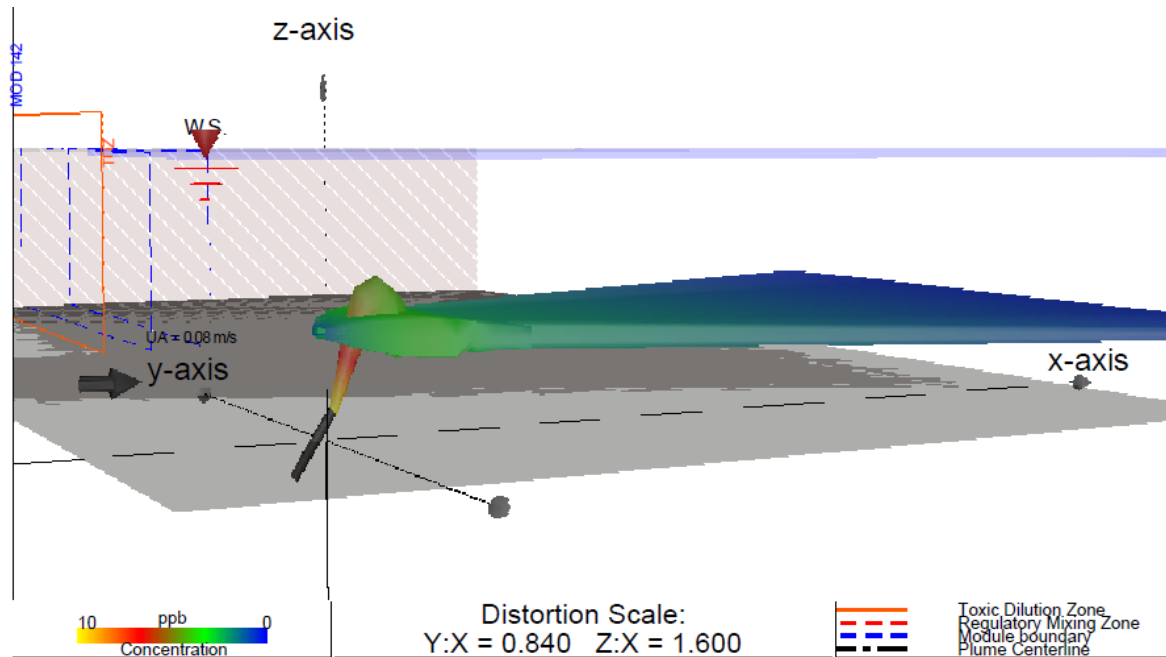
$$S_m = 0.32 \frac{u_\alpha H^2}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{H u_\alpha^3}{J} > 5$$

Όπου S_m : η ελάχιστη διάλυση στην επιφάνεια



Κυλινδρική δέσμη

- Κατακόρυφη εκροή σε γραμμικά στρωματωμένο περιβάλλον, παρουσία θαλασσίου ρεύματος.



$$z_{\max} = 1.8 \left(\frac{u_a}{\varepsilon^{1/2}} \right)^{2/3} \left(\frac{J}{u_a^3} \right)^{1/3}$$

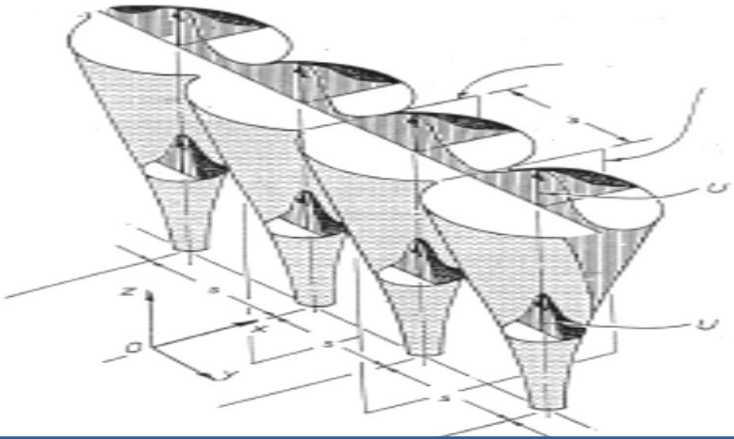
$$\frac{d\rho_a}{dz} = \text{στα}\theta$$

$$\varepsilon = \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right)$$

$$\rho_1 = \rho_a (z=0)$$



Γραμμική δέσμη – εκροή από διαχυτήρα



Τα λύματα που εξέρχονται από τα στόμια των ανυψωτήρων σχηματίζουν μια επιμήκη αξονοσυμμετρική ροή προς την επιφάνεια της θάλασσας που προσομοιώνεται με την εκροή από μια **γραμμική πηγή**, μήκους L_D και μέσης στο μήκος παροχής $q = Q / L_D$.

Ως μήκος **L_D του διαχυτήρα** λαμβάνεται το γινόμενο : $L_D = N \cdot s$ όπου N είναι το πλήθος των ανυψωτήρων (ανεξάρτητα αν έχουν 1 ή 2 στόμια εκροής) και s είναι η μεταξύ τους απόσταση.

Το **s λαμβάνεται ίσο με το $1/4$ του βάθους εκροής H** ($s = \Delta l = H/4$), για την αποφυγή αλληλεμπλοκής των φλεβών των διαφόρων ανυψωτήρων.



Γραμμική δέσμη- εκροή από διαχυτήρα

$$\begin{aligned}j &= g' q \\q &= Q/L_D \\g' &= g\Delta\rho/\rho_o \\ \Delta\rho &= \rho_\alpha - \rho_o\end{aligned}$$

ρ_o και ρ_α η πυκνότητα των λυμάτων και του περιβάλλοντος
αποδέκτη

u_o = η ταχύτητα εκροής (που υποτίθεται ότι είναι η ίδια σε κάθε
στόμιο εκροής)

H = το βάθος εκροής

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Μη εμφάνιση επανακυκλοφορίας

$$\frac{m}{j^{2/3}H} = \frac{0.54}{(1 + \cos^2\theta_o)}$$

$$m = ju_o$$

θ_o = η γωνία του στόμιου εκροής με το οριζόντιο επίπεδο



Γραμμική δέσμη- εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον

$$S_c = 0.38 \frac{j^{1/3} H}{q}$$

Η μέση διάλυση στην επιφάνεια της θάλασσας υπολογίζεται αν η ελάχιστη επιφανειακή διάλυση πολλαπλασιαστεί με $\sqrt{2}$

$$S_m = S_c \sqrt{2}$$



Γραμμική δέσμη- Γραμμικά στρωματωμένο περιβάλλον

Στην περίπτωση που στο θαλάσσιο περιβάλλον η πυκνότητα μεταβάλλεται με το βάθος, είναι δυνατόν να εμφανιστεί η περίπτωση του παγιδευμένου πλουμίου.

Το βάθος παγίδευσης μετρούμενο από τη στάθμη εκροής προς τη θαλάσσια επιφάνεια, υπολογίζεται από τη σχέση που ακολουθεί, με την παραδοχή της γραμμικής στρωμάτωσης:

$$z_{\max} = 2.84j^{1/3} \left(-\frac{g}{\rho_1} \cdot \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2}$$

Όπου ρ_1 η πυκνότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος στο βάθος εκροής, δηλαδή στο επίπεδο που βρίσκονται οι ανυψωτήρες

$$\rho_1 = \rho (z=0)$$

Η ελάχιστη διάλυση στο ύψος που θα φτάσει η γραμμική δέσμη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_c = 0.31 \frac{j^{1/3} z_{\max}}{q}$$

Το πάχος του στρώματος που καταλαμβάνουν τα διαλυμένα λύματα στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης (αν λόγω της στρωμάτωσης δεν είναι δυνατόν να φτάσουν στην επιφάνεια της θάλασσας) είναι περίπου το 40-50% του συνολικού βάθους (ή του βάθους παγίδευσης για την περίπτωση του παγιδευμένου πλουμίου)



Γραμμική δέσμη- Διάλυση στην περίπτωση ύπαρξης θαλάσσιων ρευμάτων

Αν στο θαλάσσιο περιβάλλον επικρατούν ρεύματα, σταθερής σε όλη τη θαλάσσια στήλη, ταχύτητας u_a , η διάλυση εξαρτάται και από την παράμετρο $\lambda = u_a^3/j$.

- i) Ομογενές θαλάσσιο περιβάλλον, αν ισχύει ότι $\lambda < 0.1$, η ελάχιστη επιφανειακή διάλυση δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του ρεύματος και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_m = 0.27 \frac{j^{1/3} H}{q}$$

Αντίθετα στην περίπτωση που $\lambda > 0.1$, η ελάχιστη διάλυση στη θαλάσσια επιφάνεια εξαρτάται αφενός από την ταχύτητα του ρεύματος u_a και αφετέρου από τη γωνία γ , που σχηματίζει η διεύθυνση u_a του ρεύματος με τον άξονα του διαχυτήρα και μπορεί να υπολογιστεί μόνον από το διάγραμμα του Roberts (1979)

$$S_m = S_a(u_a, \lambda, \gamma) \text{ και } 0 \leq \gamma \leq 90$$

Γραμμική δέσμη- Διάλυση στην περίπτωση ύπαρξης θαλάσσιων ρευμάτων

ii) Στρωματωμένο θαλάσσιο περιβάλλον Βάθος παγίδευσης:

$$z_{\max} = 2.6j^{1/3} \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2}$$
$$S_m = 0.37 \frac{j^{1/3} z_{\max}}{q}$$

Αν η ένταση του θαλάσσιου ρεύματος είναι σημαντική και $0.1 < \lambda < 100$, τότε το βάθος παγίδευσης και η ελάχιστη διάλυση στο ύψος αυτό, εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και τη γωνία του άξονα του διαχυτήρα με το ρεύμα.

Διαχυτήρας είναι τοποθετημένος κάθετα προς τη διεύθυνση του ρεύματος, δηλαδή $\gamma=90^\circ$, το βάθος παγίδευσης και η αντίστοιχη ελάχιστη διάλυση

ΥΠ:

$$z_{\max} = 2.5 \frac{j^{1/2}}{u_a^{1/2}} \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2} \text{ (έσεις:)}$$

$$S_m = \frac{0.4j^{1/3} z_{\max} \lambda^{1/6}}{q} (2.19\lambda^{1/6} - 0.52)$$



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

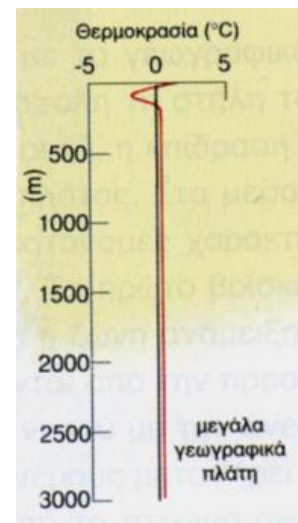
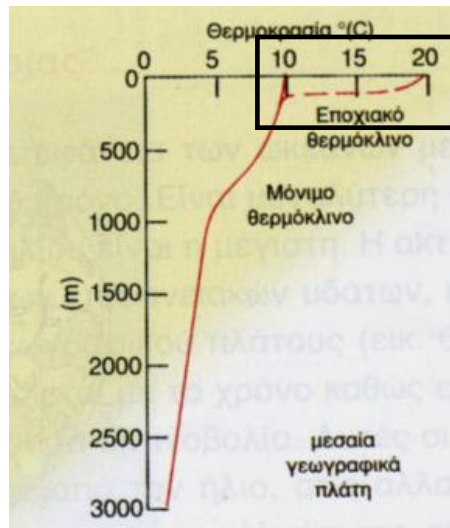
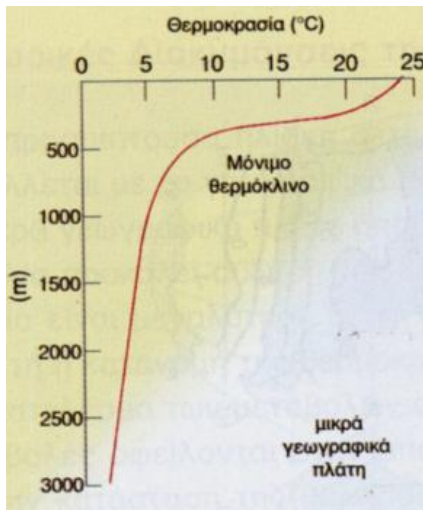
Φυσικές παράμετροι θαλασσίων μαζών



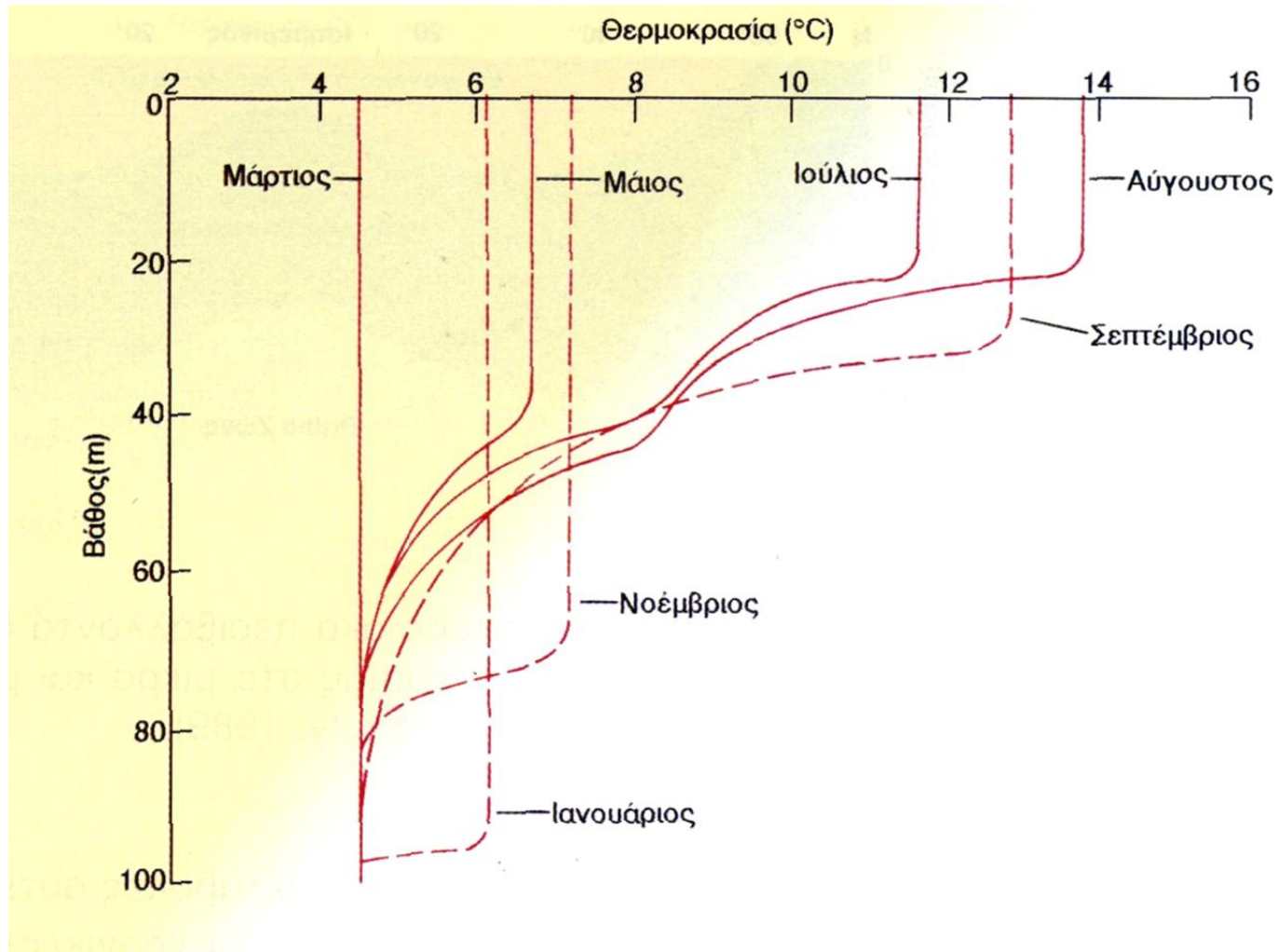
Θερμοκρασία

Εκφράζεται συνήθως σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$).

- Η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από -2 έως 30°C .
- Μεταβολές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επιδρά στην κατανομή της θερμοκρασίας σε όλη την στήλη νερού.
- Η επίδραση αυτή δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή.
- Στα μικρά, μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη οι κατακόρυφες κατανομές μεταβάλλονται ως εξής:



Σχηματική εποχιακή κατανομή της θερμοκρασίας (σε μεσαία βάθη)



Φυσικές ιδιότητες των θαλάσσιων μαζών-αλατότητα

- Η αλατότητα εξαρτάται από την συγκέντρωση του νερού σε κατιόντα και ανιόντα, τα οποία κυρίως είναι προϊόντα της αποσάθρωσης των πετρωμάτων του φλοιού της γης και της εξαέρωσης από το εσωτερικό της.
- Psu (practical salinity units)
- $S(‰) = (g \text{ διαλυμένων ιόντων} / 1kg \text{ θαλασσινού νερού}) \times 1000$
- 99‰ του θαλασσινού νερού έχει 33~37‰
- Μέση τιμή της αλατότητας στους ωκεανούς ~35‰
- Υφάλμυρα νερά έχουν αλατότητα <25‰
- Υπεράλμυρα νερά έχουν αλατότητα >40‰
- Περιοχές που επικρατούν ιδιαίτερες συνθήκες αλατότητας: Κλειστές θάλασσες και εκβολικά συστήματα, Ανοξικές λεκάνες, Περιοχές σχηματισμού πάγου, Περιοχές εναπόθεσης ασβεστούχων σκελετικών στοιχείων, περιοχές με υδροθερμικά διαλύματα, Περιοχές σχηματισμού ορυκτού άλατος, Ζώνη επαφής αέρα-θάλασσας, Παράκτιες περιοχές εντατικής χρήσης γης.



Καταστατική εξίσωση

Η πυκνότητα (kg/m^3) είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας.

- $\rho = \rho_o(1 - \alpha_T(T - T_o) + a_S(S - S_o))$

Πυκνότητα αναφοράς $\rho_o = 1.0 \times 10^3 \text{ Kg}/\text{m}^3$

- $\alpha_T = 1.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
- $a_S = 7.6 \times 10^{-4}$



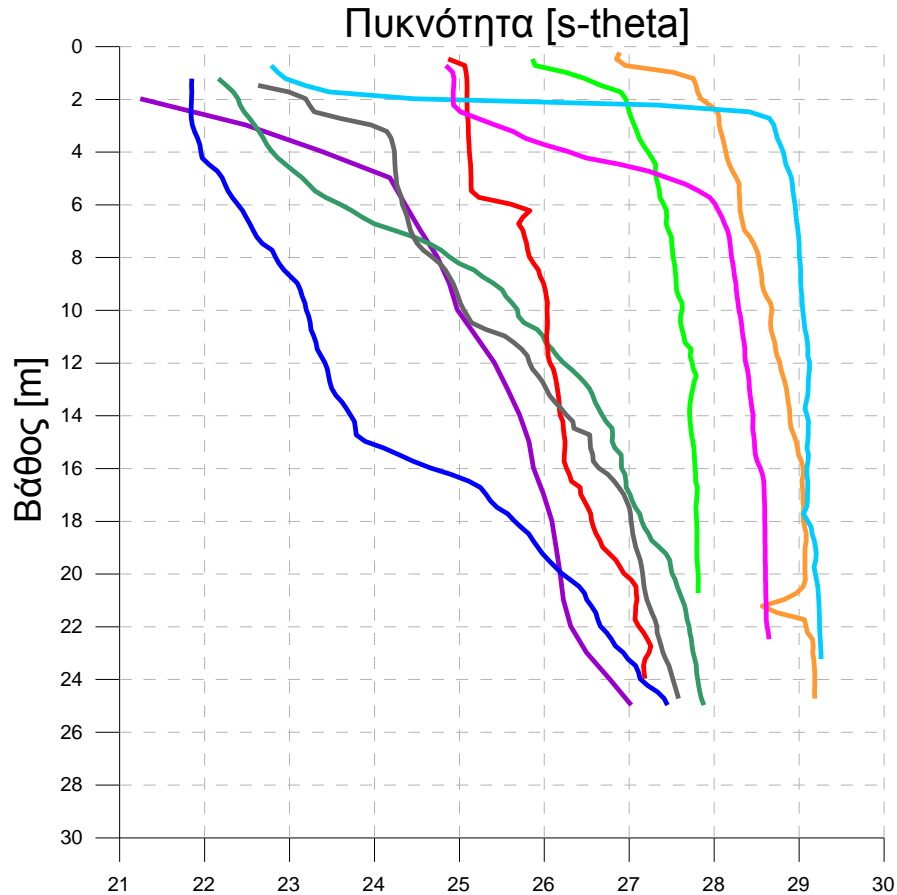
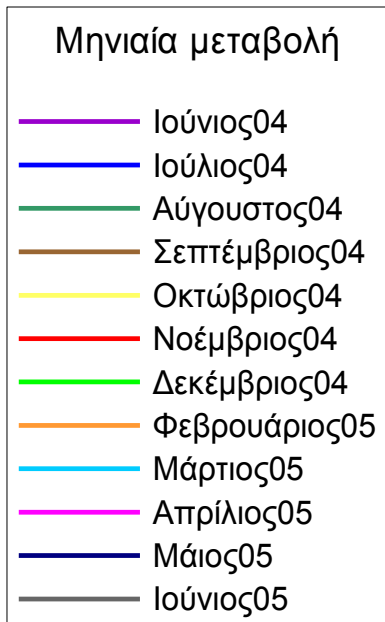
Πυκνότητα (1/2)

- Η κατανομή της πυκνότητας με το βάθος αυξάνει είτε μένει σταθερή (**ευσταθής κατανομή**).
- Η κατακόρυφη κατανομή της μοιάζει με το κατοπτρικό είδωλο της κατανομής της θερμοκρασίας.
- Στα μικρά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη το θερμόκλινο παράγει μια ζώνη απότομων μεταβολών της πυκνότητας, το πυκνόκλινο.
- Η πυκνότητα από μόνη της δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει μια υδάτινη μάζα, διότι διαφορετικοί συνδυασμοί θερμοκρασίας και αλατότητας μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την ίδια πυκνότητα.
- Τα επιφανειακά ύδατα που είναι λιγότερο πυκνά από τα υποκείμενα στρώματα παραμένουν στην επιφάνεια.
- Όταν το νερό δεν έχει την ίδια πυκνότητα με την αύξηση του βάθους αναφερόμαστε στο φαινόμενο **στρωμάτωσης της υδάτινης στήλης**.
- Επιφανειακές υδάτινες μάζες, των οποίων η πυκνότητα αυξάνει (**αστάθεια** στην στήλης) βυθίζονται στα βάρη εκείνα που έχουν την αντίστοιχη πυκνότητα ώστε να προκύψει ευσταθής κατανομή.



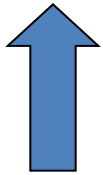
Μεταβολές πυκνότητας με το βάθος σε σταθμό

Σταθμός TP24

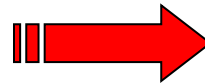


Πυκνότητα (2/2)

Θερμοκρασία



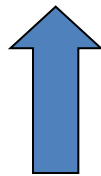
Αλατότητα



Προκαλεί μείωση της πυκνότητας

(επιφανειακή μείωση της πυκνότητας προσδίδει ευστάθεια στην υδάτινη στήλη, στρωματοποιημένη υδάτινη μάζα).

$$\rho = \rho_0 \{1 - \alpha_T (T - T_0) + \alpha_S (S - S_0)\}$$



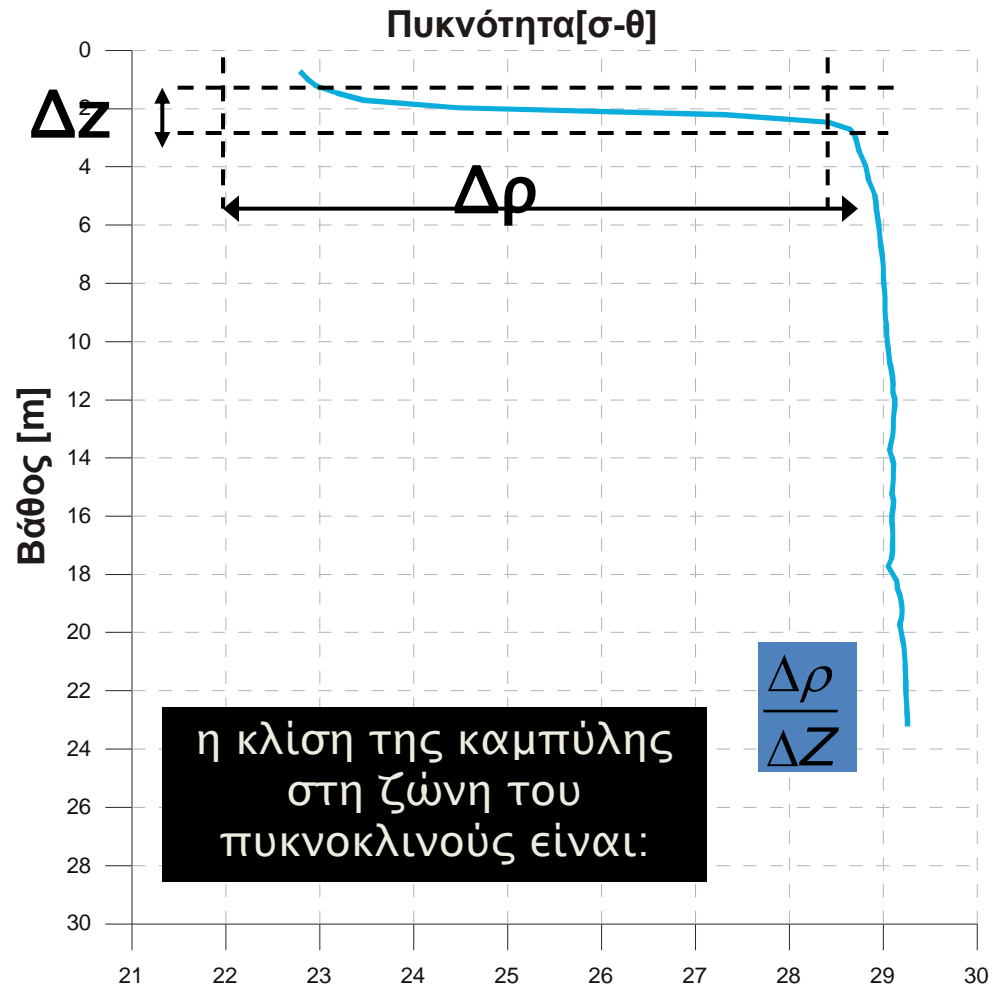
Προκαλεί αύξηση της πυκνότητας

(επιφανειακή αύξηση της πυκνότητας προκαλεί αστάθεια και καταβύθιση της βαρύτερης μάζας, σχηματισμός ομοιογενούς υδάτινης μάζας).

Σε αναλογία με το θερμοκλινές για την αλατότητα και την πυκνότητα υπάρχει η ζώνη του αλοκλινούς και του πυκνοκλινούς αντίστοιχα.



Πυκνοκλινές



η κλίση της καμπύλης
στη ζώνη του
πυκνοκλινούς είναι:

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta Z}$$

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
- Γιάννης Ν. Κρεστενίτης, «Παράκτια Τεχνικά Έργα», Θεσσαλονίκη 2009, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις
- Φωτογραφικό αρχείο John Πανάγου



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κρεστενίτης Ιωάννης.
«Παράκτια τεχνικά έργα. Διάθεση υγρών στη θάλασσα. Υποβρύχιοι αγωγοί.
Αρχική Διάλυση». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη
δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS391/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

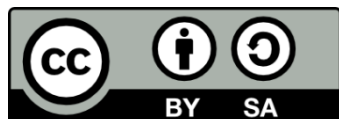
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Μαυρίδου Σοφία
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

