



Ακτομηχανική και λιμενικά έργα

Διάλεξη 12^η. Θαλάσσια ρεύματα, κυκλοφορία,
μετεωρολογική παλίρροια

Θεοφάνης Καραμπάς
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.



ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ (ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ)- ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

□ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

- ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
- ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ
- ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ
- ΡΕΥΜΑΤΑ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ
- ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ

□ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

□ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΝΕΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ:

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

1. Υδροδυναμικές φορτίσεις έργων (σπάνια στην Μεσόγειο).
2. Μεταφορά μαζών και διαλυμένων ρύπων, παράγοντας ανανέωσης και ρύθμισης της ποιότητας του θαλασσίου περιβάλλοντος.
3. Μεταφορά υλικού πυθμένα (ιζημάτων) και φερτών υλών, επίδραση στη μορφολογία των ακτών.
4. Διαφοροποιήσεις της στάθμης της επιφάνειας σε σχέση με την Μέση Στάθμη Ηρεμίας (ΜΣΗ), σημαντικός παράγοντας για σωστο σχεδιασμο τόσο του απαραίτητου βάθους πλεύσης εντός λιμενολεκάνης, όσο και της στεψης των παρακτιων τεχνικών έργων.



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ:

ΔΗΜΙΟΥΡΓΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

- Βαρυτικές διαφοροποιήσεις στις θαλάσσιες μάζες από την επίδραση κυρίως της Σελήνης, και δευτερευόντως του Ήλιου και των πλανητών. Περιοδική μετατόπιση μαζών και συνεπαγόμενα παλιρροιακά ρεύματα (κύρια περίοδος η 12ωρη). Επάλλαξη= ανώτατη πλήμμη - κατώτατη ρηχία.

→ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

- Άνεμος και ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια (μετεωρολογικές συνθήκες κατώτερης ατμόσφαιρας)

→ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ:

ΔΗΜΙΟΥΡΓΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

- Χωρικές διαφοροποιήσεις (βαθμίδες) της πυκνότητας του νερού, στρωμάτωση πυκνότητας που μπορεί να συνεπάγεται υδροδυναμική ευστάθεια ή αστάθεια).

→ ΡΕΥΜΑΤΑ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

- Κοντά στις ακτές, η διαμόρφωση των κυματισμών υπό την επίδραση των φυσικών διεργασιών της διάθλασης, περίθλασης και θραύσης.

→ ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

2. Γενικές εξισώσεις κυκλοφορίας

Για την περιγραφή των παραπάνω μεγεθών, στη γενική μορφή από μηχανική ρευστών, εξισώσεις Navier-Stokes για ασυμπίεστο ρευστό:

- Εξίσωση διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

- Εξίσωση ισοροπίας των δυνάμεων (εξίσωση ορμής)

$$\frac{Du_i}{Dt} = \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (-\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j}$$

τυρβώδεις τάσεις
Reynolds

$$\tau_{ij} = 2\mu\sigma_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

τάσεις λόγω μοριακού ιξώδους



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

3. Απλοποιητικές παραδοχές σχετικές με τη φύση των ροών

α. Οι οριζόντιες διαστάσεις των παράκτιων λεκανών [L] είναι πρακτικά πολύ μεγαλύτερες από το βάθος [d], $0[L] \gg 0[d]$, επομένως θεωρείται αμελητέα η κατακόρυφη συνιστώσα της ορμής - περίπου οριζόντιες ροές ($w=0$)

Άρα από εξίσωση ορμής κατά z προκύπτει υδροστατική κατανομή της πίεσης

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

β. Η συμμετοχή του φυσικού πεδίου στην περιστροφή της γης εισάγει τη δύναμη Coriolis στις εξισώσεις ισορροπίας των δυνάμεων κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις.

$$\vec{C} = -2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

Οι οριζόντιες συνιστώσες της δύναμης είναι:

$$C_x = f \cdot v, \quad C_y = f \cdot u,$$

όπου:

$$\text{με } f = 2\Omega \sin \phi$$

Ω = γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης,
 ϕ = γεωγραφικό πλάτος του πεδίου



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

γ. Οι ροές είναι γενικά τυρβώδεις με μεγάλους αριθμούς Reynolds. Εφαρμόζεται τεχνική «κλεισίματος της τύρβης» με την εισαγωγή τυρβώδους συντελεστή ιξώδους. Οι τάσεις λόγω μοριακού ιξώδους αμελητέες.

Οι τυρβώδεις τάσεις Reynolds, που προκύπτουν από τις εξισώσεις Navier-Stokes, εκφράζονται ως συνάρτηση του τυρβώδους συντελεστή ιξώδους και των κλίσεων των ταχυτήτων.

$$\left(-\overline{\rho u_i u_j}\right) = \rho E_{h,v} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)$$

Διάκριση των συντελεστών στο οριζόντιο E_h και κατακόρυφο επίπεδο E_v

$$\alpha = 0.001 - 0.01$$

$$E_h = a \cdot L^{4/3} \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

L χαρακτηριστική οριζόντια διάσταση σε cm

$$E_v = (1 + \alpha Ri)^{-\beta} \cdot \lambda \cdot u_* \cdot d$$

$$O[\lambda] = 0.1$$

$$O[\alpha], O[\beta] = 1$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

u_* : κρίσιμη ταχύτητα τριβής

$$Ri = \frac{\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$$

Ri : αριθμός Richardson



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

δ. Ισχύς της παραδοχής Boussinesq, ότι σε περίπτωση μη ομογενούς ρευστού η χωρική διαφοροποίηση της πυκνότητας λαμβάνεται υπ' όψη μόνο στον υπολογισμό της πίεσης.

4. Εξισώσεις κυκλοφορίας

- Εξίσωση διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \text{ή} \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{ή} \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

- Εξίσωση ισορροπίας των δυνάμεων κατά x (εξίσωση ορμής)

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + E_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_v \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

- Εξίσωση ισορροπίας των δυνάμεων κατά y (εξίσωση ορμής)

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu + E_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_v \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η πίεση, λόγω υδροστατικής κατανομής δίνεται από το ολοκλήρωμα

$$p = \int_z^0 \rho g dz + \bar{\rho} g \zeta$$

Οι οριζόντιες βαθμίδες της πίεσης γράφονται, π.χ στην διεύθυνση x

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \int_z^0 \rho g dz + \bar{\rho} g \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

βαροτροπικός όρος: επίδραση της κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας

βαροκλινικός όρος: επίδραση της ανομοιογένειας του ρευστού (κατανομή ρ με το βάθος)



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

5. Οριακές συνθήκες

- Ελεύθερη επιφάνεια: Επίδραση διατμητικών τάσεων λόγω ανέμου

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{sx}}{\rho} = C_s \cdot W_x \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

όπου W_x , W_y οι συνισταμένες της ταχύτητας του ανέμου και C_s συντελεστής τριβής

$$E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{sy}}{\rho} = C_s \cdot W_y \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$C_s = (1-3) \cdot 10^{-6}$$

- Πυθμένας: Επίδραση διατμητικών τάσεων πυθμένα

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{bx}}{\rho} = C_b \cdot u \cdot \sqrt{u^2 + v^2}$$

C_b συντελεστής τριβής $C_b = 0.001-0.01$

$$E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{by}}{\rho} = C_b \cdot v \cdot \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$u = 0, v = 0$$

- Όριο ακτών : $U_n = 0$ (μηδενισμός εγκάρσιας συνιστώσας)



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

6. Μορφή εξισώσεων για ολοκληρωμένη στο βάθος ροή

Για την αναγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου σε διδιάστατο γραμμένο ως προς τα μέσα κατά το βάθος μεγέθη U, V . Η εξίσωση συνέχειας ολοκληρώνεται προς το βάθος και με εφαρμογή του ορισμού των μέσων κατά το βάθος ταχυτήτων.

$$U = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 u dz, \quad V = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 v dz,$$

- Εξίσωση διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \Rightarrow \int_{-h}^0 \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_{-h}^0 \frac{\partial v}{\partial y} dz + \int_{-h}^0 \frac{\partial w}{\partial z} dz = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^0 u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^0 v dz + \left[[w]_{z=0} - [w]_{z=-h} \right] = 0 \Rightarrow$$

$$[w]_{z=0} = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

$$[w]_{z=-h} = 0$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} U h + \frac{\partial}{\partial y} V h = 0$$



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

6. Μορφή εξισώσεων για ολοκληρωμένη στο βάθος ροή

- Εξίσωση διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας)

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} U h + \frac{\partial}{\partial y} V h = 0$$

- Εξίσωση ισοροπίας των δυνάμεων κατά x (εξίσωση ορμής)

$$\frac{DU}{Dt} = \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + fV + E_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h}$$

- Εξίσωση ισοροπίας των δυνάμεων κατά y (εξίσωση ορμής)

$$\frac{DV}{Dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fU + E_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h}$$



ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

5. Οριακές συνθήκες

- Ελεύθερη επιφάνεια: Επίδραση διατμητικών τάσεων λόγω ανέμου

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{sx}}{\rho} = C_s \cdot W_x \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

όπου W_x , W_y οι συνισταμένες της ταχύτητας του ανέμου και C_s συντελεστής τριβής

$$E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{sy}}{\rho} = C_s \cdot W_y \cdot \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$C_s = (1-3) \cdot 10^{-6}$$

- Πυθμένας: Επίδραση διατμητικών τάσεων πυθμένα

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{bx}}{\rho} = C_b \cdot u \cdot \sqrt{u^2 + v^2}$$

C_b συντελεστής τριβής $C_b = 0.001-0.01$

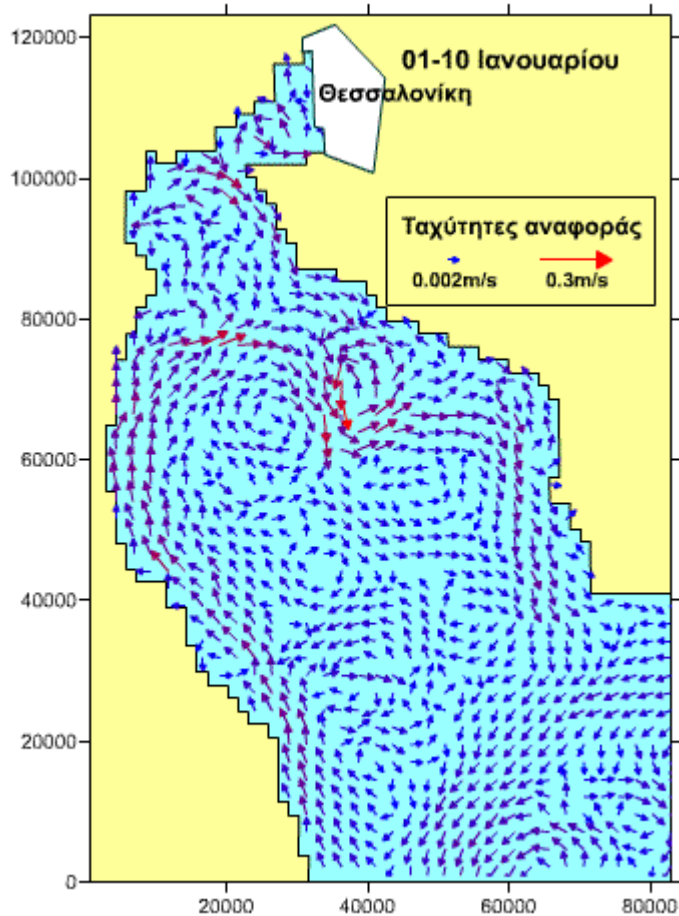
$$E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{by}}{\rho} = C_b \cdot v \cdot \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$u = 0, v = 0$$

- Όριο ακτών : $U_n = 0$ (μηδενισμός εγκάρσιας συνιστώσας)



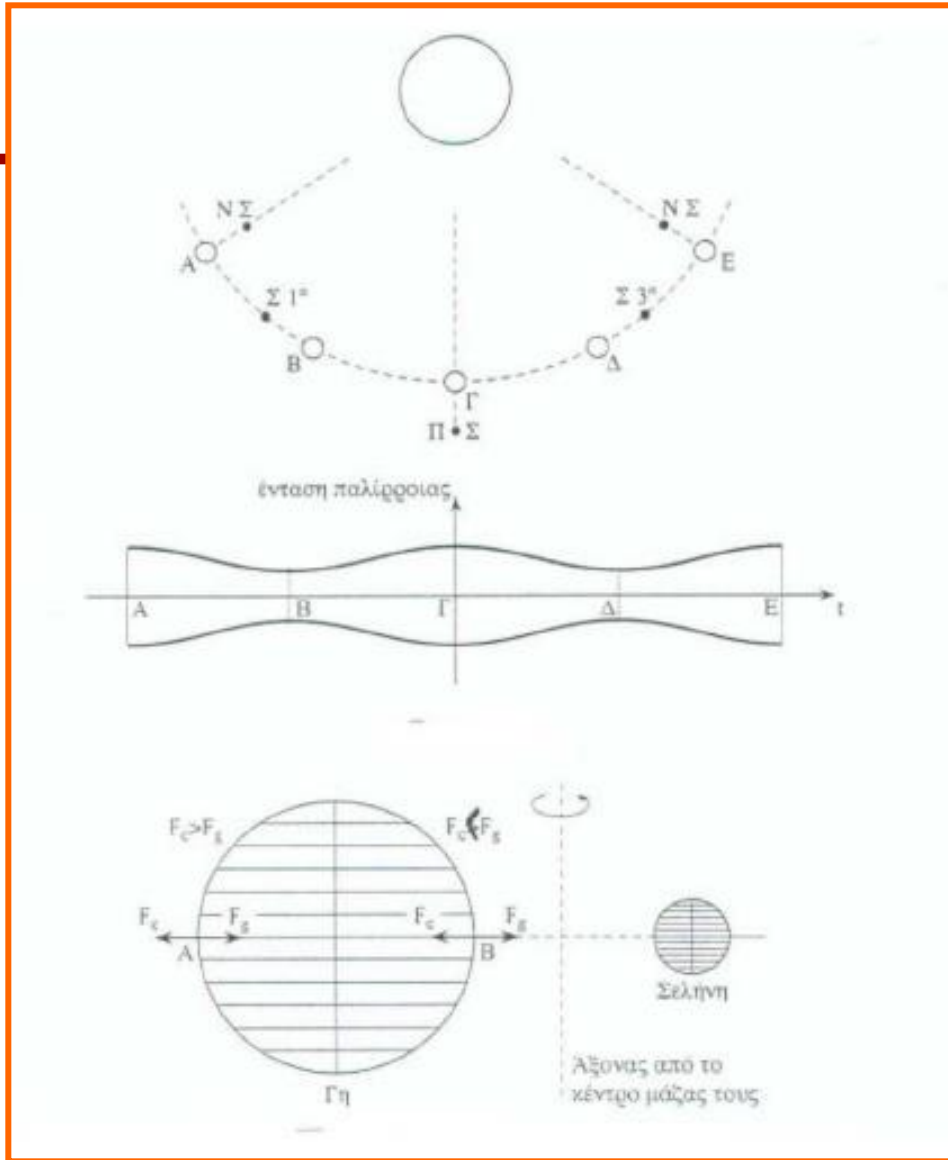
ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ



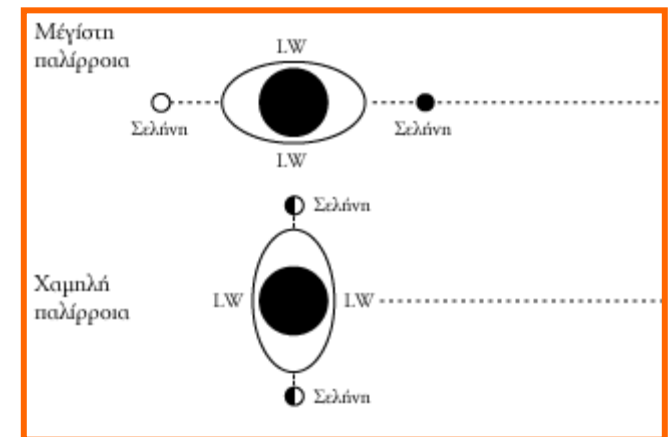
Παράδειγμα εφαρμογής μοντέλου κυκλοφορίας στον Θερμαϊκό Κόλπο (POM-Princeton Ocean Model)



ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ



Οφείλονται στην επίδραση των ουρανίων σωμάτων στην βαρυτική έλξη των θαλασσιών μαζών. Ειδικά για την επίδραση της σελήνης



Η επίδραση της σελήνης στην δημιουργία παλίρροιας



ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Στην ανοιχτή θάλασσα η επίδραση αυτή έχει τη μορφή ανόδου και καθόδου της στάθμης επιφανείας που για να ικανοποιηθεί χρειάζεται τη συμβολή μαζών από τις παράκτιες περιοχές. Εκεί η παλίρροια έχει τη μορφή μεταβολών στάθμης στο όριο ανοιχτής θάλασσας

$$\zeta_i = a \sin \omega t, \text{ όπου } \omega = \frac{2\pi}{T}, T: \text{περίοδος της παλίρροιας}$$

Σε παράκτια λεκάνη η παλιρροιακή διέγερση περιγράφεται με τη μορφή οριακής συνθήκης στο όριο “ανοιχτής θάλασσας” δηλαδή τη νοητή γραμμή που συνδέει την παράκτια λεκάνη από την ανοιχτή θάλασσα. Εκεί συνυπάρχει (επαλληλία) η προσπίπτουσα διέγερση από την ανοιχτή θάλασσα ζ_i καθώς και η ανακλώμενη από το εσωτερικό του πεδίου ζ_r

$$\zeta = \zeta_i + \zeta_r$$

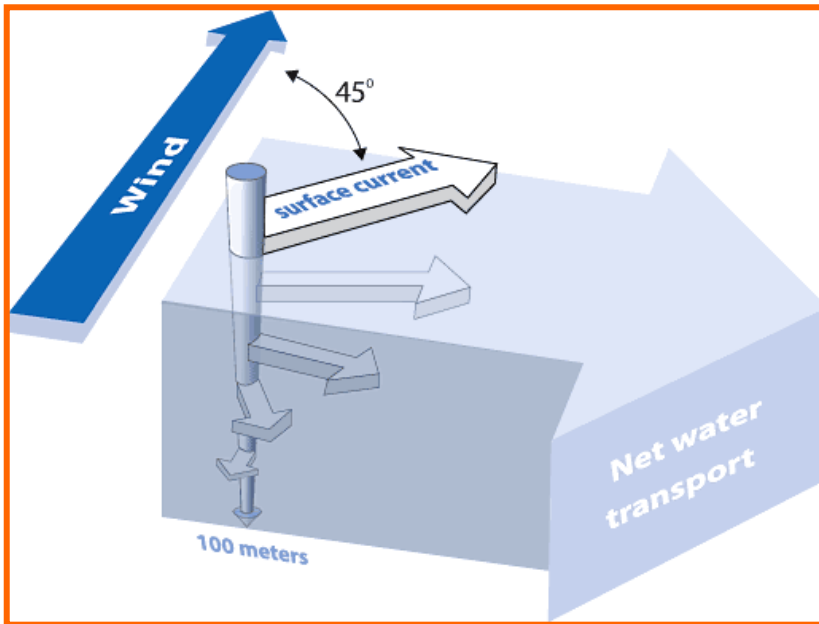
Εφαρμογή οριακής συνθήκης «ακτινοβολίας» για την ανακλώμενη διέγερση

$$\frac{\partial \zeta_r}{\partial t} + \sqrt{gh} \frac{\partial \zeta}{\partial n} \text{ όπου } n \text{ η κάθετη στο όριο διεύθυνση}$$



ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ

Προκαλούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας με τη μορφή ισχυρών δυνάμεων τριβής που συμπαρασύρουν τμήμα της στήλης του νερού λόγω των εσωτερικών τριβών (ιξώδες) σε κίνηση υπό γωνία ως προς την κατεύθυνση του ανέμου (λόγω της δύναμης Coriolis) δεξιόστροφα με τιμή $<45^\circ$ για το Β ημισφαίριο με τιμές ταχύτητας μειούμενες κατά το βάθος.



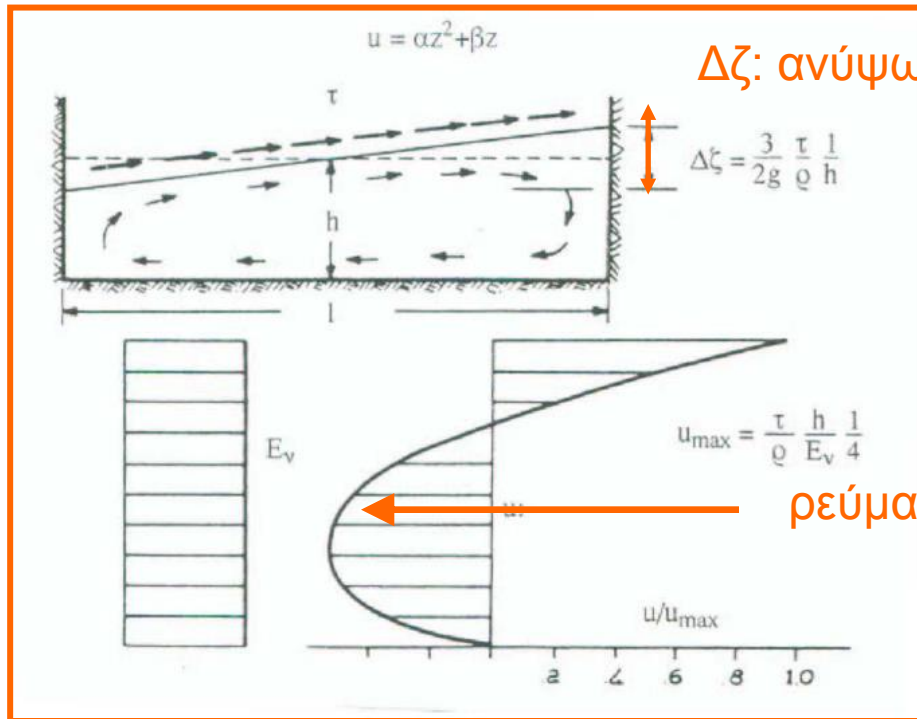
Η “σπείρα” που διαγράφεται από το άκρο του διανύσματος της ταχύτητας είναι γνωστή ως Ekman spiral και εκτείνεται σε βάθος περί τα 100m, με επιφανειακή τιμή της τάξης του 2-3% της ταχύτητας το ανέμου.

Η κατανομή του ανεμογενούς ρεύματος στην ανοιχτή θάλασσα



ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ

Δευτερογενώς λόγω της ανάσχεσης της ροής στα όρια ακτών, της συσσώρευσης μαζών νερού κοντά τους και την ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας αναπτύσσονται και ρεύματα “επιστροφής” που συνθέτουν μια πολύπλοκη κατά το βάθος κατανομή.



$\Delta \xi$: ανύψωση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας

ρεύμα επιστροφής

Διαμόρφωση του ανεμογενούς ρεύματος σε περιορισμένο πεδίο



ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ

Ακριβέστερη είναι η εφαρμογή του τρισδιάστατου μοντέλου.

Στην απλή περίπτωση επιμήκους κλειστής λεκάνης μήκους L , σταθερού βάθους d κάτω από τη δράση ανέμου ταχύτητας W και την παραδοχή παραβολικής κατανομής της ταχύτητας στο βάθος η αναλυτική λύση για την κατανομή της ταχύτητας και την ανύψωση της επιφάνειας στο άκρο της λεκάνης περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_s}{\rho} = C_s \cdot W^2 = u_*^2$$

Οριακή συνθήκη επιφάνειας

$$u = u_*^2 \cdot \frac{h}{2E_v} \cdot \frac{z}{h} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{z}{h} - 1 \right)$$

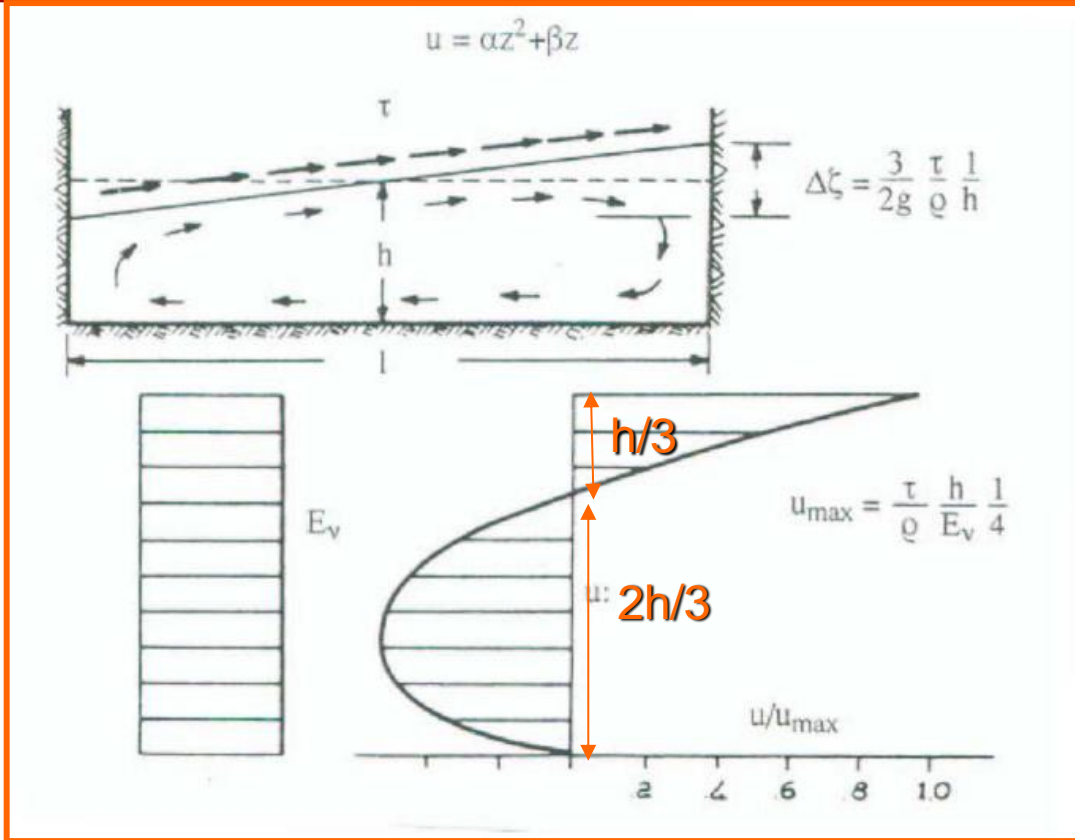
Παραβολική κατανομή της ταχύτητας

$$\Delta \zeta = L \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{\tau_s}{\rho g h}$$

Ανύψωση στάθμης ελεύθερης επιφάνειας



ΑΝΕΜΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ



Η επιφανειακή τιμή u_{\max} είναι της τάξης του 2-3% της ταχύτητας του ανέμου.

$$u_{\max} = \frac{\tau}{\rho} \cdot \frac{h}{E_v} \cdot \frac{1}{4}$$

$$u_{\max} = (0.02 - 0.03) \cdot W$$

Συντελεστής τυρβώδους ιζώδους

$$E_v = \frac{k}{4 \cdot (0.02 - 0.03)} \cdot W \cdot h = u_* \cdot h \frac{\sqrt{k}}{4 \cdot (0.02 - 0.03)}$$



ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

Φαινόμενο επίδρασης του ανέμου και των βαροβαθμίδων στις μάζες παράκτιων λεκανών. Σε περιπτώσεις περιορισμένων πλευρικά λεκανών με μικρό βάθος, αποτέλεσμα της παρατεταμένης αυτής επίδρασης είναι η συσσώρευση μαζών στις ακτές και η υπερύψωση της ΜΣΗ του νερού.

Ουσιαστικά ισχύει η περιγραφή του μοντέλου ανεμογενούς κυκλοφορίας με τη συμπλήρωση των όρων των βαθμίδων πίεσης από τις αντίστοιχες βαθμίδες ατμοσφαιρικής πίεσης.

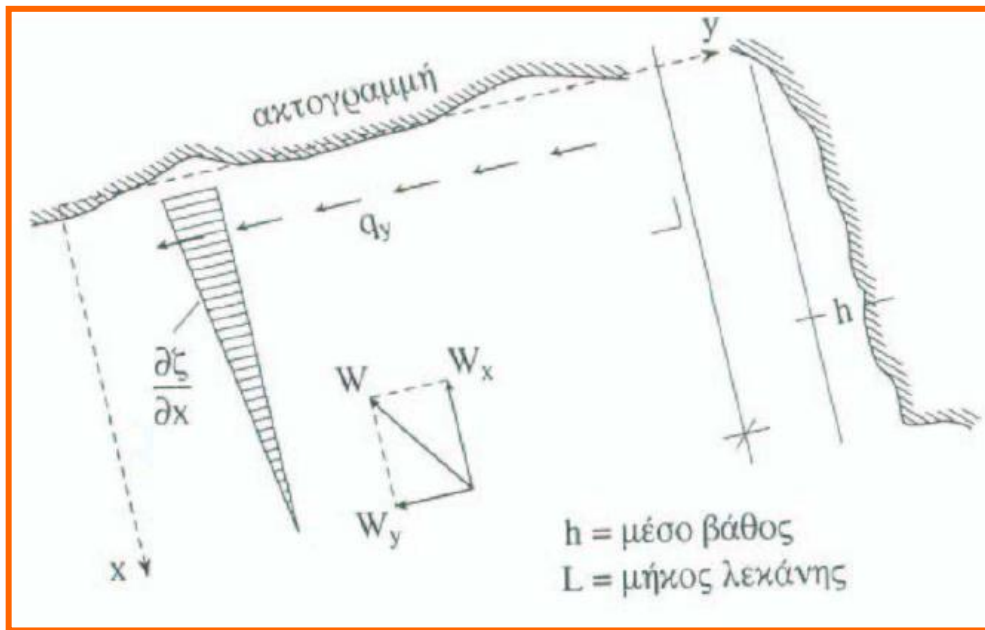
Αντιστοιχία ατμοσφαιρικής πίεσεως και ισοδύναμου στήλης νερού

$1\text{mb} = 1\text{cm}$ στήλης νερού



ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

Στην περίπτωση περίπου ευθύγραμμης ακτής, σε έκταση μήκους L κάθετα στην ακτή με μέσο βάθος h , η δράση ανέμου με συνιστώσες W_x , W_y (οι άξονες O_x , O_y πρέπει να σχηματίζουν δεξιόστροφο σύστημα και ο O_x είναι κάθετος στην ακτή) συνεπάγεται παράκτια κυκλοφορία και μεταβολή της στάθμης στην ακτή (μετεωρολογική παλίρροια).



Ειδικές παροχές

$$q_x = Uh, \quad q_y = Vh$$

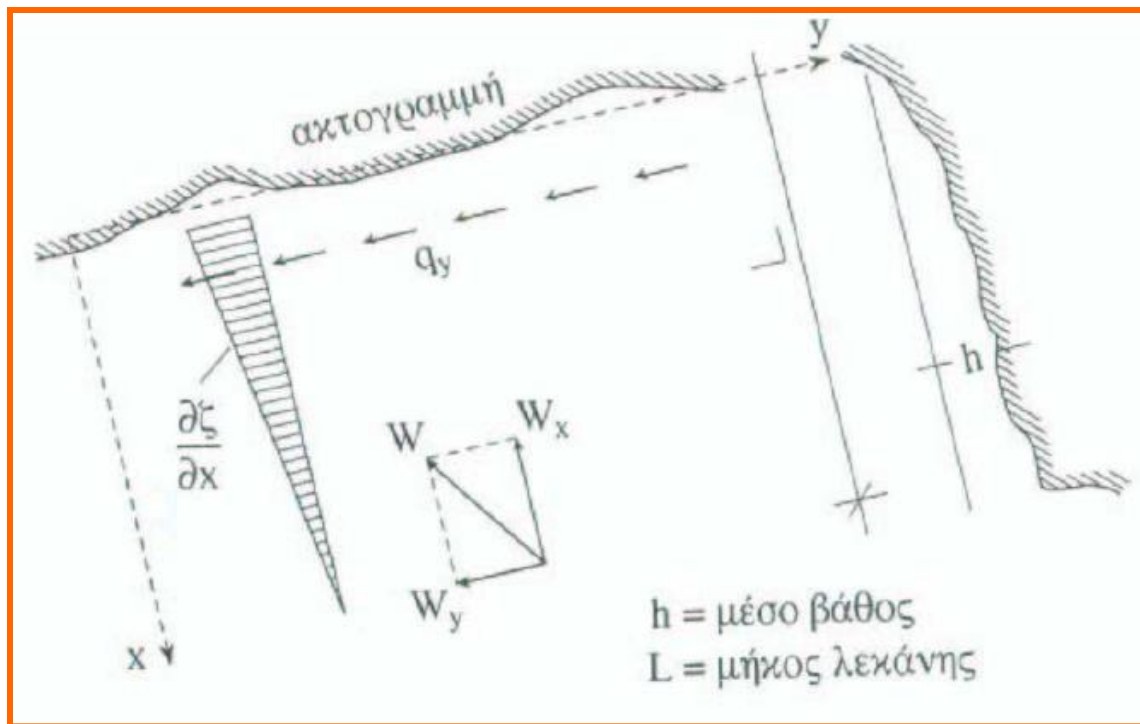
Μόνιμη ροή

Συμβολισμοί για την περιγραφή της μετεωρολογικής παλίρροιας

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

$$gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = fq_y + kWW_x - gh \frac{\partial \zeta_{atm}}{\partial x}$$

$$0 = kWW_y - C_b \frac{q_y}{h^2}$$



Ειδικές παροχές

$$q_x = Uh, \quad q_y = Vh$$

Μόνιμη ροή

Συμβολισμοί για την περιγραφή της μετεωρολογικής παλίρροιας



ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ

$$gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = fq_y + kWW_x - gh \frac{\partial \zeta_{atm}}{\partial x}$$

$$0 = kWW_y - C_b \frac{q_y}{h^2}$$

Με δεδομένα τα στοιχεία του ανέμου W_x , W_y το μέσο βάθος h , την έκταση του πεδίου L και την τυχόν ύπαρξη ατμοσφαιρικών βαθμίδων $\partial \zeta_{atm} / \partial x$ επιλύεται η δεύτερη ως προς q_y και σε συνέχεια υπολογίζεται η βαθμίδα $\partial \zeta / \partial x = \Delta \zeta / L$, για την εκτίμηση της μεταβολής στάθμης $\Delta \zeta$ στην ακτή.



ΑΣΚΗΣΗ 4

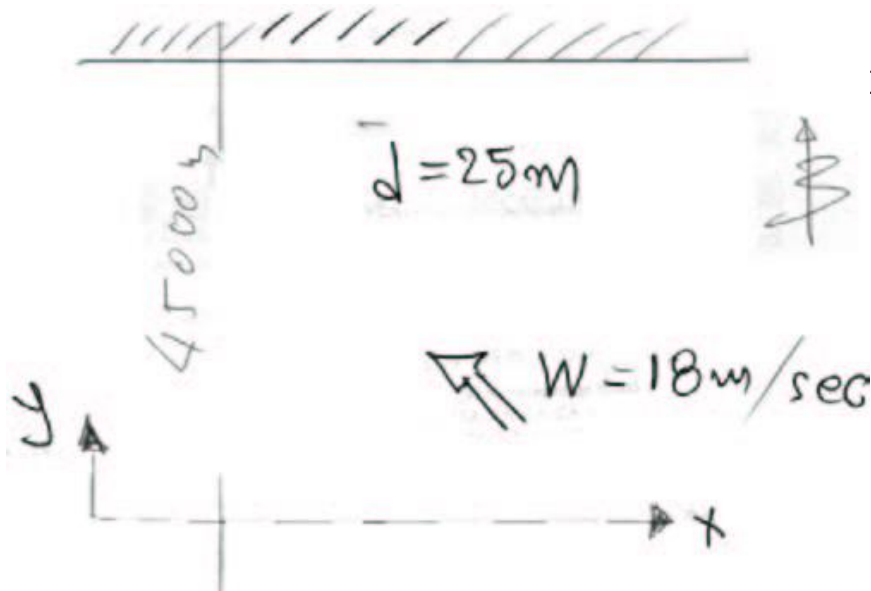
Σε παράκτια περιοχή με ευθύγραμμο ακτή N προσανατολισμού μέσο βάθος $d = 25\text{m}$ σε απόσταση από την ακτή 45000 m δρα ΝΑ άνεμος ταχύτητας $W = 18\text{ m/sec}$. Ο συντελεστής τριβής επιφανείας είναι $C_s = 0.0000025$, ο συντελεστής τριβής πυθμένα $C_b = 0.005$ και ο συντελεστής Coriolis $f = 0.000095$.

Να υπολογιστεί η υπερύψωση της στάθμης στην ακτή λόγω της μετεωρολογικής παλίρροιας και η ένταση του παράκτιου ρεύματος.



Η Α-Δ συνιστώσα του ανέμου είναι

σύμφωνα με τους συμβολισμούς του Σχ.1., $W_x = -18 * 0.707 = -12.7 \text{ m/sec}$ και Ν-Β συνιστώσα $+12.7 \text{ m/sec}$.



χ.1. Περιοχή ελέγχου και σύστημα συντεταγμένων

Η ειδική παροχή του παράκτιου ρεύματος υπολογίζεται από την εξίσωση ισοροπίας κατά Ox ,

$$0 = C_s W W_x - C_b q_x |q_x| / d^2 = -.0000025 * 18 * 12.7 - 0.005 q_x |q_x| / 625$$



Βρίσκεται $q_x = -8.45 \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$ και ένταση παράκτιου ρεύματος u_x
 $= -8.45/25 = 0.338 \text{ m}/\text{sec}$.

Από την εξίσωση ισορροπίας κατά Oy βρίσκεται

$$g d \frac{\partial z}{\partial y} = -f q_x + C_s W W_y \Rightarrow 9.81 * 25 * \frac{\partial z}{\partial y} = .000095 * 8.45 + .0000025 * 18 * 12.7$$

που δίνει για την κλίση $\Delta z / \Delta y = 5.6 * 10^{-6}$ ή για την απόσταση των 45000 m
 $\Delta z = +0.25 \text{ m}$.



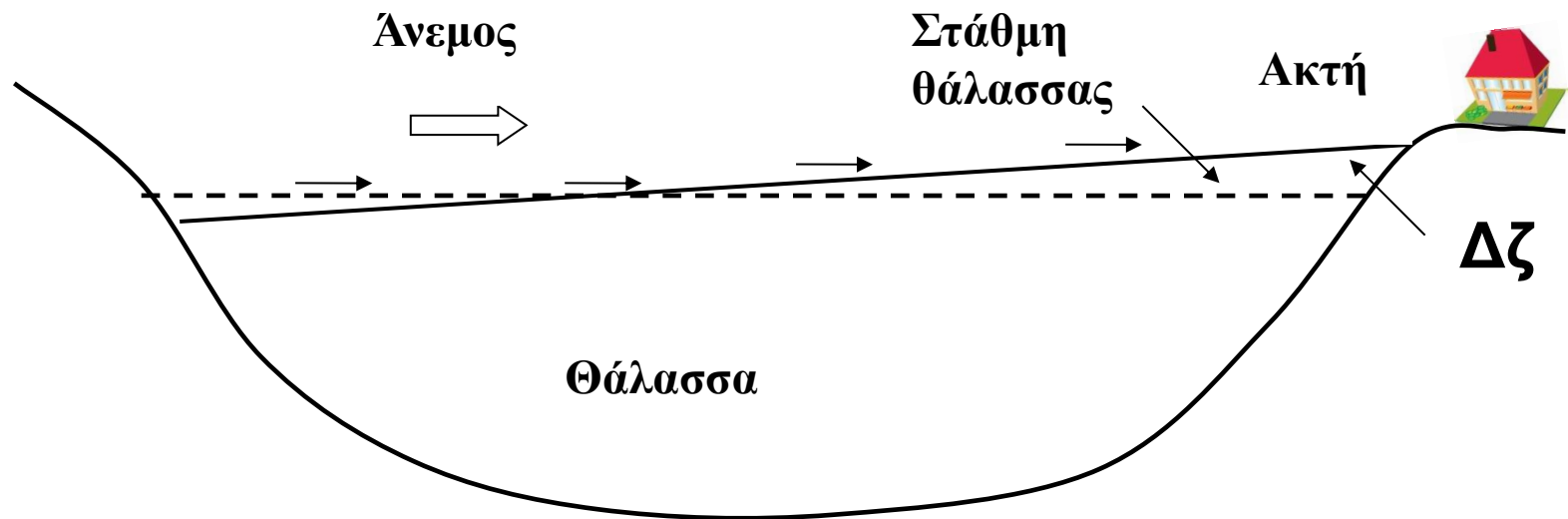
Αστοχία Θαλάσσιου τοίχου (Εφταλού – Λέσβος)





Samos 2009-2010

Μετεωρολογική παλίρροια





Samos 2009-2010

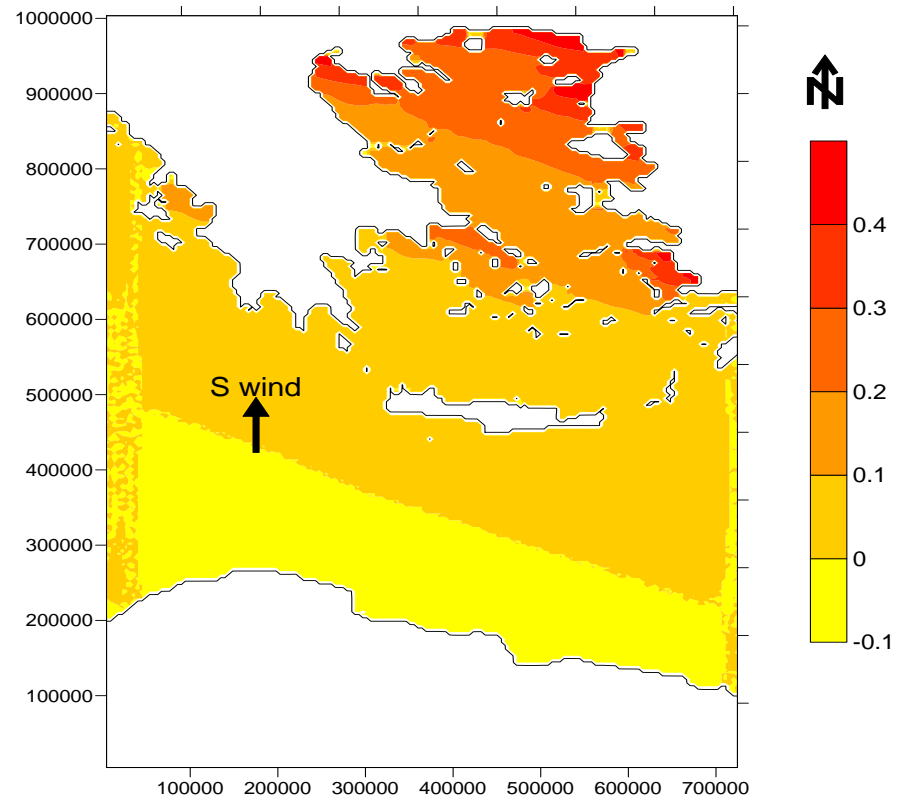


Προσομοίωσης της Μετεωρολογικής Παλίνρροιας στο Αιγαίο Πέλαγος Χειμώνα 2009-10

Νότιος άνεμος

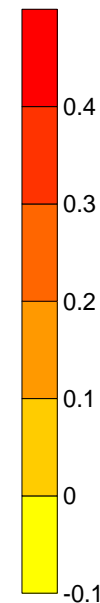
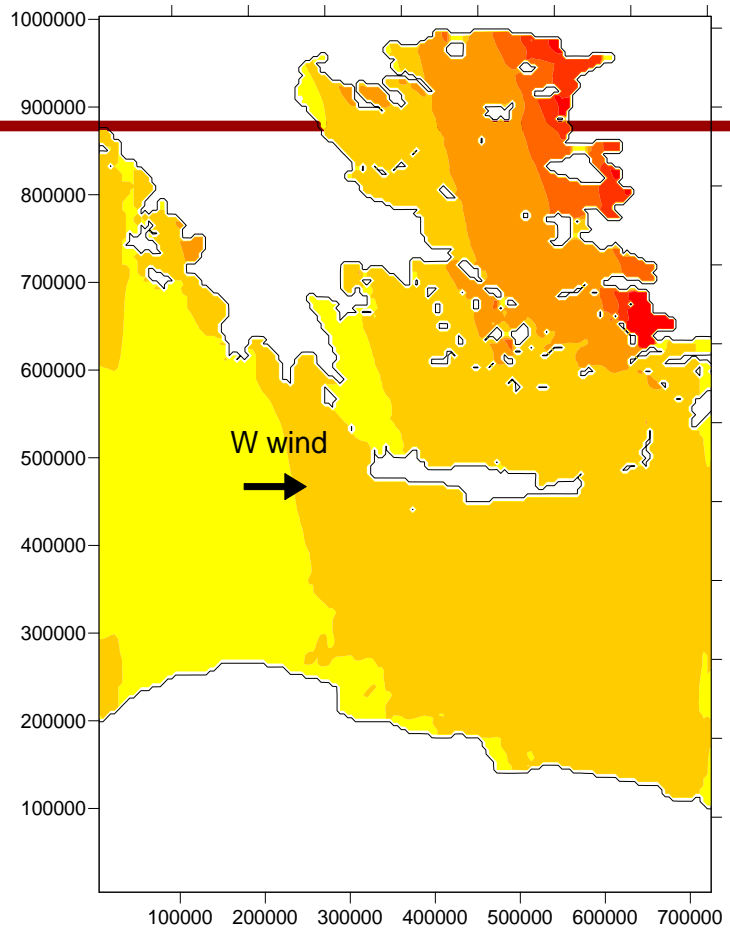
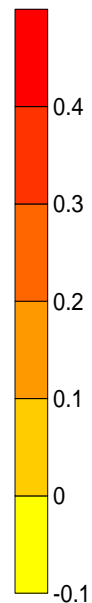
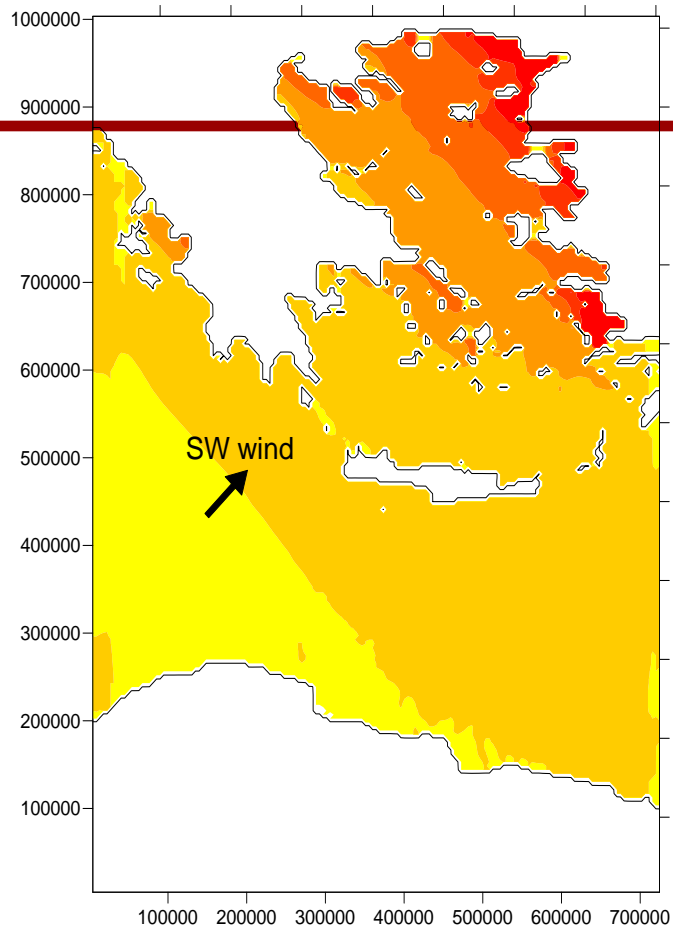
7-8 B

Διάρκεια πνοής >5 ημέρες



Ανύψωση στάθμης θάλασσας





Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας
λόγω ΝΔ ανέμων.

Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας
λόγω Δ ανέμων.



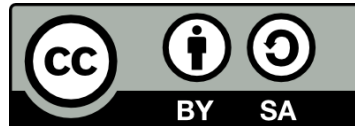
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Καραμπάς Θεοφάνης.
«Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Θαλάσσια ρεύματα, κυκλοφορία,
μετεωρολογική παλίρροια». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από
τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS425/>



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, <Χειμερινό 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.

