ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

Παράκτια Ωκεανογραφία

Διάλεξη 9η: Παράκτια κυματογενή ρεύματα

Θεοφάνης Β. Καραμπάς
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

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.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

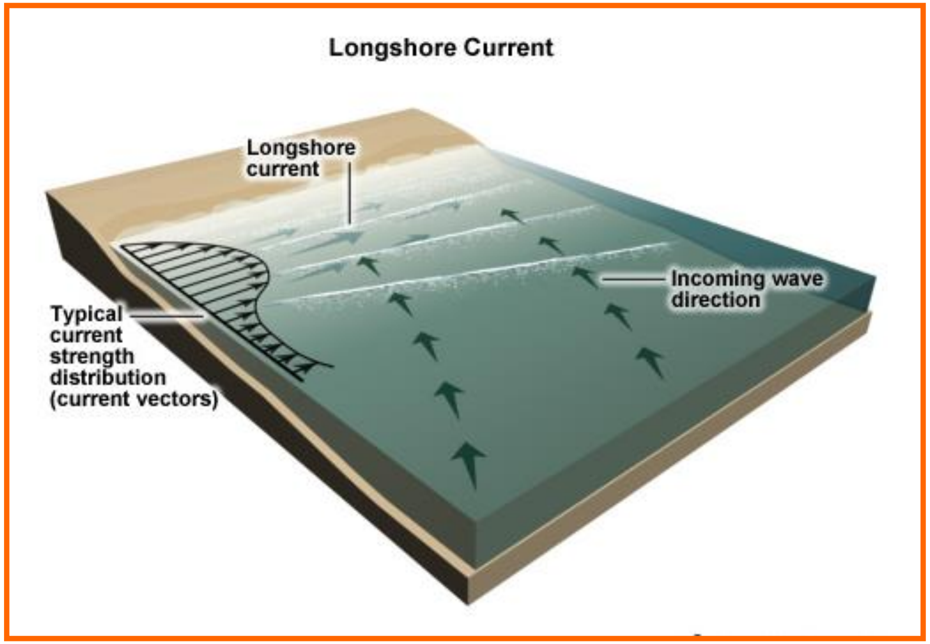
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κίνηση θάλασσας (θαλάσσιο ρεύμα)
Αλατότητα
Πυκνότητα

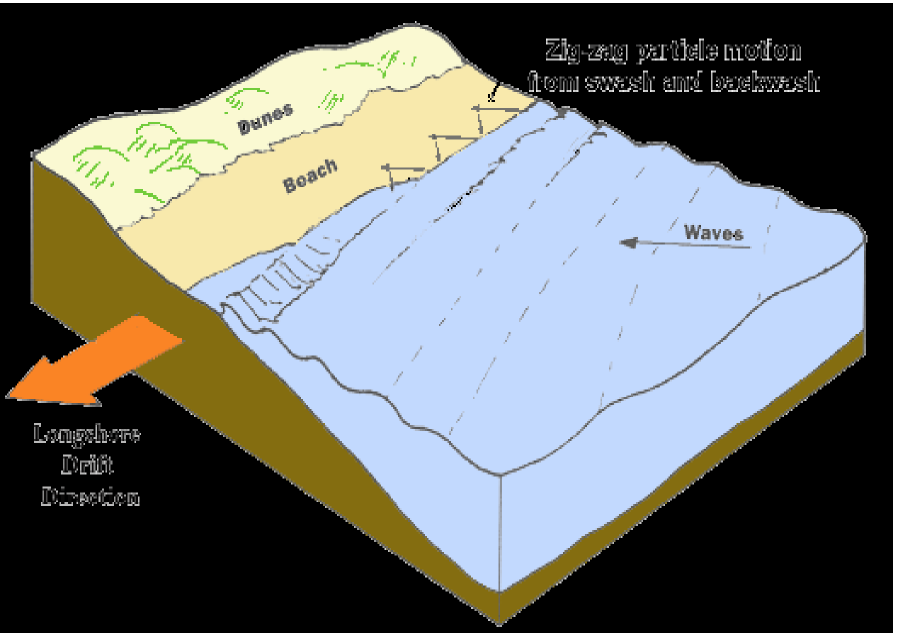
Παράκτιο ρεύμα παράλληλο στην ακτή (longshore current) μέσα στη ζώνη θραύσης από λοξά θραυόμενους κυματισμούς. Η εγκάρσια προς την ακτή ορμή του κυματισμού απορροφάται από την θραύση ενώ η περίσσεια ορμής παράλληλα προς την ακτή διαμορφώνει το παράκτιο ρεύμα



http://stream1.cma.gov.cn/pub/comet/CoastalWeather/sww/comet/marine/SWW/print.htm

Ρεύμα παράλληλο στην ακτή (longshore current)

$$V = \frac{5\pi}{16}\frac{\tan(\beta^*)}{C_f}\gamma_b\sqrt{gd_b}\sin a_b \cos a_b$$

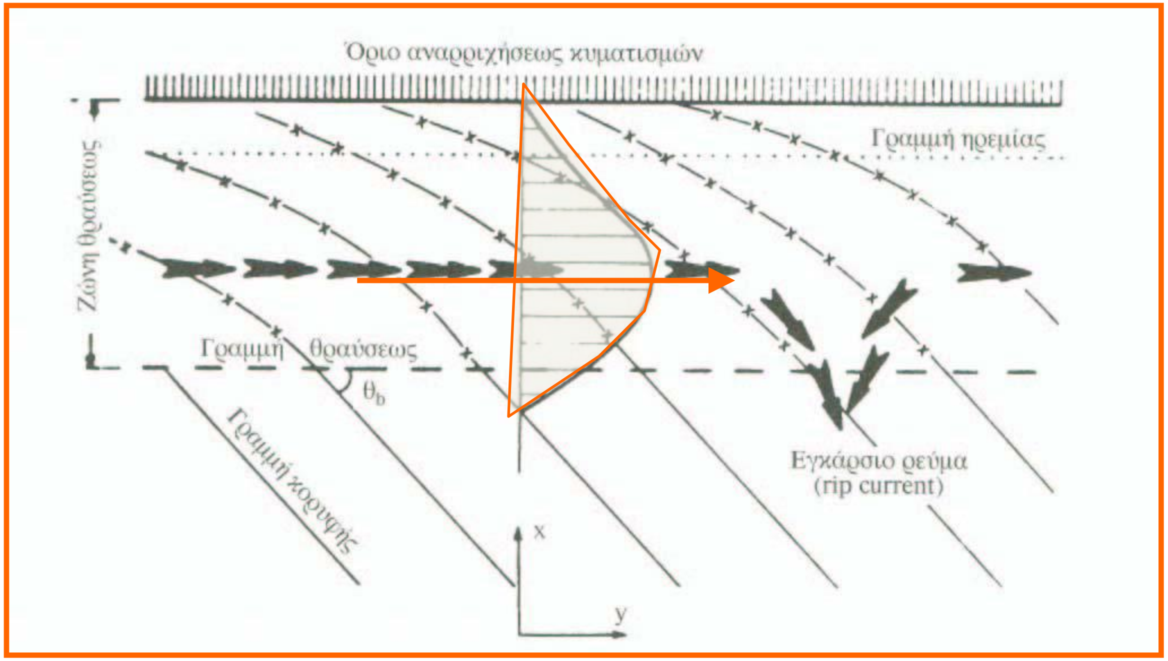


Παραδοχή: ομογενής ακτή σταθερής βυθομετρίας (ισοβαθείς παράλληλες στην ακτογραμμή) και εφαρμόζεται η γραμμική θεωρία των κυματισμών:

$$\tan(\beta^*) = \frac{\tan(\beta)}{1+(3\gamma_b^2/8)} \quad \text{και} \quad \gamma_b = H_b/d_b$$

Ρεύμα παράλληλο στην ακτή (longshore current)

Παράκτιο ρεύμα παράλληλο στην ακτή (longshore current) μέσα στη ζώνη θραύσης από λοξά θραυόμενους κυματισμούς. Η εγκάρσια προς την ακτή ορμή του κυματισμού απορροφάται από την θραύση ενώ η περίσσεια ορμής παράλληλα προς την ακτή διαμορφώνει το παράκτιο ρεύμα



Ρεύμα παράλληλο στην ακτή (longshore current)

Μέση τιμή ταχύτητας ρεύματος:

$$V = 20.7 \cdot m \cdot \sqrt{gH_b} \cdot \sin 2\theta_b$$

Αριθμητικό παράδειγμα

ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ

Παράδειγμα (2)

ΒΡΕΙΤΕ: Το ύψος θραύσης και το βάθος θραύσης των κυμάτων σε παραλία που έχει κλίση πυθμένα 1/100 όταν το ύψος των κυμάτων στα βαθιά νερά είναι H_o= 2.5 m η περίοδός τους T = 10 sec και η γωνία διάδοσης $\varphi_o = 60^o$

1. Προεκτίμηση του βάθους θραύσης $d_b^{(1)}$.

Από σχέση $d_b=H_o/0.78$. Άρα $d_b^{(1)}= 3.21$m

2. **Υπολογισμός του συντελεστή διάθλασης K_r στο βάθος αυτό.**

$$\varphi_A = \arcsin\left(\frac{L_A}{L_0}\cdot\sin\varphi_0\right)$$

όπου

$$k_r = \sqrt{\frac{\cos\varphi_0}{\cos\varphi_A}}$$

και

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh(kd)$$

Υπολογίζονται τελικά:

$$L_o = 156.13\text{m}, L_A = 54.80\text{m},$$

$$\varphi_A = 17.7^o, K_r = 0.724$$

και

$$H_o' = 0.724\cdot 2.5 = 1.81\text{m}$$

3. Από το διάγραμμα (ΣΧ. 3.16) με βάση την τιμή του H_o'/gT^2 υπολογισμός του H_b/H'_o → υπολογισμός του H_b

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{H'_o}{gT^2}=0.0018\\ m=0.01\end{array}\right\}\dfrac{H_b}{H'_o}=1.4\Rightarrow H_b=2.53\mathrm{m}$$

4. Από το διάγραμμα (ΣΧ. 3.17) με βάση την τιμή του H_b'/gT^2 υπολογισμός του d_b/H_b → υπολογισμός $d_b^{(2)}$

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{H'_b}{gT^2}=0.0026\\ m=0.01\end{array}\right\}\dfrac{d_b}{H_b}=1.2\Rightarrow d_b^{(2)}=3.04\mathrm{m}$$

5. Παρατηρούμε ότι $d_b^{(2)}$ =3.04m και $d_b^{(1)}$ =3.21m. Διαφορά 5%. Αποδεκτή. Ωστόσο αν κάνουμε ξανά τη διαδικασία με νέο $d_b^{(1)}$= 3.04m

Υπολογίζονται τελικά:

$$L_A=53.50\mathrm{m},\ \varphi_A=17.26^o,\ K_r=0.724,$$
$$H'_o=1.81\mathrm{m},\ H_b=2.53\mathrm{m},\ d_b=3.04\mathrm{m}$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε την παράμετρο θραύσης ξ

$$\xi=\frac{\tan\theta}{\sqrt{\dfrac{H_o}{L_o}}}\Rightarrow\xi=0.08$$

Θραύση μορφής υπερχείλισης

Μέση ταχύτητα του παράκτιου κυματογενούς ρεύματος:

$$V = 20.7 \cdot \tan\beta \cdot \sqrt{gH_b} \cdot \sin 2\theta_b =$$
$$= 20.7 \cdot (1/100) \cdot \sqrt{g \cdot 2.53} \cdot \sin(2 \cdot 17.26^\circ) = 0.58\,m/s$$

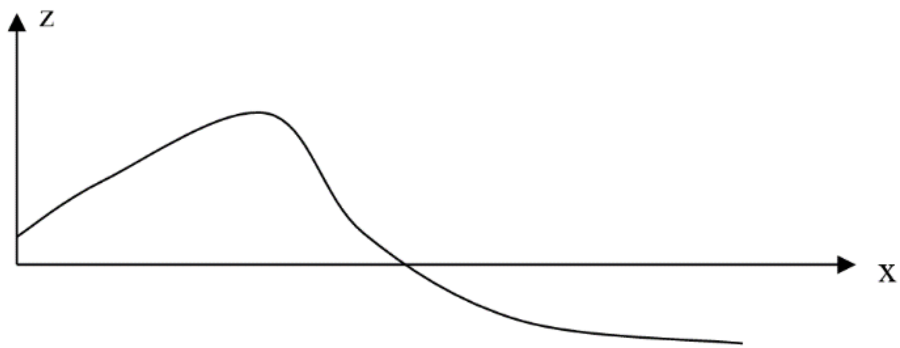
Εξαγωγή εξισώσεων για μαθηματικά μοντέλα

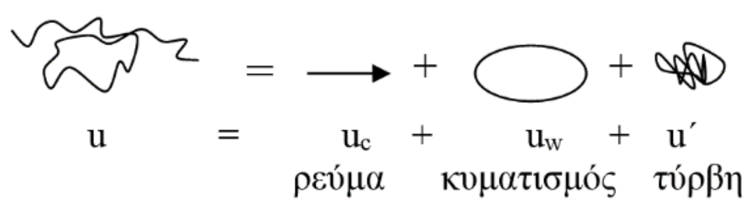
Κίνηση ρεύματος
Κίνηση κυματισμού

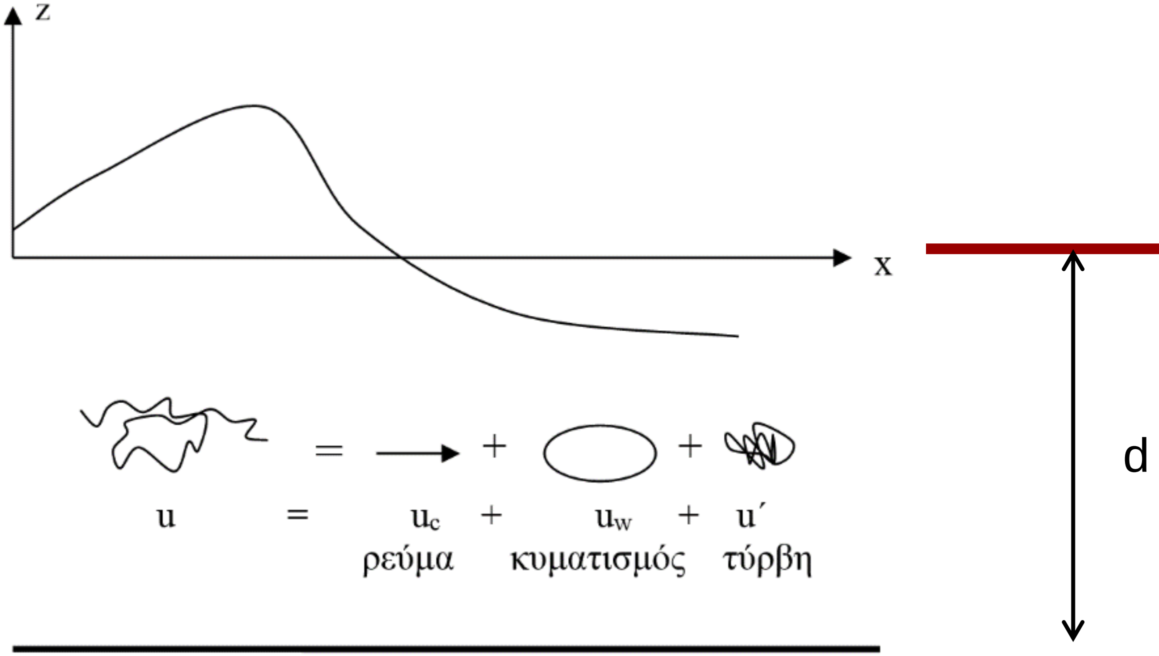
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} - g$$







$$u = u_c + u_w + u'$$

$$v = v_c + v_w + v'$$

$$w = w_c + w_w + w'$$

$$\langle u_w \rangle = \langle v_w \rangle = \langle w_w \rangle 0$$

$$\overline{u'} = \overline{v'} = \overline{w'} = 0$$

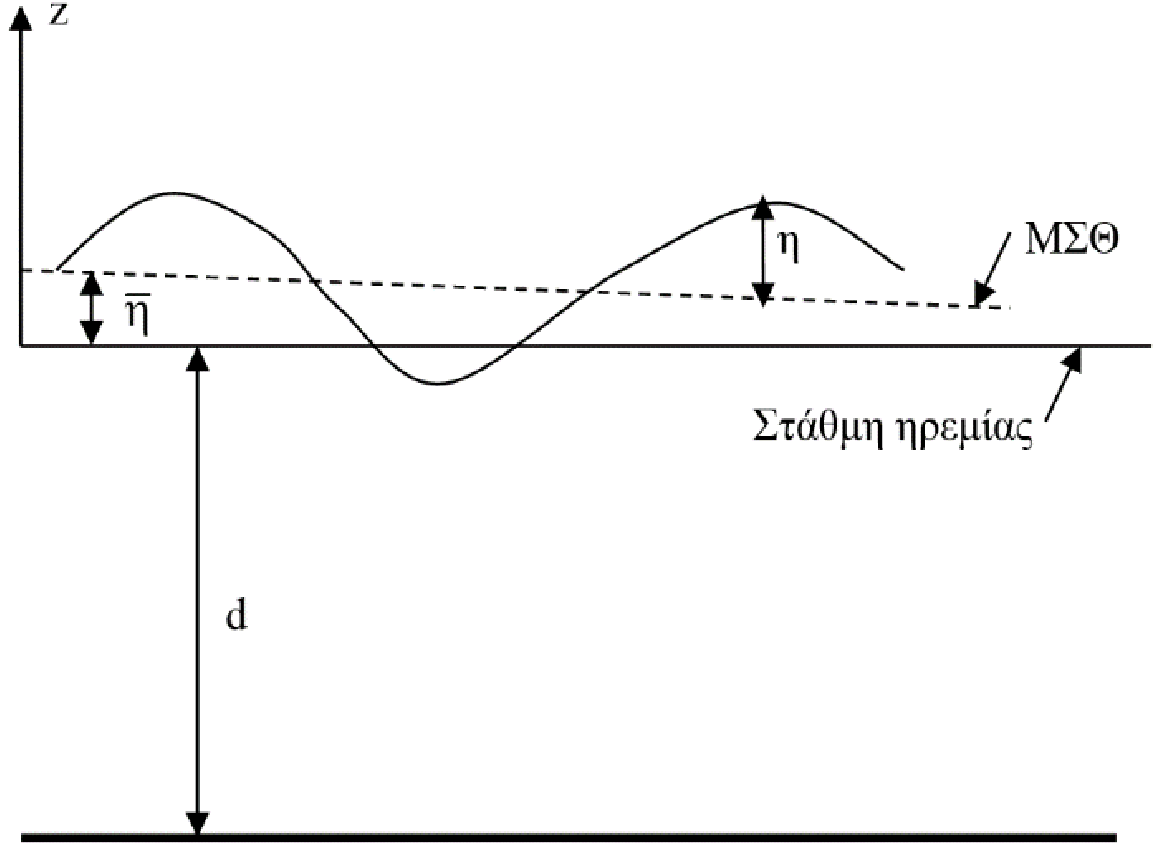
Εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial u_c}{\partial x}+\frac{\partial v_c}{\partial y}+\frac{\partial w_c}{\partial z}=0$$

$$\frac{\partial u_w}{\partial x}+\frac{\partial v_w}{\partial y}+\frac{\partial w_w}{\partial z}=0$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x}+\frac{\partial v'}{\partial y}+\frac{\partial w'}{\partial z}=0$$

$$\frac{\partial \overline{\eta}}{\partial t}+\frac{\partial\left(U(d+\overline{\eta})\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(V(d+\overline{\eta})\right)}{\partial y}=0$$


z
η
ΜΣΘ
$\overline{\eta}$
Στάθμη ηρεμίας
d

Εξισώσεις ορμής

Τάσεις Reynolds

$$\frac{\partial u_c}{\partial t} + u_c \frac{\partial u_c}{\partial x} + v_c \frac{\partial u_c}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial <\overline{p}>}{\partial x} + \frac{\partial\left(-<\overline{u'u'}>\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(-<\overline{u'v'}>\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(-<\overline{u'w'}>\right)}{\partial z} - \frac{\partial\left(<u_w^2>\right)}{\partial x} - \frac{\partial\left(<u_w v_w>\right)}{\partial y} - \frac{\partial\left(<u_w w_w>\right)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial v_c}{\partial t} + u_c \frac{\partial v_c}{\partial x} + v_c \frac{\partial v_c}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial <\overline{p}>}{\partial y} + \frac{\partial\left(-<\overline{u'v'}>\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(-<\overline{v'v'}>\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(-<\overline{v'w'}>\right)}{\partial z} - \frac{\partial\left(<u_w v_w>\right)}{\partial x} - \frac{\partial\left(<v_w^2>\right)}{\partial y} - \frac{\partial\left(<v_w w_w>\right)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial <w_w w_w>}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial <\overline{p}>}{\partial z} - g$$

Ολοκλήρωση ως προς το βάθος

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}= -g\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x}-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<\overline{u'u'}>\right)}{\partial x}dz-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<\overline{u'v'}>\right)}{\partial y}dz$$

$$-\frac{<\overline{u'w'}>\big|_{z=\bar{\eta}}}{h}+\frac{<\overline{u'w'}>\big|_{z=-d}}{h}$$

$$-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<u_w u_w-w_w w_w>\right)}{\partial x}dz-\frac{\frac{1}{2}g\partial\left(<\eta^2>\right)}{\partial x}-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<u_w v_w>\right)}{\partial y}dz$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}= -g\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y}-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<\overline{v'v'}>\right)}{\partial y}dz-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<\overline{u'v'}>\right)}{\partial x}dz$$

$$-\frac{<\overline{v'w'}>\big|_{z=\bar{\eta}}}{h}+\frac{<\overline{v'w'}>\big|_{z=-d}}{h}$$

$$-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<v_w v_w-w_w w_w>\right)}{\partial y}dz-\frac{\frac{1}{2}g\partial\left(<\eta^2>\right)}{\partial y}-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\bar{\eta}}\frac{\partial\left(<u_w v_w>\right)}{\partial x}dz$$

$$\tau_{sx} = -\rho < \overline{u'w'} > \Big|_{z=\bar{\eta}} \qquad \tau_{bx} = -\rho < \overline{u'w'} > \Big|_{z=-d}$$

$$\tau_{sy} = -\rho < \overline{v'w'} > \Big|_{z=\bar{\eta}} \qquad \tau_{by} = -\rho < \overline{v'w'} > \Big|_{z=-d}$$

Τριβή πυθμένα

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} = -g\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_h h \frac{\partial U}{\partial x}\right) + \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_h h \frac{\partial U}{\partial y}\right)$$

$$+\frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h}$$

$$-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial\left(< u_w u_w - w_w w_w >\right)}{\partial x} dz - \frac{\frac{1}{2} g \partial\left(<\eta^2>\right)}{\partial x} - \frac{1}{h}\int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial\left(< u_w v_w >\right)}{\partial y} dz$$

Τάσεις Reynolds

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} = -g\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_h h \frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_h h \frac{\partial V}{\partial y}\right)$$

$$+\frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h}$$

$$-\frac{1}{h}\int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial\left(< v_w v_w - w_w w_w >\right)}{\partial y} dz - \frac{\frac{1}{2} g \partial\left(<\eta^2>\right)}{\partial y} - \frac{1}{h}\int_{-d}^{\zeta} \frac{\partial\left(< u_w v_w >\right)}{\partial x} dz$$

Τάσεις ακτινοβολίας

Τάσεις ακτινοβολίας

$$S_{xx} = \rho \int_{-d}^{\bar{\eta}} \left(< u_w u_w - w_w w_w > \right) dz + \tfrac{1}{2} \rho g \left(< \eta^2 > \right)$$

$$S_{yy} = \rho \int_{-d}^{\bar{\eta}} \left(< v_w v_w - w_w w_w > \right) dz + \tfrac{1}{2} \rho g \left(< \eta^2 > \right)$$

$$S_{xy} = \rho \int_{-d}^{\zeta} < u_w v_w > dz$$

Σημείωμα Αναφοράς

Σημείωμα Αδειοδότησης

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Μαυρίδου Σοφία>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό Εξάμηνο 2013-2014>

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

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.