



Ακτομηχανική και λιμενικά έργα

Διάλεξη 21^η. Στερεομεταφορά/Μηχανισμοί
μεταφοράς φερτών υλών-2

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

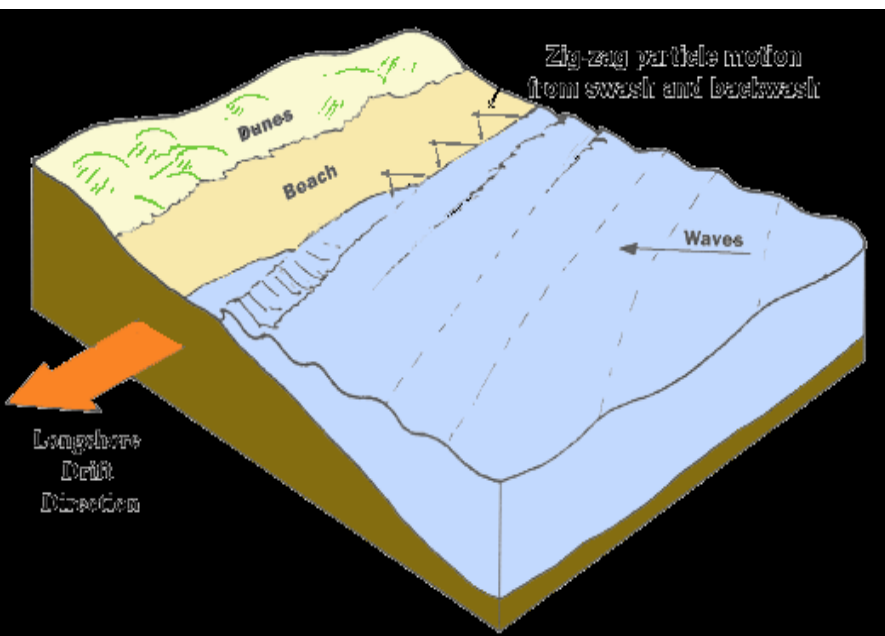
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού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



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



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



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

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

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ

Πειραματική συσχέτιση παράκτια ροής κυματικής ενέργειας λόγω της λοξής θραύσης των κυματισμών με την ολική (παραπυθμένα και σε αιώρηση) στερεοπαροχή

$$P_{ls} = \frac{\rho g}{16} H_{sb}^2 \cdot c_{gb} \cdot \sin 2a_b$$

ροή ενέργειας κατά μήκος της ακτής στο σύνολο της ζώνης θραύσης [J/m/s]

$$Q_l = 1290 P_{ls}$$

Συνολικός όγκος φερτών στο σύνολο της ζώνης θραύσης [m³/έτος]

Η τιμή του Q_{ls} πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την μέση ετήσια συχνότητα $f\%$ εμφανίσεως της συγκεκριμένης κατάστασης κυματισμών ώστε να δίνει την πραγματική ετήσια παράκτια στερεοπαροχή



ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ

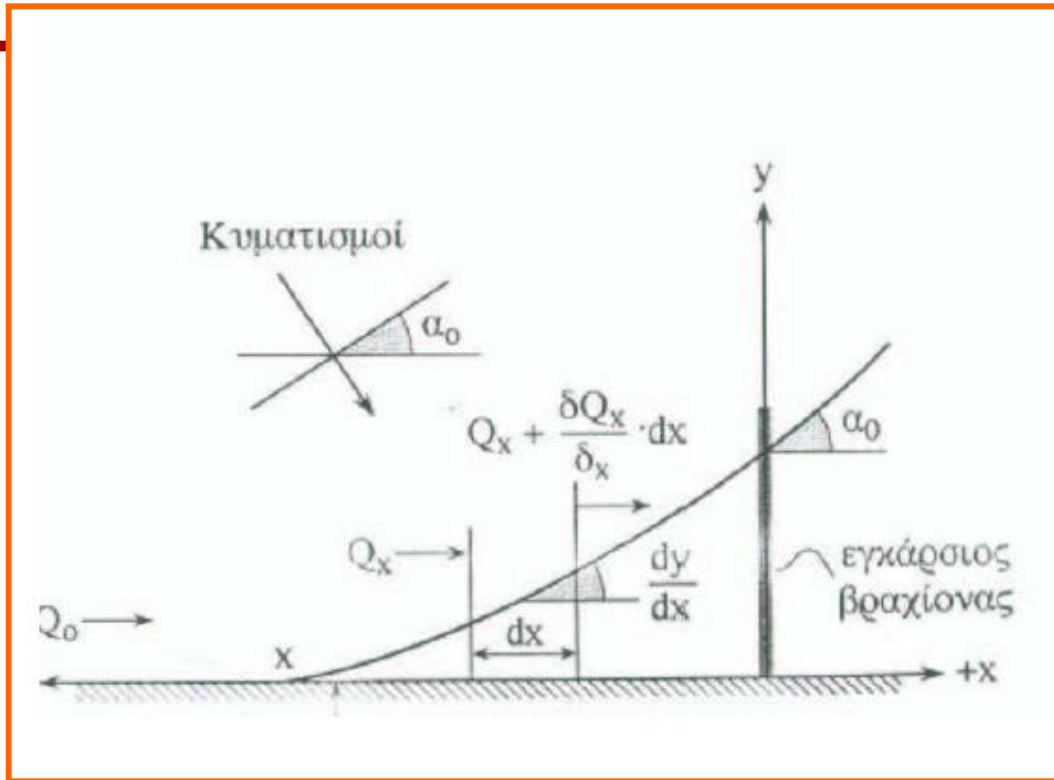
Διαφορική εξίσωση μεταβολής της ακτογραμμής ανάντη και κατάντη μιας παγίδας φερτών υλών (π.χ. βραχίονα, μόλου)

Μοντέλο **Pelnard -Considerere**. (θεωρία μίας γραμμής)

Σε ακτή με **βάθος επίδρασης των κυματισμών h** (συνήθως $h=2\div 3d_b$) βρίσκεται η ετήσια μεταβολή της τεταγμένης y της ακτογραμμής από την εξίσωση συνεχείας



ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ



Ευθύγραμμη ακτή με εγκάρσιο βραχίονα που διακόπτει την στερεοπαροχή στο $x=0$

Αρχικές συνθήκες

$$t=0 \rightarrow y=0$$

Οριακές συνθήκες

$$x=0 \rightarrow Q=0$$

$$x=0 \rightarrow \frac{dy}{dx} = a_0$$

$$x= \rightarrow Q=Q_0$$

$$x= -\infty \rightarrow$$

$$x= -\infty \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0$$

όπου: Q_0 η φυσική στερεοπαροχή, a_0 η γωνία θραύσης των κυματισμών ως προς την ακτή.



ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ

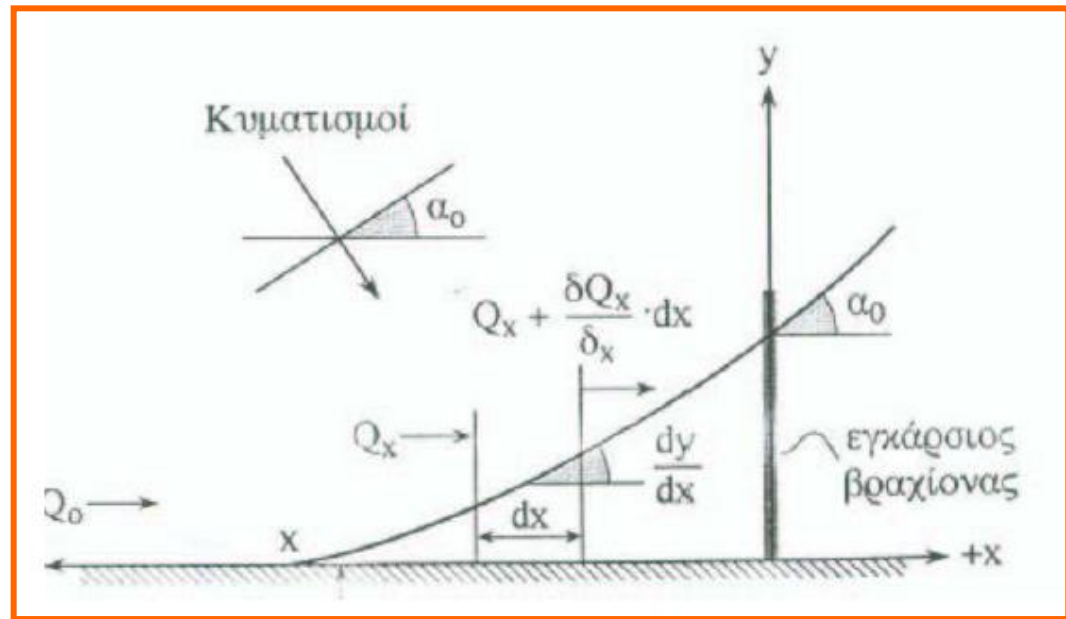
Υπάρχει αναλυτική λύση της εξίσωσης για σταθερό Q_o

Βρίσκεται για την προσάμμωση στη θέση του εμποδίου $x=0$

$$y|_{x=0} = 2 \left(\frac{Q_o t a_o}{\pi h} \right)^{1/2}$$

Η ανάντη επίδραση της παγίδευσης φερτών υλών εκτείνεται σε μήκος x

$$x \approx \frac{3}{a_o} y|_{x=0}$$

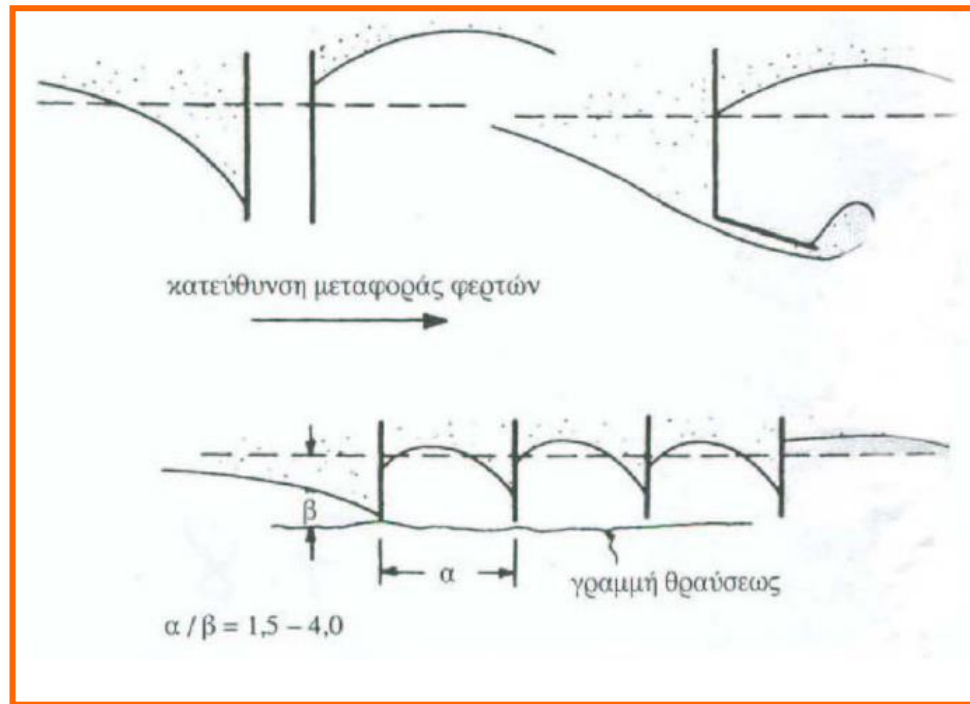


Ευθύγραμμη ακτή με εγκάρσιο βραχίονα που διακόπτει την στερεοπαροχή στο $x=0$



ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

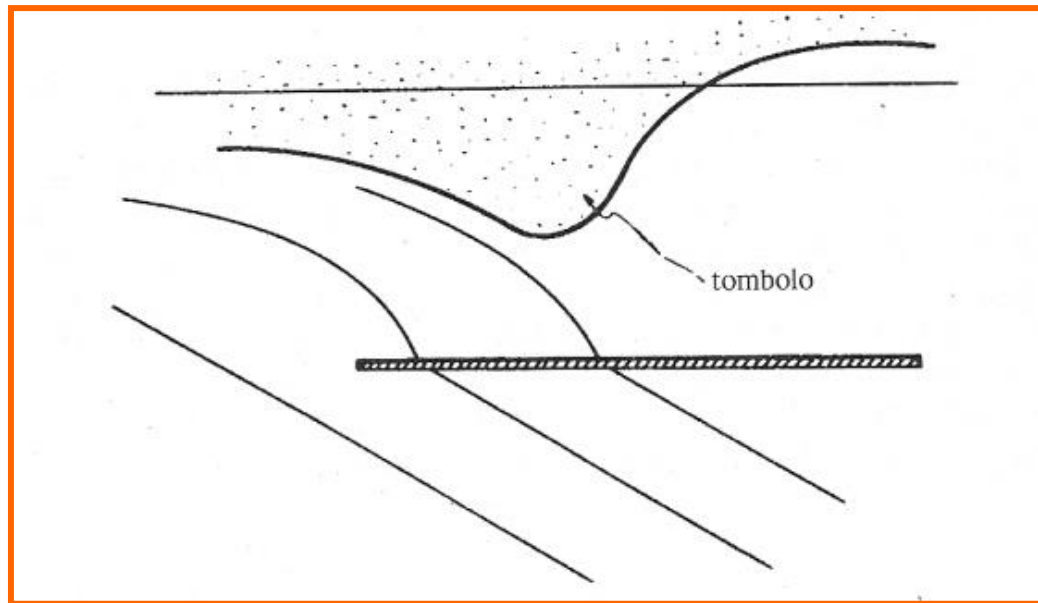
Έργα που εισέρχονται στη ζώνη θραύσης των κυματισμών και διακόπτουν την παράκτια στερεοπαροχή συνεπάγονται προσάμμιση ανάντη του έργου, διάβρωση της ακτής στα κατάντη.



Επίδραση παρακτίων έργων στην μορφολογία της ακτής

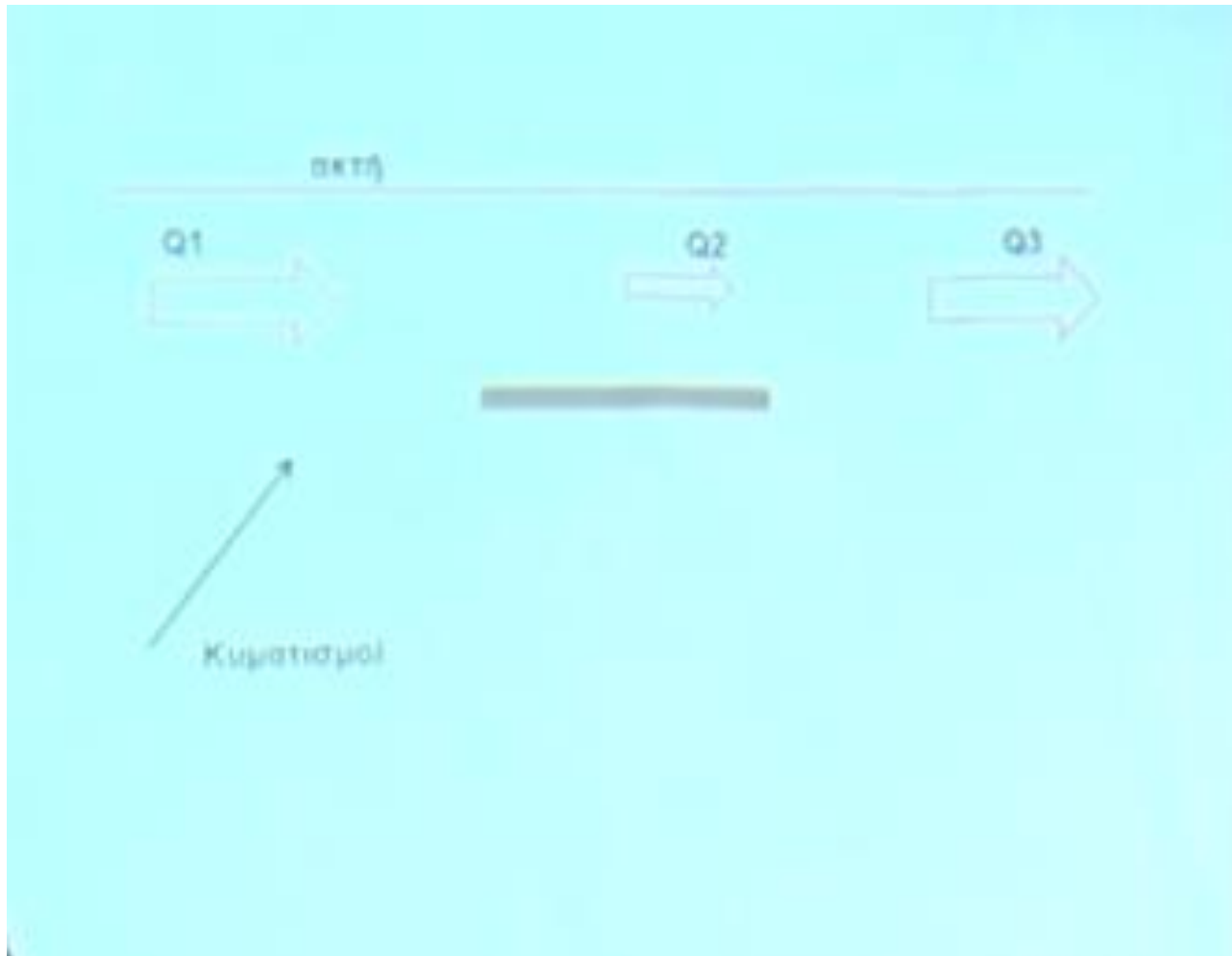
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Μεταξύ ενός παράλληλου προς την ακτή έργου και της ακτής (στη σκιά των περιθλώμενων κυματισμών), δημιουργία προσάμμωσης (tombolo)

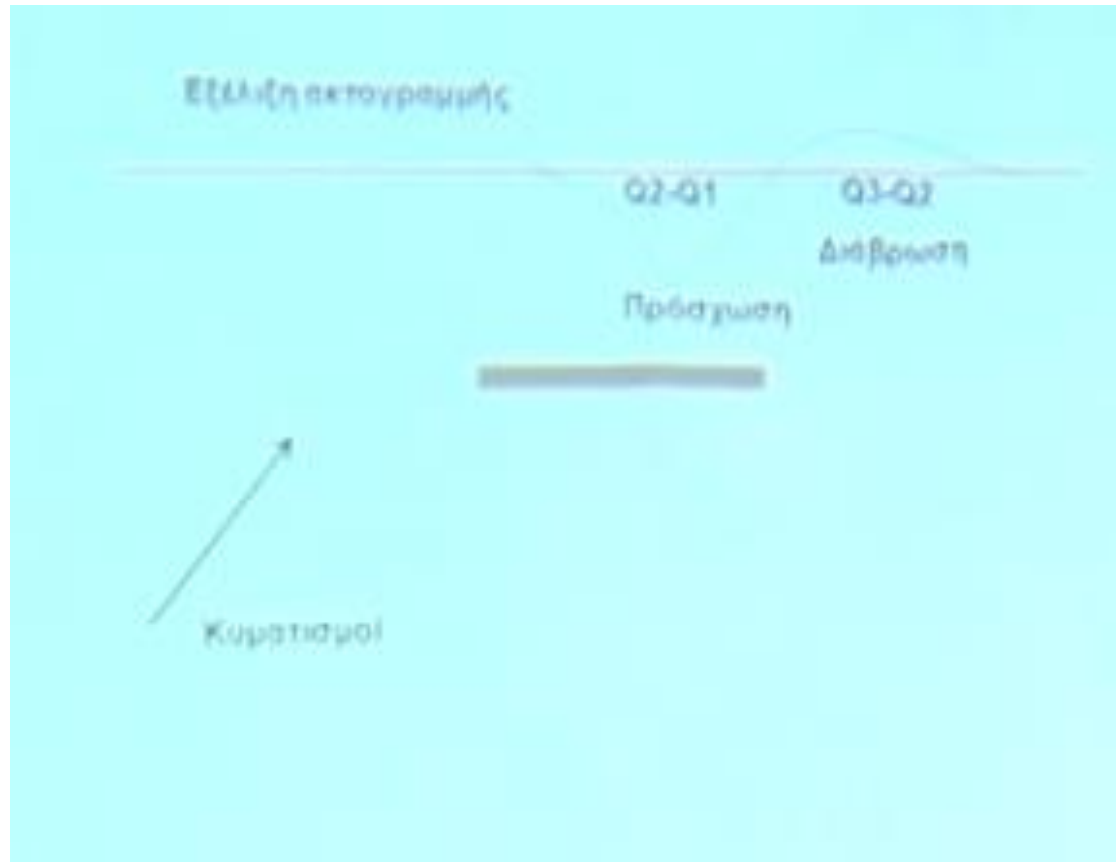


Επίδραση παρακτίων έργων στην μορφολογία της ακτής

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

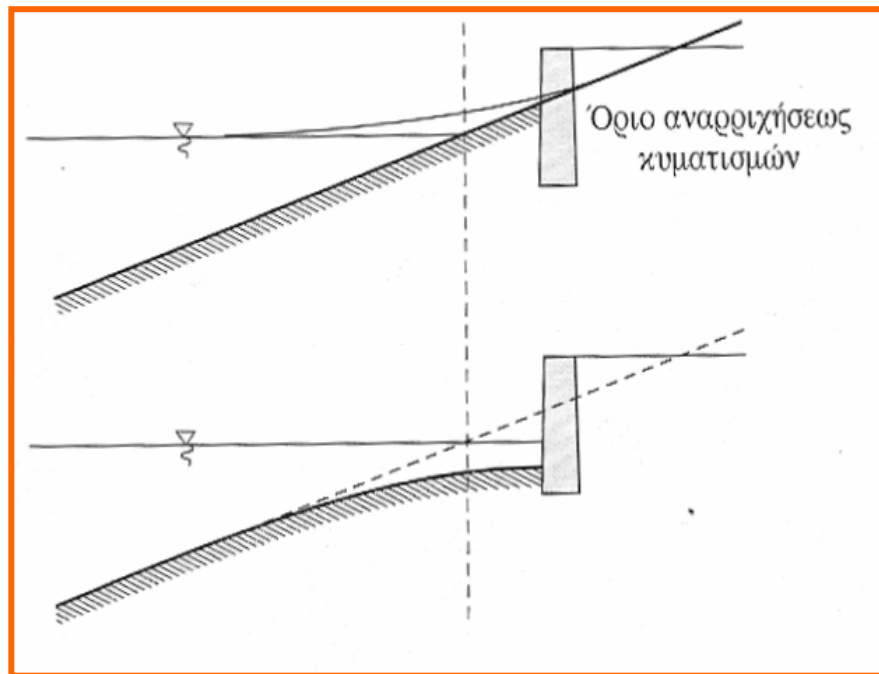


ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ



ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Παράκτιοι τοίχοι μέσα στη ζώνη αναρρίχησης των ισχυρών κυματισμών (χειμερινών) προκαλούν ανάκλαση της κυματικής ενέργειας και συνεπώς διαβρωση του ποδός τους και υποσκαφή τους (πρέπει να θεμελιώνονται σε βάθος μεγαλύτερο από την προβλεπόμενη διάβρωση).

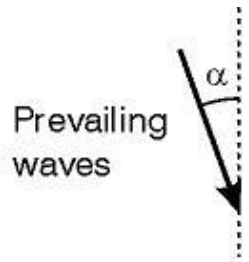


Επίδραση παρακτίων έργων στην μορφολογία της ακτής





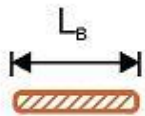




Legend:

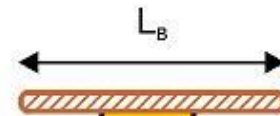
$$X^* = \frac{X}{X_{80}}$$

$$L_B^* = \frac{L_B}{X}$$



$$X^* = 1.5$$

$$L_B^* = 0.5$$



$$X^* = 1.5$$

$$L_B^* = 1.1$$

Undisturbed transport dist.

X_{80} = Surf zone width

X

Salient

Tombolo

Moderate erosion

Large erosion





ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 2

Ακτή που αποτελείται από άμμο με μέση διάμετρο κόκκων $D_{50}=0.3\text{mm}$ πλήττεται συστηματικά από κυματισμό με $H_0=2.3\text{ m}$, $T=6.5\text{ sec}$.
Να τεκμηριωθεί η διαβρωτική δράση του κυματισμού και να προταθούν 'ήπιοι' τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος

Σύμφωνα με τη προσέγγιση του Dean, η διάκριση μεταξύ διάβρωσης και εναπόθεσης υλικού σε αμμώδεις ακτές εξαρτάται από την τιμή του μονωνύμου:

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f \cdot T} \longrightarrow \begin{array}{l} F_0 > 1 \longrightarrow \text{διάβρωση} \\ F_0 < 1 \longrightarrow \text{εναπόθεση} \end{array}$$



Υπολογισμός ταχύτητας καθίζησης (θεωρούνται “ $\gamma_s = 2.65t/m^3$ ”, “ $\gamma = 1.024t/m^3$ ”):

$$w_f = \left[g \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right]^{0,7} \cdot \frac{D_{50}^{1,1}}{6 \cdot \nu^{0,4}}$$

$$w_f = \left[9.81 \cdot \left(\frac{2.65}{1.024} - 1 \right) \right]^{0,7} \cdot \frac{0.0003^{1,1}}{6 \cdot (1.01 \cdot 10^{-6})^{0,4}}$$

$$w_f = 0.038 \text{ m/sec}$$

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f \cdot T} \longrightarrow \begin{array}{l} F_0 > 1 \longrightarrow \text{διάβρωση} \\ F_0 < 1 \longrightarrow \text{εναπόθεση} \end{array}$$

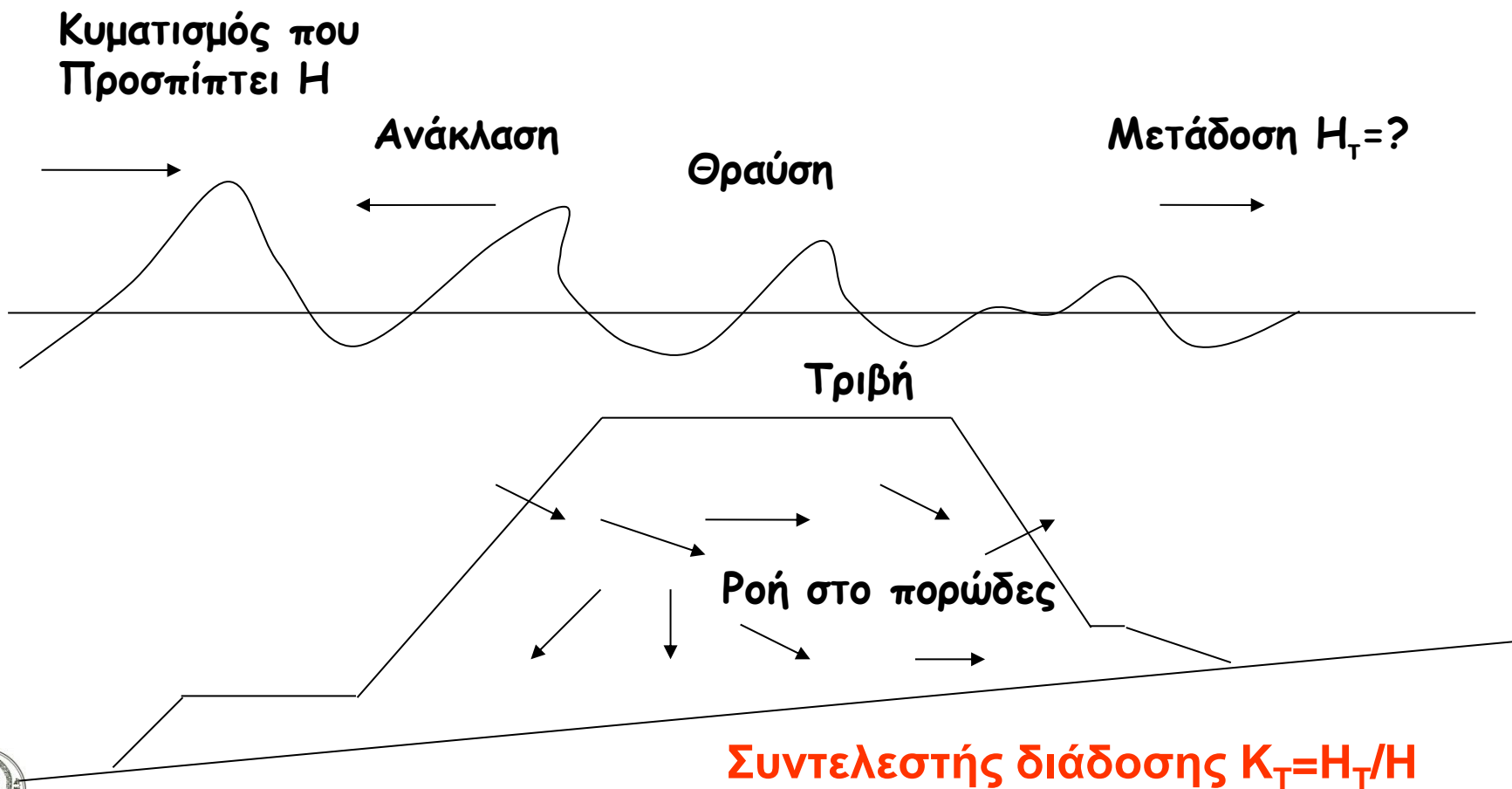
Οπότε έχουμε:

$$F_0 = \frac{2.3}{0.038 \cdot 6.5} = 9.3 \longrightarrow \text{διάβρωση}$$



Αντιμετώπιση του προβλήματος:

1. ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΣ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ



$$H_T < w_f T \rightarrow H_T < 0.038 \cdot 6.5 = 0.25 \text{ m}$$

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f \cdot T} \rightarrow \begin{array}{l} F_0 > 1 \rightarrow \text{διάβρωση} \\ F_0 < 1 \rightarrow \text{εναπόθεση} \end{array}$$

Κατασκευή βυθισμένου κυματοθραύστη με συντελεστή διάδοσης

$$K_T = H_T / H = 0.25 / 2.3 = 0.1 \text{ m}$$

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.64 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi})$$

H_{si} = σημαντικό ύψος κύματος που προσπίπτει

R_c = απόσταση από την επιφάνεια του νερού ως την επιφάνεια του κυματοθραύστη (αρνητικό για βυθισμένους)

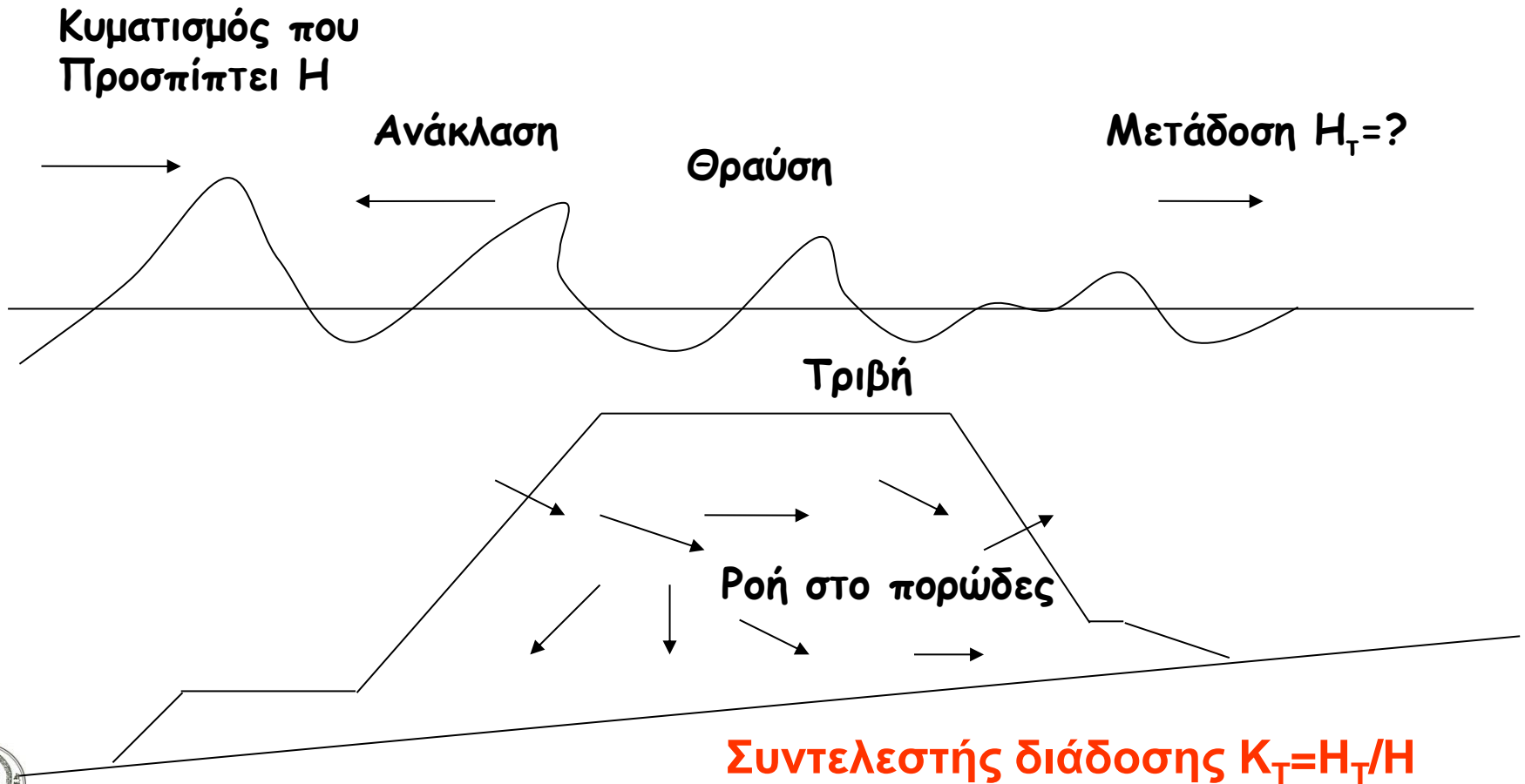
B = πλάτος στέψης

ξ = συντελεστής Irribarren

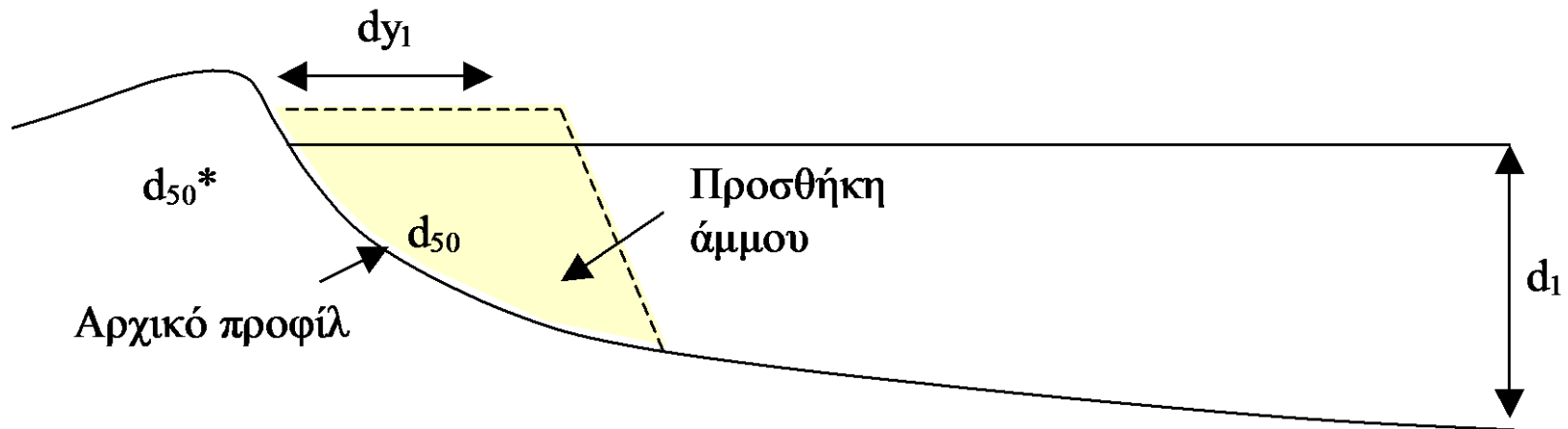


Αντιμετώπισης του προβλήματος:

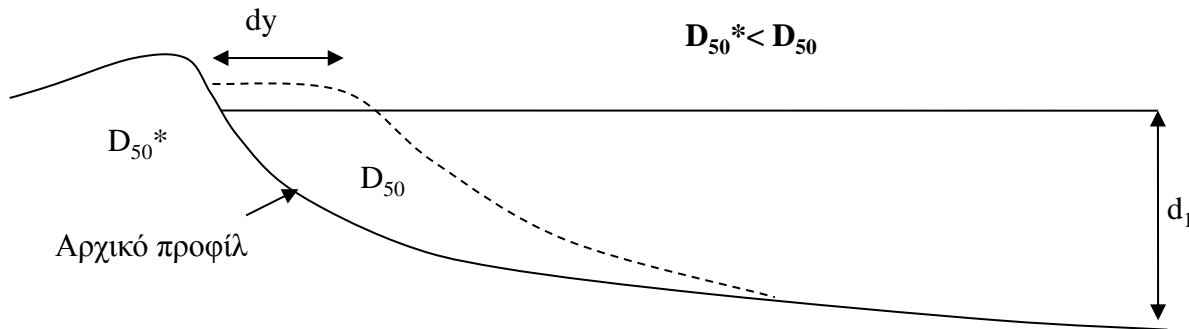
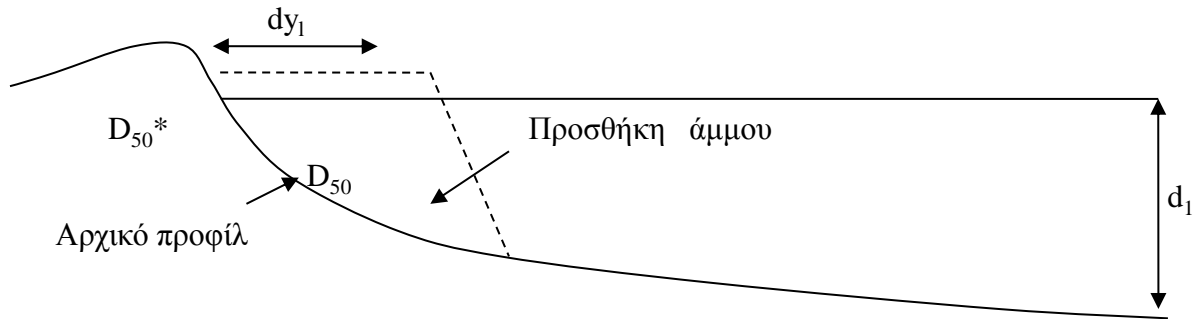
1. ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΣ ΚΥΜΑΤΟΘΡΑΥΣΤΗΣ



2. ΤΕΧΝΗΤΗ ΑΝΑΠΛΑΣΗ



Εγκάρσιες απώλειες άμμου



Άμμος εναπόθεσης με
 $w_f > H_0/T = 2.3/6.5 = 0.35 \text{ m/s}$

$$F_0 = \frac{H_0}{w_f \cdot T} \longrightarrow \begin{array}{l} F_0 > 1 \longrightarrow \text{διάβρωση} \\ F_0 < 1 \longrightarrow \text{εναπόθεση} \end{array}$$

Ταχύτητα καθίζησης

$$w_f = \left[g \cdot \left(\frac{Y_s}{Y} - 1 \right) \right]^{0.7} \cdot \frac{D_{50}^{1.1}}{6 \cdot v^{0.4}}$$

$$\left[g \cdot \left(\frac{Y_s}{Y} - 1 \right) \right]^{0.7} = \left[9.81 \cdot \left(\frac{2.65}{1.024} - 1 \right) \right]^{0.7}$$

$$v = 1.01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}$$

Επιλύοντας ως προς D_{50}

$$D_{50} > 0.00226 \text{ m} = 0.226 \text{ cm}$$

Απαιτούμενη μέση διάμετρος κόκκων άμμου αναπλήρωσης



ΑΣΚΗΣΗ 3

Σε αμμώδη ακτή με Νότιο προσανατολισμό κατασκευάζεται λιμενικό έργο.
Να εκτιμηθεί η επίπτωση στην ακτογραμμή μετά ένα έτος.

Δίνονται:

ΝΑ Νοτιο-Ανατολικοί κυματισμοί:

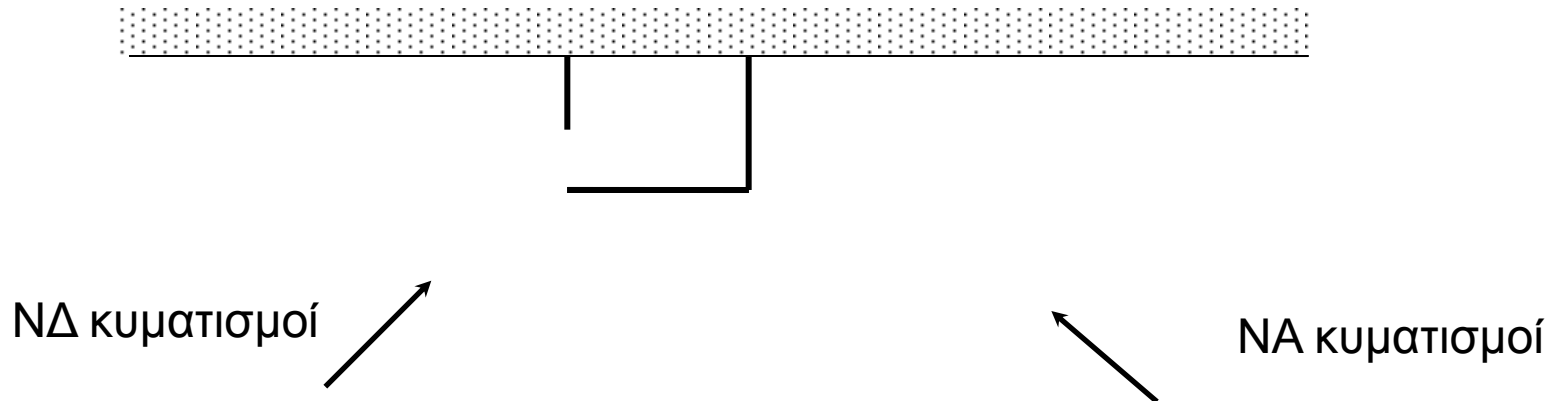
$$H_b=2.5\text{m}, a_b=15^\circ, d_b=2.5\text{ m}$$

Ετήσια συχνότητα δράσης των κυματισμών είναι $f=2\%$

ΝΔ Νοτιο-Δυτικοί:

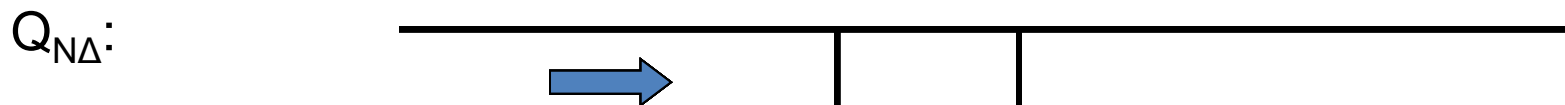
$$H_b=2.0\text{ m}, a_b=15^\circ, d_b=2.0\text{ m}$$

Ετήσια συχνότητα δράσης των κυματισμών είναι $f=3\%$



Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση

$$Q = 1290 \rho g / 16 H_b^2 c_{gb} \sin 2a_b f$$



Για $c_{gb} = (9.81 * 2.0)^{0.5} = 4.43$ m/sec , $H_b = 2.0$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.03$ βρίσκεται

$$Q_{N\Delta} = 210200 \text{ m}^3/\text{year}$$



Για $c_{gb} = (9.81 * 2.5)^{0.5} = 4.95$ m/sec , $H_b = 2.5$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.02$ βρίσκεται

$$Q_{NA} = 245000 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$Q = Q_{NA} - Q_{N\Delta} = 245000 - 210200 = 34800 \text{ m}^3/\text{year} \text{ ΠΡΟΣ ΔΥΤΙΚΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ)}$$



Η προσάμωση κάθετα στην ακτή ανάντη του βραχίονα του λιμένα είναι $y = 2(Q * t * a_b / (\pi h))^{0.5}$

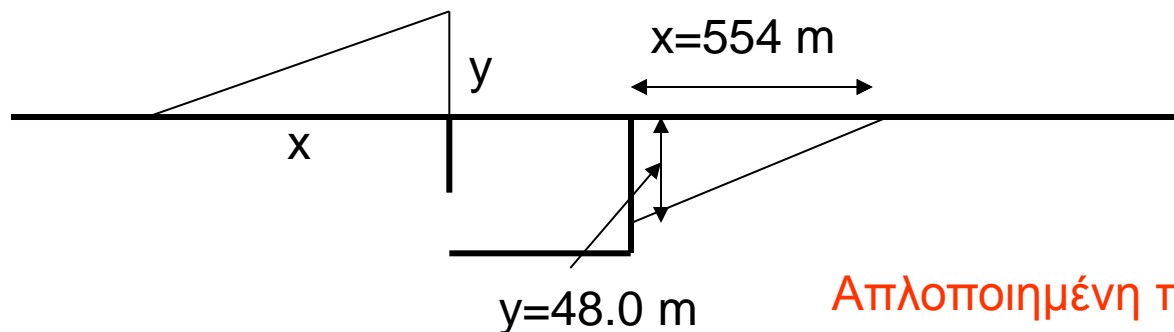
Μέσο βάθος: $h = 2 d_b = 2 \times 2.5 \text{ m} = 5.0 \text{ m}$

$a_b = 0.26 \text{ rad}$ ($a_b = 15^\circ$)

$$y = 2 (34800 * 1 * 0.26 / (3.14 * 5.0))^{0.5} = 48.0 \text{ m} \quad (\text{μετά 1 έτος})$$

Η επίδραση εκτείνεται σε μήκος της ακτής ανάντη του βραχίονα

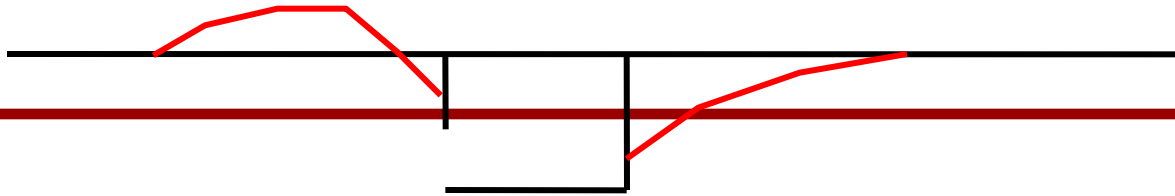
$$x = (3/a_b) * y = (3/0.26) * 48.0 = 554 \text{ m}.$$



Απλοποιημένη προσέγγιση



Πραγματική ακτογραμμή

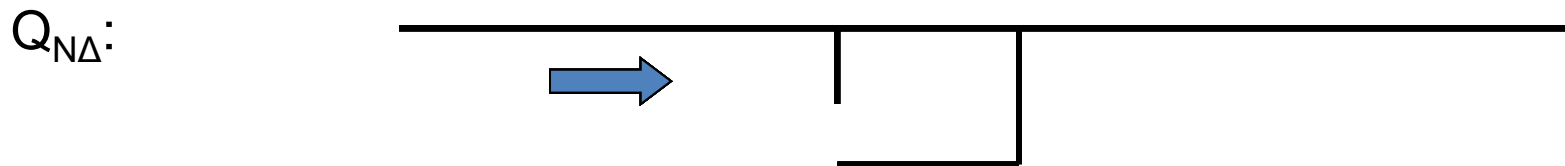


Ολοκληρωμένη προσέγγιση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων



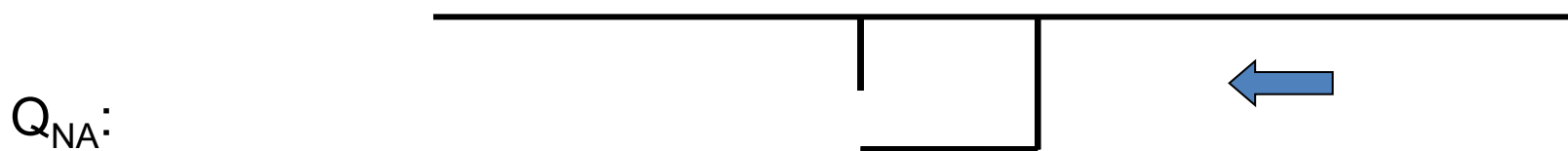
Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση

$$Q = 1290 \rho g / 16 H_b^2 c_{gb} \sin 2a_b f$$



Για $c_{gb} = (9.81 * 2.0)^{0.5} = 4.43 \text{ m/sec}$, $H_b = 2.0$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.03$ βρίσκεται

$$Q_{N\Delta} = 210200 \text{ m}^3/\text{year}$$



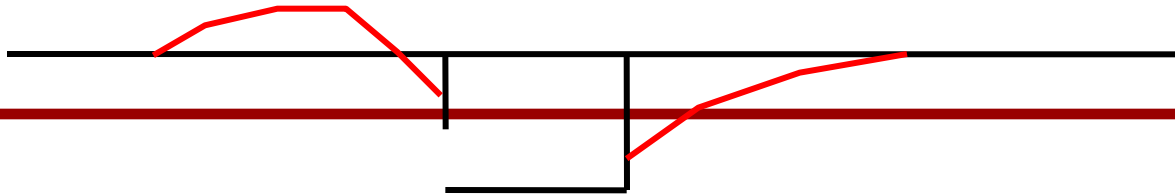
Για $c_{gb} = (9.81 * 2.5)^{0.5} = 4.95 \text{ m/sec}$, $H_b = 2.5$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.02$ βρίσκεται

$$Q_{NA} = 245000 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$Q = Q_{NA} - Q_{N\Delta} = 245000 - 210200 = 34800 \text{ m}^3/\text{year} \text{ ΠΡΟΣ ΔΥΤΙΚΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ)}$$



Πραγματική ακτογραμμή



Ολοκληρωμένη προσέγγιση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων



Ημερομηνία εικόνων: 19 Σεπτ., 2006

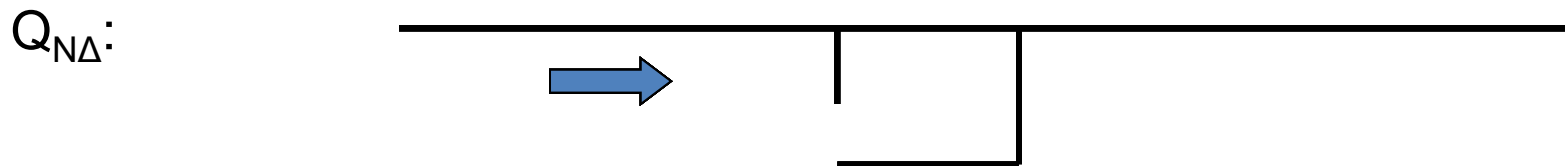
36°21'56.33" Β 27°56'31.76" Ε ανύψ. 0 μ

Eye alt 788 μ



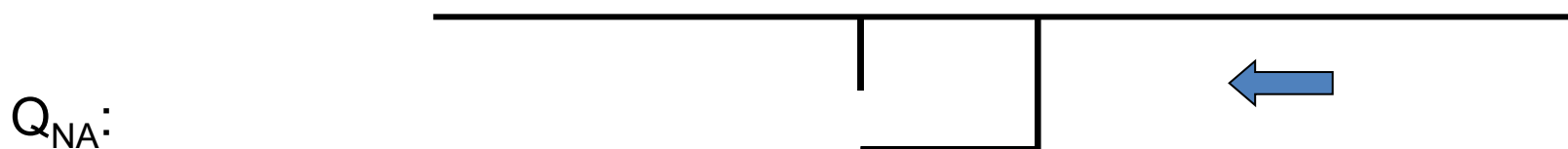
Η ετήσια παράκτια στερεοπαροχή βρίσκεται από τη σχέση

$$Q = 1290 \rho g / 16 H_b^2 c_{gb} \sin 2a_b f$$



Για $c_{gb} = (9.81 * 2.0)^{0.5} = 4.43$ m/sec , $H_b = 2.0$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.03$ βρίσκεται

$$Q_{N\Delta} = 210200 \text{ m}^3/\text{year}$$



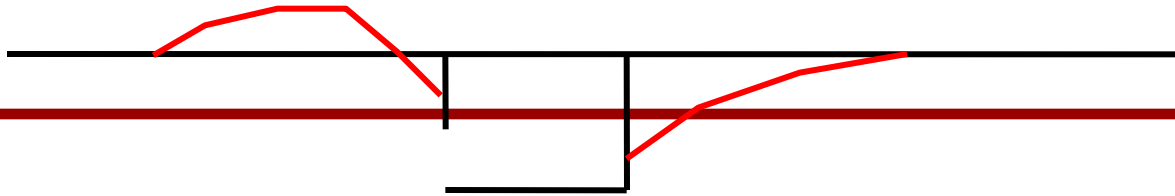
Για $c_{gb} = (9.81 * 2.5)^{0.5} = 4.95$ m/sec , $H_b = 2.5$ $a_b = 15^\circ$ $f = 0.02$ βρίσκεται

$$Q_{NA} = 245000 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$Q = Q_{NA} - Q_{N\Delta} = 245000 - 210200 = 34800 \text{ m}^3/\text{year} \text{ ΠΡΟΣ ΔΥΤΙΚΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ)}$$



Πραγματική ακτογραμμή



Ολοκληρωμένη προσέγγιση με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων



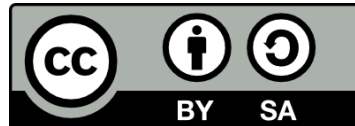
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Καραμπάς Θεοφάνης.
«Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Στερεομεταφορά/Μηχανισμοί μεταφοράς
φερτών υλών-2». 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.

