ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ & ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Σειρά ΙΙΙ:

Μετασχηματισμοί των Κυμάτων

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας - Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Δρ. Βασιλική Κατσαρδή

Περιεχόμενα

- Κυματισμοί που προελαύνουν στα ρηχά νερά
  - Παραδείγματα επίλυσης
- Επίδραση όρων 2ης τάξης
  - Κυματική Ενέργεια
  - Ταχύτητα ομάδας
- Μετασχηματισμοί των κυματισμών
  1. Ρήχωση
  2. Διάθλαση
  3. Περίθλαση
  4. Αλληλεπίδραση κυματισμών - ρευμάτων
  5. Ανάκλαση
  6. Θραύση
  7. Κυματογενή Ρεύματα

Κυματισμοί που προελαύνουν στα ρηχά νερά

Ένας κυματισμός ορίζεται από:-

i. Περίοδο κύματος (*T*)
ii. Μήκος Κύματος (λ)
iii. Εύρος κυματισμού (*a*)

Σημαντικές Παραδοχές:

A. Η μεταβολή στο βάθος πρέπει να είναι αρκετά αργή ώστε οι ταχύτητες και οι πιέσεις να περιγράφονται από τις εξισώσεις (1.4 και 1.8)
B. Δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες (π.χ. αγνοούμε την επιρροή της τριβής)

Αν ισχύουν οι παραπάνω παραδοχές, τότε για τους κυματισμούς που προελαύνουν στα ρηχά νερά ισχύει:

- Περίοδο κύματος (T) – παραμένει σταθερή
- Εύρος κυματισμού (a) – αλλάζει
- Μήκος Κύματος (λ) – αλλάζει

Αλλαγές στο μήκος κύματος

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση διασποράς $\boxed{\omega^2 = [gk \tanh(kd)]}$

Αν ένας κυματισμός έχει κυματικό αριθμό k_o στα βαθειά (δηλ. για $d \to \infty$) τότε η εξίσωση διασποράς διαμορφώνεται ως εξής

$\omega_o^2 = gk_o$ αφού $\tanh(kd) \to 1$ όταν $kd \to \infty$

[Σημείωση: Οι δείκτες "$_o$" αντιστοιχούν πάντα σε συνθήκες βαθέων υδάτων].

Επομένως για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος υπολογίζουμε απλά την περίοδο.

Αλλαγές στο μήκος κύματος II

Τώρα, όπως οι κυματισμοί ταξιδεύουν προς ύδατα βάθους *d*, η περίοδος θα παραμείνει σταθερή αρκεί να ισχύουν οι παραδοχές (Α) και (Β).

$$\omega = \omega_o$$

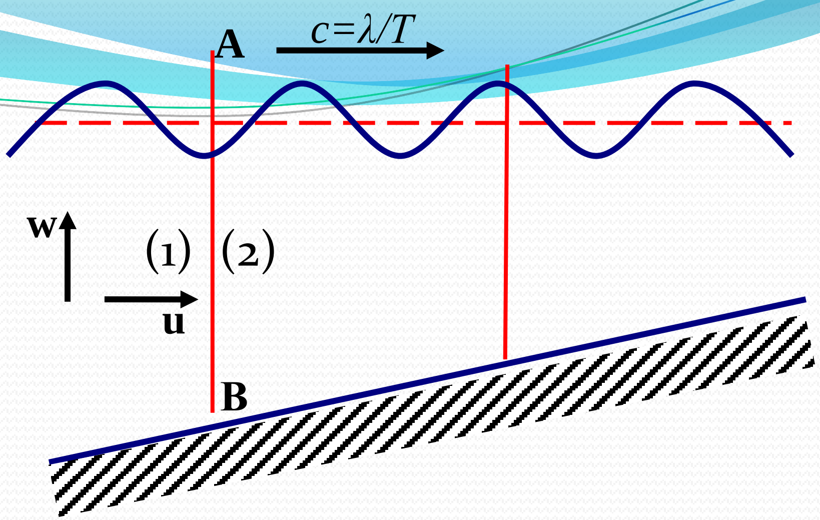
Επομένως στα ρηχά:

$$\omega^2 = gk \tanh kd$$

Επομένως, αν *d* είναι γνωστό τότε με μία επαναληπτική διαδικασία θα βρούμε τη νέα τιμή του *k*.

[Σημείωση: Η εξίσωση αυτή δεν λύνεται ρητά ως προς *k* και θέλει να λυθεί με επαναληπτική διαδικασία, ή με πίνακες, ή με γραφήματα].

Μεταβολές στο ύψος του κυματισμού



Το *Έργο W* από το ρευστό στο τμήμα (1) στο ρευστό στο τμήμα (2) είναι:

$$W = \int_{z=-d}^{z=\eta} up\partial z$$

ανά μονάδα μήκους

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις *u* και *p*:

$$W = \int_{-d}^{\eta} \underbrace{\frac{a\omega\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}\sin(\omega t - kx)}_{\mathbf{u}} \underbrace{\left[p_o - \rho g z + \rho a g \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh kd}\sin(\omega t - kx)\right]}_{\mathbf{p}} \partial z$$

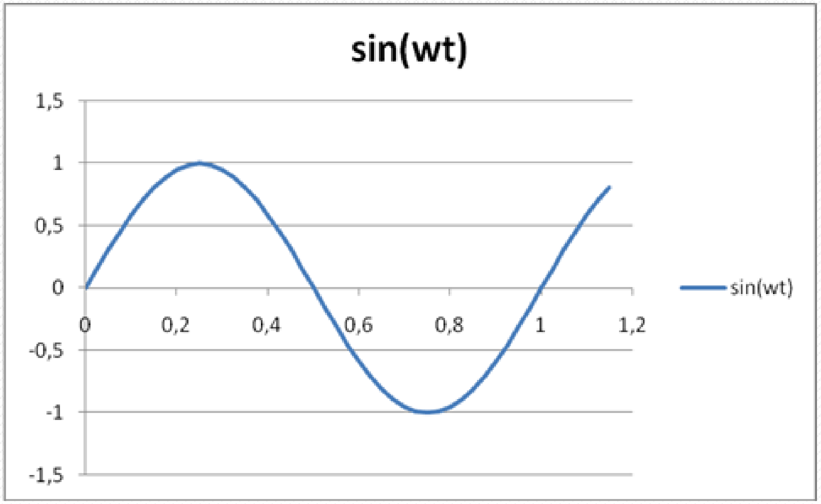
Μεταβολές στο ύψος του κυματισμού II

Τώρα το συνολικό έργο για κάθε κύκλο είναι

$$\int_{t=t}^{t=t+T} W dt$$

Αλλά

$$\int_{t=t}^{t=t+T} \sin(\omega t - kx)\,\partial t = 0$$



Μεταβολές στο ύψος του κυματισμού III

και

$$\int_{t=t}^{t=t+T} \sin^2(\omega t - kx)\,\partial t = \frac{T}{2}$$

Για μία περίοδο Τ ημ(Τ)=0

2.	Υπολογισμός του $I_2 = \int \eta\mu^2 x dx$ (2)

ΛΥΣΗ

Είναι:

Α. Είναι: $I_2 = \int \eta\mu^2 x dx = \int \frac{1-\sigma\upsilon\nu 2x}{2} dx = \frac{1}{2}\int dx - \frac{1}{2}\int \sigma\upsilon\nu 2x dx = \frac{1}{2}x - \cancel{\frac{1}{4}\eta\mu 2x} + c$

Β. Θέσατε $I_2 = \int \eta\mu^2 x dx$ και $J_2 = \int \sigma\upsilon\nu^2 x dx$. Τότε

Επειδή $\eta\mu^2 x + \sigma\upsilon\nu^2 x = 1$ και $\sigma\upsilon\nu^2 x - \eta\mu^2 x = \sigma\upsilon\nu 2x$, θα έχουμε:

$$I_2 + J_2 = \int \eta\mu^2 x dx + \int \sigma\upsilon\nu^2 x dx = \int 1 dx = x + c_1 \quad (3)$$

$$J_2 - I_2 = \int \sigma\upsilon\nu^2 x dx - \int \eta\mu^2 x dx = \int \sigma\upsilon\nu 2x dx = \frac{\eta\mu 2x}{2} + c_2 \quad (4)$$

Λύνοντας το σύστημα των σχέσεων (3) και (4) παίρνουμε:

$$\begin{Bmatrix} I_2 + J_2 = x + c_1 \\ J_2 - I_2 = \frac{\eta\mu 2x}{2} + c_2 \end{Bmatrix} \Leftrightarrow \begin{Bmatrix} I_2 + J_2 = x + c_1 \\ 2J_2 = x + \frac{\eta\mu 2x}{2} + c_1 + c_2 \end{Bmatrix} \Leftrightarrow \begin{Bmatrix} I_2 = \frac{x}{2} - \frac{\eta\mu 2x}{4} + c \\ J_2 = \frac{x}{2} + \frac{\eta\mu 2x}{4} + c \end{Bmatrix}$$

Μεταβολές στο ύψος του κυματισμού IV

Ομως, το έργο που παράγεται από το πεδίο από το (1) στο (2) είναι ίσο με τη μεταφορά ενέργειας στο ΑΒ

Από την παραδοχή (Β), η μεταφορά της ενέργειας πρέπει να είναι ίδια για κάθε παράλληλη επιφάνεια του ΑΒ.

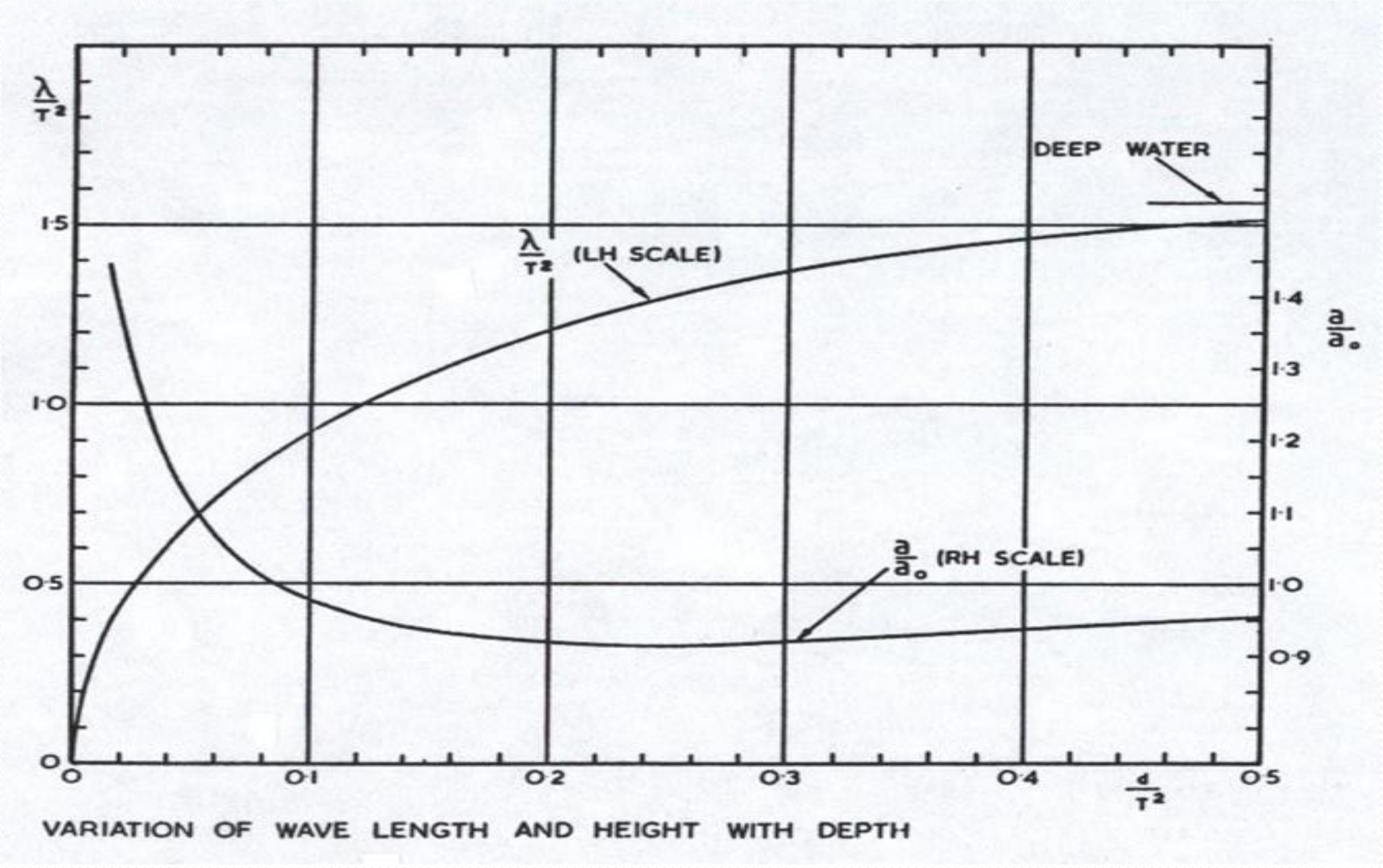
Ολικό Έργο=

$$= \int_{z=d}^{z=\eta} \frac{T\rho g a^2 \omega \cosh^2[k(z+d)]}{2\sinh(kd)\cosh(kd)} \partial z = \frac{T\rho g a^2 \omega}{\sinh(2kd)} \int_{z=d}^{z=\eta} \cosh^2[k(z+d)]\, \partial z$$

$$= \frac{T\rho g a^2 \omega}{4k}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] = C \text{ ή } \frac{a^2}{k}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] = C \quad \text{Εξ. (3}a\text{)}$$

$\boxed{\text{αν } \eta \ll d}$

Μεταβολές στο ύψος του κυματισμού V



Κυματισμοί που προελαύνουν στα ρηχά νερά – Παράδειγμα υπολογισμού

Στα βαθιά ο κυματισμός σχεδιασμού έχει τα εξής χαρακτηριστικά

λ_o = 100m, a_o = 0.75m.

Ποιά τα χαρακτηριστικά του κυματισμού σε βάθος 10m;

- <u>Στα βαθιά</u>

λ_o = 100m $\Rightarrow k_o = \frac{2\pi}{\lambda} = 0.0628$rad/m

Από την εξίσωση διασποράς: $\omega^2 = gk \tanh kd$

αλλά αν $d \to \infty$, $\tanh kd \to 1$,

$\omega_o^2 = gk_o \Rightarrow \omega = \sqrt{9.81 \cdot 0.0628} \Rightarrow \omega = 0.7848$rad/s

$T = \frac{2\pi}{\omega} = 8.006$s

- <u>Στα ρηχά</u>

Η γωνιακή συχνότητα παραμένει σταθερή $\omega = 0.7848\mathrm{rad/s}$

Από την εξίσωση διασποράς:

$\omega^2 = gk\tanh kd \Longrightarrow 0.616 = 9.81k\tanh(k \times 10)$

Μετά από επαναλήψεις (ή excel ή προγραμματσμό)

$k = 0.0886$ ή $\lambda = 70.92\mathrm{m}$

Από την εξίσωση (3α)

$$\frac{a^2}{k}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] = C \rightarrow \frac{a^2}{k}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] = \frac{{a_o}^2}{k_o}$$

Σημείωση: $\frac{2kd}{\sinh(2kd)} \rightarrow 0$ όταν $d \rightarrow \infty$

Άρα α=0.7m

Επίδραση όρων 2ης τάξης

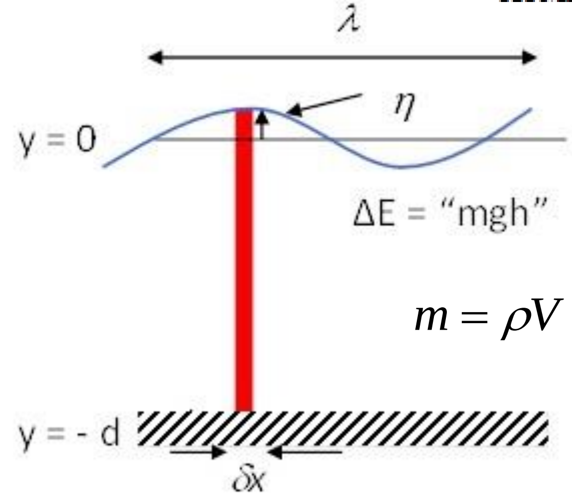
Α. Κυματική Ενέργεια

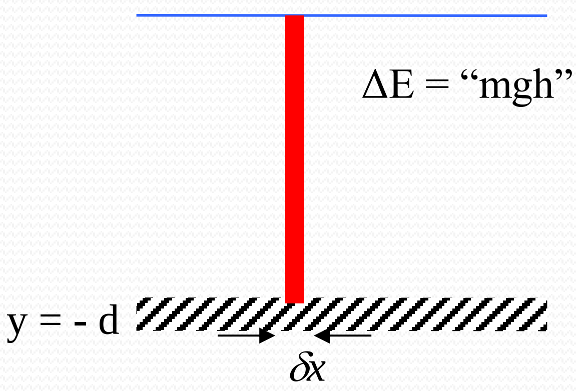
Κυματική ενέργεια

i. Δυναμική – εξαιτίας της θέσης των σωματιδίων του ρευστού
ii. Κινητική – της κίνησης των σωματιδίων του ρευστού

(i) Δυναμική Ενέργεια

Δίνεται από $\Delta E_{ΚΥΜΑΤΑ} = \Delta E_{ΟΛΙΚΗ} - \Delta E_{ΗΡ.ΕΠΙΦ}$





όπου "*mgh*"

$$= \frac{1}{\eta+d}\int_{-d}^{\eta}[\delta x(\eta+d)\rho]gzdz =$$
$$= \frac{1}{\eta+d}[\delta x(\eta+d)\rho]g\int_{-d}^{\eta}zdz =$$
$$= \frac{1}{\eta+d}[\delta x(\eta+d)\rho]g\left[\frac{z^2}{2}\right]_{-d}^{\eta} =$$
$$= \frac{1}{2}\rho g(\eta+d)^2\delta x$$

όπου "*mgh*"

$$= \frac{1}{d}\int_{-d}^{0}[\delta x d\rho]gzdz =$$
$$= \frac{1}{d}[\delta x d\rho]g\int_{-d}^{0}zdz =$$
$$= \frac{1}{d}[\delta x d\rho]g\left[\frac{z^2}{2}\right]_{-d}^{0} =$$
$$= \frac{1}{2}\rho g d^2\delta x$$

(i) Δυναμική Ενέργεια ΙΙ

Για να έχουμε την μέση δυναμική ενέργεια ανά μήκος κύματος:

$$\Delta E_{KYMATA} = \frac{1}{\lambda} \int_{x=x}^{x=x+\lambda} \left[\frac{1}{2} \rho g (\eta + d)^2 - \frac{1}{2} \rho g d^2 \right] dx$$

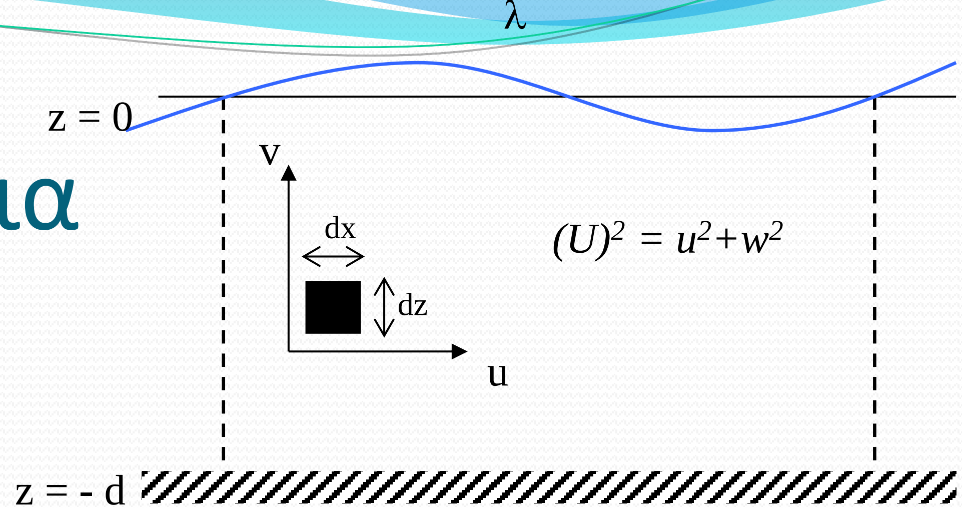
αλλά $\eta = a \sin(\omega t - kx)$

Υπενθύμιση: $\int_{x=x}^{x=x+\lambda} \sin(\omega t - kx) dx = 0$ και $\int_{x=x}^{x=x+\lambda} \sin^2(\omega t - kx) dx = \frac{\lambda}{2}$

Επομένως: $\boxed{\Delta E_{KYMATA} = \rho \frac{g a^2}{4}}$ ***Δυναμική Ενέργεια***

Εξ. (3β)

(ii) Κινητική Ενέργεια



Δίνεται από το άθροισμα

των “ $\frac{1}{2}$ mU²”

για κάθε σωματίδιο ρευστού.

Επομένως: $KE = \frac{1}{2}\rho(u^2+w^2)dxdz$ όπου $m = \rho \mathrm{dxdz}$

Ολοκληρώνοντας για όλο το πεδίο έχουμε και για ένα μήκος κύματος

$$KE_{KYMATA} = \frac{1}{\lambda}\int_{x=x}^{x=x+\lambda}\int_{z=-d}^{z=0}\frac{\rho}{2}\left(u^2+w^2\right)dxdz$$

Αντικαθιστώντας για *u* και *w* έχουμε:

$$\boxed{KE_{WAVES} = \rho g \frac{a^2}{4}}$$ ***Κινητική ενέργεια*** Εξ. (3γ)

Ολική Ενέργεια

Επομένως η ολική ενέργεια είναι, E_{KYMATA} δίνεται από:

$E_{KYMATA} = \Delta E + KE$

$$\boxed{E_{KYMATA} = \frac{\rho g a^2}{2}}$$

Ολική ενέργεια κυμάτων

Εξ. (3δ)

Επίδραση όρων 2ης τάξης

Β. Ταχύτητα ομάδας

Ταχύτητα ομάδας

Έχουμε δείξει ότι η μεταφορά ενέργειας από ένα κάθετο τμήμα AB σε ένα κύκλο είναι: $\frac{T\rho g a^2 \omega}{4k}\left[1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]$

Αντικαθιστώντας για $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ και $\omega=\frac{2\pi}{T}$ έχουμε: $\frac{\rho g a^2 \lambda}{4}\left[1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]$

Η ολική ενέργεια σε ένα μήκος κύματος είναι: $\frac{\rho g a^2 \lambda}{2}$

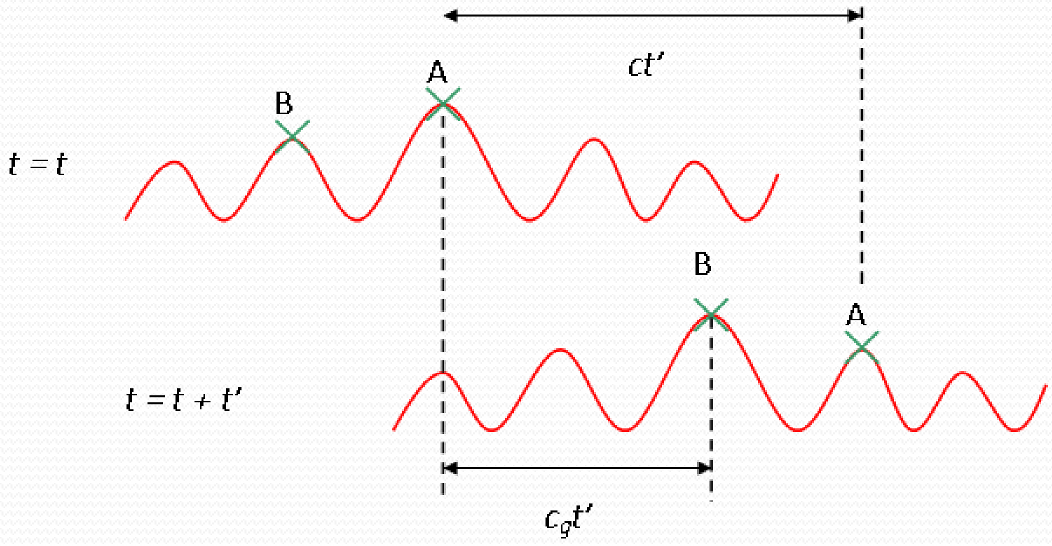
Έτσι όταν ένας πλήρης κυματισμός περνά ένα κάθετο τμήμα AB μεταφέρει μόνο τμήμα από την ολική ενέργειά του ίσο με

$$\frac{\frac{\rho g a^2 \lambda}{4}\left[1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]}{\frac{\rho g a^2 \lambda}{2}}=\frac{1}{2}\left[1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]$$

Σημείωση: Αυτός ο λόγος πρέπει να είναι πάντα ≤ 1.

Ταχύτητα ομάδας

Έχουμε επομένως δείξει ότι τα κύματα δεν μεταφέρουν όλη την ενέργειά τους μαζί τους. Έτσι αν θεωρήσουμε μία ομάδα κυματισμών:



Η ομάδα προάγει μία ταχύτητα που είναι μικρότερη από την ταχύτητα των κυματισμών ατομικά. Έτσι οι κυματισμοί περνούν από την ομάδα και σβήνουν στο εμπρός τμήμα της ομάδας.

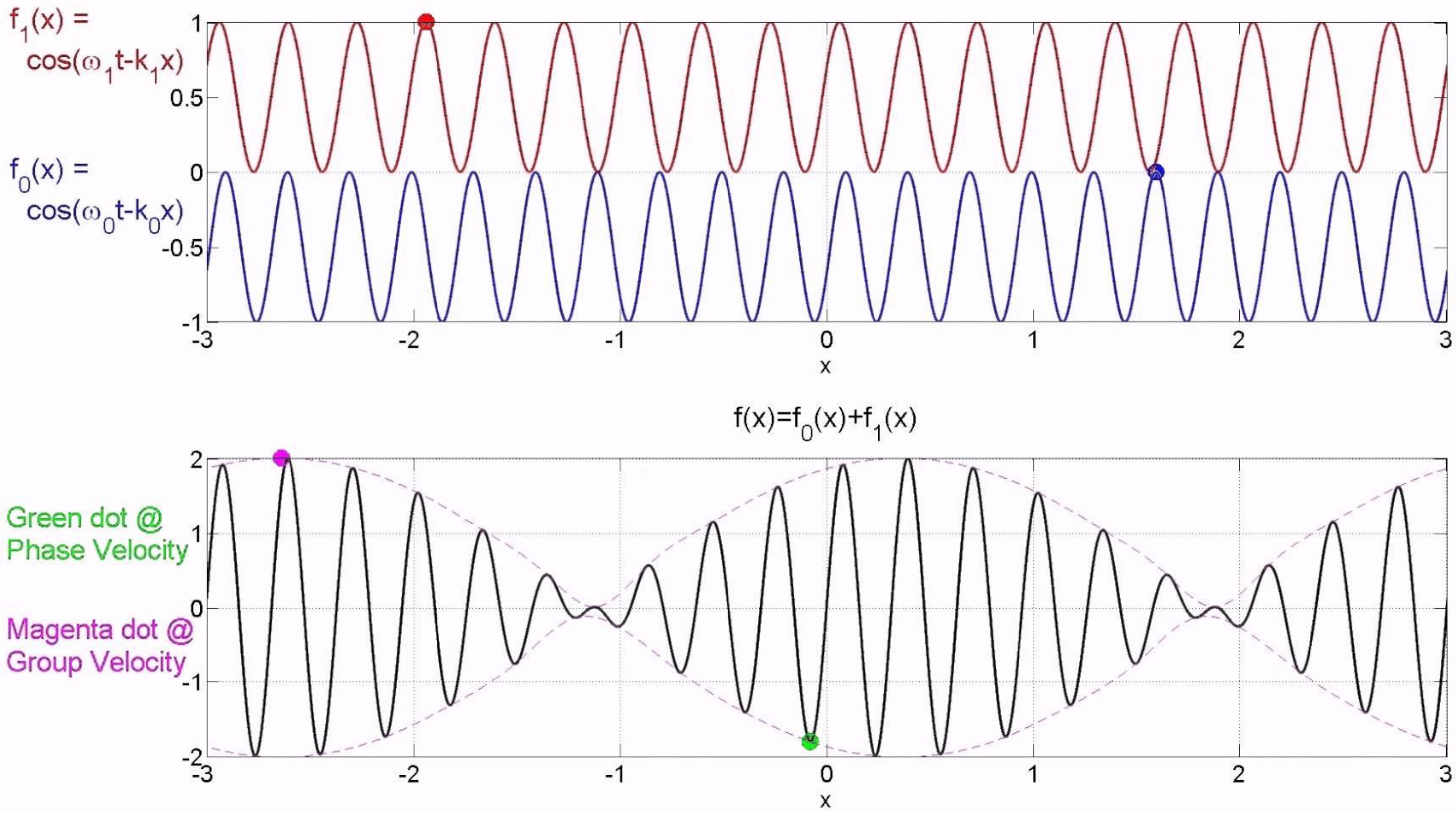
$$\boxed{c_g = \frac{c}{2}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]}$$

Ταχύτητα ομάδας

Εξ. (3ε)

Έτσι η ταχύτητα ομάδας ορίζεται σαν η μέση ταχύτητα της ομάδας κυματισμών ή εναλλακτικά της ταχύτητας που μεταφέρεται η κυματική ενέργεια.

Ταχύτητα ομάδας



Ταχύτητα ομάδας

Σημειώνεται ότι

i. Στα βαθιά νερά, $kd \to \infty \qquad \dfrac{2kd}{\sinh(2kd)} \to 0 \quad \Rightarrow \quad c_g = \dfrac{1}{2}c$

ii. Στα ρηχά νερά, $kd \to 0 \qquad \dfrac{2kd}{\sinh(2kd)} \to 1 \quad \Rightarrow \quad c_g = c$

Μετασχηματισμοί των κυματισμών

1. Ρήχωση

Μετασχηματισμοί των κυματισμών

Μερικές από τις κυματικές παραμέτρους αλλάζουν όταν οι κυματισμοί συναντούν:

- Εμπόδια
- Μεταβολές στον πυθμένα
- Ρεύματα.

Ρήχωση

Ρήχωση ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία οι κυματισμοί που μεταδίδονται υπεράνω ενός επικλινούς πυθμένα, σε διεύθυνση κάθετη στις ισοβαθείς, υπόκεινται σε **αλλαγές** στο ύψος, *H*, και στο μήκος, λ, αλλά **η περίοδος παραμένει σταθερή**.

Προϋποθέσεις:

- Κλίση του πυθμένα μικρή αλλά όχι απαραίτητα σταθερή.
- Δεν υπολογίζουμε τις πιθανόν ανακλάσεις
- Υποθέτουμε ότι δεν έχουμε απώλειες ενέργειας λόγω θραύσης ή κέρδος ενέργειας λόγω ανέμων.

Συντελεστής ρήχωσης: $$\mathrm{K}_s = (c_o/(2nc))^{1/2} \quad \text{Εξ. (3ζ)}$$

$$n = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right] \quad \text{Εξ. (3στ)}$$

όπου *c* η ταχύτητα μετάδοσης του κυματισμού.

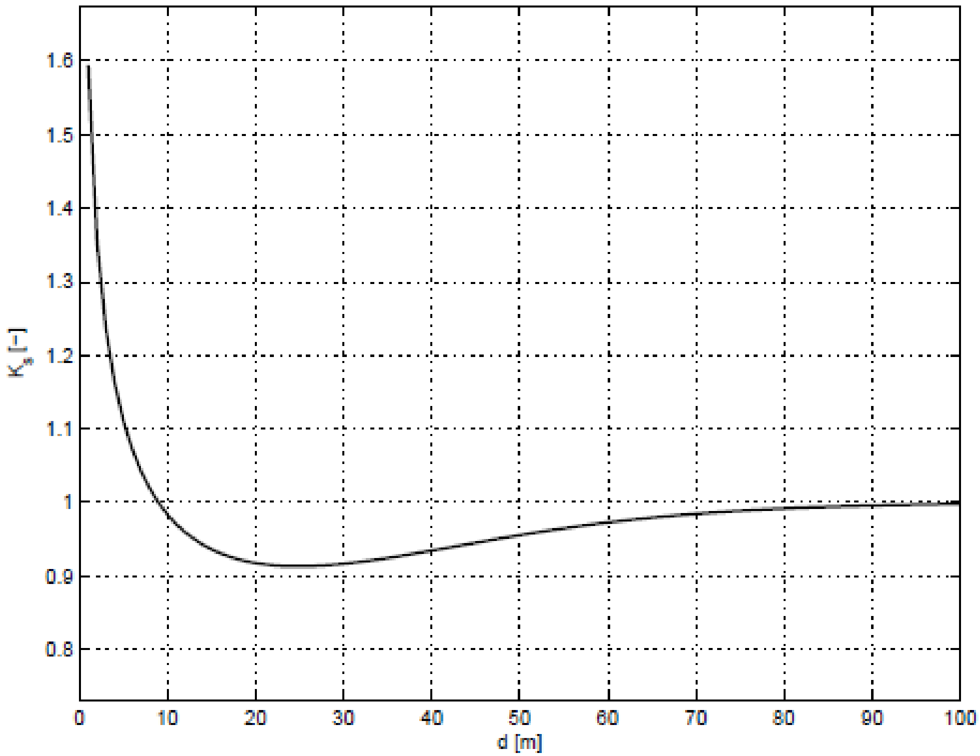


Figure 4.1: Shoaling coefficient K_s against local water depth for a wave period of $T = 10$ s.

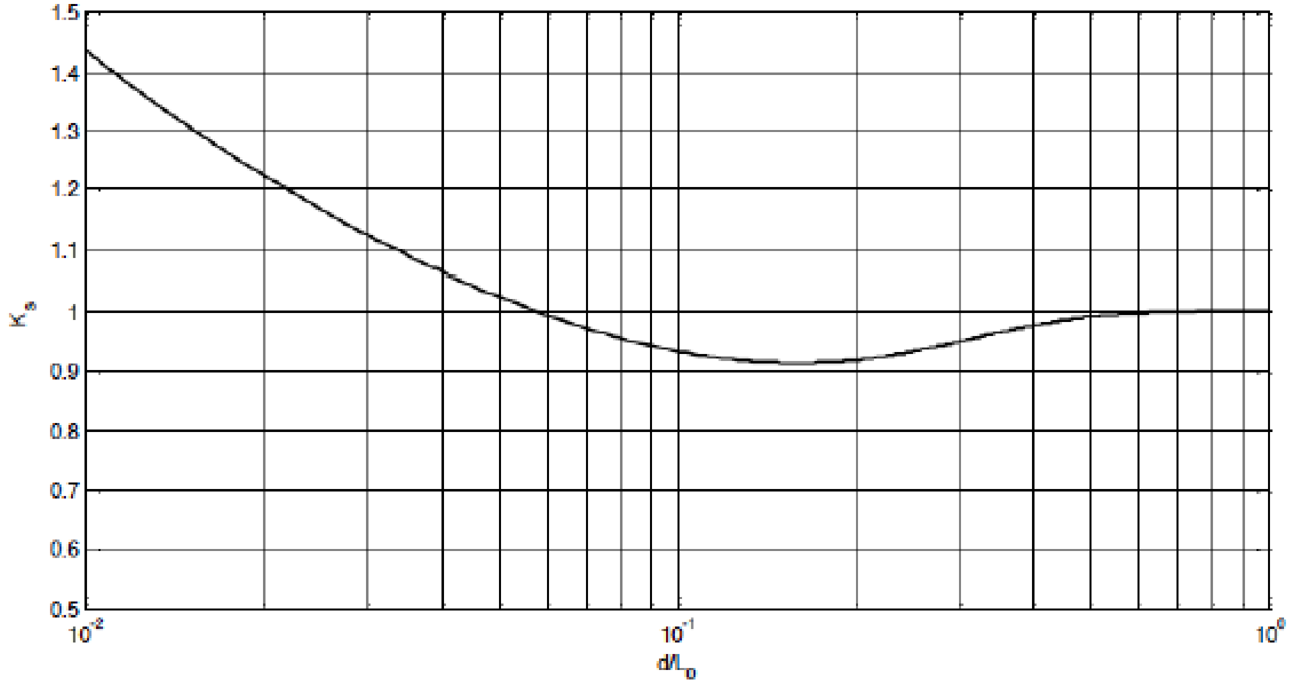


Figure 4.2: Design graph for the shoaling coefficient K_s based on the local water depth d and the deep water wavelength L_0.

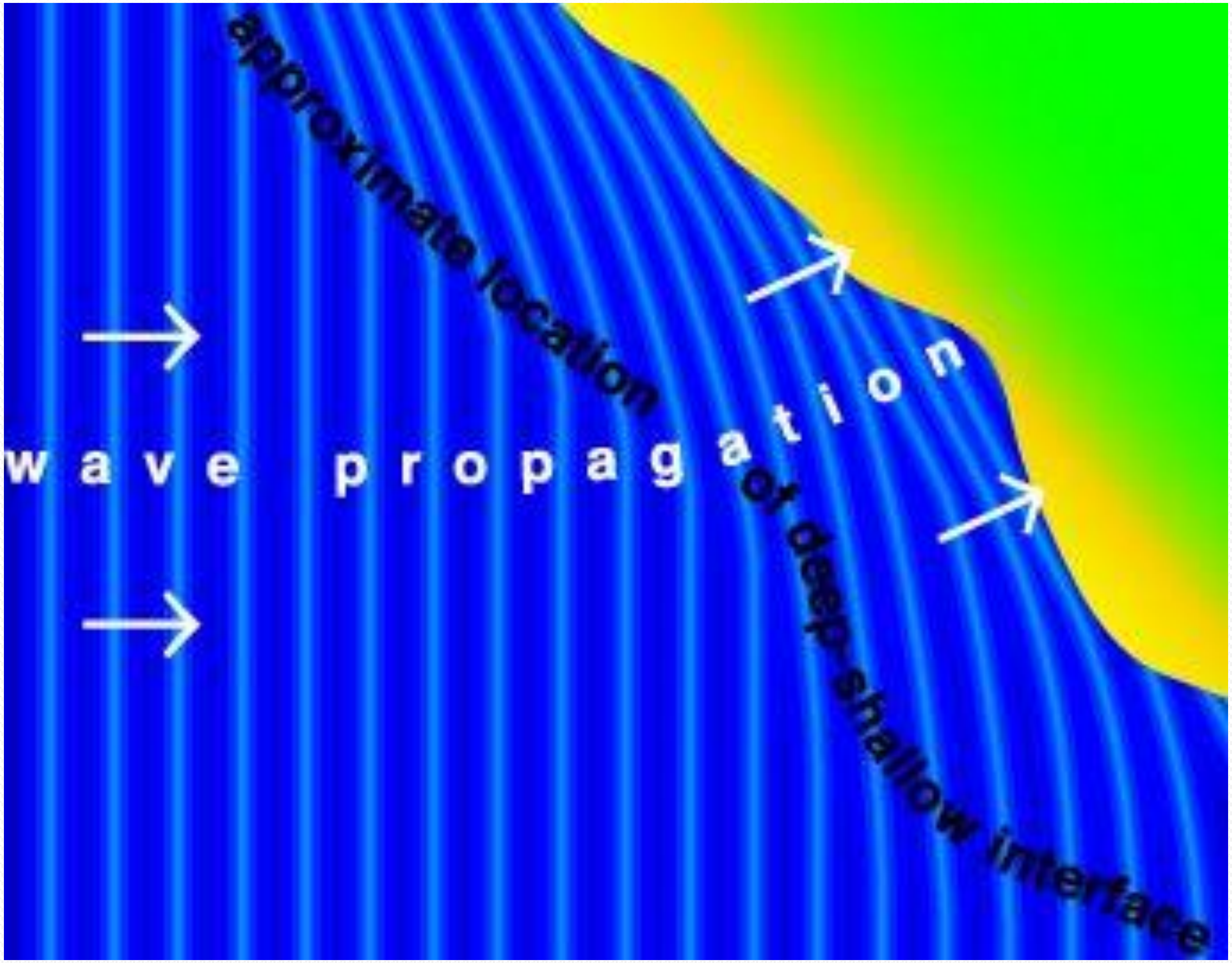
Μετασχηματισμοί των κυματισμών

2. Διάθλαση

Διάθλαση

- Έχουμε ήδη αναφέρει ότι η **ταχύτητα** ενός κυματισμού εξαρτάται από το **βάθος του πυθμένα**
- Για κυματισμούς που κινούνται **διαγωνίως** των ισοβαθών, το κομμάτι του κυματισμού που βρίσκεται στα **βαθύτερα** ύδατα κινείται **ταχύτερα** από το κομμάτι του κυματισμού που βρίσκεται στα ρηχότερα ύδατα. Αυτή η **διαφορά** αναγκάζει τον κυματισμό να **στρέφεται** παράλληλα προς τις ισοβαθείς.
- Η στροφή αυτή ορίζεται ως **διάθλαση**
- Το φαινόμενο είναι ανάλογο άλλων τύπων διάθλασης (φωτός και ήχου).

Διάθλαση ΙΙ



approximate location of deep-shallow interface
wave propagation

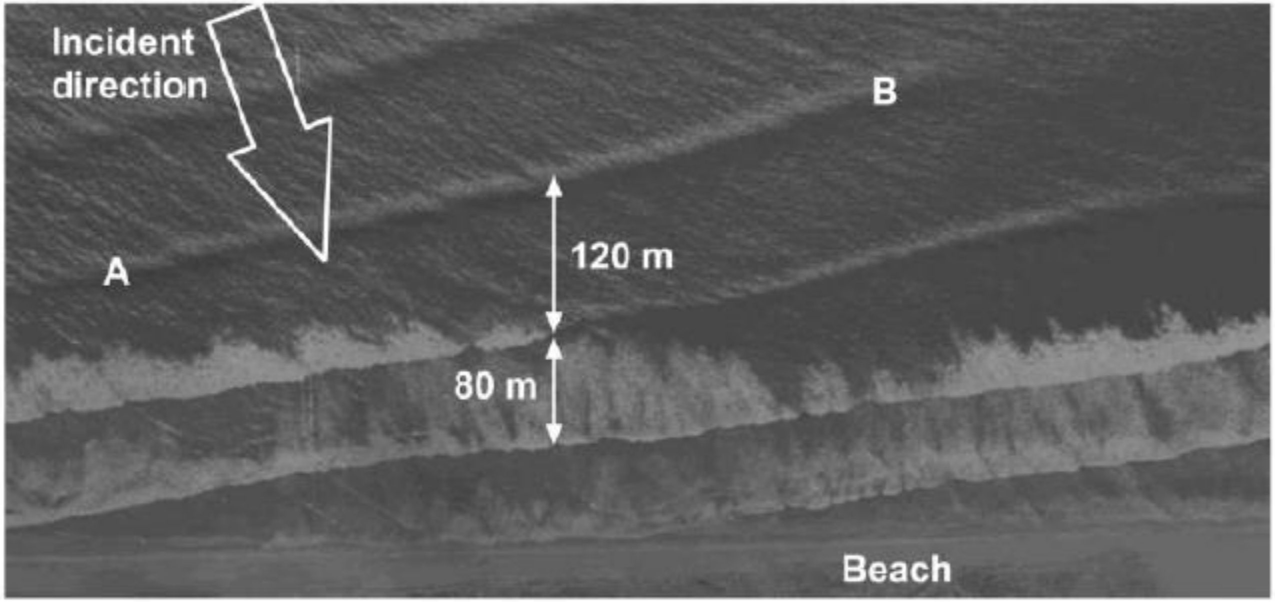
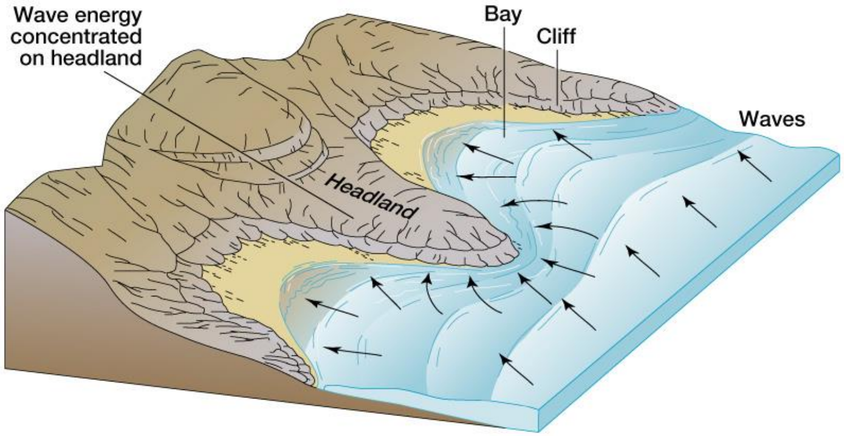
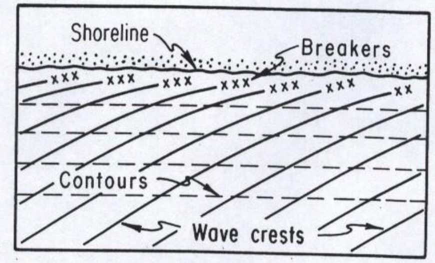


Figure 4.4: Aerial image of waves refracting towards the shoreline.

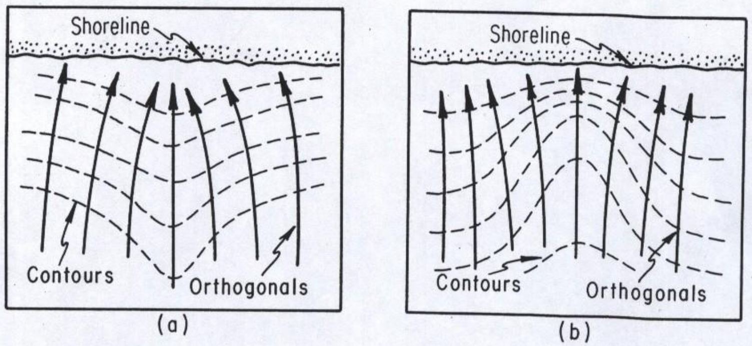
Διάθλαση ΙΙΙ

Διάθλαση IV

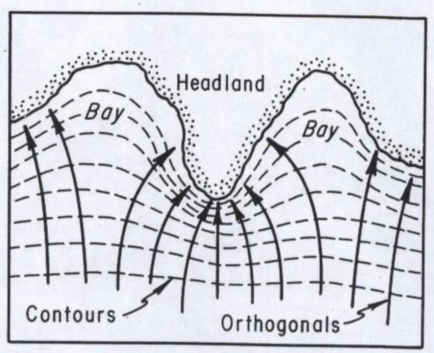




Refraction along a straight beach with parallel bottom contours.



Refraction by a submarine ridge (a) and submarine canyon (b).



Refraction along an irregular shoreline.

Διάθλαση V

Πρακτική Σημασία

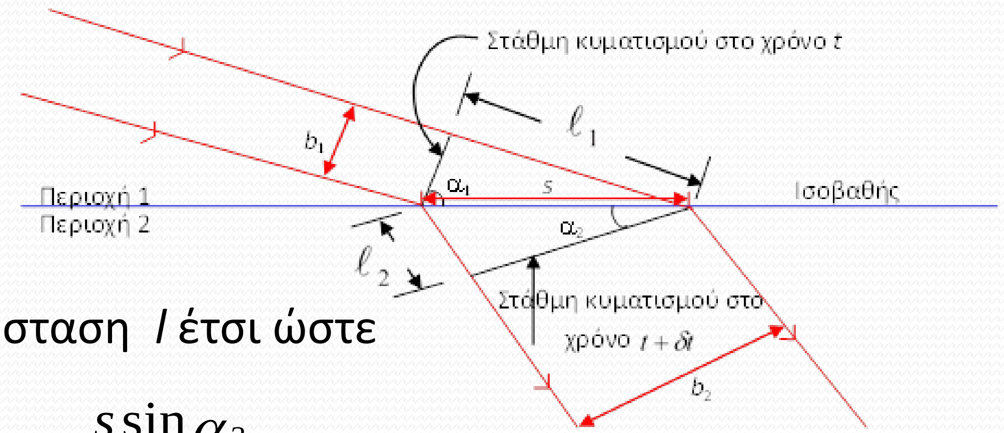
1. Η διάθλαση σε συνδυασμό με τη ρηχότητα, καθορίζει **το ύψος του κυματισμού** σε κάθε καθορισμένο βάθος πυθμένα για δεδομένο προσπίπτων κυματισμό στα βαθειά (ύψος κύματος στα βαθειά, περίοδος και διεύθυνση κυματισμού). Η διάθλαση λοιπόν έχει σημαντική επίδραση στο ύψος του κυματισμού και στην κατανομή της ενέργειας στην ακτογραμμή.
2. Η **μεταβολή στη διεύθυνση** στα διάφορα τμήματα του κυματισμού έχει σαν αποτέλεσμα την **συγκέντρωση ή την απομάκρυνση της κυματικής ενέργειας** και πρακτικά **επηρεάζει τις δυνάμεις** που ασκούνται στα διάφορα μέρη των κατασκευών.
3. Η διάθλαση συνεισφέρει στην **αλλαγή της τοπογραφίας του πυθμένα** με την επίδραση της στην διάβρωση και εναπόθεση φερτών.
4. Μία γενική περιγραφή της τοπογραφίας πυθμένα μπορεί να εξαχθεί από **αεροφωτογραφίες** που περιέχουν διαθλώμενους κυματισμούς.

Διάθλαση VI

Προϋποθέσεις

1. Αν ονομάσουμε ορθογωνίους ή ακτίνες τις γραμμές κάθετες στις κυματοκορυφές και τις επεκτείνουμε έμπροσθεν του κυματισμού, η **κυματική ενέργεια** μεταξύ των **ακτίνων ή ορθογωνίων** πρέπει να παραμένει **σταθερή**.
2. Η διεύθυνση του προελαύνων κυματισμού είναι κάθετη στην κυματοκορυφή.
3. Η **ταχύτητα κυματισμού** για δεδομένη περίοδο κυματισμού σε κάθε σημείο **εξαρτάται μόνο από το βάθος** του πυθμένα στο συγκεκριμένο σημείο.
4. **Κλίση του πυθμένα μικρή** αλλά όχι απαραίτητα σταθερή.
5. Δεν υπολογίζουμε τις πιθανόν ανακλάσεις.
6. Τα κύματα είναι **μακροκόρυφα**, με σταθερή περίοδο, μικρό εύρος και **μονοχρωματικά** (έχουν μία συχνότητα).

Διάθλαση VII



Εφαρμογή του νόμου του Snell:
Η κυματοκορυφή ταξιδεύει μία απόσταση *l* έτσι ώστε

$$c_1 = \frac{l_1}{\delta t} = \frac{s\sin\alpha_1}{\delta t}, \quad c_2 = \frac{l_2}{\delta t} = \frac{s\sin\alpha_2}{\delta t} \qquad \text{Εξς. } (3\eta)$$

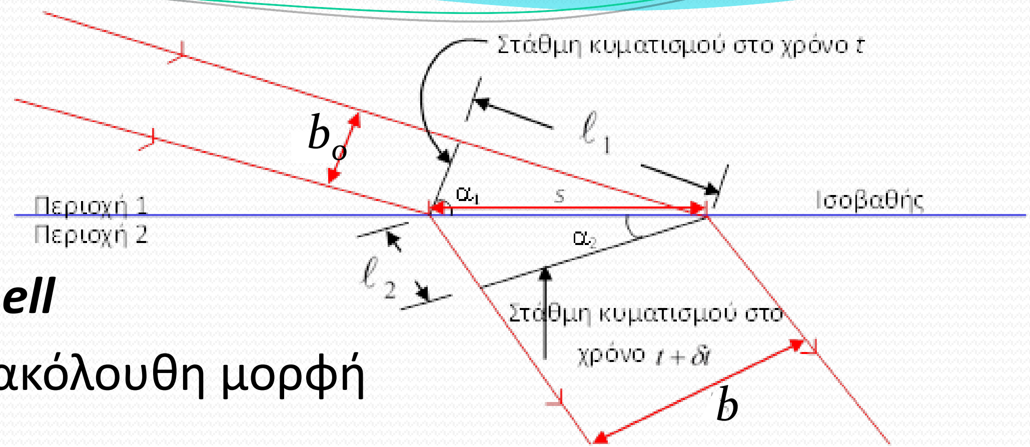
Έτσι

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} \qquad \text{Εξ. } (3\theta)$$

Όπου

- α_1- η γωνία που κάνει η κυματοκορυφή με την ισοβαθή που προσπερνά
- α_2- η γωνία που κάνει η κυματοκορυφή με την επόμενη ισοβαθή
- c_1- η ταχύτητα στο βάθος της περιοχής 1.
- c_2- η ταχύτητα στο βάθος της περιοχής 2.

Διάθλαση VII



Η Εξ.(3θ) εκφράζει το *νόμο του **Snell***

όπου συνήθως συναντιέται στην ακόλουθη μορφή

$$\frac{c}{c_o} = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_o} \qquad \text{Εξ. } (3\iota)$$

- Η Εξ.(3ι) είναι η βάση για διάφορα γεωμετρικά μοντέλα που διαγράφουν τα ίχνη των ορθογωνίων από τα βαθειά στα ρηχά με δεδομένη την τοπογραφία πυθμένα.
- Αν *b*, b_o είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ορθογωνίων στα ρηχά και στα βαθειά τότε $$\frac{H}{H_o} = \left(\frac{b_o}{b}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{c_{g_0}}{c_g}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{b_o}{b}\right)^{\frac{1}{2}} K_s \qquad \text{Εξ. } (3\iota\alpha)$$
- Ο λόγος K_r . $\left(\frac{b_o}{b}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{s\cos a_o}{s\cos a}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\cos a_o}{\cos a}\right)^{\frac{1}{2}}$ ονομάζεται ***συντελεστής διάθλασης***
- Επομένως, μέχρι στιγμής $$\boxed{\frac{H}{H_o} = K_r \times K_s \Leftrightarrow H = K_r \times K_s \times H_o} \qquad \text{Εξ. } (3\iota\beta)$$

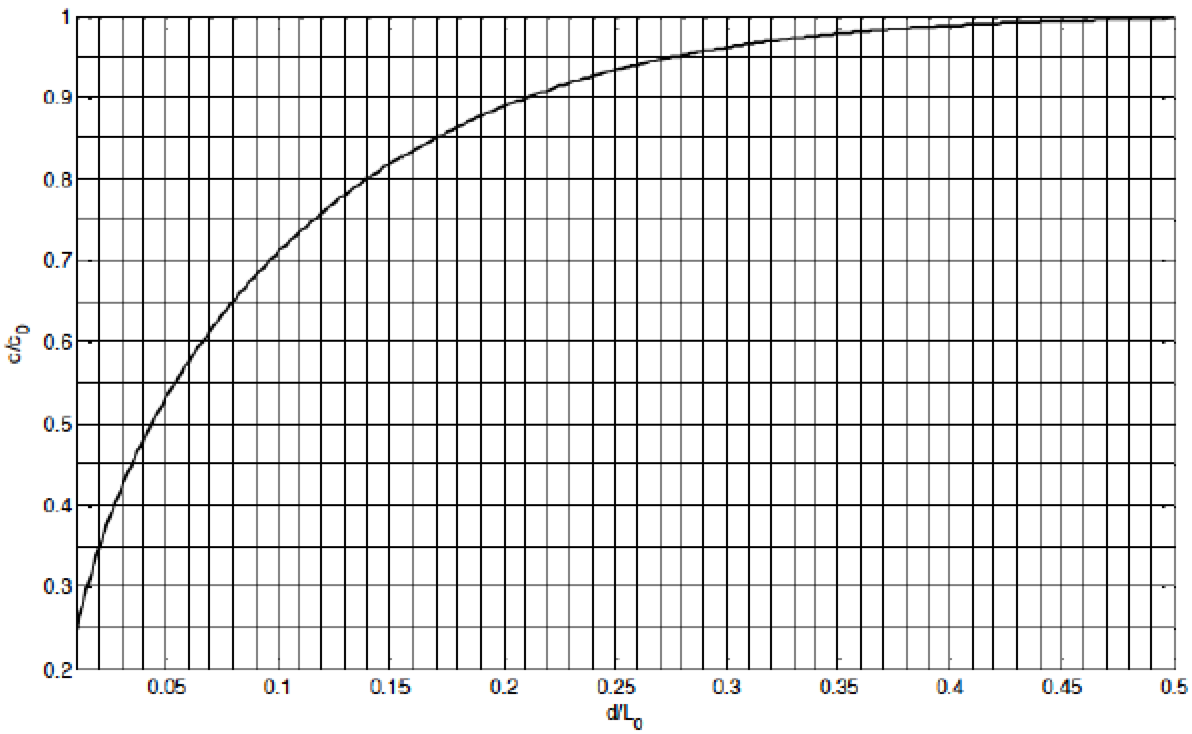


Figure 4.7: Design graph for the ratio of the phase velocity in shallow water c to that in deep water c_0 as a function of the local water depth over deep water wavelength d/L_0.

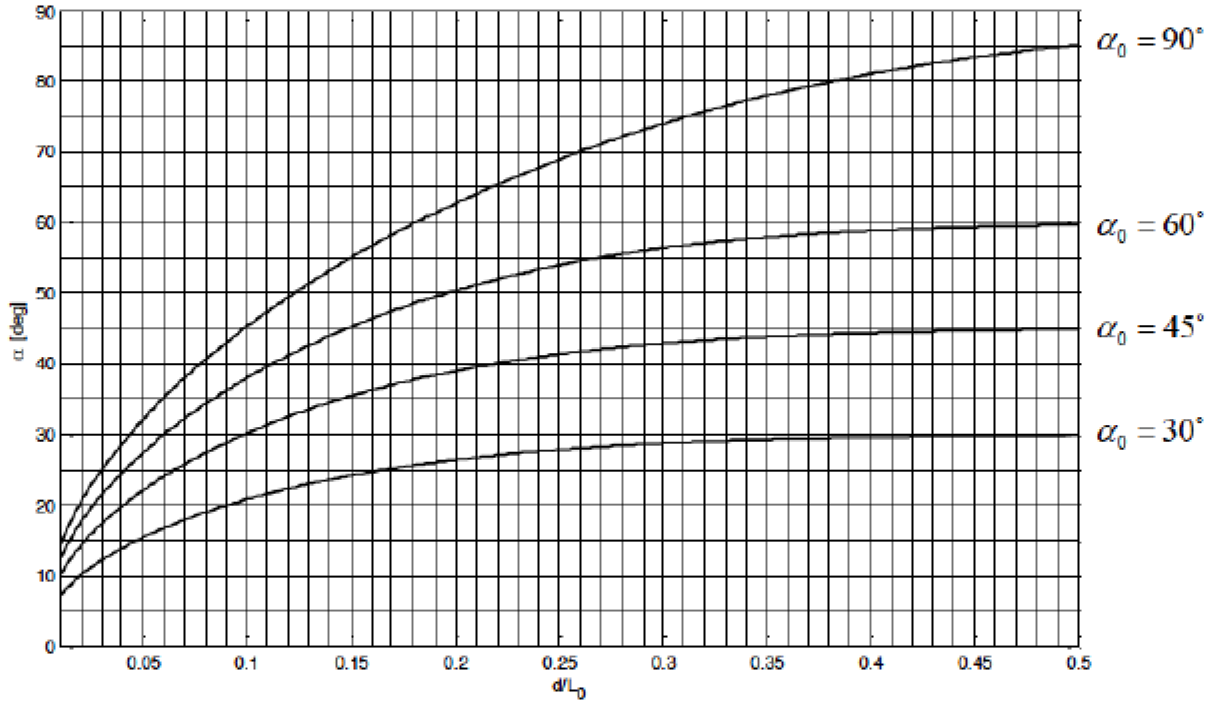


Figure 4.8: Design graph for the wave propagation angle α as a function of the relative local water depth d/L_0 given the deep water propagation angle α_0.

Μετασχηματισμοί των κυματισμών

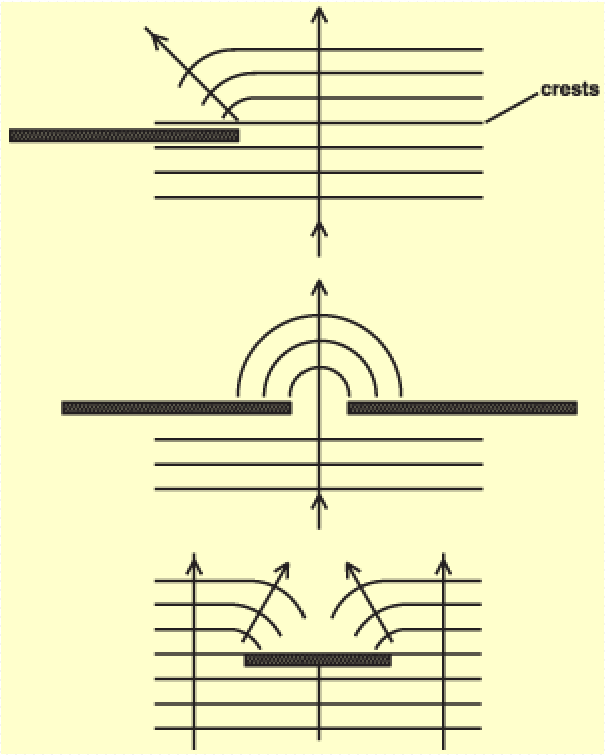
3. Περίθλαση

Περίθλαση

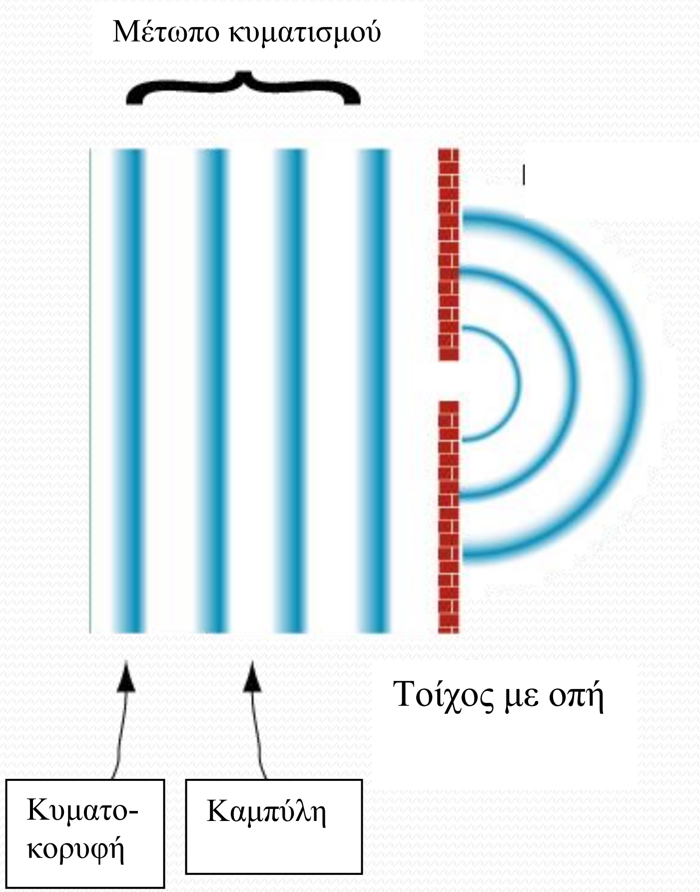
Ορισμός

- Όταν οι κυματισμοί κατά τη μετάδοσή τους συναντήσουν ένα **φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο** (π.χ. κυματοθραύστης, νησίδα) τότε παρατηρείται **γύρω από το άκρο καμπύλωση των κορυφογραμμών** με αποτέλεσμα τα κύματα όχι μόνο να μην παρακάμπτουν το εμπόδιο αλλά, αντίθετα, να μεταδίδονται στην πίσω πλευρά του υπό μορφή **ομόκεντρων κυκλικών τόξων** συνεχώς ελαττωμένου ύψους.
- Το άκρο του εμποδίου ουσιαστικά σημαίνει ότι λειτουργεί σαν **πηγή ενέργειας**, η οποία με αυτόν τον τρόπο μεταδίδεται όχι μόνο παράλληλα με τη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών αλλά και εγκαρσίως

Παραδείγματα



Περίθλαση ΙΙ



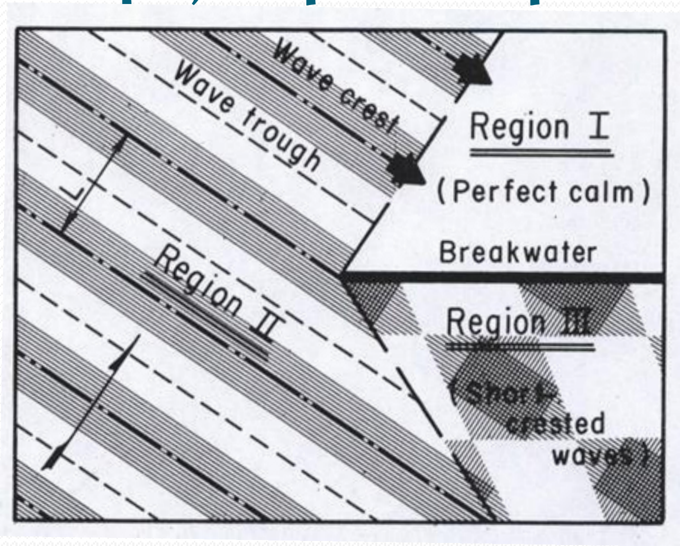
Προϋποθέσεις

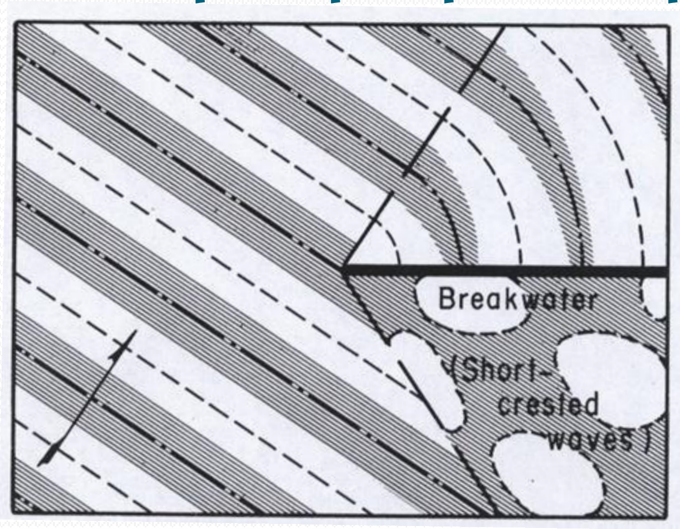
Οι θεωρίες περίθλασης τυπικά αναπτύσσονται θεωρώντας:

- Νερό είναι ιδεατό ρευστό (με μηδενικό ιξώδες και ασυμπίεστο).
- Κυματισμοί έχουν μικρό εύρος (εφαρμόζεται γραμμική θεωρία).
- Η ροή είναι αστρόβιλή (Εξίσωση Laplace ορίζει την συνέχεια της μάζας).
- Το βάθος ανάντη του κυματοθραύστη είναι σταθερό.

Περίθλαση III

«Χωρίς Περίθλαση» **Με επίδραση Περίθλασης**



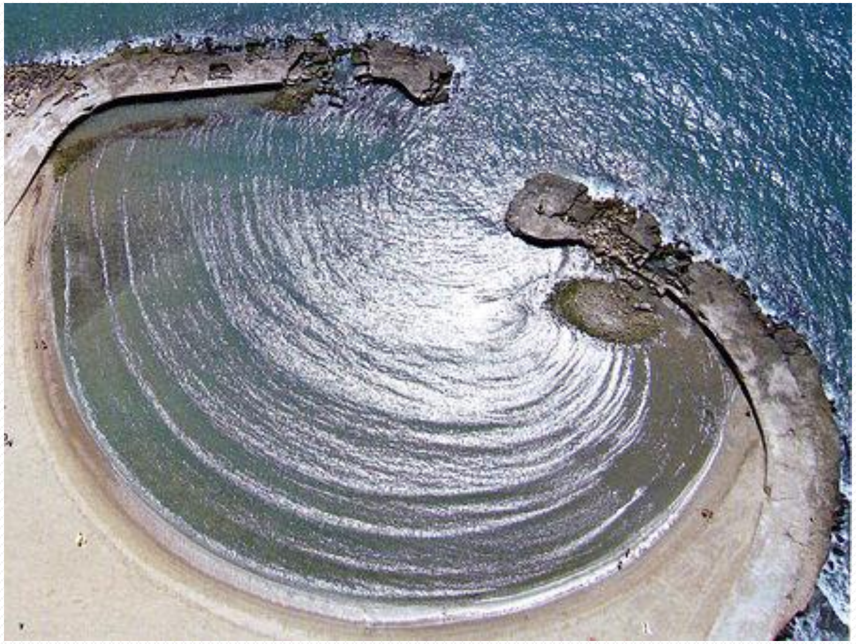


Region I – Ήρεμα νερά
Region II – Αδιατάρακτοι Προσπίπτοντες κυματισμοί
Region III – Βραχυκόρυφοι κυματισμοί λόγω ανάκλασης

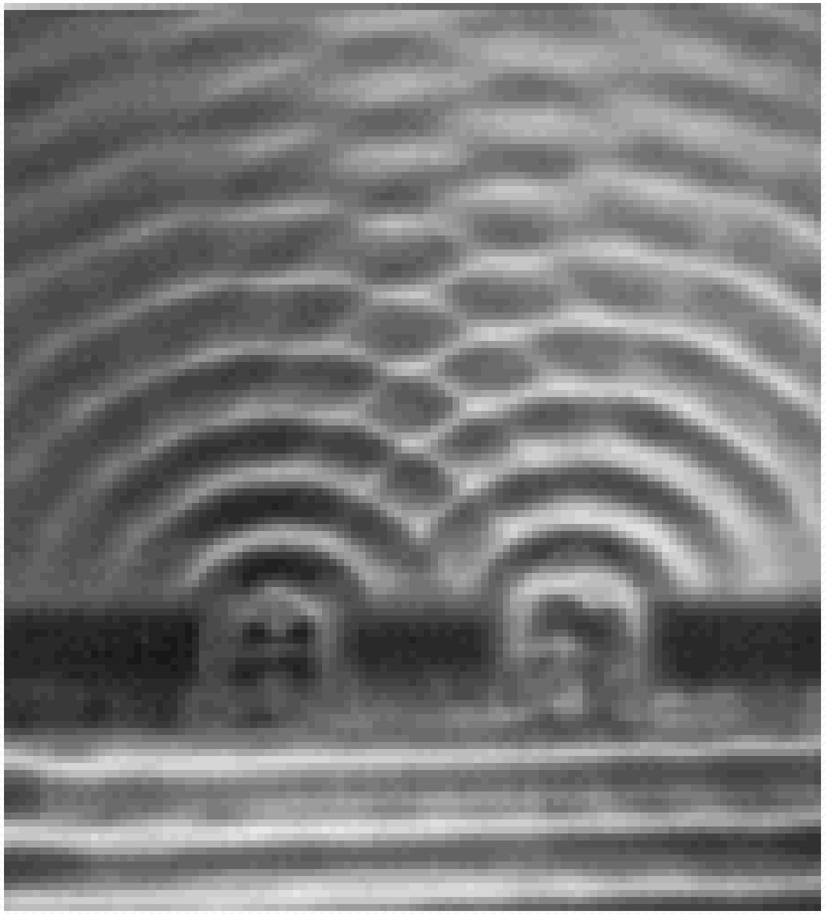
Στην πράξη θα υπάρχει ροή ενέργειας από την ασυνέχεια μεταξύ RI και RII

Περίθλαση IV

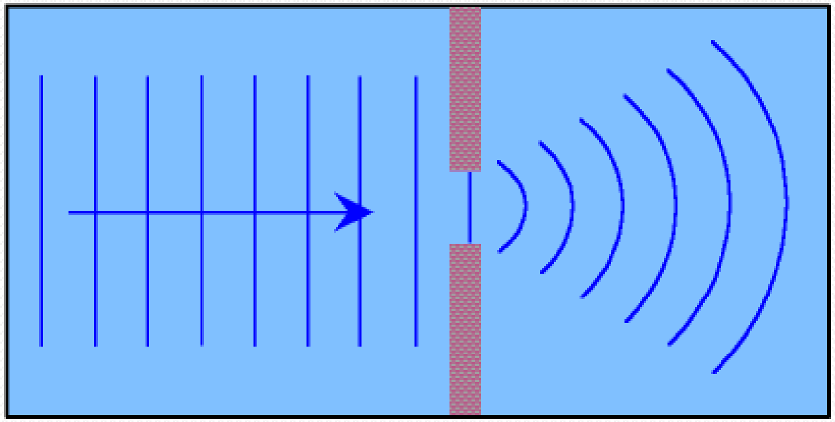
Wave diffraction at Channel Islands Harbor breakwater, California.



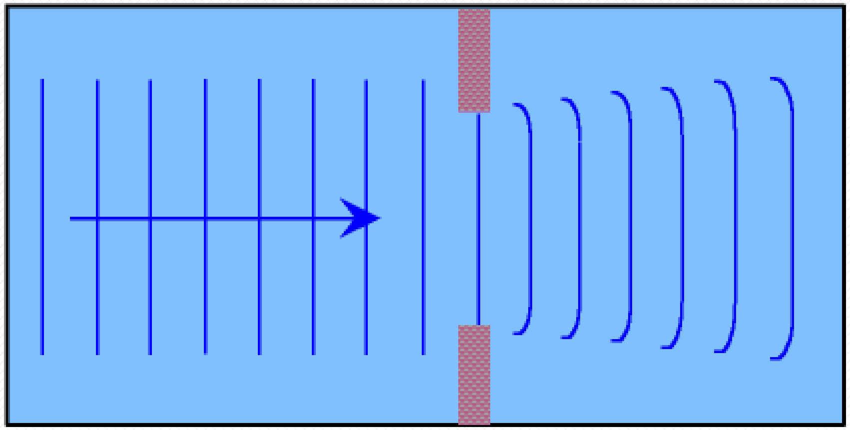
Περίθλαση V



Έντονη Περίθλαση



Σχεδόν Μηδενική Περίθλαση

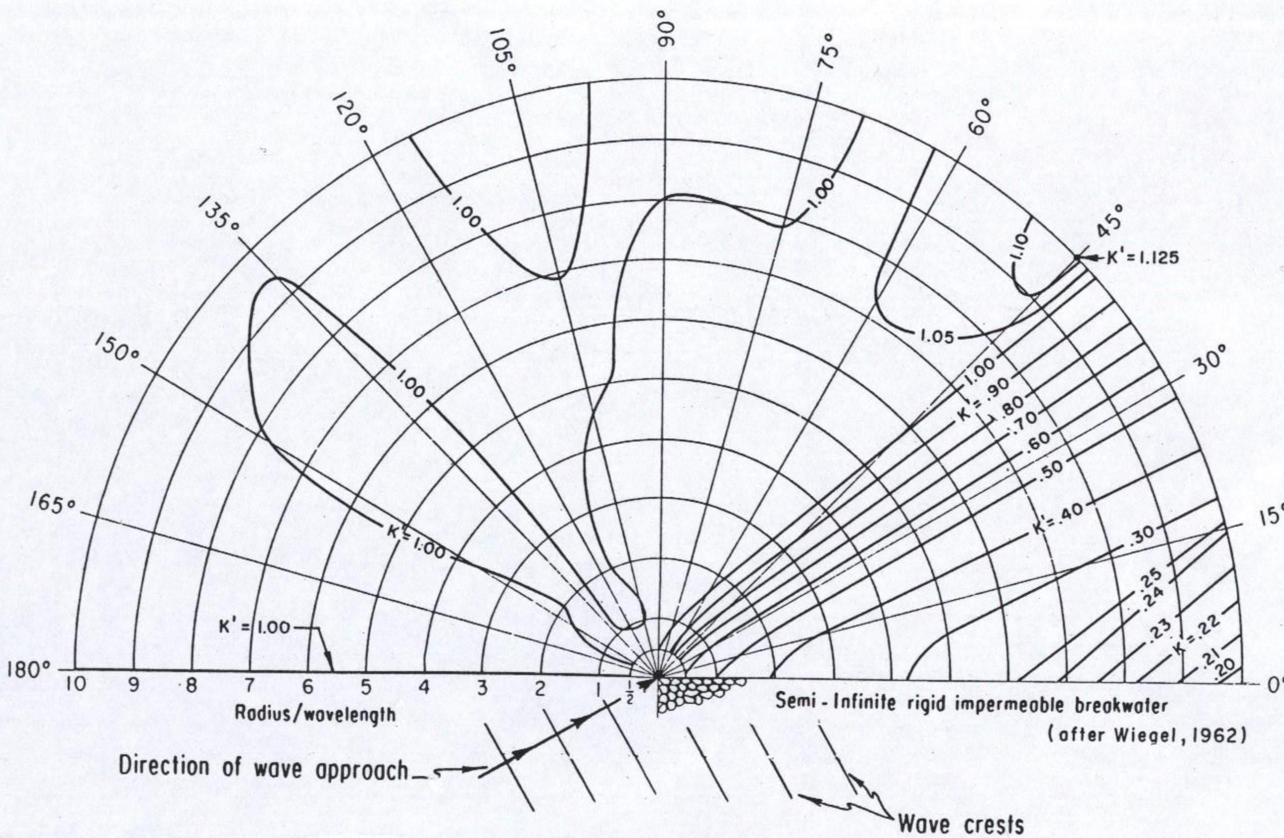


Περίθλαση VI

Πρακτική σημασία

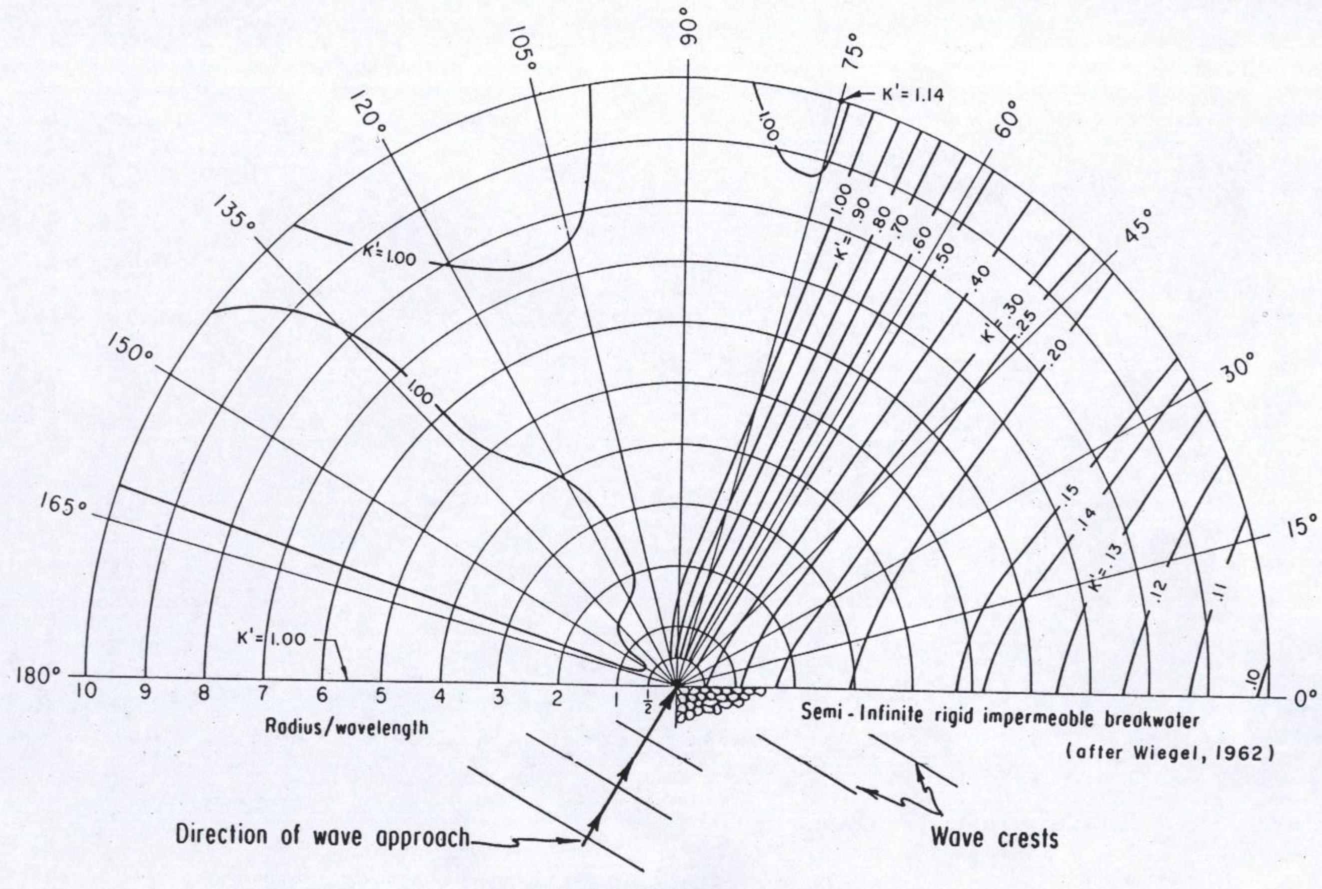
- Η περίθλαση έχει μεγάλη πρακτική σημασία στην ακτομηχανική όπως ο ικανοποιητικός και αποτελεσματικός σχεδιασμός κυματοθραυστών. Η πλήρης μαθηματική περιγραφή είναι δύσκολή και περίπλοκη. (π.χ. Ροή γύρω από κατασκευές μεγάλου όγκου).
- Στην μελέτη τα κυματικά ύψη λαμβάνονται από διαγράμματα του λόγου του περιθλώμενου ύψους κυματιμού προς το προσπίπτον ύψος κυματισμού..
- Οι παρακάτω εικόνες είναι παραδείγματα που αντιστοιχούν σε γωνίες πρόσπτωσης 30°, 60° and 90° αντίστοιχα.
- Περισσότερες περιπτώσεις δίνονται από τον Wiegel στο Shore Protection Manual.

Περίθλαση VII (30ο)



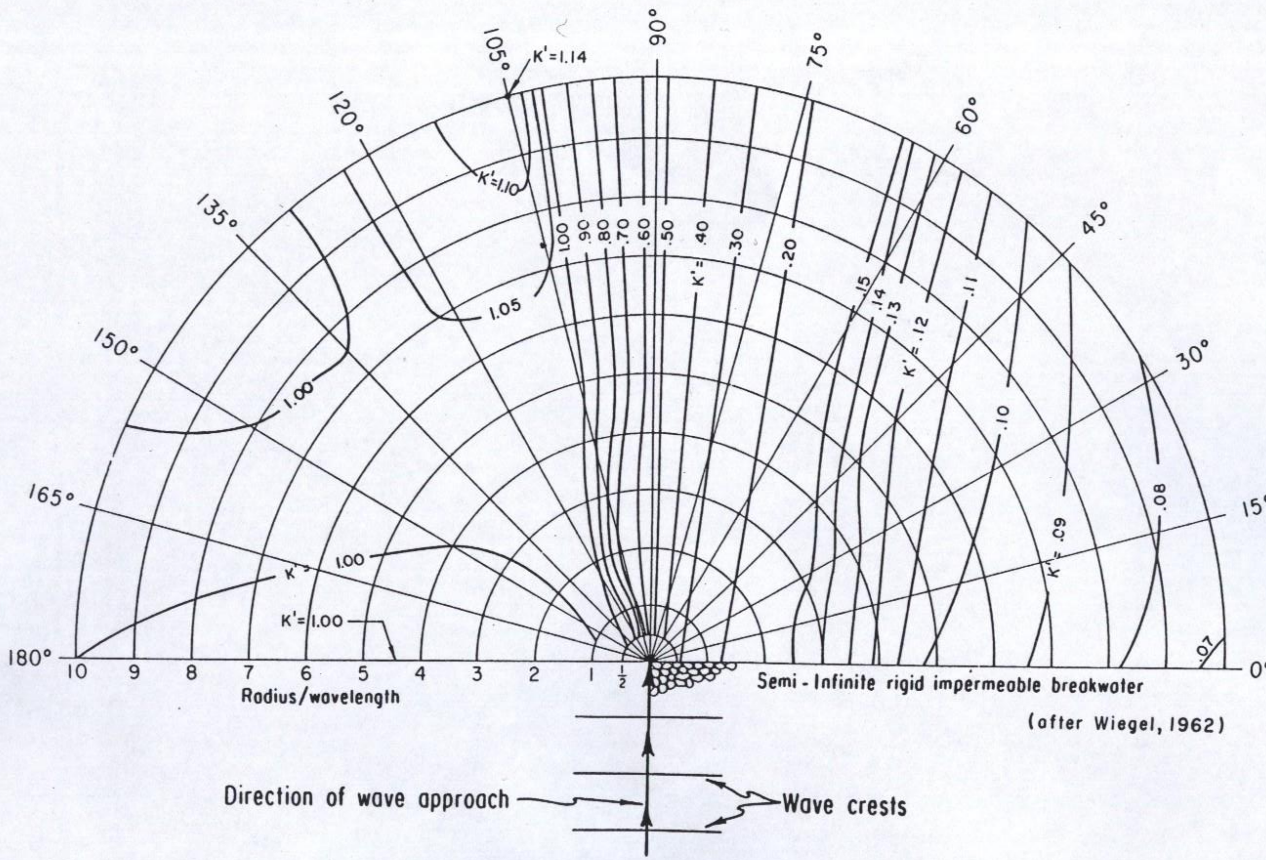
. Wave diffraction diagram--30° wave angle.

Περίθλαση VIII (60ο)



Wave diffraction diagram--60° wave angle.

Περίθλαση IX(90ο)

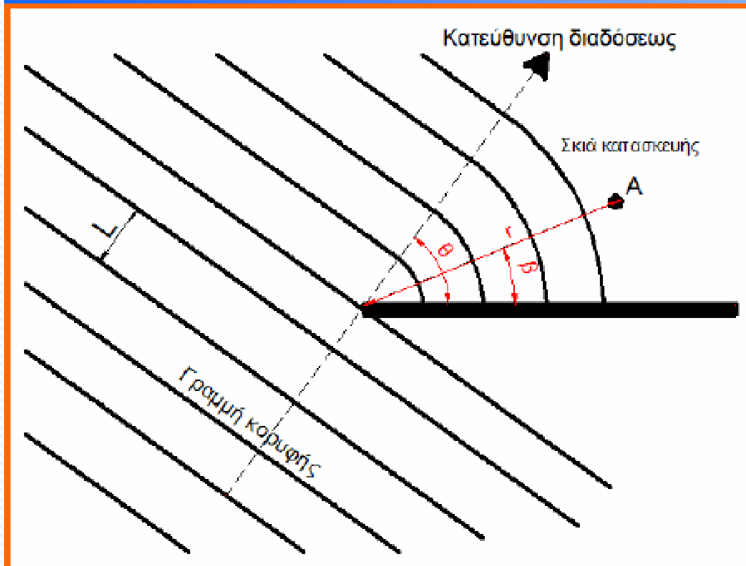


• Wave diffraction diagram--90° wave angle.

Περίθλαση X

- Πίνακες Wiegel

$$K_D = K_D(\theta, \beta, \frac{r}{L})$$



π.χ. για θ=45°, r/L=2, β=30°

→ k_D= 0.39

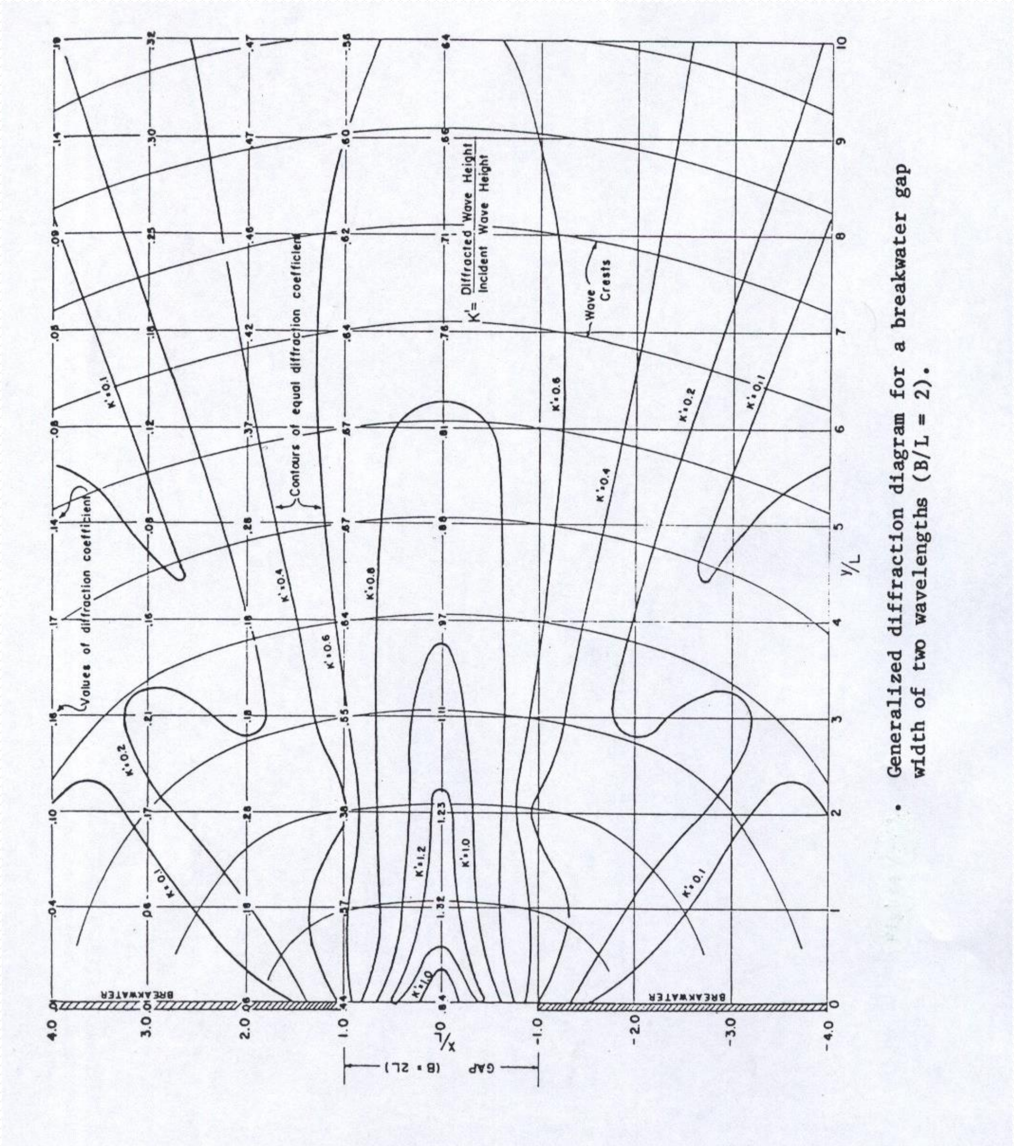
Πίνακας τιμών συντελεστού περιθλάσεως γύρω από ημιάπειρο κυματοθραύστη.

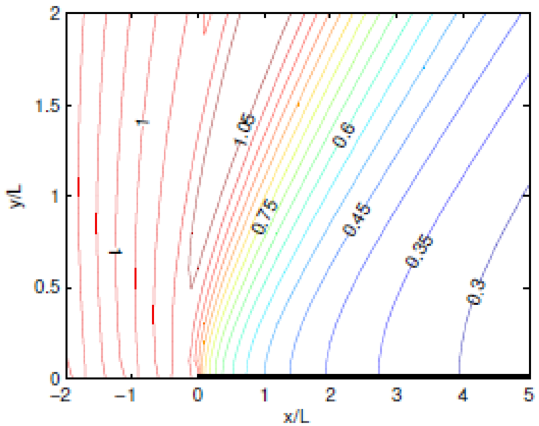
WIEGEL

Θ	r/L	B 0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
15	1/2	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00
	1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
	2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
	10	0.35	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	1/2	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
	1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
	2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
	5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.97	1.00
	10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
45	1/2	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00
	1	0.38	0.40	[illegible]	0.59	0.76	0.95	1.07	1.06	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00
	2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00
	5	0.18	0.20	[illegible]	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
	10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00
60	1/2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00
	1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00
	2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
	5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00
	10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
75	1/2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00
	1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
	2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
	5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
	10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00
90	1/2	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00
	1	0.22	0.23	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00
	2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00
	5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00
	10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00
105	1/2	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00
	1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00
	2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00
	5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00
	10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00
120	1/2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00
	1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00
	2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.36	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00
	5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00
	10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00
135	1/2	0.24	0.24	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	0.90	1.00
	1	0.18	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	0.95	1.00
	2	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.05	1.00
	5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.04	1.00
	10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.05	1.00
150	1/2	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00
	1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00
	2	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00
	5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00
	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00
165	1/2	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.63	0.79	1.00
	1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.40	0.53	0.73	1.00
	2	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00
	5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.20	0.32	0.63	1.00
	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.11	0.21	0.58	1.00
180	1/2	0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00
	1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00
	2	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00
	5	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00
	10	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00

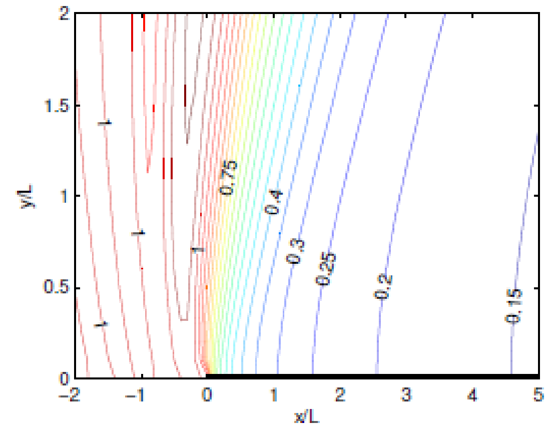
Περίθλαση XI

- Παρόμοια διαγράμματα υπάρχουν και για ροή μέσα από οπή
- Περισσότερα στο Shore Protection Manual (e-class)

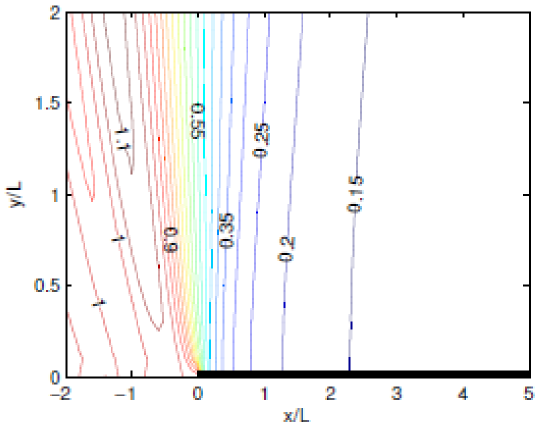




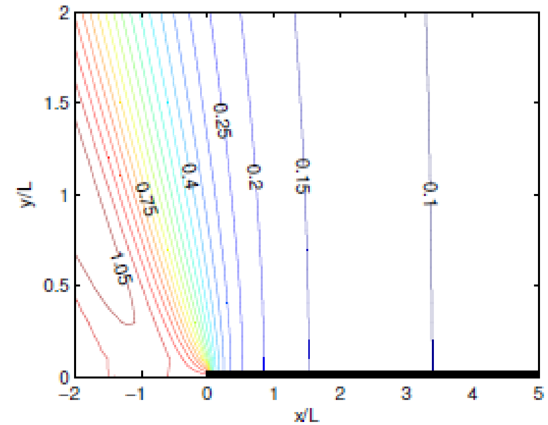
(a) Incident angle $\theta_I = 30°$.



(b) Incident angle $\theta_I = 60°$.



(c) Incident angle $\theta_I = 90°$.



(d) Incident angle $\theta_I = 120°$.

Figure 5.9: Examples of wave diffraction coefficients around a semi-infinite breakwater for different angles of wave incidence.

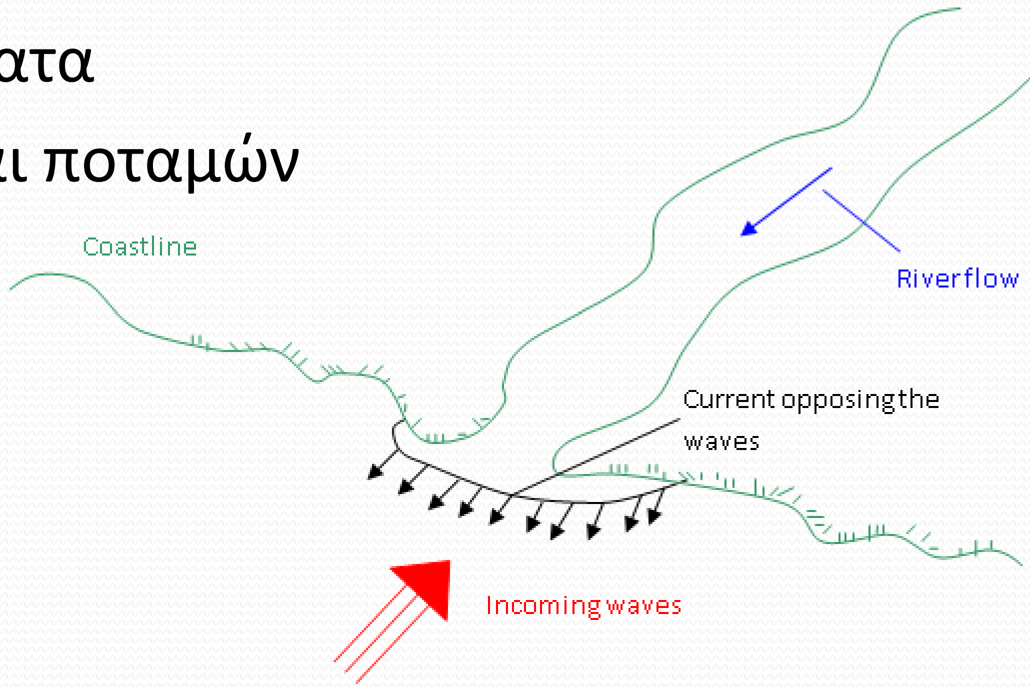
Μετασχηματισμοί των κυματισμών

4. Αλληλεπίδραση κυματισμών –ρευμάτων

Κυματισμοί-Ρεύματα

Στην πραγματική θάλασσα, οι κυματισμοί δεν μεταδίδονται σε ήρεμα νερά άλλα πάνω σε

- Θαλάσσια ρεύματα
- Παλιρροιακά ρεύματα
- Εκροές εκβολών και ποταμών



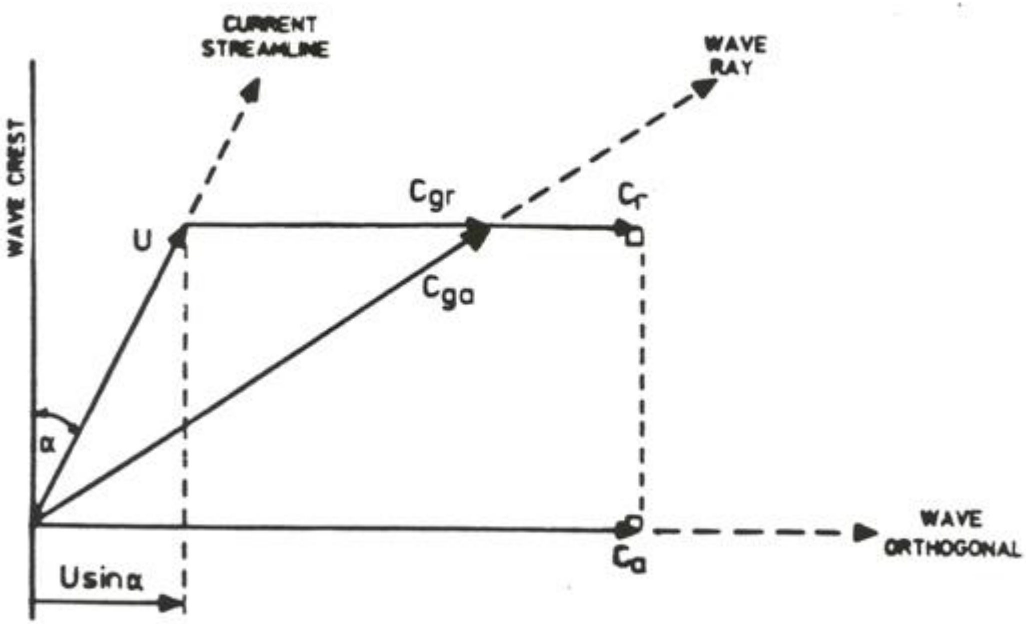
Κυματισμοί-Ρεύματα ΙΙ

Παραδοχές

- Η ταχύτητα του ρεύματος, U, είναι ομοιόμορφη με το βάθος
- Η ταχύτητα του ρεύματος, U, είναι σταθερή
- Οι κυματισμοί δημιουργήθηκαν είτε πάνω στο ρεύμα είτε σε ήσυχα νερά. (Στην 2^{η} περίπτωση τα κύματα αλληλεπιδρούν με το ρεύμα)

Κυματισμοί-Ρεύματα ΙΙΙ

Στην εικόνα θεωρούμε ότι το ρεύμα έχει μία συνιστώσα $U\sin(a)$ στη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών. Αυτό μπορεί να έχει την **ίδια** ή **αντίθετη** φορά.



Κυματισμοί-Ρεύματα IV

Σταθερό πλαίσιο αναφοράς

(**Σταθεροί άξονες στο χώρο**)

Οι κυματισμοί χαρ/νται από

- Γωνιακή συχνότητα, ω_α
- Ταχύτητα, c_α

Κινητό πλαίσιο αναφοράς

(**Πλαίσιο κινείται με ταχύτητα $\boldsymbol{Usin(a)}$**)

Οι κυματισμοί χαρ/νται από

- Σχετική γωνιακή συχν., ω_r
- Σχετική ταχύτητα, c_r

U είναι στην ίδια ευθεία με το c

$$\omega_\alpha = \omega_r + \vec{U} \cdot \vec{k} \qquad \text{Εξ. (3ιγ)}$$

Κυματισμοί-Ρεύματα V

$$\omega_r = [gk\tanh(kd)]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{Εξ. (3ιδ)}$$

Γνωρίζοντας την ταχύτητα U και τη διεύθυνση a μπορούμε

- Να λύσουμε για k
- Να υπολογίσουμε τις συνιστώσες u, w και την ανύψωση η από τη γραμμική θεωρία για το κινητό πλαίσιο αναφοράς
- Με απλό μετασχηματισμό να επαναστρέψουμε στο σταθερό πλαίσιο αναφοράς

Κυματισμοί-Ρεύματα VI

Ανάλογα με μέγεθος και τη διεύθυνση της ταχύτητας του ρεύματος, $U\sin(a)$, σχετικά με τους κυματισμούς, οι παρακάτω περιπτώσεις δείχνουν τις μεταβολές των κυματισμών όπως αλληλεπιδρούν με το ρεύμα. Ο δείκτης “c” δηλώνει επίδραση του ρεύματος (current).

(i) $U\sin(\alpha) > 0$, τότε, $c_{g_c} > c_g$ και $c_c > c$

(ii) $U\sin(\alpha) = 0$, τότε, $c_{g_c} = c_g$ και $c_c = c$

(iii) $-c_g < U\sin(\alpha) < 0$, τότε, $c_{g_c} < c_g$ και $c_c < c$

(iv) $-c_g = U\sin(\alpha)$, τότε,

a) Αν οι κυματισμοί αρχικά μεταδίδονταν σε σταθερό νερό οι κυματισμοί θραύονται
b) Αν οι κυματισμοί δημιουργήθηκαν πάνω στο ρεύμα, $c_{g_c} = 0, c_c > 0$

Κυματισμοί-Ρεύματα VII

Για τις παρακάτω περιπτώσεις οι κυματισμοί **πρέπει** να είχαν δημιουργηθεί **πάνω στο ρεύμα**

(v) $-c < U\sin(\alpha) < -c_g$, τότε, $c_{g_c} < 0, c_c > 0$

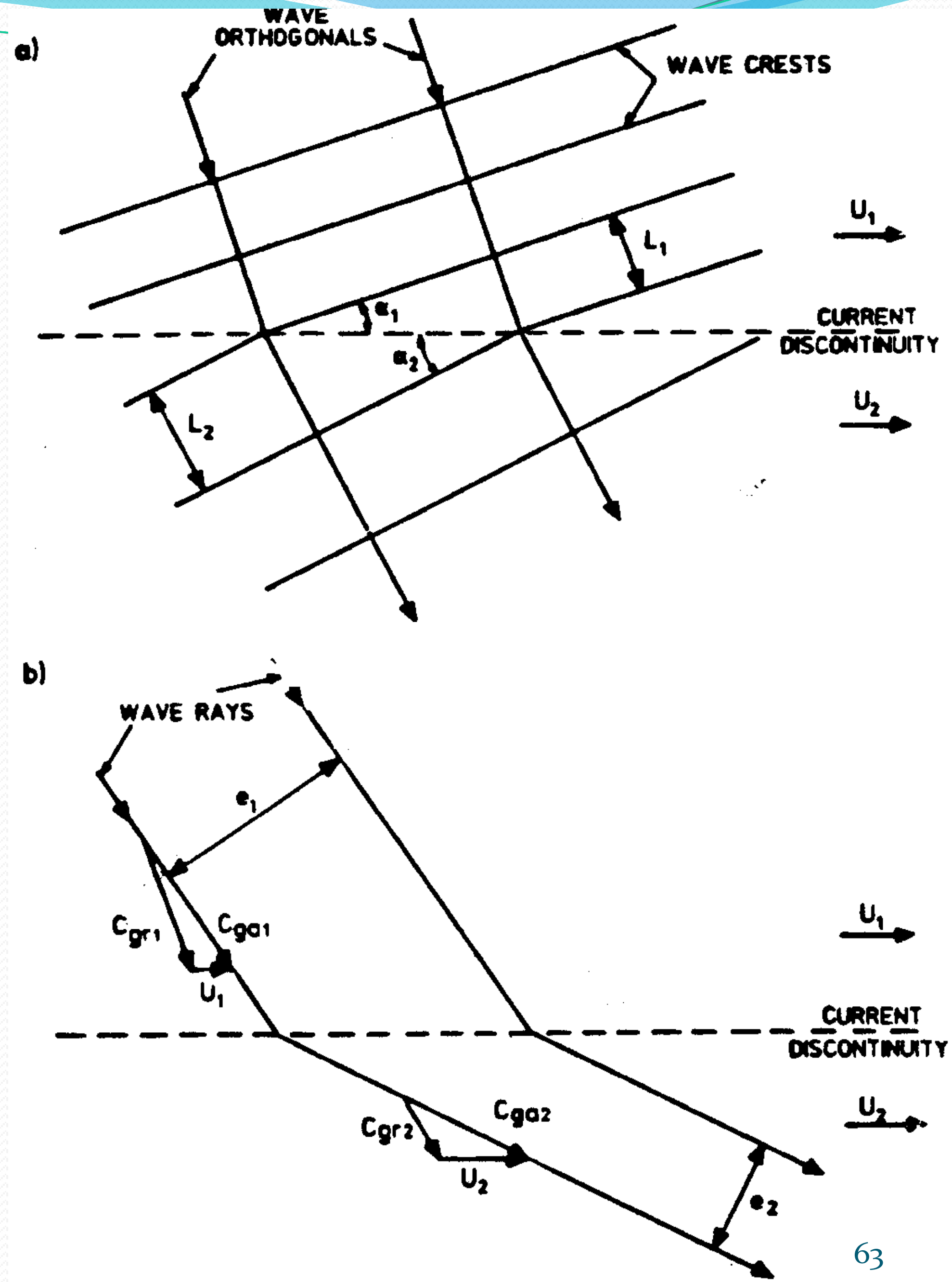
(vi) $U\sin(\alpha) = -c$, τότε, $c_{g_c} < 0, c_c = 0$

(vii) $U\sin(\alpha) < -c$, τότε, $c_{g_c} < 0, c_c < 0$

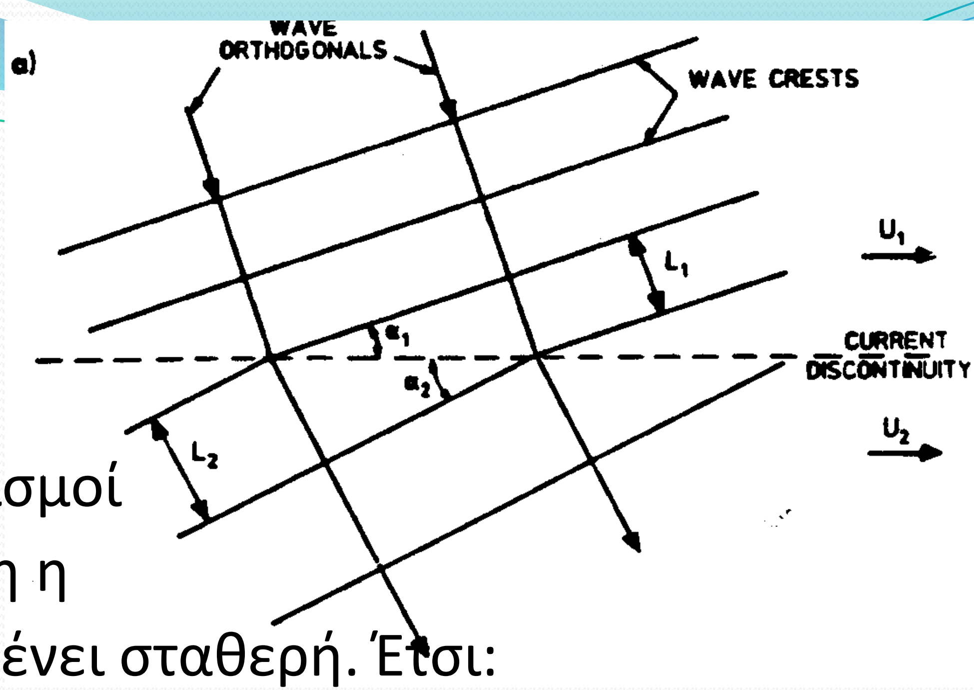
Κυματισμοί-Ρεύματα VIII

Όταν η γωνία $\alpha \neq 0$, η αλληλεπίδραση κύματος και ρεύματος είναι πολύ πιο έντονη γιατί οι κυματισμοί υπόκεινται ταυτόχρονα σε **διάθλαση** από το ρεύμα

a) Αλλαγές στο μήκος κύματος και διεύθυνση ορθογωνίου
b) Αλλαγές στην διεύθυνση ακτινών



Κυματισμοί-Ρεύματα IX



Καθώς μεταδίδονται οι κυματισμοί από την μία περιοχή στην άλλη η φαινόμενη περίοδος T_aπαραμένει σταθερή. Έτσι:

Γνωστά

$$\left[\frac{d}{L_1}\tanh(k_1 d)\right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{d}{L_o a}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{T_a U_1 \sin a_1}{L_1}\right) \quad \text{Εξ. (3ιε)}$$

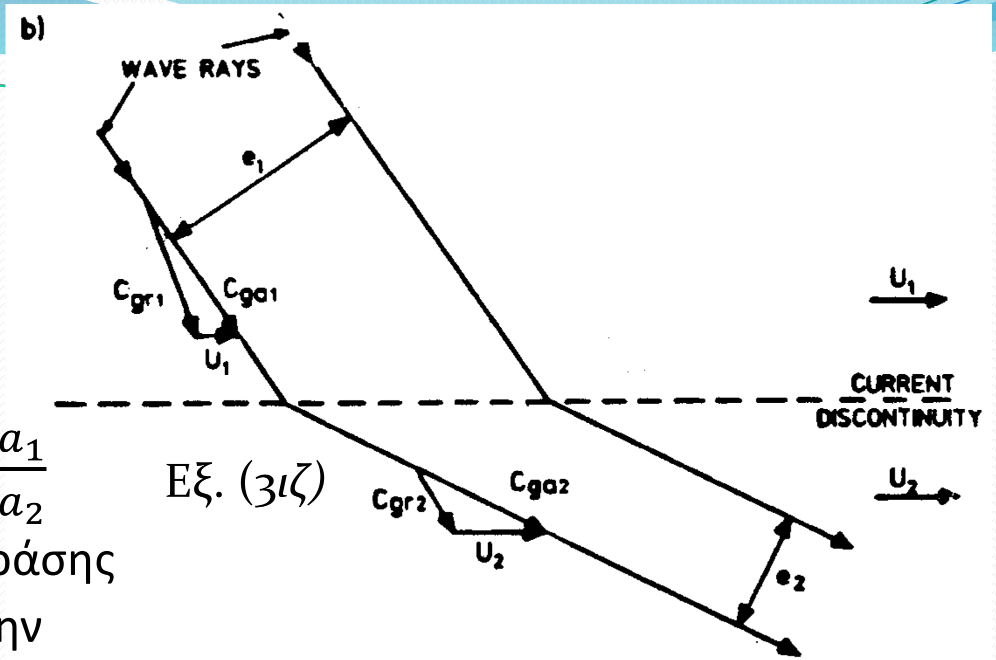
και

$$\left[\frac{d}{L_2}\tanh(k_2 d)\right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{d}{L_o a}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{T_a U_2 \sin a_2}{L_2}\right) \quad \text{Εξ. (3ιστ)}$$

Από το νόμο του Snell $\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sin a_1}{\sin a_2}$ Εξ. (3ιζ)

Έτσι: $\left[\frac{d}{L_2}\tanh(k_2 d)\right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{d}{L_o a}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{T_a U_2 \sin a_1}{L_1}\right)$ Εξ. (3ιη)

Κυματισμοί-Ρεύματα Χ



Από το νόμο του Snell $\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sin a_1}{\sin a_2}$ Εξ. (3ιζ)

Η αρχή διατήρησης της κυματικής δράσης εφαρμόζεται για να υπολογίσουμε την μεταβολή σε κυματικό ύψος μεταξύ των 2 περιοχών.

Μεταξύ διαδοχικών ακτίνων πρέπει να υπάρχει σταθερή ροή κυματικής δράσης E/ω_r. Έτσι:

$$\left(\frac{E}{\omega_r} c_{gr}\right)_1 e_1 = \left(\frac{E}{\omega_r} c_{gr}\right)_2 e_2 \text{ και} \qquad \text{Εξ. (3ιθ)}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1}{n_2} \frac{\sin(2a_1)}{\sin(2a_2)}} \qquad \text{Εξ. (3κ)}$$

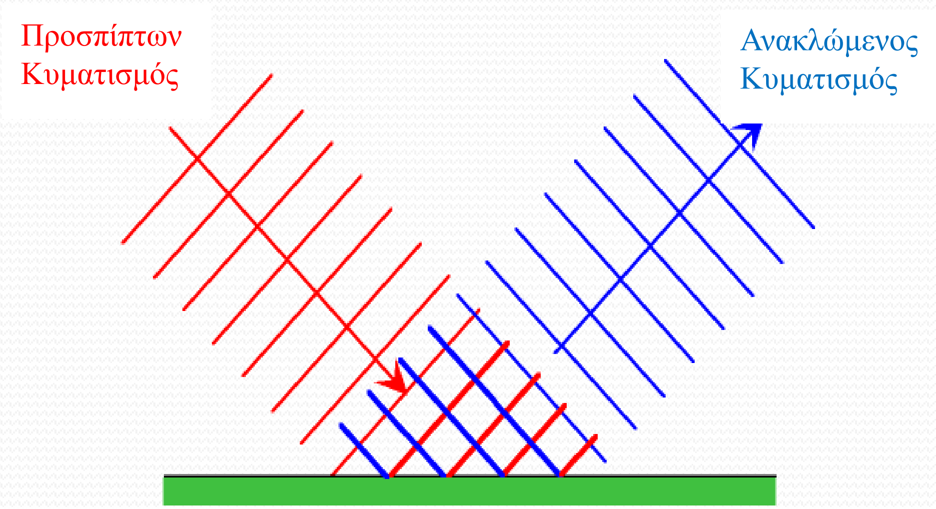
Αν $U_1 = 0\ και U_2 = U\ τότε\ \frac{c_2}{c_1} = 0.5\left(1 + \sqrt{\left(1 \pm \frac{4U}{c_1}\right)}\right)$ Εξ. (3κι)

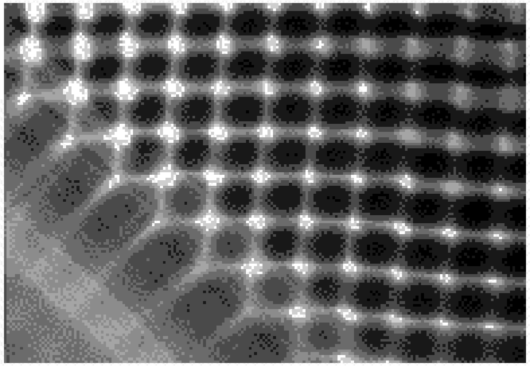
Μετασχηματισμοί των κυματισμών

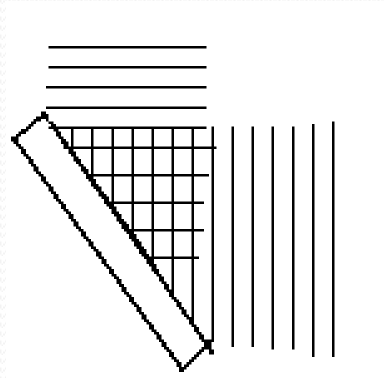
5. Ανάκλαση

Ανάκλαση

Όταν ένας κυματισμός προσπίπτει σε κάποιο εμπόδιο τότε μέρος ή ολόκληρη η ενέργειά του ανακλάται προς τα πίσω.







Ο συντελεστής ανάκλασης δίνεται από

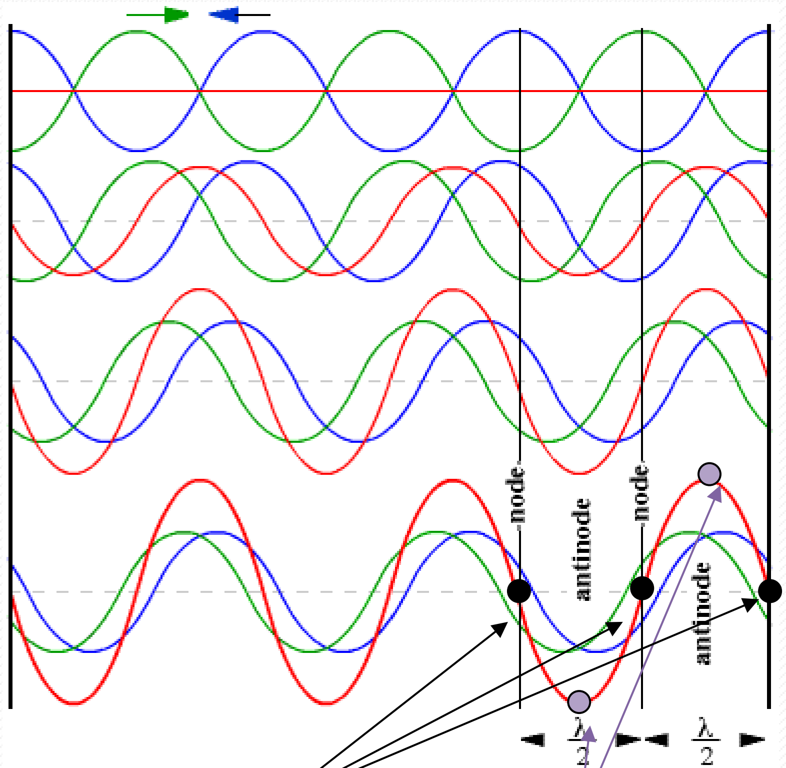
$$k_R = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max} + H_{min}}$$

Όταν $k_R = 1$τότε η ανάκλαση της ενέργειας του κυματισμού είναι πλήρης

Ανάκλαση II

Στάσιμο κύμα - Clapotis

Σε περίπτωση τέλειας ανάκλασης τότε το παραγόμενο κύμα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το προσπίπτων αλλά κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα 2 κύματα προστίθενται και προκύπτει το λεγόμενο **στάσιμο κύμα clapotis**.



Σημεία Δέσμης – Βρόχοι
Η στάθμη παραμένει μηδενική εδώ ($\cos(kx) = 0$)

- $\eta = 0$
- $w = 0$
- $p = 0$

Σημεία αντιδέσμης Η στάθμη παίρνει ελάχιστες και μέγιστες τιμές εδώ ($\cos(kx) = \pm 1$)

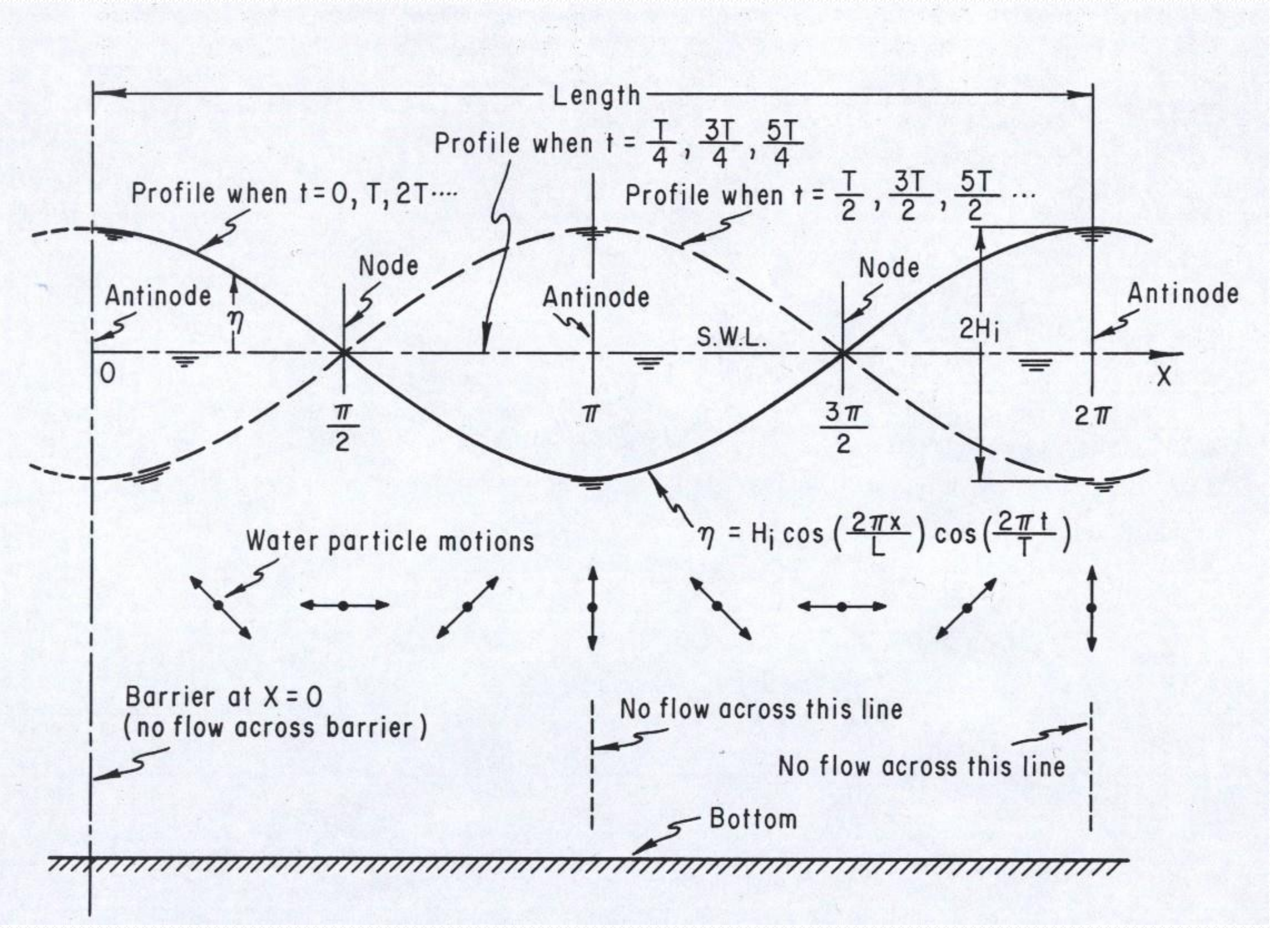
- $u = 0$
- η, w, p maximum variation

$$\eta_s = H\cos(kx)\cos(\omega t) \text{ ή} \quad \text{Εξ. (3κα)}$$

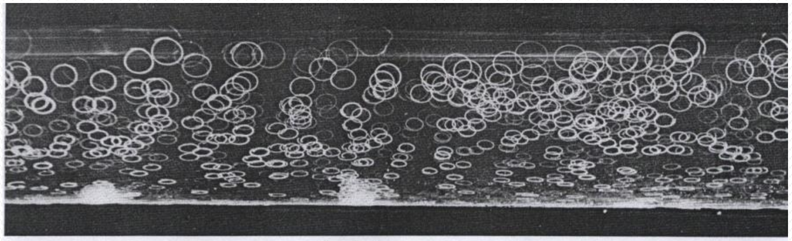
$$\eta_s = \frac{H}{2}\left[\cos(kx - \omega t) + k_R \cos(kx + \omega t)\right] \quad \text{Εξ. (3κβ)}$$

$$H_{max} = (1 + k_R)\,H \qquad H_{min} = (1 - k_R)\,H \qquad H = \frac{1}{2}\left(H_{\max} + H_{\min}\right) \quad \text{Εξς. (3κγ)}$$

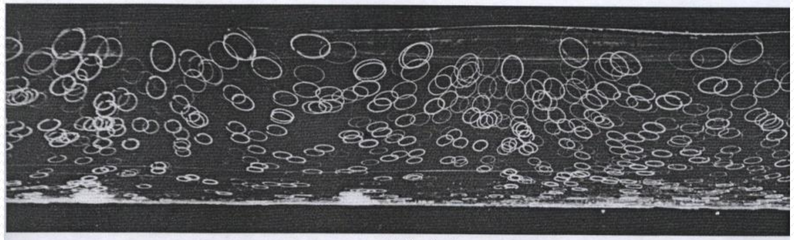
Ανάκλαση III



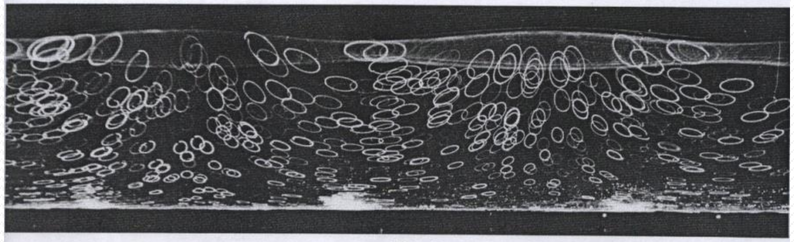
Ανάκλαση IV



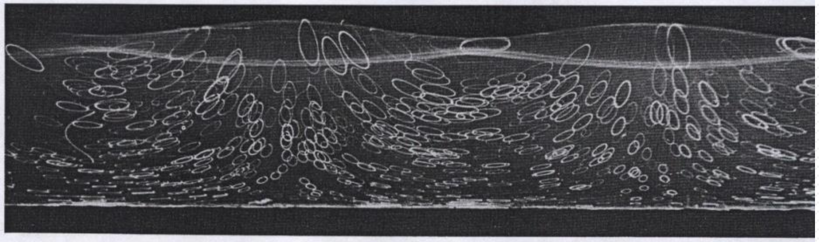
No reflection: pure progressive waves



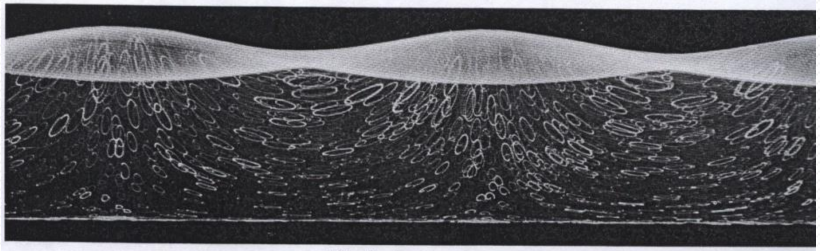
24% reflection



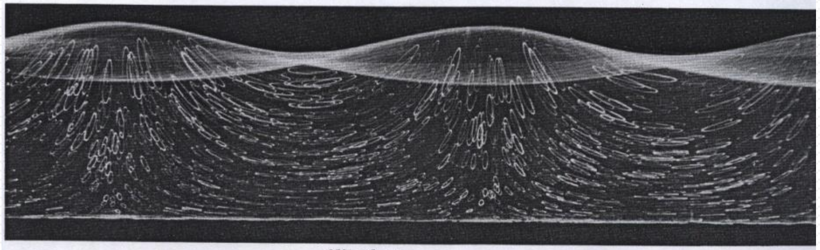
38% reflection



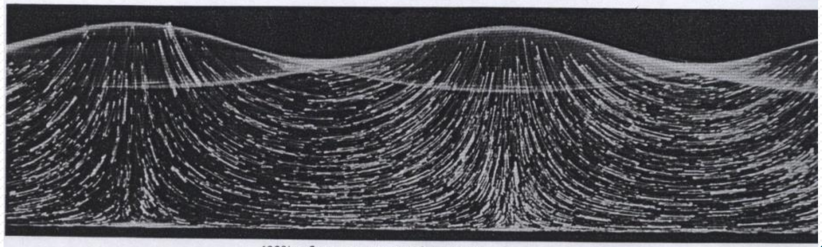
53% reflection



71% reflection



85% reflection



100% reflection: pure standing waves

Μετασχηματισμοί των κυματισμών

6. Θραύση

Θραύση

Όταν ο κυματισμός προχωρεί προς τα ρηχά, η ταχύτητα του, *c*, μειώνεται λόγω της μείωσης του βάθους, επομένως και η κινητική του ενέργεια. Για να διατηρηθεί η ενεργειακή ισορροπία, επέρχεται αύξηση της δυναμικής ενέργειας μέσω της αύξησης του ύψους *H*. Αυτή η αύξηση δεν είναι δυνατόν να συνεχιστεί επ’ άπειρον. Κάποια στιγμή το κύμα καθίσταται ασταθές και θραύεται. Αυτό συμβαίνει όταν

1. Η μέγιστη οριζόντια ταχύτητα των σωματιδίων ξεπεράσει την ταχύτητα μετάδοσης του κυματισμού $u>c$. Εξ. (3κδ)
2. Η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση υπερβεί την επιτάχυνση της βαρύτητας $\left(\frac{dw}{dt}\right)_{\max} > g$. Εξ. (3κε)

Θραύση ΙΙ

Μεγάλο μέρος της έρευνας είναι αφοσιωμένο στην εύρεση του $H_{\max}$.

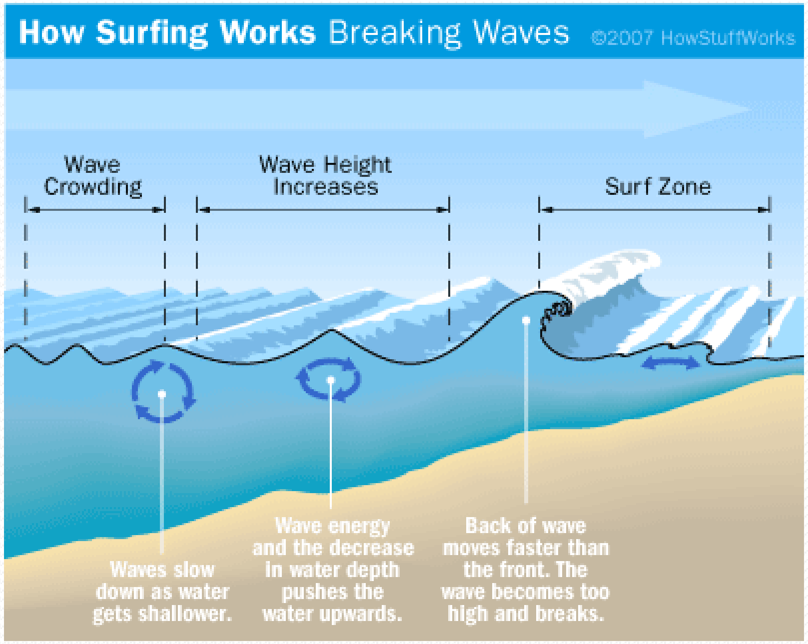
i. Στα βαθιά το όριο δίνεται από $\frac{H_{max}}{\lambda_o} = 0.1412$ Εξ. (3κε)

ii. Στα ρηχά (για μοναχικούς κυματισμούς): $\frac{H}{d} = 0.78$ Εξ. (3κστ)

Κριτήριο Miche (1944): $\frac{H}{2}k = 0.142\pi \tanh kd$

Όπου για $d \to 0$ η εξίσωση Miche $\frac{H}{d} \to 0.89$

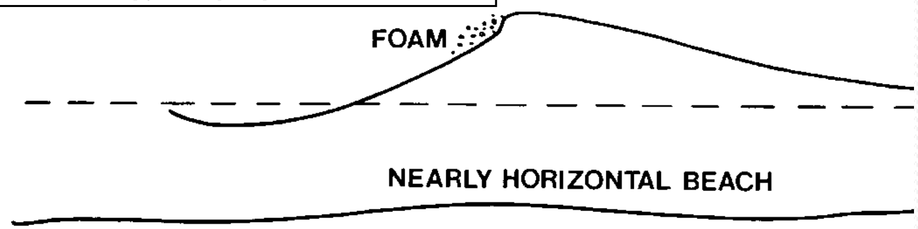
Θραύση ΙΙΙ



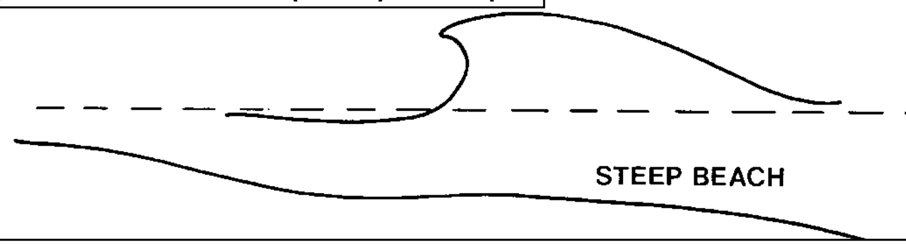
How Surfing Works Breaking Waves
©2007 HowStuffWorks
Wave Crowding
Wave Height Increases
Surf Zone
Waves slow down as water gets shallower.
Wave energy and the decrease in water depth pushes the water upwards.
Back of wave moves faster than the front. The wave becomes too high and breaks.

Θραύση IV

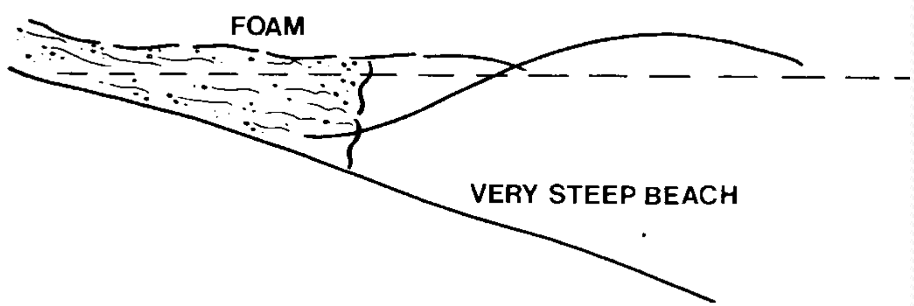
(α) Με εκχείληση



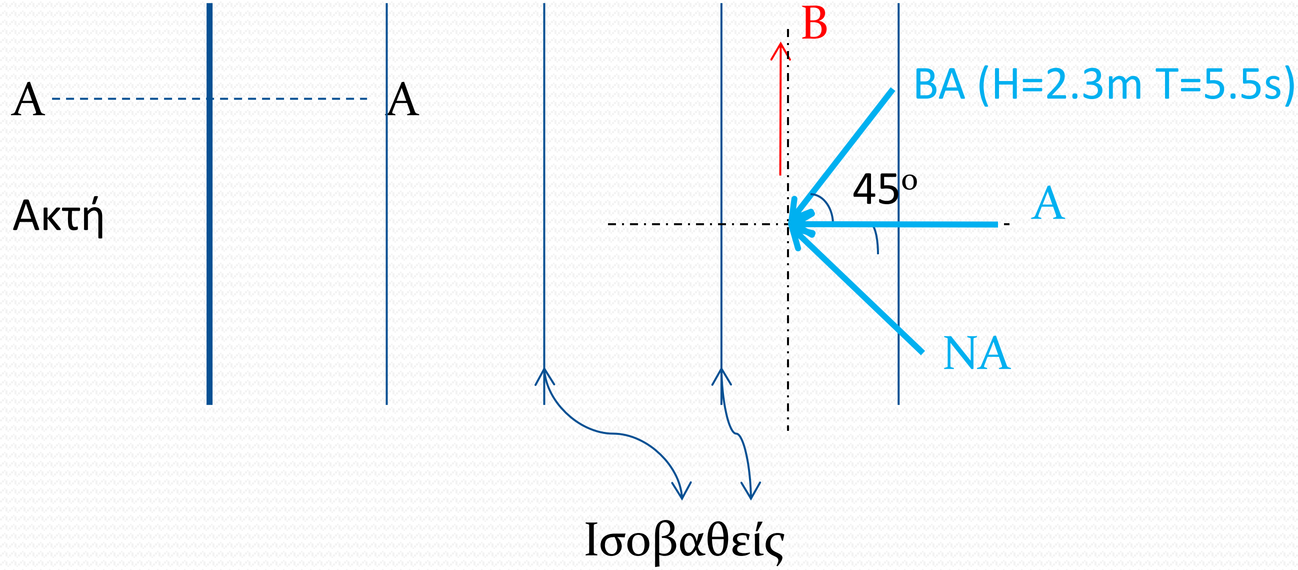
(β) Με αναδίπλωση και βύθιση



(γ) Με διόγκωση και αναρρίχηση απί του πρανούς της ακτής



Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης



Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

1. Ανεμος ΒΑ:
   B. Προσδιορισμός στοιχείων θραύσης

Βαθειά:

$\omega^2=gk \rightarrow k_o=0.133rad/s \rightarrow L_o=2\pi/k_o=47.23m \rightarrow C=L_o/T=8.59m/s$

Ρηχά:

Έστω $d=H_{s,o}/0.78=2.3/0.78=2.95m$,

$\omega^2=gk\tanh(kd) \rightarrow k=0.23rad/s \rightarrow L=27.6m \rightarrow C=L/T=5.026m/s$

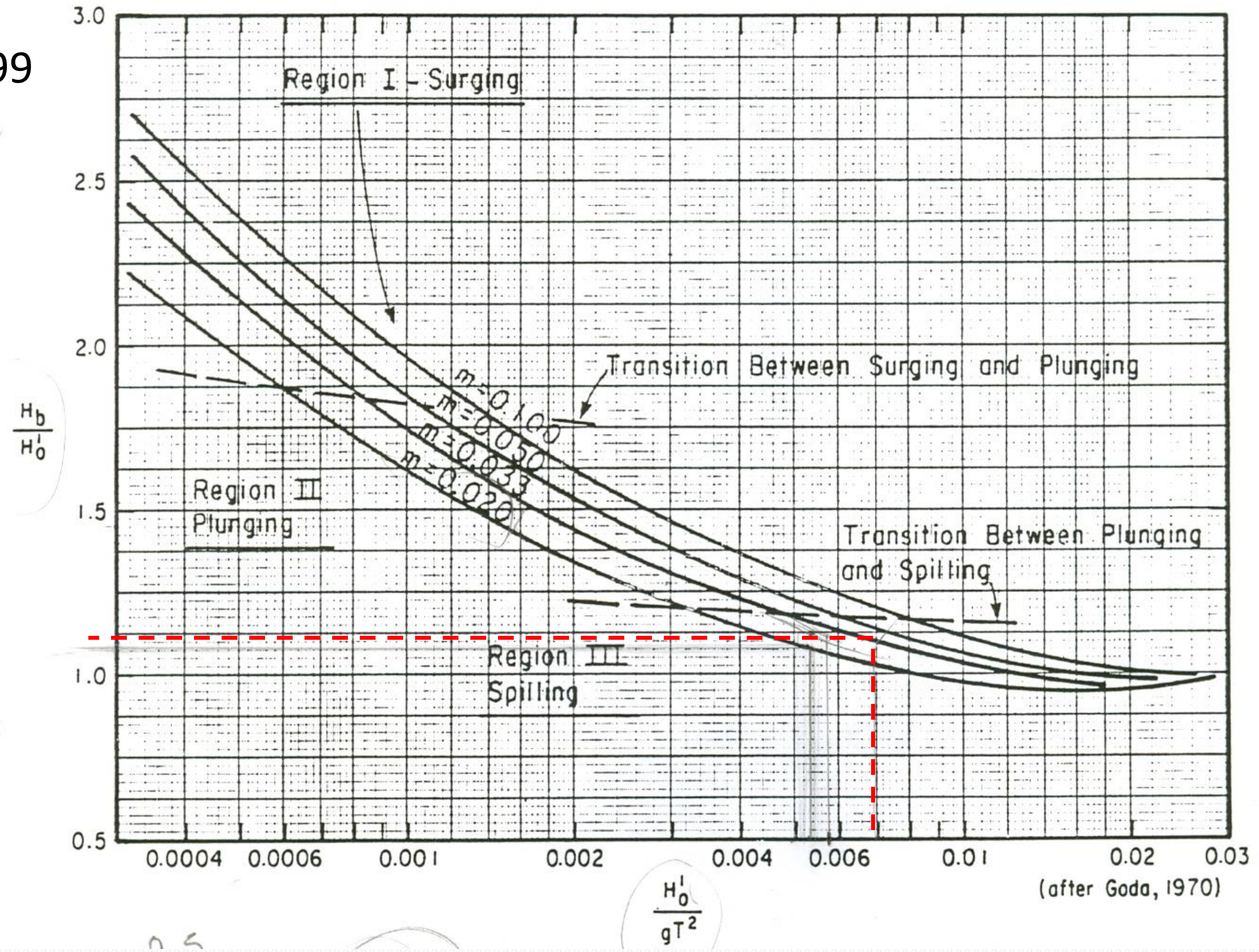
$n=\frac{1}{2}\left[1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]$ =0.877, $K_s=(c_o/2nc)^{1/2}$ = 1.025

Νόμος Snell: $a=\arcsin(\sin a_o\, C/C_o)=24.45^o$, $K_r=\left(\frac{\cos a_o}{\cos a}\right)^{\frac{1}{2}}$ =0.88, $H=H_oK_SK_R=2.08m$

Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

- Νομογράφημα ύψους θραύσης

$H/(gT^2)=0.00699$
$m=1/30=0.033$
$\rightarrow Hb/H=1.1$



Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

- Νομογράφημα βάθους θραύσης

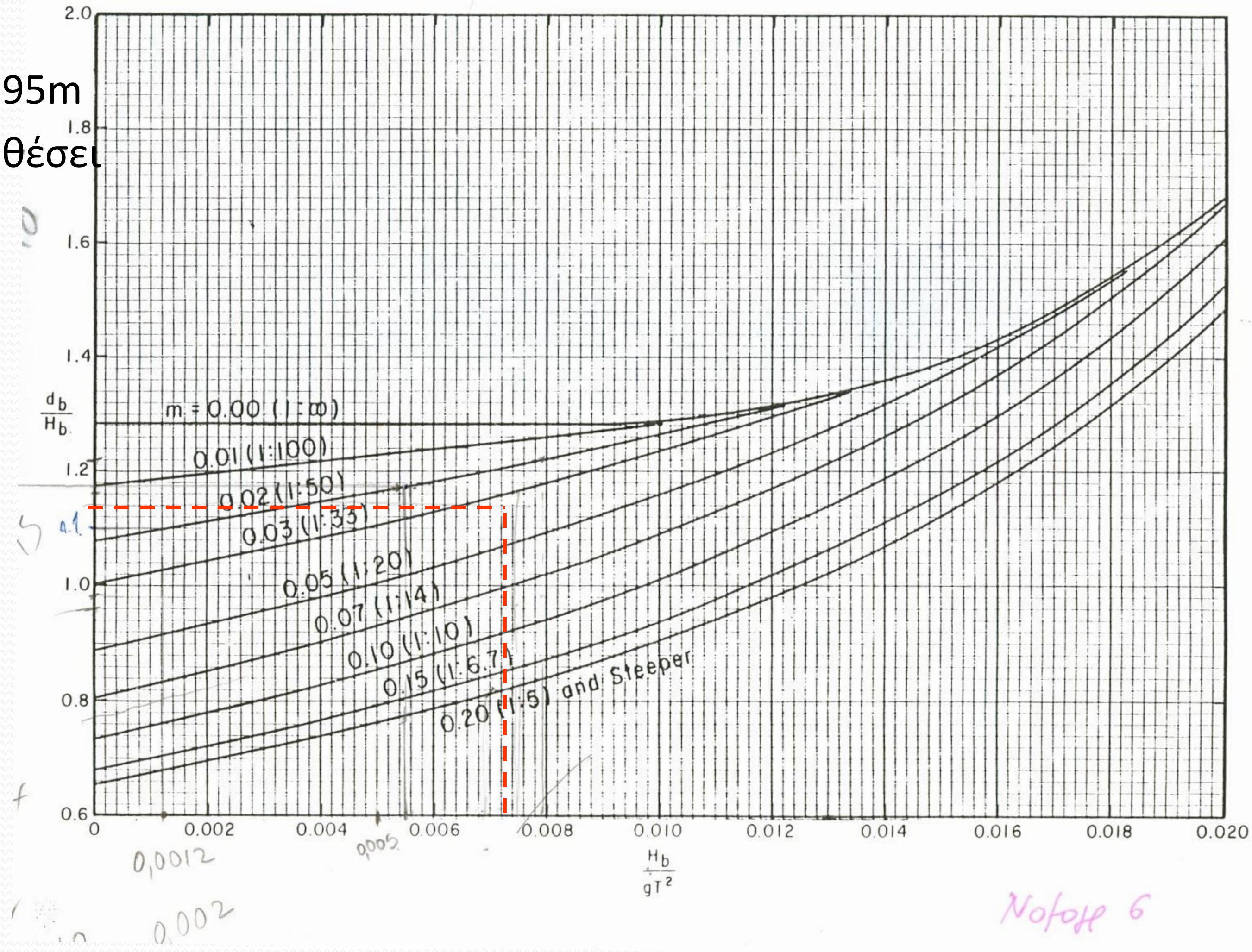
$H_b/H=1.1 \rightarrow H_b=2.28m$, $H_b/(gT^2)=0.0077$

$\rightarrow d_b/H_b=1.125$

$\rightarrow d_b=2.57m \neq 2.95m$

που είχαμε υποθέσει

αρχικώς.



Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

1. Ανεμος ΒΑ:

Προσδιορισμός στοιχείων θραύσης

→d_b=2.57m ≠2.95m που είχαμε υποθέσει αρχικώς.

Άρα Επαναλαμβάνω τη διαδικασία για d_b=2.57m

Ρηχά:

ω^2=gktanh(kd) → k=0.241rad/s →L=26.04m → C=L/T=4.73m/s

$n = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]$ =0.892, $K_s = (c_o/2nc)^{1/2}$ = 1.049

Νόμος Snell: a=arcsin(sina$_o$ C/C$_o$)=22.94^o,

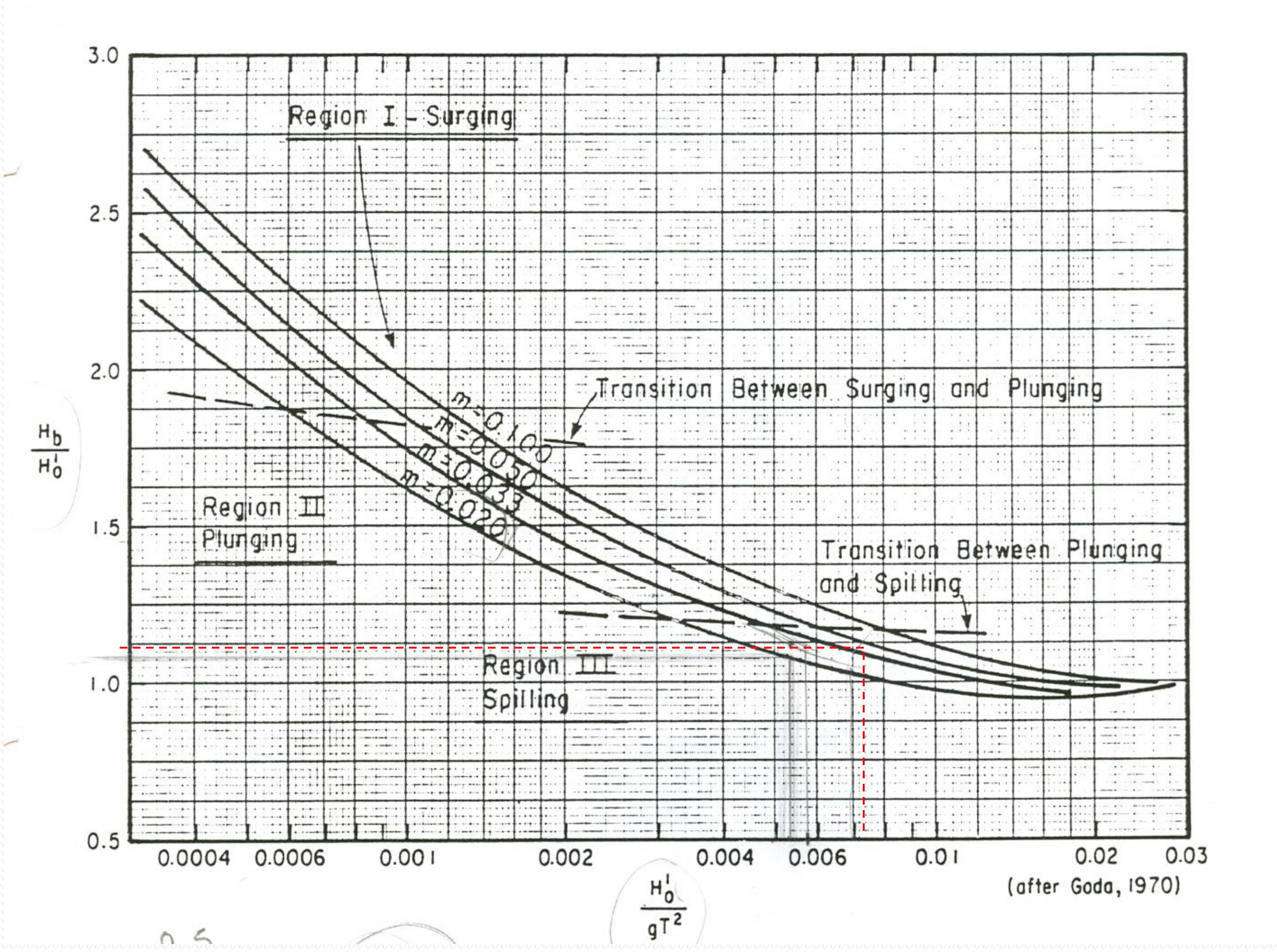
$K_r = \left(\frac{\cos a_o}{\cos a}\right)^{\frac{1}{2}}$=0.876,

$H=H_oK_SK_R$=2.11m

Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

- Νομογράφημα ύψους θραύσης

$H/(gT^2)=0.007123$
$m=1/30=0.033$
→$Hb/H=1.09$



Υπολογισμός βάθους και ύψους θραύσης

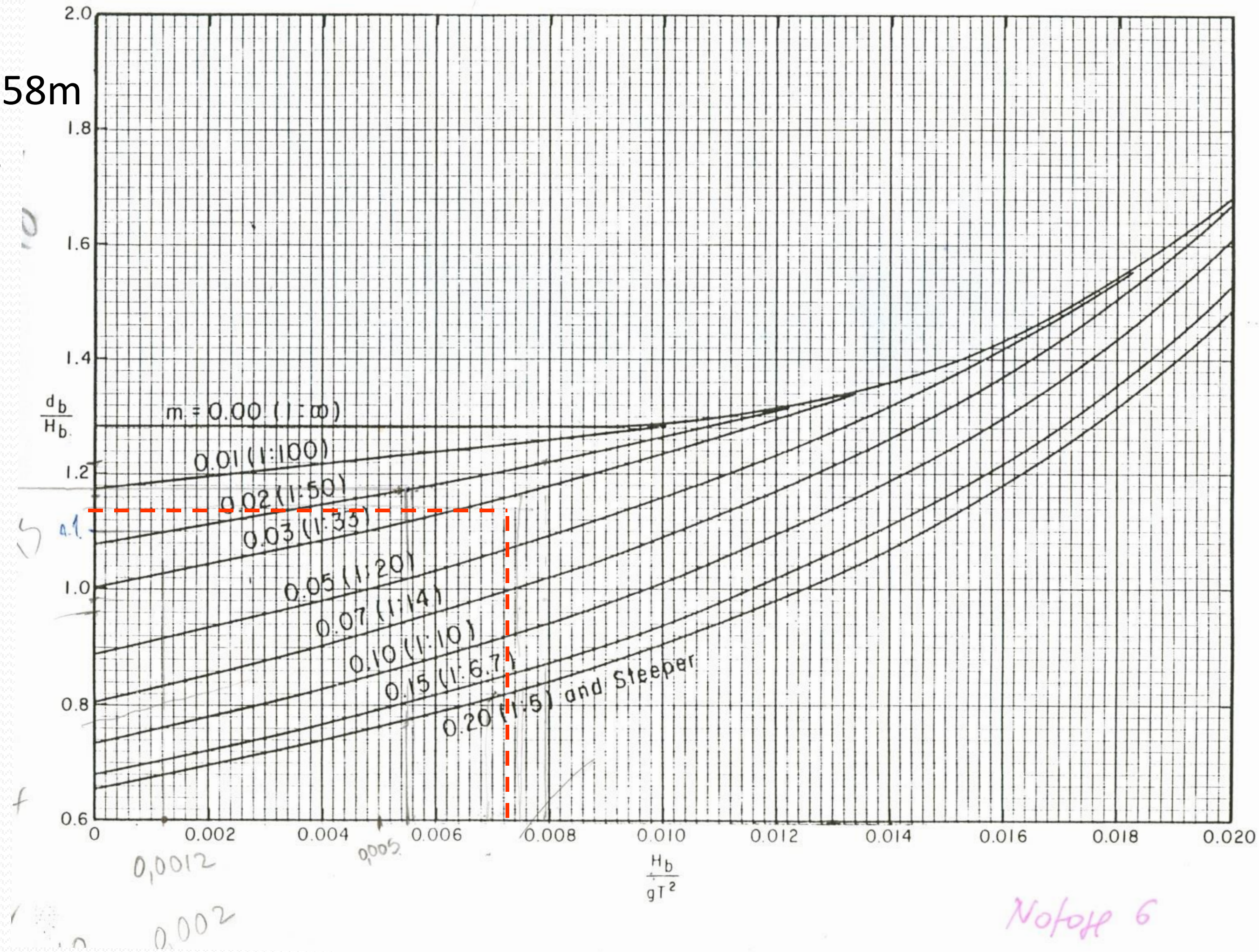
- Νομογράφημα βάθους θραύσης

$H_b/H=1.1 \rightarrow H_b=2.3m$, $H_b/(gT^2)=0.00776$

$\rightarrow d_b/H_b=1.123$

$\rightarrow d_b=2.59m \sim 2.58m$

της 1ης δοκιμής.



Νομογρ 6

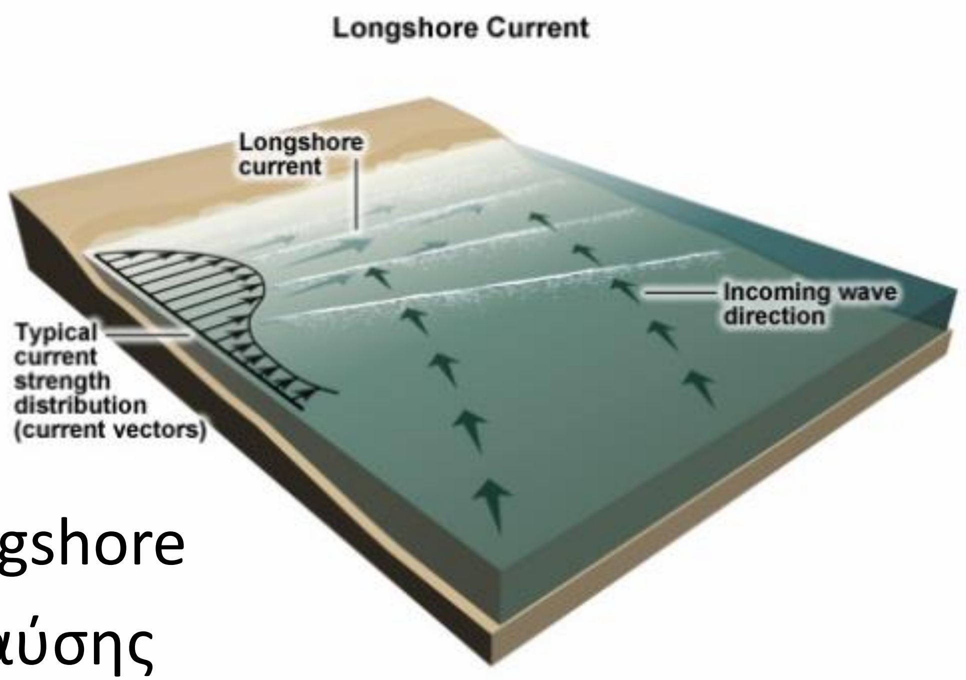
Μετασχηματισμοί των κυματισμών

7. Κυματογενή ρεύματα

Κυματογενή ρεύματα

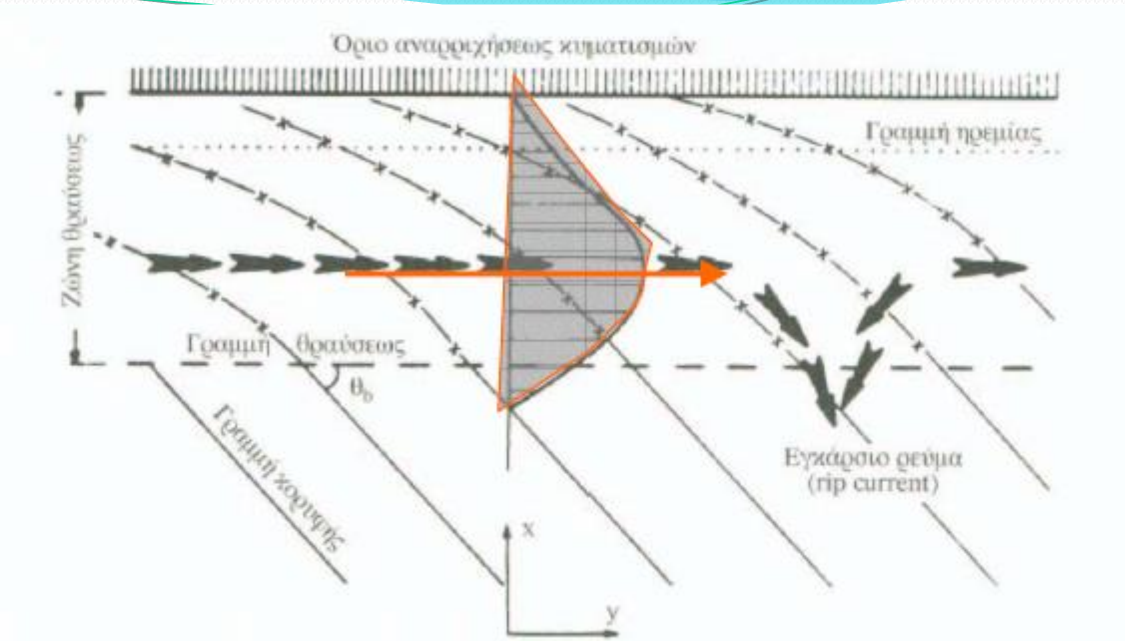
- Παράκτια ρεύματα παράλληλα με την ακτή (long shore currents)
- Ρεύματα εγκάρσια προς την ακτή (rip currents)

Κυματογενή ρεύματα ΙΙ



- Παράκτια ρεύματα παράλληλα με την ακτή (longshore currents) μέσα στη ζώνη θραύσης από **λοξά** θραυόμενους κυματισμούς
  - Κάθετη συνιστώσα αναπτύσσει τύρβη
  - Η παράλληλη προς την ακτή συνιστώσα (υπόλοιπο) οργανώνει ένα παράλληλο ισχυρό παράκτιο ρεύμα, ένα θαλάσσιο ποταμό, που μεταφέρει μάζες νερού, ρύπανση και κοκκώδες υλικό από τον πυθμένα ή που βρίσκεται σε αιώρηση.

Κυματογενή ρεύματα ΙΙΙ

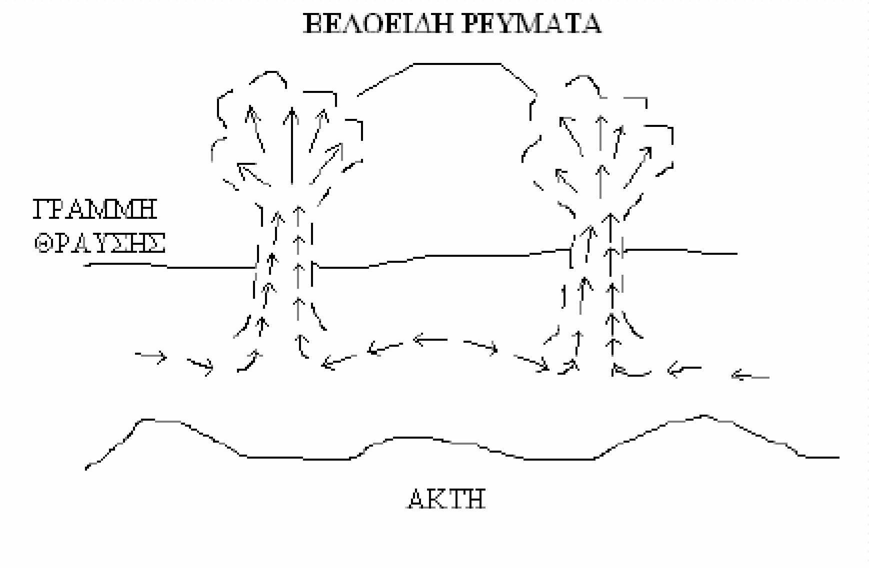


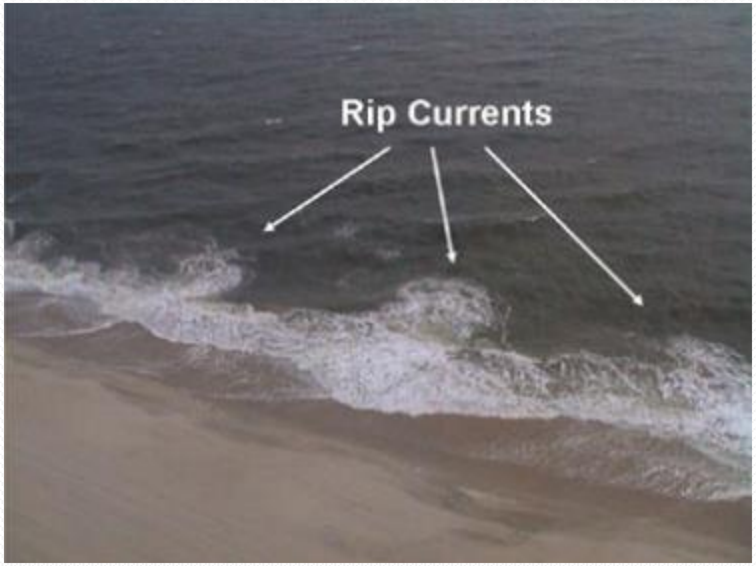
Μέση τιμή ταχύτητας ρεύματος:

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

m: κλίση πρανούς

Κυματογενή ρεύματα IV





Βιβλιογραφία

- Καραμπάς, Θ., «Στοιχεία Κυματομηχανικής», Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Κατσαρδή, Β., «Ακτομηχανική και Παράκτια Έργα», Διδακτικές Σημειώσεις, ΤΕΙ Αθήνας.
- Κατσαρδή, Β., «Λιμενικά Έργα», Διδακτικές Σημειώσεις, ΤΕΙ Αθήνας.
- Κόφτης, Θ., «Ακτομηχανική και Λιμενικά Έργα», Διδακτικές Σημειώσεις, ΠΘ.
- Κρεστενίτης, Ν., «Παράκτια Έργα», Διδακτικές Σημειώσεις, ΑΠΘ.
- Κουτίτας, Χ., «Εισαγωγή στην παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα», ΑΠΘ, Εκδόσεις Ζήτα, Θεσσαλονίκη
- Ματσούκης, Π.Φ., «Ακτομηχανική», Διδακτικές Σημειώσεις, ΔΠΘ.
- Swan, C., «Coastal Engineering», Lecture Notes, Imperial College, London.
- Swan, C., «Fluid Mechanics», Lecture Notes, Imperial College, London.
- Swan, C., «Inaugural Lecture», Imperial College, London.