



Ακτομηχανική και λιμενικά έργα

Διάλεξη 7^η. Περίθλαση, θραύση κυματισμών

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.

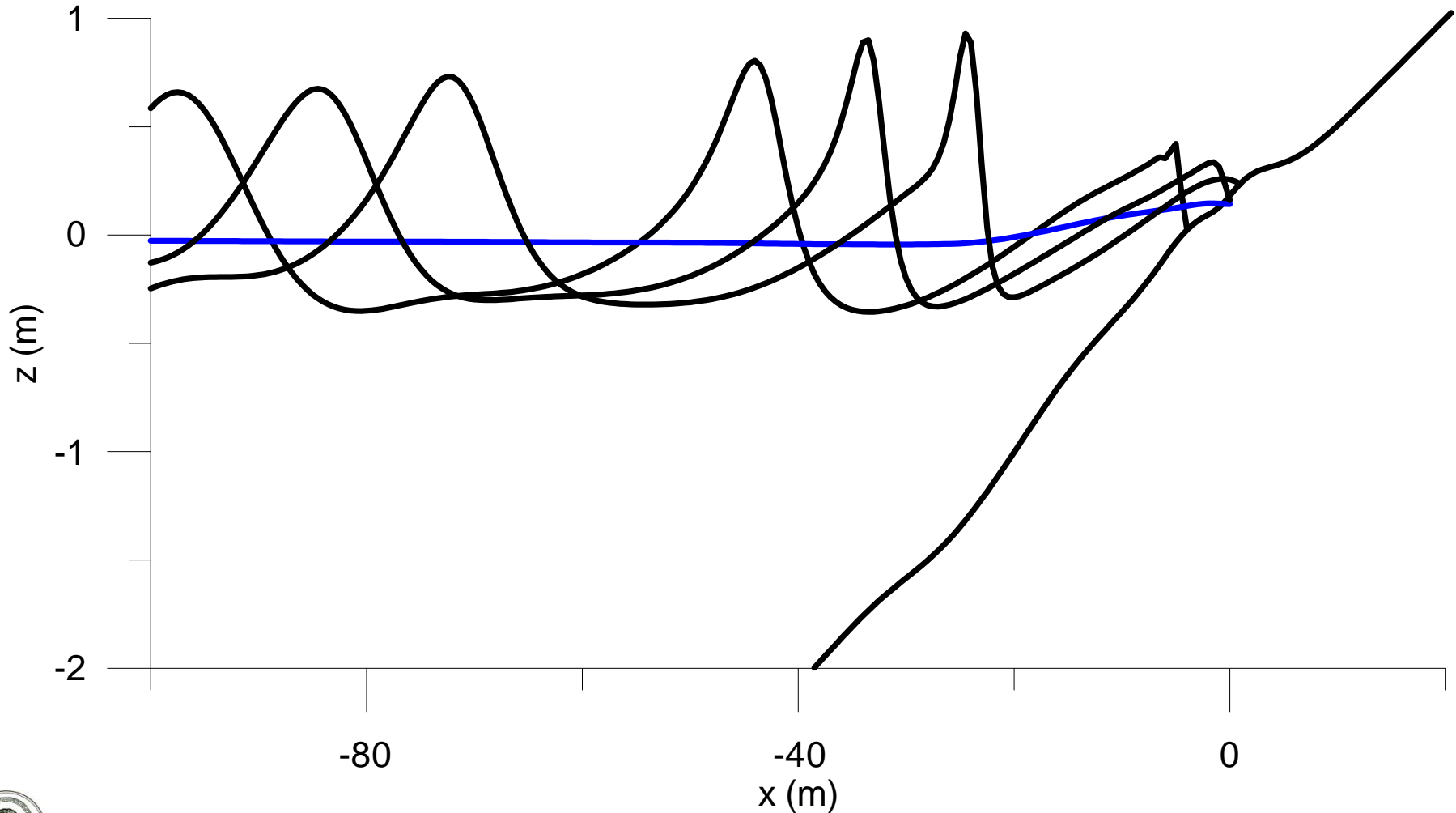


ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΜΑΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

- ΡΗΧΩΣΗ
- ΔΙΑΘΛΑΣΗ
- ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ
- ΑΝΑΚΛΑΣΗ
- ΘΡΑΥΣΗ
- ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ

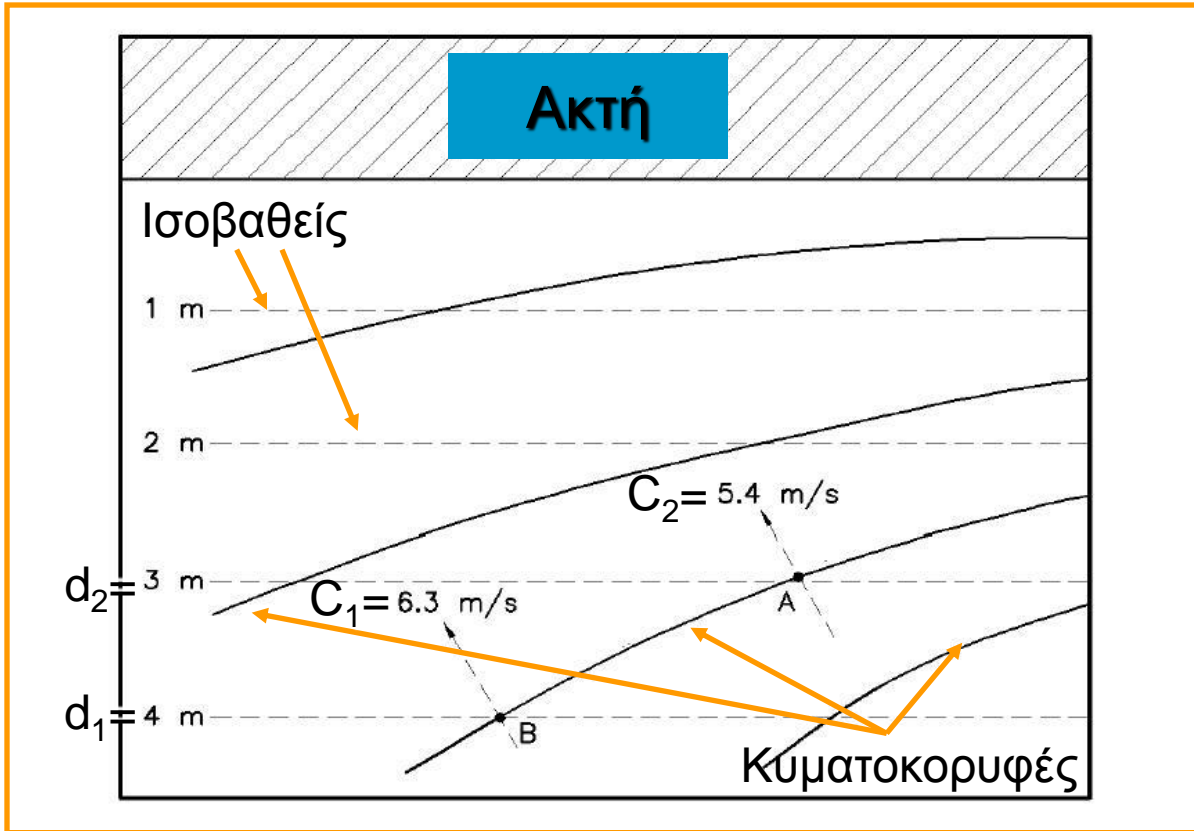


Αναρρίχηση κυματισμών - setup



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction)

• Διάθλαση: Χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προώθησews (φασική ταχύτητα, C) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους της θαλάσσιας περιοχής, d στην ταχύτητα C



Αναγκαία συνθήκη για την εμφάνισή της: η λοξότητα της διάδοσης των κυμάτων σε σχέση με τις ισοβαθείς (πλάγια πρόσπτωση κυματισμών)

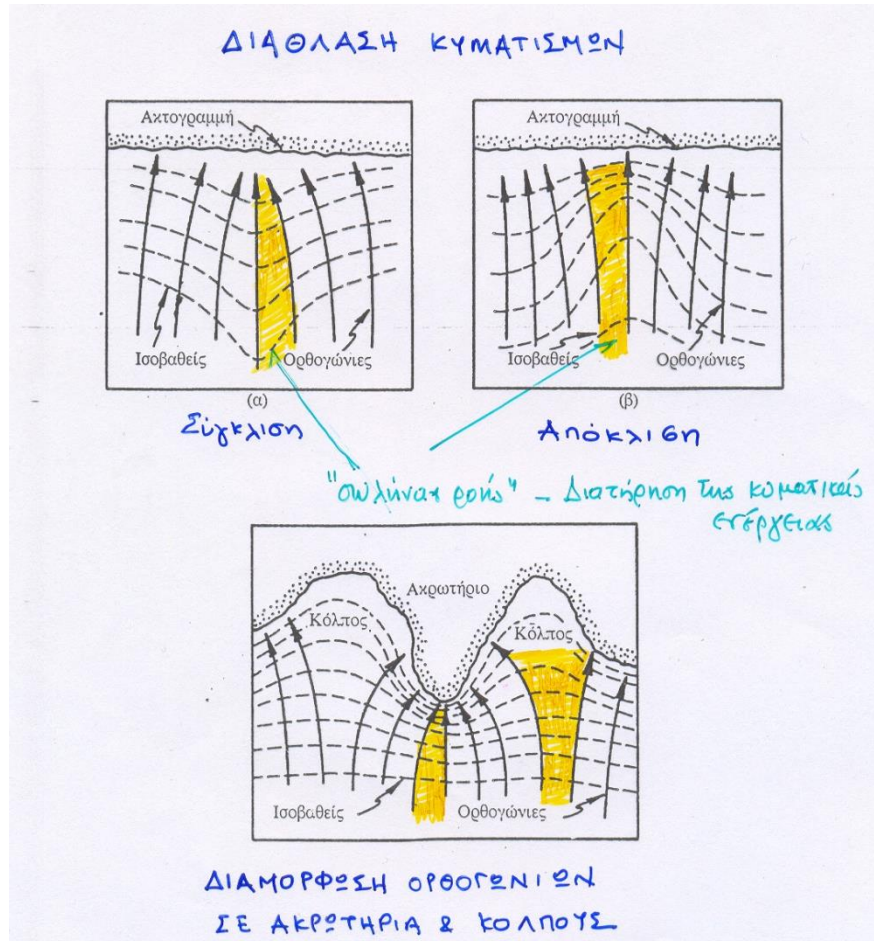
$C_1 > C_2 \Rightarrow$ Το σημείο B κινείται πιο γρήγορα από το A

Αποτέλεσμα διάθλασης

Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς



ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ



Διατήρηση κυματικής ενέργειας που περιέχεται στον «σωλήνα ροής» μεταξύ δύο ορθογωνίων (παραδοχή μη διάδοσης ενέργειας κατά μήκος κυματοκορυφών)



Πύκνωση ορθογωνίων → αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας → αύξηση του ύψους του κύματος

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

Διάθλαση κυματισμών



ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction)

Υπολογισμός διάθλασης σε φυσική βυθομετρία

Στην περίπτωση παραλλήλων ισοβαθών (εμφανίζονται συχνά σε ευθύγραμμη γεωμετρία ακτής) η **διάθλαση** από τα **βαθιά νερά** σε ένα βάθος d_i περιγράφεται με πολισμό κατά μέλη των σχέσεων Snell μεταξύ διαδοχικών ισοβαθών

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_0} = \frac{L_1}{L_0}$$

$$\frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1} = \frac{L_2}{L_1}$$

$$\dots\dots$$
$$\frac{\sin\varphi_n}{\sin\varphi_{n-1}} = \frac{L_n}{L_{n-1}}$$

$$\frac{\sin\varphi_A}{\sin\varphi_n} = \frac{L_A}{L_n}$$

Από την περιοχή των βαθιών νερών (δείκτης 0) έως τη θέση A (βάθος d_A):

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

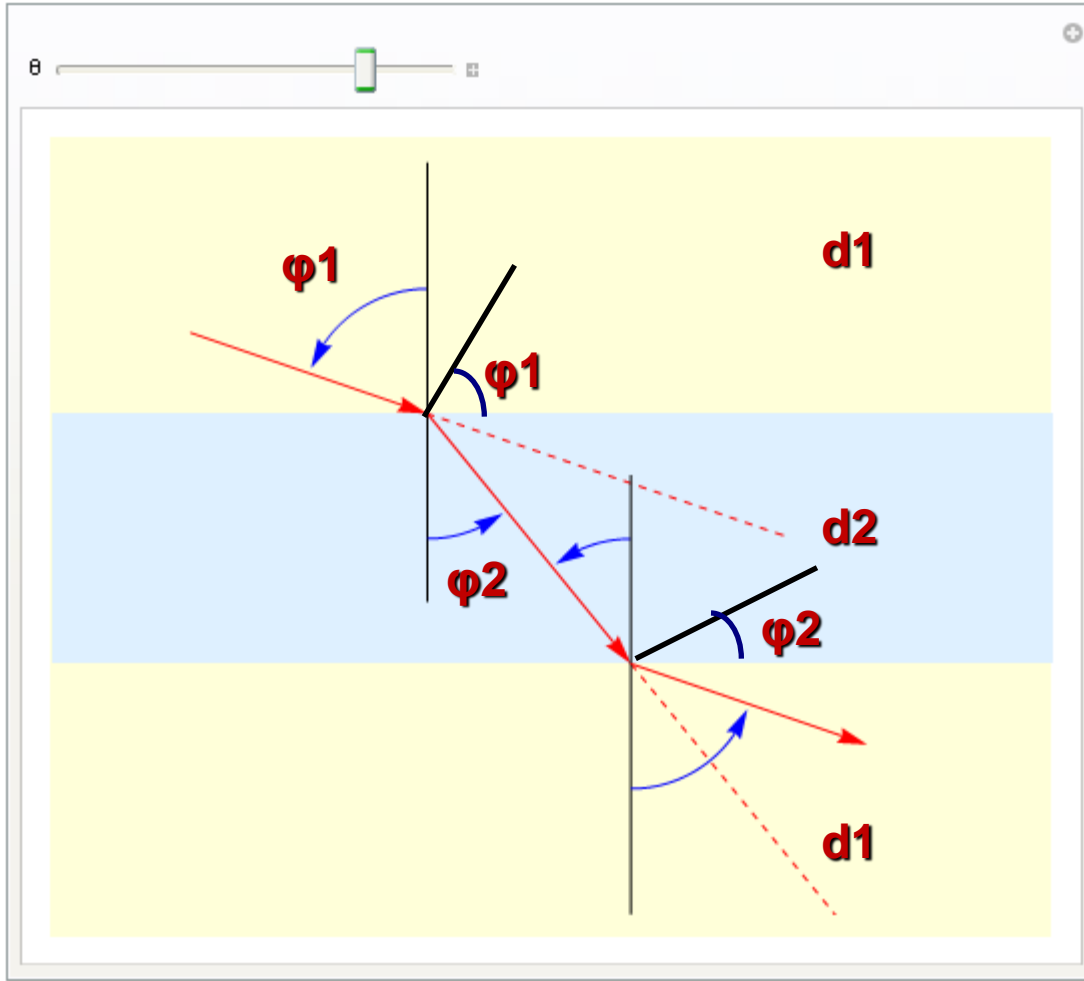
Γωνία φ στη θέση A σε σχέση με γωνία φ στα βαθιά

Ο συντελεστή διάθλασης μεταξύ της περιοχής των βαθιών νερών και της θέσης A θα είναι:

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



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction)



$$d_1 > d_2$$

$$c_1 > c_2$$

$$L_1 > L_2 \Rightarrow \text{Νομος Snell} \Rightarrow$$

$$\varphi_1 > \varphi_2 \Rightarrow \cos \varphi_1 < \cos \varphi_2$$

$$k_R = \sqrt{\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}} < 1$$

$$H_2' = k_R H_1 < H_1$$

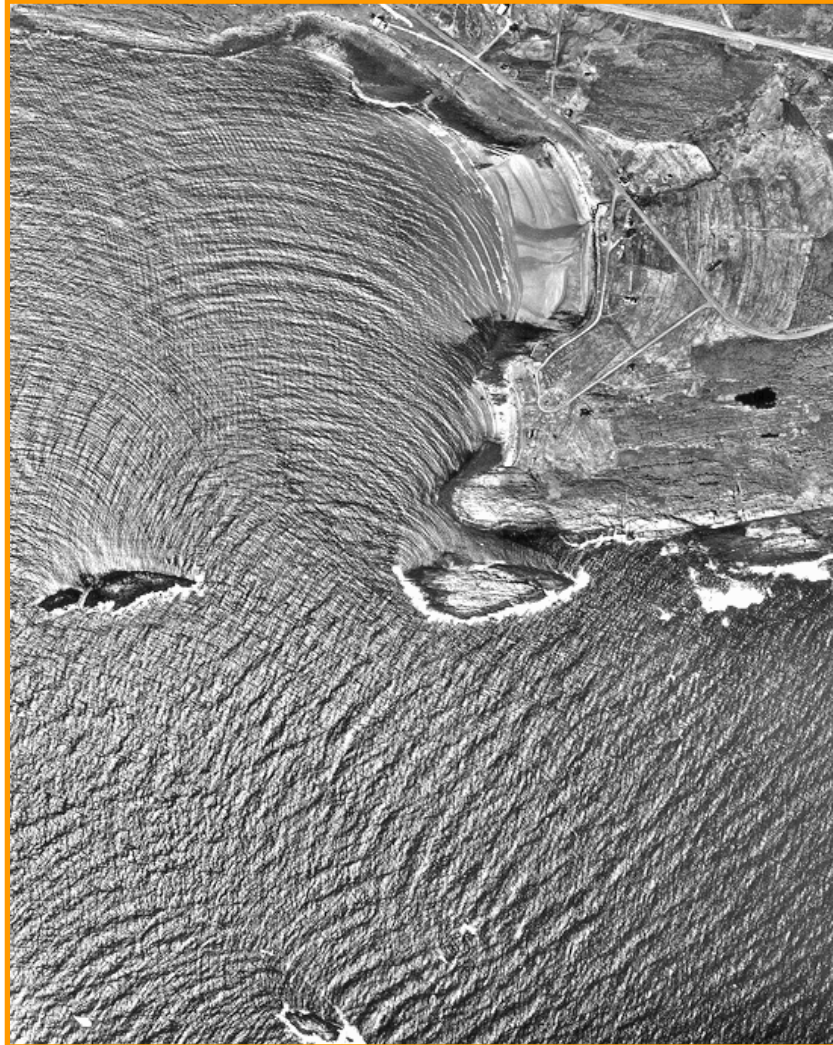
Μείωση βάθους



Μείωση ύψους κύματος λόγω διάθλασης



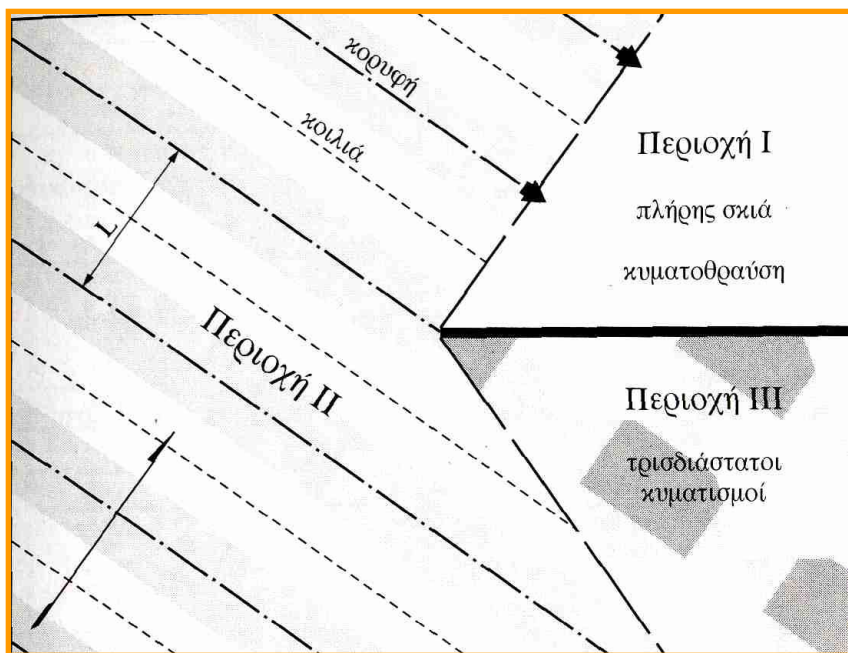
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ



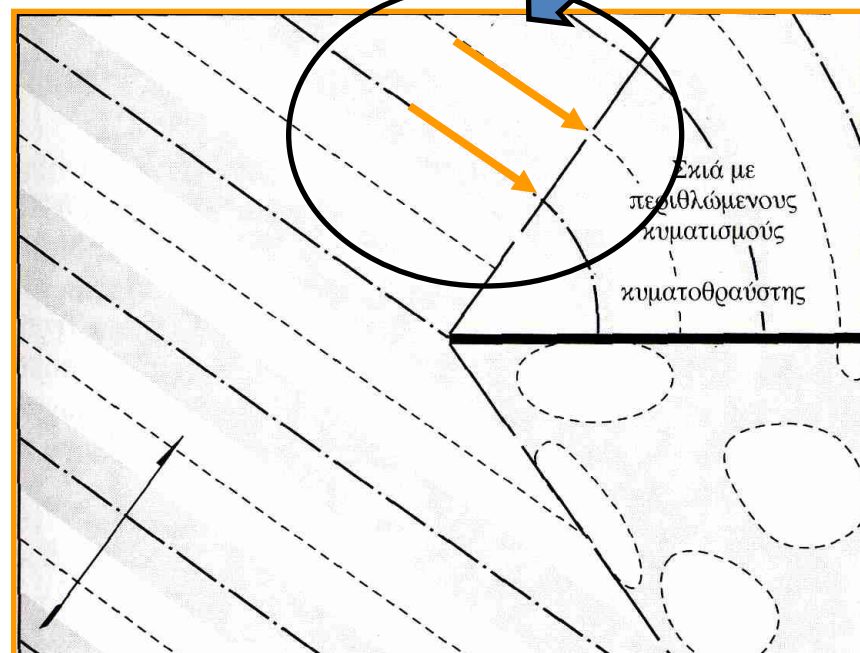
ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Σχήμα 3.6

Διάδοση με συνεχή μείωση της κυματικής ισχύος πλευρικά κατά μήκος κυματοκορυφής



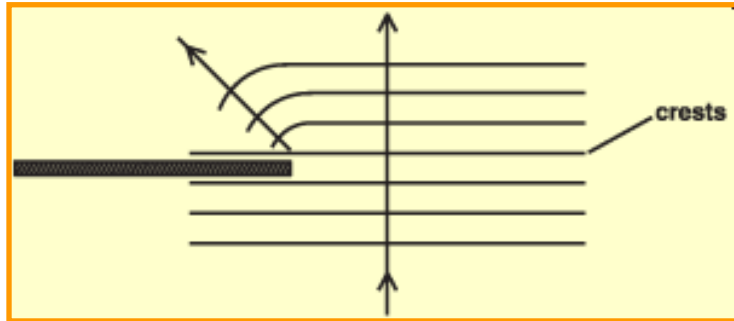
Σχήμα 3.6α: ΌΧΙ Περίθλαση



Σχήμα 3.6β: Επίδραση Περίθλασης

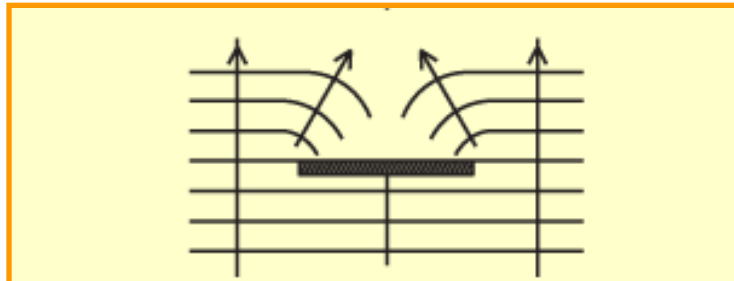


ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

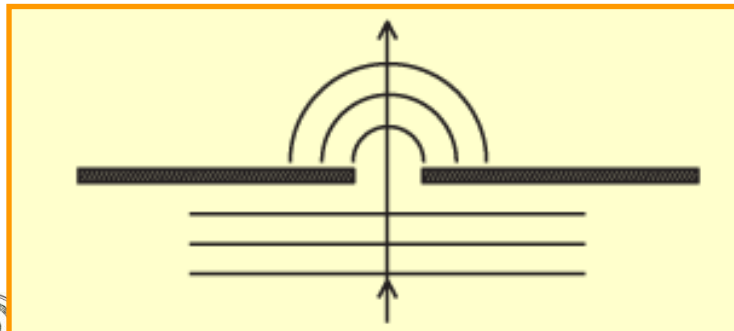


Με παραδοχή σταθερού βάθους στο χώρο της περίθλασης διακρίνονται οι ακόλουθες πρακτικές περιπτώσεις:

Περίθλαση από ένα άκρο ημι-άπειρου εμποδίου



Περίθλαση από τα άκρα πεπερασμένου εμποδίου

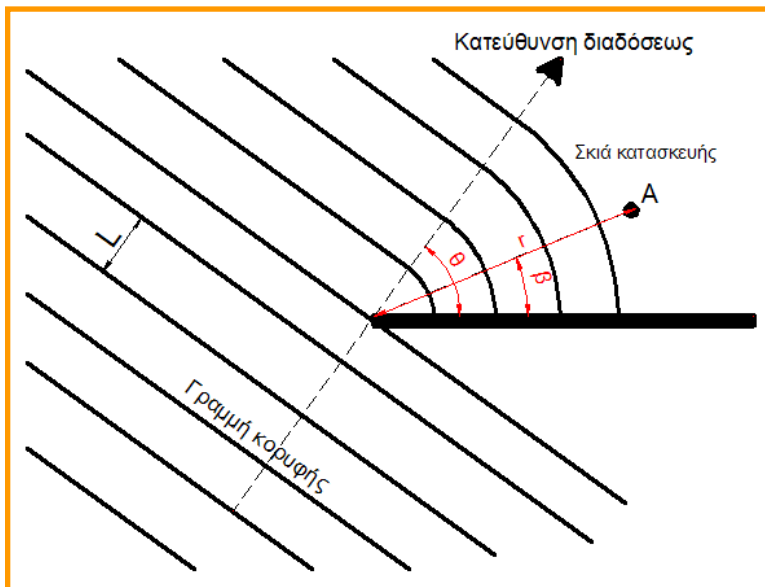


Περίθλαση από άκρα δύο ημι-άπειρων εμποδίων (π.χ. είσοδος λιμενολεκάνης)



ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

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



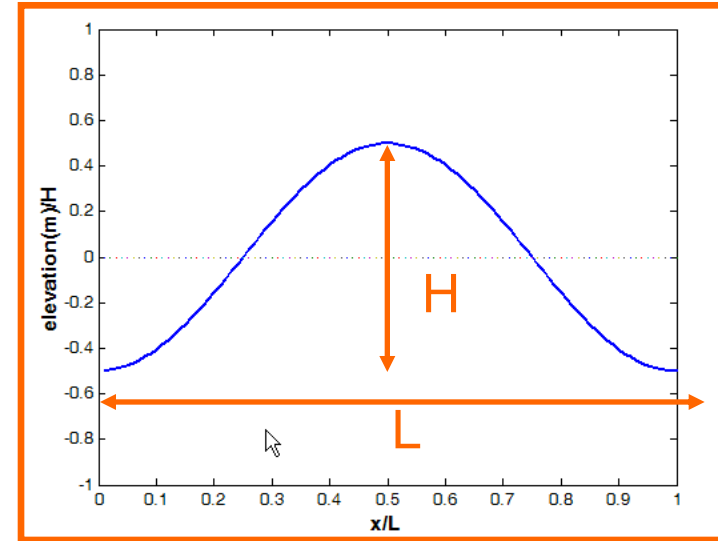
Πίνακας τιμών συντελεστού περιθλάσεως γύρω από ημάπειρο κυματοθραύστη.

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	0.47	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	0.30	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



ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

- Θραύση στην ανοιχτή θάλασσα (βαθιά νερά)



Η θραύση οφείλεται στην αύξηση της καμπυλότητας H/L πέρα από ένα επιτρεπόμενο όριο (εμφάνιση υδροδυναμικής αστάθειας)

$$\left[\frac{H}{L} \right]_{\max} = \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} d\right) \rightarrow \frac{H_0}{L_0} < \frac{1}{7}$$



ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

- Στην παράκτια περιοχή (ρηχά νερά)



Στην παράκτια περιοχή η θραύση των κυματισμών συναρτάται με το φαινόμενο της ρήχωσης (αύξηση του ύψους του κύματος λόγω μείωσης του βάθους της θάλασσας)
→ εμφάνιση υδροδυναμικής αστάθειας,

η κορυφή του διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από την κοιλία του

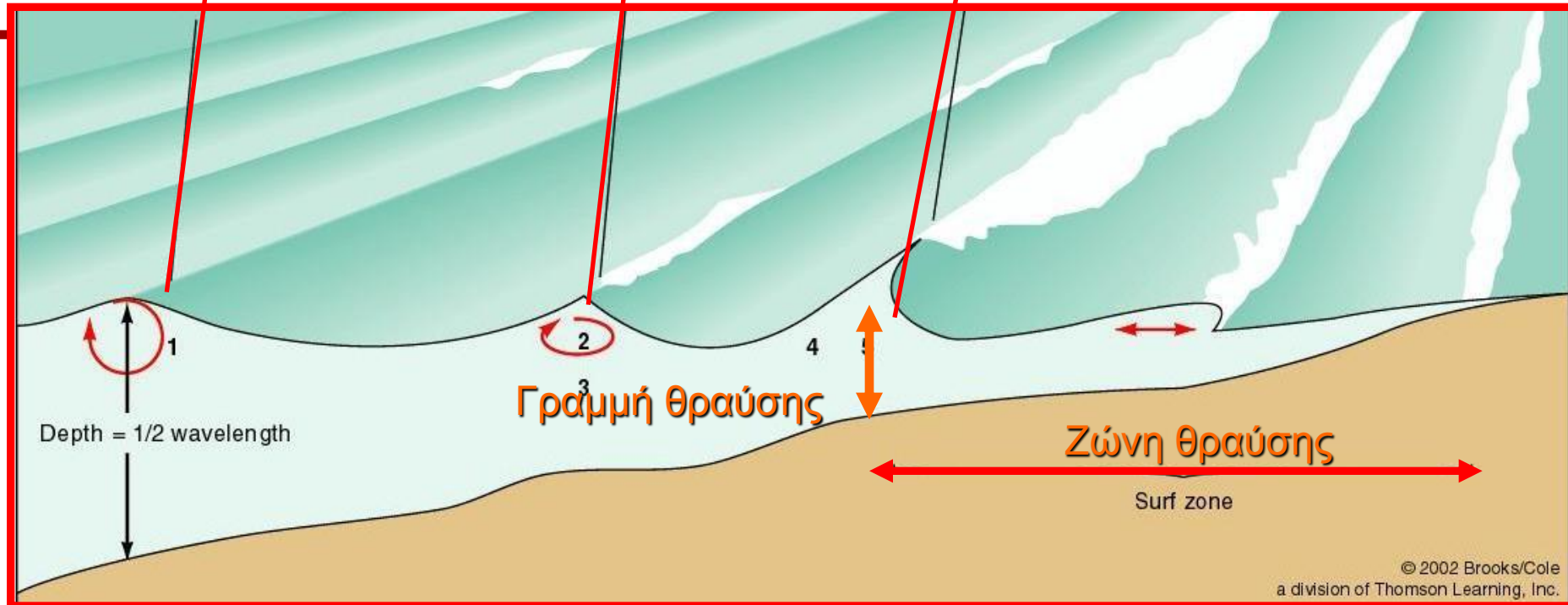


ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ

Εμφάνιση ρήχωσης

Αύξηση καμπυλότητας

Θραύση κυματισμού



Η γραμμή κατά μήκος της οποίας εμφανίζεται το φαινόμενο της θραύσης είναι η γραμμή θραύσης του συγκεκριμένου κυματισμού. Στη θέση αυτή, όπου το βάθος της θάλασσας είναι d_b , βάθος θραύσης ο κυματισμός έχει ύψος H_b ύψος θραύσης. Η ζώνη μεταξύ της γραμμής θραύσης και της ακτογραμμής αποτελεί τη ζώνη θραύσης των κυματισμών μικρότερου ύψους όπου επίσης μεταδίδονται και οι κυματισμοί που αναγεννώνται μετά την αρχική θραύση



ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

Παράμετρος θραύσης ή αριθμός Iribarren

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

$\tan\theta$: κλίση πυθμένα

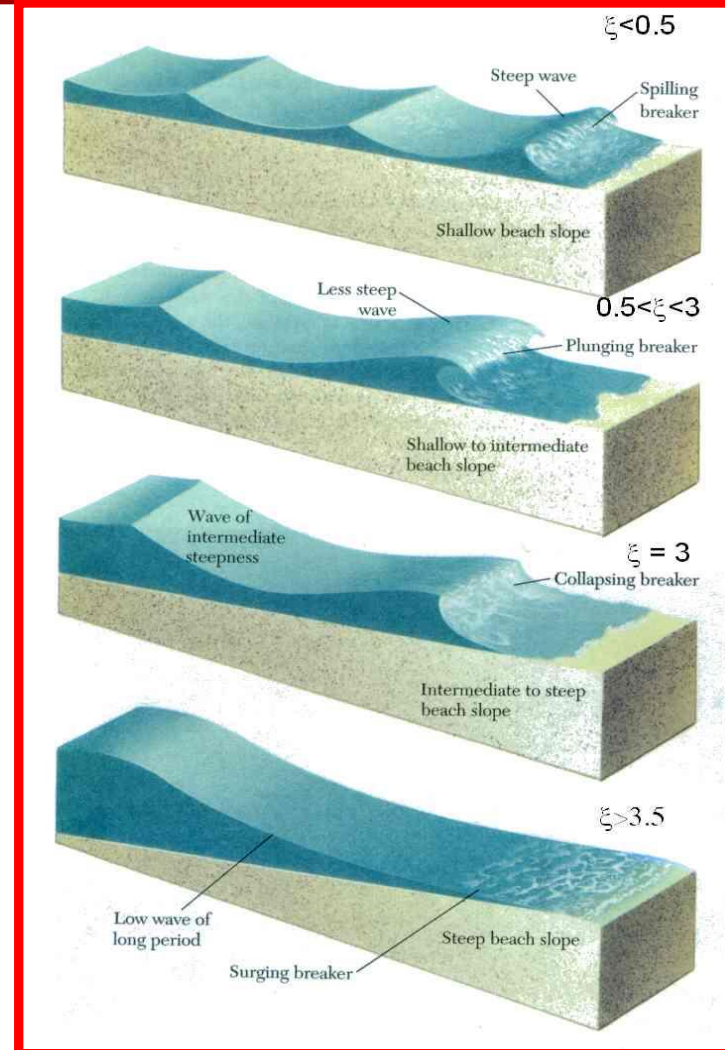
H_o/L_o : καμπυλότητα στα βαθιά νερά

Υπερχείλιση (spilling) $\xi < 0.5$

Κατάδυση (plunging) $0.5 < \xi < 3$

Collapsing $\xi = 3$

Εφόρμηση (surging) $\xi > 3$



ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ

Εκτίμηση του ύψους θραύσης H_b και του βάθους θραύσης d_b

Από θεωρία μοναχικού κύματος:

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.78$$

Λαμβάνοντας υπόψη την διάθλαση:

$$\frac{H_b}{H'_o} = \frac{1}{3.3 \left(\frac{H'_o}{L_o} \right)^{1/3}} \quad \text{όπου} \quad H'_o = H_o \cdot k_r$$

Λαμβάνοντας υπόψη και την κλίση του θαλάσσιου πυθμένα:



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Καραμπάς Θεοφάνης.
«Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Περίθλαση- θραύση κυματισμών».
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.

