

Μετασχηματισμοί Κυματισμών

Β.Κ. Τσουκαλά,
Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ
E-mail: v.tsoukala@hydro.civil.ntua.gr

Μερικές από τις κυματικές παραμέτρους αλλάζουν όταν οι κυματισμοί συναντούν:

- Εμπόδια
- Μεταβολές στον πυθμένα
- Ρεύματα.

1. 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:

$$K_s = (c_o / 2nc)^{1/2}$$

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

Όπου c η ταχύτητα μετάδοσης του κυματισμού

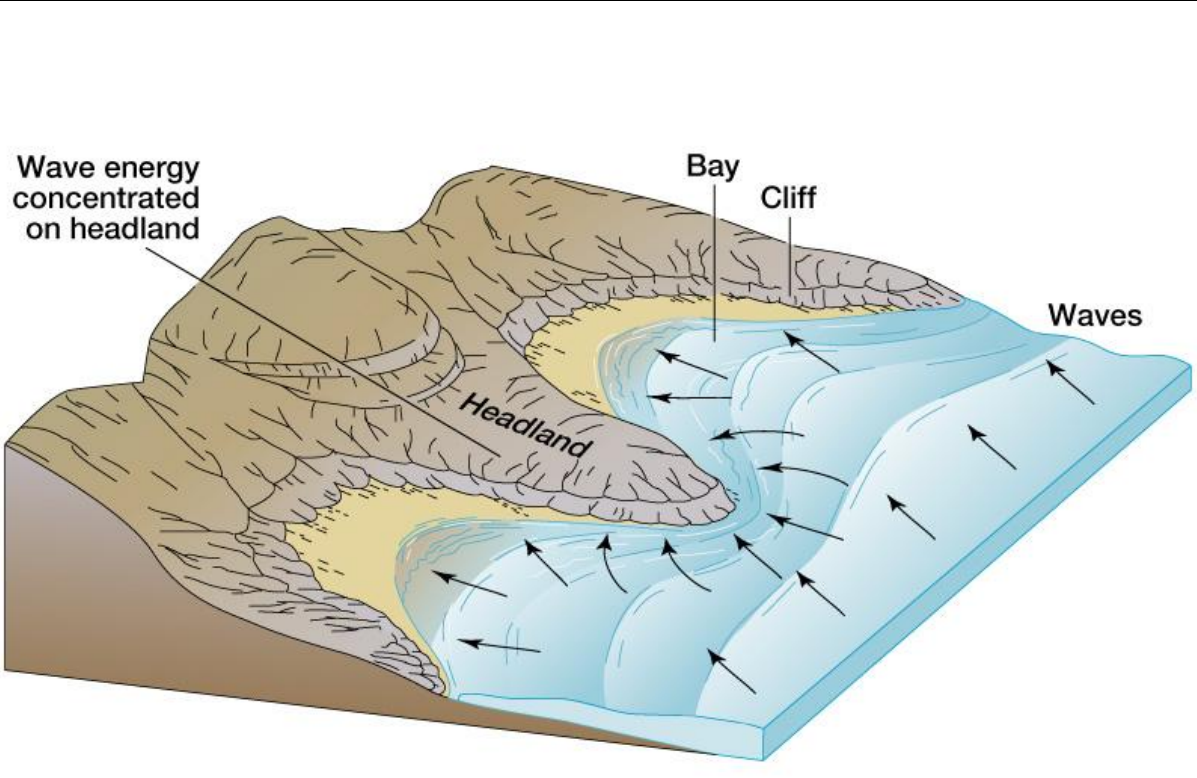
2. Διάθλαση

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.

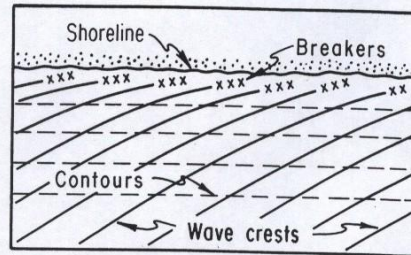
Το φαινόμενο είναι ανάλογο άλλων τύπων διάθλασης (φωτός και ήχου).



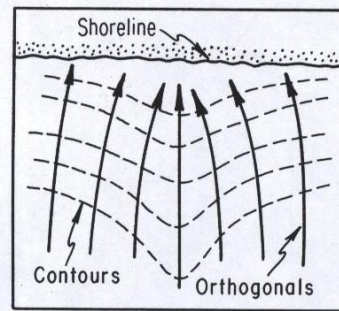




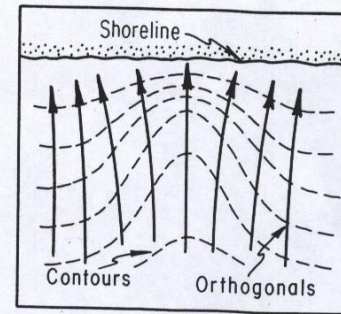
Παραδείγματα Διαθλασης για διαφορετικές βυθομετρίες και ακτογραμμές



Refraction along a straight beach with parallel bottom contours.

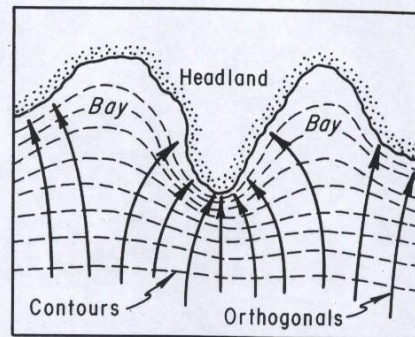


(a)



(b)

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



Refraction along an irregular shoreline.

Η Διάθλαση είναι πολύ σημαντική για τους εξής λόγους:

Η διάθλαση σε συνδυασμό με τη ρηχότητα, καθορίζει το ύψος του κυματισμού σε κάθε καθορισμένο βάθος πυθμένα για δεδομένο προσπίπτων κυματισμό στα βαθιά (ύψος κύματος στα βαθιά, περίοδος και διεύθυνση κυματισμού).

Συνεπώς η διάθλαση έχει σημαντική επίδραση στο ύψος του κυματισμού και στην κατανομή της ενέργειας στην ακτογραμμή.

Η μεταβολή στη διεύθυνση στα διάφορα τμήματα του κυματισμού έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκέντρωση ή την απομάκρυνση της κυματικής ενέργειας και **πρακτικά επηρεάζει τις δυνάμεις που ασκούνται στα διάφορα μέρη των κατασκευών.**

Η διάθλαση συνεισφέρει στην αλλαγή της τοπογραφίας του πυθμένα με την επίδραση της στην διάβρωση και εναπόθεση φερτών.

Μία γενική περιγραφή της τοπογραφίας πυθμένα μπορεί να εξαχθεί από αεροφωτογραφίες που περιέχουν διαθλώμενους κυματισμούς.

Προϋποθέσεις:

Αν ονομάσουμε ορθογωνίους ή ακτίνες τις γραμμές κάθετες στις κυματοκορυφές και τις επεκτείνουμε έμπροσθεν του κυματισμού, η κυματική ενέργεια μεταξύ των ακτινών ή ορθογωνίων πρέπει να παραμένει σταθερή.

Η διεύθυνση του προελαύνοντος κυματισμού είναι κάθετη στην κυματοκορυφή.

Η ταχύτητα κυματισμού για δεδομένη περίοδο κυματισμού σε κάθε σημείο εξαρτάται μόνο από το βάθος του πυθμένα στο συγκεκριμένο σημείο.

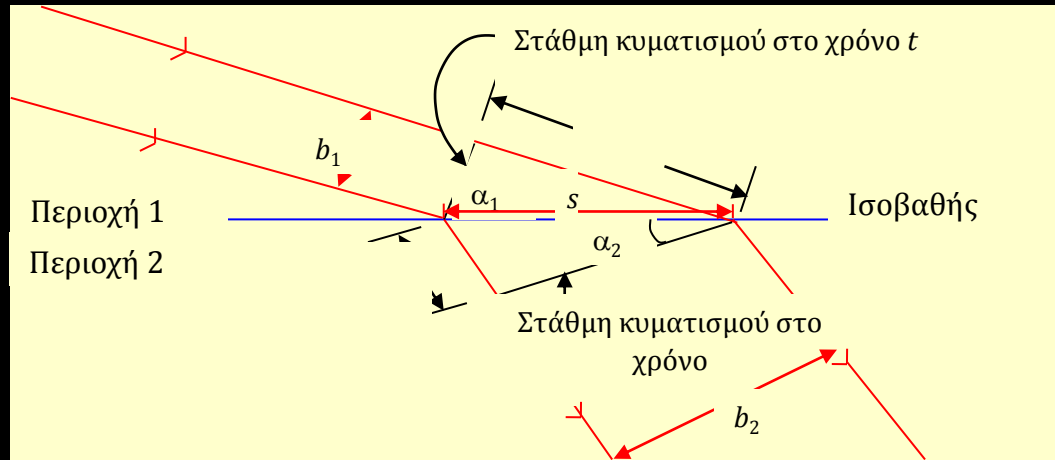
Κλίση του πυθμένα μικρή αλλά όχι απαραίτητα σταθερή.

Δεν υπολογίζουμε τις πιθανόν ανακλάσεις

Τα κύματα είναι έχουν σταθερή περίοδο, μικρό εύρος και μονοχρωματικά (έχουν μία συχνότητα).

Εφαρμογή του νόμου του Snell

Η μεταβολή στη διεύθυνση του κυματισμού που περνά από την απλή αυτή τοπογραφία



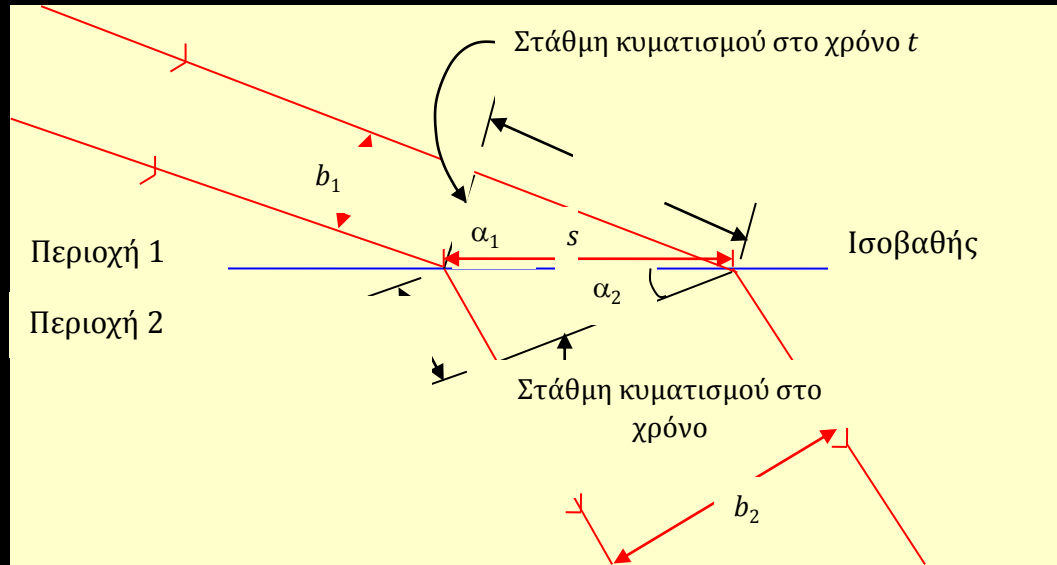
Νόμος
του
Snell

Η κυματοκορυφή ταξιδεύουν μία απόσταση / έτσι ώστε

$$c_1 = \frac{l_1}{\delta t} = \frac{s \sin \alpha_1}{\delta t} ; c_2 = \frac{l_2}{\delta t} = \frac{s \sin \alpha_2}{\delta t}$$



$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$



Αν b, b_o είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ορθογωνίων στα ρηχά και στα βαθιά

$$\frac{H}{H_o} = \left(\frac{b_o}{b} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{c_{g_o}}{c_g} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{b_o}{b} \right)^{\frac{1}{2}} K_s$$

Ο λόγος $\left(\frac{b_o}{b} \right)^{\frac{1}{2}}$ ονομάζεται **συντελεστής διάθλασης**

Και επομένως έχουμε:

$$\frac{H}{H_o} = K_r \times K_s \Leftrightarrow H = K_r \times K_s \times H_o$$

3. Θραύση κυματισμών στα ρηχά



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 $u > c$.

Από πειραματικές μετρήσεις και από μετρήσεις πεδίου έχει βρεθεί ότι :

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

Συνθήκη θραύσης για βαθιά νερά

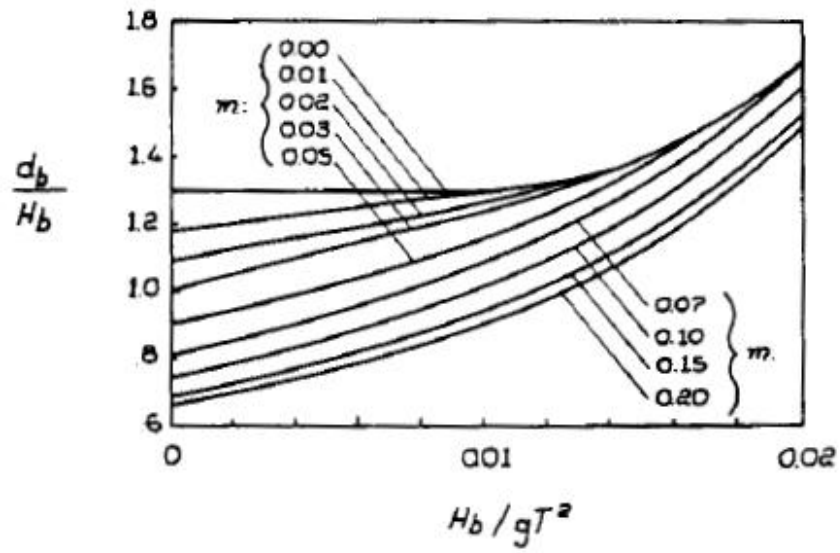
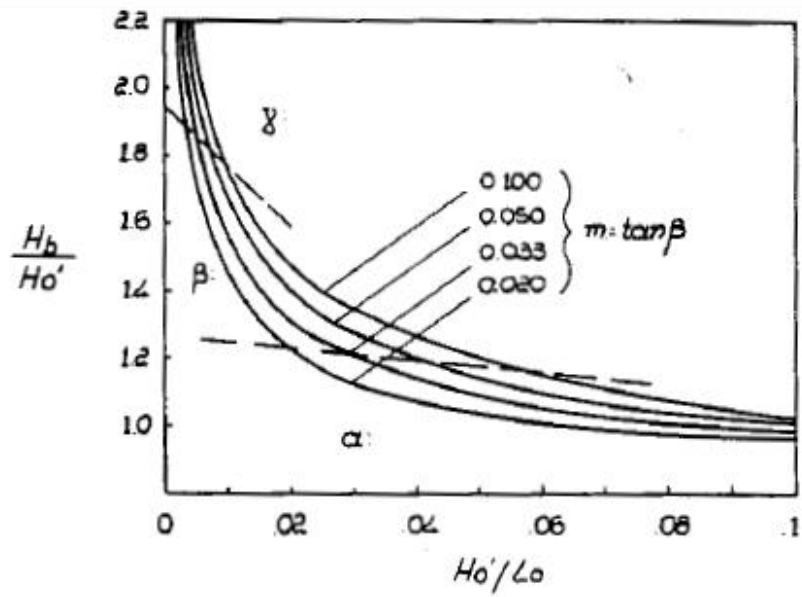
$$\left(\frac{H_o}{L_o}\right)_{\max} = 0,142 = \frac{1}{7}$$

Γενική συνθήκη θραύσης

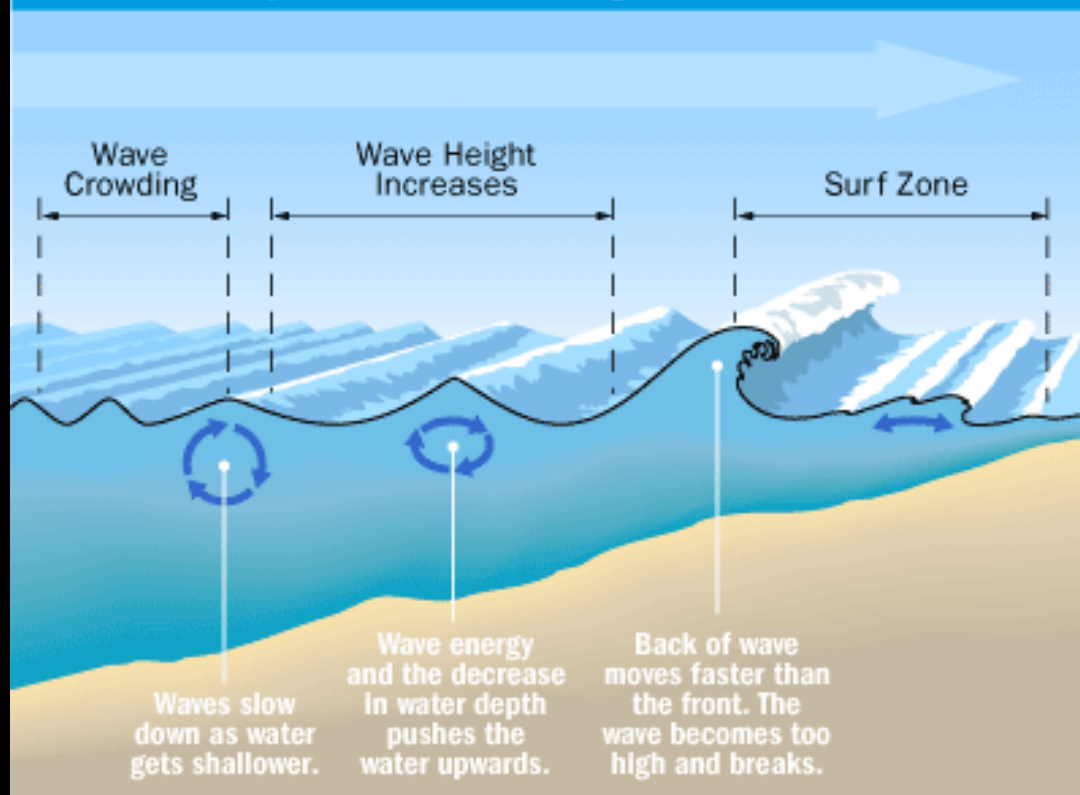
$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0,142 \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

Νερά μικρού βάθους

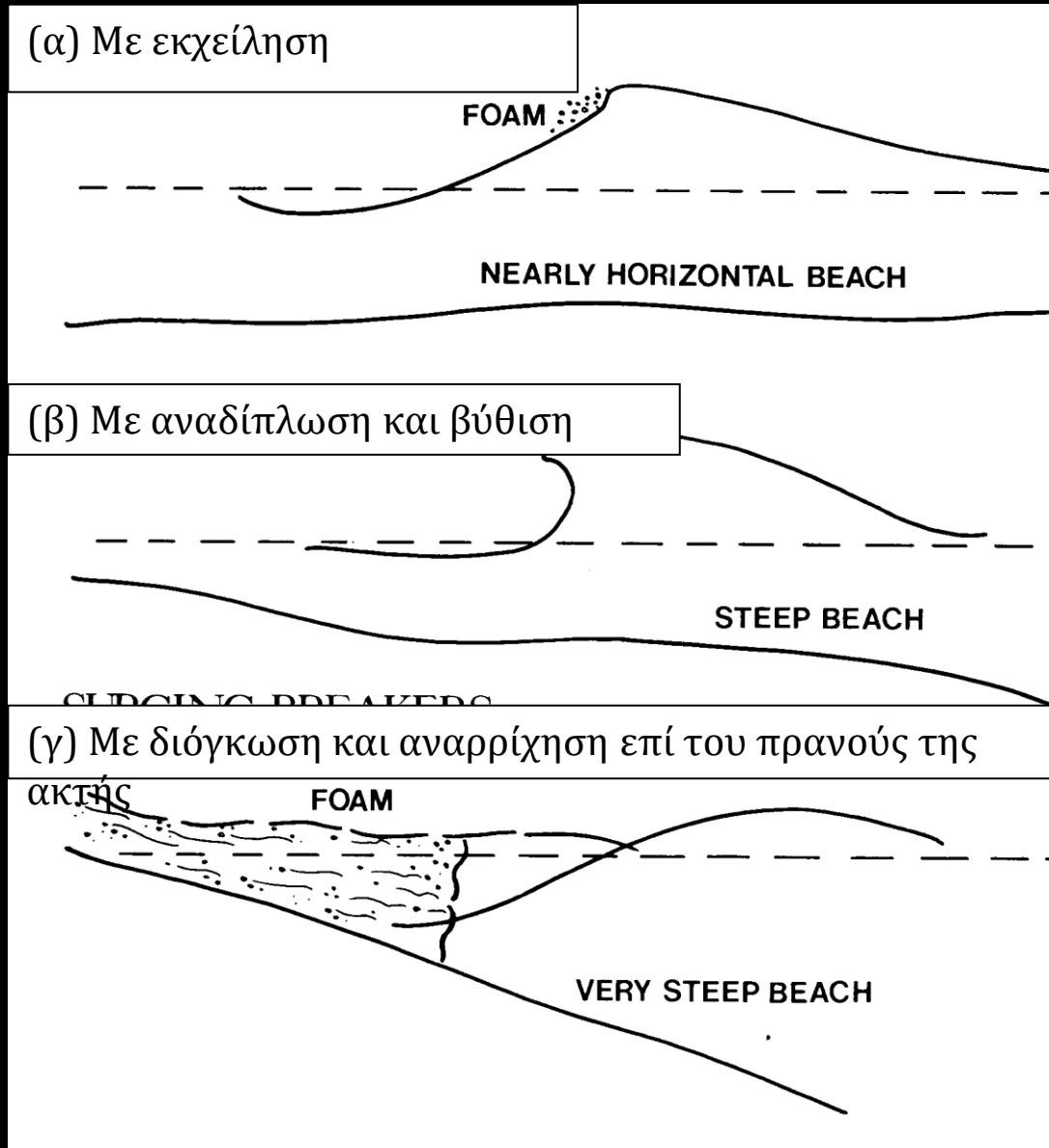
$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{7} \cdot \frac{2\pi d}{L} \quad \text{ή} \quad \left(\frac{H}{d}\right)_{\max} = 0,87$$



How Surfing Works Breaking Waves ©2007 HowStuffWorks



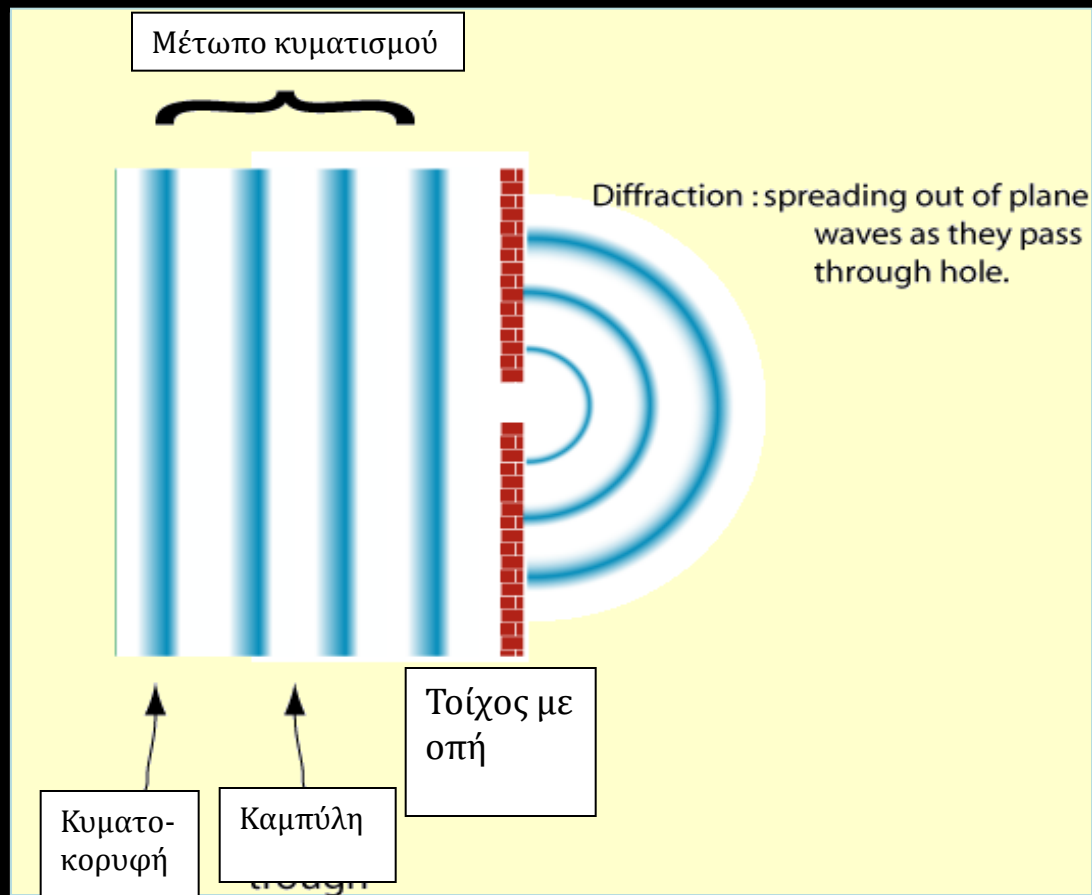
Είδη Θραύσης:

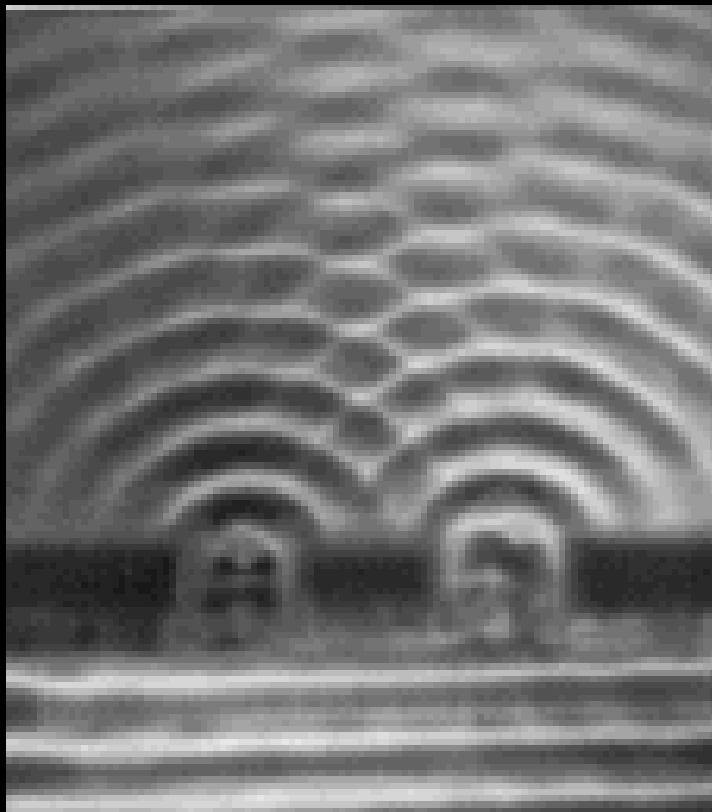


4. Περίθλαση

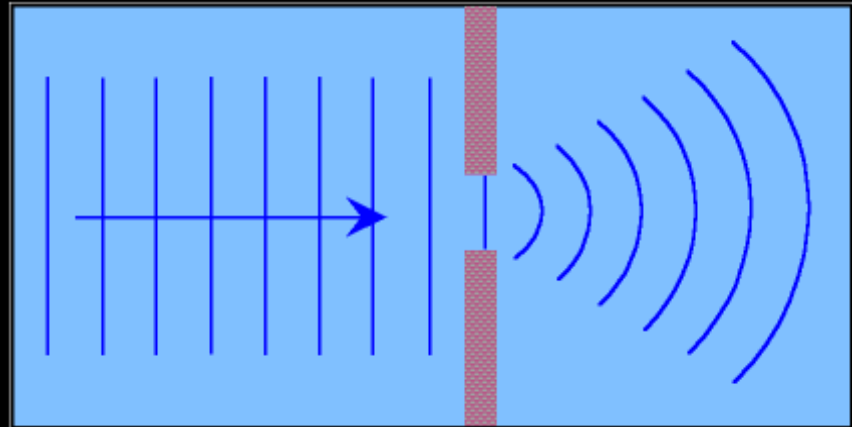
Όταν οι κυματισμοί κατά τη μετάδοσή τους συναντήσουν ένα φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο (π.χ κυματοθραύστης, νησίδα) τότε παρατηρείται γύρω από το άκρο καμπήλωση των κορυφογραμμών με αποτέλεσμα τα κύματα όχι μόνο να μην παρακάμπτουν το εμπόδιο αλλά, αντίθετα, να μεταδίδονται στην πίσω πλευρά του υπό μορφή ομόκεντρων κύκλικών τόξων συνεχώς ελαττούμενου 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 εγκάρσιως.

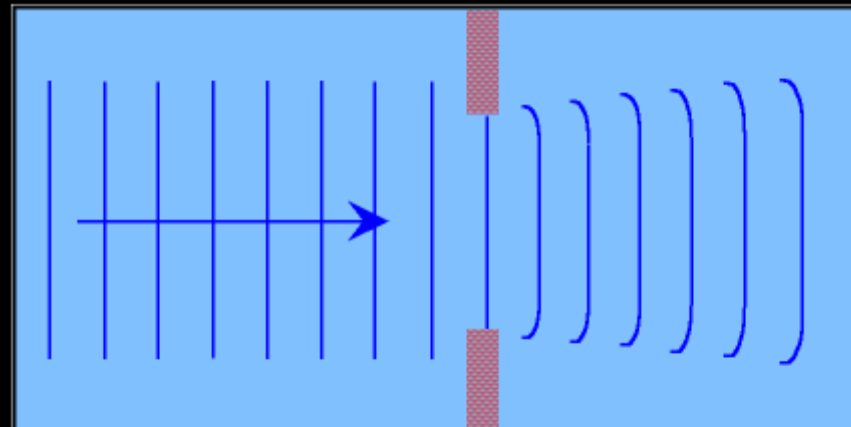




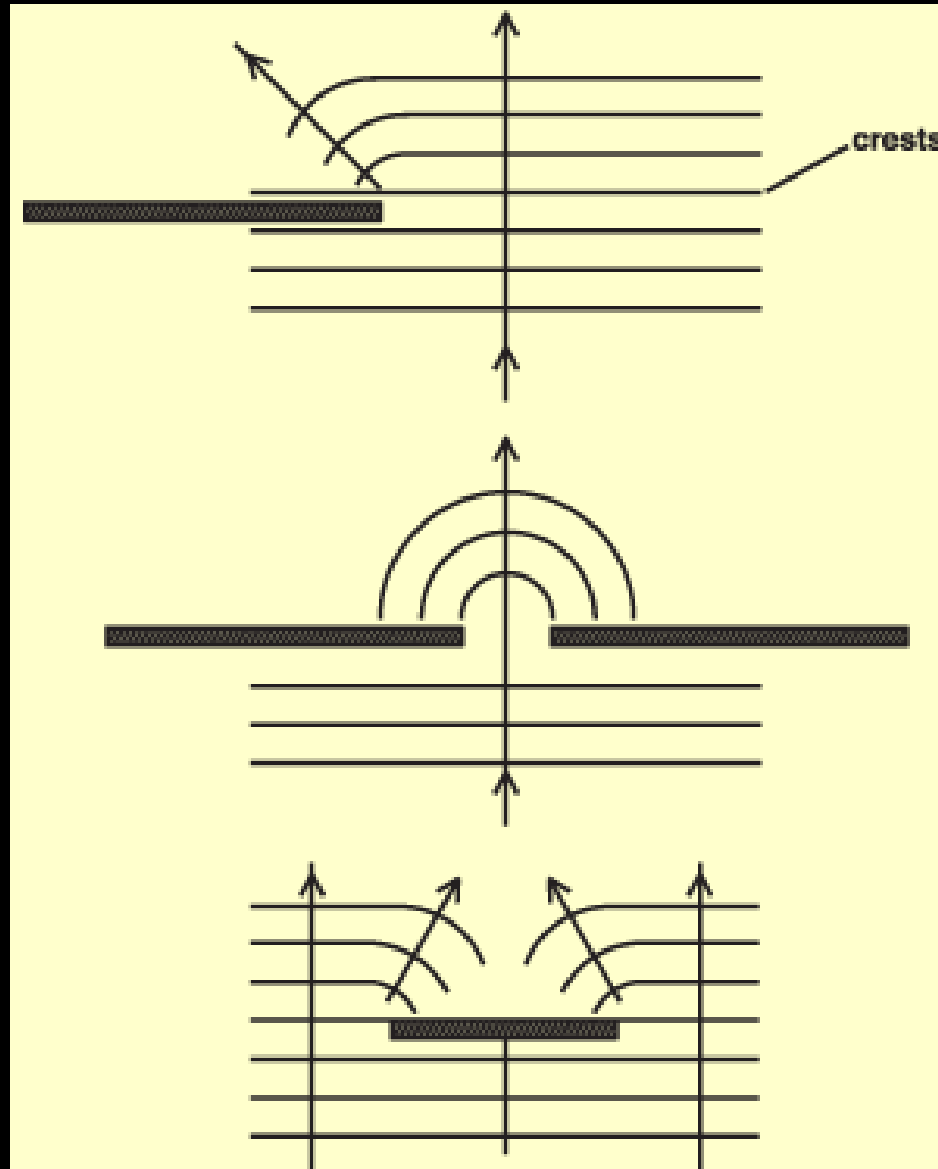
Έντονη Περίθλαση



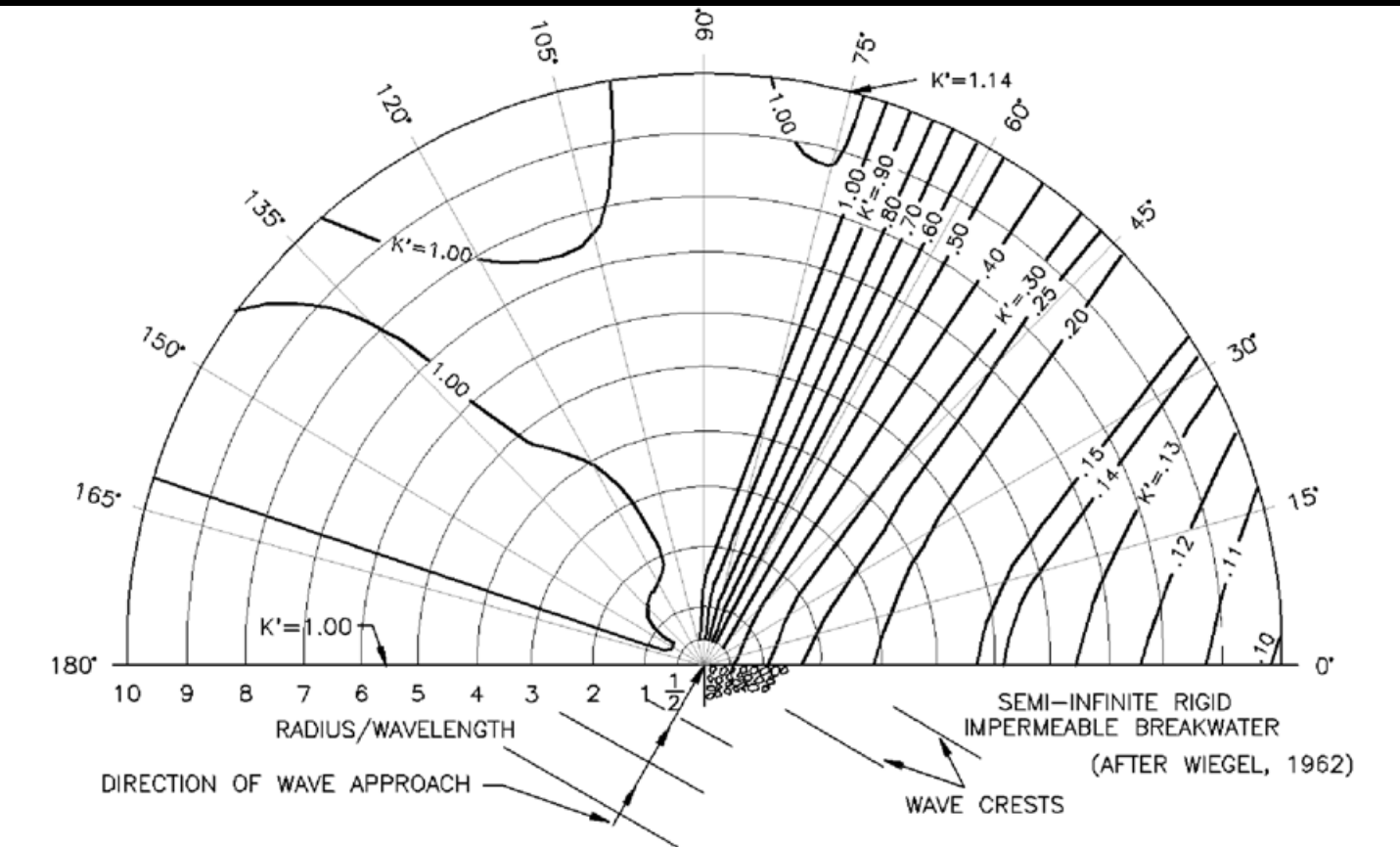
Σχεδόν Μηδενική Περίθλαση



Είδη Περίθλασης

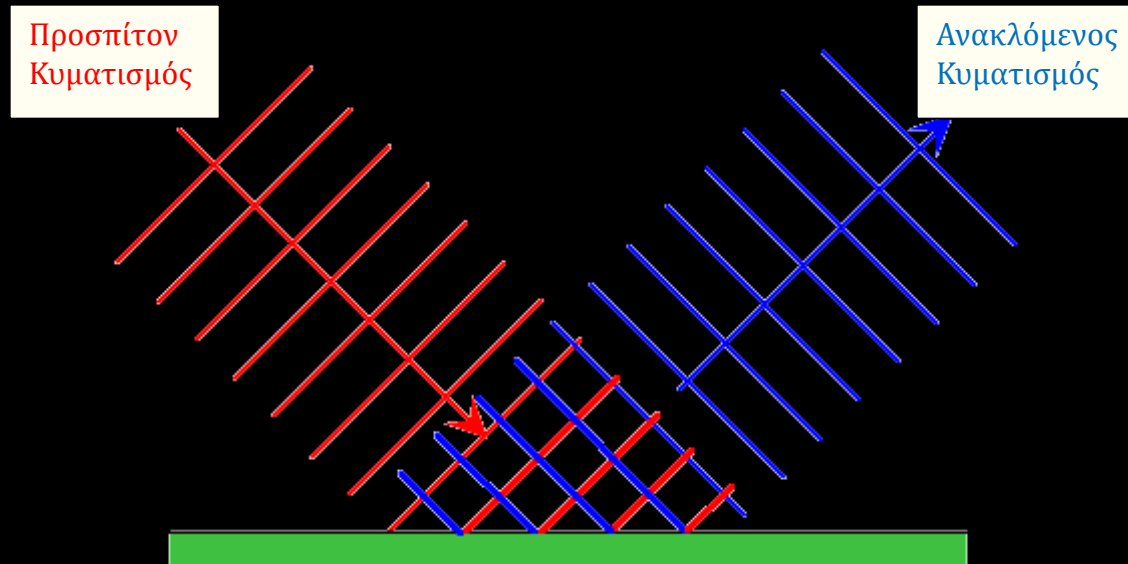


Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστή περίθλασης για γωνία πρόσπτωσης 60°



5. Ανάκλαση

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



Ο Συντελεστής ανάκλασης R υπολογίζεται από την εξίσωση

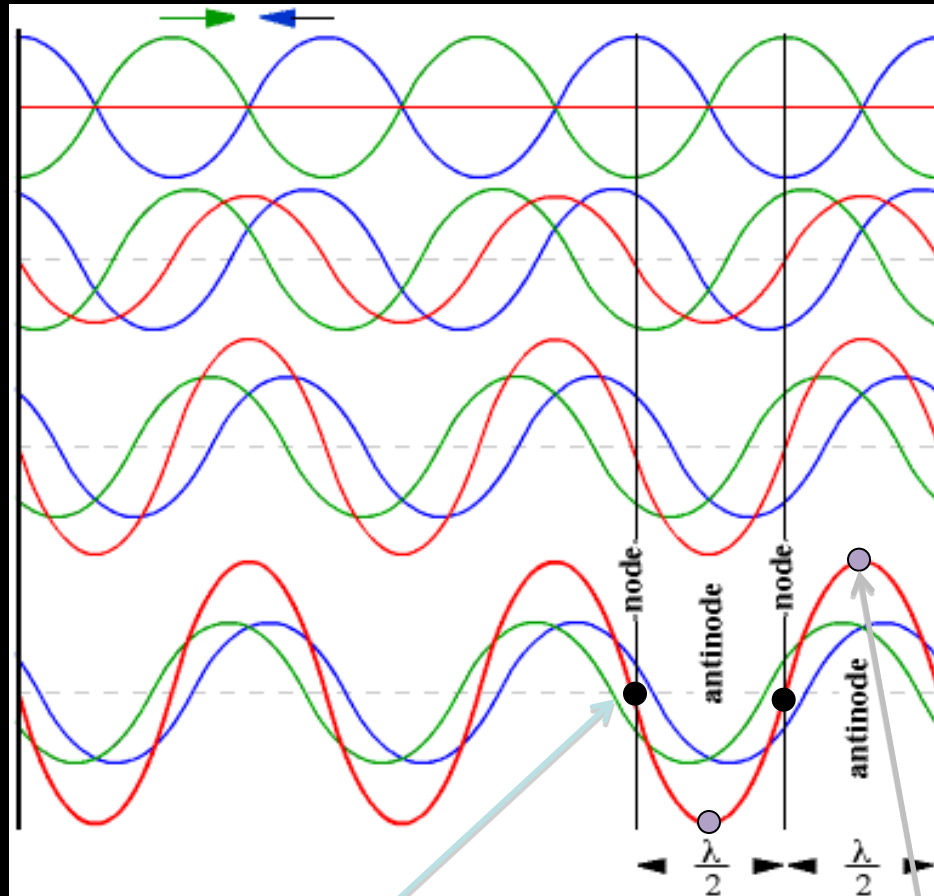
$$R = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}}$$

Αν $R=1$ τότε η ανάκλαση είναι πλήρης

Στάσιμο κύμα - Clapotis

Σε περίπτωση τέλει ανάκλασης τότε το παραγόμενο κύμα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το προσπίπτον 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

Σημεία αντιδέσμης Η στάθμη παίρνει
 ελάχιστες και μέγιστες τιμές εδώ

TABLE 6.2. SINUSOIDAL WAVE FUNCTIONS

$\frac{h}{\lambda_0}$	$\tanh kh$	$\frac{h}{\lambda}$	kh	$\sinh kh$	$\cosh kh$	$\frac{H}{H_0}$
0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	1.00	∞
002	112	0179	112	113	01	2.12
004	158	0253	159	160	01	1.79
006	193	0311	195	197	02	62
008	222	0360	226	228	03	51
0.010	0.248	0.0403	0.253	0.256	1.03	1.43
015	302	0496	312	317	05	31
020	347	0576	362	370	07	23
025	386	0648	407	418	08	17
0.030	0.420	0.0713	0.448	0.463	1.10	1.13
035	452	0775	487	506	12	09
040	480	0833	523	548	14	06
045	507	0888	558	588	16	04
0.050	0.531	0.0942	0.592	0.627	1.18	1.02
055	554	0993	624	665	20	1.01
060	575	104	655	703	22	0.993
065	595	109	686	741	24	981
070	614	114	716	779	27	971
0.075	0.632	0.119	0.745	0.816	1.29	0.962
080	649	123	774	854	31	955
085	665	128	803	892	34	948
090	681	132	831	929	37	942
095	695	137	858	0.968	39	937
0.10	0.709	0.141	0.986	1.01	1.42	0.933
11	735	150	940	08	48	926
12	759	158	0.994	17	54	920
13	780	167	1.05	25	60	917
14	800	175	10	33	67	915
0.15	0.818	0.183	1.15	1.42	1.74	0.913
16	835	192	20	52	82	913
17	850	200	26	61	90	913
18	864	208	31	72	1.99	914
19	877	217	36	82	2.08	916
0.20	0.888	0.225	1.41	1.94	2.18	0.918

$\frac{h}{\lambda_0}$	$\tanh kh$	$\frac{h}{\lambda}$	kh	$\sinh kh$	$\cosh kh$	$\frac{H}{H_0}$
0.20	0.888	0.225	1.41	1.94	2.18	0.918
21	899	234	47	2.05	28	920
22	909	242	52	18	40	923
23	918	251	57	31	52	926
24	926	259	63	45	65	929
0.25	0.933	0.268	1.68	2.60	2.78	0.932
26	940	277	74	75	2.93	936
27	946	285	79	2.92	3.09	939
28	952	294	85	3.10	25	942
29	957	303	90	28	43	946
0.30	0.961	0.312	1.96	3.48	3.62	0.949
31	965	321	2.02	69	3.83	952
32	969	330	08	3.92	4.05	955
33	972	339	13	4.16	28	958
34	975	349	19	41	53	961
0.35	0.978	0.358	2.25	4.68	4.79	0.964
36	980	367	31	4.97	5.07	967
37	983	377	37	5.28	37	969
38	984	386	43	61	5.70	972
39	986	395	48	5.96	6.04	974
0.40	0.988	0.405	2.54	6.33	6.41	0.976
41	989	415	60	6.72	6.80	978
42	990	424	66	7.15	7.22	980
43	991	434	73	7.60	7.66	982
44	992	443	79	8.07	8.14	983
0.45	0.993	0.453	2.85	8.59	8.64	0.985
46	994	463	91	9.13	9.18	986
47	995	472	2.97	9.71	9.76	987
48	995	482	3.03	10.3	10.4	988
49	996	492	09	11.0	11.0	990
0.50	0.996	0.502	3.15	11.7	11.7	0.990
1.00	1.000	1.000	6.28	268	268	1.000
∞	1.000	∞	∞	∞	∞	1.000